

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

AVUÇ İZİNE DAYALI KİMLİKLENDİRME SİSTEMLERİNDE
KISITLAMASIZ AYA ÖRÜNTÜSÜ ÇIKARIMI VE UYGULAMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bilgisayar Müh. Elif BAYKAL

OCAK 2015
TRABZON

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

AVUÇ İZİNE DAYALI KİMLİKLENDİRME SİSTEMLERİNDE
KISITLAMASIZ AYA ÖRÜNTÜSÜ ÇIKARIMI VE UYGULAMASI

Bilgisayar Müh. Elif BAYKAL

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"BİLGİSAYAR YÜKSEK MÜHENDİSİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 05.12.2014
Tezin Savunma Tarihi : 05.01.2015

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Murat EKİNCİ

Trabzon 2015

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalında
Elif BAYKAL tarafından hazırlanan

AVUÇ İZİNE DAYALI KİMLİKLENDİRME SİSTEMLERİNDE
KISITLAMASIZ AYA ÖRÜNTÜSÜ ÇIKARIMI VE UYGULAMASI

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 09/12/2014 gün ve 1580 sayılı kararıyla
oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda

YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Doç. Dr. Murat EKİNCİ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Bekir DİZDAROĞLU

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÖZTÜRK

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Avuç izi tanıma ile ilgili yapılan çalışmaların son 10 yıldır artış göstermesiyle birlikte temaslı sistemlerde hijyen, temassız sistemlerde ise biyometriğin kısıtlamasız duruşundan kaynaklanan sorunlarla karşılaşmıştır.

Çalışmada, avuç izi biyometrisinde elin 3-Boyutlu (3B) düzlemde dönme, öteleme ve ölçeklemeden bağımsız avuç izi örüntüsünün otomatik seçimi ve biyometrik tanıma uygulamasını içeren bir sistem geliştirilmiştir. Tasarlanan sistemde 3B bilgilerinin elde edilebilmesinde ekonomik çözüm olabilen ikili (stereo) kamera sistemi önerilmiştir. İki farklı kameradan alınan imgelerde piksel eşleştirmelerine ve kamera kalibrasyonuna dayalı üretilen derinlik bilgisiyle elin 3B geometrik konuşlandırılması otomatik kestirimi başarılır. Elin 3B duruş verisi 2B koordinat düzlemine taşınır. 2B düzleme taşınmış imge verilerinde Aktif Görünüm Modeli (AGM) ile kısıtlamasız avuç örüntüsü seçimi gerçekleştirilir. Böylece AGM modeli kullanılarak hem kısıtlamasız ortamda avuç izi bölgesi tespit edilmiş, hem de elin arkasında kalan ve ten rengine benzer nesnelere avuç izi bilgisini bozmaması sağlanmıştır. Bu işlevin hedefi kısıtlamasız aya örüntüsü çıkarımını başarabilmektir. Sistem başarısının analizi amacıyla güncel yaklaşımlar üzerinde durulmuş ve bu yaklaşımların sisteme olan etkileri araştırılmıştır.

Çalışmalarında danışmanlığımı üstlenen değerli hocam Doç. Dr. Murat EKİNCİ'ye ilgi, destek ve tecrübelerinden dolayı teşekkürlerimi borç bilirim. Veri tabanı toplama sürecinde sabırla yardımlarını eksik etmeyen tüm hocalarıma, sevgili öğrencilerime ve son olarak yüksek lisans eğitimim boyunca sabır, destek ve sevgileriyle yanımda olan aileme ve dostlarıma çok teşekkür ederim.

Elif BAYKAL

Trabzon 2015

TEZ BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Avuç İzine Dayalı Kimliklendirme Sistemlerinde Kısıtlamasız Aya Örüntüsü Çıkarımı ve Uygulaması” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Murat EKİNCİ'nin sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 05/01/2015

Elif BAYKAL

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET.....	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER DİZİNİ	XII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Literatür Araştırması	2
1.3. Kamera Kalibrasyonu	5
1.3.1. Dış Parametreler.....	5
1.3.2. İç Parametreler.....	6
1.3.3. Radyal Distorsiyon	6
1.3.4. Teğetsel Distorsiyon.....	8
1.3.5. Doğrudan Kalibrasyon.....	8
1.3.6. Projeksiyon Matrisi ile Kalibrasyon	11
1.4. Stereo Görme	12
1.4.1. Özellik Noktası Çıkarma	13
1.4.1.1. SIFT Özellik Çıkarma Algoritması	13
1.4.1.2. SURF Özellik Çıkarma Algoritması	16
1.4.2. Stereo Eşleme Problemi.....	18
1.4.2.1. Epipolar Geometri	19
1.4.2.2. Stereo Doğrultma.....	20
1.4.3. Özellik Noktalarının Eşleştirilmesi	20
1.4.4. RANSAC Algoritması ile Eşleştirme Hatalarının Minimize Edilmesi	21
1.4.5. 3B Geriçatım.....	21
1.4.5.1. Direk Doğrusal Dönüşüm Metodu	21
1.4.5.2. Disparity Bilgisi Kullanarak Derinlik (Uzaklık) Tespiti	23

1.5.	TDA Yöntemi ile El Düzlemi Denkleminin Bulunması.....	25
1.6.	Geometrik Görüntü Dönüşümleri (Rektifikasyon)	27
1.6.1.	Benzerlik Dönüşümü	28
1.6.2.	Afın Dönüşümü.....	28
1.6.3.	Projektif Dönüşüm.....	29
1.7.	Gri Düzey Enterpolasyonu	29
1.7.1.	En Yakın Komşuluk.....	30
1.7.2.	Bilineer Enterpolasyon... ..	31
1.7.3.	Bikübik Enterpolasyon... ..	32
1.8.	AGM Yöntemi ile Avuç Bölgesinin Bölütlenmesi	32
1.9.	Özellik Çıkarma ve Sınıflandırma	34
1.9.1.	Dalgacık Dönüşümü.....	34
1.9.2.	Ayrık Dalgacık Dönüşümü	34
1.9.3.	ADD'nin Görüntüye Uygulanması.....	36
1.9.4.	Çekirdek Fisher Ayırtacı	37
1.9.5.	En Yakın Komşuluk (EYK) ile Sınıflandırma	40
1.9.5.1.	Öklit Uzaklığı	40
1.9.5.2.	Ağırlıklandırılmış Öklit Uzaklığı	41
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEME	42
2.1.	Giriş.....	42
2.2.	3B Avuç İzi Tanıma Sistemi	43
2.3.	Kalibrasyon Süreci.....	46
2.4.	Stereo Eşleme ve 3B Geriçatım	50
2.5.	Avuç Bölgesi Duruşunun Tespiti ve Düzeltilmesi.....	54
2.6.	Avuç Bölgesinin Bölütlenmesi ve Örüntü Çıkarımı	59
2.7.	Tanıma Süreci	63
3.	SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	69
4.	ÖNERİLER	71
5.	KAYNAKLAR.....	72
	ÖZGEÇMİŞ.....	78

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

AVUÇ İZİNE DAYALI KİMLİKLENDİRME SİSTEMLERİNDE
KISITLAMASIZ AYA ÖRÜNTÜSÜ ÇIKARIMI VE UYGULAMASI

Elif BAYKAL

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Murat EKİNCİ
2015, 77 Sayfa

Avuç izi tanıma sistemi, günümüzde bireyin kimliğini tespit etmek için yaygın olarak kullanılan önemli bir teknolojidir. Bu alanda yapılan çalışmalarda yüksek başarı elde edilmesine rağmen temaslı sistemlerde hijyen, temassız sistemlerde ise biyometriğin kısıtlamasız duruşundan kaynaklanan sorunlarla karşılaşmıştır. Bu sorunların giderilmesi kısıtlamasız örüntü seçimine ve tanımaya imkan vermektedir.

Tez çalışmasında, insan görme sisteminden esinlenilerek geliştirilen ikili (stereo) kamera sistemi gerçekleştirilmiştir. Bu sistemde, kameralar üzerine düşen nesnelerin 3B uzaydaki konumları belirlenerek avuç bölgesinin duruşu tespit edilmiştir. Bu bilgiler kullanılarak görüntü üzerinde geometrik düzeltmeler yapılmış ve görüntüler 2B ortama aktarılmıştır. Ek olarak, bu görüntülerden tanımada kullanılacak avuç izi örüntülerini elde edebilmek için Aktif Görünüm Modeli kullanılmıştır. Örüntü tanıma sürecinde, dalgalık dönüşümü uygulanmış görüntülerde avuç izi özelliklerinin çıkarılması amacıyla Çekirdek Fisher Ayırtıcı, sınıflandırmada ise temel yöntemler kullanılmıştır. Önerdiğimiz yöntemde kısıtlamasız ancak düzeltilmiş avuç izi örüntülerinden elde edilen tanıma başarısının, kısıtlamalı avuç izi örüntülerinden elde edilen tanıma başarısından daha düşük, kısıtlamasız ve düzeltilmemiş avuç izi örüntülerinden elde edilen tanıma başarısından ise daha yüksek olması hedeflenmiştir. Sonuçta kısıtlamasız ancak düzeltilmiş örüntülerde %93 oranında tanıma performansı elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Avuç İzi Tanıma Sistemi, İkili (Stereo) Kamera Sistemi, Aktif Görünüm Modeli, Çekirdek Fisher Ayırtıcı, 3B (3-Boyut)

Master Thesis

SUMMARY

UNRESTRICTED PALM PATTERN SELECTION AND IMPLEMENTATION
ON PALMPRINT BASED IDENTIFICATION SYSTEMS

Elif BAYKAL

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Computer Engineering Graduate Program
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Murat EKİNCİ
2015, 77 Pages

Palmprint recognition system is an important technology which is commonly used for personal identification nowadays. Although high success is achieved in previous studies in this area, there are still some problems. While hygiene is the main problem of contacted palmprint recognition systems, contactless palmprint recognition systems are faced with the problems that arise from unrestricted pose of the biometrics. Eliminating these problems makes unrestricted pattern selection and recognition significant.

In this thesis, stereo camera system, which is originated from human visual system, is used. In this system, pose of the palm is determined by calculating 3D coordinates of the two images of the palm in two different cameras of stereo camera system. Geometric corrections are performed on these images by using these information and images are projected on 2D space. In addition, Active Appearance Model is used for obtaining palmprint patterns, that are used for recognition, from these images. In recognition stage, Kernel Fisher Discriminant method is used for getting palmprint features from images that wavelet transform is applied on. In classification stage, basic methods are used. Purpose of our method is to provide a recognition performance on unrestricted but corrected palmprint patterns that is worse than the recognition performance on restricted palmprint patterns but better than the performance on unrestricted but uncorrected palmprint patterns. As a result, 93% recognition performance is achieved on unrestricted but corrected patterns.

Key Words: Palmprint Recognition System, Stereo Camera System, Active Appearance Model, Kernel Fisher Discriminant, 3D (3-Dimensional).

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Kamera ve dünya koordinat sistemleri dönüşümü	6
Şekil 1.2. Dışbükey bozulma ve içbükey bozulma.....	7
Şekil 1.3. Basit stereo görme sistemi.....	12
Şekil 1.4. Özellik noktası etrafındaki 16x16 lık blok ve 4x4 lük bloklar.....	16
Şekil 1.5. Tümlev görüntü elde edilmesi	16
Şekil 1.6. 9x9 boyutunda $\sigma = 1.2$ değerli Gauss filtresi kullanılarak elde edilmiş ölçek uzayın en alt seviyesi	18
Şekil 1.7. Epipolar geometri	19
Şekil 1.8. Stereo eşleştirme probleminin çözümü	20
Şekil 1.9. 3B P noktasının stereo doğrultma yapılmış görüntülerdeki karşılık gelen noktaları	24
Şekil 1.10. En yakın komşuluk gösterimi.....	30
Şekil 1.11. Bilineer enterpolasyon gösterimi	31
Şekil 1.12. Ayrık dalgacık dönüşümünün gerçekleştirilmesinde alt bandlara ayırışım; $g(n)$ yüksek geçiren filtre, $h(n)$ alçak geçiren filtre	35
Şekil 1.13. Görüntüye wavelet uygulanması	37
Şekil 2.1. Sistemin temel işlem adımları	43
Şekil 2.2. Çevrimdışı avuç izi tanıma sistemi için geliştirilen prototip.....	44
Şekil 2.3. Stereo kamera sistemi için geliştirilen prototip.....	45
Şekil 2.4. Kalibrasyon için kullanılan düzlemsel nesne	46
Şekil 2.5. Kalibrasyon için kullanılan düzlemsel nesne görüntüleri	47
Şekil 2.6. Kalibrasyon işlemi akış diyagramı	48
Şekil 2.7. Satranç tahtası üzerinde tespit edilen köşe noktaları.....	48
Şekil 2.8. Kameraların birbirlerine göre konumları	49
Şekil 2.9. Doğrultulmuş Sol ve Sağ Kamera Görüntüleri	50
Şekil 2.10. (a) SIFT ve (b) SURF algoritmaları ile tespit edilen özellik noktaları.....	51
Şekil 2.11. (a) SIFT ve (b) SURF algoritmaları ile tespit edilen özellik noktalarının eşleştirilmesi.....	52
Şekil 2.12. (a) SIFT ve (b) SURF algoritmaları ile tespit edilen özellik noktalarının RANSAC yöntemi ile minimize edilmesi	53
Şekil 2.13. Tespit edilen özellik noktalarının 3B uzaydaki dağılımı.....	54

Şekil 2.14. Noktaların 3B uzayda dağılımı, oluşturdukları düzlem ve normali	55
Şekil 2.15. 3B düzlem üzerinde seçilen noktalar.....	56
Şekil 2.16. Projektif dönüşüm için görüntüde belirlenmiş noktalar ve projektif izdüşüm uygulanarak düzeltilmiş görüntüler.....	58
Şekil 2.17. Önerilen avuç modeli	59
Şekil 2.18. Veritabanındaki farklı görüntüler üzerinde AGM yönteminin uygulanmasını ile elde edilen bölütleme sonuçları	60
Şekil 2.19. Parmaklar birleştirildiğinde AGM yöntemi ile elde edilen bölütleme sonucu..	61
Şekil 2.20. AGM yöntemi ile elde edilen bölütleme sonucu aya örüntüsü için kullanılacak bölge.....	62
Şekil 2.21. AGM yöntemi ile elde edilen bölütleme sonucu aya örüntüsü için kullanılacak bölge.....	63

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Bazı dalgacık filtrelerinin katsayıları	36
Tablo 2.1. Veri tabanlı senaryoları	45
Tablo 2.2. Sağ Kamera Parametreleri.....	49
Tablo 2.3. Sol Kamera Parametreleri	49
Tablo 2.4. İki kamera arasındaki dönme ve öteleme	50
Tablo 2.5. Elde edilen özellik noktalarının ve eşleşme sayılarının karşılaştırılması.....	52
Tablo 2.6. Performans Ölçümü Grupları	64
Tablo 2.7. Grup 1’de her kişiden alınan eğitim görüntüsüne göre oluşan eğitim ve test kümesi sayıları	65
Tablo 2.8. ÖU tabanlı EYK sınıflandırıcısına ait tanıma yüzdeleri ve doğru tanınan Grup 1 görüntü sayıları	65
Tablo 2.9. AÖU tabanlı EYK sınıflandırıcısına ait tanıma yüzdeleri ve doğru tanınan Grup 1 görüntü sayıları	66
Tablo 2.10. ÖU tabanlı EYK sınıflandırıcısına ait tanıma yüzdeleri ve doğru tanınan Grup 2 görüntü sayıları	66
Tablo 2.11. AÖU tabanlı EYK sınıflandırıcısına ait tanıma yüzdeleri ve doğru tanınan Grup 2 görüntü sayıları	66
Tablo 2.12. ÖU tabanlı EYK sınıflandırıcısına ait tanıma yüzdeleri ve doğru tanınan Grup 3 görüntü sayıları	67
Tablo 2.13. AÖU tabanlı EYK sınıflandırıcısına ait tanıma yüzdeleri ve doğru tanınan Grup 3 görüntü sayıları	67
Tablo 2.14. AÖU tabanlı EYK sınıflandırıcısına ait karşılaştırmalı tanıma yüzdeleri ve doğru tanınan görüntü sayıları	67

SEMBOLLER DİZİNİ

3B	3-Boyut (3-Dimensional)
2B	2-Boyut (2-Dimensional)
AGM	Aktif Görünüm Modeli (Active Appearance Model)
ÇFA	Çekirdek Fisher Ayırtacı (Kernel Fisher Discriminant)
SIFT	Ölçek Değişimsiz Özellik Dönüşümü (Scale Invariant Feature Transform)
SURF	Hızlandırılmış Gürbüz Öznitelikler (Speed up Robust Features)
DoG	Gauss Uzay Farkı (Difference of Gaussian)
RANSAC	Rastgele Örnek Onaylaşımı (Random Sample Consensus)
TDA	Tekil Değer Ayrışımı (Singular Value Decomposition)
ROI	İlgi Bölgesi (Region of Interest)
DLT	Doğrudan Lineer Dönüşüm (Direct Linear Transformation)

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Avuç izi tanıma, diğer biyometrik tanıma sistemlerine nazaran daha az rağbet gören bir yöntem olsa da biyometri biliminin bu dalına ilgi son 10 yıldır giderek artmaktadır. Avuç izinin diğer biyometrik özniteliklere kıyasla üstünlükleri vardır. Avuç izi yüzeyi daha geniş olduğundan ayırt ediciliği yüksektir. Ayrıca gereksinilen veritabanı düşük maliyetle ve kolayca toplanabilmekte ve görüntülerde herhangi bir bozulmaya sebebiyet vermemektedir [1].

Genellikle biyometriğin serbest hareketi en aza indirgenerek kısıtlamalı ya da bölütlemeye avantaj olabilecek ancak hijyen problemlerini de beraberinde getiren temaslı 2B avuç izi tanıma sistemleri geliştirilmiştir. Diğer bir dezavantaj, 2B avuç izi görüntüleri kolaylıkla kopyalanabilmekte ve taklit edilebilmekte, bu da sistem güvenilirliğini azaltmaktadır [2]. Ayrıca elin arkasında kalan ve ten rengine benzer nesnelerin görüntü içine girmesi, bölütlemeyi zorlaştırmakta ve avuç izi bilgisini de bozmaktadır.

Bu tez çalışmasında, biyometriğin kısıtlamasız duruşundan kaynaklanan dönme, öteleme ve ölçeklemeden bağımsız, kısıtlamasız bir avuç izi tanıma sistemi geliştirilmesi amaçlanmıştır. Yapılan çalışmada 3B bilgilerinin elde edilmesi amacıyla ikili (stereo) kamera sistemi oluşturulmuştur. Bu amaçla öncelikle birbirine benzer fiziksel özelliklere sahip kameraların kalibrasyonu işlemiyle birbirlerine göre konumları(dış parametreleri) ve iç parametreleri hesaplanmıştır. Çalışmada kameralardan alınan görüntüler, kalibrasyon parametreleri yardımıyla stereo doğrultma yapılarak aynı düzlem üzerine aktarılmakta ve bu işlem özellik noktalarının eşleştirilmesini kolaylaştırmaktadır. 3B koordinatların elde edilebilmesi için görüntü üzerindeki belirli sayıda özellik noktasının çıkarılması ve bu noktaların diğer görüntüde karşılık gelen noktasının tespit edilmesi gereklidir. Bu aşamada özellik noktası çıkarılması amacıyla şekil tabanlı yöntemlerden Ölçek Değişimsiz Öznitelik Dönüşümü (SIFT) ve Hızlandırılmış Gürbüz Öznitelikler (SURF) kullanılmış, çıkarılan özellik noktaları arasında Öklid Uzaklığı kullanılarak eşleştirme yapılmış ve son olarak Rastgele Örnek Onaylaşımı (RANSAC) yöntemi ile yanlış eşleştirmeler minimize edilmiştir. 3B Geriçatım (3D Reconstruction) aşamasında Doğrudan Lineer Dönüşüm (DLT) yönteminden yararlanılarak, eşleştirilen 2B noktalara ait 3B koordinatlar

hesaplanmış, sonrasında bu noktaların temsil ettiği düzlem Tekil Değer Ayırışımı (TDA) yöntemi ile belirlenmiştir ve bu düzlemin normal yönü avuç bölgesi duruşu olarak kabul edilmiştir. Tanıma başarısının artırılması amacıyla bu düzlemin 2B düzleme izdüştürülmesi gerekmektedir. Düzlem üzerinde tespit edilen avuç bölgesine ait 4 nokta perspektif izdüştüm yöntemi ile görüntü düzlemine aktarılmıştır. Geometrik dönüştüm yapılmış görüntüler üzerinde Aktif Görünüm Modeli (AGM) kullanılarak tanıma aşamasında kullanılacak avuç izi örüntüleri elde edilmesi amaçlanmıştır. Model görüntü üzerinde başarılı bir şekilde yerleştğinde model noktaları kullanılarak tanıma için kullanılacak ilgi bölgesi (ROI) seçilmiştir. Tanıma aşamasında avuç izi özniteliklerinin çıkarılması amacıyla Çekirdek Fisher Ayırtacı (ÇFA) kullanılmıştır. Son olarak sınıflandırma için En Yakın Komşuluk yöntemi, Öklid ve Ağırlıklandırılmış Öklid uzaklıkları ile uygulanmış ve tanıma başarıları ölçülmüştür.

1.2. Literatür Araştırması

Literatürde el geometrisi biyometrik tanıma sistemleri, temassız ve kısıtlamasız avuç izi tanıma sistemleri için yapılan birçok çalışma bulunmaktadır. İncelenen konularla alakalı bütün yayınların burada irdelenmesi olanaksız olduğundan, yakın zamanda gerçekleştirilmiş olanlardan bazılarına değinmek faydalı olacaktır.

Jain (1999) ve arkadaşları, farklı açılardan alınmış görüntülerden parmak bölgelerini çıkarmış ve hizalamışlardır. Parmakların hizalama şekline göre bir sistem geliştirmişlerdir. Bu yaklaşımlarında parmakların uzunluğu ve genişliğine bağlı özellik kümesi çıkarmışlar ve 53 kişiden alınmış 352 görüntüden oluşan veri tabanı üzerinde çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir [3].

Sanchez-Riello (2000) ve arkadaşları elin renkli görüntüsünden özellik kümesi çıkaran bir sistem geliştirmişlerdir, sonuçta %97'lik bir tanıma başarısı elde etmişlerdir [4].

Kumar (2003) ve arkadaşları, el geometrisi ve avuç izi özelliklerini çıkararak, bu özelliklerin birleştirilmesini önermişlerdir. Sonrasında bu özelliklerin ayrı ayrı ve birleştirilmiş performanslarını incelemişlerdir. Bu sistemde 100 kişilik bir veri tabanı kullanmışlar ve özellikleri birleştirdiklerinde %99'luk bir başarıya ulaşmışlardır [5].

Yuan Jing (2004) ve arkadaşları, DCT ve doğrusal ayırt etme tekniğini birlikte kullanan bir avuç izi tanıma yaklaşımı önermişlerdir. Bu yaklaşımda 2B DCT uygulanmış görüntüden elde edilen tüm frekans bantlarının sınıflandırmada kullanışlı olmayacağı

varsayılarak 2B doğrusal ayırt etme tekniği yardımıyla kullanışlı bantları seçmişlerdir. Ardından Fisherface yöntemini kullanarak doğrusal ayırt edici özellikleri çıkarmışlardır ve en yakın komşuluk ile sınıflandırma yapmışlardır. Sonuçta tanıma başarısını artırmanın yanısıra özellik uzayı boyutunu da etkin biçimde azaltmışlardır [6].

Hennings (2004) ve arkadaşları, daha önce diğer biyometrik özelliklere uygulanmış olan korelasyon filtreli sınıflandırıcıları avuç izinde uygulamışlar ve 50 kişilik veri tabanı üzerinde %100 başarı elde etmişlerdir [7].

Wu (2004) ve arkadaşları, avuç çizgisi yapısı ve kalınlığı gibi özelliklere alternatif olarak DLEF(Directional Line Energy Feature)'i önermişlerdir. DLEF, avuç bölgesinde farklı konumlardaki avuç çizgilerinin farklı yönlerdeki keskinliğini ifade eder. Diğer bir deyişle çizgi yapısı ve kalınlığını bir arada barındırır. Sonuçta en iyi performansı 6 farklı yön kullanarak %97.2 olarak elde etmişlerdir [8].

Wu (2005) ve arkadaşları, 2B Gabor filtreleri kullanarak faz bilgisi ve yön bilgisini birleştirerek yeni bir özellik elde etmişlerdir [9].

Amayeh (2006) ve arkadaşları, el geometrisini ifade etmek amacıyla yüksek seviyeli Zernike momentlerini kullanmışlardır, böylece elin görüntü düzlemindeki dönme, öteleme ve ölçeklemeden bağımsız özellikleri çıkarılmaya çalışılmıştır [10].

Ekinci ve Aykut (2007, 2008), PolyU Palmprint veri tabanını kullanarak avuç izi bölgesinin ayırt edici özelliklerini çıkarmada Gabor Tabanlı ve Dalgacık Tabanlı Çekirdek Temel Bileşenler Analizi, sınıflandırmada ise En Yakın Komşuluk ve Destek Vektör Makineleri metodlarını kullanmışlardır. Bu çalışmalar sonucunda %99.654'lık bir tanıma başarısına ulaşmışlardır [11, 12].

Cui (2011) ve arkadaşları, görünüm tabanlı Doğrusal Ayırtaç Yöntemi (LDA) kullanarak 3 boyutlu avuç izi özelliklerini çıkarmışlardır. Ayrıca tanıma doğruluğunun 3 boyutlu avuç izi görüntüsünün çözünürlüğü ile olan ilişkisini inceleyerek 16x16 ve 32x32 çözünürlüklü görüntülerde tanımanın daha iyi olduğunu gözlemlemişlerdir [13].

Zheng (2007) ve arkadaşları, sadece ayırıcı değil aynı zamanda projektif dönüşümlerden bağımsız biyometrik özelliklerin matematiksel gösterimi üzerinde yoğunlaşmışlardır. Diğer mevcut el geometrisi teknolojilerinin aksine elin projektif değişmezlerini kullanan bir geometrik model önermişlerdir. Böylece avuç izi tanıma bakış açısına bağlı kalmadan elin tek bir görüntüsü kullanılarak gerçekleştirilmiştir [14].

Zhang (2008, 2009) ve arkadaşları, yapılandırılmış ışık kaynağı kullanarak 3B avuç izi bilgisini elde etmişlerdir. Elde ettikleri ilgi bölgesinin ortalama eğriliği, Gauss eğriliği

ve yüzey tipi gibi özelliklerini çıkarmak amacıyla eğrilik tabanlı özellik çıkarma algoritmalarını kullanmışlardır. Sınıflandırmada hızlı özellik eşleme ve skor seviyeli füzyon kullanmışlardır. Tanıma ve doğrulama sonuçlarını 260 kişilik 600 görüntüden oluşan 3B avuç izi veritabanı üzerinde incelemişlerdir [15, 16].

Li (2009) ve arkadaşları, yapılandırılmış ışık kaynağı kullanarak elde ettikleri 3B avuç izi bilgisinin ortalama eğrilik özelliklerinden konum ve yön bilgisini çıkarmışlardır. Sınıflandırmada bu iki özelliğin skor seviyeli füzyonu kullanılmıştır. 200 kişiden alınan 8000 görüntüden oluşan veri tabanı üzerinde bu iki özellik ve bu özelliklerin füzyonu ile yüksek tanıma ve doğrulama sonuçları elde edilmiştir [17].

Li (2010) ve arkadaşları, elde ettikleri 3B bilgisinin yanısıra 2B bilgisini de kullanarak şekil, ana hat ve doku gibi avuç izi özelliklerini elde etmişlerdir. 200 kişiden alınan 6000 görüntüden oluşan 2B+3B avuç izi veri tabanı üzerindeki doğrulama sonuçlarında önemli derecede artış gözlemlemişlerdir [18].

Kanhangad (2011) ve arkadaşları 2B el geometrisi özelliklerinin kimlik tanımda sınırlı ayırt edici bilgi taşıdığı düşüncesiyle 3B Sayısallaştırıcı ile elde ettikleri 3B özelliklerini de kullanarak performans artışı gözlemlemişlerdir. Ayrıca sınıflandırmada SurfaceCode adlı yeni bir karşılaştırma yöntemi önermişlerdir ve 177 kişilik bir veri tabanı üzerinde sonuçları incelemişlerdir. Ayrıca 2B ve 3B avuç izi, parmak dokusu, 2B ve 3B el geometrisi olmak üzere 5 biyometrik özelliği de kullanarak yine performans artışı gözlemlemişlerdir [19].

Iula (2013) ve arkadaşları, 3B bilgisini elde etmek amacıyla geliştirilmiş ultrason tekniğini kullanmışlardır [20].

Cui (2014) ve arkadaşları tanımda 2B ve 3B avuç izi özelliklerini birlikte kullanmışlardır. Tanıma aşamasında yüz tanımda çok etkin olan TPTSR (Two-Phase Test Sample Representation) yöntemini kullanmış, öncesinde de 2B ve 3B avuç izi global özelliklerini çıkarmak amacıyla PCA (Principal Component Analysis) yöntemini kullanmışlardır ve PolyU2B+3B avuç izi veritabanı üzerinde tatmin edici tanıma performansına ulaşmışlardır [21].

Yapılandırılmış ışık ile 3B bilgisinin üretimi 3B tarayıcılar kadar olmasa bile yine de yüksek maliyet gerektirmektedir. Maliyet ve hız problemleri avuç izi tanıma sistemlerinin yaygınlaşmasında bir engel olarak görülmektedir.

1.3. Kamera Kalibrasyonu

Nesnelere ait 3B modellerin oluşturulabilmesi ya da nesnelere ait gerçek uzaydaki konumlarının hesaplanabilmesi için; 3B (X, Y, Z) dünya koordinat sistemi ile 2B (u, v) görüntü düzlemi arasındaki transformasyonu tanımlayan kamera iç ve dış parametrelerinin hesaplanması gerekmektedir ve bu parametrelerin belirlenmesine kamera kalibrasyonu denilmektedir [22, 23].

Kamera kalibrasyonu aynı zamanda, dış faktörler dolayısı ile bozulmuş olan görüntünün düzeltilerek görüntü işlemeye hazır hale getirilmesinde kullanılır. Kalibre edilmemiş bir kamera ile gerçekleştirilen görüntü işleme ve görüntü analiz aşamaları hata içermektedir [24]. Bu bölüm içerisinde işlenen matematiksel ifade anlatımı ve sunumları ağırlıklı olarak [25] kaynağından yararlanılarak irdelenmiştir.

1.3.1. Dış Parametreler

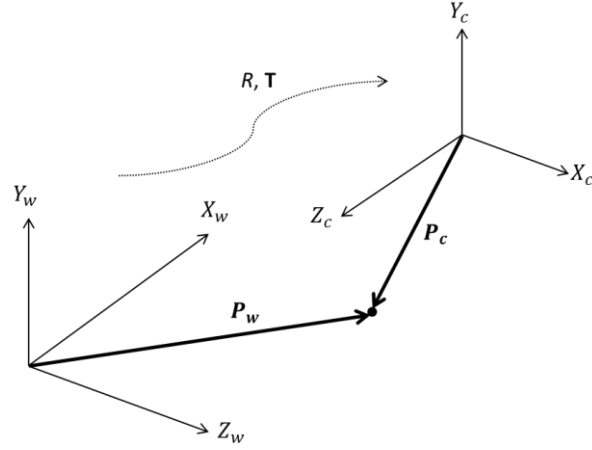
Kameranın 3B dünya koordinatlarındaki yeri (T) ve bakış açısı (R), kameranın dış parametrelerini oluşturmaktadır. Dış parametreler aynı zamanda birden fazla kameralı sistemlerde kameralar arasındaki geometrik ilişkiyi göstermektedir. Stereo doğrultma ve 3B geriçatım işleminin gerçekleştirilebilmesi için kameralar arasındaki bu geometrik ilişkinin bilinmesi gereklidir.

3B dünya koordinat sistemindeki bir $P_w(X_w, Y_w, Z_w)$ noktasının, kamera koordinat sisteminde $P_c(X_c, Y_c, Z_c)$ noktasına düştüğü varsayılırsa, bu iki nokta arasındaki ilişki dış parametreler yardımıyla (1.1) ya da (1.2) eşitliği ile ifade edilebilir [25].

$$P_c = RP_w + T \quad (1.1)$$

$$\begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_w - T_x \\ Y_w - T_y \\ Z_w - T_z \end{bmatrix} \quad (1.2)$$

Bu eşitlikte T , üç boyutlu öteleme vektörünü, R ise 3x3 boyutlu dönme matrisini ifade etmektedir. Şekil 1.1.'de koordinat sistemleri arasındaki dönüşüm verilmiştir.



Şekil 1.1. Kamera ve dünya koordinat sistemleri dönüşümü

1.3.2. İç Parametreler

Her kameranın iç parametreleri kendine özgüdür. Bunlar kameranın optik, geometrik ve sayısal karakteristiklerini belirlemede kullanılır ve kamerada kullanılan maddenin fiziksel özellikleri ile değişen parametrelerdir. Lensin odak uzaklığı (f), görüntü merkezi koordinatları (o_x, o_y) , piksellerin x ve y yönündeki boyları (s_x, s_y) ve distorsiyon katsayıları (k_c) kameranın iç parametrelerini tanımlamaktadır. İç parametreler perspektif izdüşüm, kamera koordinat sistemi ile piksel koordinat sistemi arasındaki dönüşüm ve lens bozukluklarının belirlenmesi ve düzeltilmesinde kullanılmaktadır.

Görüntü düzlemi koordinatları ile kamera koordinat sistemi arasındaki ilişki eşitlik (1.3)'teki gibi gösterilebilir. Burada (x_{im}, y_{im}) , kamera koordinat sisteminde (x, y) koordinatlarına sahip noktanın görüntü düzlemindeki piksel koordinatlarıdır [25].

$$x = -(x_{im} - o_x)s_x \quad (1.3)$$

$$y = -(y_{im} - o_y)s_y$$

1.3.3. Radyal Distorsiyon

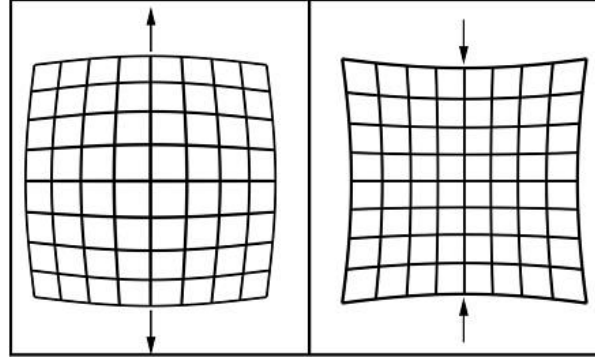
Kameralarda kullanılan merceklerin boyut, ağırlık, malzeme kalitesi gibi fiziksel özelliklerinden kaynaklanan bozulmalar radyal distorsiyon olarak adlandırılmaktadır.

Eksen dışı bir hedefin görüntüsü ana noktadan radyal olarak ya uzak ya da yakın yer değiştirmişse, bu görüntü radyal distorsiyona uğramış demektir [26]. Radyal distorsiyonlar dışbükey bozulma ve içbükey bozulma olarak tanımlanırlar. En yaygın dışbükey bozulma tipi Fıçı Bükülmesi (Barrel Distortion), içbükey bozulma tipi ise Yastık Bükülmesi (Pincushion Distortion) olarak bilinmektedir.

r , radyal uzaklık olarak kabul edilirse, radyal mercecek distorsiyonu matematiksel bir polinom eşitliği olarak (1.4)'teki gibi ifade edilmektedir.

$$\Delta r = K_0 r + K_1 r^3 + K_2 r^5 + K_3 r^7 + \dots \quad (1.4)$$

Radyal distorsiyonda görüntü düzlemi merkezinde distorsiyon sıfırdır ve merkeze olan uzaklık arttıkça distorsiyon da artmaktadır (Şekil 1.2. de grafiksel oluşmu gösterilmektedir) . Gerçekte, bu distorsiyon çok küçük olduğundan görüntü üzerinde her alanda yüksek doğruluk gerekmediğinde ihmal edilir ya da kenar pikseller çıkarılır.



Şekil 1.2. Dışbükey bozulma ve içbükey bozulma

Distorsiyon $r = 0$ etrafında açılan Taylor serisinin ilk birkaç terimi ile tanımlanabilir. Ucuz web kameralarda, k_1 ve k_2 olmak üzere iki distorsiyon terimi kullanılırken, yüksek seviyede distorsiyon oluşan kameralarda üçüncü bir k_3 terimi de kullanılmaktadır.

Görüntü düzleminde radyal distorsiyona uğramış bir (x, y) noktasındaki distorsiyonun düzeltilmesi sonucu oluşacak yeni konum $(x_{düzeltilmiş}, y_{düzeltilmiş})$ eşitlik (1.5)'teki gibi hesaplanmaktadır. Bu eşitlikte $r^2 = x^2 + y^2$ şartı sağlanmaktadır.

$$x_{düzeltmiş} = x(1 + k_1r^2 + k_2r^4) \quad (1.5)$$

$$y_{düzeltmiş} = y(1 + k_1r^2 + k_2r^4)$$

1.3.4. Teğetsel Distorsiyon

Kameralarda kullanılan çoklu mercek sistemini oluşturan merceklerin bütün elemanları aynı doğru üzerinde oluşmaması nedeniyle mercek merkezleri de aynı doğru üzerinde bulunmazlar ve buna üretim aşamasında özellikle dikkat edilmelidir. Doğrultudan sapma görüntüde teğetsel (tanjant) distorsiyon adı verilen geometrik yer değiştirmeye sebep olacaktır [26].

Teğetsel distorsiyon p_1 ve p_2 olmak üzere 2 distorsiyon terimi ile tanımlanabilir. Görüntü düzleminde teğetsel distorsiyona uğramış bir (x, y) noktasındaki distorsiyonun düzeltilmesi sonucu oluşacak yeni konumu $(x_{düzeltmiş}, y_{düzeltmiş})$ eşitlik (1.6)'daki gibi hesaplanmaktadır.

$$x_{düzeltmiş} = x + [2p_1y + p_2(r^2 + 2x^2)] \quad (1.6)$$

$$y_{düzeltmiş} = y + [p_1(r^2 + 2y^2) + 2p_2x]$$

1.3.5. Doğrudan Kalibrasyon

Bu yöntemde kamera iç ve dış parametreleri doğrudan hesaplanmaktadır. 3B dünya koordinat sistemindeki $P_w(X_w, Y_w, Z_w)$ noktasının kamera koordinat sisteminde $P_c(X_c, Y_c, Z_c)$ noktasına düştüğü varsayılırsa P_w ve P_c arasındaki ilişki eşitlik (1.7) veya (1.8)'deki gibi yazılabilir [25].

$$\begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \end{bmatrix} + T \quad (1.7)$$

$$X_c = r_{11}X_w + r_{12}Y_w + r_{13}Z_w + T_x$$

$$Y_c = r_{21}X_w + r_{22}Y_w + r_{23}Z_w + T_y \quad (1.8)$$

$$Z_c = r_{31}X_w + r_{32}Y_w + r_{33}Z_w + T_z$$

Radyal distorsiyonlar ihmal edildiğinde $[X_c, Y_c, Z_c]^T$ noktasının görüntü düzlemi (piksel) koordinatları aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$x_{im} = -\frac{f}{s_x} \frac{X_c}{Z_c} + o_x \quad (1.9)$$

$$y_{im} = -\frac{f}{s_y} \frac{Y_c}{Z_c} + o_y$$

Bu eşitlikler odak uzaklığı (f), x ve y yönündeki piksel boyları (s_x, s_y) ve görüntü merkezi koordinatları (o_x, o_y) olmak üzere 5 iç parametreye bağlıdır.

Eğer $f_x = f/s_x$ ve $\alpha = s_y/s_x$ alırsak (o_x, o_y), f_x ve α olmak üzere 4 yeni iç parametre elde ederiz. Burada f_x yatay piksellerin odak uzaklığı, α (aspect ratio) ise görüntünün elde edilmesi aşamasındaki piksel bozunumunu ifade eden orandır.

(1.7), (1.8) ve (1.9) eşitlikleri birleştirildiğinde,

$$x - o_x = -f_x \frac{r_{11}X_w + r_{12}Y_w + r_{13}Z_w + T_x}{r_{31}X_w + r_{32}Y_w + r_{33}Z_w + T_z} \quad (1.10)$$

$$y - o_y = -f_y \frac{r_{21}X_w + r_{22}Y_w + r_{23}Z_w + T_y}{r_{31}X_w + r_{32}Y_w + r_{33}Z_w + T_z}$$

eşitlikleri elde edilir. Bu eşitliklerde (x_{im}, y_{im}) , karışıklık olmaması için (x, y) olarak ifade edilmiştir. Bilinen bir kalibrasyon cismi kullanıldığında $[X_w, Y_w, Z_w]$ ve (x, y) değerleri ölçülebilir. Dolayısıyla kalibrasyon cismi üzerinde yeterli sayıda nokta kullanıldığında, (1.10) eşitliği bilinmeyen parametreleri bulmak amacıyla kullanılabilir. Bu

eşitlikler çözülrken öncelikle görüntü merkezi koordinatlarının (o_x, o_y) bilindiği varsayılır ve diğer parametreler belirlenir. Sonrasında ise görüntü merkezi koordinatları hesaplanır.

(1.10)'daki eşitlikler aynı paydaya sahip olduğundan, bu eşitlikler her bir $((X_i^w, Y_i^w, Z_i^w), (x_i, y_i))$ nokta çifti için aşağıdaki gibi yeniden düzenlenebilir.

$$x_i f_y (r_{21} X_w + r_{22} Y_w + r_{23} Z_w + T_y) = y_i f_x (r_{11} X_w + r_{12} Y_w + r_{13} Z_w + T_x) \quad (1.11)$$

$\alpha = f_x / f_y$ olduğundan, $\mathbf{v} = (v_1, v_2, \dots, v_8)$ olmak üzere 8 bilinmeyenin doğrusal eşitliği olarak da düşünülebilir.

$$x_i X_i^w v_1 + x_i Y_i^w v_2 + x_i Z_i^w v_3 + x_i v_4 - y_i X_i^w v_5 - y_i Y_i^w v_6 - y_i Z_i^w v_7 - y_i v_8 = 0 \quad (1.12)$$

\mathbf{v} vektörü elemanları eşitlik (1.13)'te verilmiştir.

$$\begin{aligned} v_1 &= r_{21} & v_5 &= \alpha r_{11} \\ v_2 &= r_{22} & v_6 &= \alpha r_{12} \\ v_3 &= r_{23} & v_7 &= \alpha r_{13} \\ v_4 &= T_y & v_8 &= \alpha T_x \end{aligned} \quad (1.13)$$

(1.12) eşitliği N sayıda nokta çifti için yazıldığında $A\mathbf{v} = 0$ elde edilir. $N \times 8$ boyutlu A matrisi aşağıda verilmiştir.

$$A = \begin{bmatrix} x_1 X_1^w & x_1 Y_1^w & x_1 Z_1^w & x_1 & -y_1 X_1^w & -y_1 Y_1^w & -y_1 Z_1^w & -y_1 \\ x_2 X_2^w & x_2 Y_2^w & x_2 Z_2^w & x_2 & -y_2 X_2^w & -y_2 Y_2^w & -y_2 Z_2^w & -y_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_N X_N^w & x_N Y_N^w & x_N Z_N^w & x_N & -y_N X_N^w & -y_N Y_N^w & -y_N Z_N^w & -y_N \end{bmatrix} \quad (1.14)$$

A matrisi TDA (Tekil Değer Ayrıştırılması) yöntemi kullanılarak $A = UDV^t$ şeklinde üç matrisin çarpımı şeklinde ayrıştırılabilir. V^t matrisinin son sütunu bize \mathbf{v} vektörünü verecektir.

1.3.6. Projeksiyon Matrisi ile Kalibrasyon

Bu yöntemde ise 3B uzaydaki (X_i^w, Y_i^w, Z_i^w) noktası ile onun görüntü düzlemine izdüşümü olan 2B (x, y) noktası arasındaki ilişki 3x4 boyutlu projeksiyon matrisi (M) yardımıyla aşağıdaki gibi yazılabilir [25].

$$\begin{pmatrix} u_i \\ v_i \\ w_i \end{pmatrix} = M \begin{pmatrix} X_i^w \\ Y_i^w \\ Z_i^w \\ 1 \end{pmatrix} \quad (1.15)$$

$$x = \frac{u_i}{w_i} = \frac{m_{11}X_i^w + m_{12}Y_i^w + m_{13}Z_i^w + m_{14}}{m_{31}X_i^w + m_{32}Y_i^w + m_{33}Z_i^w + m_{34}} \quad (1.16)$$

$$y = \frac{v_i}{w_i} = \frac{m_{21}X_i^w + m_{22}Y_i^w + m_{23}Z_i^w + m_{24}}{m_{31}X_i^w + m_{32}Y_i^w + m_{33}Z_i^w + m_{34}}$$

M matrisi rastgele ölçek katsayısına bağlıdır ve bundan dolayı sadece 11 bağımsız parametresi vardır. Bu parametreler en az 6 tane dünya-görüntü nokta çifti yardımıyla belirlenebilir. Homojen bir doğrusal sistemde N sayıda nokta çifti için (1.16) eşitliği yazıldığında $A\mathbf{m} = 0$ elde edilir. A matrisi ve \mathbf{m} vektörü aşağıda verilmiştir.

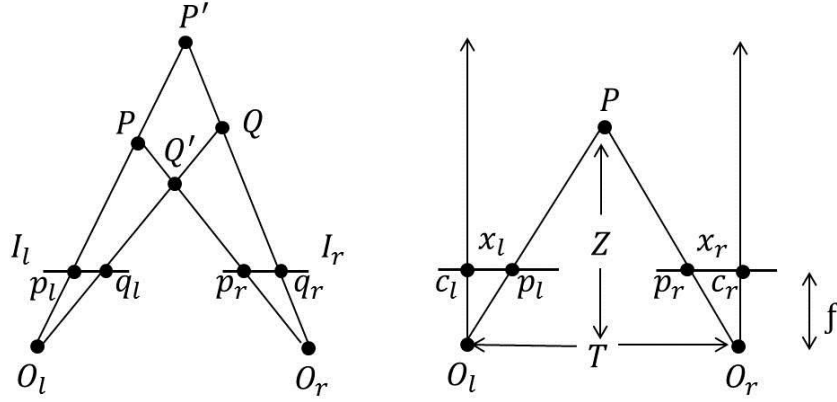
$$A = \begin{bmatrix} X_1 & Y_1 & Z_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -x_1X_1 & -x_1Y_1 & -x_1Z_1 & -x_1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & X_1 & Y_1 & Z_1 & 1 & -y_1X_1 & -y_1Y_1 & -y_1Z_1 & -y_1 \\ X_2 & Y_2 & Z_2 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -x_2X_2 & -x_2Y_2 & -x_2Z_2 & -x_2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & X_2 & Y_2 & Z_2 & 1 & -y_2X_2 & -y_2Y_2 & -y_2Z_2 & -y_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ X_N & Y_N & Z_N & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -x_NX_N & -x_NY_N & -x_NZ_N & -x_N \\ 0 & 0 & 0 & 0 & X_N & Y_N & Z_N & 1 & -y_NX_N & -y_NY_N & -y_NZ_N & -y_N \end{bmatrix} \quad (1.17)$$

$$\mathbf{m} = [m_{11}, m_{12}, \dots, m_{33}, m_{34}]^T$$

Bir önceki yöntemde olduğu gibi bu yöntemde de A matrisi TDA (Tekil Değer Ayırıştırılması) yöntemi kullanılarak $A = UDV^t$ şeklinde üç matrisin çarpımı şeklinde ayrıştırılabilir. V^t matrisinin son sütunu bize \mathbf{m} vektörünü verecektir.

1.4. Stereo Görme

Stereo görme, doğrudan derinlik ölçebilme özelliği ile bir sahnenin 3 boyutlu yapısının çıkarılmasında kullanılan çok önemli bir çalışma alanıdır. Bu yapının çıkarılması, sahnenin farklı bakış açılarından alınan iki veya daha fazla görüntüsü kullanılarak gerçekleştirilir. Şekil 1.5.'te stereo görmenin genel prensibi açıklanmaktadır [25].



Şekil 1.3. Basit stereo görme sistemi

Sahnedeki herhangi bir P noktası için, O_L ve O_R sol ve sağ kameraların izdüşüm merkezleridir. I_L ve I_R ise her bir kameraya karşılık gelen görüntü düzlemdir ve eşdüzlemdirler .

Sadece sol kameraların görüntü düzlemindeki konumu bilinen bir P noktası, O_L 'den P 'ye uzanan ışın üzerinde herhangi bir yerde olabilir. Buna stereo eşleme problemi denir. Stereo eşleme problemi çözüldüğünde yani P noktasının, sağ kamera görüntü düzlemindeki konum bilgileri de biliniyorsa, üçgenleme tekniğinden yararlanılarak iki ışının kesişiminden P noktasının gerçek konumu bulunabilir. b , O_L ve O_R arasındaki uzaklık (baseline); p_l ve p_r , P 'nin sol ve sağ kamera görüntü düzlemindeki izdüşümleri; x_l ve x_r , p_l ve p_r izdüşümlerinin x koordinatları; f , odak uzaklığı; Z ise, b 'den P noktasına olan uzaklık (derinlik) olsun. (p_l, P, p_r) ve (O_L, P, O_R) üçgenleri benzerliğinden yararlanılarak Z derinlik bilgisi eşitlik (1.18)'deki gibi hesaplanabilir.

$$\frac{b + x_l - x_r}{Z - f} = \frac{T}{Z} \quad (1.18)$$

$$Z = f \frac{b}{d}$$

d (farklılık) dışındaki bütün terimler, bilinen sabit değerlerdir. Kameraların konumlarına göre nesnelere görüntü düzlemlerinde farklı konumlara düşerler. Bu iki noktanın görüntü düzlemlerinde birbirlerine olan uzaklıkları, farkı d 'yi verir. Görüldüğü gibi d , Z (derinlik) ile ters orantılıdır [27].

1.4.1. Özellik Noktaları Çıkarımı

1.4.1.1. SIFT ile Özellik Çıkarımı

SIFT algoritması, 1999 yılında David Lowe tarafından geliştirilen bir algoritmadır. Nesne tanıma, robot uygulamaları, 3D modelleme ve takip alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. SIFT algoritması, görüntülerden ölçekleme, öteleme ve rotasyondan bağımsız tanımlayıcı vektör oluşturulması üzerine geliştirilmiş bir algoritmadır [28-32].

SIFT özellik çıkarma algoritması adımları şu şekilde tanımlanmaktadır:

- Ölçeksel Uzaydaki Uç Noktaların (Minimum-Maksimum) Tespiti

Uç noktası tespitinde ilk önce örnek uzayın oluşturulması amacıyla Gauss piramidi eşitlik (1.19)'daki gibi uygulanır. Gauss piramidinin temel prensibi $I(x, y)$ görüntüsünün farklı σ değerlerine sahip Gauss süzgecinden geçirilmesidir.

$$L(x, y, \sigma) = G(x, y, \sigma) * I(x, y) \quad (1.19)$$

Eşitlik (1.19)'da G Gauss süzgecini, $*$ korelasyonu, L ise σ değeri için Gauss filtre çıktısını ifade etmektedir.

Gauss uzay farkı (DoG), farklı σ değerlerine sahip Gauss filtreleri ile korelasyon edilmiş görüntülerin farkları alınarak ölçekten ve konumdan bağımsız özellik noktalarını bulmaya olanak sağlamaktadır.

$$\begin{aligned}
D(x, y, \sigma) &= (G(x, y, k\sigma) - G(x, y, \sigma)) * I(x, y) \\
&= L(x, y, k\sigma) - L(x, y, \sigma)
\end{aligned}
\tag{1.20}$$

Burada 26 nokta içinden sadece bir noktanın alt, üst ve kendi düzeyindeki komşularına bakılarak minimum veya maksimum olup olmadığı kontrol edilmektedir. Mevcut pikselin komşu piksellerinden büyük veya küçük olma durumuna göre ekstremum nokta olup olmadığı belirlenmiş olur.

- Özellik Noktası Konumlarının Belirlenmesi

Bir önceki adımda belirlenen olası uç noktalardan bu adımda düşük kontrasta sahip ve kenar bölgelerinde bulunan özellik noktaları, DoG operatörünün yoğun kenardan etkilenmesi ve gürültüye hassas olmasından dolayı minimize edilmektedir.

Düşük kontrasta sahip özellik noktalarının minimize edilmesi amacıyla DoG fonksiyonunun $(D(x, y, \sigma))$ ikinci dereceden Taylor açılımı yapılmaktadır. Eşitlik (1.21)'de uç noktaların yeni konumları hesaplanmakta ve sonuçta eşitlik (1.22) elde edilmektedir.

$$\hat{x} = \frac{d^2 D^{-1}}{dx^2} \frac{dD}{dx} \tag{1.21}$$

$$D(\hat{x}) = \frac{1}{2} \frac{dD^T}{dx} \hat{x} \tag{1.22}$$

Burada DoG fonksiyonu ve türevi her uç nokta için hesaplanmakta ve sonuç belirli bir eşik değerinden küçük ise elenmektedir.

Kenar bölgelerinde tespit edilen uç noktaların minimizasyonu ise eşitlik (1.23)'te verilen Hessian matrisinin öz değerleri hesaplanarak gerçekleştirilir.

$$H = \begin{bmatrix} D_{xx} & D_{xy} \\ D_{xy} & D_{yy} \end{bmatrix} \tag{1.23}$$

Bu matristen elde edilen en büyük öz değer a , en küçük öz değer b ve $r = a/b$ olmak üzere eğer eşitlik (1.24)'teki oran (R) eşik değerinden küçük ise bu uç nokta elenmektedir.

$$R = (r + 1)2/r \quad (1.24)$$

- Özellik Noktalarına Yönelim Atama

Algoritmanın bu adımında, nesnenin iki boyutlu eksen etrafında dönmeden bağımsızlık kazanması amacıyla özellik noktalarına yön ataması gerçekleştirilmiştir. Daha önce σ ölçeğindeki Gauss filtresinden geçirilmiş görüntüdeki her bir özellik noktası etrafında gradyan büyüklüğü $m(x, y)$ ve açısı $\theta(x, y)$ hesaplanır.

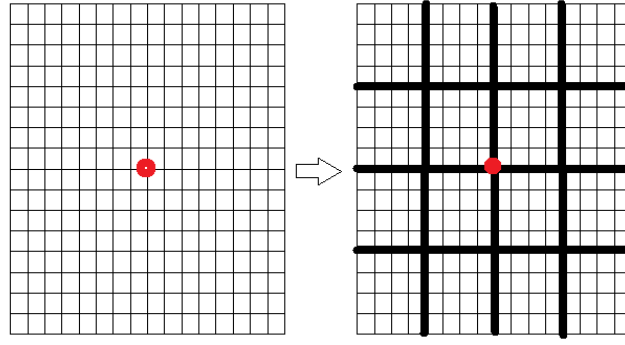
$$m(x, y) = \sqrt{(L(x + 1, y) - L(x - 1, y))^2 + (L(x, y + 1) - L(x, y - 1))^2} \quad (1.25)$$

$$\theta(x, y) = \tan^{-1} \frac{L(x, y + 1) - L(x, y - 1)}{L(x + 1, y) - L(x - 1, y)} \quad (1.26)$$

Tespit edilen özellik noktalarının etrafında belirli piksel alanı alınıp bu piksellerin her birinin gradyanı ve yönü hesaplanır. Bu piksellerden 10 derecelik 36 aralıktan oluşan bir histogram oluşturulmaktadır ve her bir pikselin gradyan büyüklüğü bu histograma eklenmektedir. Eklenen gradyan büyüklükleri toplamı %80' i aşan komşu pikseller yeni özellik noktası olarak kabul edilmekte ve orijinal özellik noktası ve yeni özellik noktası aynı yönelime sahip olmaktadır.

- Tanımlayıcı Oluşturma

Bu aşamada ise, parlaklık, üç boyutlu görünüm gibi değişimlere karşı dayanıklılık kazandırılmaktadır. Birbirinden ayırt edilebilmesi için her özellik noktasına özel tanımlayıcılar oluşturulmaktadır. İlk olarak, özellik noktası etrafındaki 16x16 lık blok 4x4 lük on altı bloğa bölünmekte ve bu blokların gradyanları 8 adet 45 derecelik yönelim kümesine ayrılarak toplanmaktadır.



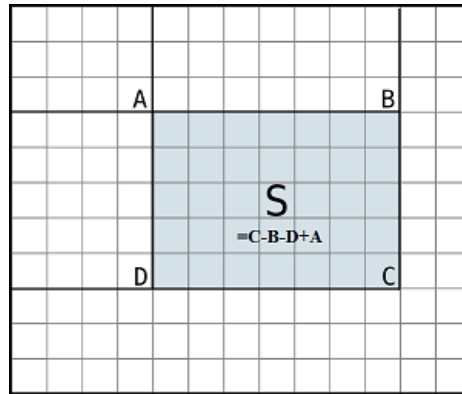
Şekil 1.4. Özellik noktası etrafındaki 16x16 lık blok ve 4x4 lük bloklar

Sonuçta $4 \times 4 \times 8 = 128$ elemanlı vektör özellik noktası tanımlayıcısı olarak belirlenmektedir.

1.4.1.2. SURF ile Özellik Çıkarımı

SIFT yönteminden etkilenerek bir görüntüde anahtar noktası tespit etmeye ve bu anahtar noktalara özellik vektörü çıkarmaya dayanan bu algoritma ilk olarak 2006 yılında Herbert Bay tarafından geliştirilmiştir [33-36].

SURF iki boyutlu Haar dalgacıklarının toplamını temel almakta ve tümlev imgeleri kullanmaktadır. SURF, anahtar noktaları belirlemek amacıyla Hessian matrislerini kullanmaktadır. Haar dalgacıklarının kullanımı ile Hessian tespitleyicilerinin yaklaşık determinantları hesaplanır. SURF yönteminde hesaplama performansını etkileyen önemli tümlev imgeler kullanılmaktadır.



Şekil 1.5. Tümlev görüntü elde edilmesi

Tümlev imgeler, verilen bir dikdörtgen alanın hesaplanmasını hızlandırır. Görüntüdeki her bir piksel için eşitlik (1.27) kullanılarak yeni değerler hesaplanmakta ve sonuçta tümlev görüntü elde edilmektedir. Bu görüntüde her bir pikselin yeni değeri, (x, y) koordinatlarının altında kalan dikdörtgen bölgenin piksel değerlerinin toplamından oluşmaktadır. Tümlev görüntü elde edildikten sonra dikdörtgen bir alanda piksel büyüklüklerinin toplamı artık sadece üç toplama işlemiyle hesaplanabilmektedir.

$$I(x) = \sum_{i=0}^{i \leq x} \sum_{j=0}^{j \leq y} I(x, y) \quad (1.27)$$

SURF özellik çıkarma algoritması adımları şu şekilde tanımlanmaktadır:

- Hessian Matrisi

SURF algılayıcısı Hessian matris determinantını ölçüt olarak kullanmakta ve determinantın maksimum olduğu nokta blob türü yapıları algılamak için kullanılmaktadır.

$$H = \begin{bmatrix} L_{xx}(x, \sigma) & L_{xy}(x, \sigma) \\ L_{xy}(x, \sigma) & L_{yy}(x, \sigma) \end{bmatrix}$$

$$L_{xx}(x, \sigma) = I(x) * \frac{d^2}{dx^2} \quad (1.28)$$

$$L_{xy}(x, \sigma) = I(x) * \frac{d^2}{dxy}$$

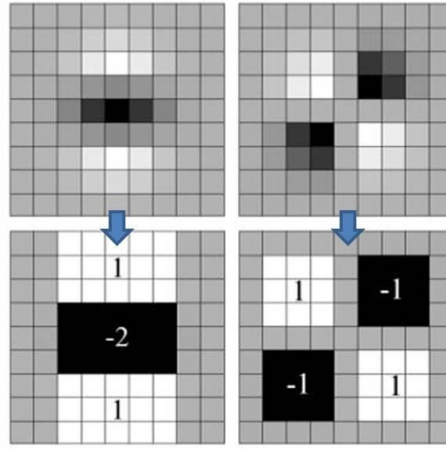
Eşitlikteki $L_{xx}(x, \sigma)$ verilen bir (x, y) noktasında, σ ölçeğinde görüntünün Gauss fonksiyonunun ikinci dereceden türevi $\frac{d^2}{dx^2} g(\sigma)$ ile katlanmasından elde edilmektedir. Benzer şekilde L_{yy} ve L_{xy} elde edilir. Bu türevler Gauss Laplace işleci (LoG-Laplacian of Gaussians) olarak bilinirler. SIFT yöntemi Gauss Laplace işleçlerini Gaussların Farkı (DoG) olarak, SURF yöntemi ise Gauss çekirdeklerini kutu süzgeçleri ile yaklaşık hesaplamaktadır.

- Ölçek Uzayı Oluşturma

Hessian matris için kullanılan Gauss süzgeçleri ölçek-uzay analizi için en uygundur, fakat bu yöntemin uygulanması için bu Gauss süzgeçlerinin $(g(\sigma))$ uygulanmadan önce

ayrıklaştırılıp kırılması gerekmektedir. SURF algoritması bu süzgeçleri kutu süzgeçlerle birlikte kullanmaktadır. Şekil 1.8.'de 9x9 boyutunda $\sigma = 1.2$ değerli Gauss süzgeci kullanılarak elde edilmiş ölçek uzayın en alt seviyesi bulunmaktadır. Şekilde gri alanlar 0'ı, beyazlar pozitif ve siyahlar ise negatif temsil etmektedirler.

Bütün ölçeklerde özellik noktası tespit etmek için değişik boyutlarda ve ölçeklerde kutu süzgeçleri aynı anda tümlev görüntüye uygulayarak ölçek-uzay yapısı çıkarılmaktadır. Bu ölçek-uzay yapısında Hessian determinantlarının sonuç tespiti yapılarak özellik noktaları çıkarılmaktadır.



Şekil 1.6. 9x9 boyutunda $\sigma = 1.2$ değerli Gauss filtresi kullanılarak elde edilmiş ölçek uzayın en alt seviyesi

1.4.2. Stereo Eşleme Problemi

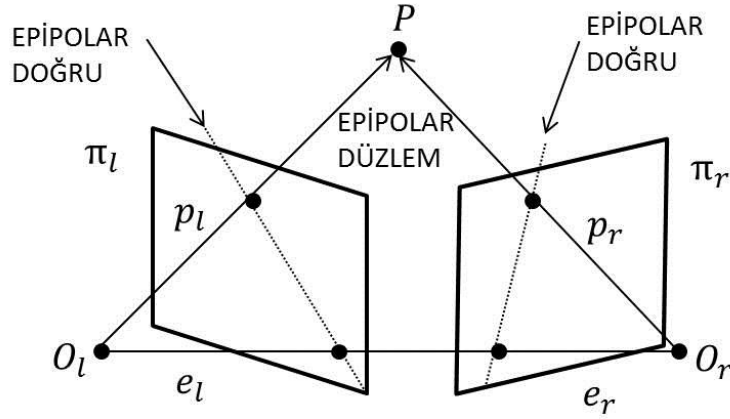
Bir sahnenin 3B yapısının tespit edilebilmesi için farklı görüş açılarından alınmış görüntülerdeki noktaların, diğer görüntü düzlemlerinde karşılık geldiği noktaların bulunması gereklidir. Buna stereo eşleme problemi denir. Stereo eşleme problemi aslında bir arama problemi olarak da adlandırılabilir [37]. Eşleştirilen noktaların konumları arasındaki fark ise stereo uzaklık olarak adlandırılır.

Stereo eşlemenin yapılabilmesi için kameraların stereo kalibrasyon ve stereo doğrultma işlemlerinin yapılması gerekmektedir. Kalibre edilmiş ve düzeltilmiş görüntüler üzerinde derinlik kestirimi daha doğru sonuçlar vermektedir [38]. Kamera kalibrasyonu

Bölüm 1.3'te ayrıntılı bir şekilde anlatıldığından bu bölümde öncelikle konunun daha iyi anlaşılabilmesi için Epipolar Geometri ardından da Stereo Doğrultma tekniği üzerinde durulmaktadır.

1.4.2.1. Epipolar Geometri

Epipolar geometri, stereo görme geometrisidir. Farklı görüş açlarındaki iki kamera 3B bir nesneyi görüntülediğinde, nesnedeki herhangi bir 3B nokta ile kamera merkezleri ve bu noktanın görüntü düzlemine izdüşümleri arasında bazı geometrik ilişkiler oluşur. Bu epipolar geometri ilişkisi Şekil 1.9.'da verilmiştir.



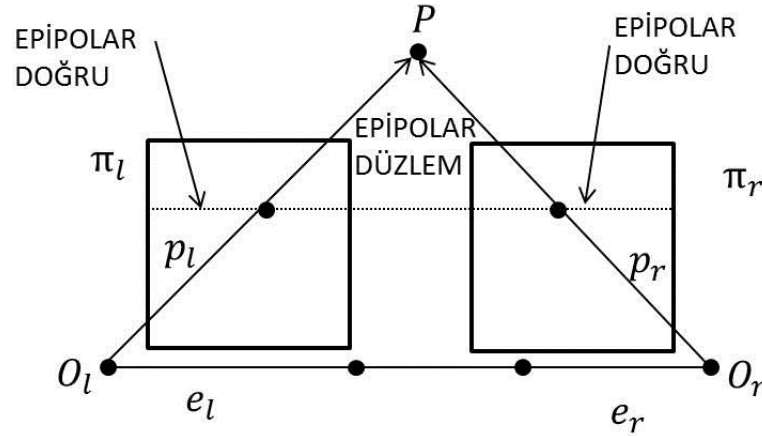
Şekil 1.7. Epipolar geometri

Her iki görüntü dikkate alındığında, üç boyutlu uzayda epipolar düzlem, bir nesne noktası ve her iki görüntünün izdüşüm merkezini içeren düzlem olarak tanımlanır. Bu düzlem, her iki görüntüyü de epipolar doğru olarak adlandırılan doğrularla keser [25, 39, 40].

Eğer iki görüntünün de karşılıklı yöneltmesi biliniyorsa, bir görüntüde verilen herhangi bir nokta için diğer görüntüde epipolar doğru hesaplanabilir ve bu noktaya diğer görüntüde karşılık gelen nokta bu epipolar doğru üzerinde bulunur [40]. Epipolar doğrular genellikle x eksenine paralel değildir. Bu nedenle görüntüler, epipolar doğrular birbirine paralel olacak şekilde "Stereo Doğrultma" işlemine tabi tutulurlar.

1.4.2.2. Stereo Doğrultma

İki kameradan alınan görüntülerin görüntü düzlemlerinin paralel olacak şekilde hizalanması stereo eşleme probleminin çözümünde kullanılan bir ön işlemdir. Bu işlemten sonra iki görüntü üzerindeki eşleştirilen noktalar aynı epipolar doğru üzerinde bulunacağından eşleştirilecek karşılıklı piksellerin aranması artık 2B aramadan Şekil 1.10.'daki gibi aynı doğru üzerindeki tek boyutlu aramaya dönüşmüş olacaktır [37].



Şekil 1.8. Stereo eşleştirme probleminin çözümü

1.4.3. Özellik Noktalarının Eşleştirilmesi

Özellik noktaları her iki görüntüde de ayrı ayrı çıkarıldıktan sonra elde edilen özellik noktaları arasında karşılıklı eşleştirme gerçekleştirilmektedir. Eşleşen özellik noktalarını bulmak için Öklid uzaklığı kullanılmaktadır [32].

Bu uzaklıkların ölçülmesi için $P(p_1, p_2, p_3, \dots, p_n)$ ve $Q(q_1, q_2, q_3, \dots, q_n)$ noktaları arasındaki benzerlik aşağıdaki eşitlikler kullanılarak bulunmaktadır.

Öklid Uzaklığı:

$$d_{\text{öklid}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (q_i - p_i)^2} \quad (1.29)$$

1.4.4. RANSAC Algoritması ile Eşleştirme Hatalarının Minimize Edilmesi

Belirlenen özellikler arasından yanlış eşleştirmelerin belirlenmesi gerekir. RANSAC (Random Sample Consensus) algoritması görüntü dönüşüm (homografi) parametrelerini tahmin etmek için rastgele örnekler kümesi kullanan ve veri için en iyi çözümü bulmayı amaçlayan bir parametre kestirim yaklaşımıdır [41-43]. Bu amaçla belirli dönüşüm matrisleri kullanılarak görüntüdeki homografi piksel koordinat ilişkisi ortaya konulmaktadır. Eşitlik (1.30)'da p_b ve p_a görüntü özellik noktalarını, H_{ab} ise homografi matrisini temsil etmektedir.

$$p_b = H_{ab}p_a \quad (1.30)$$

$$\begin{bmatrix} \hat{x} \\ \hat{y} \\ \hat{1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_0 & m_1 & m_2 \\ m_3 & m_4 & m_5 \\ m_6 & m_7 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

RANSAC yönteminin adımları şu şekildedir:

- N sayıda özellik noktasından dört adet özellik noktası rastgele seçilir.
- Eşitlik (1.30) kullanılarak Homografi matrisinin parametreleri hesaplanır.
- Bulunan parametrelere göre kalan N - 4 özellik noktası çiftinin mesafeleri hesaplanır.
- Hesaplanan mesafeler belirlenen eşik değeri ile karşılaştırılarak eğer küçükse aykırı durumda olmadıklarına karar verilir.
- Maksimum sayıda aykırı durumda olmayan özellik noktası içeren homografi matrisi hesaplanana kadar adımlar tekrarlanır.

1.4.5. 3B Geriçatım

1.4.5.1. Direk Doğrusal Dönüşüm Metodu

İkili (stereo) kamera sistemlerinde P_w noktasının her iki kamerada görüntülenmesi gerekmektedir. Kameraların dış parametreleri (M_l, M_r) ve iç parametreleri (W_l, W_r)

bilinirse 3B uzaydaki konumları hesaplanabilir [43-46]. Herhangi bir $P_w(X, Y, Z)$ noktasının sol ve sağ kamera görüntülerindeki izdüşümleri sırasıyla (c_l, r_l) ve (c_r, r_r) olsun. P noktası koordinatları (1.31)'deki perspektif izdüşüm eşitliklerinden bulunabilir.

$$\lambda_l \begin{pmatrix} c_l \\ r_l \\ 1 \end{pmatrix} = W_l M_l \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} \quad (1.31)$$

$$\lambda_r \begin{pmatrix} c_r \\ r_r \\ 1 \end{pmatrix} = W_r M_r \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix}$$

Eşitlik (1.31)'de elde edilen $P_l = W_l M_l$ ve $P_r = W_r M_r$ matrisleri, 3×4 'lük projeksiyon matrisi olarak adlandırılırlar ve koordinat sistemleri arasındaki dönüşüm direk bu matris kullanılarak hesaplanabilir. Bu eşitlik sisteminde $x, y, z, \lambda_l, \lambda_r$ olmak üzere 5 bilinmeyen, 6 doğrusal eşitlik vardır.

$$P_l \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} - \lambda_l \begin{pmatrix} c_l \\ r_l \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} P_{l11} & P_{l12} & P_{l13} & P_{l14} \\ P_{l21} & P_{l22} & P_{l23} & P_{l24} \\ P_{l31} & P_{l32} & P_{l33} & P_{l34} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} - \lambda_l \begin{pmatrix} c_l \\ r_l \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (1.32)$$

$$P_r \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} - \lambda_r \begin{pmatrix} c_r \\ r_r \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} P_{r11} & P_{r12} & P_{r13} & P_{r14} \\ P_{r21} & P_{r22} & P_{r23} & P_{r24} \\ P_{r31} & P_{r32} & P_{r33} & P_{r34} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} - \lambda_r \begin{pmatrix} c_r \\ r_r \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Eşitlik (1.32)'den faydalanarak;

$$\begin{pmatrix} P_{l11} & P_{l12} & P_{l13} & -c_l & 0 \\ P_{l21} & P_{l22} & P_{l23} & -r_l & 0 \\ P_{l31} & P_{l32} & P_{l33} & -1 & 0 \\ P_{r11} & P_{r12} & P_{r13} & 0 & -c_r \\ P_{r21} & P_{r22} & P_{r23} & 0 & -r_r \\ P_{r31} & P_{r32} & P_{r33} & 0 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ \lambda_l \\ \lambda_r \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -p_{l14} \\ -p_{l24} \\ -p_{l34} \\ -p_{r14} \\ -p_{r24} \\ -p_{r34} \end{pmatrix} \quad (1.33)$$

(1.33) eşitliği elde edilmektedir.

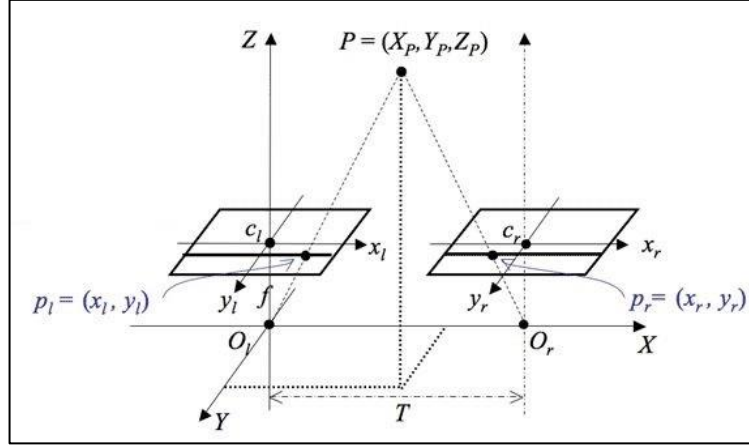
$$X = (A^T A)^{-1} A^T B \quad (1.34)$$

Eşitlik (1.34) kullanılarak karşılıklı eşleşen tüm nirengi noktalarının 3 boyutlu uzaydaki konumları elde edilmektedir. P_w vektörünü hesaplamak için Tekil Değer Ayırımı (TDA) kullanılabilir. TDA işlemi Q matrisini $Q = UDV^t$ şeklinde üç matrisin çarpımı şeklinde ayrıştıracaktır. V^t matrisinin son sütunu P_w noktasının koordinatlarını verecektir.

1.4.5.2. Stereo Uzaklık Kullanılarak Derinlik Tespiti

Stereo doğrultma işlemi iki görüntü üzerindeki özellik noktalarının eşleştirilmesi ve derinlik bilgisinin üretilmesi aşamasında işlemleri kolaylaştıran bir ön işlem olarak kullanılmaktadır. Epipolar Geometri teknikleri kullanılarak kameraların kalibrasyon parametreleri yardımıyla iki kameradan alınan görüntüler aynı düzlem üzerine düşürülür. 3B uzayda epipolar düzlem, bir nesne noktası ve her iki görüntünün projeksiyon merkezini içeren düzlem olarak tanımlanmaktadır ve bu düzlem, her iki görüntüyü de epipolar doğru olarak adlandırılan doğrularla kesmektedir. Eğer iki görüntünün de karşılıklı yöneltmesi biliniyorsa, bir görüntüde verilen bir nokta için diğer görüntüde epipolar doğru hesaplanabilir ve bu noktaya karşılık gelen nokta bu epipolar doğru üzerinde bulunmak zorundadır [40, 48].

Stereo doğrultma işlemi ile eşleme problemi çözüldüğünde 3B uzaydaki bir noktanın sol ve sağ kamera izdüşümleri arasındaki ilişki Şekil 1.11.'deki gibidir. $P(X_p, Y_p, Z_p)$ noktasının sol ve sağ görüntülerdeki izdüşümleri p_l ve p_r , kameraların odak noktaları (O_l, O_r) arasındaki uzaklık da b olduğunda bu noktanın 3B uzaydaki gerçek konumu aşağıdaki gibi hesaplanabilmektedir.



Şekil 1.9. 3B P noktasının stereo doğrultma yapılmış görüntülerdeki karşılık gelen noktaları

$$x_l = f \frac{X_p}{Z_p} \text{ veya } X_p = \frac{Z_p x_l}{f}$$

$$x_r = f \frac{(X_p - T)}{Z_p} \text{ veya } X_p = \frac{Z_p x_r}{f} + T \quad (1.35)$$

$$y_l = y_r = \frac{Y_p f}{Z_p}$$

Eşitliklerde f , kameraların odak uzaklığını ifade etmektedir. Eşitlik (1.35)'ten faydalanarak 3B P noktası koordinatları eşitlik (1.36)'daki gibi hesaplanabilir.

$$Z_p = f \frac{T}{x_l - x_r} \equiv f \frac{T}{d} \quad (1.36)$$

$$X_p = x_l \frac{T}{d} \quad Y_p = y_l \frac{T}{d}$$

Eşitlikte $x_l - x_r$ stereo uzaklık olarak adlandırılmaktadır ve eşleştirilen iki noktanın görüntü düzlemindeki x koordinatları arasındaki farkını vermektedir. Dolayısıyla stereo doğrultma yapılarak eşleme problemi çözüldüğünde ve tüm noktaların doğru olarak eşleştirildiği varsayıldığında 3B koordinatların tespiti de artık kolaylaşacaktır.

1.5. TDA Yöntemi ile El Düzlemi Denkleminin Bulunması

El bölgesinde tespit edilen ve gerçek uzaydaki konumları hesaplanan noktaların dağılımını 3B uzayda bir düzlemi temsil edecektir ve bu noktalara ait 3B koordinat bilgileri yardımıyla bu dağılımı içeren düzlem denklemi belirlenebilir.

TDA, yüz modelleme, bilgi getirimi ve çıkarımı, boyut azaltma ve veri sıkıştırılmaya kadar uzanan geniş bir yelpazede kullanılan temel adımdır [49-51]. $M \times N$ boyutlarında reel A matrisini $A = UDV^T$ olacak şekilde üç matrise ayırmaktadır. Burada U ve V^T , ortogonal matrislerdir. D ise köşegen matristir. D matrisinin köşegen elemanları haricindeki elemanlar sıfırdır, köşegen elemanları ise A matrisinin tekil değerleri olarak adlandırdığımız elemanlardan oluşmaktadır.

A matrisinin rankı r ise $D = \text{diag}(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n)$ değeri $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \dots \geq \sigma_r \geq \sigma_{r+1} = \sigma_{r+2} \dots = \sigma_n = 0$ özelliğini sağlamaktadır. A , elemanları bir imgeye ait piksel değerleri olan bir matris olarak aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$A = UDV^T$$

$$= \begin{bmatrix} u_{1,1} & \dots & u_{1,n} \\ u_{2,1} & \dots & u_{2,n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ u_{M,1} & \dots & u_{M,n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \sigma_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & \sigma_N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{1,1} & \dots & v_{1,n} \\ v_{2,1} & \dots & v_{2,n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{N,1} & \dots & v_{N,n} \end{bmatrix}^T \quad (1.37)$$

Örnek veri üzerinde TDA yönteminin her bir adımında neler gerçekleştirildiği açıklanmaya çalışılacaktır [52].

Yöntemin işlem adımları şöyledir:

- Adım 1: Matrisi al. Bu basit örnekte, 2×3 boyutlu A matrisine TDA yöntemi uygulanacaktır.

$$A = \begin{bmatrix} 3 & 1 & 1 \\ -1 & 3 & 1 \end{bmatrix}$$

- Adım 2: U matrisinin hesaplanması. Bu adımda öncelikle AA^T kovaryans matrisinin öz değer ve öz vektörleri $A\vec{v} = \lambda\vec{v}$ eşitliği kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$AA^T = \begin{bmatrix} 3 & 1 & 1 \\ -1 & 3 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 3 & -1 \\ 1 & 3 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 11 & 1 \\ 1 & 11 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 11 & 1 \\ 1 & 11 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \lambda \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$$

Burada, v , λ özdeğeriyle ilişkilendirilmiş özvektörlerin kümesidir. Örnek için elde edilen öz değer ve öz vektörler aşağıdaki gibidir:

$$\text{Öz değerler } \begin{pmatrix} 10 \\ 12 \end{pmatrix}$$

$$\text{Öz vektörler } \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix}$$

Elde edilen öz vektör matrisinin her bir sütununa Gram-Schmidt normalizasyon yöntemi uygulanır ve sonuçta U matrisi elde edilir.

$$\vec{u}_1 = \frac{\vec{v}_1}{|\vec{v}_1|} = \frac{[1, 1]}{\sqrt{1^2 + 1^2}} = \left[\frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{1}{\sqrt{2}} \right]$$

$$\vec{w}_2 = \vec{v}_2 - \vec{u}_1 \cdot \vec{v}_2 * \vec{u}_1 = [1 \quad -1]$$

$$\vec{u}_2 = \frac{\vec{w}_2}{|\vec{w}_2|} = \frac{[1, 1]}{\sqrt{1^2 + 1^2}} = \left[\frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{-1}{\sqrt{2}} \right]$$

$$U = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{-1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix}$$

- Adım 3: V matrisinin hesaplanması. Bu adımda da bir önceki adımda olduğu gibi $A^T A$ kovaryans matrisinin öz değer ve öz vektörleri $A\vec{v} = \lambda\vec{v}$ eşitliği kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır. Görüldüğü gibi kovaryans matrisinin değişmesi

dışında diğer tüm adımlar aynı şekilde uygulandığında elde edilecek olan V matrisinin transpozu aşağıda verilmiştir.

$$V^T = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{6}} & \frac{2}{\sqrt{6}} & \frac{1}{\sqrt{6}} \\ \frac{2}{\sqrt{5}} & \frac{-1}{\sqrt{5}} & 0 \\ \frac{1}{\sqrt{30}} & \frac{2}{\sqrt{30}} & \frac{-5}{\sqrt{30}} \end{bmatrix}$$

- Adım 4: D matrisinin hesaplanması. Daha önce hesaplanan her iki matrisin sıfırdan farklı öz değerlerinin karekökleri D matrisinin köşegen değerleri olacak şekilde yazılır. Bu değerler yazılırken her iki matrisin de öz değerleri aynı olduğundan herhangi bir matrisin öz değerleri kullanılabilir ancak d_{11} en büyük öz değer olacak şekilde azalan sırada yazılmalıdır.

$$D = \begin{bmatrix} \sqrt{12} & 0 & 0 \\ 0 & \sqrt{10} & 0 \end{bmatrix}$$

Sonuçta A matrisi üç matrisin çarpımı şeklinde aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$A_{mn} = U_{mm} D_{mn} V_{nn}^T = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{-1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{-1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sqrt{12} & 0 & 0 \\ 0 & \sqrt{10} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{6}} & \frac{2}{\sqrt{6}} & \frac{1}{\sqrt{6}} \\ \frac{2}{\sqrt{5}} & \frac{-1}{\sqrt{5}} & 0 \\ \frac{1}{\sqrt{30}} & \frac{2}{\sqrt{30}} & \frac{-5}{\sqrt{30}} \end{bmatrix}$$

1.6. Geometrik Görüntü Dönüşümleri (Rektifikasyon)

Rektifikasyon, görüntülerin doğal olarak sahip oldukları distorsiyonlarının giderilmesiyle en az hatalı hallerinin elde edilmesi işlemidir ve görüntüye geometrik dönüşüm uygulayarak gerçekleştirilmektedir. Bu durumda problem, geometrik hataları düzeltmek için kullanılacak olan hata düzeltme fonksiyonunu (dönüşüm fonksiyonunu ve parametrelerini) belirleme ve hesaplama problemi olarak ele almaktadır [53, 54].

Geometrik görüntü dönüşümünde ilk adım piksel-koordinat dönüşümüdür. Bu dönüşümünde amaç, kaynak görüntüdeki piksellerin, hedef görüntüdeki koordinatlarını hesaplamaktır. İkinci adım ise hedef görüntüdeki piksellerin parlaklığını hesaplamada kullanılan gri düzey enterpolasyonu (resampling) işlemidir.

1.6.1. Benzerlik Dönüşümü

Benzerlik dönüşümü; iki öteleme, bir ölçekleme ve bir dönme ile tanımlanmaktadır. x , y distorsiyonlu kaynak görüntüdeki piksel koordinatları ve x' , y' hedef görüntü koordinatları olmak üzere (1.38)'deki eşitlikler yazılabilir.

$$x' = a_0 + a_1x + a_2y \quad (1.38)$$

$$y' = b_0 + b_1x + b_2y$$

Burada $a_2 = b_1$ ve $a_1 = -b_2$ yazılarak benzerlik dönüşümü gerçekleştirilir. Dönüşüm için, her iki görüntüde belirlenen iki ortak nokta yardımıyla hesaplanan dönüşüm parametreleri kullanılmaktadır. Dönüşüm parametrelerinin hesabında iki nokta çifti yeterli olduğundan hesaplama yükü olmayan bir yöntemdir. Ancak görüntüdeki distorsiyonu tam olarak modellemek neredeyse imkansızdır.

1.6.2. Afin Dönüşümü

Afin dönüşümü, dönme, öteleme, ölçekleme ve eğrilik gibi geometrik dönüşüm elemanlarını içeren 6 parametrelili bir dönüşüm yöntemi olarak tanımlanmaktadır. Dönüşüm eşitlikleri (1.39)'daki gibi yazılabilir.

$$x' = a_0 + a_1x + a_2y \quad (1.39)$$

$$y' = b_0 + b_1x + b_2y$$

Dönüşümün gerçekleştirilebilmesi için, 6 adet a_i , b_i parametresinin önceden bilinmesi ya da her iki görüntüde belirlenen 3 ortak nokta çifti yardımıyla hesaplanması gerekmektedir.

1.6.3. Projektif Dönüşüm

Projektif dönüşümde, görüntülerdeki merkezi izdüşümden kaynaklanan perspektif etki giderilerek ortogonal bir hedef görüntüsü elde edilmektedir. Sonuçta kaynak görüntü paralel izdüşümle elde edilmiş gibi nesne düzlemine paralel bir hale getirilir.

Projektif dönüşüm, iki düzlem arasındaki ilişkiyi iki görüntüde de belirlenen dört nesne noktadan elde edilen sekiz parametreyle tanımlamaktadır. İç ve dış yöneltme elemanlarına gerek yoktur. Çünkü, bu parametreler yöneltme elemanlarını zaten içermektedir. Dönüşüm eşitlikleri (1.40)'daki gibi yazılabilir.

$$x = \frac{a_1x' + a_2y' + a_3}{c_1x' + c_2y' + 1} = f_x(x', y')$$

$$y = \frac{b_1x' + b_2y' + b_3}{c_1x' + c_2y' + 1} = f_y(x', y')$$

(1.40)

Fonksiyon dikkatlice incelenirse, kolinearite eşitliklerine benzemektedir. Eşitlikteki a_i , b_i ve c_i parametreleri kolinearite denklemleri yardımıyla hesaplanmaktadır. Kolinearite denklemlerinde $Z = 0$ alınıp, $(-r_{33} \cdot c)$ ile bölünürse, kolinearite eşitlikleri (1.40)'daki gibi elde edilir. Burada r_{33} , dönme matrisinin elemanı ve c kameranın asal uzaklığıdır.

1.7. Gri Düzey Enterpolasyonu

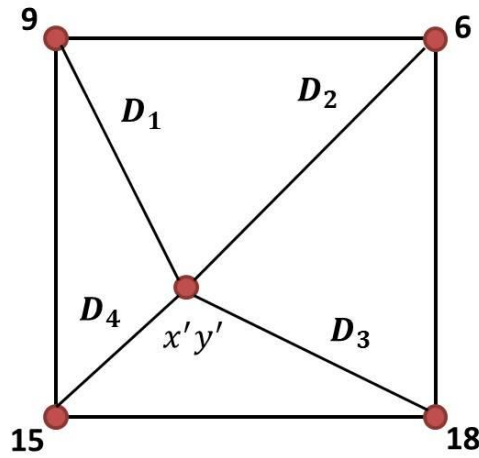
Gri düzey enterpolasyonu, hesaplanan yeni piksel noktasının parlaklık değerinin, etrafındaki komşu pikseller kullanılarak hesaplanmasını sağlayan tekniklerin genel adıdır. Pikselin yeni parlaklık değerinin bulunması işlemi olduğu için genel olarak, yeniden örnekleme (resampling) ya da gri düzey yeniden örnekleme (gray-level resampling) olarak da adlandırılmaktadır [53].

Gri düzey enterpolasyonu, hedef görüntünün kalitesini etkilediğinden önemlidir. Seçilecek enterpolasyon yöntemi görüntü kalitesini dolaylı olarak da doğruluğu etkileyecektir. Ayrıca yöntem, mümkün olduğunca az işlem yükü gerektirirken, görüntü kalitesinde kayba da neden olmamalıdır. Literatürde sıklıkla kullanılan enterpolasyon yöntemleri; en yakın komşuluk, bi-lineer enterpolasyon ve bi-kübik enterpolasyondur.

En yakın komşulukta, dönüşüm sonrası en yakın komşu pikselin parlaklık değeri alınır. Çok hızlı bir yöntem olmasına rağmen bir çok durumda hedef görüntüde basamaklı bir görünüm oluşturmaktadır. Bi-lineer enterpolasyon, gri düzey değeri bulunacak pikselin dördü komşuluğuna bakar ve bu komşulukta, parlaklık fonksiyonunun bi-lineer olduğunu kabul eder ancak hedef görüntüde basamaklanma etkisi azalırken bulanıklaşma görülmektedir. Bi-kübik enterpolasyon yönteminde, parlaklık fonksiyonu olarak bi-kübik polinomal yüzey fonksiyonu kullanılır. Enterpolasyon için 16 komşu piksel kullanılır. Bi-kübik enterpolasyonda, hem en yakın komşuluk enterpolasyondaki basamaklanma sorunu hem de bi-lineer enterpolasyondaki bulanıklaşma sorunu oluşmamaktadır.

1.7.1. En Yakın Komşuluk

Bu yöntemde, kaynak görüntüde (x, y) pikselinin düzeltilmiş değeri, kendine en yakın komşu piksel değerlerinden faydalanılarak hesaplanmaktadır. Basit bir yöntemdir ve orijinal değerler değişmez. Fakat bazı pikseller kaybolurken bazılarının ise çifti oluşabilir [55, 56].

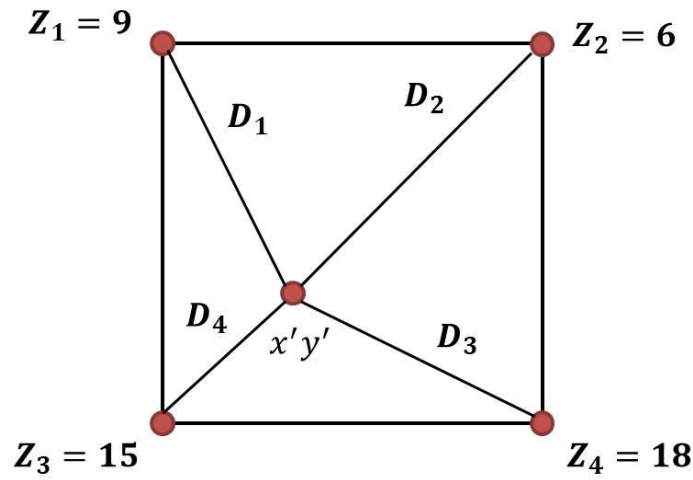


Şekil 1.10. En yakın komşuluk gösterimi

Şekil 1.12.'de görüldüğü gibi $D_4 < D_1, D_2, D_3$ olduğundan (x, y) pikselinin yeni değeri kendine en yakın noktanın gri seviyesi (15) olur.

1.7.2. Bilineer Enterpolasyon

Kaynak görüntüde (x, y) pikselinin düzeltilmiş değeri, piksel konumuna en yakın dört pikselin ortalama ağırlığı kullanılarak hesaplanmaktadır. Orjinal piksel değerleri değişir ve görüntü haricinde yeni piksel değerleri oluşur [55, 56].



Şekil 1.11. Bilineer enterpolasyon gösterimi

Şekil 1.13.'te görüldüğü gibi (x, y) pikselinin yeni değeri kendine en yakın 4 noktanın gri seviyeleri ve bu noktalara olan uzaklıklar kullanılarak eşitlik (1.41)'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$GD_{Bilineer} = \frac{\sum_{k=1}^4 \frac{Z_k}{D_k^2}}{\sum_{k=1}^4 \frac{1}{D_k^2}} \quad (1.41)$$

Eşitlikte Z_k komşu 4 noktaya ait gri piksel değerleri, D_k ise (x, y) noktasından çevredeki 4 noktaya olan mesafelerdir. Sonuçta yeni değer, hesaplanan gri değerden kesirli kısım atılarak bulunur.

1.7.3. Bikübik Enterpolasyon

Kaynak görüntüde, (x, y) pikselinin düzeltilmiş değeri piksel konumunu çevreleyen 16 pikseli bir bloğun ağırlıklı ortalaması kullanılarak hesaplanmaktadır. Bilineer enterpolasyonda olduğu gibi bu yöntem de tamamen yeni piksel değerleriyle sonuçlanmaktadır [55, 56].

(x, y) pikselinin yeni değeri kendine en yakın 16 noktanın gri seviyeleri ve bu noktalara olan uzaklıklar kullanılarak eşitlik (1.42)'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$GD_{Bikübik} = \frac{\sum_{k=1}^{16} \frac{Z_k}{D_k^2}}{\sum_{k=1}^{16} \frac{1}{D_k^2}} \quad (1.42)$$

Eşitlikte Z_k çevredeki 16 noktaya ait gri piksel değerleri, D_k ise (x, y) noktasından çevredeki 16 noktaya olan mesafelerdir. Sonuçta yeni değer, hesaplanan gri değerden kesirli kısım atılarak bulunur.

1.8. AGM Yöntemi ile Avuç Bölgesinin Bölütlenmesi

Aktif görünüm modeli (AGM), [Cootes et al., 1998] hedef nesnenin şekil bilgisinin yanında doku bilgisini kullanan model tabanlı bölütleme yöntemidir. Bu durum, nesnedeki her bir pikselin parlaklık değerinin de modele dahil edildiği anlamına gelmektedir [57-59].

AGM, kaynak imge ile hedef imge arasındaki farkı minimize eden model parametrelerini bulmaya dayanmaktadır. Aktif Görünüm Modeli'nin temel adımları şunlardır:

- Adım 1: İlk olarak, eğitim kümesindeki imgelerdeki bölütlenecek nesnenin önemli öznitelik noktaları elle belirlenmektedir.
- Adım 2: Aktif görünüm modeli ölçek, dönme ve öteleme gibi değişimleri Genelleştirilmiş Procrustes Analizi (GPA) ve afin bükme (Affine Warping) yardımı ile normalize etmektedir. Eğitim kümesindeki tüm nesnelere ait önemli noktalar elle işaretlenerek tüm eğitim kümesi için GPA yardımı ile ortalama nesne şekli elde edilir. Elde edilen ortalama şekli referans şekil olarak kabul

ederek, eğitim kümesindeki tüm nesnelere referans nesneye bükülür. Böylece tüm görüntüler olası değişimlerin olumsuz etkilerinden arındırılmış olur.

- Adım 3: Bu noktaların oluşturduğu x vektörü üzerinde TBA metodu uygulanmakta ve böylece şekil ve doku eşitlik (1.43)'teki gibi ifade edilmektedir.

$$x = \bar{x} + P_s b_s \quad (1.43)$$

$$x = \bar{g} + P_g b_g$$

\bar{x} ortalama şekli, P_s eğitim kümesinden hesaplanan şeklin değişimin modlarını ve b_s şekil parametrelerini göstermektedir. P_s kovaryans matrisinin en yüksek değerli k adet özdeğerine karşılık gelen k adet özvektördür. \bar{g} ortalama doku vektörü, P_g kovaryans matrisinin en yüksek değerli k adet özdeğerine karşılık gelen k adet özvektörü ve b_g doku parametrelerini göstermektedir.

- Adım 4: Şekil ve doku parametreleri (b_s, b_g) eşitlik (1.44)'teki gibi birleştirilir ve böylece ortalama model hem şekil, hem de doku bilgisini içermektedir. Piksel uzaklıkları ve aralarındaki ağırlıklandırma W_s ile gerçekleştirilir.

$$b = \begin{bmatrix} W_s b_s \\ b_g \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_s \Phi_s^T (x - \bar{x}) \\ \Phi_g^T (g - \bar{g}) \end{bmatrix} \quad (1.44)$$

- Adım 5: Şekil ve doku arasındaki ilişki eşitlik (1.45) ile elde edilir.

$$b = \Phi_c c = \begin{bmatrix} \Phi_{c,s} \\ \Phi_{c,t} \end{bmatrix} c \quad (1.45)$$

Burada c , ilişki modeli parametreleridir.

- Adım 6: Hız artışı sağlamak amacıyla elde edilen öz uzaylar (Φ_s, Φ_t, Φ_c) öz değerlerinin toplamına bağlı olarak belirli oranda kırılır.

$$\sum_{i=1}^t \lambda_i \geq \frac{p}{100} \sum_i \lambda_i \quad (1.46)$$

- Adım 7: Model yerleştirilirken kullanılmak üzere, parametre değişimlerini karakterize eden regresyon/gradyan matrisi oluşturulur.

1.9. Özellik Çıkarma ve Sınıflandırma

1.9.1. Dalgacık Dönüşümü

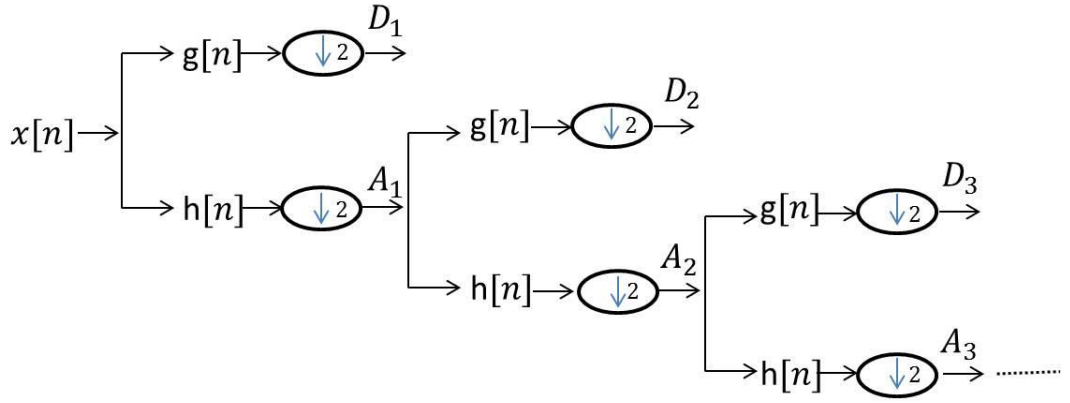
Dalgacık dönüşümü Fourier dönüşümünün durağan olmayan sinyallerdeki eksiklerini gidermek için geliştirilmiş farklı bir dönüşüm yöntemidir. Bu analiz yöntemi gürültüye karşı daha az hassasiyet göstermekte ve durağan olmayan sinyallere rahatlıkla uygulanabilmektedir. Dalgacık ifadesi olarak 1909 yılında Alfred Haar tarafından ortaya atılmıştır [60-63].

Dalgacık dönüşümü (DD) işareti farklı frekans bileşenlerine ayıran ve bu bileşenleri kendi frekans seviyesinde değerlendiren bir dönüşüm işlemidir. Sürekli ve ayrık olmak üzere iki farklı şekilde incelenmektedir. Sürekli dalgacık dönüşümünde ölçeklendirme ve dönüşüm parametrelerinin sürekli değişiminden dolayı her bir ölçek için dalgacık katsayılarının hesaplanması zor ve zaman alıcı olmaktadır. Bu nedenle ayrık dalgacık dönüşümü uygulamalarda daha sık kullanılmaktadır.

Görüntü bazında dalgacık, görüntüdeki değişken boyutlara sahip, değişken bölgelerde yer alan ve değişken frekanslara sahip olan yerel öznelikleri çıkarabilmek amacıyla kullanılan matematiksel bir araç olarak ifade edilebilir.

1.9.2. Ayrık Dalgacık Dönüşümü

Ayrık Dalgacık Dönüşümü (ADD) 2'nin katlarını temel alacak şekilde ölçekler ve ötelemeler içermektedir. ADD ile hesaplama yükü azalmakta ve böylelikle Sürekli Dalgacık Dönüşümü (SDD)'ne göre daha çok kazanç sağlanmaktadır. Dalgacık dönüşümü ile işaret belli sayıda ölçeklere ayrılmaktadır. Çoklu çözünürlük ayrışımı olarak isimlendirilen bu işlem, $x(n)$ işareti için Şekil 1.14.'te gösterilmektedir.



Şekil 1.12. Ayrık dalgacık dönüşümünün gerçekleştirilmesinde alt bandlara ayırışım; $g(n)$ yüksek geçiren filtre, $h(n)$ alçak geçiren filtre

İşaret yüksek frekansları analiz etmek için yüksek geçiren, alçak frekansları analiz etmek için de alçak geçiren filtreden geçirilir. Alçak frekans içeriği işaretler için genellikle tanınmasını sağlayacak özellikler içerirler. Yüksek frekans içeriği ise işaretin kendisiyle alçak frekansa sahip bölgesi arasındaki farkı oluşturmaktadır. ADD’nde bu alçak ve yüksek frekanslı bileşenler detay ve yaklaşık katsayıları ortaya çıkarır. Yüksek ölçekli alçak frekanslı olan bileşenler yaklaşıkları ifade ederken, düşük ölçekli yüksek frekanslı bileşenler ise detayları ifade eder. Tüm hepsi dalgacık katsayılarını oluşturmaktadır. Şekil 1.14.’te, ilk yüksek geçiren filtreye ($g[.]$) ve alçak geçiren filtreye ($h[.]$) ait olan örneklenmiş çıkışlar sırası ile ayrıntılı D_1 ve yaklaşık A_1 alt bandlarını oluşturur. A_1 yaklaşım bandı tekrar ayırır ve bu işlem şekilde görüldüğü gibi devam eder.

$f(n)$ sinyalinin alçak geçiren (AGS) ve yüksek geçiren (YGS) filtreler uygulandığında elde edilecek çıkışlar eşitlik (1.47)’de verilmiştir.

$$A_1 = \sum_{k=-\infty}^{\infty} f(k)g(2n - k) \quad (1.47)$$

$$D_1 = \sum_{k=-\infty}^{\infty} f(k)h(2n - k)$$

A_1 yaklaşım katsayıları, sinyalin yüksek ölçekli alçak frekans bileşenlerini göstermektedir. D_1 ayrıntı katsayıları, sinyalin düşük ölçekli yüksek frekans bileşenlerini

göstermektedir. Başlangıçta 1024 örnek olduğu kabul edilirse filtreler uygulandıktan sonra 1024 yaklaşım bileşeni ve 1024 ayrıntı bileşenleri elde edilmiş olur. Ve böylece 1024 değer yerine toplamda 2048 değer elde edilmiş olur. Görüldüğü gibi ayrıştırma işlemiyle başlangıçtaki işaretin örnek sayısından iki kat fazla veri elde edilmesinden dolayı her filtre çıkışında örnek sayısı yarıya düşürülmelidir. Buna alt örnekleme adı verilmektedir. Böylelikle örnek sayısının bir önceki örnek sayısı ile aynı tutulması sağlanacaktır. Bunu sağlamak için Şekil 1.14.'te görüldüğü gibi, alt örnekleme yapılarak 512 değerli A1 ve D1 katsayıları elde edilmiş olur. Aşağı örnekleme sonucunda ölçek iki katına çıkar. Ve çözünürlük yarıya iner.

ADD'nde en çok kullanılan filtreler ve bu filtrelere ait katsayılar Tablo1'de verilmiştir.

Tablo 1.1. Bazı dalgacık filtrelerinin katsayıları

k	Haar	Daub 4	Coiflet 6	Symmlet 8
	1	0.48296291	0.03858077	0.03222310
	1	0.83651630	-0.12696912	-0.01260396
		0.22414386	-0.07716155	-0.09921954
		-0.12940952	0.60749164	0.29785779
			0.745687755	0.80373875
			0.22658426	0.49761866
				-0.02963552
				-0.07576571

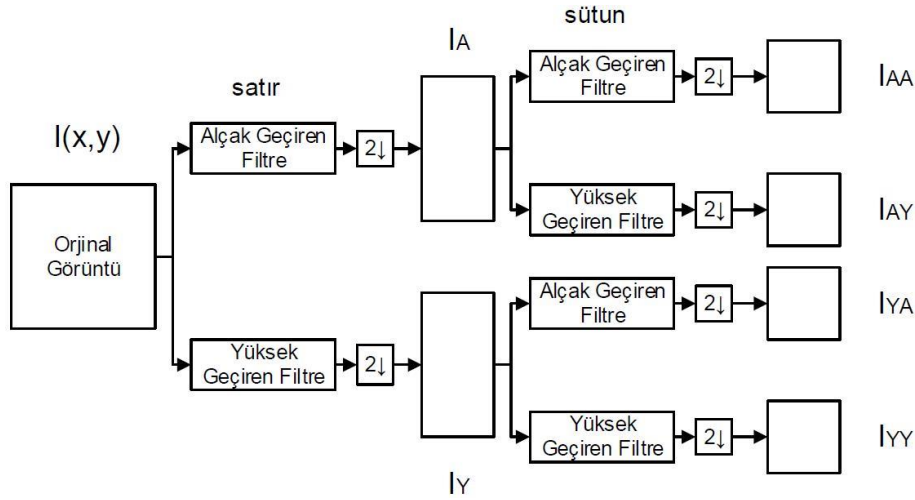
1.9.3. ADD'nin Görüntüye Uygulanması

İki boyutlu ADD ile birlikte I giriş görüntüsü 4 alt banta (AA, AY, YA, YY) ayrıştırılır. Bu bantlardan AA, hem yatay hem de dikey yönde gerçekleştirilen alçak geçiren filtreleme işlemi ile elde edilmektedir ve görüntünün düşük frekanslı ve düşük boyutlu bir kopyası olarak ifade edilebilir. AY bandı, yatay yönde alçak geçiren filtreleme, dikey yönde yüksek geçiren filtreleme ile elde edilmektedir. Görüntünün yatay özelliklerini taşımaktadır. YA bandı, yatay yönde yüksek geçiren filtre, dikey yönde alçak

geçiren filtre uygulanması sonucu oluşmaktadır ve görüntünün dikey özelliklerine sahiptir. YY bandı ise yatay ve dikey yönde yüksek geçiren filtreleme ile elde edilmektedir. Bu bant görüntüye ait diyagonal özellikleri taşımaktadır.

ADD'nin görüntüye bir kez uygulanması bir seviyeli dalgacık dönüşümü yapılması anlamına gelmektedir. Aynı filtreler ile örneğin AA bandına filtreleme tekrar uygulanırsa dönüşüm iki seviyeli hale gelmektedir. AA bandına filtrelerin tekrar uygulanması ile istenildiği kadar seviye arttırılabilir.

Şekil 1.15.'te iki seviyeli dalgacık dönüşümünü giriş görüntüsüne nasıl uygulanacağı gösterilmektedir.



Şekil 1.13. Görüntüye wavelet uygulanması

1.9.4. Çekirdek Fisher Ayırtacı

ÇFA, Fisher Doğrusal Ayırtacı (FDA)'nın doğrusal olmayan problemlerde başarısız olmasından dolayı ortaya çıkan bir tekniktir. FDA'daki bu problemin çözümünde, FDA'nın doğrusal olmayan versiyonu olan Çekirdek Fisher Ayırtacı (ÇFA) önerilmiştir. Bu yöntemde amaç, çekirdek kavramının kullanımı ile FDA'yı doğrusal olmayan özellik uzayında gerçekleştirilebilmektir ve boyut azaltmak için yaygın olarak kullanılmaktadır.

ÇFA sınıfları en iyi şekilde ayırt edecek doğrusal olmayan özellikleri çıkarmaktadır. Bu nedenden dolayı birçok gerçek dünya uygulamalarında etkili bulunmuştur [64-66].

$\{x_i | i = 1, \dots, l\}$ eğitim kümesi ve bu örneklere karşılık düşen $y \in \{-1, +1\}^l$ sınıf etiketleri olsun. ÇFA, FDA'nın doğrusal olmayan özellik uzayında gerçekleştirilmesine

dayandığından öncelikle FDA'nın çalışma prensibine bakmak gerekir. Fisher doğrusal ayırtacı sınıflar arası varyansı en büyük, sınıflar içi varyansı da en küçük olan en iyi ayırıcı hiperdüzlemi bulmayı amaçlamaktadır. Bu Rayleigh katsayısının (1.48) büyütülmesi ile sağlanabilir.

$$J(w) = \frac{w^T S_B w}{w^T S_W w} \quad S_B = (m_2 - m_1)(m_2 - m_1)^T \quad (1.48)$$

$$S_W = \sum_{k=1,2} \sum_{i \in I_k} (x_i - m_k)(x_i - m_k)^T \quad (1.49)$$

(1.48) ve (1.49) eşitlikleri sırasıyla sınıflar arası ve sınıflar içi dağılım matrislerini ifade etmektedir. m_k ve I_k ortalama vektörleri, k ise ilgili sınıf indisidir. (1.48)'deki Rayleigh katsayısını maksimize edilmesinde amaç, öngörölmüş sınıf ortalamasını maksimum yapan yönü bulurken bu yöndeki sınıf varyansını da minimize etmektir. Bu katsayı doğrusal özellik uzayına sahiptir.

Problemi çekirdek mantığıyla doğrusal olmayan özellik uzayında formüle etmek için eğitim örneklerinin kullanımının iç çarpımlar biçiminde ifadesi gerekmektedir. Bu amaçla giriş örnekleri doğrusal olmayan bir uzaya haritalanıp doğrusal olmayan yönler hesaplanıp ardından (F) özellik uzayında FDA hesaplanır.

Φ , F özellik uzayında doğrusal olmayan haritalama olsun. Bu özellik uzayındaki doğrusal ayırtacı bulmak için (1.50)'teki Rayleigh katsayısının maksimum yapılması gerekmektedir.

$$J(w) = \frac{w^T S_B w}{w^T S_W w} \quad (1.50)$$

$$S_B^\Phi = (m_1^\Phi - m_2^\Phi)(m_1^\Phi - m_2^\Phi)^T \quad (1.51)$$

$$S_W^\Phi = \sum_{i=1,2} \sum_{x \in X_i} (\Phi(x) - m_i^\Phi)(\Phi(x) - m_i^\Phi)^T$$

$$m_i^\Phi = (1/l_i) \sum_{j=1}^{l_i} \Phi(x_j^i) \quad (1.52)$$

Burada $w \in F$ şartı sağlanmaktadır, ayrıca S_B^Φ ve S_w^Φ yeni özellik uzayındaki sınıflar arası ve sınıflar içi dağılım matrislerini ifade etmektedir. Eğer burada F , çok yüksek boyutlu hatta sonsuz boyutlu olursa bu durumda verilerin düşük boyutlu bir uzaydan bu uzaya haritalanması imkansız olacaktır. Dolayısıyla bu işlemi gerçekleştirebilmek için çekirdek hilesi kullanılmaktadır. Böylece eğitim örneklerini haritalamak yerine iç çarpımlar biçiminde ifadesiyle $(\Phi(x) \cdot \Phi(y))$ çekirdek kullanılarak doğrusal olmayan özellik uzayında formüle edilmiş olunur. Bu da Mercer çekirdekleri [mercer] kullanılarak $k(x, y) = (\Phi(x) \cdot \Phi(y))$ şeklinde gerçekleştirilir. Bu çekirdeklerin seçiminde polinomial çekirdek $k(x, y) = (x \cdot y)^d$, Gaussian çekirdek $k(x, y) = \exp(-\frac{\|x-y\|^2}{\sigma})$ uygun olarak belirlenmiştir.

(1.50) eşitliğine bakıldığında $w \in F$ için (1.53) eşitliği yazılabilir.

$$w = \sum_{i=1}^{n_i} \alpha_i \Phi(x_i) \quad (1.53)$$

(1.52) ve (1.53) eşitlikleri birleştirilirse (1.54) eşitliği elde edilir. Burada w 'nin genişletilmiş hali ve m_i^Φ kullanılmaktadır.

$$w^T m_i^\Phi = \frac{1}{l_i} \sum_{j=1}^{l_i} \sum_{k=1}^{l_i} a_j k(x_j, x_k^i) = \alpha^T M_i \quad (1.54)$$

Burada $(M_i)_j = \frac{1}{l_i} \sum_{j=1}^{l_i} \sum_{k=1}^{l_i} k(x_j, x_k^i)$ tanımlanmıştır ve iç çarpım yerini çekirdek fonksiyonuna bırakmıştır. Bu eşitlikler kullanılarak (1.50) eşitliğinin bir kısmı (1.55) ve (1.56) şeklinde tekrar yazılabilir.

$$w^T S_B^\Phi w = \alpha^T M \alpha \quad (1.55)$$

$$w^T S_w^\Phi w = \alpha^T N \alpha \quad (1.56)$$

(1.55) ve (1.56) eşitliklerinde yer alan $M = (M_1 - M_2)(M_1 - M_2)^T$, $N = \sum_{j=1,2} K_j(I - 1_{l_j})K_j^T$ şeklinde ifade edilir. Bu eşitlikler birleştirildiğinde elde edilen (1.57) eşitliğinin maksimize edilmesiyle F uzayındaki Fisher doğrusal ayırtacı bulunur.

$$J(\alpha) = \frac{\alpha^T M \alpha}{\alpha^T N \alpha} \quad (1.57)$$

Bu problem $N^{-1}M$ matrisinin öz vektörleri bulunarak çözülebilir ve bu yaklaşıma ÇFA denilmektedir. Yeni bir örneğin ÇFA ile oluşturulan özellik uzayına projeksiyonu (1.58) eşitliğindeki gibi gerçekleşmektedir.

$$(w \cdot \Phi(x)) = \sum_{i=1}^l \alpha_i k(x_i, x) \quad (1.58)$$

1.9.5. En Yakın Komşuluk (EYK) ile Sınıflandırma

Sınıflandırmanın amacı, test olarak verilen görüntünün özellikleri ile eğitim görüntülerinin özelliklerinin karşılaştırılarak birtakım benzerlik ölçütlerine göre test görüntüsü ile eğitim görüntülerinin ne kadar eşleştiğini belirlemektir. Çoklu biyometrik uygulamalarında kullanılan sınıflandırma yaklaşımları genellikle test ve eğitim görüntülerinin arasındaki uzaklığa dayanan En Yakın Komşuluk (EYK) ile gerçekleştirilmektedir.

Bu sınıflandırıcıların tasarımında en önemli nokta benzerliğin nasıl ölçüleceğidir. Benzerlik ölçümünde test ve eğitim özellikleri arasındaki uzaklığa bakılmaktadır ve uzaklık hesabında çeşitli uzaklık ölçütleri kullanılmaktadır: Öklid uzaklığı, Ağırlıklandırılmış Öklid Uzaklığı gibi farklı metotlar vardır. Bu uzaklık ölçütleriyle $P = (p_1, p_2, \dots, p_n)$ ve $Q = (q_1, q_2, \dots, q_n)$ noktaları arasındaki uzaklığın hesaplanması aşağıdaki eşitliklerde verilmektedir.

1.9.5.1. Öklid Uzaklığı

Öklid uzaklığı matematikteki pisagor bağıntısına dayanarak iki örüntü arasındaki doğrusal uzaklığı ölçmektedir. Test ve eğitim örüntülerine ait i . özelliklerin karelerinin farklarının toplamının karakökü ile hesaplanmaktadır.

$$D_k(p, q) = \left\{ \sum_{i=0}^d (p_i^2 - q_i^2) \right\}^{1/2} \quad (1.59)$$

1.9.5.2. Ağırlıklandırılmış Öklid Uzaklığı

Genellikle çok boyutlu veriler için kullanılan ve öklit uzaklığına göre daha iyi sonuç vermesi beklenen bir uzaklık ölçütüdür. Bu ölçütte Öklid uzaklığından farklı olarak standart sapma değeri hesaplanıp Öklid uzaklığına bölünerek ağırlıklandırma gerçekleştirilir.

$$D_k(p, q) = \left\{ \sum_{i=0}^d \frac{p_i^2 - q_i^2}{\sigma_k^2} \right\}^{1/2} \quad (1.60)$$

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEME

2.1. Giriş

Bu tez çalışmasında 3B bilgilerinin elde edilmesi amacıyla, mevcut yöntemlere alternatif olabilecek ikili (stereo) kamera sistemi önerilmiştir. İnsan görme sisteminin bir nevi taklidi olacak bu çalışmadaki ikili kamera sistemi, kameralar üzerine düşen nesnelerin 3B uzaydaki konumları hakkında bilgi verecek, böylece avuç bölgesinin duruşu tespit edilerek temassız ve kısıtlamasız ortamda avuç izi tanıma sistemi geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Çalışmada temassız ve kısıtlamasız sistem prototipleri ile esnek kullanımlı çevrimdışı veritabanı sistemi oluşturulmuştur.

Sistemin çalışmasından önce kameraların birbirlerine göre olan konumlarının (dış parametreler) ve iç parametrelerinin tespit edilmesi amacıyla bir önışlem (kamera kalibrasyonu) gerçekleştirilmiştir. Özellik noktalarının eşleştirilmesini kolaylaştıracak bir önışlem olan stereo doğrultma ile iki kameradan alınan görüntü düzlemlerinin tam olarak hizalanması sağlanmıştır. 3B bilgilerinin elde edilebilmesi için her iki kameradan alınan görüntülerde belirli sayıda özellik noktası tespit edilmesi gerekmektedir. Özellik noktalarının tespitinde SIFT ve SURF özellik çıkarma algoritmaları kullanılarak görüntülerin özellik noktaları çıkarılmıştır. Çıkarılan özellik noktaları Öklid uzaklığı kullanılarak eşleştirilmiş, RANSAC yöntemi kullanılarak yanlış eşleştirmeler minimize edilmiştir.

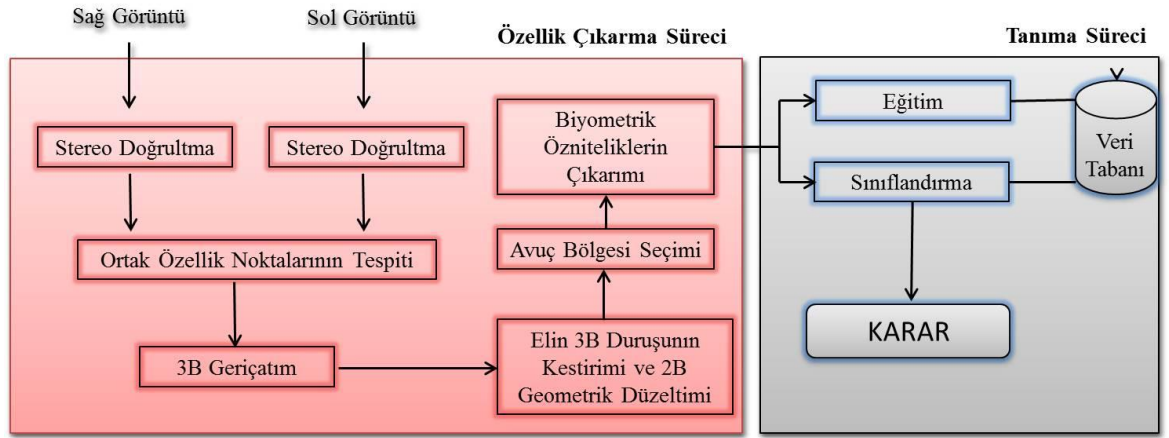
Eşleştirilen noktaların 3B uzaydaki konumlarının belirlenmesinde (3B Geriçatım) Direk Doğrusal Dönüşüm (DLT) metodu uygulanmış, bu noktaların oluşturduğu düzlem ve yönü Tekil Değer Ayrışımı (TDA) ile belirlenmiştir. Avuç bölgesinin duruşu geometrik dönüşüm yöntemlerinden Perspektif Dönüşüm uygulanarak düzeltilmiştir.

Avuç bölgesinin bölütlenmesinde serbest arka plana sahip sistemler için aktif görünüm modelinin kullanılması önerilmiştir. Avuç izi bölgesinin tespitinde girdi verileri, ham el görüntüleri ve bu görüntüler üzerinde yerleşmiş AGM noktalarıdır. Bu iki girdi verisi ve temel analitik işlemler yardımıyla tanımda kullanılacak avuç izi örüntüleri elde edilmiştir.

Avuç izi örüntülerine öncelikle görüntü normalizasyonu uygulanmıştır ve veriler Ayırık Dalgacık Dönüşümü ile tayfsal domene aktarılmıştır. Normalizasyon işleminden

sonra görüntüler sıfır ortalamaya ve birim standart sapmaya sahip olup, ışık, rotasyon, öteleme vb. koşulların yan etkilerinden bağımsız hale getirilmiştir. Dalgacık dönüşümüyle ise görüntüleri en iyi ifade edecek frekans bilgileri elde edilmiştir. Daha sonra eğitim setindeki örüntüleri en iyi şekilde temsil edecek ve ayırt edici özneliklerini çıkarmak amacıyla gerçek dünya problemlerinde çok başarılı olan, sınıfları en iyi şekilde ayırt eden ve çekirdek yaklaşımı ile doğrusal olmayan özellikleri çıkaran Çekirdek Fisher Ayırtıcı kullanılmıştır.

Sınıflandırmada ise En Yakın Komşuluk (EYK) yöntemi Öklit ve Ağırlıklandırılmış Öklit uzaklıkları ile uygulanmıştır. Şekil 2.1.'de sistemin temel işlem adımları verilmiştir.



Şekil 2.1. Sistemin temel işlem adımları

2.2. 3B Avuç İzi Tanıma Sistemi

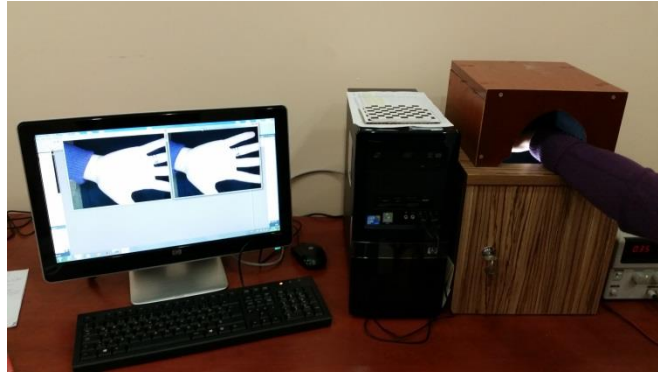
3B serbest ortamda avuç izi tanıma, son yıllarda araştırmacıların etkin biçimde ilgilendiği konulardan biridir. Bu konu ile ilgili olarak 3B bilgisini elde etmek amacıyla literatürde yapısal ışık kaynağı ve 3B tarayıcıların kullanıldığı çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalarda çok detaylı bilgi üretilmesine rağmen maliyetleri çok yüksek ve tarama hızları gerçek zamanlı uygulamalar için çok düşüktür. Geliştirilen çalışmada mevcut 3B avuç izi örüntüsü elde etme tekniklerine alternatif olabilecek bir stereo kamera sistemi oluşturulmuştur. Stereo kamera sistemleri diğer 3B tekniklere göre daha az maliyetli olmasına rağmen hesaplama karmaşıklığı, eşleştirme problemleri ve her bir kameraya yansıyan farklı ışık değerleri hassas 3B tarama yapmayı zorlaştırmaktadır. Önerilen

yöntemde ise avuç izi bölgesine ait çok detaylı 3B nokta bulutu hesaplamak yerine bu bölgenin 3B konumunu ve yönelimini bulmada yardımcı olabilecek sayıda özellik noktasının tespit edilmesi yeterli olmaktadır. Sistemde birbirine benzer fiziksel özelliklere sahip iki farklı web kamera kullanılmıştır. Aynı zamanda kamera sisteminin ortamdaki ışık kaynaklarından fazla etkilenmemesi için kendi ışık kaynağı da bulunmaktadır. Böylece çevre ışık kaynakları büyük oranda bastırılmış olacaktır.

Avuç izi doğrulama sisteminin oluşturulmasından önce laboratuvar ortamında prototip geliştirilerek gerekli yazılım ve düzenekler hazırlanmıştır (Şekil 2.2.). Prototip şu bileşenlerden oluşmaktadır:

- Standart özelliklere sahip kişisel bilgisayar;
- Avuç görüntüsünü yakalamak amacıyla 2 adet düşük maliyetli CMOS kamera;
- Elin parlaklığında oluşabilecek muhtemel değişimleri engellemek amacıyla LED tabanlı aydınlatma sistemi;

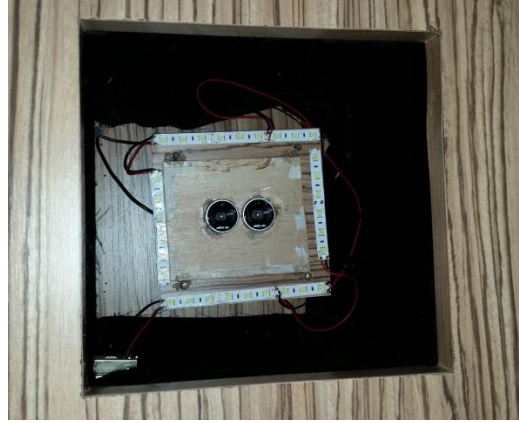
El yerleştirme platformunun üst bölgesi kapatılarak kamera görüş alanı içerisinde, elin arka plandan ayırt edilmesi nokta eşleştirme probleminin çözülmesi amacıyla kuvvetlendirilmiştir. Bu düzenleme ile eşleştirilecek noktaların sadece el üzerinde olması kolaylaştırılmaktadır. Yine görüntülerde oluşacak parlaklığın azaltılması amacıyla düzeneğin iç bölgesi siyah mat kumaş ile kaplanmıştır.



Şekil 2.2. Çevrimdışı avuç izi tanıma sistemi için geliştirilen prototip

Hazırlanan bu prototip (Şekil 2.2.) kullanılarak bir avuç izi tanıma sistemi geliştirilerek Bilgisayar Mühendisliği Bölümü Bilgisayarla Görme Laboratuvarında 70 kişiden iki ayrı oturumda, 30 kişiden tek oturumda önceden belirlenen senaryolarda görüntü alınarak toplam 3204 görüntü içeren bir veritabanı oluşturulmuştur.

Stereo kamera sisteminin hazırlanması aşamasında ise 6 cm mesafe ile yerleştirilmiş iki adet web kamerasından 1280x960 çözünürlükte görüntüler alınmıştır. Görüntü alımı yapılırken kameraların birbirine paralel olacak şekilde konumlandırılması, stereo eşleme adımında arama uzayını tek boyuta indirgemektedir. Bu da hız açısından avantaj sağlamaktadır. Şekil 2.3.'de oluşturulan stereo kamera sistemi için geliştirilen prototip verilmiştir.



Şekil 2.3. Stereo kamera sistemi için geliştirilen prototip

Bu veritabanındaki görüntüler iki grup halinde ele alınmıştır. Birinci gruptaki görüntüler elin kamera düzlemine paralel olduğu düz görüntülerdir. İkinci gruptaki görüntüler ise 4 farklı yönde (kuzey-güney-doğu-batı) ve elin kamera düzlemine göre 15-30-45 açılarda durduğu şekilde 12 farklı pozisyonda alınmış görüntülerdir (Tablo 2). Her pozisyon için kullanıcılardan parmaklarını orta açıklıkta tutarak kullanıcılardan sağ el avuç içi görüntüleri vermeleri istenmiştir. Veritabanında birinci grupta 1224, ikinci grupta 1980 adet görüntü bulunmaktadır. Çalışmada senaryoların her birinin kullanıcılardan iki ayrı seansta (1-1.5 hafta sonra) alınması yeterli görülmüştür.

Tablo 2.1. Veri tabanı senaryoları

	15	30	45	Toplam
Kuzey	1	1	1	3
Güney	1	1	1	3
Doğu	1	1	1	3
Batı	1	1	1	3
Toplam	4	4	4	12

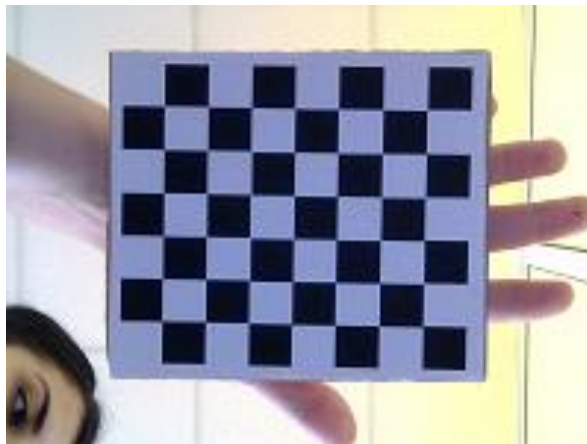
2.3. Kalibrasyon Süreci

Stereo kamera sisteminde 3B bilgilerinin üretilmesi kullanılan kameraların birbirlerine göre konumlarının (dış parametreler) ve iç parametrelerinin tespit edilmesi gerekmektedir. Kalibrasyon işleminin kurulan sistem için bir defa yapılması yeterli olacaktır. Kalibrasyon işlemi için ölçüleri bilinen bir nesne seçilmelidir. Bu işlem için 1998 yılında Zhang tarafından önerilen düzlemsel zeminli nesnelere de kullanılmaktadır. Satranç tahtası bu işlem için ideal bir nesnedir. Literatürde bazı kalibrasyon metotları üç boyutlu nesnelere kullanılmaktadır ancak iki boyutlu bir satranç tahtası bu işlemi yapmak için çok daha pratiktir [67, 68].

Satranç nesnesinin boyutu seçilirken kullanılacak görüntü sayısı (K) ve köşe sayısı (N) önemli rol oynamaktadır. Bu değişkenlere bağlı olarak eşitlik (2.1)'de verilen şartın sağlanması gerekmektedir [69].

$$2NK > 6K + 4 \quad (2.1)$$

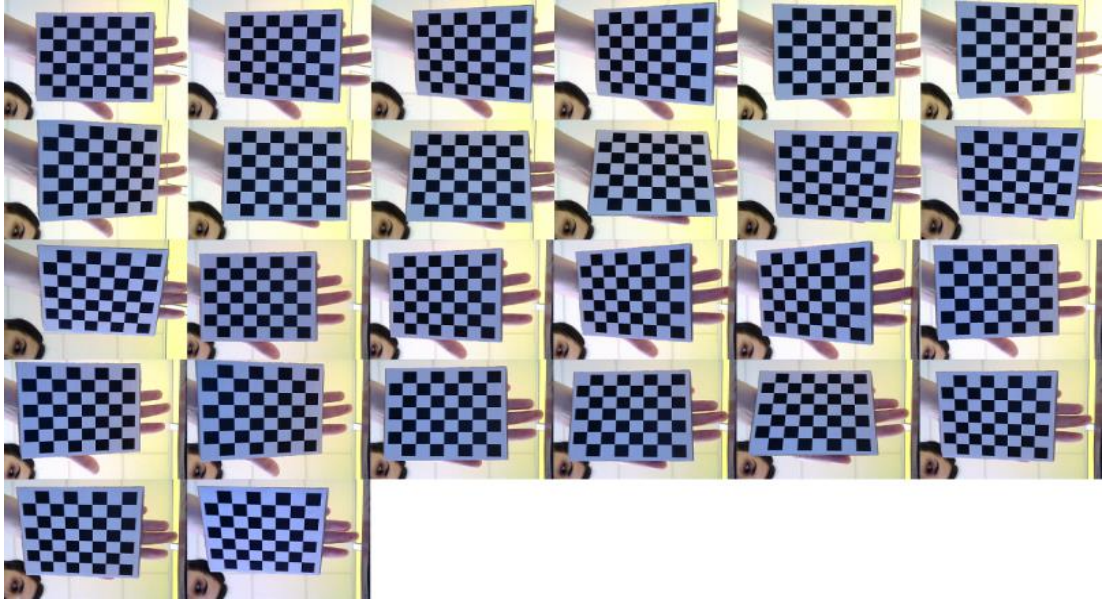
Bu denklemde distorsiyon parametreleri ihmal edildiğinde 4 iç parametre sayısını 6 ise dış parametre sayısını temsil etmektedir. Dolayısıyla $K > 1$ olması gerektiğinden 3x3 boyutlu satranç tahtasından alınan iki görüntü kalibrasyon için yeterli olmaktadır, ancak pratikte yapılan çalışmalar göz önüne alındığında yüksek kalitede sonuçlar alınması için en az 10 örnek görüntüye sahip 7x8 veya daha büyük boyutlu satranç tahtası seçilmesi uygun görülmüştür.



Şekil 2.4. Kalibrasyon için kullanılan düzlemsel nesne

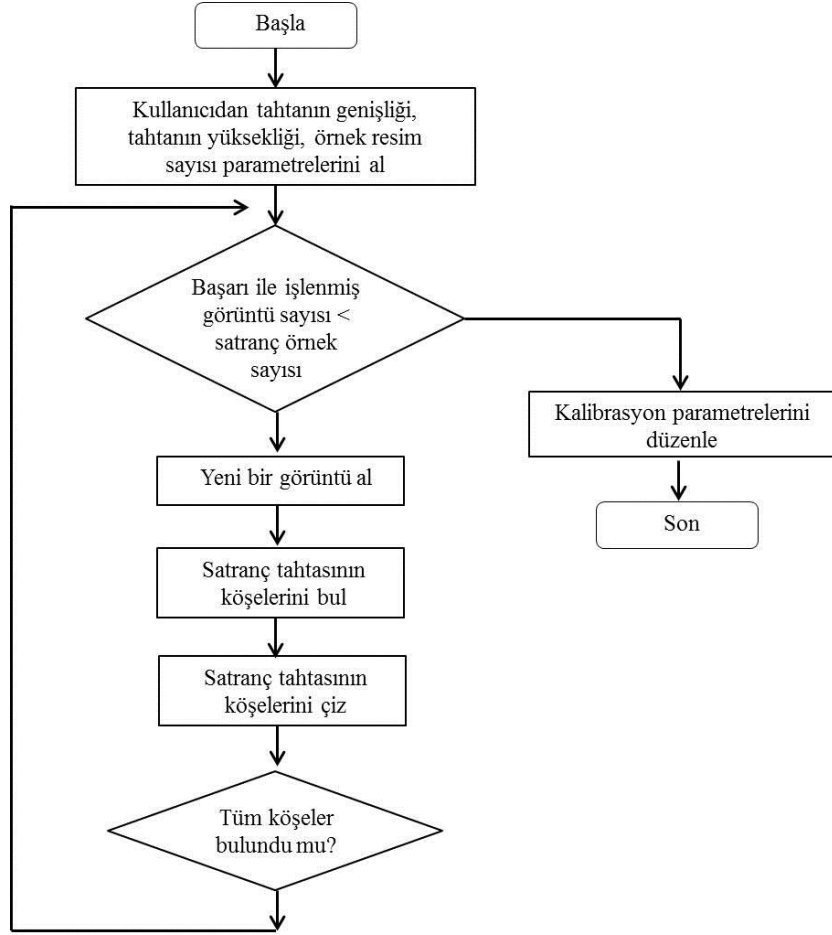
Sistemde kullanılan kameraların kalibrasyonu için Şekil 2.4.'de verilen her bir karesinin kenar uzunluğu 16 mm olan 7x8 boyutlu bir satranç tahtası kullanılmıştır. Seçilen satranç nesnesinin iki kameradan eş zamanlarda alınan belli sayıda görüntüsü üzerinden kameraların iç (intrinsic) ve dış (extrinsic) parametreleri hesaplanmıştır.

İlk olarak her iki kameradan eş zamanlı alınan ve 1 adet düz ve 12 adet farklı yönlerde ve açılarda döndürülmüş olmak üzere toplam 26 kalibrasyon görüntüsü elde edilmiştir. (Şekil 2.5.) Bu görüntüler kullanılarak öncelikle her bir kamera için ayrı kalibrasyon yapılarak iç ve dış parametreler hesaplanmış (Tablo 3,4), ardından dış parametreler birleştirilerek iki kamera arasındaki dönme ve öteleme yani kameraların birbirlerine göre konumu belirlenmiştir (Tablo 5). Kalibrasyon işleminin akış diyagramı Şekil 2.6.'da verilmiştir.

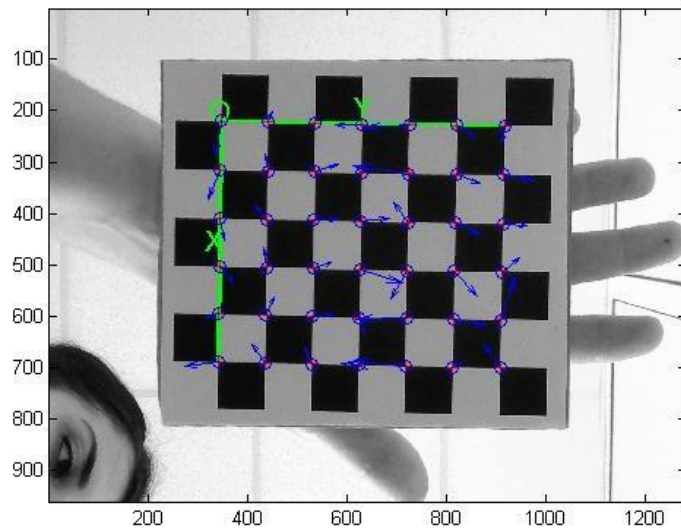


Şekil 2.5. Kalibrasyon için kullanılan düzlemsel nesne görüntüleri

Bu akış diyagramında iki temel adım vardır. Birinci adımda gerçek satranç tahtası görüntüsü ile kamera görüntüsü eşleştirilerek tüm köşe noktaları tespit edilmiştir. İkinci adımda ise bilinen değerler, denklemler yardımıyla en küçük kareler yöntemiyle model parametreleri çıkarılmıştır. Şekil (2.7)'de satranç tahtası üzerindeki tüm köşeler çizilmiştir; böylece gözlenen köşelerle bilgisayar tarafından belirlenmiş olan köşelerin doğru eşleşip eşleşmediği belirlenebilmektedir.

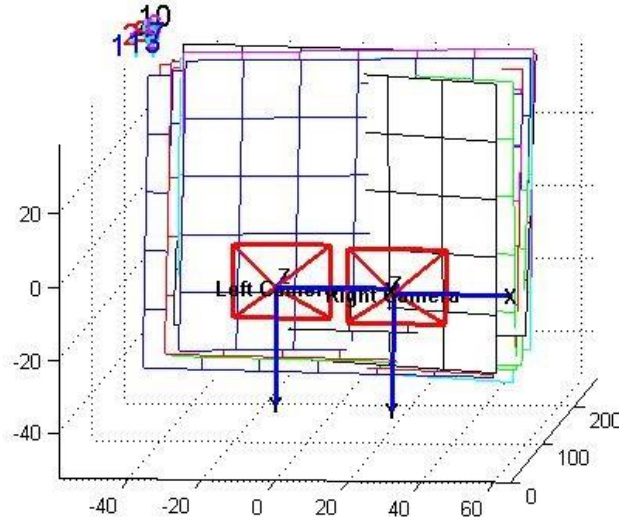


Şekil 2.6. Kalibrasyon işlemi akış diyagramı



Şekil 2.7. Satranç tahtası üzerinde tespit edilen köşe noktaları

Şekil 2.8.'de Tablo 5'te hesaplanan kameraların birbirlerine göre olan konum bilgilerinin dahilinde elde edilen kamera konumlarının oluşturduğumuz kamera sistemimizle benzer olduğu görülmüştür.



Şekil 2.8. Kameraların birbirlerine göre konumları

Tablo 2.2. Sağ Kamera Parametreleri

Odak uzaklığı (fc)	[1537.82087 1523.53082]
Ana nokta (cc)	[639.53347 438.71303]
Distorsiyon Katsayıları (kc)	[0.22488 -1.15767 -0.02210 -0.00654 0.00000]
Pixel hatası (err)	[0.65030 0.51400]
Dönme matrisi (R)	[0.013775 0.997648 0.06714 0.999841 -0.014501 0.10336 0.011285 0.066996 -0.99768]
Öteleme vektörü (T)	[-64.997224 -42.014573 248.688693]

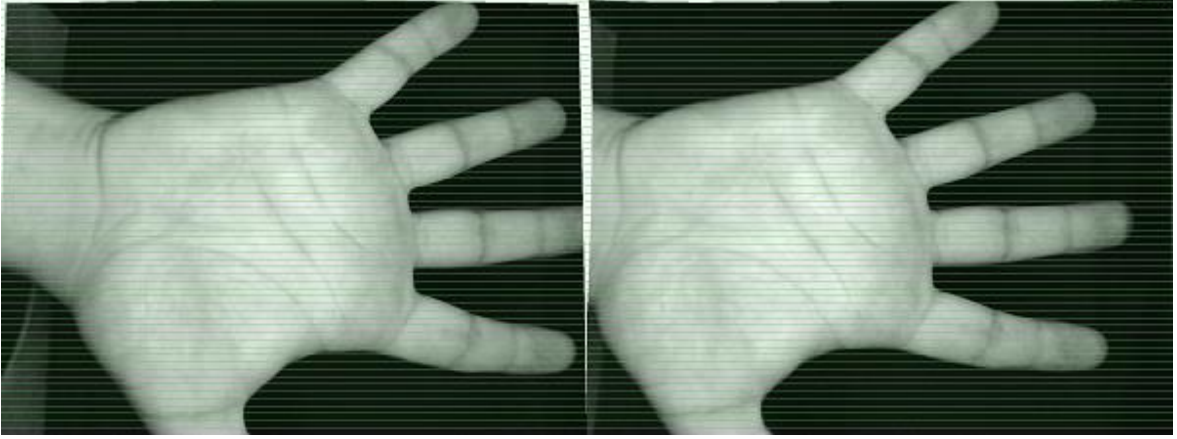
Tablo 2.3. Sol Kamera Parametreleri

Odak uzaklığı (fc)	[1531.95013 1522.22233]
Ana nokta (cc)	[680.79050 398.45203]
Distorsiyon Katsayıları (kc)	[0.09864 -0.22954 -0.2757 0.00590 0.00000]
Pixel hatası (err)	[0.62321 0.45699]
Dönme matrisi (R)	[-0.005153 0.989989 0.141048 0.999979 0.005654 -0.003152 -0.003918 0.141028 -0.989998]
Öteleme vektörü (T)	[-46.566221 -36.725222 241.093332]

Tablo 2.4. İki kamera arasındaki dönme ve öteleme

Dönme vektörü (R)	[0.01952 0.06301 -0.01767]
Öteleme vektörü (T)	[-32.39110 -0.89257 0.13804]

İki kameradan alınan görüntü düzleminin tam olarak hizalanması ilgin noktaların eşleştirilmesini kolaylaştıracak bir ön işlemdir. Bu işlemden sonra iki görüntü üzerindeki eşleştirilen noktalar aynı epipolar doğru üzerinde bulunacağından eşleştirilecek karşılıklı piksellerin aranması artık 2B bir aramadan aynı doğru üzerindeki tek boyutlu bir aramaya dönüşmüş olacaktır. Şekil 2.9.'da stereo doğrultma uygulanmış sağ ve sol kamera görüntüleri görülmektedir. Eşleştirilecek noktalar artık aynı satır üzerinde bulunacağından görüntüler üzerine yatay çizgiler çekilmiştir.



Şekil 2.9. Doğrultulmuş Sol ve Sağ Kamera Görüntüleri

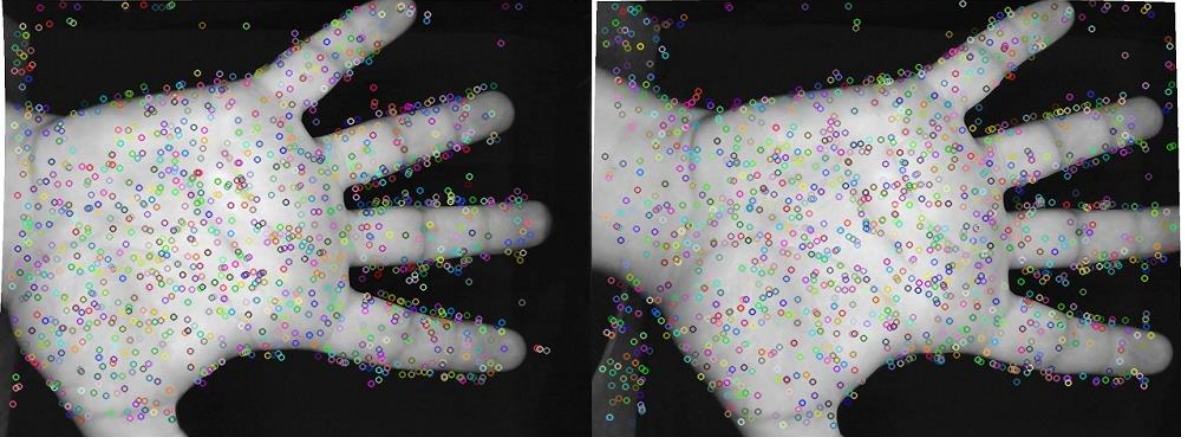
2.4. Stereo Eşleme ve 3B Geriçatım

Bir nesnenin duruşunu belirleyebilmek için farklı bakış açılarından çekilmiş stereo görüntülerindeki belirli sayıda özellik noktasının 3B uzaydaki koordinatlarının elde edilmesi gerekir.

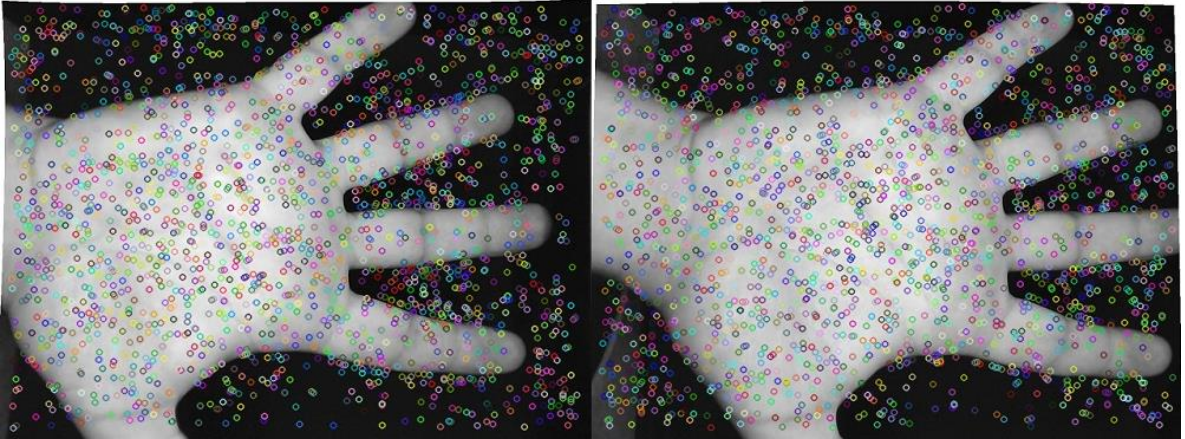
Çalışmamızda bu işlem şekil tabanlı yöntemlerden SIFT ve SURF ile gerçekleştirilmiştir. SIFT, görüntü üzerinde tespit edilen ilgin noktalara özellik tanımlayıcı vektör oluşturulan bir yöntem olup imgenin boyutundan, imgenin alındığı kameranın bakış açısından, imgenin alındığı ortamın ışık koşullarından, imgedeki nesnelerin açısından bağımsız olarak nokta tespitini etkin bir şekilde gerçekleştirebilmektedir. SURF yöntemi

ise SIFT yönteminden etkilenecek anahtar noktası tespit etmeyle ve bu anahtar noktalarına özellik vektörü çıkarmakla gerçekleştirilen bir tekniktir.

Şekil 2.10. (a) ve (b)'de sırasıyla SIFT ve SURF yöntemlerinden elde edilen sonuçlar verilmiştir.



(a)



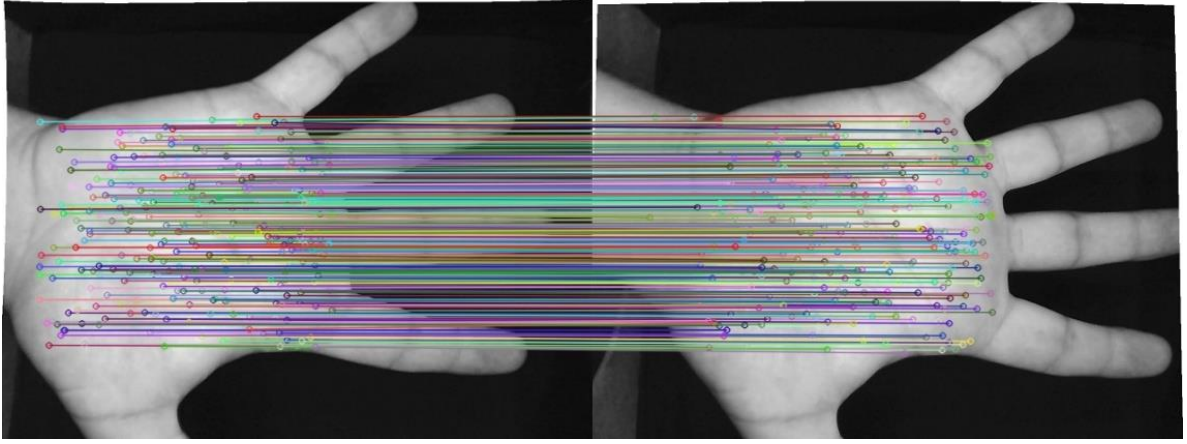
(b)

Şekil 2.10. (a) SIFT ve (b) SURF algoritmaları ile tespit edilen özellik noktaları

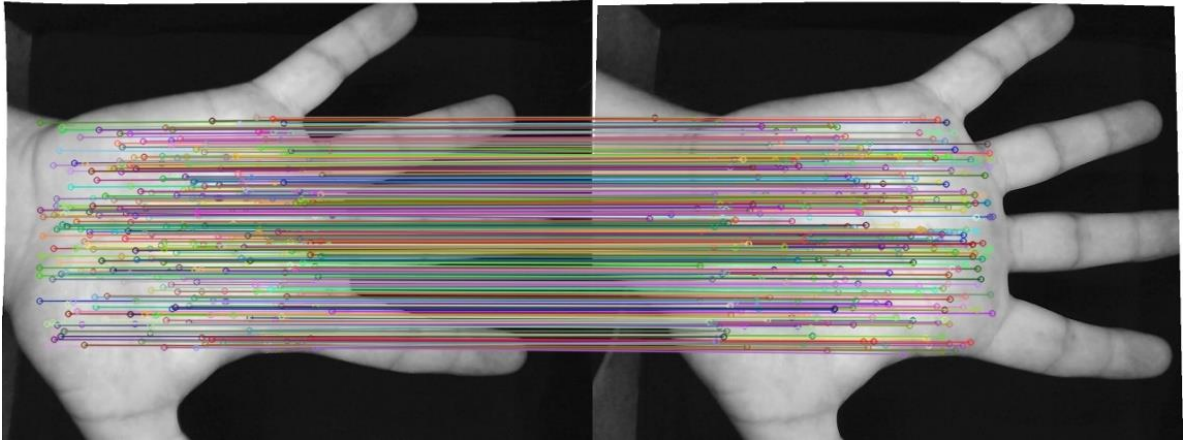
Bu aşamada SIFT ve SURF yöntemleri ile bulunan özellik noktalarının eşleştirilmesi için ise Öklid uzaklığı kullanılmaktadır. Şekil 2.11.'de bir önceki aşamada elde edilen özellik noktalarının eşleştirilmesi gösterilmektedir. Sonuçta elde edilen özellik noktaları Tablo 2.5'te verilmiştir.

Tablo 2.5. Elde edilen özellik noktalarının ve eşleşme sayılarının karşılaştırılması

Algoritma	Görüntü Boyutu	Özellik noktası sayısı		Eşleşen noktalar
		Sağ	Sol	
SIFT	640x480	1260	1350	285
SURF	640x480	2110	2118	336
SIFT+RANSAC	640x480	--	--	204
SURF+RANSAC	640x480	--	--	246



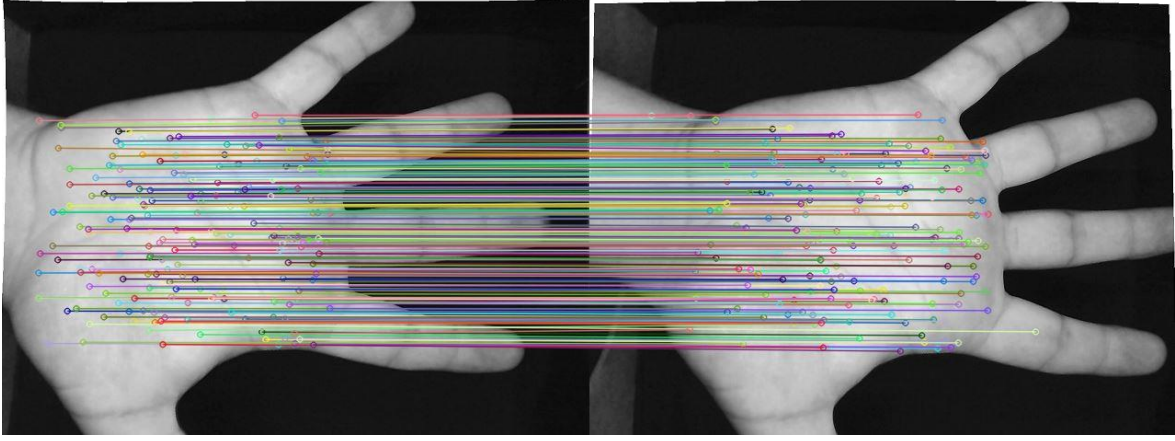
(a)



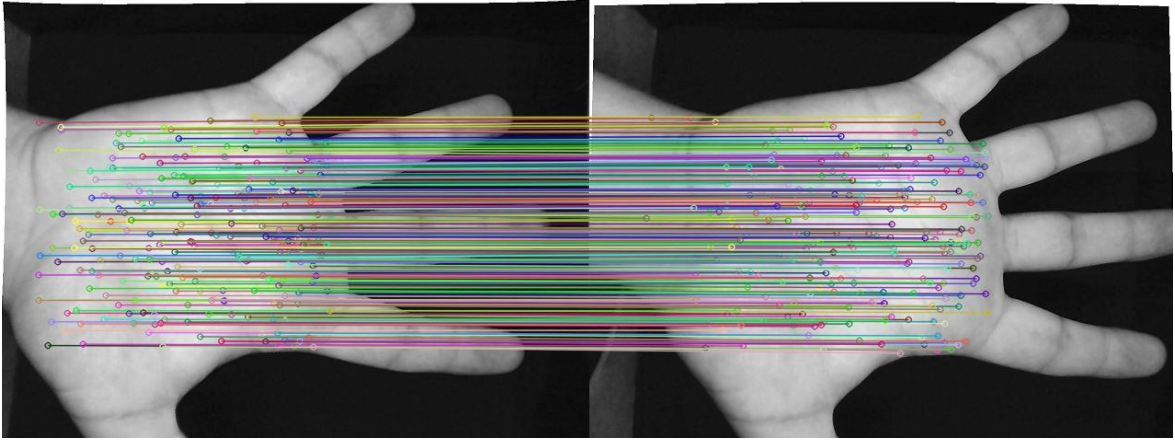
(b)

Şekil 2.11. (a) SIFT ve (b) SURF algoritmaları ile tespit edilen özellik noktalarının eşleştirilmesi

Bir önceki aşamada bulunan özellik noktaları arasındaki eşleşmelerde bazı hatalar meydana gelmektedir. Bu hataları minimize etmek ve görüntüler arasında model oluşturmak için görüntüler arasında RANSAC algoritması uygulanmaktadır.



(a)



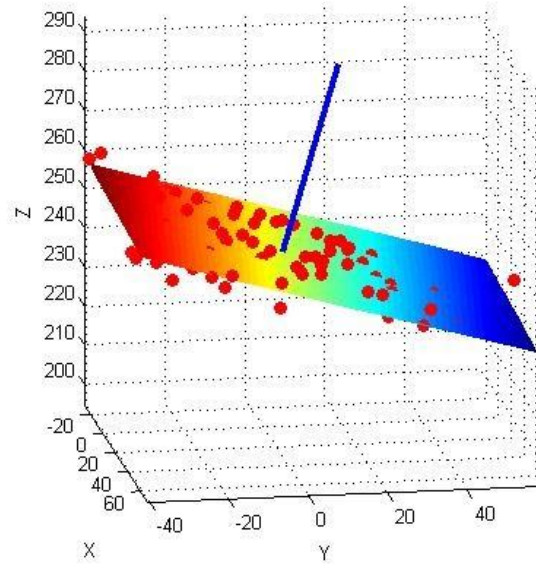
(b)

Şekil 2.12. (a) SIFT ve (b) SURF algoritmaları ile tespit edilen özellik noktalarının RANSAC yöntemi ile minimize edilmesi

RANSAC algoritmasında doğru ve yanlış eşleşmelerin olduğu veri kümesinden rastgele olarak 4 eşlenik nokta çifti seçilmektedir. Seçilen bu alt küme ile H homografi matrisinin bilinmeyenleri hesaplanmaktadır. Bu elde edilen homografi matrisi ile iki ayrı düzlemde bulunan noktaların koordinatları aynı düzleme getirilmektedir. Bu yeni elde edilen koordinatlara C (concensus set) denilmektedir. Bu sette bulunan koordinatlar ile diğer bir düzlemdeki koordinatlar arasındaki fark modele uygun olarak seçilen uzaklık eşik değerinden büyük ise bu seti oluşturan doğru eşleşmelerin koordinat çiftleri ile H homografi matrisi parametreleri yeniden hesaplanmaktadır. Eğer bu fark eşik değerden küçükse eşlenik küme içerisinde rastgele 4 tane eşlenik nokta tekrar seçilerek anlatılan adımlar tekrarlanmaktadır. Şekil 2.12’de bir önceki aşamada eşleştirilmiş noktaların RANSAC algoritması uygulanmış hali verilmiştir.

2.5. Avuç Bölgesi Duruşunun Tespiti ve Düzeltilmesi

Kameraların iç ve dış parametreleri ve her iki kameradan alınan görüntülerde belirli sayıda nokta eşleştirildiğinde bu bilgiler yardımıyla avuç bölgesinde tespit edilen noktaların 3B uzaydaki dağılımı DLT yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Şekil 2.12.'de eşleştirilen özellik noktalarının 3B uzaydaki dağılımı Şekil 2.13.'te verilmiştir.



Şekil 2.13. Tespit edilen özellik noktalarının 3B uzaydaki dağılımı

El üzerinde eşleştirilen noktaların dağılımı 3B uzayda bir düzlemi temsil edecektir. Bu noktalara ait 3B koordinat bilgileri yardımıyla dağılımın düzlem denklemi tespit edilebilir [70]. Düzlem tespit edebilmek için TDA metodu kullanılmıştır. Hesaplanan her bir $P(X, Y, Z)$ noktası için

$$AX + BY + CZ + D = 0 \quad (2.2)$$

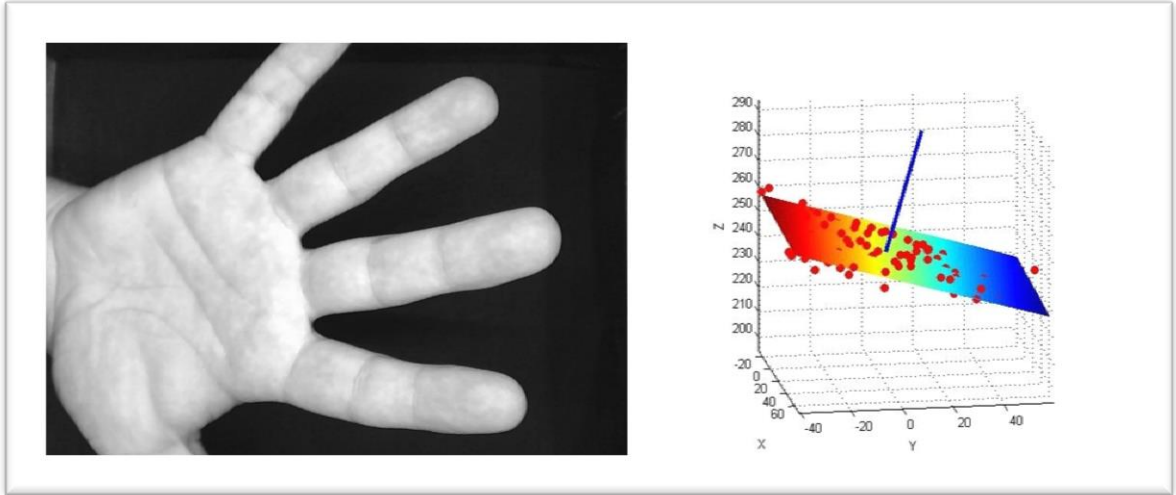
düzlem denklemini sağlayacak A, B, C, D parametrelerinin bulunması gerekmektedir. Hesaplanan tüm (X, Y, Z) değerleri için şekildeki denklem sistemi oluşturulabilir.

$$[A \ B \ C \ D] \begin{bmatrix} X_1 & Y_1 & Z_1 & 1 \\ X_2 & Y_2 & Z_2 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ X_n & Y_n & Z_n & 1 \end{bmatrix}_{n \times 4} = 0 \quad (2.3)$$

X matrisi, TDA yardımıyla aşağıdaki gibi üç matris çarpımına ayrıştırılabilir. V^t 'nin son satırı aranan $[A, B, C, D]$ vektörünün en yakın değerlerini vermektedir.

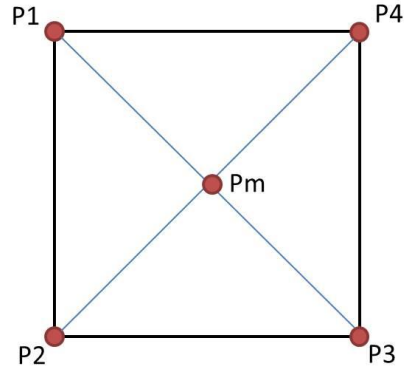
$$X = UDV^t \quad (2.4)$$

Sonuçta elde edilen 3B noktaların oluşturduğu düzlem ve normali Şekil 2.14'teki gibi elde edilmiştir.



Şekil 2.14. Noktaların 3B uzayda dağılımı, oluşturdukları düzlem ve normali

Avuç bölgesinde tespit edilen 3B noktaların oluşturduğu düzlemin Z eksenini ortadan kaldırılarak 2B düzleme iz düşürülmesi gerekmektedir. Bu amaçla elde edilen düzlem üzerinde belirlenecek 4 nokta (P_1, P_2, P_3, P_4) yardımıyla görüntü koordinat sistemine projektif dönüşüm yapılması amaçlanmıştır [70]. Bu 4 noktanın belirlenmesi için düzlem üzerinde olacak şekilde bir orta nokta (P_m) belirlenmiş ve diğer 4 nokta bu orta nokta referans alınarak hesaplanmıştır.



Şekil 2.15. 3B düzlem üzerinde seçilen noktalar

Düzlemin orta noktası için hesaplanan 3B koordinatların ortalaması alınmıştır.

$$P_m = \frac{1}{n} \sum_i^n P_i \quad (2.5)$$

Belirlenecek 4 noktanın $P_m = (X_m, Y_m, Z_m)$ noktasından eşit uzaklıkta ve düzlem üzerinde olması şartı sağlanmalıdır.

$$X_1 = X_m - \Delta_x \quad (2.6)$$

$$Y_1 = Y_m - \Delta_y$$

Daha önce elde edilen düzlem denklemi yardımıyla bu koordinatlara karşılık gelen Z_1 değeri eşitlik (2.7)'deki hesaplanabilir.

$$Z_1 = -(D + AX_1 + BY_1)/C \quad (2.7)$$

Hesaplamaların daha iyi sonuçlar vermesi için Δ_x , Δ_y değerlerinin hesaplanan 3B noktaların standart sapmaları kullanılarak belirlenmesi uygun görülmüştür. P_3 noktası ise eşitlik (2.8)'deki gibi hesaplanabilir.

$$P_3 = 2P_m - P_1 \quad (2.8)$$

P_1 ve P_3 noktasının P_m noktasına olan uzaklığı eşitlik (2.9)'daki gibi hesaplanabilir.

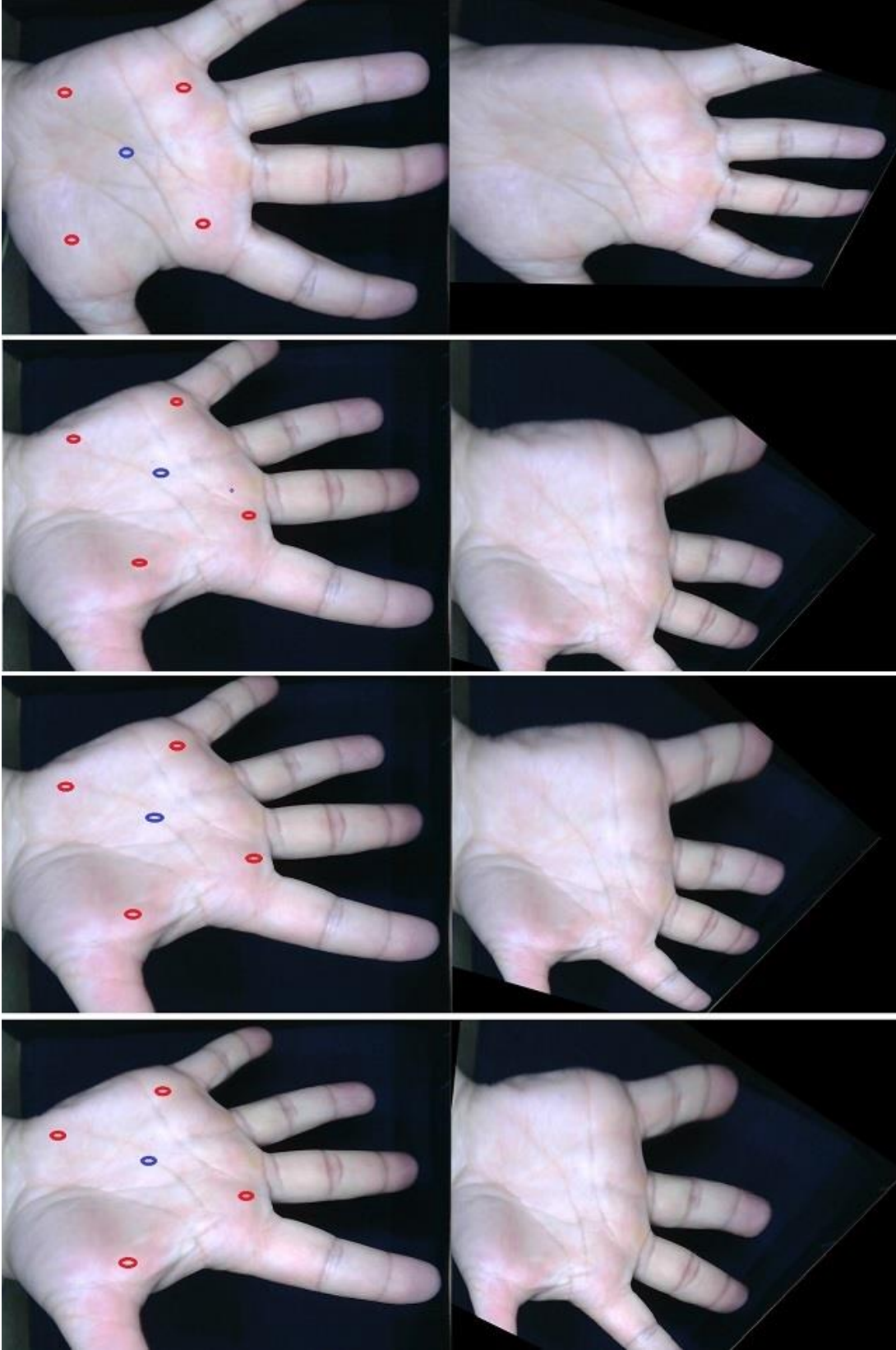
$$d = \|P_3 - P_1\|/2 \quad (2.9)$$

P_2 ve P_4 noktaları, P_1 ve P_3 noktalarından geçen bir vektör ile düzleme ait $N(A, B, C)$ normal vektörüne dik olan U vektörü üzerinde bulunacaktır. Bu vektör eşitlik (2.10)'daki gibi bulunabilir. Sonrasında U vektörü birim vektör haline getirilip d değeri yardımıyla P_2 ve P_4 hesaplanabilir.

$$U = Nx(P_3 - P_1) \quad (2.10)$$

$$P_2 = P_m - dU \text{ ve } P_4 = P_m + dU \quad (2.11)$$

Elde edilen nokta koordinatları (P_1, P_2, P_3, P_4) ve görüntü düzlemi koordinatları arasında projektif dönüşüm ilişkisi hesaplanarak örnek avuç bölgeleri üzerinde belirlenen noktalar ve düzeltilmiş halleri Şekil 2.16.'da verilmiştir.

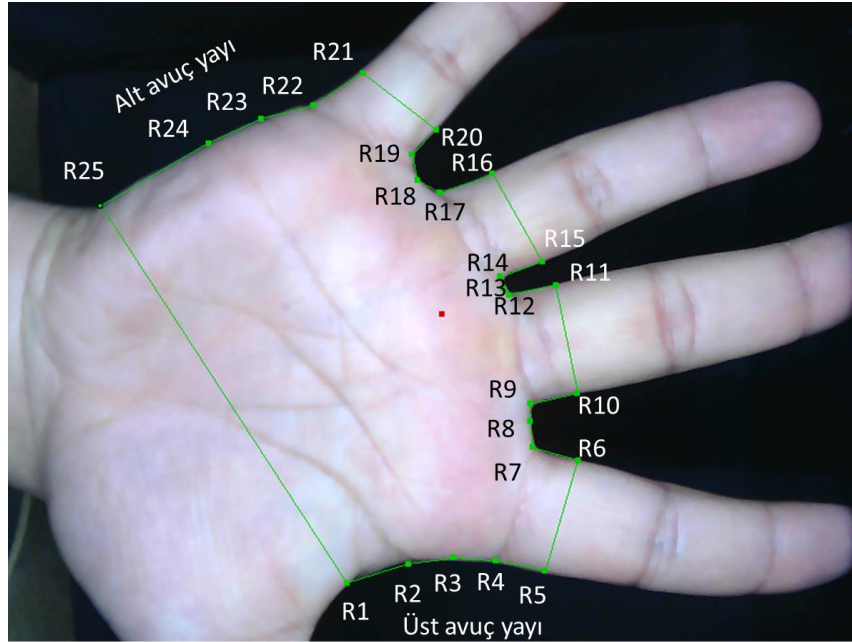


Şekil 2.16. Projektif dönüşüm için görüntüde belirlenmiş noktalar ve projektif izdüşüm uygulanarak düzeltilmiş görüntüler

2.6. Avuç Bölgesinin Bölütlenmesi ve Örüntü Çıkarımı

Çalışmamızda model tabanlı bölütleme yöntemi olan AGM, kısıtlamasız ortamda alınan veritabanında bölütleme amacıyla kullanılmıştır.

Önerilen avuç modelinde öncelikle nesne şeklini belirleyen sınırları ifade edecek noktalar bir uzman tarafından (sadece eğitim kümesindeki örnekler üzerinde) belirlenir ve işaretlenir. Oluşturulan avuç modeli; kemiklerin, eklemlerin ve dokunun yapısına bağlı olarak belirlenen ve avuç bölgesini temsil eden 25 sınır noktasından oluşmaktadır. (Şekil 2.17)

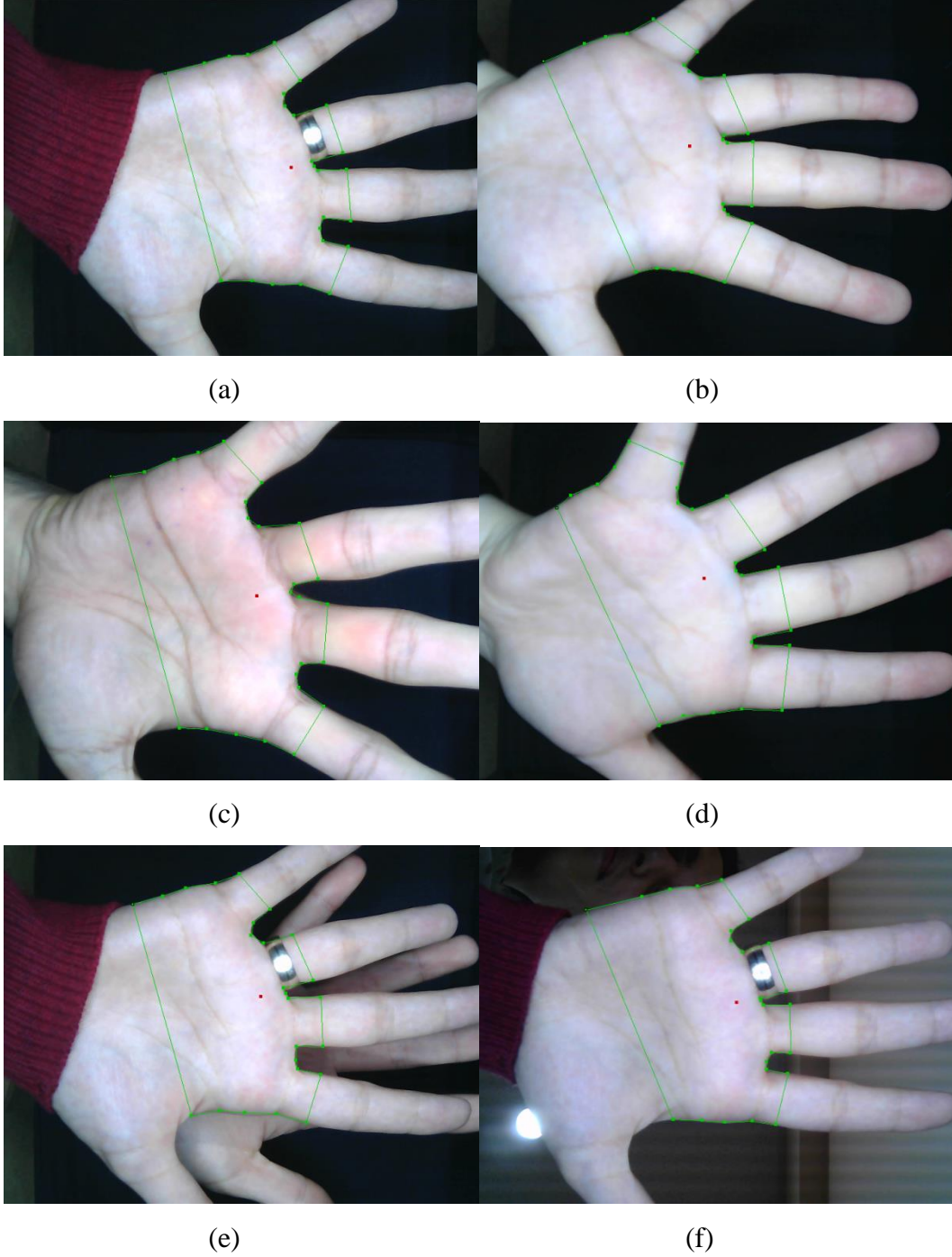


Şekil 2.17. Önerilen avuç modeli

Model belirlenirken avuç bölgesine dahil olmayan parmak ucu ve baş parmak gibi bölgelerin görüntüde yer alma gereksiniminin de ortadan kaldırılması hedeflenmiştir.

Modelde R1, R5, R6, R10, R11, R15, R16, R20, R21 ve R25 olarak adlandırılan sınır noktaları, avuç modelinin uç noktalarını temsil etmektedir ve bu noktaların ileride veya geride olması model yerleşimini etkilememektedir. Kalan 15 nokta ise avuç izi bölgesinin seçiminde kullanılmak üzere belirlenmiştir. Bölütlemeye hassasiyetin artırılması amacıyla parmak arası bölgeleri, üst ve alt avuç kenarları üçer nokta ile temsil edilmiştir. İşaret parmağı ile orta parmak arası R12, R13, R14; yüzük parmağı ile serçe parmak arası R17, R18, R19 noktaları ile ifade edilmiştir. Üst ve alt avuç kenarları R2, R3, R4 ve R24, R23,

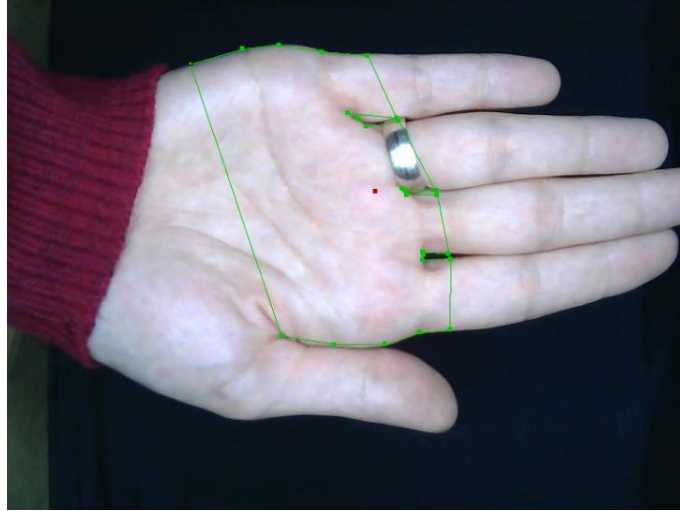
R22 noktaları ile belirtilmiştir. Avuç bölgesinin küçük bir kısmını kaplayan kıyafet giyilmesi durumunda yine elin bölütlenmesinde problem oluşmamaktadır.



Şekil 2.18. Veritabanındaki farklı görüntüler üzerinde AGM yönteminin uygulanmasını ile elde edilen bölütleme sonuçları

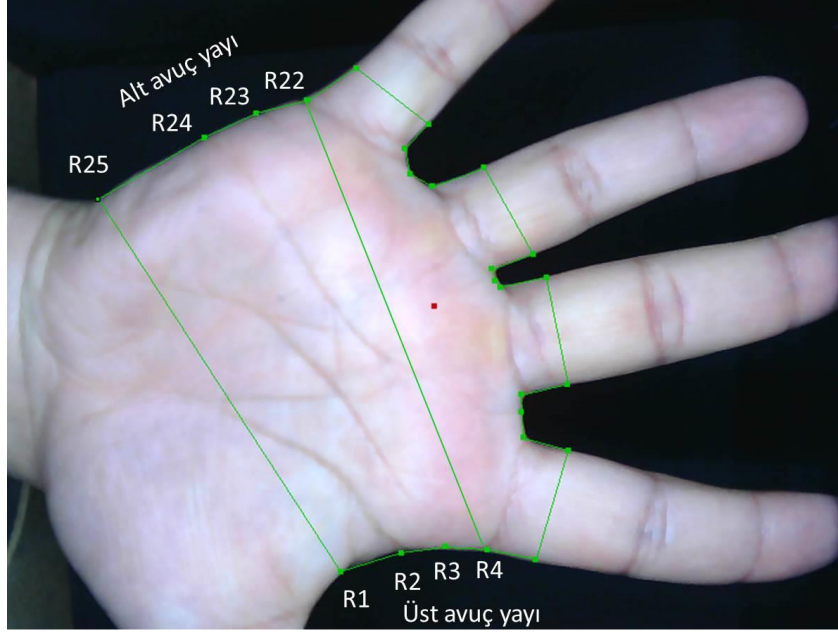
AGM yönteminin veritabanı üzerindeki bölütleme sonuçları incelendiğinde (Şekil 2.18.) veritabanında mevcut örnekler için yüksek başarılı bölütlemenin gerçekleştirildiği görülmüştür. Şekil 2.18.a'da kamera karşısında rotasyon, öteleme ve ölçekleme olmadan düz alınmış görüntüde avuç modelinin sorunsuz bir şekilde yerleştiği görülmektedir. Şekil 2.18.b, c ve d'de ise sırasıyla 15, 30, 45 derece döndürülmüş, ötelenmiş ve ölçeklenmiş görüntüler üzerinde ve son olarak da Şekil 2.18.e ve f'de karmaşık arka plana sahip görüntülerde avuç bölgesine modelin yine sorunsuz bir şekilde oturduğu gözlemlenmektedir.

Parmaklarda yüzük bulunması (2.18.a, e, f), arka planda ışık kaynağı (2.18.f), yüz veya farklı bir elin bulunması (2.18.e ve f), parmakların açıklığı bölütlemeye sorun oluşturmamıştır. Aynı zamanda temassız sistem ile gerçekleştirilen diğer bir test, tüm parmakların bitişik olması durumunda bölütlemenin nasıl gerçekleştirildiği olmuştur. Bu amaçla bütün parmakların birleştirildiği bir örnek oluşturulmuş ve sisteme verildiğinde elde edilen bölütleme Şekil 2.19.'da verilmiştir.



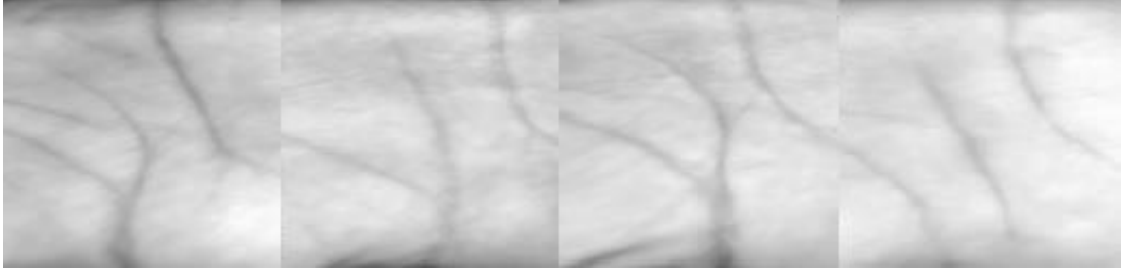
Şekil 2.19. Parmaklar birleştirildiğinde AGM yöntemi ile elde edilen bölütleme sonucu

Bölütleme sonucu elde edilen bölge üzerinde Şekil 2.20'deki gibi R1, R4, R22, R25 noktaları kullanılarak ilgili bölge seçilir.



Şekil 2.20. AGM yöntemi ile elde edilen bölütleme sonucu aya örüntüsü için kullanılacak bölge

Bazı model noktalarının tam olarak doğru oturmamasından dolayı sadece aya bölgesi içermediği, arka plana ait verilerinde bu bölge içerisinde olması kaçınılmaz bir problemdir. Hedeflenen aya bölgesi üzerinde doğru işlem yapabilmek için arka plan verilerini bu bölgeden izole etme zorunluluğu oluşmaktadır. Bunu sağlayabilmek için herhangi bir noktanın üçgen içinde olup olmadığını test eden bir yaklaşım kullanılmıştır. Yaklaşım genel olarak P noktasının köşe koordinatları (A_x, A_y) , (B_x, B_y) , (C_x, C_y) olarak bilinen üçgenin içerisinde olup olmadığını kontrol etmektedir. Bu yaklaşım üçgensel bölgeler için kullanılan bir yaklaşımdır. Dörtgensel bölgelerde bu yaklaşımın uygulanabilmesi için bölgenin 2 farklı üçgen olarak düşünülmesi gerekir. Nokta eğer ilk üçgenin içerisinde ise dörtgenin de içerisinde olmuş olacağından diğer üçgen için test işlemi yapılmaz. Eğer ilk üçgenin içerisinde değilse diğer üçgen için test edilir. Bu üçgen içinde de yer almıyorsa nokta dörtgenin dışında bulunuyor denilerek işleme katılmaz. Noktanın dörtgen dışında yer alması bu noktanın arka plan verisi olduğunu gösterir. Bu yaklaşım kullanılarak arka plan verilerinin ortadan kalkmış olduğu 4 aya bölgesi biyometrikleri Şekil 2.21'deki gibidir. Bu yaklaşımda ayrıca örüntüleri aynı doğrultuya ve karesel bölge haline getirmek ve 128x128 olarak boyutlandırmak amacıyla perspektif izdüşüm yöntemi kullanılmıştır.



Şekil 2.21. AGM yöntemi ile elde edilen bölütleme sonucu aya örüntüsü için kullanılacak bölge

2.7. Tanıma Süreci

Biyometrik sistemlerde verilerin değer aralığı farklı olduğu için normalizasyon işlemi ile her bir biyometrik örüntü kendi değer aralığında normalleştirilir. En yaygın kullanılan normalizasyon tekniği, verilerin aritmetik ortalama ve standart sapmalarından faydalanılarak eşitlik (2.12)'deki gibi hesaplanmaktadır. Çalışmalarımızda gerçekleştirilen testler sonucunda normalizasyon yönteminin performansta iyileşme sağladığı görülmüştür.

$$n = \frac{x_k - \mu}{\sigma} \quad (2.12)$$

Normalizasyon işleminden sonra örüntülere çözünürlük ayrıştırma yöntemi olan ADD uygulanmıştır. Bu dönüşüm için hız ve kolaylık açısından süzgeç bankaları kullanılmış, Haar kullanılarak bir sistem analizi yapılmıştır. Tez çalışmamızda Dalgacık tabanlı Çekirdek Fisher Ayırtıcı yöntemi avuç izi tanımda öznelik çıkarımı amacıyla kullanılmış ve performansı aynı veri tabanı üzerinde 3 farklı grup üzerinde (Tablo 2.6) farklı amaçlarla ölçülmüştür. Öznelik işlemi sonucunda her bir örüntüye ait 100 özellik çıkarılmıştır. 100 değeri sınıf sayısını daha doğrusu veri tabanında yer alan kişi sayısını ifade etmektedir. Bunun nedeni de çıkış kodlama yöntemi olarak bire karşı hepsi (1 versus All, 1vsA) yaklaşımının kullanılmasından kaynaklanmaktadır.

Grup1'de kullanıcıdan iki ayrı oturumda alınmış ve sadece elin kameraya paralel şekilde konumlandırıldığı görüntüler kullanılarak performans ölçümü yapılmıştır. Sistemde her kişi için 6 eğitim örneği kullanılmış, 2.seansta alınan görüntüler ise test aşamasında

kullanılmıştır. Bu grubun oluşturulmasında amaç kısıtlamasız alınan görüntülerle elde edilen tanıma başarısının başarıyı ne kadar ölçüde düşürdüğünü gözlemleyebilmektir.

Grup 2’de kullanıcıdan daha önce Tablo 2.6’da belirtilmiş dönme, öteleme ve ölçeklemeden bağımsız olarak alınan görüntüler kullanılarak performans ölçümü yapılmıştır. Sistemde her kişi için 12 eğitim örneği kullanılmış, test görüntüleri ise 2.seansta alınan görüntülerden seçilmiştir. Bu grubun oluşturulmasındaki amaç geometrik düzeltmeler uygulanacak görüntülerle gerçekleştirilen sistemin tanıma başarısını ne kadar artırdığını gözlemleyebilmektir.

Grup 3’te ise Grup 2’deki görüntülerin projektif izdüşüm ve bikübik interpolasyon tekniği ile düzeltilmiş halleri kullanılarak performans ölçümü yapılmıştır. Sistemdeki eğitim ve test örnek sayıları Grup 2 ile aynıdır.

Tablo 2.6. Performans Ölçümü Grupları

Özellikler	Grup 1	Grup 2	Grup 3
Kişi Sayısı	100	100	100
Toplam Örnek Sayısı	1224	1980	1980
Görüntü Alımı için Toplam Oturum Sayısı	2	2	2
Arka Plan Karmaşıklığı	Var	Var	Var
Öteleme, Dönme, Ölçek Değişimleri	Yok	Var	Var
3. boyut duruş esnekliği	Yok	Var	Var
Parmaklarda yüzük	Var	Var	Var

Tanıma sürecinin en son aşaması ise sınıflandırma işlemidir. Sınıflandırma işlemi için En Yakın Komşuluk (EYK) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde uzaklık ölçütü olarak Öklit Uzaklığı (ÖU) ve Ağırlıklandırılmış Öklit Uzaklığı (AÖU) kullanılmıştır.

Sadece elin kameraya paralel olduğu (Grup 1) görüntülerin kullanıldığı tanıma sisteminde test işlemleri 100 kişi içeren 1224 görüntüden oluşan veri tabanı üzerinde denenmiştir. Veri tabanı eğitim ve test olarak ayrılırken, her kişiden 2, 4 ve 6 eğitim görüntüsü alınacak şekilde veri tabanı eğitim ve test olarak ayrılmıştır. Bu gruplar üzerinde sistem testleri gerçekleştirilmiştir. Tablo 2.7’de veri tabanında her bir kişiden alınacak eğitim görüntü sayısına göre eğitim ve test kümesinin sayısının nasıl olacağı verilmiştir.

Tablo 2.7. Grup 1’de her kişiden alınan eğitim görüntüsüne göre oluşan eğitim ve test kümesi sayıları

Her bir kişiden alınan eğitim örneği sayısı	Eğitim kümesindeki görüntü sayısı	Test kümesindeki görüntü sayısı
2	200	1024
4	400	824
6	600	624

Tablo 2.8 ‘de verilen eğitim ve test kümelerinin her biri üzerinde tanıma sonuçları analiz edilmiştir. Bu sonuçlar alınırken Haar tabanlı ADD+ÇFA (H+ÇFA), sadece normalizasyon uygulanmış normalizasyon tabanlı+ÇFA (N+ÇFA) olarak 2 farklı yöntem kullanılmıştır. Tanıma sistemlerinde bu yöntemler kullanılarak ÖÜ ve AÖÜ tabanlı EYK ile 2 sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir.

ÖÜ tabanlı EYK sınıflandırıcısının Tablo 2.7.’deki gibi ifade edilen eğitim ve test kümelerine uygulanmasıyla elde edilen doğru tanıma yüzdeleri ve doğru tanınan görüntülerin sayılarını gösteren tablo aşağıda verilmektedir.

Tablo 2.8. ÖÜ tabanlı EYK sınıflandırıcısına ait tanıma yüzdeleri ve doğru tanınan Grup 1 görüntü sayıları

Yöntem	Her bir kişiden alınan eğitim örneği sayıları					
	2		4		6	
N+ÇFA	88.28	904	92.59	763	94.87	592
H+ÇFA	89.94	921	93.93	774	96.15	600

AÖÜ tabanlı EYK sınıflandırıcısının Tablo 2.7’deki gibi ifade edilen eğitim ve test kümelerine uygulanmasıyla elde edilen tanıma yüzdeleri ve doğru tanınan görüntü sayıları Tablo 2.9’da verilmektedir.

Elin kameraya farklı varyasyonlarda bulunduğu (Grup 2) görüntülerin kullanıldığı tanıma sisteminde test işlemleri 100 kişi içeren 1980 görüntüden oluşan veri tabanı üzerinde denenmiştir. Veri tabanı her kişiden 12 eğitim görüntüsü (12 poz varyasyonu) alınacak şekilde eğitim ve test olarak ayrılmıştır. 1200 eğitim ve 780 test görüntüsünden oluşan bu grup üzerinde sistem testleri gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2.9. AÖU tabanlı EYK sınıflandırıcısına ait tanıma yüzdeleri ve doğru tanınan Grup 1 görüntü sayıları

Yöntem	Her bir kişiden alınan eğitim örneği sayıları					
	2		4		6	
N+ÇFA	88.57	907	93.68	772	95.83	598
H+ÇFA	90.42	926	94.78	781	96.79	604

ÖU tabanlı ve AÖU tabanlı EYK sınıflandırıcısının Grup 2 eğitim ve test kümelerine uygulanmasıyla elde edilen doğru tanıma yüzdeleri ve doğru tanınan görüntülerin sayıları sırasıyla Tablo 2.10 ve Tablo 2.11’de verilmektedir.

Tablo 2.10. ÖU tabanlı EYK sınıflandırıcısına ait tanıma yüzdeleri ve doğru tanınan Grup 2 görüntü sayıları

Yöntem	Her bir kişiden alınan eğitim örneği sayısı	
	12	
N+ÇFA	84.74	661
H+ÇFA	85.89	670

Tablo 2.11. AÖU tabanlı EYK sınıflandırıcısına ait tanıma yüzdeleri ve doğru tanınan Grup 2 görüntü sayıları

Yöntem	Her bir kişiden alınan eğitim örneği sayısı	
	12	
N+ÇFA	85.34	666
H+ÇFA	86.41	674

Elin kameraya farklı varyasyonlarda bulunduğu ancak geometrik düzeltmeler uygulanan (Grup 3) görüntülerin kullanıldığı tanıma sisteminde test işlemleri 100 kişi içeren 1980 görüntüden oluşan veri tabanı üzerinde denenmiştir. Veri tabanı her kişiden 12 eğitim görüntüsü (12 poz varyasyonu) alınacak şekilde eğitim ve test olarak ayrılmıştır. 1200 eğitim ve 780 test görüntüsünden oluşan bu grup üzerinde sistem testleri gerçekleştirilmiştir (Grup 2 ile aynı).

ÖÜ tabanlı ve AÖÜ tabanlı EYK sınıflandırıcısının Grup 3 eğitim ve test kümelerine uygulanmasıyla elde edilen doğru tanıma yüzdeleri ve doğru tanınan görüntülerin sayıları sırasıyla Tablo 2.12 ve Tablo 2.13'te verilmektedir.

Tablo 2.12. ÖÜ tabanlı EYK sınıflandırıcısına ait tanıma yüzdeleri ve doğru tanınan Grup 3 görüntü sayıları

	Her bir kişiden alınan eğitim örneği sayısı	
Yöntem	12	
N+ÇFA	91.92	717
H+ÇFA	92.82	724

Tablo 2.13. AÖÜ tabanlı EYK sınıflandırıcısına ait tanıma yüzdeleri ve doğru tanınan Grup 3 görüntü sayıları

	Her bir kişiden alınan eğitim örneği sayısı	
Yöntem	12	
N+ÇFA	92.56	722
H+ÇFA	93.20	727

Sonuçta kısıtlamalı avuç izi tanıma sistemi ile elde edilen başarı kısıtlamasız sisteme geçildiğinde belirgin derecede düşmüş, ancak geometrik düzeltmeler sonucu bu başarının kısıtlamalı tanıma sistemi başarısına yaklaştığı görülmüştür. Tablo 2.14 'te Grup 1, Grup2 ve Grup 3'ten elde edilen tanıma yüzdeleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 2.14. AÖÜ tabanlı EYK sınıflandırıcısına ait karşılaştırmalı tanıma yüzdeleri ve doğru tanınan görüntü sayıları

Yöntem	Her bir kişiden alınan eğitim örneği sayıları			
	2	4	6	12
Kısıtlamalı Sistem (Grup 1)	90.42	94.78	96.79	--
Kısıtlamasız Sistem (Grup 2)	--	--	--	86.41
Kısıtlamasız-Düzeltilmiş Sistem (Grup 3)	--	--	--	93.20

Her üç grupta da AÖU en iyi sonucu verdiğiinden sonuç tabloda sadece bu karşılaştırıcının kullanıldığı tanıma yüzdeleri verilmiştir. Aynı şekilde dalgacık tabanlı ÇFA da her grubun tanıma başarısını artırdığı için yine dalgacık uygulanmış örüntülerdeki başarı yüzdeleri yazılmıştır.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Tez çalışması kapsamında kısıtlamasız ortamda avuç izine dayalı kimliklendirme sistemi geliştirilmesi amacıyla çevrimdışı sistem oluşturulmuş, yazılımsal ve donanımsal ayarlamalar yapılmış, veri tabanı oluşturulmuş ve farklı yöntemler uygulanarak çeşitli sonuçlara varılmıştır. Yapılan çalışmada diğer 3B avuç izi örüntüsü elde etme tekniklerine alternatif olabilecek bir stereo kamera sistemi oluşturulmuştur. Stereo kamera sistemleri diğer 3B tekniklere (3B tarayıcı, yapılandırılmış ışık kaynağı vb.) göre maliyet olarak daha avantajlı olmasına rağmen hesaplama karmaşıklığı, eşleştirme problemleri ve parlaklık değişimleri hassas 3B tarama yapmayı zorlaştırmaktadır.

Bu çalışmada 3B ortamda avuç bölgesi duruşu tespit edilerek kamera düzlemine paralel olacak şekilde 2B ortama indirgenmiştir. Mevcut 3B sistemler özellik çıkarma konusunda 2B sistemlere göre daha iyidir ancak bu sistemlerin maliyetleri ve 3B tarama hızları gelişmesini engellemektedir. Bu çalışmada ise 3B (derinlik) bilgisi görüntüde geometrik düzeltmeler yaparak kısıtlamasız avuç örüntüsü seçimi amacıyla kullanılmıştır.

Veritabanı hazırlama sürecinde yüksek eğimli ($30^{\circ} - 45^{\circ}$) alınan görüntülerde kullanıcıların ellerini tam düzlem şeklinde tutamadıkları ve bu sebeple de hesaplanması gereken düzlem denkleminde bazı sapmalar meydana geldiği görülmektedir.

Toplama sürecinde herhangi bir kısıtlama belirtilmediğinde kullanıcıların çok farklı pozisyonlarda görüntü verdiği görülmektedir dolayısıyla geliştirilen bu sistem sayesinde bu poz değişimlerinden kaynaklanan problemler büyük oranda giderilmiş olacaktır. Ayrıca ileriki çalışmalarda ek donanım yardımıyla daha hassas bir açı değişimi gerçekleştirilmesi gelecek çalışmalarda hedeflenmektedir.

Serbest arka plana sahip sistemlerde Aktif Görünüm Modeli kullanımı diğer yöntemlere (ten rengi ile bölütleme, kenar bilgisine dayalı bölütleme) göre daha uygun olduğundan tercih edilmiştir ve başarı sonuçları incelendiğinde yüksek performans sağladığı görülmüştür. Arka planda ten rengine sahip nesnelerin bulunması, avuç bölgesinde yüzük, kıyafet gibi nesneler de girdiğinde kullanılan modelin bölütleme işlemini başarı ile gerçekleştirdiği görülmüştür.

Dalgacık tabanlı Çekirdek Fisher Ayırtıcı yöntemi avuç izi özneliklerinin çıkarılması amacıyla önerilmiştir. Test örneklerinin her bir en çok benzeyen örnekle karşılaştırıldığı EYK yöntemi sınıflandırmada kullanılmıştır. Bu sınıflandırıcıda eşleştirme

yöntemi olarak Ağırlıklandırılmış Öklit kullanımı önerilmiştir, bu yöntemin diğer bir karşılaştırma yöntemi olan Öklit'e göre performansı iyileştirdiği görülmüştür.

Çalışma sırasında geliştirilen yaklaşımın bir bölümünün yer aldığı 1 adet bildiri yayınlanmıştır. Bu bildirimler 2014 yılında yapılan Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultaylarında sunulmuş ve bildiri kitapçıklarında basılmıştır [71].

4. ÖNERİLER

Kullanılan kameraların rezolasyonu arttırılabilir. Böylece kameradan kaynaklanan olumsuzluklar minimize edilebilir. Açısal dönüşümleri daha hassas ölçebilmek amacıyla düzeneğe ek bir parça ekleyerek kişinin elini tamamen istenen açılarda tutması sağlanabilir. Ayrıca iki stereo kamera kullanmak yerine tek bir kamera hareket ettirilerek 3B bilgileri üretilebilir, maliyet açısından avantaj sağlayabilir.

Özellik noktası tespitinde avuç bölgesinde olmayan noktalar de tespit edildiğinden kamera sisteminin üst kısmı içerisi siyah mat kumaşla kaplı bir kapak ile kapatılarak ışık koşullarından da etkilenmemesi sağlanmıştır. Bu problem ten rengine dayalı bölütleme ile giderilebilir.

Bölütleme sürecinde ileriki çalışmalarda başarıyı artırma amacıyla örüntü çıkarımında daha ayrıntılı bir sistem oluşturulabilir. Yapılan çalışmada özellik çıkarmada ÇFA ve sınıflandırmada ise EYK yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemlere ek olarak farklı özellik çıkarma ve sınıflandırma algoritmaları kullanılarak sonuçlar karşılaştırılabilir.

5. KAYNAKLAR

1. Sönmez, E., B.,Özbek, N., Ö. ve Özbek, Ö., Avuç izi ve parmak izine dayalı bir biyometrik tanıma sistemi, Akademik Bilişim'08, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Ocak-Şubat 2008.
2. Liu, M. ve Li, L., Cross-correlation based Binary Image Registration for 3D Palmprint Recognition , 11th International Conference on Signal Processing (ICSP), Beijing, 1597-1600, 2012.
3. Jain, A., K. ve Duta, N., Deformable Matching of Hand Shapes for User Verification, 1999 International Conference on Image Processing (ICIP), Kobe, 857-861, 1999.
4. Sanchez-Reillo, R., Sanchez-Avila, C. ve Gonzales-Marcos, A., Biometric Identification through Hand Geometry Measurements, Pattern Analysis and Machine Intelligence, 22 (2000) 1168-1171.
5. Kumar, A., Wong, D., C., M., Chen Z., Shen, H., C. ve Jain, A., K., Personal Verification using Palmprint and Hand Geometry Biometric, Audio and Video-Based Biometric Person Authentication, 2688 (2003) 668-678.
6. Jing, X. ve Zhang, D., A Face and Palmprint Recognition Approach Based on Discriminant DCT Feature Extraction, Systems, Mans, and Cybernetics, 34 (2004) 2405-2415.
7. Hennings, P. ve Kumar, B., V., K., V., Palmprint Recognition Using Correlation Filter Classifiers, Conference Record of the Thirty-Eight Asilomar, 2004, 567-571.
8. Wu, X., Wang, K. ve Zhang, D., Palmprint Recognition Using Directional Line Energy Feature, 17th International Conference on Pattern Recognition (ICPR),_ Cambridge, 475-478, 2004.
9. Wu, X., Wang, K., Zhang, F. ve Zhang, D., Fusion of Phase and Orientation Information for Palmprint Authentication, 12th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), 2005, 29-32.
10. Amayeh, G., Bebis, G., Erol, A. ve Nicolescu, M., Peg-Free Hand Shape Verification Using High Order Zernike Moments, Computer Vision and Pattern Recognition Workshop, 2006, 40.
11. Ekinci, M. and Aykut, M., Gabor-Based Kernel PCA for Palmprint Recognition, IET Electronic Letters, 43 (2007) 1077-1079.
12. Ekinci, M. ve Aykut, M., Palmprint Recognition by Applying Wavelet-Based Kernel PCA, Journal of Computer Science and Technology, 23 (2008) 851-861.

13. Cui, J. ve Xu, Y., Three Dimensional Palmprint Recognition Using Linear Discriminant Analysis Method, *Innovations in Bio-inspired Computing and Applications (IBICA)*, Shenzhan, 107-111, 2011.
14. Zheng, G., Wang, C. ve Boulton, T., E., Application of Projective Invariants in Hand Geometry Biometrics, *Information Forensics and Security*, (2007) 758-768.
15. Zhang, D., Lu, G., Li, W., Zhang, L. ve Luo, N., Three Dimensional Palmprint Recognition Using Structured Light Imaging, *IEEE Second International Conference on Biometrics: Theory, Applications and Systems (BTAS 08)*, Arlington, 1-6, 2008.
16. Zhang, D., Lu, G., Li, W., Zhang, L. ve Luo, N., Palmprint Recognition Using 3-D Information, *Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews*, 39 (2009), 505-519.
17. Li, W., Zhang, D. ve Zhang, L., Three Dimensional Palmprint Recognition, *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, 2009.
18. Li, W., Zhang, L., Zhang, D., Lu, G. ve Yan, J., Efficient Joint 2D and 3D Palmprint Matching with Alignment Refinement, *IEEE*, 978-1-4244- 6983-3/10, 2010.
19. Kanhangad, V., Kumar, A. ve Zhang, D., A Unified Framework for Contactless Hand Verification, *Information Forensics and Security*, 6 (2011) 1014-1027.
20. Iula, A., Hine, G., E., Ramalli, A., Guidi, F., Boni, E., Savoia, A., S. ve Caliano, G., An Enhanced Ultrasound Technique for 3D Palmprint Recognition, *IEEE 2013 International Ultrasonics Symposium Proceedings*, 978-981, July 2013, Praga.
21. Cui, J., 2D and 3D Palmprint Fusion and Recognition Using PCA plus TPTSR Method, *Neural Computing and Applications*, (2012) 1-6.
22. Beşdok, E. ve Kasap, B., 3D Nesne Modellemeye Yönelik Lazerli Bir Tarayıcı Sistemin Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi, *Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu ve Fuarı*, Aralık 2006, Bursa, Eleco'2006.
23. Özuysal, M., Manual and Auto Calibration of Stereo Camera Systems, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Ağustos 2004.
24. Sert, E., Taşkın, D., Taşkın, C., Topçubaşı, N. ve Köprücü, İ., OpenCV ile Kamera Kalibrasyonu, *Akademik Bilişim*, Uşak Üniversitesi, Şubat 2012.
25. Emanuele, T. ve Verri, A., *Introductory Techniques for 3-D Computer Vision*, 1998.
26. Taşdemir, Ş., Ürkmez, A., Yakar, M. ve İnal, Ş., Sayısal Görüntü Analiz İşleminde Kamera Kalibrasyon Parametrelerinin Belirlenmesi, *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, Mayıs 2009, Karabük.

27. Özgündüz, E., Türkmen, H., İ. ve Şentürk, T., Stereo Görme ile Engellerin Uzaklık ve Boyutlarının Eşleştirme Tablosu Kullanılarak Gerçek Zamanlı Bulunması, IEEE 18. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı, 2010, Diyarbakır, 636-639.
28. Lowe, D., G., Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints , International Journal of Computer Vision, 60 (2004) 91-110.
29. Özgen, N. ve Sarıtaş, M., SIFT Metodu ile Hedef Takibi, Elektrik - Elektronik, Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu ve Fuarı, Bursa, Eleco 2008.
30. Yang, J. ve Wang, S. ve Du, X., Remote Sensing Image Matching Algoritm Based on Harris and SIFT Transform, Journal of Theoretical and Applied Information Technology, 46 (2012), China, 333-338.
31. Bai, X., Ning, X. ve Wang, L., Analysis and Comparison of Feature Detection and Matching Algorithms for Rovers Vision Navigation, Instrument and Control Technology (ISICT), London, 66-71, 2012.
32. Güven, S. ve Alkar, A., Z., SIFT Algoritması ile FPGA Üzerinde Gerçek Zamanlı Nesne Tanıma, Signal Processing and Communicatios Applications Conference (SIU), Trabzon, 1503-1506, 2014.
33. Bay, H., Ess, A., Tuytelaars, T. ve Gool, L., V., Speed-Up Robust Feature(SURF), Computer Vision and Image Understanding, 110 (2008) 346-359.
34. Alpaslan, N., Gradyan Tabanlı Heterojen Öznitelik Çıkarma Yöntemlerine Yeni Yaklaşımlar, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği, Ocak 2013.
35. Teke, M. ve Temizel, A., Çoklu Bant Uydu Görüntülerinin Ölçek Sınırlandırılmış SURF Kullanılarak Çakıştırılması, Signal Processing and Communicatios Applications Conference (SIU), 2010, Diyarbakır, 356-359.
36. Karakuş, P. ve Karabörk, H., SURF Algoritması Kullanılarak Uzaktan Algılama Görüntülerinin Geometrik Kaydı, 5. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu (UZAL-CBS), 2014, İstanbul.
37. Compan, P., Satorre, R., Rizo, R. ve Molina, R., Improving Depth Estimation Using Colour Information in Stereo Vision, Imaging and Image Processing, Eylül 2005.
38. Özcan, M., O., Sert, E., Taşkın, D. ve Taşkın, C., OpenCV ile Stereo Görüntülerden Derinlik Kestirimi, Akdeniz Üniversitesi, 2013.
39. Hartley, R. ve Zisserman, A., Multiple View Geometry in Computer Vision, Second Edition, 2003.
40. Öztürk, E., R. ve Koçak, E., Farklı Kaynaklardan Değişik Yöntem ve Ölçeklerde Üretilen Sayısal Yükseklik Modellerinin Doğruluk Araştırması, Harita Dergisi, Ocak, , 137 (2007).

41. Li, J. ve Du, J., Study on Panoramic Image Stitching Algorithm, Second Pacific-Asia Conference on Circuits, Communications and System (PACCS), China, 2010, 417-420.
42. Müezzinoğlu, T., Çolak, F. ve Karaköse, M., Görüntü Mozaikleme Algoritması için Deneysel Bir Çalışma, Mühendislik Bilimleri Dergisi, Fırat Üniversitesi, 2014.
43. Erhan, C., Tazehkandi, A., A., Yeşilyurt, H., Y. ve Bayram, İ., Öznitelik Betimleyicileri Füzyonu ile Trafik İşaretlerinin Tespit Edilmesi ve Tanınması, Signal Processing and Communicatios Applications Conference (SIU), 2013, Kıbrıs.
44. Moons, T., Vergauwen, M. ve Gool, V., G., 3D Reconstruction from Multiple Images, Computer Graphics and Vision, 4 (2008) 287-404.
45. Hartley, R., I. ve Sturm, P., Triangulation, Computer Vision and Image Understanding, 68, 2 (1997) 146-157.
46. Baştanlar, Y., Temizel, A. ve Yardımcı, Y., Tümyönlü ve Perspektif Kameralar ile 3B Yapı Çıkarımı, Signal Processing and Communicatios Applications Conference (SIU), 2010, Diyarbakır.
47. Kapucu, S. ve Bayseç, S., 3 Nokta Tekniği ile Cisimlerin Koordinatlarınının Video Görüntülerinden Elde Edilmesi, 7.Ulusal Makina Teorisi Sempozyumu, Yıldız Teknik Üniversitesi, Eylül 1995.
48. Rajeswari, A., Bhuvaneshwari, V. ve Priyaa, V., G., Depth Measurement and 3D Reconstruction of Stereo Images, 2012 International Conference on Communication Systems and Network Technologies, India, 2012.
49. Doğan, Ş., Tuncer, T., Avcı, E. ve Gülten, A., Tekil Değer Ayırışımı Metodu ile Renkli Resimler İçin Bir Damgalama Uygulaması, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), Elazığ, 27-31, Mayıs 2011.
50. Aslantas, V. ve Oz, A., Diferansiyel Gelişim Algoritması ile Tekil Değer Ayırışımına Dayalı Resim Damgalama, Uluslararası Katılımlı Bilgi Güvenliği ve Kriptoloji Konferansı (ISC), Ankara, 219-224, Aralık 2007.
51. Fan, M., Wang, H. ve Li, S., Restudy on SVD-based watermarking scheme, Applied Mathematics and Computation, 203 (2008) 926-930.
52. Baker, K., Singular Value Decomposition Tutorial, 2005.
53. Temiz, M., S., Doğan, S., Dijital Görüntülerin Rektifikasyonu: Sensör Modelleri, Geometrik Görüntü Dönüşümleri ve Yeniden Örnekleme, 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara 2005.
54. Ünsal F., B., İki Boyutlu Doğrusal Koordinat Dönüşümleri, 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, 2009.

55. Altuntaş, C., ve Çorumluoğlu, Ö., Uzaktan Algılama Görüntülerinde Dijital Görüntü İşleme ve RSImage Yazılımı, Selçuk Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Öğretiminde 30. Yıl Sempozyumu, Ekim 2002, Konya, 434-442.
56. Karşlı, F., Fotogrametri II-Görüntü Transformasyonu, Nisan 2014.
57. Oktay, A., B., Önsel Bilgi Kullanılarak Tıbbi Görüntülerde Makine Öğrenmesi Tabanlı Kontur Bulma ve Nesne Konumlandırma, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği, 2011.
58. Gökmen, M., Kurt, B., Kahraman, F. ve Çapar, A., Çok Amaçlı Gürbüz Yüz Tanıma, TÜBİTAK projesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Ekim 2007.
59. Aykut, M. ve Ekinci, M., AAM-Based Palm Segmentation in Unrestricted Backgrounds and Various Postures for Palmprint Recognition, Pattern Recognition Letters, 34 (2013) 955-962.
60. Erdoğan, P. ve Pekçakar, A., Dalgacık Dönüşümü ile EKG Sinyallerinin Özellik Çıkarımı ve Yapay Sinir Ağları ile Sınıflandırılması, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), 13-15 Mayıs 2009, Karabük, Türkiye
61. Güler, İ. ve Übeyli, E., D., Dalgacık Dönüşümünün Kullanımı ile Teşhis Sistemleri için Öznitelik Çıkarma: İç Karotid Atardamar Doppler İşaretlerinin Durum Analizi, Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamaları Sempozyumu (ASYU-INISTA 2004), Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fakültesi.
62. Tepe, C. ve Sezgin, H., EKG Sinyallerinde Gürültü Gidermede Ayrık Dalgacık Dönüşümünde Farklı Ana Dalgacıkların ve Ayrıştırma Seviyelerinin Karşılaştırılması, Elektrik Elektronik-Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği 12. Ulusal Kongresi, Kasım 2007, Eskişehir.
63. Akar, E., Tarihi Görüntülerin Kalitesinin Görüntü İşleme Teknikleri Kullanılarak Artırılması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, 2006.
64. Mika, S., Ratsch, G., Weston, J., Scholkopf, B., ve Müllers, K. R., Fisher Discriminant Analysis with Kernels, Proceedings of the 1999 IEEE Signal Processing Society Workshop, 1999, 41-48.
65. Aykut, M. ve Ekinci, M., Gabor Tabanlı Çekirdek Fisher Ayırtıcının Online Avuç İzi Doğrulama Sistemine Uygulanması, 19. IEEE Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı, Nisan 2011, Antalya
66. Makul, Ö. ve Ekinci, M., Parmak Eklem İzine Dayalı Biyometrik Kimliklendirme, 22. IEEE Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı, Nisan 2014, Trabzon.
67. Özden, K., E. ve Akarun, L., Görmeye Dayalı Pratik 3D Sayısallaştırıcı, 11. IEEE Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı, Haziran 2003, İstanbul.

68. Zhang, Z., A Flexible New Technique for Camera Calibration, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 12 (1998) 1330-1334.
69. Bradski, G. ve Kaehler, A., Learning OpenCV, First Edition, 2008.
70. Bingöl, Ö. ve Ekinci, M., Stereo Kamera Kullanarak 3B Avuçiçi Poz Kestirimi, 21. IEEE Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı, Kıbrıs, Nisan 2013.
71. Baykal, E. ve Ekinci, M., Temassız Avuç İzi Kimliklendirme Sistemlerinde Kısıtlamasız Örüntü Seçimi, 22. IEEE Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı, Nisan 2014, Trabzon.

ÖZGEÇMİŞ

Elif BAYKAL, 1990 OF doğumludur. İlkokulu ve ortaokulu Mimar Sinan İlköğretim Okulu'nda ve liseyi Özel Alparslan Fen Lisesi'nde tamamlamıştır. Karadeniz Teknik Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü'nden 2012 yılında mezun olmuştur. 2012-2013 eğitim-öğretim yılının güz döneminde Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı'nda hem yüksek lisans programına katılmış, hem de araştırma görevlisi olarak çalışmaya başlamıştır. Halen Bilgisayar Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır. İyi derecede İngilizce bilmektedir.