

ÜÇ BOYUTLU GÖRÜNTÜLERDE ÇAKIŞTIRMA

Özgür ÇEVİK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAZİRAN 2008
ANKARA**

Özgür ÇEVİK tarafından hazırlanan ÜÇ BOYUTLU GÖRÜNTÜLERDE
ÇAKIŞTIRMA adlı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Hasan Şakir BİLGE
Tez Danışmanı, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Elektrik Elektronik Mühendisliği
Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Selma YÜNCÜ
Elektrik Elektronik Mühendisliği, Gazi Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Hasan Şakir BİLGE
Bilgisayar Mühendisliği, Gazi Üniversitesi
Doç. Dr. M. Ali AKCAYOL
Bilgisayar Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Tarih: 06/06/2008

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini
onamıştır.

Prof. Dr. Nermin ERTAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Özgür ÇEVİK

ÜÇ BOYUTLU GÖRÜNTÜLERDE ÇAKIŞTIRMA

(Yüksek Lisans Tezi)

Özgür ÇEVİK

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2008

ÖZET

Bu tezde 3B yüz görüntülerinin çakıştırılması konusunda çalışılmıştır. 3B yüz görüntülerinin çakıştırılmasında yaygın olarak kullanılan “İteratif En Yakın Nokta” (ICP) algoritması tercih edilmiştir. ICP algoritması genel olarak bütün 3B nesnelerin çakıştırılması için önerilmiş etkin bir yöntemdir. Bu algoritma sonunda çıkan uzaklık değeri görüntülerin benzerliği hakkında bilgi içermektedir; bu bilgi yüz tanıma için de kullanılabilir. Bu çalışmada farklı senaryolar oluşturularak çakıştırma yapılmış ve bunun sonuçları yüz tanıma amacıyla başarılı bir şekilde kullanılmıştır. Ancak ICP algoritması yavaş çalışmaktadır ve ilk duruma bağlı olarak lokal minimuma yaklaşma sorunu mevcuttur. Bu problemleri çözmek için bazı ön işlemlerin uygulanması önerilmiştir; böylece tanıma başarısı arttırılmıştır. İlk konuma bağlılığı ortadan kaldırmak için 2 adet yaklaşım incelenmiştir. Farklı açılara bakan görüntüler çakıştırma başarısını düşürmektedir. Bu sorunu aşmak için ilk yöntemde 3B uzayda bulunan görüntümüze yine 3B uzayda uygun çevirme değerleri uygulanarak yüzler düzeltilmiş, ikinci yöntemde ise yüze ait simetri düzlemi bulunarak yüzler belirli bir doğrultuya yönlendirilmiştir. İşlem yükünü azaltmak için de eş noktaların bulunması için tüm uzay yerine parçala ve fethet mantığına dayanan KD ağacı algoritması kullanılmıştır. Deneysel çalışmalar kısmında test kümesi olarak tüm yüz, burun-göz bölgesi, burun bölgesi ve profil alınmış ve veritabanı görüntüleri ile karşılaştırılmıştır. 18 adet yüz ile yapılan

Çalışmaların sonucunda tüm yüz tanıma için %94,4, burun ve göz bölgesi ile yapılan çalışma sonucunda %94,4, burun bölgesi ile yapılan çalışmada %88,8, profil ile yapılan testte ise %88,8 başarı elde edilmiştir. Karakteristik bölgelerin tanıma başarısına etkisini görmek için ise yanak bölgesi seçilmiştir. Bu testin başarısı karakteristik özellik taşımadığı için %33,3 çıkmıştır.

Bilim Kodu : 905.1.067
Anahtar Kelimeler : 3B görüntü çakıştırma, iteratif en yakın nokta algoritması (ICP), K-D ağacı, profil ıkartma, 3B yüz tanıma
Sayfa Adedi : 85
Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. Hasan Şakir BİLGE

IMAGE REGISTRATION**(M.Sc. Thesis)****Özgür ÇEVİK****GAZİ UNIVERSITY****INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY****June 2008****ABSTRACT**

In this thesis, registration of 3D face images is studied. Iterative closest point algorithm that is commonly used is preferred for 3D face image registration. ICP is an effective method that registers generally all 3D objects. At the result of this algorithm, the calculated distance gives us information on the similarity of images and can be used for face recognition. In this study we register the images with different scenario and the results are used for successful face recognition. But ICP algorithm has some problems that it runs slowly and it converges local minimum because of initial condition. For solving these problems some pre-processing applied and succesful registration has done. Two approaches have proposed for solving the initial condition problem. Different angled images decrease the recognition rate. First approach is applying some initial registration to the image for finding the best registration. Second approach is finding the symmetrical plane of face and use this plane to adjust the face direction. K-D tree algorithm that seperates the 3D space to lower spaces and looks for the closest point in this space has applied to solve calculation load problem. In the experiment section, all face, nose-eye region, nose region and profile region are use as test group. 18 faces are used for face

recognition and for full face 94,4%, for nose-eye region 94,4%, for nose region 88,8%, for profile 88,8% success achieved. For region that not contains specific points like cheek has 33,3% success achieved.

Science Code : 905.1.067

Key Words :3D image registration, iterative closest point, K-D tree, profile extraction, 3D face recognition

Page Number: 85

Adviser :Assist. Prof. Dr. Hasan Şakir BİLGE

TEŞEKKÜR

Yapmış olduğum çalışmalarda bana yol gösteren ve çalışmalarda yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Yrd.Doç.Dr. Hasan Şakir BİLGE' ye, bilgilerinden yararlandığım Arş. Gör. Göksel GÜNLÜ ve çalışma arkadaşım Engin Utku ŞENSES'e, yüksek lisansı destekleyen kurumum TÜBİTAK UEKAE' ye ayrıca manevi olarak her zaman yanımda olan aileme ve arkadaşım Behnur UÇAK' a teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER.....	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
RESİMLERİN LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xv
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI	5
2.1. Özel Nokta Tabanlı Yaklaşımlar	13
2.2. Yüzey Eğriliği Tabanlı Yaklaşımlar	18
2.3. Profil Tabanlı Yaklaşımlar	24
3. 3. BOYUTLU GÖRÜNTÜLER.....	27
4. İTERATİF EN YAKIN NOKTA ALGORİTMASI (ICP)	32
4.1. En Yakın Noktanın Hesaplanması	35
4.2. ICP Algoritmasının Hızlandırılması	37
4.3. Çakıştırmanın Hesaplanması	41
4.4. Yakınsama Teoremi	47
4.5. ICP Metodunda İşlem Ağırlıkları	48
5. YÖNTEM.....	49
5.1. Yumuşatma ve Maskeleme.....	50
5.2. Yüz Simetri Düzleminin Çıkartılması.....	53

Sayfa

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	60
6.1. Veritabanı	60
6.2. Yapılan Çalışmalar	61
6.3. Görüntülerin Düzeltilmesi	67
6.4. Çakıştırma Sonuçları	70
7. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	78
KAYNAKLAR	82
ÖZGEÇMİŞ	85

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. [12]' de verilen makale sonuçları	13
Çizelge 2.2. seçilen noktaların tanıma başarısına etkisi	20
Çizelge 2.3. HK sınıflandırması	22
Çizelge 2.4. EER [17]	24
Çizelge 2.5. Deneysel sonuçlar [18]	26
Çizelge 6.1. Sonuçlar (uzaklık)	65
Çizelge 6.2. İterasyon sayıları (1).....	66
Çizelge 6.3. İterasyon sayıları (2).....	67
Çizelge 6.4. Aradeğerleme	68
Çizelge 6.5. Düzeltmelerin etkisi	69
Çizelge 6.6. Tüm yüz çakıştırma sonuçları.....	71
Çizelge 6.7. Burun-göz bölgesi test sonuçları.....	72
Çizelge 6.8. Çevirilmiş burun-göz bölgesi.....	73
Çizelge 6.9. Profil test sonuçları.....	74
Çizelge 6.10. Burun bölgesi test sonuçları.....	75
Çizelge 6.11. Yanak bölgesi test sonuçları	76
Çizelge 6.12. En iyi eşleşme	77
Çizelge 6.13. En iyi ikinci eşleşme.....	77

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Global-lokal minimum	4
Şekil 2.1. Makale akış şeması	9
Şekil 2.2. Makale akış şeması	11
Şekil 2.3. Sonuçlar [13]. a) MSU veritabanı ile yapılan deney sonuçları b) UND veritabanı ile yapılan deney sonuçları.....	16
Şekil 2.4. Makale akış şeması	17
Şekil 2.5. Makale şeması.....	23
Şekil 2.6. Makale akış şeması	26
Şekil 4.1. ICP algoritması	35
Şekil 4.2. Renk eşleştirme	37
Şekil 4.3. Yüzey normallerinin kullanılması.....	37
Şekil 4.4. K-D ağacı.....	40
Şekil 5.1. Önerilen yöntemin genel blok diyagramı	50
Şekil 6.1. İlk durum çevirmelerinin etkisi.....	62

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Yüz bölgesinin çıkartılması [13].....	14
Resim 2.2. Farklı poz durumları [13]	14
Resim 2.3. Poz doğrulama [13] a) önden görünüm b) yandan görünüm.....	15
Resim 2.4. Burun profili çıkartma [13] a) önden görünümde profil çıkartma b) yandan görünümünden profil çıkartma	15
Resim 3.1. Derinlik tarayıcı (range scanner)	28
Resim 3.2. Derinlik tarayıcıdan 3B görüntü elde etme.....	28
Resim 3.3. 3 3B görüntü	29
Resim 3.4. 4 3B görüntünün a)nokta bulutu gösterimi , b) üçgen gösterimi	30
Resim 3.5. Yüzün yüzey normalleri şeklinde gösterilmesi [19]	30
Resim 3.6. Yüzün profiller ile ifade edilmesi [19]	31
Resim 5.1. İnterpolasyon ve maskeleme a) aradeğerlemesiz görüntü, b) aradeğerleme sonucu, c) aradeğerlemeden sonra uygulanan maske	51
Resim 5.2. Çalışmada kullanılan yüzler	52
Resim 5.3. Maskeleme	53
Resim 5.4. Simetri düzleminin çıkartılması	54
Resim 5.5. Profilin elde edilmesi	55
Resim 5.6. Ayarlanmış yüz görüntüsü.....	56

Resim	Sayfa
Resim 6.1. Hatalı yüzler, a) gürültü, b) delikler.....	60
Resim 6.2. Hatalı profil çakıştırması	63
Resim 6.3. Tek profil ile çakıştırma	64
Resim 6.4. 3 profil ile çakıştırma	64
Resim 6.5. Model yüzü ve test için alınan kısmı.....	70
Resim 6.6. Model ve test yüzleri.....	71
Resim 6.7. Model ve test yüzleri.....	73
Resim 6.8. Model ve test yüzleri.....	74
Resim 6.9. Model ve test görüntüsü (yanak bölgesi)	76

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklama

3B

Üç boyutlu

q

Dörtlü çevirme matrisi

R

Çevirme

t

öteleme

P

3 boyutlu nokta

X

3 boyutlu nokta

d

Uzaklık

e

Hata

Kısaltmalar

Açıklama

ICP

İteratif en yakın nokta

PCA

Temel bileşen analizi

MSU

Michigan State University

UND

University of Notre Dame

1. GİRİŞ

Görüntü işleme üzerine çalışmalar son yıllarda artarak devam etmektedir. Bilgisayarla görme; aranan insanların bulunması, güvenlik gerektiren noktalarda kişinin tanınması, personellerin kimliklerinin doğrulanması gibi güvenlik amaçlı nedenleri olduğu gibi bir şeklin tahmininde, 3B bir nesnenin modellenmesinde, bir görüntüde hareketin algılanmasında, doku kaplamada, değişen bir giriş değişkenini izlemede, çıkan ürünün uygunluk testi ile kalitesinin tahmini gibi üretim aşamalarında da kullanılmaktadır.

Görüntü üzerine yapılan çalışmalarda ilk olarak 2 boyutlu görüntüler ele alınmakta ve tanıma gerçekleştirilmeye çalışılmaktaydı. Ancak aydınlanma, poz değişikliği, farklı yüz ifadeleri gibi faktörlere bağlılık bu çalışmalarda yüksek başarının elde edilmesini zorlaştırıyordu [1, 2]. Ayrıca 2B aynı insana ait görüntüler arasında dıştan gelen birçok etken çakıştırma işlemini zorlaştırmaktadır. Görüntülerin farklı yerlerdeki kameralardan alınması veya kameranın görüntüye yakınlığı veya uzaklığı görüntülerin çakıştırmanın başarılı şekilde yapılmasını engellemektedir. Teknolojik gelişmelerle günümüzde derinlik tarayıcıların daha fazla kullanılmaya başlaması ve bu tarayıcılarla gerçek nesnelere ait 3 boyutlu (3B) şekil verilerinin kolay bir şekilde elde edilebilmesi, 3B nesne tanıma yöntemlerinin gelişmesini sağlamaktadır. Günümüzde 3B görüntüler aktif ve pasif tekniklerle elde edilmektedir. Lazer derinliği veya yapısal ışık örüntüsü gibi aktif tekniklerde derinlik imgesi, sensörlerden gelen değerlerin birleştirilmesiyle elde edilir [3]. Pasif tekniklerde ise nesneden yansıyan ışık kullanılarak derinlik imgesi elde edilir. En temel pasif teknik ise stereo imge analizidir [4]. Elde edilen bu derinlik imge değerleri aslında imgenin 3B lu tarayıcıya olan uzaklığını ifade etmektedir. Her ölçümde tarayıcıdan nesneye olan uzaklığa göre bir 3B görüntü oluşturulur.

Görüntü tanıma farklı yönlerde değişik poz durumlarına sahip görüntünün daha önceden alınan ve veritabanına kaydedilen görüntüler ile karşılaştırılması ve uygun eşleşmenin bulunması olarak özetlenebilir. Burada poz görüntünün 3B uzaydaki yönelmesini ifade etmektedir.

Görüntü tanıma farklı kriterler göz önüne alınarak farklı sınıflara ayrılabilir. Görüntü tanıma dayandığı prensibe göre iki başlık altında incelenebilir. Yüksek seviyeli ve düşük seviyeli. Yüksek seviyeli algoritmalarda öznitelik çıkarma ve eşleştirme prensibine dayanmaktadır. Düşük seviyeli algoritmalar ise direk olarak verinin çizgi, eğri, nokta, arakesit gibi görüntü özelliklerini eşlendirir.

Görüntü tanımada çakıştırma algoritmaları referans ve hedef kümeyi ilişkilendirmekte kullanılan dönüşüm modellerine göre de bir sınıflandırmaya tabi tutulabilir. Yaygın olarak kullanılan ilk model öteleme, çevirme, global ölçeklendirme gibi bileşenlerden oluşan “doğrusal dönüşüm”dür. İkinci kategori elastik veya sabit olmayan dönüşümdür.

Yukarıda da bahsedildiği gibi 3B görüntüler ile yapılan çakıştırma işlemleri 2B ile yapılan çakıştırma işlemlerine göre daha başarılıdır. Bu nedenle son yıllarda yapılan çalışmalar 3B ile çakıştırma ve yüz tanıma tarafına kaymıştır. Ancak henüz başarılı bir şekilde çalışacak bir 3B çakıştırma ve yüz tanıma algoritması geliştirilememiştir. 3B yüz tanıma için geliştirilen PCA metodu [5] veya özel noktaların çıkartıldığı eğrilik analizi [6] yaklaşımlı yöntemlerinin, ICP algoritmasında da olduğu gibi eksiklikleri mevcuttur. PCA yüksek sinyal gürültü oranı (SNR) istemektedir. Geliştirilmiş Gauss görüntüsünde görüntüyü ifade eden birçok normal bulunmaktadır. Eğrilik analizi gürültüye karşı çok hassastır ve bu nedenle verilerimizin iyi bir şekilde elde edilmesi gerekmektedir. ICP algoritmasının ise ilk duruma bağlılığı ve işlem yükü gibi problemleri bulunmaktadır. Bu eksikliklerin giderilmesi ve daha başarılı bir algoritma oluşturmak için bu çalışma yapılmıştır.

Yapılan çalışmada kullanılan ICP algoritması düşük seviyeli, doğrusal dönüşümlü bir metottur. Uygulamalarda istenen sonuçlara ulaşabilmek için farklı varyantları mevcuttur [7]. ICP algoritması iteratif bir algoritmadır ve her iterasyonda iki küme arasındaki uzaklığı azaltmayı hedeflemektedir. Bu işlemi yapmak için noktalar arasında uygun çevirme ve döndürmeyi bulmak zorundadır. ICP algoritması iteratif bir algoritma olduğundan her adımında büyük işlem gerektirmektedir. Noktalar kümesiyle çalışırken bu işlem yükü $O(MN)$ ile verilmektedir. Burada M ve N nokta kümelerindeki nokta sayılarını ifade etmektedir. Farklı şekillerde algoritma çalışma

süresi kısaltılabilir. Çakıştırma için kullanılan yüzün tümü yerine belirli kontrol noktaları seçilerek çakıştırma yapılması işlemleri hızlandırır. İterasyon sayısının azaltılmasında ICP algortimasının daha hızlı gerçekleştirilmesini sağlayabilir. Ancak bu yöntem çakıştırma başarısını azaltmaktadır. Bir diğer yöntem iterasyon bitirme kriterinin azaltılmasıdır. İterasyon için belirli bitirme değeri vermek yerine iterasyonlar arasındaki değişimin gözlenmesi iterasyonlarda fazladan işlem yapılmasını ve sürenin uzamasını engeller. ICP algoritması çakıştırılacak yüz görüntüleri arasında nokta- nokta eşleştirmesi kurarak çevirme ve öteleme değerlerini bulduğu için en yakın nokta eşlerinin bulunması en çok zaman alan bölümdür. Bu işlem yükünü azaltmak için eş noktaları bulurken noktaların çeşitli özelliklerinden yararlanılabilir. Noktalara ait bu özellikler noktanın sahip olduğu renk seviyesi veya noktanın bulunduğu bölgenin normalidir. Bu özellikler aranan eş noktanın tüm veriler içerisinde değil de verilerin bir alt kümesinde aranmasını sağlar ve daha az veri kontrol edilir. Eş noktaların bulunmasını kolaylaştıran bir diğer yöntem ise K-D ağacı algoritmasıdır. Bu algoritma arama uzayını alt uzaylara ayırmakta ve böl ve yönet mantığı ile daha küçük bir uzayda eş noktaları aramaktadır. Bu çalışmada bitirme kriteri için iterasyonlar arasındaki değişim oranının belirlediğimiz değerlerin altına düştüğünde iterasyonu sonlanmasını arama yöntemi olarak da K-D ağaç yapısı ile algoritmanın hızlanması sağlanmıştır.

ICP algoritmasının bir diğer eksikliği iki kümenin çakıştırmaya başlanmadan önceki ilk durumlarıdır. ICP algoritması lokal minimuma yaklaşır. Ancak uygun ilk durum alınmadığında lokal minimuma yaklaşamamaktadır. Bu da sonuçların başarısını etkilemektedir. Bu ilk durumu bulabilmek için farklı metotlar geliştirilmiştir. Bu ilk değer bazen 3D sensörlerin yerleri bilindiği için tahmin edilebilir. Eğer bu mümkün değilse başlıca bileşen analizi gibi daha detaylı teknikler gerekebilir. Yüze ait karakteristik özellikler taşıyan bölgeler çeşitli algoritmalar yardımıyla çıkartılabilir. (Eğrilik analizi, profil). Bu noktalar görüntü üzerinde bir kaba çakıştırma için kullanılabilir. Kaba çakıştırma ile çakıştırılacak görüntüler aynı doğrultuya getirilerek detaylı çakıştırma işlemine geçilebilir. Bir diğer yaklaşım serbest uzayda belirli farklı ilk konumlar ile görüntünün yaklaşık olarak aynı doğrultuya gelmesini sağlamaktır. Bu yöntemler uygulandıktan ve görüntüler kaba olarak aynı doğrultuya

getirildikten sonra iteratif en yakın nokta algoritması ile detaylı karşılaştırma yapılabilir.



Şekil 1.1. Global-lokal minimum

Şekil 1.1’ de A noktaları en yakın nokta olarak b1’i seçmektedir(Lokal Minimum). Ancak eş noktalar b2, b3, b4 dür (Global minimum). Global minimuma b2,b3,b4 ile eşleşerek ulaşılır.

Bu çalışmada ilk olarak Bölüm 2’de literatür çalışmasının sonuçları paylaşılacaktır. Görüntü işleme ile yapılan çalışmalar hakkında bilgi verilecektir. Bölüm 3 ‘de 3B görüntü ve görüntünün elde edilmesi hakkında bilgi verilecektir. Daha sonra iteratif en yakın nokta algoritması ve çevirme ve öteleme değerlerinin çıkartılmasında kullanılan quaternionlara değinilecektir. 5.Bölümde tezde kullanılan yöntemler anlatılmıştır. İyileştirme için uygulanan algoritmalar hakkında bilgi verilmiştir. Bölüm 6’da yapılan çalışmadan elde edilen sonuçlar bulunmaktadır.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Görüntü işleme ile ilgili çalışmalar ilk zamanlarda iki boyutlu görüntüler üzerinde yapılmıştır. Ancak elde edilen sonuçlar 2 boyutlu görüntülerle çalışma yapılırken sonuçların aydınlanma, yönlenme ve yüz görüntülerinde ifade değişikliklerine bağlı olduğu görünmüştür. Peer ve ark. (1999) yaptıkları çalışmalarda aydınlanma ve yönlenme faktörleri için kısıtlamalar getirmiştir [1]. Acherman ve ark. (1997) çalışmalarında 3B görüntüler farklı aydınlanma durumlarından ve renk ve yansıma özelliklerinden bağımsız olduğunu söylemişlerdir [2]. Bu eksikliklerden dolayı yakın zamanda 2.5B veya 3B görüntülerin kullanıldığı algoritmalar geliştirilmiştir[8]. 2.5B görüntüler 3B görüntülerin daha kolay elde edilip daha az yerde saklanabilir. Ancak 3B kadar güvenilir sonuç vermemektedir.

Zitova (2003) yaptığı çalışmada karşılaştırma için sunulan farklı metotları ele almıştır [9]. Farklı durumlardan elde edilen görüntülerin karşılaştırılmasında çeşitli algoritmalar mevcuttur. Karşılaştırma 4 ana başlık altına toplanmıştır. Özel nokta çıkartma, özel noktaların eşleştirilmesi, uygulanacak çevirmenin tahmini, çevirmenin uygulanması.

İlk olarak elimizdeki görüntüler içi hangi yöntemin daha uygun olduğu test edilmelidir. Test ve veritabanı görüntülerinde aynı veya benzer özellikteki noktaların bulunması gerekmektedir.

Özellik çıkartma basamağını iki başlıkta toplanmıştır.

Alan tabanlı yaklaşımlarda özellik çıkartma gerekmemektedir. Karşılaştırma doğrudan ikinci adımdan başlamaktadır.

Özellik tabanlı yaklaşımlarda görüntünün özel noktaları çıkartılmaktadır. Bu özel noktalar çıkartılırken görüntüde ayırt edici olan, farklı zamanlarda özelliğini değiştirmeyen ve her iki görüntüde de bulunan yerlerin seçilmesi başarıyı arttırmaktadır. Bölge, çizgi veya nokta özellikleri kullanılmaktadır.

Bölgeler sınırlarında yüksek zıtlığa sahip göller su rezervleri, binalar, ormanlar gibi alanlardır. Bölge özellikleri çıkartılırken bölümleme metotları kullanılmıştır.

Yollarda, görüntü çevre çizgilerinde, kıyı şeritlerinde çizgi özellikleri eşleştirme için kullanılabilir. Bu çizgilerin çıkartılmasında standart kenar çıkartma algoritmaları (Gauss, Canny) kullanılmıştır.

Nokta özellikleri genellikle kesişen çizgilerin bulunduğu yerlerde köşelerin bulunduğu görüntülerde kullanılabilir.

Özel noktaların bulunması için kullanılacak metot görüntünün yapısına bağlıdır. Binalar, göller, yollar gibi özel bölgelerin fazlaca bulunduğu görüntülerde özellik tabanlı yaklaşımlar güzel çalışırken tıbbi görüntülerde alan bazlı yaklaşımlar daha performanslı çalışmaktadır.

Özellik eşleştirme bölümünde bir önceki adımda bulunan özel noktalar eşleştirilmektedir.

Alan tabanlı metotlarda özellik çıkartma ve özelliklerin eşleştirilmesi adımları birleştirmiştir.

Önceden tanımlanmış, görüntünün tümünü veya bir kısmını içeren bir pencere tüm görüntüye uygulanarak bir ilişki tahmini yapılmaktadır.

Ancak bu yöntemin eksiklikleri mevcuttur. Bunların ilki eğer karşılaştırılacak görüntüler arasında basit çevirmeler mevcut ise bu karşılaştırma işlemi başarı ile yapılabilir. Daha karmaşık karşıştırmalar bu yöntemle çözülemez. İkinci eksiklik ise alınan pencerenin yumuşak olması ve belirleyici noktalar içermeme durumudur. Özel nokta içermeyen bu bölgeler ile uygun karşılaştırma yapmak zordur.

Klasik bölge bazlı karşıştırmalarda kullanılan çapraz ilinti (CC) görüntüleri şekilsel olarak değil de yoğunluk bazlı değerlendirerek karşılaştırma yapar. Çapraz ilinti pencere ile karşılaştırılan görüntüler arasındaki en büyük ilintiye sahip pencere çiftini arar.

Eğer zaman önemli ise veya görüntü elde edilirken frekansa bağlı bir gürültü ile bozulmaya uğratılmış ise bu durumlarda Fourier motodu uygulanır. Test ve referans görüntülerindeki çapraz güç spectrumu (cross power spectrum) hesaplanarak tepe değerlerini yerlerine bakmaktadır.

Farklı şekiller içeren görüntüler için karşılıklı bilgi(mutual information) metotları önerilmiştir. Bu yöntemlerde görüntüler arasındaki istatistiksel bağılıklar hesaplanmaktadır.

Özellik tabanlı metotlar özellik çıkartma aşamasında çıkartılan özel noktaları karşılıklı ilintilerin bulunması için kullanılır. Uzaysal ilişkileri kullanan metotlarda uygun karşılaştırma için, kontrol noktaları arasındaki uzaklık minimize edilene kadar çevirme uygulanır. Değişmeyen tanımlayıcıların kullanıldığı metotlarda her iki görüntüde de yerleri bilinen kontrol noktaları alınarak bu noktalara göre eşleştirme yapılmaktadır.

Alan tabanlı yaklaşımlar daha çok görüntüde yeterince ayırt edici özellik olmadığı veya ayırt edici bilgilerin şekillerden çok renk özelliklerinden gelen durumlarda uygundur. Ancak referans ve test görüntüsünün aynı yoğunluğa sahip olması gerekmektedir. Alan tabanlı yaklaşımlarda küçük çevirme hareketleri uygulanabilir. Tam çevirme (180 derece) işlem yükü bakımından gereksizdir.

Görüntüde bölge değerlerinin yoğunluk değerlerine göre daha anlamlı olduğu durumlarda özellik tabanlı yaklaşımlar uygulanabilir. Tamamen farklı kaynaklardan alınan görüntülerin (hava fotoğrafı ve harita) karşılaştırılmasında da özellik tabanlı yaklaşımlar kullanılabilir.

Döndürme modelinin tahmini basamağında ilişkilendirilen özelliklerden harita fonksiyonları üretilir. Üretilen bu fonksiyonları uygulandığında test ve referans görüntüsü arasında olabilecek en yakın duruma ulaşılır. Harita fonksiyonları iki ana kategoriye ayrılır.

Global haritalamada modellerin bütün özel noktaları haritalama fonksiyonu üretilirken kullanılır.

Lokal haritalama görüntüyü bölgelere ayırır ve kontrol edilen bölgeye göre özellikleri seçer ve buna göre bir harita fonksiyonu üretir.

Radial tabanlı haritalama global haritalamanın içine girmektedir fakat yerel değişen geometrik bozunumları çözebilmektedir. Fonksiyon çevrilmiş simetrik fonksiyonların kombinasyonu şeklinde ifade edilir.

Görüntü örnekleme ve döndürme basamağında bir önceki bölümde bulunan harita fonksiyonu test görüntüsüne uygulanarak görüntüler karşılaştırılmaktadır. İleri yöntem (forward) ve geri yöntem (backward) diye adlandırılan iki metot ile harita fonksiyonları uygulanmaktadır. Haritanın bütün piksellere direk uygulanması ileri metot (uygulaması zor, veride boşluklar oluşmakta) çevrilmiş görüntü referans görüntü ve ters harita fonksiyonu tarafından ifade edilmesine ise geri metot denir.

Türk ve ark. (1991) 2B görüntüler üzerinde çalışarak görüntü eşleştirme yapmışlardır [10]. Yüzler, yüz uzayları olarak adlandırılan özelliklerden oluşan bir uzayda özvektörler tarafından tanımlanmaktadır. Makalede amaç yüzü daha düşük uzaylarda ifade edebilmektir. İlk olarak normalize edilmiş ve aynı büyüklükteki görüntüler (I_i) alınıp bir boyutlu bir matris (Γ_i) ile ifade edilmektedir. Daha sonra bu matrislerin ortalaması bulunmaktadır (Ψ). Bütün yüz matrislerinden bu ortalama değer çıkartılıp (Φ_i) kovaryans değeri hesaplanmaktadır (C). Daha sonra kovaryans matrisinin özvektörleri hesaplanmıştır. K adet özvektör alınarak bir yüzün oluşturulması sağlanmıştır. Bulunan bu K adet özvektör özyüzlerin ifade edilmesinde kullanılmaktadır.

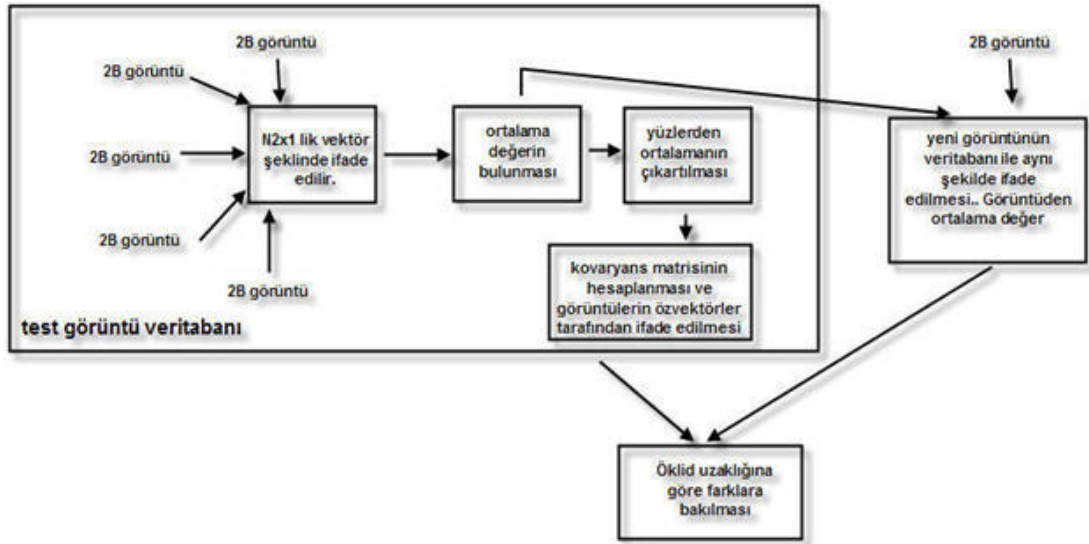
$$\Phi_i \text{ mean} = \sum_{j=1}^K w_j u_j \quad (w_j - w_j^T \Phi_i) \quad (2.1)$$

Burada u_j özvektörleri ifade etmektedir. Böylece N^2 ile ifade edilen yüz K adet değişken ile ifade edilmiş olmaktadır. Bu kısma kadar yapılanlar bir özyüz oluşturmak için yapılmıştır. Yeni bir yüz görüntüsü geldiğinde tanıma için aşağıda anlatılan adımlar yapılmaktadır.

Tanıma aşamasında gelen görüntü ilk olarak veritabanındaki görüntülerle aynı doğrultuda ve büyüklükte normalize edilmektedir. Daha sonra ortalama matristen çıkartılarak Φ değeri bulunmaktadır. Daha sonra görüntü K adet özvektör ile ifade edilmektedir. Test kümesi verileri ile yeni gelen veri karşılaştırılmaktadır.

Karşılaştırma Öklid uzaklığına göre yapılmaktadır. Fark belli bir eşik altında ise tanıma sağlanmışır kanısına varılmaktadır.

Makalede olabilecek problemlerden bahsedilmiştir. Arkaplan, ışık durumları, ölçeklenme ve yönelim. Bunlar bütün 2B tanıma algoritmalarında sorun oluşturmaktadır. Sonuçta %96 ışık değişiminde, %85 yönelim değişiminde, %64 ölçek değişiminde başarı elde edilmiştir. İkinci deneyde eşik değeri belirlenmek için yapılmıştır. %100 başarı elde edildiğinde, değişen aydınlanmada %19 ret, değişen yönelimde %39 ret ve değişen ölçekte %60 ret bulunmuştur.



Şekil 2.1. Makale akış seması

2B görüntülerdeki sorunlar ve 3B görüntü elde etmenin kolaylaşması ile son 10 yılda 3B görüntüler kullanılarak yapılan çalışmalar artmıştır. 3B görüntülerde karşılaştırma farklı şekillerde yapılabildiği için karşılaştırma konusunda birçok makale yayınlanmıştır.

Amor ve ark. (2006) tanıma ve doğrulama için yüzey eşleştirmesine dayanan bir algoritma sunulmuştur [11]. Yüze ait yoğunluk görüntülerini kullanmanın yönlenme, aydınlanma, ifade değişikliği gibi problemleri olduğundan bu makalede ICP algoritması kullanılmıştır. 3D görüntüler lazer tabanlı tarayıcıdan elde edilmiştir. Karşılaştırmak için 2.5B bir görüntü kullanılmıştır.

Makalede ilk olarak kaba Çakıştırmanın yapılmaktadır. Daha sonra ICP kullanılarak detaylı çakıştırma yapılmıştır. Bu algoritmanın amacı MSE (Mean Square Error)'yi minimize etmektir. Sonuçta eşleştirilmiş bir 2.5B probe ve 3B model elde edilip eş noktalar arasında uzaysal dağılımının hesaplanmaktadır. Eşleştirme ve tanımlama elde edilen bu uzaklıklar sayesinde bulunur.

ICP tabanlı 2.5B/3B yüz eşleştirme yaklaşımının asıl amacı 2 boyutlu görüntülerde olmayan boyut bilgisini kullanarak bir eşleştirme sağlamaktır. Bunun için ICP kullanılmıştır. Burada uygulamada ilk olarak bir kaba Çakıştırmanın yapılması daha sonra ICP nin farklı versiyonları ile detaylı çakıştırma yapmaktır.

Kaba akıştırma yapılırken yüzey eğrilerinden çıkartılan 3B yüz özelliklerinden yararlanılmıştır. Burada ikiden fazla özel nokta elle seçilmiştir. Daha sonra bu seçilen noktalardan R ve t (evirme ve öteleme) değerleri hesaplanmıştır. Böylece ICP için uygun bir ilk durum sağlanmış olur. Uygun bir ilk durum hem işlem yükünü azaltır hemde global minimuma yaklaşmayı garantiler.

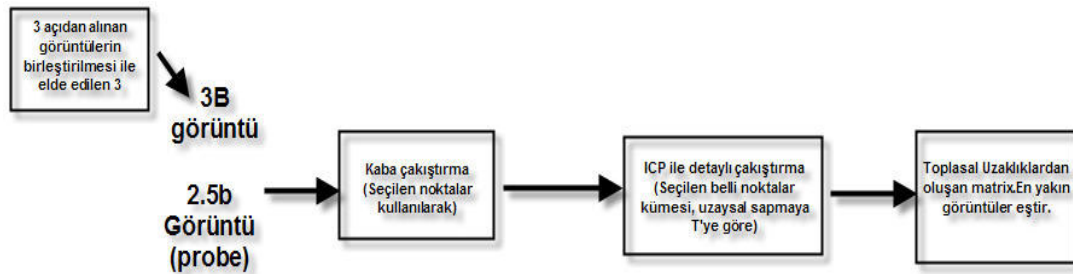
Detaylı akıştırma için ICP kullanılmıştır. ICP probe ve model kümesi arasındaki uzaklığı en aza indirmeye çalışan bir algoritmadır. Kullanılan ICP versiyonunda özel uzaysal sapma T ye bağlı olarak özel noktalar seçilmiştir. Uzaysal sapma değeri T den büyük olan noktalar elenerek işlem yükü hafifletilmiş olur.

Yüz eşleştirmede probe ve modeldeki eşleşen noktaların uzaysal sapma dağılımlarına dayanan bir benzerlik değeri hesaplanmaktadır. Yapılan ilk örnekte ağzı açık bir probe diğerinde ise normal ifadede bir probe kullanılmıştır. İlk deneyde yüzün st bölgesi daha gürbüz olduğu için daha iyi eşleşmiştir. Yüzdeki deformasyon sebebiyle standart sapma büyük çıkmıştır. Ancak ikinci örnek tam olarak çakışmış ve standart sapma uygun değerlerde çıkmıştır. İlk örnekten nokta farkları daha çok dağılırken (min=0.097, max=14.833) ikincide (min=0.048, max=9.093) daha yakındır.

Makalededeki 3B veriler 3adet kameradan alınmış görüntülerin eşleştirilmesi ile elde edilmiştir. 50 adet 3D galeri ve 200 adet 2.5B probe vardır.

Makalede her değişim için 8 farklı deney yapılmıştır. Benzerlik matrisleri elde edilmiş ve rank 1 tabanlı bir hesaplama yapılmıştır. Bütün deneylerden %97.5 başarı elde edilmiştir. Sonuçlar 3 kümede incelenebilir. İlk olarak düzgün alınmış 3B küme ve doğal yüz ifadesi (%100, %97.56, %97.56). İkinci küme probedaki az sayıdaki değişiklik (%97.56, %100, %97.56). Son olarak tamamen kötü küme (%95.12, %92.68).

Buradan da görüldüğü gibi başarı görüntünün deformasyon durumuna göre değişmektedir.



Şekil 2.2. Makale akış şeması

Beumier ve ark. (2000) kendi elde ettikleri 3B görüntülerin karşılaştırmasını yapmışlardır [12]. Bu çalışmada 3B yüz görüntüleri oluşturulurken yapısal ışıklandırma kullanılmıştır. Yapısal ışıklandırmada seçilen bir patern görüntü üzerine gönderilerek oluşan bozulmalara göre bir 3B görüntü oluşturmaktadır. Yapısal ışık metodunun seçilmesinin nedeni daha ucuz olması, stereo görüntüde olduğu gibi iki adet kamera görüntüsüne gerek duymaması, ortam ışığından çok fazla etkilenmemesidir.

Makalede 3B karşılaştırmada kullanılan 4 adet yaklaşımdan bahsedilmiştir. Bunlar ince şeritlerin (stripe) direk kullanılması, özellik çıkarma yaklaşımı, global eşleştirme ve yüz simetrisini kullanarak yüzey eşleştirmesidir.

Stripe görüntülerinin analizinde 3 boyutlu çevirme yapılmadan direk 2B görüntülerdeki stripe bozulmalarının analiz yapılmıştır. Ancak burun ve çene bölgeleri gerçek yerinde bulunabilmiştir.

Özellik çıkartma yaklaşımı çevirme ve ötelemeden bağımsızdır. Özellik çıkarmada bölgelerin aynı insana ait görüntülerde tekrarlanabilir ve farklı insanlara ait görüntülerde ayırt edilebilir olması gerekmektedir. Bir insan yüzünde en gürbüz nokta burundur. Ağız, çene, gözler bozulmaya uğrayabilmektedir. Bu sorunlar göz önünde tutulup çalışmada global eşleştirmenin kullanılmasına karar verilmiştir. Global eşleştirmede ilk olarak karşılaştırılacak görüntüler arasında bir normalizasyon yapıp daha sonra benzerlikler incelenmektedir.

Global yüzey eşleştirmede amaç görüntüler arasındaki minimum mesafeyi elde etmek için uygun döndürme ve çevirmeleri bulmaktır. Ancak global eşleştirmenini en önemli zorluğu yüksek işlem yüküdür. Görüntünün farklı yönlerden alınmış olabileceği düşünüldüğünde 3 döndürme 2 öteleme olmak üzere 5. dereceden bir bilinmezimiz mevcuttur. Global eşleştirmede iki görüntü arasındaki mesafeyi minimize eden en uygun çevirme ve öteleme değerleri bulunmaktadır. İterasyonları azaltmak için bu 5 değişkenden biri ayarlanarak arama uzayını düşürecek bir çevrim ayarlanır. Birçok uygulamada başarılı sonuçlar elde edilmiş olsa da global eşleştirmede problem yerel minimuma yaklaşmaktır. Bunun sebebi, yanlış ilk pozisyonun seçilmesi veya gürültülü kötü verilerdir (sakal, bıyık , gözlük,sapka).

Global eşleştirmedeki işlem yükünü azaltmak için bazı iyi ilk tahminler yapılabilir. Ancak bu tahminler yerel minimuma yaklaşmayı engellemelidir. İkinci olarak referans ve test yüzünün belli bir noktaya göre yönlenmeleri biliniyorsa iyi bir ilk tahmin yapılabilir. Üçüncü olarak parametre uzayları bazı alt uzaylara bölünerek işlem yapılabilir. Böylece yüksek boyutlu uzaydan daha düşük boyutlu iki uzaya geçilmiş olur. Bu makalede yüzün ortasından geçen dikeyde yüzü ikiye ayıran simetri kullanılmış ve yüz iki simetrik parçaya bölünmüş ve iki çevirme ve bir öteleme ile normalizasyon yapılmıştır. Geriye kalan yukarı aşağı yönündeki çevirme ve dikey öteleme diğer yüz ile karşılaştırılırken bulunacaktır. Bu yüz simetrisi yaklaşımı olarak ele alınmıştır.

Makalede 3B noktalar kümesi oluşturularak kullanılmıştır. 4 yöntemden bahsetmesine karşın geometrik yüzey eşleştirmeyi kullanmıştır.

Makalede kullanılan veritabanında 120 insana ait üçer adet görüntü mevcuttur. Bütün insanlar kameranın karşısına oturtulmuş ve kameraya baktırılmıştır. Görüntüler arasında 10 derecelik yukarı, aşağı, sağ, sol kayması mevcuttur. Testlerde merkez profilin otomatik veya manuel çıkarımına yönelik sonuçlar ve merkez profil veya yan profillere yönelik sonuçlar mevcuttur. Testler sonucunda merkez profil ve bu profilin yanında bulunan yan profiller seçilerek yapılan karşılaştırma en iyi sonucu vermiştir.

Çizelge 2.1. [12]' de verilen makale sonuçları

	Merkez Profil	Yan Profiller	Merkez + Yan Profiller
Manuel Profil Seçimi	%11.8	% 10	% 6.2
Otomatik Profil Seçimi	% 14	?	?

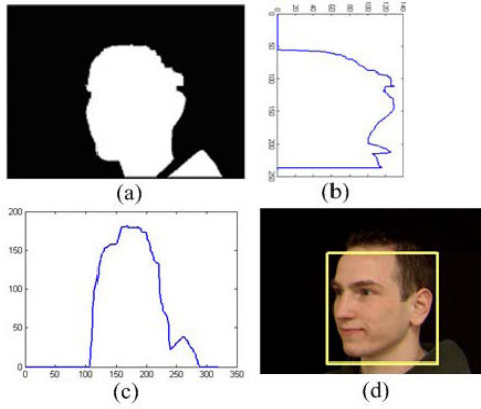
Merkez profil yan profillere göre daha çok ayırt edici özellik taşımasına karşın burun ve ağız bölgelerinin elde edilmesindeki hatalarda daha hassastır.

2.1. Özel Nokta Tabanlı Yaklaşımlar

Xiaoguang ve ark. (2006) otomatik olarak özellik çıkartmayı sağlayan, tamamen otomatik bir tanıma sistemi yapmaya çalışmışlardır [13]. Özel noktalar farklı şekillerde olabilir (Bölgeler, işaretler, çevre). Burada işaretler seçilmiştir(burun ucu, göz dışkenarları, göz iç kenarları, ağız kenarları). Bazı durumlarda kameraya en yakın yer burun ucu olmaz. Bu durumda özel noktalar iyi bir şekilde bulunamayabilir. Makalede başın yönü özellik almaya uygun bir şekilde yönlendirilmiş olduğu varsayılmıştır.

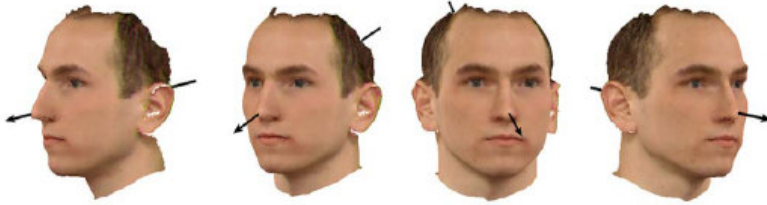
Her 2.5B görüntü 4 matristen oluşmaktadır. (X (row, column), $Y(r, c)$ uzaysal, $Z(r, c)$ derinlik, $M(r, c)$ maske).

Makalede ilk olarak yüzü arka ekrandan ayrılması sağlanmıştır. Bunun için M 'nin yatay ve dikey eğrileri kullanılır.



Resim 2.1. Yüz bölgesinin çıkartılması [13] a) arka ekran çıkartımı b) burun çıkartımı için yandan alınan profil c) burun çıkartımı için yandan alınan profil d) yüz bölgesinin bulunması

Önden çekilen görüntülerde genellikle en büyük z değeri burun ucuna ait olur. Sadece büyük poz değişikliklerinde bu sağlanamayabilir. Ancak belli maksimum değerlere kadar poz değişikliği yapılabilir. Burun ucu ve poz tahmini için bu özellik kullanılmıştır.



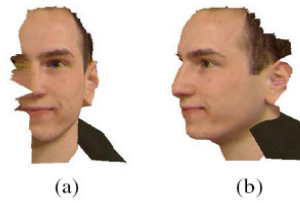
Resim 2.2. Farklı poz durumları [13]

X ekseninde yönelmiş görüntü merkeze yerleştirildikten sonra 5 adımdan oluşan burun ucu bulma ve yön tahmini algoritması yürütülmeye başlar. Bu adımlar; poz nicemlemesi, yönsel maksimum, poz düzeltme, burun profil çıkartma ve burun profil doğrulama.

1. Poz Nicemleme: Bu bölümde burunun görünebileceği şekilde y ekseninde yüz N adet farklı poz elde ediliyor. Makalede 2 derecelik aralarla -90° $+90^{\circ}$ da poz alınmıştır.

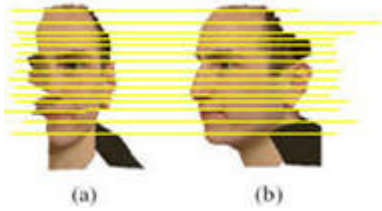
2. Maksimum Yön: Daha sonra burun ucunun kameraya en yakın olabileceği aday pozlar seçiliyor. Farklı açılarda aynı aday burun noktası kullanılabileceği için N sayısından daha az aday elimizde kalır. Daha sonra kalan bu adaylar arasından en uygun seçimeye çalışılır.

3. Poz Doğrulama: Sonraki aşamada bu farklı pozlar uygun çevirmeler ile (poz nicemlemede bulunan Q) çevrilerek poz doğrultulur.



Resim 2.3. Poz doğrulama [13] a) önden görünüm b) yandan görünüm

4. Burun Profili Çıkarımı: Düzeltilen yüz görüntülerden daha sona burundan geçen profil bulunur. YZ ekseninde yüz kesilerek en yakın noktalar bulunmuştur.



Resim 2.4. Burun profili çıkartma [13] a) önden görünümde profil çıkartma b) yandan görünümde profil çıkartma

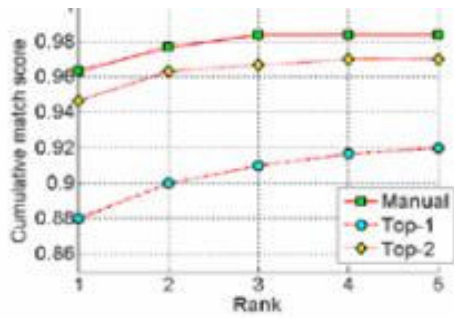
Daha sonra bütün adayları karşılaştırmak için hepsi burun ucundan geçecek şekilde normalize edilmiştir.

5. Burun Profili Doğrulama: Doğrulama için tamamen farklı bir kümeden burun uç noktası manuel olarak bulunur. Daha sonra oluşturulan bu küme doğrulama için kullanılır. Alınan bir test profilinin her açısı küme ile karşılaştırılarak en yakın uzaklığa sahip burun ucu ve açısı seçilir.

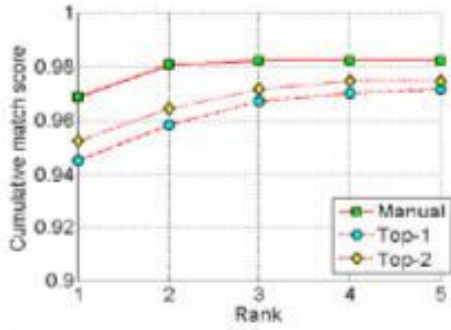
Göz ve ağız kenarlarının çıkartılmasında yoğunluk imgesi ve derinlik imgesi kullanılarak uygun köşeler bulunmuştur.

Bu kısma kadar uygulanan yöntemler ile yüz farklı pozlarda olsa bile normalize edilmiştir. Bundan sonraki kısımda 2.5B probe ile 3B model kümesi ICP ile yüz tanıma işlemine sokulabilir. Makalede alınan burun ucu adayları ICP algoritmasına sokulmuş ve en yakın sonucu veren yüz seçilmiştir. Makalede ayrıca ICP nin ilk durumu için göz ve ağız kenarlarından da yararlanılabileceğinden bahsedilmiştir.

Makalede iki adet veritabanı kullanılmıştır. 98% bir başarı ile burun ucu bulunmuştur. 300 adet test yüzü ve 100 adet model ile yapılan deneylerin sonucu;

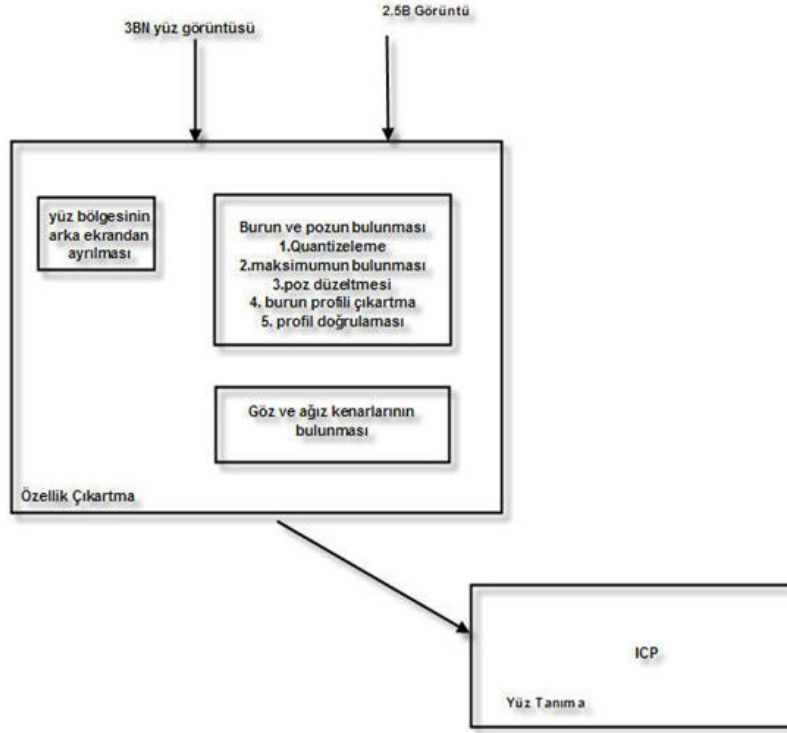


a)



b)

Şekil 2.3. Sonuçlar [13]. a) MSU veritabanı ile yapılan deney sonuçları b) UND veritabanı ile yapılan deney sonuçları



Şekil 2.4. Makale akış şeması

Bazı çalışmalarda şablon yüzler kullanılarak yüze ait özel noktalar çıkartılmıştır. Bu konuda Whitmarsh ve ark. (2006) makalesinde şablon model kullanılarak 3B yüze ait özel noktaları bulan bir yöntem önerilmiştir [14]. İlk aşama yüz datası ile şablon modelinin karşılaştırılmasıdır. Karşılaştırma yapıldıktan sonra şablon yüzdeki özel noktalar karşılaştırılan yüzdeki özel noktalara karşılık getirilir.

Makale için hazırlanan veritabanında farklı aynı yüz ifadelerinde görüntüleri alınmıştır. Alınan datalarda elde edilirken sorun olmadığı için bir önileme tabi tutulmasına gerek yoktur.

Makalede alınan CANDIDATE yüz modelleri farklı yönlerde ve farklı ifadelerde görüntüler barındırmaktadır(<http://www.bk.isy.liu.se/candide/javacandide.html>). Bu modellerde olası ifadeler ve yönler tanımlanmıştır.

ICP kullandığı için bir ilk ayarlamaya gerek duyulmaktadır. Bu çalışmada kameraya en yakın noktanın burun ucu olduğu ve görüntüde sadece yüz bölgesinin bulunduğu

varsayılmış ve modelin burun ucunu en yakın z değerine eşitleyerek işlem yapılmıştır. PCA ile normalizasyon işlemi yapılmıştır.

Makalede ICP kullanılmıştır. Tepe noktalar kontrol noktaları olarak kullanılmıştır. Eş noktalar arasındaki mesafe belli bir değerin üzerinde ise bu nokta çiftleri kontrol kümesinden atılmaktadır. Dönüşüm basamağında Procrustes analizi ile çevirme öteleme ve ölçekleme değerleri bulunmaktadır. Özel noktalar karşılaştırma işlemi bittikten sonra uygulanır. Model yüz ve test yüz arasındaki karşılaştırma sonucu test yüzde bulunan özel noktalar model yüzdeki en yakın karşılığı olarak tanımlanır. Böylece model yüzdeki özel noktalar tanımlanmış olur.

2.2. Yüzey Eğriliği Tabanlı Yaklaşımlar

3B yüz tanıma yapılan çalışmaların bazıları yüze ait eğrilik bilgilerinden yararlanmıştır. Gordon ve ark. (1991) yaptıkları çalışmada derinlik ve eğrilik bilgilerini 3B yüz tanıma için kullanmışlardır [15]. Derinlik ve eğim bilgileri 3B yüz tanıma başarılıdır. Bunların nedenleri yönden bağımsız, çene burun gibi yerleri bulmada etkili ve yüzü tanımlamada yüksek doğruluk oranına sahip olmasıdır. Yüzler özelliklerden oluşan matrisler şeklinde ifade edilir ve daha sonra karşılaştırma bu matrislerle yapılır. Amaç farklı ışık, yönelim, yüz ifadesi gibi durumlarda bile başarılı sonuçlar elde edebilecek bir algoritma sunmaktır. Burada iki adım bulunmaktadır. İlk adımda burun çene gibi yüksek seviyeli özel noktalar bulunacak daha sonra eğrilik veya mesafe bilgilerinden daha düşük seviyedeki özel noktalar çıkartılacaktır.

Çalışmanın ilk kısmında derinlik imgesinin yoğunluk imgesine göre niye tercih edildiği bahsedilmiştir. Derinlik imgesi daha az işlem gücü isteyen aydınlanma bakış açısı kameranın konumu gibi etkenlere bağlı değildir. Ayrıca derinlik imgesinden çene, alın gibi özel bölgeler bulunarak ve özel nokta matrisi büyütülerek daha uygun karşılaştırmalar yapılabilir. Yüzü tanımlarken burun köprüleri, burun yanakları, göz köşeleri, göz konveksinin merkezi gibi özellikler alınır. Hesaplamalarda, Gaussian ve Mean eğrileri, yüzdeki bölgelerin kesin sınırları, bir nokta veya bölgenin simetrik

düzlemde olan uzaklığı, simetrik eş özellikler, yüzeyde bir nokta veya bölgenin hedefe vekilliği, sınırların yüzeyden olan taşmaları göz önünde bulundurulmaktadır.

Sayısal olarak yüzü temsil ederken sağ, sol göz genişliği, gözler arası mesafe, burun genişliği, yüksekliği gibi değerlere bakılır. Ölçüm birimi mm dir. Böylece yoğunluk imgesinin tersine kamera ile olan uzaklığın önemi kalmaz.

Makalede Öklit uzaklığı yüzlerin karşılaştırmasında kullanılmıştır. Sonuçlar 24x24 lik matrise kaydedilmiştir. En düşük uzaklık en iyi sonucu vermektedir.

Özellik çıkarmaya dayanan karşılaştırmada iki kriterin sağlanması gerekmektedir. İlki farklı zamanlarda farklı ifadelerde farklı aydınlanmalarda gürbüz olarak tanımlanabilme bir diğeri ise farklı insanlardan kolayca ayrılabilmedir. Makale bu durumları tekrarlanabilme ve ayrılabilme olarak ifade etmiştir. Ayrılabilmede Fisher linear fark kriteri kullanılmıştır. Bu kriter farklılık gücünü vermektedir. Yapılan çalışmada burun altı bölgesi ve göz genişliklerinin ayrılabilme güçleri çok yüksek değildir. Bu noktalar arasındaki tekrarlanabilmede çözünürlüğümüzden küçük olduğu için bu noktalar tanıma için kullanılmamaktadır.

Daha sonra karşılaştırma için özellik kümeleri çıkartılmıştır. Bu kümeleri çıkartırken farklılık gücü hesaplamaları ile bir farklılık çizelgesi oluşturulmuş ve bu çizelgeye göre karşılaştırma elemanları alınmıştır. Yapılan çalışmada aynı insandan alınan görüntülerin farklı insanlara ait olanlara göre daha yakın olacağı varsayılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda farklılık gücü yüksek olan bölgelerden alınan elemanlar ile daha gürbüz sonuçlar elde edilebilmektedir. Ayrım gücü daha az olan yüz özellikleri kullanıldığında performans daha düşüktür.

Yapılan deneylerde kümeleme (clustering) ile yapılan sıralamada farklılık gücü yüksek olan özelliklerde daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 2.2. seçilen noktaların tanıma başarısına etkisi

özellik kümesi	tanıma oranı
*kafa genişliği *burun yüksekliği *burun derinliği *burun genişliği	en iyi ilk 70.8 en iyi ikinci 75.0
*kafa genişliği *burun yüksekliği *burun derinliği *burun genişliği *gözler arası mesafe *burun sırtlarındaki max. Gauss eğriliği	en iyi ilk 91.7 en iyi ikinci 83.3
*kafa genişliği *burun yüksekliği *burun derinliği *burun genişliği *gözler arası mesafe *burun sırtlarındaki max. Gauss eğriliği *burun sırtlarındaki ve gözler arasındaki ortalama min. Gauss eğriliği	en iyi ilk 100 en iyi ikinci 79.2
*kafa genişliği *burun yüksekliği *burun derinliği *burun genişliği *gözler arası mesafe *burun sırtlarındaki max. Gauss eğriliği *burun sırtlarındaki ve gözler arasındaki ortalama min. Gauss eğriliği * burun köprüsündeki Gauss eğriliği	en iyi ilk 95.8 en iyi ikinci 79.2

Çizelgede 8 insandan her insandan üçer tane olmak üzere görüntü alınmış ve bu 24 adet görüntü ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Alınan bir görüntünün aynı insana ait görüntü ile en iyi şekilde eşleşme sonucu üstte aynı adamın diğer görüntüsü ile en iyi ikinci olarak eşleşme sonucu altta gösterilmiştir. Çizelgeden de görüldüğü üzere aldığımız noktaların gürbüzlüğü tanıma performansını etkilemektedir.

Yüze ait eğrilikleri kullanan bir diğer çalışmada Colombo ve ark. (2006)'ye aittir [16]. Bu makale 3B yüzlerden özellik çıkartarak tanımayaya dayanmaktadır. Göz ve burun gibi özel noktalar yüzeyin eğrilikleri kullanılarak hesaplanabilir. İkinci aşamada yüze ait bir üçgen bu noktalar kullanılarak oluşturulur. Makalede yüz olan bölgeler PCA kullanılarak bulunmaktadır.

Bu çalışmada amaç belli bir görüntü içerisinde yüz varmı? Eğer varsa bunun uygun bir çevirme ile normal duruma getirmektir. Görüntüde kaç adet yüz var ve ne şekilde yönlendiği bilinmemektedir. Bu çalışmada resim içerisinde tek yüzün olması tercih edilmiştir. İşleme görüntüdeki Gaussian ve Mean eğrilikleri kullanılarak gözlerin ve burnun bulunması ile başlanmaktadır. İkinci adım olarak gözler ve burun kullanarak yüz üçgeni çıkartılır. Bu üçgenler daha sonra görüntünün doğrultulması için kullanılır ve aday yüzlerle karşılaştırma yapılır.

İlk olarak smooth resimlerden Gaussian ve Mean eğrileri hesaplanmaktadır. Burun ve gözler için yüksek eğrilige sahip eşik seviyeleri belirlenir. HK sınıflandırması bölgeleri konkav, konveks ve yan bölgelere ayırmaktadır. Burun ve göz bölgesi eğriliklerine göre karakterize edilmektedir. Çalışmada eğer resimde burun veya iki gözden herhangi biri bulunamazsa resimde yüz görüntüsünün olmadığı kanısına varılmaktadır. Gözler ve burun daha sonra yüz üçgeni oluşturmada kullanılmaktadır. Yanak ve ağız bölgesi dışarıda bırakılmıştır. Çalışmada ikinci türev gürültüye karşı çok hassas olduğu için yumuşatma filtresi (Gaussian) kullanılmıştır. Bu sayede hem yüksek frekans bileşenleri gitmiş hemde karakteristik bölgeler özelliklerini korumuştur.

Yüze ait yüzey kullanılarak HK eğrileri bulunur.

$S=\{(x,y,z)|f(x,y)=z\}$ olmak üzere

$$H(x_0, y_0) = \frac{(1 + f_y^2)f_{xx} - 2f_x f_y f_{xy} + (1 + f_x^2)f_{yy}}{2(1 + f_x^2 + f_y^2)^{\frac{3}{2}}}$$

$$K(x_0, y_0) = \frac{f_{xx}f_{yy} - f_{xy}^2}{(1 + f_x^2 + f_y^2)^2}$$

Burada H Mean K Gaussian eğrilerini ifade etmektedir ve f_x , f_{xx} f nin sırasıyla birinci ve ikinci türevleridir.

Bulunan HK değerlerine göre yüzeydeki eğrilik tanımlanabilir.

Çizelge 2.3. HK sınıflandırması

	K<0	K=0	K>0
H<0	Hyperbolic concave	Cylindrical concave	Elliptical concave
H=0	Hyperbolic symmetric	Planar	Impossible
H>0	Hyperbolic convex	Cylindrical convex	Elliptical convex

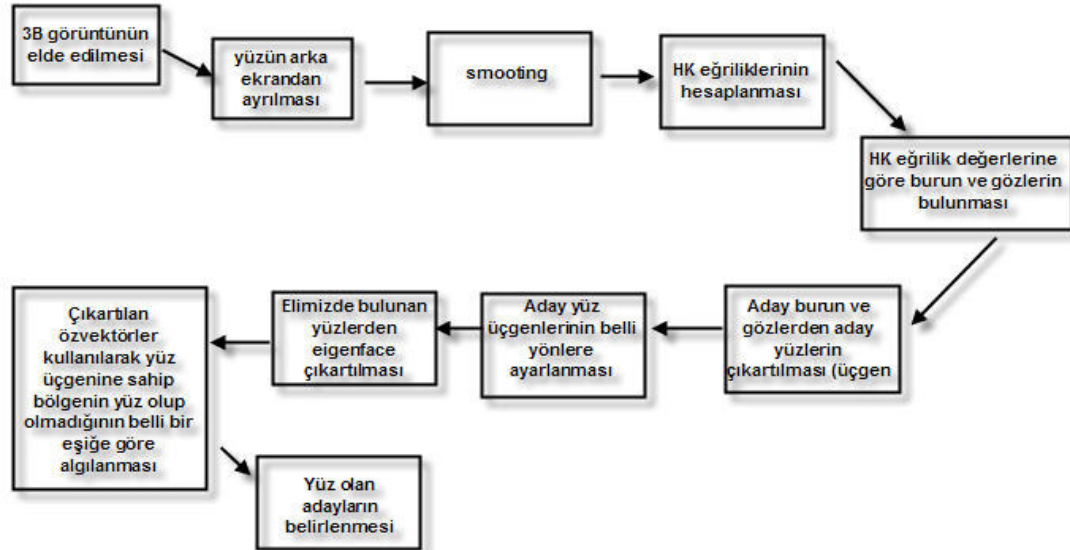
Makalede belirli eşik değerleri belirleyerek üye kümesi azaltılabilir. Bu eşikler deneyler sonucunda belirlenmiştir ($T_h=0.04$, $T_k= 0.0005$). Bu değerler smooth görüntüde göz ve burun bölgesini bulmada oldukça başarılıdır. Burun bölgesi için konveks, göz çukurları bölgesi için ekliptik konkav bölgelere bakılır.

Burun ve gözler bulunduktan sonra burun adaylarının esas yönleri (principal directions) bulunur ve yüzü ikiye bölmek için kullanılır. Göz adayları arasından seçilen sol bölge ve sağ bölge gözleri kullanılarak yüz üçgeni oluşturulur. Daha sonra bu üçgenin yönü kontrol edilir. Kameraya doğru yönlenmemişse bu üçgen iptal edilir. Adayların sayısını azaltmak için (e_l, e_r, n) uzaklıkları ile de bir filtreleme uygulanabilir. $(e_l, e_r \text{ left, right göz çukuru, } n \text{ nose})$. (eşitsizliklerde kullanılan değerler ön tanımlı eşik değerleridir).

Yüz üçgenleri görüntü düzleminde özgürce yönlenmiştir. Bunu bir referans sistemine göe düzeltebiliriz. Özellik olarak x eksenini sağ göze sol göze yönlenmiş z eksenini yüz üçgeninin normali ile aynı doğrultuda ve y eksenini için ise diğer iki eksen arasındaki cross çarpım kullanılarak düzeltilmiş yüz görüntüsü elde edilebilir. Eksenlerin orjinleri burun ucudur. Son olarak sistem x eksenini ile 45 derecelik bir açı yapmaktadır. Bütün görüntüler bu referans sistemine göre ayarlanır. Daha sonra özyüzlerden yararlanarak yüz olup olmadığı anlaşılır. Bunu yaparken aday yüzlerden bir yüz uzayı elde edilir. Daha sonra bu yüz uzayının özvektörlerine olan benzerliğe göre yüz olup olmadığı anlaşılır. Eğer benzerlik belli bir değerden büyükse yüz vardır değilse yüz yoktur. Bu eşik değerleri deneylerle belirlenmiştir.

Testlerde 55 kişiden 140 görüntü elde edilmiştir. 10 görüntüde 2 kişi, 24 görüntüde yüz yok, 20 görüntüde şapka sakal gibi aksesuarlar veya doğal olmayan yüz ifadeleri vardır. 2 adet insanın bulunduğu örnekte 1 tanesi yüz olmayan üçgenler üretilmiş ve yanlış olan üçgen elenmiş ve doğru iki kişiye ait yüz üçgeni kalmıştır. Bir adam ve bir oyuncak bebeğin olduğu testte oyuncak bebeğin üçgeni eşik değerinin altında kaldığı için elenmiştir. Dil çıkartan bir adama ait testte gürbüz noktaların kullanıldığı için başarı elde edilmiştir. Yüze yakın elin olduğu testte filtre ile seçilen adaylardan uygun olmayan sahte burunlar elenmiştir.

Makalede uygun olmayan sonuçların çoğunun kameradan alınan görüntülerdeki boşluklardan olduğu görülmüştür. Bu boşluklar genellikle kaş bölgesindedir. Lazer kamera teknolojisinde böyle yerleri tanımada yetersiz olduğu bilinmektedir.



Şekil 2.5. Makale şeması

2.3. Profil Tabanlı Yaklaşımlar

3B görüntülerde uygun karşılaştırma için uygulanan metolardan biriside yüzün profilini çıkartmak ve bu profile göre yüzleri kaba olarak hizalamaktır. Pan ve ark. (2003) uzaklık bilgisi taşıyan verilerden elde edilen 3B görüntü 3B eşleştirme için kullanılmaktadır [17]. Profil çıkarımı için simetrik düzlem kullanılmıştır.

Bu makalede yüzün simetri özelliğinden yararlanılmıştır. Profili çıkartılacak yüz herhangi bir simetri eksenini seçilerek bu eksene göre aynalanıyor. Daha sonra elde edilen iki görüntü karşılaştırılıyor. İlk görüntü üzerinde alınan nokta ile aynalandıktan sonraki nokta arasında doğru oluşturuluyor. Bu doğru yüzün simetrik düzlemine dik ve doğrunun orta noktası simetrik düzleminin üzerinde olduğu varsayılmaktadır. Böylece gerçek simetri eksenini bulunmaktadır. 3B veri elde edilirken sorunlar olabileceği için bütün noktalara göre simetri merkezi bulunmuştur ve endüyük kareler metoduna göre uygun profil bulunmuştur. Böylece sonuçların iyileştirilmesi sağlanmıştır. Makalede eşleştirme için ICP kullanılmıştır. Uzaklık metriği olarak Hausdorff uzaklığı tercih edilmiştir.

Makaledeki deneyler 3D-RMA veritabanında yapılmıştır. Sonuçlar [18] de verilen makale ile karşılaştırılmıştır.

Çizelge 2.4. EER [17]

Databases	Yu's method[12]	Ours method
<i>DBs1m</i>	11.11%	2.22%
<i>DBs2m</i>	8.05%	4.44%
<i>DBs1m+s2m</i>	13.33%	6.67%
<i>DBs1a</i>	13.33%	5.56%
<i>DBs2a</i>	16.67%	7.78%
<i>DBs1a+s2a</i>	18.22%	8.89%

Yüz profilinin algılanması ve tanıma hakkındaki bir diğer çalışma Yu ve ark. (1996) tarafından yapılmıştır [18]. Bu makalede yüz profilinin ve önden görünüşteki görüntülerdeki başarılarından bahsedilmiştir. Önyüzlerde daha fazla bilgi olmasına karşın daha fazla işlem yükü gerektirmektedir. Ancak profilde daha az işlem gücü vardır ve profil yüzü tanımlayabilecek bilgileri içermektedir. Önyüz ve profil görüntüsü iki şekilde kullanılabilir. İlk olarak profil görüntüsü kullanılarak daha az

işlem yükü ile veritabanındaki uygun görüntülerin sayısı azatılıp geri kalanlar arasında işlem yükü çok olan önyüz karşılaştırması yapılabilir. İkinci olarak iki yöntem birbirinden bağımsız olarak işlenip sonuçlar değerlendirilebilir. Burada bu iki yöntem ayrı incelenmiş ve makalede sadece profil tabanlı yaklaşım verilmiştir. Burada 3 nedenle gürbüz profil tanımanın kullanılmasından bahsedilmektedir.

1. Yüzü otomatik olarak normale oturtmak için
2. Büyük modellerden uygun küçük model kümelerine geçmek ve önyüz karşılaştırmasını bu küçük kümede yapmak
3. Doğru olmayan normalizasyon işlemlerini ayarlama metodu ile aşmak.

Yüz görüntülerinden profil çıkartmak için görüntünün kameraya bakacak bir şekilde olması gerekmektedir. Bu her durumda sağlanamamaktadır. Bu problemi çözmek için yöntem sunulmuştur. Burada kullanılan metot *string eşleştirmeye* dayanmaktadır. Burada alınan bir test profil ile yüz karşılaştırması yapılmakta ve en uygun sonuç seçilmektedir. Profil üzerinde özel noktalar (burun, çene, alın, burun altı) bulunduğu için modelde de bu noktaları bulmak kolaydır. Burun ve çene noktaları yaklaşık olarak bulunduktan sonra bu noktalar arasındaki teget çizgi ile hesaplanmaktadır. Tegetin kestiği noktalar burun ve çenenin asıl yerleridir.

Profiller ön seçim içinde kullanılabilir. Burada amaç kötü durumda olan modelleri çıkarmak ve arama uzayını daraltmaktır.

Profiller kanonik forma dönüştürülerek eşleştirilebilir. Bunun için burun ucu orjin olmak üzere burun-çene tegerini x düzlemine yerleştirmek gerekmektedir. Daha sonra aynı şekilde yerleştirilen modeller ile test profili arasındaki mesafe hesabı ile en uygun profil eşleştirilebilir. Kanonik forma yerleştirmek için çevirme, öteleme ve ölçeklendirme değerlerini uygulamak gerekmektedir.

Bu değerler özel noktaların bulunması ile elde edilmektedir. Ancak bu noktaları bulmak her zaman mümkün olmamaktadır.

Bu makalede verilen çözümde 3 adet parametre kullanılmaktadır. Normalize için bu parametrelere alabilecekleri değerlerin verilmesi ve en uygun sonucun kullanılması

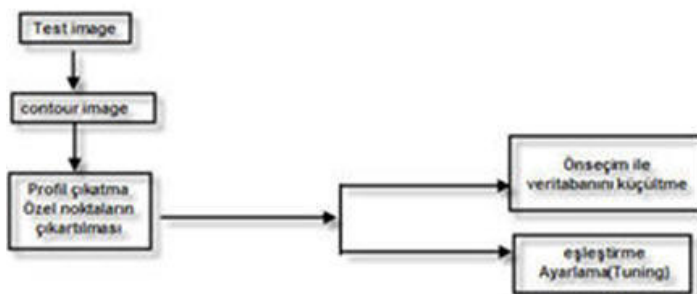
gerekmektedir. Yapılan deneylerde çevirme için 11 öteleme için 11 ve ölçekleme için 5 farklı değerin denenmesi gerekmektedir. Her denemede eşleştirme yapılarak en uygun sonuç seçilebilir. Bu yöntemle sabit ayarlama denilmektedir.

Sabit ayarlama iyi şekilde çalışıyor olsa da işlem yükü çoktur. Bu yüzden özgür ayarlama yöntemi önerilmiştir. Burada iki değer sabitlenip 3. Değer optimum sonuca kadar ayarlanmaktadır. Daha sonra başka iki parametre sabitlenip kalan için optimum değer hesaplanmaktadır. Bütün varyasyonlar bitince sonu elde edilmektedir.

Veritabanı 51 insandan alınmış 5'er görüntüden oluşmaktadır. Önseçimli ve ayarlamalı sonuçlar çizelgede verilmiştir. Sabit ayarlamalı daha iyi sonuç vermesine karşın daha fazla işlem yükü vardır.

Çizelge 2.5. Deneysel sonuçlar [18]

prese- lection	tuning	rate(%) 1st rank	rate(%) 5 ranks	time (sec.)
no	no	87.25	99.02	0.05
no	fixed	99.02	100.00	25.90
no	free	97.06	100.00	3.04
yes	no	87.25	98.04	0.05
yes	fixed	98.04	99.02	12.15
yes	free	96.08	99.02	1.30



Şekil 2.6. Makale akış şeması

3. 3 BOYUTLU GÖRÜNTÜLER

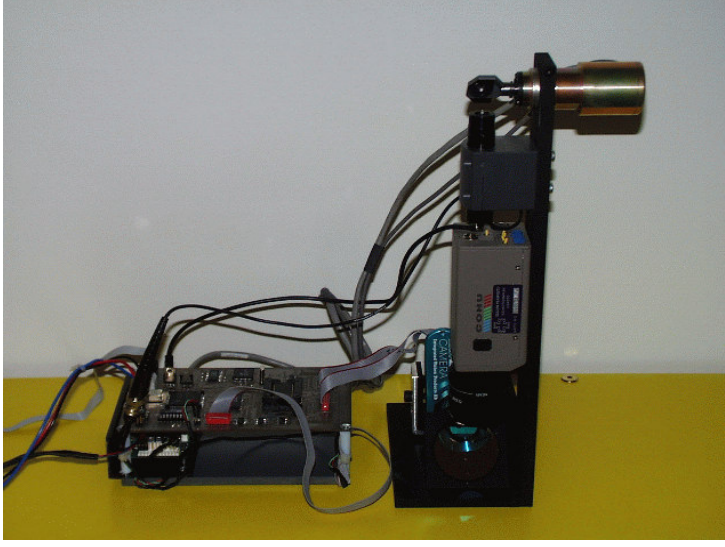
Görüntü üzerindeki çalışmalar ik olarak 2B görüntüler ile yapılmaktaydı. 2 boyut X-Y koordinat sisteminde bulunmaktadır. Bu kordinat sisteminde her noktaya karşılık gelen bir renk kodu vardır. Renkli görüntülerde 0-255 arası değişen RGB (kırmızı, yeşil, mavi) kodları görüntünün rengini ifade etmektedir. 3B görüntü X-Y-Z koordinat sisteminde bulunmaktadır. Bu koordinatlarda ifade edilen noktalar 3B’de görüntüyü temsil etmek için kullanılır.

3B tarayıcılar ile elde edilen veriler farklı yapılara sahip olabilmektedir (nokta bulutu, üçgenler). Birçok tarayıcı görüntülenecek nesne ile temas kurmadan 3B görüntü oluşturabilme kabiliyetindedir. 3B görüntüler sensörler ile imgenin arasındaki vektör değerleri tarafından ifade edilmektedir. 3B tarayıcılar stereo görüntüleme, aktif üçgenleme ve varış zamanı prensiplerine dayanan metotlarla elde edilir.

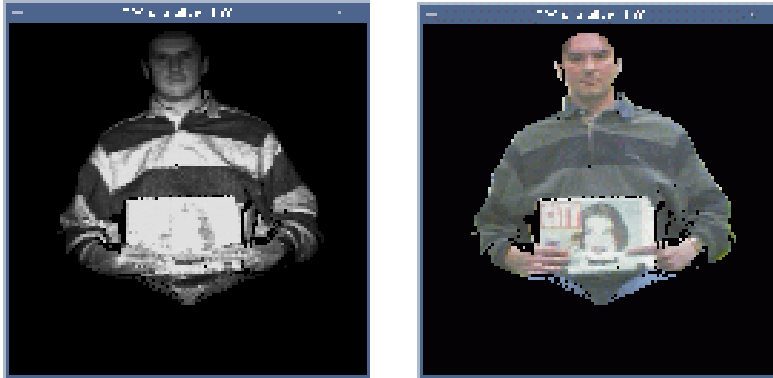
*Stereo görüntüleme*de ayarlanmış bir çift kamera ile elde edilen görüntülerin tek bir resim elde etmek için uygun şekilde birleştirilmesi ile elde edilir.

Aktif üçgenleme yönteminde farklı açılarla yerleştirilmiş kameralar görüntü üzerine gönderilen ışığı algılamakta ve bu kameralardan gelen değerler üçgenleme için kullanılmaktadır.

Varış zamanı yönteminde görüntü üzerine gönderilen lazer demetlerinin görüntünün belli noktasına çarpıp geri gelmesi arasındaki zamanı değerlendirerek 3B görüntü değerleri elde edilmektedir.



Resim 3.1. Derinlik tarayıcı (range scanner)



Resim 3.2. Derinlik tarayıcıdan 3B görüntü elde etme

3B tarayıcılardan elde edilen değerler derinlik imgesi (range image) veya renklendirilmiş derinlik imgesi (colored range image) şeklinde ifade edilebilir. Derinlik imgesinde görüntünün konumu 2 boyutlu matrislerde tutulur. Her pikselin değeri koordinat sisteminde $p(i, j) = (x(i, j), y(i, j), z(i, j))$ şeklinde gösterilir.

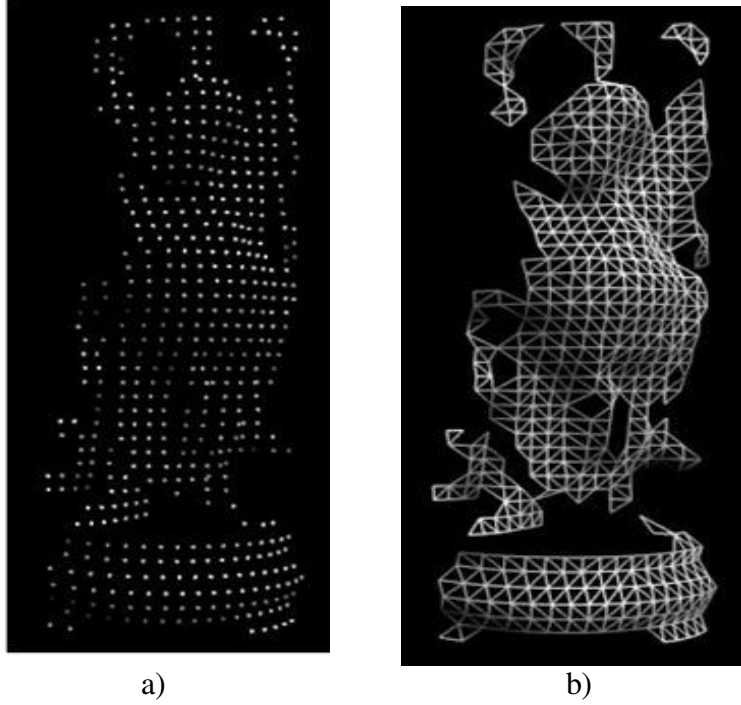
Renklendirilmiş derinlik imgesinde görüntü üzerine gönderilen beyaz ışığın eğilimi ile renk değerleri RGB elde edilir.

$$p(i, j) = (x(i, j), y(i, j), z(i, j), r(i, j), g(i, j), b(i, j))$$

3B tarayıcılardan elde edilen değerler bir yüzeyin tanımlanmasında kullanılmaktadır. Yüzeyler noktalar veya üçgenler tarafından tanımlanabilir (Resim 3.4). Nokta bulutunda yüzey yüzeyi temsil eden noktalardan oluşmaktadır. Yüzeyi üçgenler tarafından tanımlamada birbirine bağlı üçgenler yüzeyi tanımlamada kullanılmaktadır.

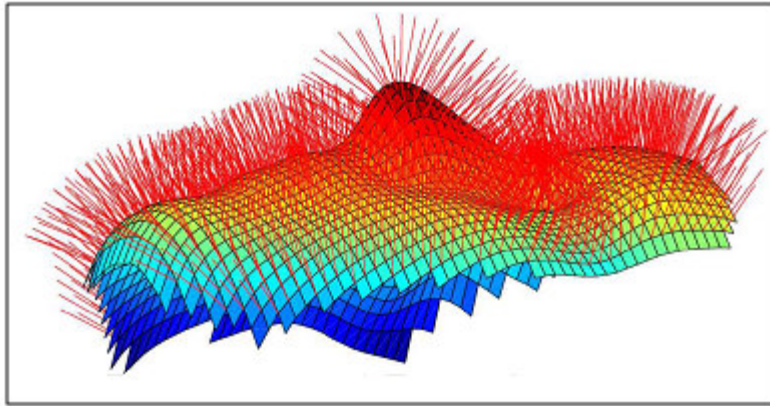


Resim 3.3. 3 B görüntü



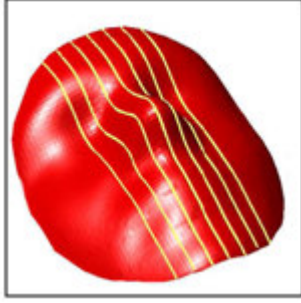
Resim 3.4. 4 3B görüntünün a)nokta bulutu gösterimi , b) üçgen gösterimi

Yüz görüntüleri tanımlanırken yüzey normalleride kullanılabilir [19]. Yüzey normalleri yüzeye ait noktaları kullanarak lokal olarak normaller oluşturur. Bu lokal normalleri oluştururken Delaunay üçgenlemesini kullanır ve bu üçgenlerin herbiri için hesap yapılır ve hesaplanan değer o bölgenin normalini tanımlamaktadır (Resim 3.5) .



Resim 3.5. Yüzün yüzey normalleri şeklinde gösterilmesi [19]

Yüzeyi ifade etmenin bir diğer yöntemi ise yüzey profillerinin kullanılmasıdır. Yüzey için en önemli bilgileri ve tanımlayıcılığı taşıyan profil burundan geçen profildir. Bu profil yüzeye ait en belirgin olan eğrilikleri içerdiği için farklı insanlarda farklı eğriliklere sahiptir. Merkez profil ve yan profiller kullanılarak da yüz ifade edilebilir (Resim 3.6) .



Resim 3.6. Yüzün profiller ile ifade edilmesi [19]

4. İTERATİF EN YAKIN NOKTA ALGORİTMASI (ICP)

Görüntü işleme farklı kriterler göz önüne alınarak farklı sınıflara ayrılabilir. Görüntü işleme dayandığı prensibe göre düşük seviyeli ve yüksek seviyeli olarak iki başlık altında toplanabileceğine önceki bölümlerde değinmiştik. 3B nokta üçgen çizgi gibi görüntüye ait verilerin direk kullanıldığı düşük seviyeli algoritmaların özellik çıkartma ve eşleştireye dayanan yüksek seviyeli algoritmalara göre birtakım avantajlara sahiptir.

- Düşük seviyeli algoritmaların kullandığı nokta bulutu ve üçgenler ile 3B görüntü ifadesinde 3B tarayıcıda alınan görüntüler direk imgenin oluşturulmasında kullanılmaktadır ve yeterince yoğun nokta veya üçgen kullanıldığında herhangi bir şekil uygun biçimde ifade edilebilir.
- Düşük seviyeli algoritmalar basit Öklid uzaklığı gibi metotlar kullanarak görüntülerin benzerliğini bulabilmektedir. Ayrıca farklı görüntü sistemleri arasında bir modülde üretilen datanın diğerinde rahatça ve etkili bir biçimde kullanılabilir olmalıdır. Düşük seviyeli algoritmalar değişik sistemlerde ön işlem olmadan kullanılabilirliği sebebiyle etkilidir.

ICP algoritması Besl ve McKay (1992) tarafından geliştirildi [20]. Bu algoritma serbest formdaki 3D şekillerin çakıştırılmasında kullanılmaktadır. Bu tekniğin özelliği basit olmasıdır. Gerçekten de bu algoritma iteratif bir şekilde 2 operasyondan oluşur. İlk operasyon bir noktalar kümesindeki noktalardan diğer noktalar kümesindeki noktalara olan en kısa uzaklığın hesaplanmasıdır. 2. Operasyon ise bağlantılı nokta çiftlerini kullanarak hareketi tahmin etmektir. Birçok non-doğrusal algoritma gibi ICP algoritmasının da iyi bir ilk tahmine ihtiyacı vardır. Bu ilk değer bazen bazen alınan görüntülerin yönleri belirli bir modele oturtulmuş şekilde elde edilir veya 3D sensörlerin yerleri bilindiği için tahmin edilebilir. Eğer bu mümkün değilse başlıca bileşen analizi gibi daha detaylı teknikler gerekebilir. Kontrol noktalarını belirlemek için veri kümesinden noktalar seçilir. ICP algoritmasının asıl kısmında nokta çiftleri hesaplanır. En yakın noktalar araştırılarak noktalar kümesine en yakın olan nokta bulunur. En yakın noktaları bulmak için Euclid uzaklığını kullanılmaktadır.

Bu algoritmanın en çok zaman alan ve en zahmetli bölümüdür. Bunun optimizasyonu için K-D tree gibi algoritmalar kullanılabilir. Kontrol noktalarının en yakın noktaları bulunduktan sonra hatalı nokta çiftleri elenir. Daha sonra quaternionlar kullanılarak çevirme ve öteleme işlemleri gerçekleştirilir. Çakışıklık hatası belli bir değerin altına inene kadar bu algoritma iteratif olarak tekrarlanır.

ICP algoritmasının işlemlerini ana başlıklar altında toplamak gerekirse 4 başlığımız olmaktadır. Bunlar en yakın noktaların çift oluşturmaları, bu nokta çiftlerine göre çakıştırmanın (çevirme ve öteleme değerleri) hesaplanması, bu hesaplanan değerlerin nokta kümesine uygulanması, uygun koşullar sağlandığında iterasyonun sonlanması.

ICP algoritması aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

Giriş:

2 adet noktalar kümesi

$P = \{p_i\}$ çakıştırılan noktalar kümesi. N_p elemanlı

$X = \{x_i\}$ model noktalar kümesi N_x elemanlı

Çıkış: (R, t) P yi X ile çakıştıran dönüşüm

Başlangıç durumu: $k = 0, P_0 = P, R_0 = I$ and $t_0 = (0, 0, 0)$

İterasyon k

En yakın noktanın hesaplanması

İki nokta arasındaki Euclid uzaklığı $d(\vec{r}_1, \vec{r}_2)$

Karesel Euclidian uzaklığı kullanarak;

$$d(p, x) = \|p - x\|^2 \quad (4.1)$$

N_p kümesi için en yakın noktalar $P_k = \{p_{i,k}\}$ için $Y_k = \{y_{i,k}\}$

$$y_{i,k} = c(p_{i,k}) = x \mid \min_{x \in X} d(p_{i,k}, x) \quad (4.2)$$

Çakıştırmanın Hesaplanması

Eş noktaların $\{p_{i,0}, y_{i,k}\}$ R_k ve t_k nin fonksiyonu olarak tanımlanması

$$e(R_k, t_k) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{Np} \left\| (R_k p_{i,0} + t_k) - y_{i,k} \right\|^2 \quad (4.3)$$

Vektörün boyunu değiştirmeden uygulayacağımız dönüşüm

$$e_k = \min_{R_k, t_k} e(R_k, t_k) \quad (4.4)$$

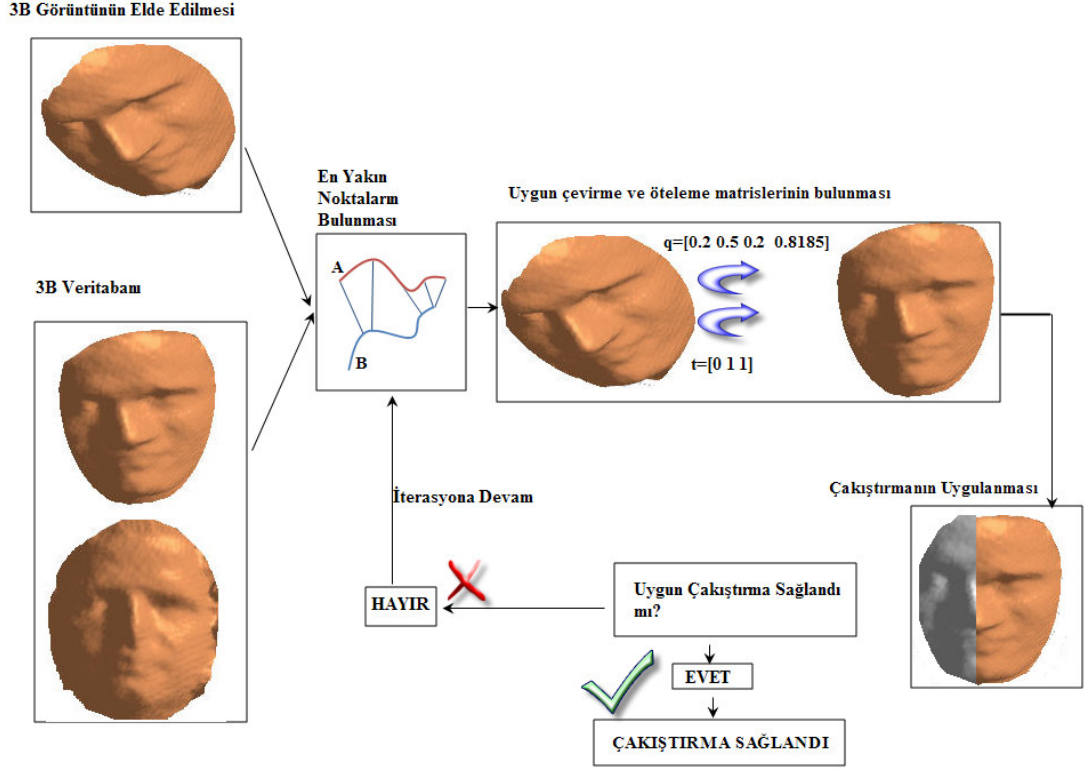
Çakıştırmanın Uygulanması

Bulunan en iyi çakıştırmayı veri kümemize ($P_{k+1} = \{p_{i,k+1}\}$) uygulayacağız.

$$p_{i,k+1} = R_k p_{i,0} + t_k \quad (4.5)$$

İterasyonların Sonlandırılması

Önceden tanımlanmış kriterlere ulaşıldığında iterasyonlar sona erer.



Şekil 4.1. ICP algoritması

4.1. En Yakın Noktanın Hesaplanması

ICP algoritması noktalar arasından bir eşleştirme bulmak ve bu eşleştirilen noktalara göre uygun çevirme ve öteleme değerlerini elde etmek zorundadır. Bu eş noktaların bulunması ICP için zaman alan ve işlem gücü yüksek olan bir basamaktır. Yapılan çalışmalarda en yakın noktaların hesaplanmasında uzaklık hesaplama yöntemi ve eş noktaları bulma yöntemlerine göre farklı uygulamalar mevcuttur.

Kullanılan uzaklık hesap metotlarına göre

Öklid (Euclidian) uzaklığı

İki nokta arasındaki en kısa uzaklık bu noktalar arasındaki mesafeyi vermektedir ve hesaplamasında Öklid uzaklığı 3B’de $d = \sqrt{(p_x - q_x)^2 + (p_y - q_y)^2 + (p_z - q_z)^2}$ şeklinde ifade edilir.

Mahalanobis uzaklığı

İstatistikte kullanılan ve farklı desenleri (pattern) tanımlayabilen bir metottur. Standart sapmanın hesaplanasından sonra tanımlanan eşik değerine göre alınan noktanın tanımlanması yapılmaktadır. ICP’ de Mahalanobis uzaklığı, alınan notanın kovaryansı bilinen nokta kümelerinden (bu nokta kümesi ICP algoritması için tek elamanlı) hangisine en yakın uzaklıkta olduğunu bulmaktadır. $d(\vec{x}, \vec{y}) = \sqrt{(\vec{x} - \vec{y})^T P^{-1} (\vec{x} - \vec{y})}$. Burada P x ve y nin kovaryansını temsil etmektedir.

ICP’ de Mahalanobis uzaklığının kullanıldığı makale [21]’de verilmiştir.

Hausdorff uzaklığı

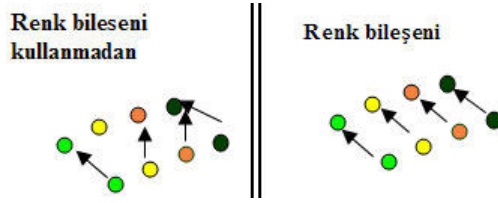
Bazı ICP çalışmalarında uzaklık hesaplamasında Hausdorff uzaklığı kullanılmaktadır [22]. Hausdorff uzaklığı noktalar arasındaki uzaklıkları kontrol edip en düşük uzaklık değerlerinin en yükseğini almaktadır. Bu şekilde iki 3B görüntünün ne ölçüde çakıştığı anlaşılabilmektedir. $h(A, B) = \max_{a \in A} \min_{b \in B} \|a - b\|$ şeklinde ifade edilmektedir.

Eş noktaları bulma yöntemlerine göre

Standart ICP algoritması uzaklık hesaplamasında Öklid uzaklığından yararlanmaktadır. Ancak bazı geometrik şekillerde bu uzaklık yeterli olmamaktadır. Bir noktanın karşılığı olarak birden fazla nokta bulunduğu durumlarda [7]’ deki makalede de bahsedildiği gibi renk veya yönelme bilgilerinden yararlanarak en yakın nokta hesaplanabilir.

Renk eşleştirmesi

Bazı 3B görüntülerde renk bilgiside bulunmaktadır. Normal olarak eşleşmesi uygun olmayan noktalar renk bilgisi kullanarak uygun şekilde eşleşebilirler.

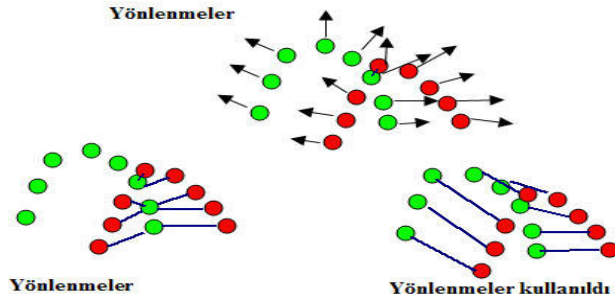


Şekil 4.2. Renk eşleştirme

Yüzey yönelimine göre eşleştirme

Yüzeye ait normal ve eğim bilgileri eş nokta çiftlerini bulmada kullanılabilir. Yüzey normalleri gürültüden fazla etkilenmeyen ve yaygın olarak kullanılan bir metottur. 1. türevler kullanılır.

Yüzeye ait eğriliklerin kullanıldığı yöntemde ise eş noktalar bulunurken yüzeyin eğrilikleri 2. türev yardımıyla bulunur ve nokta çiftleri bulunurken kullanılırlar.



Şekil 4.3. Yüzey normallerinin kullanılması

4.2. ICP Algoritmasının Hızlandırılması

Bu kısımda ICP algoritmasının en fazla zaman alan bölümü olan en yakın nokta hesabı bölümü için karmaşıklığı azaltacak ve işlemleri hızlandıracak yöntemler üzerinde durulmaktadır. P adet sahne ve X adet model arasındaki en yakın noktaların bulunması $O(PX)$ kompleksliğine sahiptir. P ve X sayısı binlerle ifade edilebileceği için bu işlem çok uzun sürebilir.

Nokta bazlı hızlandırma

P ve X kümelerinin örnekleme

ICP algoritmasını hızlandırmanın bekide en kolay yolu P ve X kümelerindeki eleman sayısını azaltmaktır. Elenecek noktaların seçilmesinde farklı yöntemler mevcuttur.

Kalan ve çakıştırma için kullanılacak noktalar [23]' deki makalede kontrol noktaları şeklinde ifade edilmektedir.

- Nokta azaltırken seçilen noktalar doğrusal olarak seçilerek çıkartılabilmektedir.
- Yüzeyin düz olduğu yerlerden daha fazla eğimin fazla olduğu yerlerden daha az nokta atarak da elde edilebilmektedir.
- Her iterasyonda farklı olmak üzere rassal noktalar seçilebilmektedir.

Nokta sayısında azalma işlem süresini ve yükünü azaltıyor olsada çakıştırma için görüntünün tümü kullanılmadığı için yanlış sonuçlara sebep olabilir. Bu nedenle seçilen kontrol noktalarının görüntüye uygun olması ve düşünülerek seçilmesi gerekmektedir.

İterasyon sayısının azaltılması

ICP iteratif bir algoritmadır ve her iterasyonda 3B görüntüler arasındaki mesafe azalmaktadır. Ancak ICP algoritmasının ne zaman sonlandırılacağı farklı uygulamalarda değişmektedir. İterasyon sonlandırması için önceden tanımlanış bir eşik değeri belirlenebilir, hata oranı belli bir değerin altına inildiğinde sonlanabilir veya yapılan çevirme ve ötelemeler belli bir değerin altına indiğinde sonlanabilir. Bu yöntemle içerisinde işlem gücü en yüksek olan sonlanma değerinin önceden belirlenmesidir. Bu yöntem adaptif bir yöntem olmadığından fazla işlem gücü kullanmaya sebep olabilmektedir.

Yardımcı özelliklerden yararlanma

Görüntüye ait koordinattan farklı özellikler eş noktalar bulunurken kullanılabilmektedir. Örneğin renk bileşeninde içeren 3B görüntülerde aranan noktanın eşı aynı veya yakın renk kodlarında olmalıdır. Bir ikinci olarak görüntüye ait yoğunluk değerleride yardımcı özellik olarak kullanılabilmektedir.

Hesaplama bazlı hızlandırılması

Çok sayıda veriden oluşan görüntüler ile uğraştığımızda gelen test görüntüsünü çakıştırmak çok fazla zaman alabilmektedir. Bu nedenle bazı yöntemler verileri belli

yapılara dönüştürerek arama uzayını azaltmaktadır. Bu sınıflandırma yöntemleri [24, 25]'de verilen makalelede anlatılmıştır.

Yapısal arama

Bütün veri noktalarını aramadan en yakın noktayı bulmamıza sağlayan değişik yapılar daha hızlı sonuca ulaşmamızı sağlar.Yapısal arama da kullanılan en yakın noktayı bulmamızı hızlandırmak için en yaygın olarak K-D ağaç yapısı kullanılmaktadır.

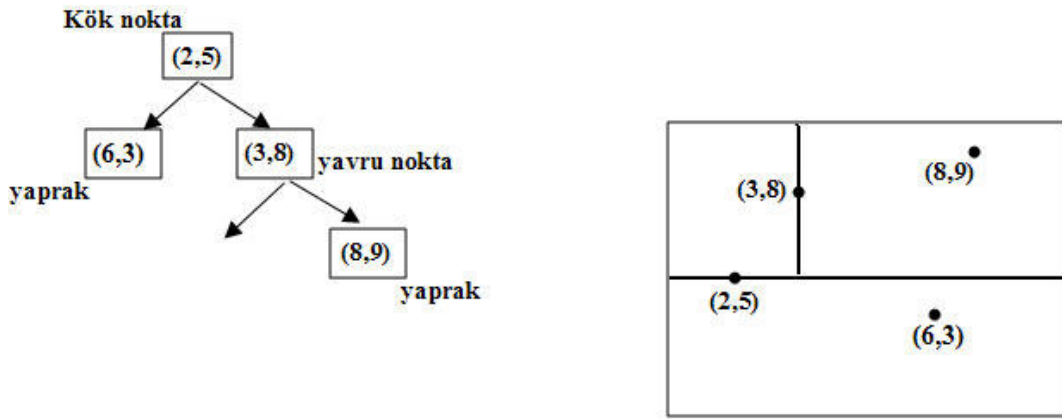
K-D ağacı

Bu bölüm ICP algoritmasının yapısal arama metotlarından biri olan K-D ağacı arama ayrıntılı olarak incelenecektir.

Bentley (1977) çalışmasında K-D ağacı için genel bir fikir ileri sürmüştür [24]. Bu metodun genel dayanağı tek boyuttan n boyuta kadar ikiye ayırma genelleştirilebilmesidir. Bu metot izdüşüm metodunun aksine çoklu özelliklerinin kullanılmasına izin vererek gerçek en yakın noktanın bulunmasına izin verir. Ancak bu algoritmanın hızlanması ve eşleşme kalitesi arasında bir ödünleşim gerektirir. Yani hızdan elde edeceğimiz fayda kaliteden ödün vermemize ve kalitenin düşmesine neden olacaktır. K-D ağaç yapısının kurulmasındaki komplekslik $O(N \log N)$ kadardır.

K-D ağacı oluşturmada elimizdeki noktalar kümesinden bir başlangıç noktası seçilir. Bu nokta kök olarak ifade edilir. Daha sonra uzay alınan referans düzlemine göre ikiye ayrılır. İkinci basamakta bölünmüş uzayda uygun değerlerdeki noktalar yerleştirilir. Referans düzleminin değerinden düşük olan noktalar sağa büyük olan noktalar sol tarafa yazılır. Bu şekilde bütün noktalar kök altına yerleştirilir. Bütün noktalar bir ağacın boğumuna atanana kadar bu işleme devam edilir. Eğer bölme işleminden sonra boğumun sol tarafında hiçbir nokta bulunmazsa (boş boğum) bu yaprak olarak adlandırılır.

Örneğin elimizde $\{(2,5) (6,3) (3,8) (8,9)\}$ noktalarından oluşan bir küme olsun [26]. Burada kök nokta olarak $(2,5)$ seçilmiştir. Referans olarak y doğrultusu alınmıştır. Gelecek iki alt basamak noktası $y=5$ doğrusuyla ayrılmış bölümlere yerleştirilecektir. Bu duruma uygun noktalar $(6,3)$ ve $(3,8)$ 'dür. Genellikle bölgeleri ayırmakta kullanılan referans doğrultusu çevrimsel olarak devam ettiği için yeni referans doğrultumuz x doğrusu olmaktadır. Alt basamak noktaları yerleştirildikten sonra bu noktalar bulundukları bölgeleri $x=6$ ve $x=3$ doğruları ile ikiye ayırmaktadır.



Şekil 4.4. K-D ağacı

En yakın noktanın hesaplanması

K-D ağacı kullanarak en yakın noktanın araştırılmasında ana fikir p test noktası merkezli k boyutlu kürede araştırma gerçekleştirmektir. Burada p en yakın noktası aranılan noktadır. Araştırma boyunca kürenin yarıçapı daha iyi sonuca ulaşabilmek için azaltılır.

İlk olarak küre yarıçapı D nin maksimum değerine ayarlanır. İlk olarak kök boğumundan başlanır. Eğer küre o anki boğumun her iki düzlemi ile örtüşürse araştırma algoritmasına her iki taraf için de tekrarlamalı denir ve işlem iki koldan devam ettirilir. Diğer türlü sadece test noktasının kenarlarındaki ikinci kuşakların (child) araştırılması yeterlidir. Ayrıca eğer p noktası ile o anki düğüm noktası arasındaki uzaklık D uzaklığından daha küçük ise D bu yeni değerle değiştirilir ve bu D uzaklığına sahip nokta(y) elde tutulur. Tekrarlamalı araştırma bir düğümün

hiçbir alt düğümü (children) yoksa sonlanır. En son elimizde kalan y değeri en yakın noktayı temsil eder ve aradaki uzaklık D ile ifade edilebilir.

Bu K-D ağaç yapısından maksimum fayda sağlayabilmek için ağacın dengede olması ve kolların benzer uzunluklarda olması gerekmektedir. Seçilen bütün noktalar ve düğüm noktaları K-D ağacının şeklini değiştirmektedir. Seçilen noktaların rastsal olması ICP gibi noktaların belli bir yere toplandığı algoritmalarda dengesiz bir yapıya neden olur.

4.3. Çakıştırmanın Hesaplanması

Burada ana referans olarak aldığımız [20] ICP makalede de kullanılan ve çevirme, öteleme değerlerini bulmamıza yarayan quaternianlar detaylı olarak incelenmiştir.

Quaternion'lara Dayalı Algoritma

Quaternion'lardan önce problemi kitle merkezlerini(centroid) kullanarak basitleştirmeye çalışacağız. Burada asıl stratejimiz

$$e(R,t) = \sum_{i=1}^N \|(Rp_i + t) - y_i\|^2 \quad (4.6)$$

eşitliğini basit ifadelerle bölmek ve R ve t değerlerini birbirinden ayırmaktır.

$$e(R,t) = \sum_{i=1}^N \|(Rp_i) - y_i\|^2 + 2t \sum_{i=1}^N \|(Rp_i) - y_i\| + \sum_{i=1}^N \|t\|^2 \quad (4.7)$$

İlk terim ve üçüncü terim sadece R veya t içermektedir ve sadece pozitif veya 0 olabilirler. 2. terim hala R ve t yi içermektedir. Eşitliği istediğimiz şekle getirebilmek için bu ifadenin de R ve t şeklinde ayrılması gerekmektedir. Bu yüzden p_i ve y_i 'nin kitle merkezlerini kullanmamız gerekmektedir.

$$\mu_p = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N p_i \quad \mu_y = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i \quad (4.8)$$

$$p_i' = p_i - \mu_p \quad y_i' = y_i - \mu_y$$

Eşitlik tekrar yazılırsa;

$$e(R, t) = \sum_{i=1}^N \left\| (Rp_i - R\mu_p + t) - (y_i - \mu_y) + R\mu_p - \mu_y \right\|^2 \quad (4.9)$$

Ve son olarak

$$e(R, t) = \sum_{i=1}^N \left\| (Rp_i' + t') - y_i' \right\|^2 \quad (4.10)$$

Burada $t' = R\mu_p - \mu_y + t$

Bu ifadeyi Eş 4.7'deki gibi ifade edebiliriz. Ancak kitle merkezlerinin kullanıldığı 2. terim, bütün veri noktalarının toplandığı için 0 olmaktadır.

$$e(R, t) = \sum_{i=1}^N \left\| (Rp_i') - y_i' \right\|^2 + \sum_{i=1}^N \left\| t' \right\|^2 \quad (4.11)$$

En iyi ötelemeyi bulmak için 2. terim artık 0 a eşitlenebilir.

$$t = \mu_y - R\mu_p \quad (4.12)$$

En iyi ötelemeyi veren fonksiyon bu şekilde ifade edilebilir. Sonuç olarak eşitlikte sadece bir ifade kalmıştır.

$$e(R, t) = \sum_{i=1}^N \left\| (Rp_i') - y_i' \right\|^2 \quad (4.13)$$

Bu ifadeyi minimize eden değer artık bize en iyi çevirmeyi vermektedir.

Şimdi sorun R değerinin hesaplanmasıdır. Daha sonra Eş. 4.12 den en iyi öteleme bulunabilir. Şimdi en iyi çevirmeyi bulabilmek için gerekli olan quaternion özelliklerinden bahsedebiliriz.

Quaternion'lar (q) gerçek uzayda bulunan 4 bileşenli karmaşık sayıdır. 4 bileşenden dolayı quaternion denilmektedir. Gerçek uzayda bulunduğu için üç adet imajiner bileşen içermektedir (i, j, k). Diğer bileşen çevirme değeri w'dur.

- Quaternionlar hesaplamalarda birçok avantaj sağlamaktadır.
- Quaternionlar sayesinde eksenlerin aynı doğrultuyu göstermeleri (gimbal lock) engellenir.
- Daha kolay çevirme uygulanabilir. İstedğimiz açı değerini eksenleri ile birlikte quaternionlar ile ifade edildiğinde istenen çevirme kolayca uygulanabilir.
- İstenen açıya daha yumuşak geçişlerle ulaşılabilir. Eğer 30 derecelik bir çevirmeyi 300 parçada elde etmek istiyorsak bu her çevirmede 30/300° açı değişime karşılık gelir ve daha yumuşak bir geçiş elde edilir.

Matematiksel olarak quaternionlar aşağıda anlatılmıştır.

R gerçekte uzayında reel uzayda bulunan, dört bileşenli karmaşık bir sayıdır.

$$\dot{q} = q_0 + q_x i + q_y j + q_z k \quad (4.14)$$

Bir quaternion dört bileşenli bir vektör gibi de ifade edilebilir.

$$\dot{q} = (q_0, q_x, q_y, q_z) = (q_0, q) \quad (4.15)$$

Bir veri vektörü ise;

$$\dot{p} = (0, p_x, p_y, p_z) = (0, p) \quad (4.16)$$

Bir quaternion'un karşılığı(conjugate)

$$\dot{q}^* = (q_0, -q) \quad (4.17)$$

İki quaternion'un çarpımı

$$\dot{q}\dot{r} = (q_0 r_0 - q \cdot r, q_0 r + r_0 q + q \times r) \neq \dot{r}\dot{q} \quad (4.18)$$

Quaternionların çarpımı;

$$\dot{q}\dot{r} = Q\dot{r} \neq \dot{r}\dot{q} = \overline{Q}\dot{r} \quad (4.19)$$

$$\text{ve} \quad \dot{r}\dot{q}^* = \overline{Q}^T \dot{r}$$

Şeklinde ifade edilebilir.

Buradan da görüldüğü gibi quaternionların çarpımı simetrik değildir.

Quaternionları matris formunda ifade edilebilir.

$$\mathbf{Q} = \begin{bmatrix} q_0 & -q_x & -q_y & -q_z \\ q_x & q_0 & -q_z & q_y \\ q_y & q_z & q_0 & -q_x \\ q_z & -q_y & q_x & q_0 \end{bmatrix} \text{ ve } \overline{\mathbf{Q}} = \begin{bmatrix} q_0 & -q_x & -q_y & -q_z \\ q_x & q_0 & q_z & -q_y \\ q_y & -q_z & q_0 & q_x \\ q_z & q_y & -q_x & q_0 \end{bmatrix}$$

Çevirmeyi Quaternionlar ile Gösterme

$$\dot{p}' = \dot{q}\dot{p}\dot{q}^* \quad (4.20)$$

Yukarıdaki ifadeyi göz önüne alalım;

Burada $\dot{p}$ quaternion formda olan bir veri vektörüdür. $\dot{q}$ birim quaterniondur.

$$(\|\dot{q}\| = 1)$$

Anlaşılabacağı gibi Eş. 4.26, p veri vektöründe bir değişiklik yapmadan sadece çevirme işlemi yapmaktadır.

Eş. 4.20 kullanarak aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$\dot{p}' = \dot{q}\dot{p}\dot{q}^* = (Q\dot{p})\dot{q}^* = \overline{Q}^T (Q\dot{p}) = (\overline{Q}^T Q)\dot{p} \quad (4.21)$$

$\overline{Q}^T Q$ matrisi

$$\overline{Q}^T Q = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & R \end{bmatrix} \text{ formundadır.}$$

Burada R 3x3 lük çevirme matrisidir.

$$R = \begin{bmatrix} q_0^2 + q_x^2 - q_y^2 - q_z^2 & 2(q_x q_y - q_0 q_z) & 2(q_x q_z + q_0 q_y) \\ 2(q_x q_y + q_0 q_z) & q_0^2 - q_x^2 + q_y^2 - q_z^2 & 2(q_y q_z - q_0 q_x) \\ 2(q_x q_z - q_0 q_y) & 2(q_y q_z + q_0 q_x) & q_0^2 - q_x^2 - q_y^2 + q_z^2 \end{bmatrix} \quad (4.22)$$

En iyi çevirmenin Hesaplanması

Şimdi quaternionlarla tanımlanan ve minimize edilen eşitliği kullanacağız.

$$e(R) = \sum_{i=1}^N \|R p_i' - y_i\|^2 = \sum_{i=1}^N \|\dot{q} p_i' \dot{q}^* - y_i\|^2 = e(\dot{q}) \quad (4.23)$$

$e(\dot{q})$ aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$e(\dot{q}) = \sum_{i=1}^N \dot{q}^T A_i \dot{q} \quad (4.24)$$

Bu eşitlik

$$e(\dot{q}) = \sum_{i=1}^N \dot{q}^T A_i \dot{q} = \dot{q}^T A \dot{q} \text{ şeklinde ifade edilebilir. Burada } A = \sum_{i=1}^N A_i \quad (4.25)$$

A matrisini p_i' ve y_i' ile ifade edersek

$$A = \sum_{i=1}^N \|p_i\|^2 I - 2B + \sum_{i=1}^N \|y_i\|^2 I \quad (4.26)$$

$$B = \begin{bmatrix} S_{xx} + S_{yy} + S_{zz} & S_{yz} - S_{zy} & S_{zx} - S_{xz} & S_{xy} - S_{yx} \\ S_{yz} - S_{zy} & S_{xx} - S_{yy} - S_{zz} & S_{xy} + S_{yx} & S_{zx} + S_{xz} \\ S_{zx} - S_{xz} & S_{xy} + S_{yx} & -S_{xx} + S_{yy} - S_{zz} & S_{yz} + S_{zy} \\ S_{xy} - S_{yx} & S_{zx} + S_{xz} & S_{yz} + S_{zy} & -S_{xx} - S_{yy} + S_{zz} \end{bmatrix} \quad (4.27)$$

Karşılıklı ilintilerin toplamı olan S_{mn} aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$S_{mn} = \sum_{i=1}^N p'_{i,m} \cdot y'_{i,n} \quad , \quad m, n \in (x, y, z) \quad (4.28)$$

Lagrange çarpanları tekniğini Eş. 4.25 'e uygularsak

$$\min_{\dot{q}} L = \left[\dot{q}^T A \dot{q} + \lambda (1 - \|\dot{q}\|^2) \right] \quad (4.29)$$

Ve L 'nin kısmi türevini alıp 0'a eşitlersek;

$$\frac{\partial L}{\partial \dot{q}} = A\dot{q} + (\dot{q}^T A)^T - 2\lambda\dot{q} = 0 \quad (4.30)$$

A matrisi simetrik olduğundan Eş. 4.34

$$A\dot{q} = \lambda\dot{q} \quad (4.31)$$

Şeklinde ifade edilebilir. Buradan da anlaşılacağı gibi $\dot{q}$ A matrisinin bir özvektörüdür. (Bir A matrisi ve x vektörü ele alındığında, $Ax=ax$ doğrusal dönüşümünden sonra yönü değişmeyen vektörler özvektör (Eigenvector) olarak tanımlanmaktadır). Eş. 4.25 ve Eş. 4.31 beraber çözüldüğünde

$$e_{\min}(\dot{q}) = \dot{q}^T A\dot{q} = \dot{q}^T \lambda\dot{q} = \lambda\dot{q}^T \dot{q} = \lambda\|\dot{q}\|^2 = \lambda \quad (4.32)$$

e ' yi minimum yapan en küçük özvektör A matrisinin özvektörüdür.

Quaternion metodunu özetlemek gerekirse;

- Data noktalarının kitle merkezlerinin hesabı
- A matrisini oluşturulması
- A matrisini en küçük özvektörünün hesaplanması ve ilişkili quaternionlarının bulunması
- En iyi $R(\dot{q})$ çevirme matrisinin bulunması
- En iyi çevirme matrisinin bulunması

İterasyonun sonlanması

Daha önceden de bahsettiğimiz gibi ICP algoritması iteratif bir metottur. Bu metodu kaç iterasyon uygulayacağımız yüksek işlem gücü kullanan bu algoritma için uygun bir çözüm değildir. Algoritmanın iterasyonlarını otomatik bitiren metotlar gerçekleştirilmiştir.

Kesin hata kriteri

Ortalama karesel hata belli eşik değerinin altına düştüğünde iterasyon sonlanır. ($e_k \leq \tau$) Burada sorun e_k nın gürültüye fazlasıyla bağlı olması ve τ değerinin verilmesindeki zorluklardır. τ gereğinden büyük verildiğinde iterasyon istenen

sonuçlardan uzak bir şekilde sonlanacaktır. Tersine çok küçük τ değeri tanımlandığında bu sefer de gereğinden fazla iterasyon yapılacak ve işlem yükü artacaktır.

Hata değişim kriteri

İterasyonun sonlanması için ortalama karesel hatadaki değişime bakılmaktadır. Ortalama hata değişimi belli bir değerin altına düştüğünde iterasyon sonlanır ($e_{k-1} - e_k \leq \tau$). Bu kriter gürültüye karşı daha az hassaslığa sahiptir ve eşik değeri şekle daha az bağlıdır.

Bu kriterlerden başka durum değişim kriteri ve kompleks hata değişim kriteri de bulunmaktadır.

Maksimum iterasyon sayısına ulaşıldığında veya önceden tanımlanmış bir kriter sağlandığında iterasyonlar sonlandırılır.

4.4. Yakınsama Teoremi

ICP algoritması her zaman yerel minimuma yaklaşır. Herhangi bir k'nıncı iterasyonda P_k ve Y_k arasındaki ortalama karesel uzaklık, d_k

$$d_k = \frac{1}{Np} \sum_{i=1}^{Np} \|p_{i,k} - y_{i,k}\|^2 \quad (4.33)$$

Minimizasyondan sonra, nokta çiftleri için ortalama karesel hata

$$e_k = \frac{1}{Np} \sum_{i=1}^{Np} \|(R_k p_{i,0} + t_k) - y_{i,k}\|^2 = \frac{1}{Np} \sum_{i=1}^{Np} \|p_{i,k+1} - y_{i,k}\|^2 \quad (4.34)$$

Yukarıdaki tanımlara dayanarak $e_k \leq d_k$ ifadesini çıkartabiliriz. k+1 inci iterasyonda P_{k+1} için yeni en yakın nokta Y_{k+1} olarak tanımlanırsa

$$\|p_{i,k+1} - y_{i,k+1}\|^2 \leq \|p_{i,k+1} - y_{i,k}\|^2 \text{ her } i=1, N_p \text{ için} \quad (4.35)$$

$y_{i,k+1}$, $p_{i,k+1}$ noktasına en yakın nokta olduğundan, $d_{k+1} \leq e_k$ olduğu sonucu çıkartılabilir. Sonuç olarak ortalama karesel hata negatif olamayacağı için

$$0 \leq e_k$$

Sonuç olarak eşitsizlik her k değeri için

$$0 \leq e_{k+1} \leq d_{k+1} \leq e_k \leq d_k \quad (4.36)$$

Şeklinde ifade edilebilir. Buradan da anlaşılacağı gibi ICP algoritması monoton bir şekilde yakınsar.

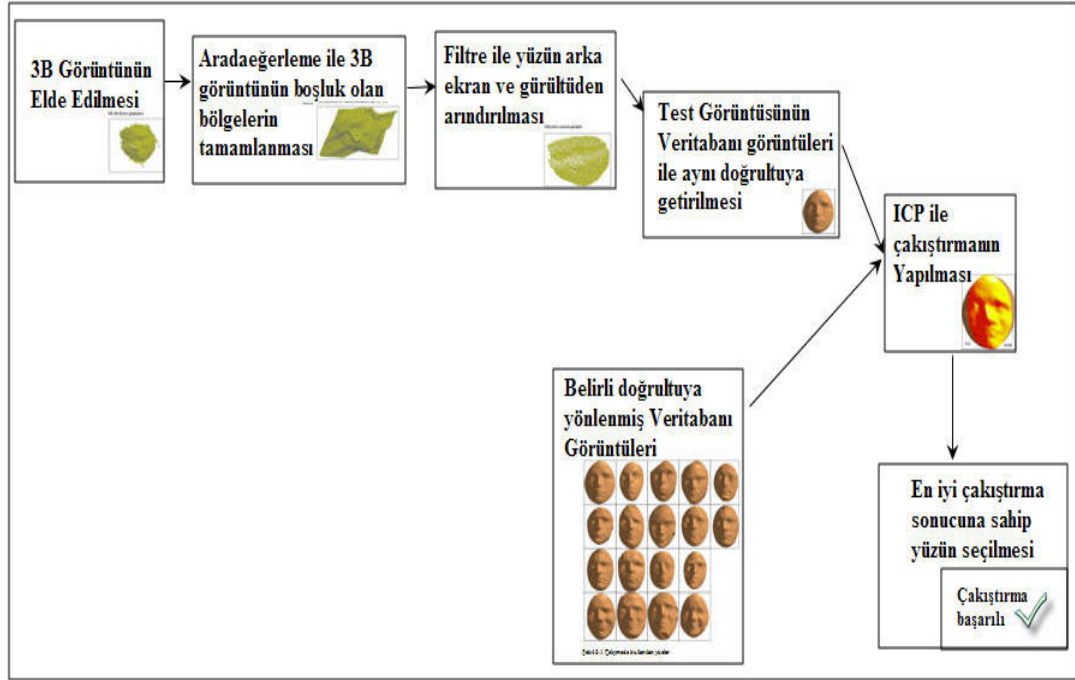
4.5. ICP Metodunda İşlem Ağırlıkları

ICP algoritması her safasında değişik işlem yoğunluklarına sahiptir.

- En yakın nokta hesaplamasında en kötü durum için $O(N_p, N_x)$ ortalama durum için $O(N_p \log N_x)$ kadar işleme ihtiyaç vardır.
- Çakıştırma Hesaplamasında hesap yükü $O(N_p)$ kadardır.
- Çakıştırmayı uygulamak için $O(N_p)$ kadar işlem yükü kullanılır.

5. YÖNTEM

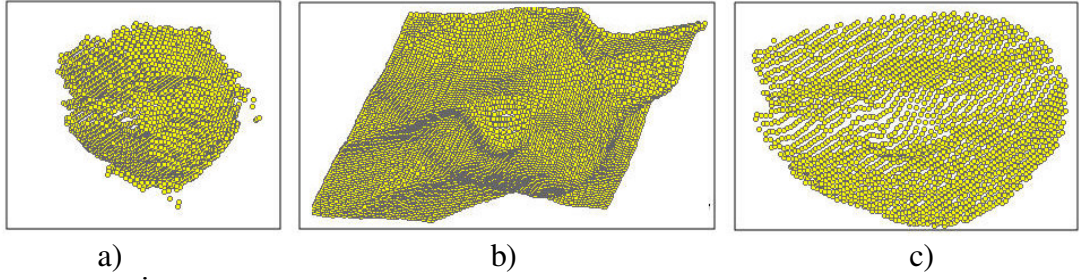
ICP algoritması ile elimizdeki görüntüleri karşılaştırmak istediğimizde bir takım ön işlemlerden geçirmek performansı arttırmaktadır. İşlemler ilk olarak 3B kameralardan çeşitli şekillerde (stereo, yapısal ışıklandırma) elde edilmesi ile başlamaktadır. Alınan bu görüntüler aldığımız ortama, yonteme ve kameraya bağlı olarak eksik veya hatalı verili olabilmektedir. Bu eksik veya hatalı verileri yoketmek için görüntüler bir aradeğerlemeden geçirilmektedir. Bu sayede görüntüde oluşan boşluklar yumuşak birer geçiş ile doldurulmuş olmaktadır. Gürültüden kaynaklanan hatalı verileri yoketmek için ise filtre uygulanmaktadır. Bu filtre sadece yüz bölgesini tutmakta geri kalan anlamsız verileri atmaktadır. Bu sayede gürültüden ve boşluklardan arındırılmış test yüzü elde edilir. Daha sonraki aşama yüzün belirli doğrultuya getirilmesidir. Bu sebeple yüzden seçilen nokta ile yüz çevirilerek elde edilen ayna görüntüsü üzerindeki ilk noktanın eşi hesaplanır. Yüz ve ayna görüntüsü karşılaştırılarak elde edilen görüntü üzerindeki önceden seçilen iki nokta yüz simetri düzlemini tanımlamamız için kullanılır. Yüzün eğriliği bu düzlem sayesinde hesaplanarak yüz düzeltilir. Daha sonra aynı işlemlerden geçerek kaydedilen yüz görüntüleri ile karşılaştırma işlemi başlamaktadır. Bu işlem sonunda elde edilen uzaklık değerleri bize karşılaştırma sonuçlarının başarısını verir. En uygun sonuca sahip yüz test yüzünün eş yüzü olarak değerlendirilebilir.



Şekil 4.5. Önerilen yöntemin genel blok diyagramı

5.1. Yumuşatma ve Maskeleme

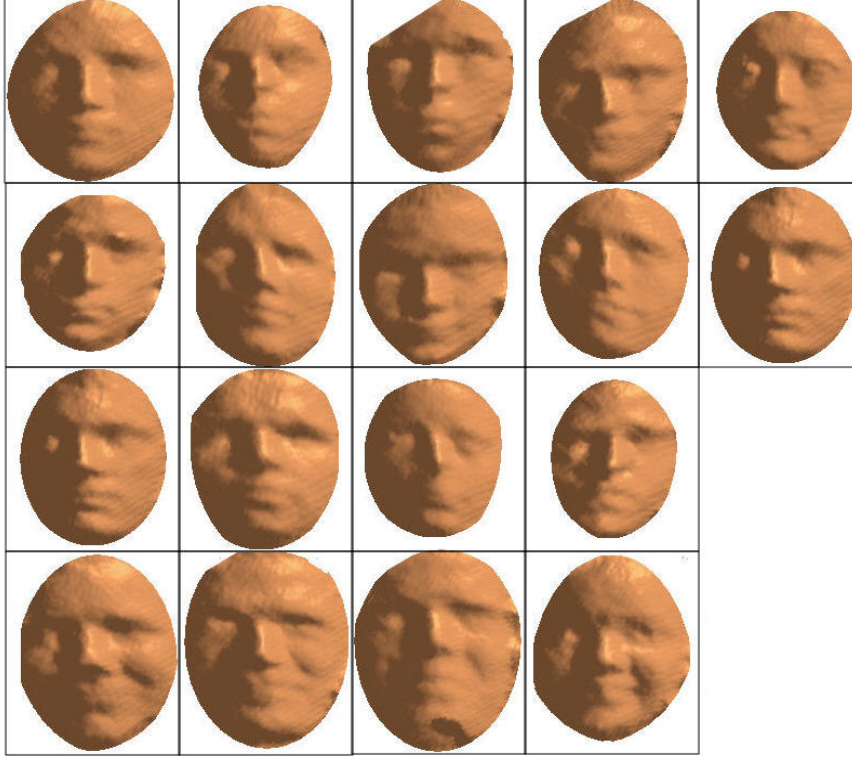
3B görüntüler elde edilirken sensörlerden kaynaklanan veri kayıpları olabilmektedir. Bu veri bulunmayan bölgeler için en uygun değer bulunması için bazı çalışmalarda median filtre kullanılarak uygun veri bulunmuş [27], bazı çalışmalarda Gauss yumuşatması veya aradağarleme(interpolation) uygulanmış [28, 29] bazı çalışmalarda ise el ile uygun olmayan veriler atılmıştır. Bu çalışmada en yakın 16 komşuluğa bakılarak ortalama bir değer belirlenmiştir. Sonuçta daha yumuşak bir yüz görüntüsü elde edilmiştir. Maskeleme konusunda bazı çalışmalar belirli referans yüzler kullanarak yüz bölgesini çıkartmakta [30] bazı çalışmalar yüzün renginden yararlanarak yüz bölgesini çıkartmakta [31] bazı çalışmalarda ise burun bölgesi merkez olarak seçilerek merkez etrafında bir bölge alınmaktadır. Bu merkez bu çalışmada da olduğu gibi burundur.



Resim 4.1. İnterpolasyon ve maskeleme a) aradeğerlemesiz görüntü, b) aradeğerleme sonucu, c) aradeğerlemeden sonra uygulanan maske

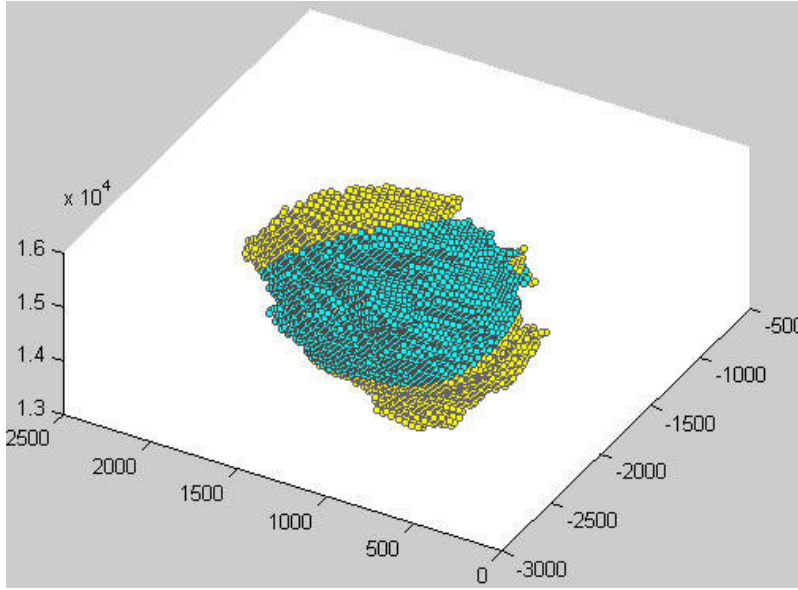
Farklı şekillerde ve farklı metotlarla elde edilen görüntüler aynı düzlemde bulunmazlar. Görüntüleri aynı düzleme getirmek hem işlem yükünü azaltmakta hemde ilk duruma bağımlı olan hatalı çakıştırma durumunu ortadan kaldırır. Yapılan bu çalışmada ilk olarak uzaysal düzlemde belirli çevirmeler vererek global minimuma yaklaşmayı garantilemeye çalıştık. Daha sonraki çalışmamızda [17]' de verilen yönteme benzer bir yöntem ile yüze ait profil çıkartıldı ve bu profile göre yüzün düz bir açı ile bize bakması sağlandı. Profil çıkartırken kullanılan yöntem Pan' ın makalesinden farklı olarak burun noktasının bilinmesine gerek duymamaktadır. Bu şekilde hiçbir özel nokta kullanmadan yüz profili çıkartılmakta ve yüz düzeltilmektedir. Test edilecek görüntü geldiğinde bu yüzde aynı yöntem ile düzeltilerek düzlemleri belli olan veritabanı yüzleri ile karşılaştırılmaktadır. Çalışmada ayrıca çakıştırma başlamadan önce yüzlerin ağırlık merkezleri hesaplanmakta ve ilk konumları eşitlenmektedir. Böylece problem farklı yönlere bakan farklı yerlerdeki yüzlerin çakıştırmasından, aynı yöne bakan ve aynı merkezli yüzlerin çakıştırılmasına indirgenmiş olmaktadır.

Bu çalışmada veritabanından 18 adet yüz alınmış ve işlemler bu yüzler üzerinde uygulanmıştır. Veritabanı elde edilirken veritabanındaki veriler bozulmaya uğramıştır. İki oturumda da uygun elde edilen veriler kullanılmıştır. Ancak bu veriler de farklı ifadelerle sahip ve yinede eksik bölümlerin bulunduğu (Resim 5.2- yüz 3, 13, 17) verilerdir.



Resim 4.2. Çalışmada kullanılan yüzler

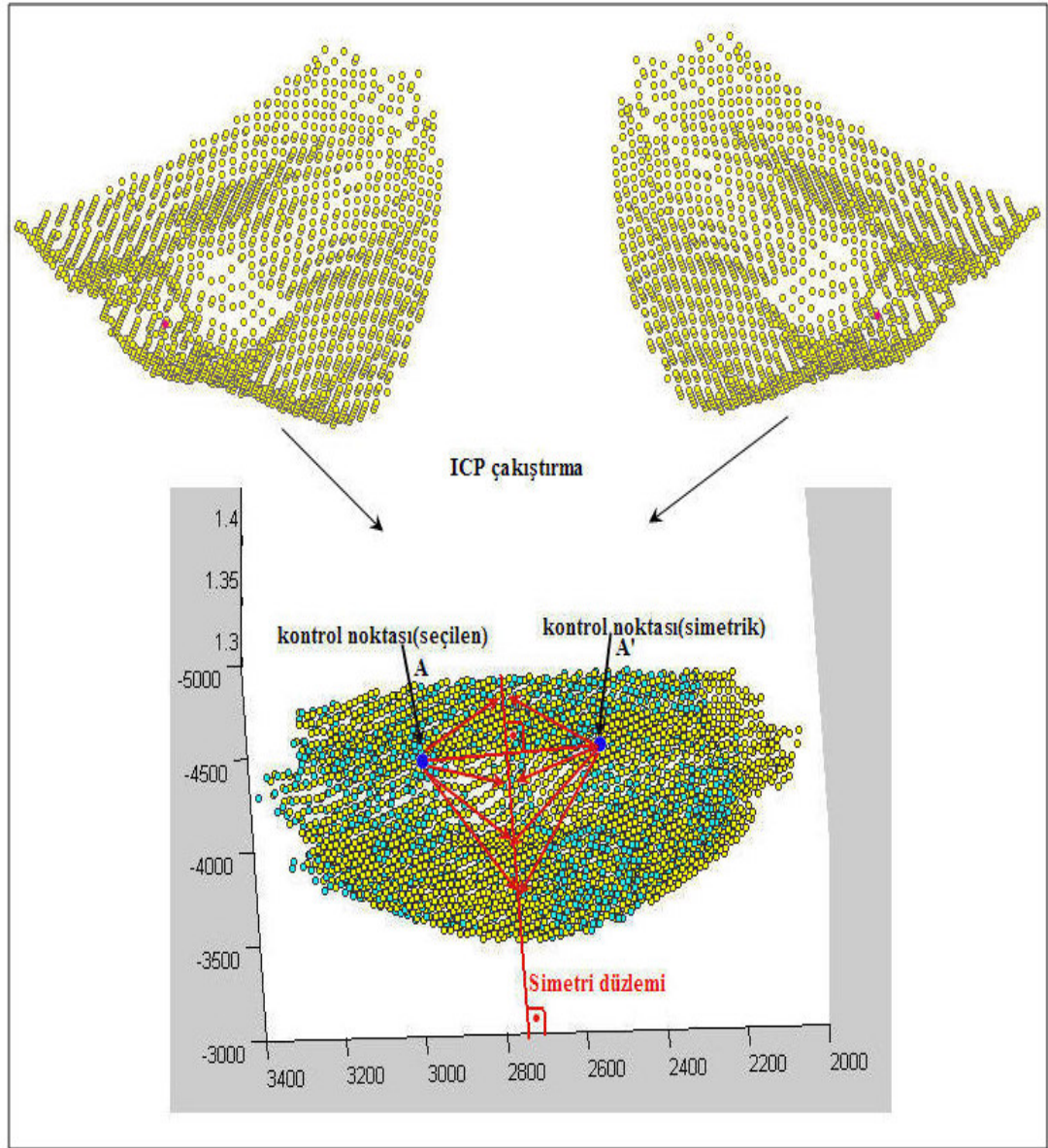
Aradeğerleme uygulandıktan sonra elde ettiğimiz görüntülerde fazladan gürültü olduğu görülmüştür. Bu gürültüleri yok etmek için yüz görüntüsü bir filtreden geçirildi. Bu filtre uygulanırken burun uç noktası referans alındı. Ancak görüntüler gürültülü olduğu için her görüntünün kameraya en yakın noktası burun ucu olmamaktadır. Dağınık halde bulunan gürültüler burun uç noktasını bulmamızı zorlaştırmaktadır. Bu nedenle görüntünün kitle merkezi hesaplanmış ve bu merkezin etrafındaki noktalar arasında kameraya en yakın nokta aranmıştır. Böylece burun ucu düzgün şekilde elde edilmiştir. Daha sonra bu nokta etrafında deneysel olarak bulunan değerler kullanılarak arka ekrandan bağımsız sadece yüzü içeren görüntüler elde edilmiş ve veritabanına bu şekilde kaydedilmiştir. Seçilen filtre ve yüz görüntüsü Resim 5.3’de gösterilmiştir.



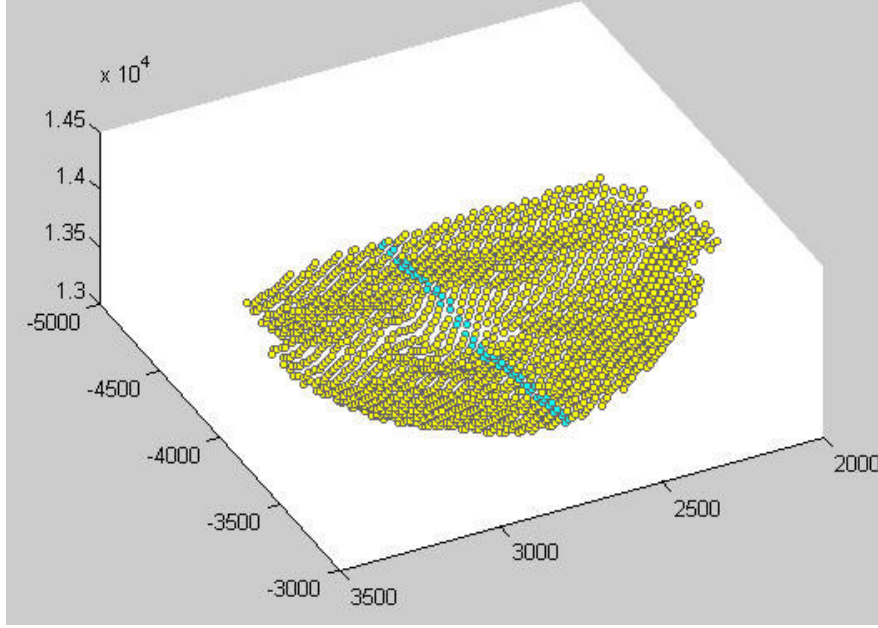
Resim 4.3. Maskeleme

5.2. Yüz Simetri Düzleminin Çıkartılması

Görüntülerin hepsinin belirli bir doğrultuya yerleştirilmesi için yüzün simetri özelliğinden yararlanılmıştır. Bu yöntemde, yüz sağ ve sol olarak iki parça şeklinde düşünülmekte ve yüz profilinin bu iki düzlemi ayırdığı varsayılmaktadır. İlk olarak herhangi bir yöne yönelmiş görüntü alınmakta ve görüntü üzerinde herhangi bir nokta seçilmektedir. Bu noktanın herhangi bir karakteristik nokta olmasına gerek yoktur. Daha sonra görüntünün simetriği alınmaktadır. Bu iki nokta simetri düzlemine diktir ve Pan'ın makalesinde de sunduğu gibi burun ucundan geçmektedir. Pan makalesinde bu 3 noktayı kullanarak profili çıkartmaktadır. Burun uç noktasını bulmak içinse Gauss eğriliklerini kullanmıştır. Ancak yaptığımız çalışmada ayrıca burun noktasına gerek duyulmamaktadır. Bu da fazladan özel nokta bulmamamızı gerektirmemektedir. Yüz görüntüsünün simetrisi alınıp çakıştırıldıktan sonra elde ettiğimiz iki noktaya (seçilen ilk nokta ve simetri görüntüdeki seçilen noktanın simetriği) eşit uzaklıktaki düzlem bizim simetri düzlemimiz olmaktadır. Yapılan bu işlemler Resim 5.4 ve Resim 5.5 ' de gösterilmiştir.



Resim 4.4. Simetri düzleminin çıkartılması



Resim 4.5. Profilin elde edilmesi

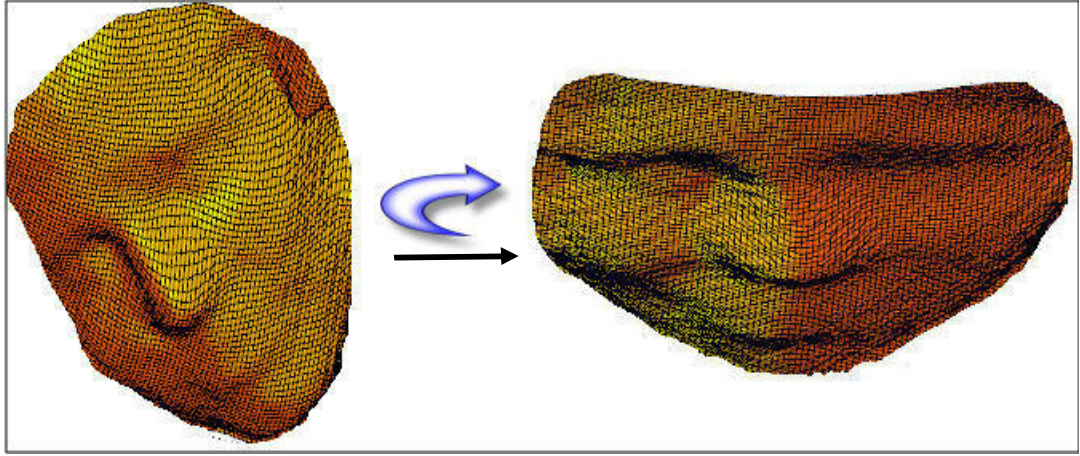
Profil elde edildikten sonra yapılması gereken bu profilin yönlenmesini hesaplamak ve istenen doğrultuya (bu bizim çalışmamızda kameraya dik bakacak şekilde ayarlanmıştır) getirmektir. Simetri düzlemi elde edildikten sonra elimizdeki görüntüde bu simetri düzlemde olan veya çok yakın olan profil seçilmiştir. Simetri düzlemine yakınlığı değiştirerek elde ettiğimiz profil genişletilip daraltılabilmektedir. Daha sonra normalleri $x=[1 \ 0 \ 0]$ $y=[0 \ 1 \ 0]$ ve $z=[0 \ 0 \ 1]$ olan düzlemler ile simetri düzlemi arasındaki açı hesaplanmıştır. Bu açı simetri düzlemimizi kameraya doğru bakmasını sağlamak için kullanılmıştır.

$$\text{Angle}_x = \arccos((n \cdot x') / (||n|| \cdot ||x||));$$

$$\text{Angle}_y = \arccos((n \cdot y') / (||n|| \cdot ||y||));$$

$$\text{Angle}_z = \arccos((n \cdot z') / (||n|| \cdot ||z||));$$

Bu açılar elimizdeki görüntüye uygulandığında kameraya bakacak şekilde yönlenmiş görüntü elde edilir.



Resim 4.6. Ayarlanmış yüz görüntüsü

Yeni bir test görüntüsü alındığında bunu veritabanında bulunan görüntüler ile karşılaştırmak için ilk olarak yüz düzeltme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu işlem bittiğinde elimizde aynı yöne bakan görüntüler oluşmuştur ve bu görüntüler ICP algoritmasına sokulmuştur.

ICP algoritması aynı yöne bakan görüntülerin noktalarını birebir eşleştirmekte ve bu nokta çiftlerini kullanarak çevirme ve öteleme değerleri bulmaktadır. Bu değerler bulunurken quaternion olarak adlandırılan ve 4 değer içeren ifade kullanılmaktadır.4 Quaternionlar q_0, q_1, q_2, q_3 şeklinde gösterilir ve $q_0 \geq 0$ olmak üzere $q_0^2 + q_1^2 + q_2^2 + q_3^2 = 1$ olmak zorundadır. Bu q değerleri hesaplandıktan sonra çevirme matrisini doldurmak için kullanılır. Çevirme matrisi Eş. 4.22' de verilmiştir. ICP algoritması iterasyonlara başlarken ilk değer olarak $q_0=1, q_1=0, q_2=0, q_3=0$ almakta daha sonra en yakın nokta çiftlerini kullanarak yeni değerleri hesaplamaktadır. Yeni değerler bulunurken P test kümesi X model kümesi olmak üzere, ilk olarak bu kümelerin kitle merkezleri hesaplanmıştır. Kitle merkezleri

$$\vec{\mu}_P = \frac{1}{N_P} \sum_{i=1}^{N_P} \vec{p}_i \quad \text{ve} \quad \vec{\mu}_X = \frac{1}{N_X} \sum_{i=1}^{N_X} \vec{x}_i$$
 eşitliklerinden çıkartılır. Bu değerler tüm

noktalardan çıkartılarak kitle merkezi (0,0,0) da olan nokta kümeleri elde edilmiş olmaktadır. Bu normalizasyon işleminden sonra bu kümeler arasında bir çapraz ilinti hesaplanmaktadır. Bu çapraz ilinti;

$\Sigma p_x = \sum_{i=1}^{N_P} [(\vec{p}_i - \vec{\mu}_p)(\vec{x}_i - \vec{\mu}_x)']$ şeklinde hesaplanmaktadır.

Bulunan bu çapraz ilinti bize 3x3 lük bir matris vermektedir. Bu matris sonraki adımda 4x4 lük simetrik bir matrisin üretilmesi için kullanılmıştır. 4x4 lük B matrisi Eş.4.22' de verilen şekilde ifade edilir. B matris kullanılarak aradığımız quaternionlar bulunabilir. B matrisinin en büyük özdeğeri bizim için en anlamlı çevirme değerini vermektedir. En iyi çevirme değerlerini bulmak için bulunan bu $\vec{q}_R$ çevirme değerleri ve yeni hesaplanan R matrisi kullanılır.

$$\vec{q}_T = \vec{\mu}_x - R(\vec{q}_R) * \vec{\mu}_p$$

Bulunan bu yeni R değeri ve 1x3 lük $\vec{q}_T$ değeri nokta kümemize uygulanarak çevirme ve öteleme işlemleri gerçekleştirilir. Bu değerler ile nokta kümesinin noktaları çarpıldıktan sonra oluşan yeni nokta kümesi bir sonraki iterasyonun giriş noktalarını oluşturmaktadır. Bu işlemler iki iterasyon arasında fark belirli bir değerin altına düştüğü zaman algoritma sona erer. Tanıma için ICP kullanıldığında veritabanı görüntüleri ile test görüntüsünün karşılaştırılması gerekmektedir. ICP algoritması çakıştırılan görüntüler arasındaki uzaklığı farklı uzaklık metrikleri ile ifade edilebilir olsa da çalışmamızda L2 Euclidean uzaklık kullanılmıştır. İki nokta arasındaki Euclidean uzaklığı 3B uzayda aşağıda verildiği gibi hesaplanır.

$P = (p_x, p_y, p_z)$ ve $Q = (q_x, q_y, q_z)$ noktaları arasındaki uzaklık

$$d = \sqrt{(p_x - q_x)^2 + (p_y - q_y)^2 + (p_z - q_z)^2}$$

Noktalar kümesinden oluşan görüntüler arasındaki Euclidean uzaklığı ise

$$d = (\sum_{i=1}^n |x_i - y_i|^2)^{1/2}$$

Formülü ile hesaplanabilir.

Veritabanı görüntüleri ile alınan test görüntüsü karşılaştırıldıktan sonra elde edilen uzaklık değerleri arasından en düşük olan yani en iyi çakışan görüntü test kümesi ile aynı kişiye aittir denebilir.

ICP algoritması nokta kümeleri arasında en yakın uzaklığı elde etmek için noktaları en yakın olanlar eş olacak şekilde kümelemektedir. Bu bölüm ICP algoritmasının işlem yükü bakımından en zor bölümüdür. Çünkü test kümesinin bütün noktaları ile model kümesinin bütün noktaları arasındaki uzaklık birer birer hesaplanmakta ve hesaplanan en küçük değerler nokta eşleri oluşturmak için kullanılmaktadır. Bu nedenle bu işlemi kısaltarak yöntemler önerilmiştir. Bu çalışmada K-D ağacı algoritması kullanılmıştır. Bu algoritma noktaları kök, boğum ve yaprak olarak sınıflandırır. Kök başlangıç noktasıdır. Boğum noktaları kendisinden sonra nokta içiren dallardır. Kendinden sonra başka nokta bulunmayan dallar ise yaprağı oluşturur.

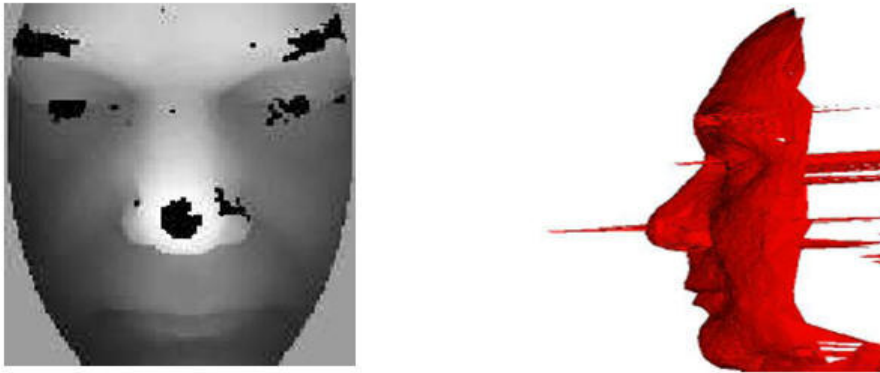
İşlemlere başlamadan önce K-D ağacını kurmamız gerekmektedir. Bu ağaç kurulurken bir kök noktasından başlanarak uzay verilen referansa (x,y) göre ikiye ayrılır ve bu bölgelere uygun iki nokta yerleştirilir. Bütün noktalar bitene kadar bu işleme devam edilir (Şekil 4.4). K-D ağacı algoritması özyinelemeli bir algoritmadır ve aranılan noktanın hangi tarafta olduğunu araştırmakta ve o yöne gitmektedir. Bütün boğumlar test edilerek yaprağa gelindikten sonra bu yaprağın ait olduğu bölgedeki noktalar en yakın noktanın bulunması için hesaplanır. Bu hesapta test noktası etrafında bir küre oluşturur. Eğer bu küre sadece bir bölgeni içinde kalıyor ise en yakın noktanın bu bölgede olduğu garantilenir. Eğer küre birden fazla bölgenin sınırlarına taşar ise bu sefer geriye doğru gidilmeli ve alternatif bir yol izlenmelidir. Bu taşmanın test edilmesine sınırlar içerisinde küre testi (ball-within-bounds test, BWB) [32] denilir. Sınırları aşan küre testi ile (the bounds-overlap ball test, BOB) hesaplama küremizin içerisine giren bölgelerdeki noktalar da en yakın noktanın bulunması için araştırılır. En yakın nokta bulunduğunda küremizin yarıçapı küçültürerek BWB testi tekrarlanır.

K-D ağacı kurulurken noktaların dengeli olarak yerleştirilmesi gerekmektedir. Noktaların rassal yerleştirilmesi yerine düzenli yerleştirmesini sağlayan yöntemler kullanılarak dengeli ağaç kurulabilir ve en yakın nokta daha etkili bir şekilde hesaplanabilir.

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1. Veritabanı

Yapılan bu çalışmada görüntülerin karşılaştırılması için ICP algoritması kullanılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucunda oluşan görüntülerin ne derece doğru karşılaştırılıp karşılaştırılmadığını daha iyi anlayabilmek için ICP algoritmasının geniş bir biçimde kullanıldığı yüz tanıma uygulanmıştır. Yapılan çalışmada 3B uzayda bulunan görüntülerden oluşan 3D-RMA veritabanı kullanılmıştır (<http://www.sic.rma.ac.be>) [33]. Bu veritabanı oluşturulurken görüntünün üzerine belli bir şekle sahip ışık demetleri gönderilmiş ve ışık demetindeki bozunum gözlenerek bir 3B görüntü oluşturulmuştur. Görüntüler xyz koordinatlarını içeren ortalama 4000 nokta ile ifade edilmiştir. 120 farklı insandan 2 farklı oturumda görüntüler alınmıştır. Alınan görüntülerde farklı açılar ve farklı aksesuarla mevcuttur. Ayrıca veritabanı oluşturulurken ilk 80 insan aynı etnik grupta ve yaklaşık olarak aynı yaşlarda son 40 insan ise yaşları 20 ila 60 arasında değişen insanlardan oluşmaktadır. Görüntüler elde edilirken verilerde bazen kayıp olabilmektedir (Resim 6.1). Kullanılan 3B sensör bazen görüntünün belli bölgelerinin verisini alamazken bazen de gürültü oluşturmaktadır. 3B sensörlerde genellikle kaş bölgesinde sorun yaşanmaktadır [16]. Ayrıca yüz tanıma için elimizde olan veritabanlarında genellikle sadece yüz yerine omuzlar ve arkaplanda 3B görüntüde bulunmaktadır. Bu nedenlerle görüntünün yumuşatılması ve maskelenmesi yapılmıştır.



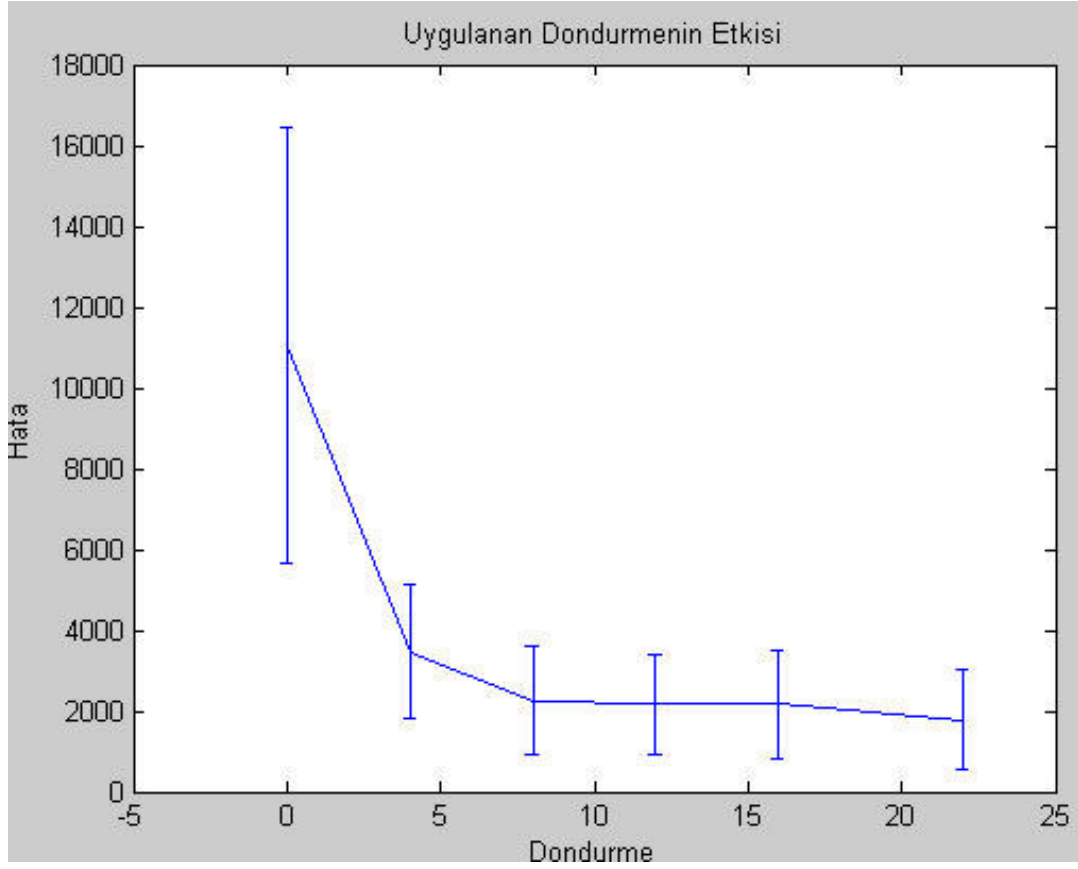
Resim 6.1. Hatalı yüzler a) gürültü, b) delikler

6.2. Yapılan Çalışmalar

İşlemlere başlamadan önce işlem yükünü biraz daha zorlaştırmak ve her durumda çalışabilecek bir algoritma geliştirebilmek için alınan görüntülere rastgele döndürme uygulanmış ve işlemlere bundan sonra başlanmıştır. Böylece algoritmanın her koşulda global minimuma yaklaşıp yaklaşmadığı incelenmiştir.

Daha önceden de bahsettiğimiz gibi ICP algoritmasının en büyük sorunu global minimuma yaklaşmama durumuydu. Eğer karşılaştırılacak görüntülerin ilk durumları uygun olarak seçilmez ise görüntüler lokal minimuma yaklaşmakta ve düzgün bir karşılaştırma sağlanamamaktadır. Bu sorunu ortadan kaldırmak için ilk çalışmamızda görüntüye bazı ilk değerler vererek görüntülerin kabaca aynı doğrultuda olması sağlandı. Çevirmeler 3B uzayda gerçekleştirilmiştir. Bu çevirme değerleri hesaplanırken görüntüye x, y, z koordinatlarında farklı çevirmeler verildi. Yapılan deneylerde görüntüler arasında 45 dereceden küçük açı farkları olduğu durumlarda global minimuma yaklaşmanın sağlandığı görülmüştür. Bu nedenle 3B uzayda 22 farklı çevirme değeri ile uygun ilk konum elde edilebileceği görülmüş ve ilk durum ayarlamaları için bu değerler kullanılmıştır. Değerler ICP algoritmasında olduğu gibi quaternionlar ile ifade edilmiştir.

Bu çevirmeler test görüntüsüne uygulanmış ve daha sonra algoritmaya sokulmuştur. Çevirmeler bittiğinde en uygun sonuç karşılaştırma sonucu olarak belirlenmiştir. Aşağıdaki şekilde uygulanan döndürmenin hatayı nasıl etkilediği gösterilmiştir. Çevirme uygulamadığımız durumlarda hata (noktalar arası uzaklık) 6000 ile 16000 arasında değişirken 22 ilk çevirme uyguladığımızda hata oranı 300 ila 3000 arasına düşmektedir. Böylece daha uygun sonuçlar elde edilmiş ve başarılı bir karşılaştırma gerçekleştirilebilmiştir.

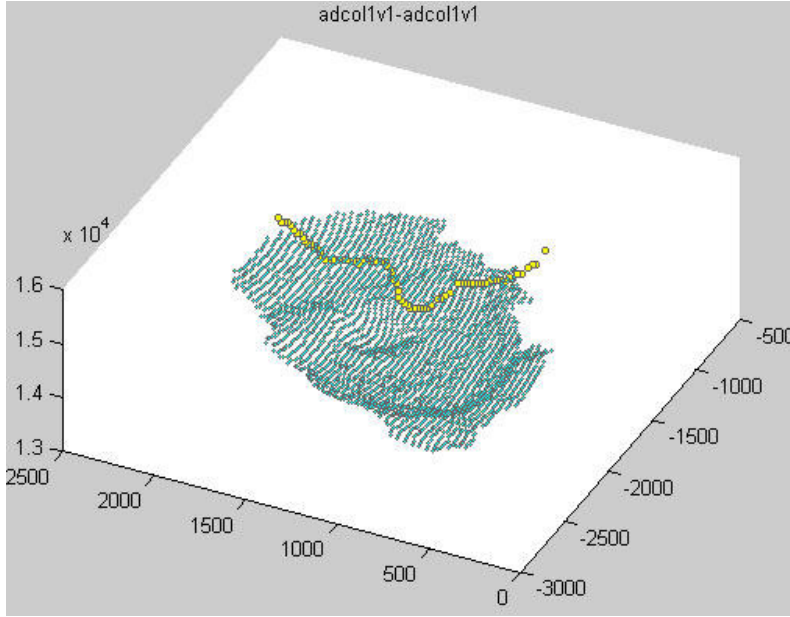


Şekil 6.1. İlk durum çevirmelerinin etkisi

[34]' de verilen çalışmada da bahsedildiği üzere ilk olarak yüzden alınan bir profil (stripe) ile karşılaştırma incelenmiş ve alınan nokta sayısının ve yerinin başarıya etkisi gözlenmiştir.

Profiller seçilirken ilk olarak en çok karakteristik özellik içeren burundan geçen profil alınmıştır. Bu profil için aynı insana ait farklı zamanlarda alınmış 3 er görüntü karşılaştırılmıştır.

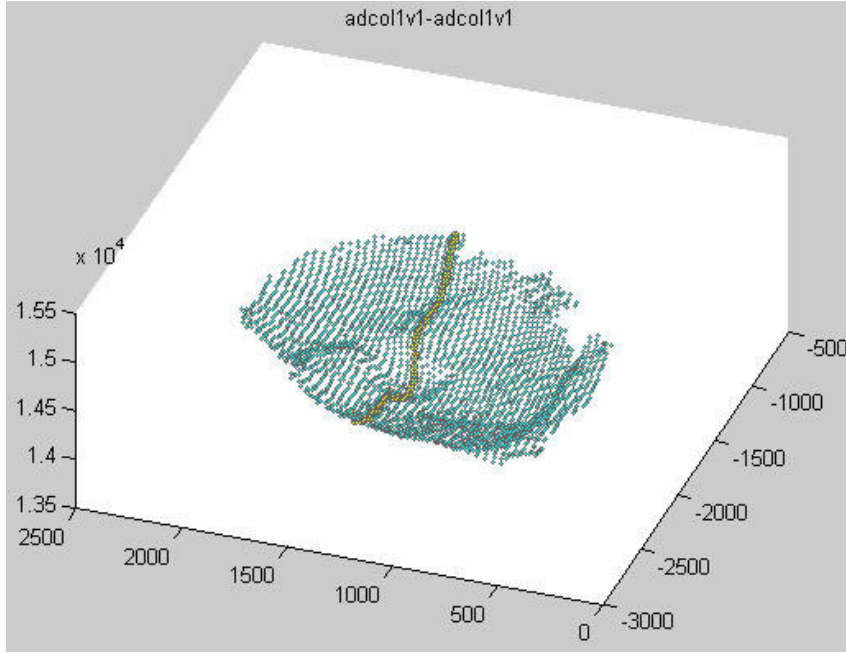
Çizelge 6.1'de de görüldüğü üzere karşılaştırma aynı insana ait yüzlerde bile başarılı değildir. Bunun sebebi ilk durumun ayarlanmamış olmasıdır.



Resim 6.2. Hatalı profil çıkartması

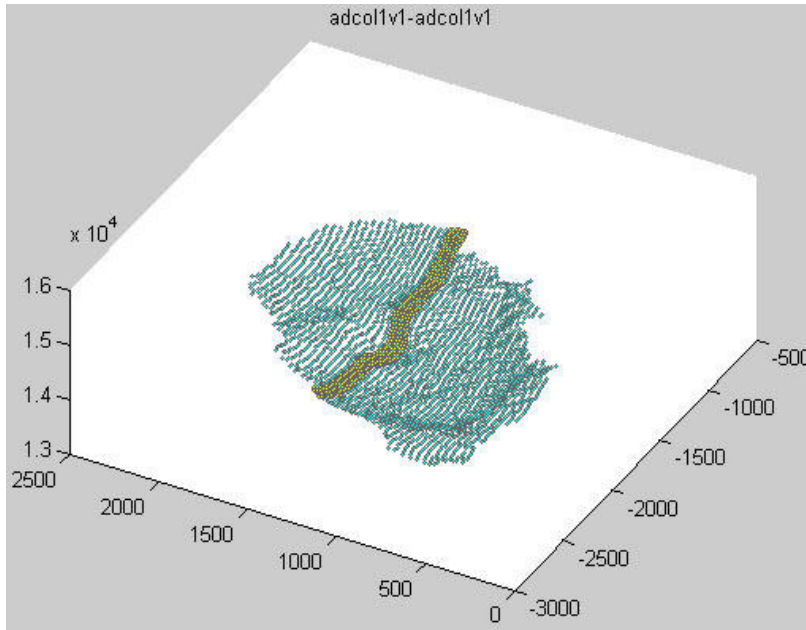
Resim 6.2' de ilk çevirme uygulanmadan uygulanan algoritmanın çıkartma sonucu verilmiştir. Burada sarı ile gösterilen kısım test görüntüsünden alınan bir profildir. Mavi ile gösterilen yüz model kümesidir. Görüldüğü üzere uygun eşleşme sağlanmamıştır. Bunun sebebi ICP algoritmasının her zaman lokal minimuma yaklaşmasıdır. İlk konumda yüzlerin yönleri farklı olduğu için ilk konumdan başlayarak iteratif olarak yaklaşmış ve en yakın uzaklık ancak bu şekilde elde edilmiştir.

Resim 6.3 çevirmeler uygulandıktan sonra elde edilen sonucu göstermektedir. Burada farklı ilk durumlar ile iterasyona başlamış ve uyguladığımız çevirmelerin sayısı kadar uzaklık değeri çıkmıştır. Bu değerler arasından en küçük değer sahip olan çıkartma bizim en iyi çıkartmamızı vermektedir.



Resim 6.3. Tek profil ile akıştırma

Resim 6.3’ de verilen çalışma farklı sayıda profil olarak denendiğinde elde edilne sonuç Resim 6.4’ de verilmiştir. Eşleşecek nokta sayısını arttırdığımızda daha iyi sonuçlar alındığı görölmüştür. Bu yeni noktaların seçiminde yine karakteristik özellikler taşıyan noktalar kullanmak başarıyı arttırmıştır.



Resim 6.4. 3 profil ile akıştırma

Çizelge 6.1 yukarıda da bahsedildiği gibi farklı çalışmaların sonuçlarını vermektedir. Burada adcol1v1 ile etiketlenen insana ait yüz görüntüsü, test görüntüsü olarak alınmıştır. Sayısal değerler karşılaştırma işlemi sonucunda elde edilen uzaklık değerlerini vermektedir. 1 kolonu Adcol1v1 ile farklı insanların yüz görüntülerinin karşılaştırılma sonucunu vermektedir. Burada görüldüğü üzere kendine ait yüz görüntülerinde uygun eşleşme sağlanamamıştır. 2. kolonda çevirmeler uygulandıktan sonra elde edilen sonuçlar verilmiştir. Burada test yüzü yine aynı insana ait yüzlerde düşük uzaklık değerleri verirken farklı insanlarda daha büyük değerler vermiştir. 3. çalışmada 3 adet profil kullanılarak elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Buradan da görüldüğü üzere aynı insana ait görüntü değerleri fazla değişmezken farklı insanlar ile yaptığı karşılaştırma sonucu elde ettiğimiz uzaklık değerleri artmıştır.

Çizelge 6.1. Sonuçlar (uzaklık)

MODEL	1	2	3
adcol1v1	3539	0	0
adcol1v2	2002	271	344
adcol1v3	494	348	412
addrb1v1	1732	3396	4106
addrb1v2	2357	2103	2013
addrb1v3	1291	1975	2158
arhen1v1	613	1781	3802
arhen1v2	846	652	1042
arhen1v3	1843	690	1077
ayhan1v1	2073	2353	2583
ayhan1v2	2381	2541	2700
ayhan1v3	2158	2475	2583
bnmrn1v1	3575	3575	4192
bnmrn1v2	1530	1530	1740
bnmrn1v3	1568	1568	1855
brsch1v1	802	802	773
brsch1v2	845	845	815
brsch1v3	781	781	727
1. ilk çevirme uygulanmadan tek profil ile karşılaştırma sonuçları 2. ilk çevirme uygulanarak tek profil ile karşılaştırma sonuçları 3. ilk çevirme uygulanarak 3 profil ile			

ICP algoritması iteratif bir algoritma olması nedeniyle iterasyon değerlerinin çakıştırma başarısına etkisi de incelenmiştir. Burun ve göz bölgesi alınarak oluşturulan test yüz parçası ile veritabanında bulunan yüzlerin tümü karşılaştırıldığında iterasyon değerlerinin belirli bir özellik göstermediği görülmüştür. Çizelge 6.2 ve Çizelge 6.3’ den de görüldüğü üzere en düşük iterasyon sayısı ve en yüksek iterasyon sayısı yüzlerin şekillerine bağlıdır ve herhangi bir ilişki yoktur.

Çizelge 6.2. İterasyon sayıları (1)

Sahne adcol1v2	Uzaklıklar	İterasyon Sayısı
adcol1v1_i_id	12.679894	66
arhen1v1_i_id	18.902371	79
ayhan1v1_i_id	24.043523	141
chbmr1v1_i_id	19.628437	82
chprl1v1_i_id	20.191024	400
crlry1v1_i_id	16.566108	77
ddpls1v1_i_id	19.258142	400
emvdb1v1_i_id	19.220016	115
erkhn1v1_i_id	23.769196	148
fbfrr1v1_i_id	21.69183	70
fcthr1v1_i_id	18.404815	64
fddrb1v1_i_id	22.433998	121
fddtx1v1_i_id	19.689881	114
frthr1v1_i_id	19.873357	85
frvnd1v1_i_id	27.712495	92
gtctn1v1_i_id	21.743459	93
gtvds1v1_i_id	19.484086	82
hlkbw1v1_i_id	19.178740	400

Çizelge 6.3. İterasyon sayıları (2)

Sahne arhen1v2	Uzaklıklar	İterasyon Sayısı
adcol1v1_i_id	21.630493	400
arhen1v1_i_id	16.000748	50
ayhan1v1_i_id	23.734377	102
chbmr1v1_i_id	19.787560	90
chprl1v1_i_id	17.324628	38
crlyr1v1_i_id	17.494882	50
ddpls1v1_i_id	18.278777	35
emvdb1v1_i_id	17.265086	51
erkhn1v1_i_id	17.655982	62
fbfrt1v1_i_id	21.011046	47
fcthr1v1_i_id	30.380713	400
fddrb1v1_i_id	18.492992	49
fddtx1v1_i_id	17.486590	35
frthr1v1_i_id	17.087440	49
frvnd1v1_i_id	24.077331	83
gtctn1v1_i_id	19.221368	56
gtvds1v1_i_id	18.157336	400
hlkbw1v1_i_id	22.729192	51

Buraya kadar yapılan çalışmalar görüntüye bir ilk değer verilerek en uygun eşleşmenin yapıldığı ilk konumun bulunmasını gerektiriyordu. Uygun çevirmeler uygulamak sonuçlarımızın daha başarılı olmasını sağlıyor olsa da zaten işlem yükü fazla olan ICP algoritmasının fazladan yere çağrılmasını ve koşturulmasını gerektiriyor. Bu nedenle [16]' de verilen metot temel alınarak ilk durumdan bağımsız bir eşleşme durumu oluşturulmuştur.

6.3. Görüntülerin Düzeltilmesi

Görüntüler düzeltilip aynı doğrultuya yerleştirilmeden önce sensörlerden kaynaklanan hataları ve gürültüleri ortadan kaldırmak için veritabanı dosyalarına aradeğerleme uygulandı. Bunun için interpolasyon uygulandı ve bu interpolasyon uygulanırken aranan noktanın en yakın 16 komşuluğunun ortalaması alındı. Görüntü elde edilirken oluşan boşluklar bu işlem sonunda doldurulmuş ve daha yumuşak geçişleri olan görüntüler elde edilmiştir. Aradeğerleme yaparak elde ettiğimiz

sonuçlar aradeğerlemesiz test sonuçlarına göre daha performanslı çalışmıştır. Sonuçlar Çizelge 6.4 'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.4. Aradeğerleme

En İyi İlk Eşleşmeye Göre		
	aradeğerlemeli	aradeğerlemesiz
doğru	17	16
yanlış	1	2
toplam	18	18
yuzde	%94.4	%88.8
En İyi İkinci Eşleşmeye Göre		
	aradeğerlemeli	aradeğerlemesiz
doğru	18	17
yanlış	0	1
toplam	18	18
yuzde	100%	%94.4

Aradeğerleme uygulandıktan sonra elde ettiğimiz görüntülerde fazladan gürültü olduğu görülmüştür. Bu gürültüleri yok etmek için yüz görüntüsü bir filtreden geçirildi. Bu filtre uygulanırken burun uç noktası referans alındı ve yapılan testler sonunda en uygun değerler bulunarak filtre için kullanıldı. Böylece arka ekrandan bağımsız sadece yüzü içeren görüntüler elde edilerek veritabanına bu şekilde kaydedildi.

Aradeğerleme sonrası oluşan görüntüden yöntem kısmında da bahsedildiği gibi yüze ait herhangi bir nokta alındı. Daha sonra bu yüz görüntüsü ayna görüntüsü(mirror) elde edildi. ayna görüntü elde edildikten sonra ilk görüntüde seçtiğimiz noktayı bu görüntü üzerinde bulduk. Sonraki adımda aynı insana ait orjinal ve ayna görüntüsü karşılaştırılarak eşleştirildi. Yüzün simetrik olma özelliğinden dolayı uygun şekilde çakışan görüntülerimizde işaretlenen noktalardan geçen doğru simetri düzlemimize diktir. Böylece bu iki noktadan geçen doğruya dik ve burun uç noktasından geçen

düzlem bize simetri düzlemini vermektedir. Daha sonra bu simetri düzleminin $n = [1 \ 0 \ 0]$ düzlemi ile yaptığı açı hesaplandı. Bu açı bize yüzün kameraya dik şekilde bakmasını sağladı. Bu açı bize yüzün kameraya dik şekilde bakması için gereken çevirme değerini verdi. Bu değer kadar bir çevirme görüntümüze uygulandı. Elde ettiğimiz görüntü kameraya bakacak şekilde ayarlanmış oldu.

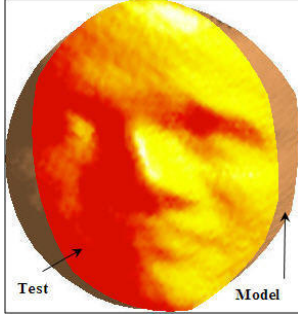
Yapmış olduğumuz bu profil ve simetri düzlemi bularak yüz düzeltme işleminin başarısını görmek için normal şekilde uyguladığımız ICP sonuçları ile karşılaştırdık. Sonuçlar Çizelge 6.5’ de verilmiştir. Çizelgeden de görüleceği gibi düzeltilmiş görüntü ile elde edilen tanıma başarısı daha yüksek ve tutarlıdır. Ayrıca dikkat edilmesi gereken diğer bir husus ise iki farklı çevirme ve bir görüntünün elimizde olduğu gibi uyguladığımız deneylerde aynı başarı yüzdesi (% 88.8) elde edilmesine rağmen hatalı çakıştırmaların farklı olması. Çevirme uygulanmadan yapılan test sonucunda gtctn1v2 ve hlkbw1v2 ile isimlendirilen yüzler hatalı çakıştırılırken ilk çevirme sonunda frvnd1v2 ve gtctn1v2 isimli yüzler hatalı çakıştırılmıştır. Farklı bir açı ile çevirme uyguladığımızda crlry1v2, erkhn1v2 ve hlkbw1v2 yüzleri hatalı çakıştırılmıştır. Farklı çıkan bu değerlerin nedeni uyguladığımız çevirmelerden birtanesi bir yüz için uygun iken diğer yüz için uygun olmamasıdır.

Çizelge 6.5. Düzeltmelerin etkisi

		çevirme uygulanmamış	Çevirme uygulanmış $q=[0.984886 \ -0.1 \ -0.1 \ -0.1]$	Çevirme uygulanmış $q=[0.9962 \ 0.05 \ 0.05 \ 0.05]$
NORMAL EŞLEŞME	Hatalı Çakışan Yüzler	gtctn1v2, hlkbw1v2	frvnd1v2 , gtctn1v2	crlry1v2, erkhn1v2, hlkbw1v2
	Yüzde Başarı	88,80%	88,80%	83,30%
DÜZELTİLMİŞ VERİTABANI İLE	Hatalı Çakışan Yüzler	fddtx1v2	fddtx1v2	fddtx1v2
	Yüzde Başarı	94,40%	94,40%	94,40%

6.4. Çakıştırma Sonuçları

ICP algoritmasını yüz görüntümüzün farklı yerlerinden aldığımız test görüntüleri ile karşılaştırarak çakıştırma performansını ve alınan bölgenin tanıma başarısına etkisini inceledik. İlk olarak tüm yüz görüntüsü ile karşılaştırma yaptık.



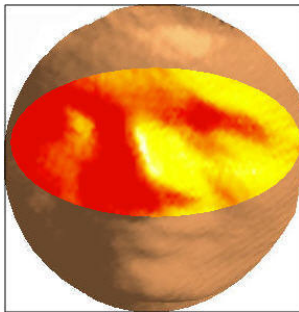
Resim 6.5. Model yüzü ve test için alınan kısmı

Test yüzü elde edilen veritabanından alınan görüntülerden seçilmiştir. Farklı zamanlarda alınmış model ve test kümeleri karşılaştırılması sonucunda 18 adet yüz ile yapılan karşılaştırma sonucunda sadece 1 yüz görüntüsü yanlış tahmin edilmiş ve %94.4 başarı elde edilmiştir. Sonuçlar Çizelge 6.6' da verilmiştir. Çizelgede yeşil ile işaretlenen kutular ICP algoritması sonucu bulunan en küçük uzaklığa sahip yüz çiftlerini göstermektedir. Köşegen aynı insana ait yüzlerin çakıştırma sonuçlarını vermektedir. Sarı ile gösterilen kutular en iyi ikinci tahmini vermektedir. Burada en iyi ikinci tahmine göre (Rank-2) tanıma başarısı %100'dür.

Çizelge 6.6. Tüm yüz karşılaştırma sonuçları

	adcol1v1	arhen1v1	ayhan1v1	chbmr1v1	chpr1v1	crly1v1	ddpls1v1	emvdb1v1	erkhn1v1	fbfr1v1	fcthr1v1	fdrb1v1	fdtx1v1	frthr1v1	frvnd1v1	gtctn1v1	gtvds1v1	hlkbw1v1
adcol1v2	13,07	21,03	28,51	21,78	21,35	17,56	25,82	25,16	23,93	26,46	17,99	21,68	21,43	22,74	33,08	22,86	20,05	21,00
arhen1v2	22,55	15,75	24,15	20,05	18,83	20,20	19,70	19,74	18,11	21,80	28,90	21,42	18,07	17,52	25,60	22,13	23,94	21,45
ayhan1v2	31,19	23,37	15,32	21,67	24,32	26,43	24,19	19,59	25,11	19,06	39,28	22,27	26,41	20,39	21,88	24,34	29,25	26,36
chbmr1v2	24,66	19,48	19,71	14,77	19,53	21,06	20,85	17,20	21,54	18,16	32,09	20,36	22,37	17,29	23,88	20,83	24,87	20,82
chpr1v2	25,24	20,27	23,12	19,61	16,29	21,15	23,37	20,73	22,82	21,53	32,53	19,16	21,29	18,18	24,80	21,85	22,14	24,53
crly1v2	22,68	17,85	21,33	17,24	18,11	14,48	21,88	19,48	24,46	20,76	29,97	17,61	20,76	18,00	25,75	17,86	22,69	21,98
ddpls1v2	28,05	20,66	22,18	19,92	20,78	23,10	14,97	18,29	21,83	18,68	34,70	23,78	21,61	18,89	21,78	25,03	29,30	23,45
emvdb1v2	27,25	19,15	19,24	19,17	20,90	23,91	21,04	14,57	21,42	17,16	36,31	21,11	22,96	17,78	21,54	22,18	28,28	22,85
erkhn1v2	25,92	18,31	20,92	18,69	19,28	24,92	17,66	17,32	14,79	17,51	33,60	22,33	20,70	17,03	22,88	24,62	26,24	20,74
fbfr1v2	29,24	21,94	18,08	20,65	23,24	25,84	20,98	18,10	23,79	14,95	37,31	23,28	24,58	19,13	22,76	24,78	29,94	24,94
fcthr1v2	17,24	27,55	35,28	28,25	27,37	24,83	31,81	31,38	28,80	32,76	14,23	28,43	26,15	28,81	36,27	29,57	21,47	26,70
fdrb1v2	25,36	21,44	20,18	20,94	21,29	20,84	26,34	21,07	25,94	21,79	33,30	16,22	24,92	20,97	27,18	19,38	24,51	24,06
fdtx1v2	22,11	17,25	22,66	17,47	17,22	18,96	20,15	18,56	20,73	19,84	28,82	19,35	17,07	16,63	25,99	19,80	23,23	21,48
frthr1v2	23,52	16,99	19,17	17,08	17,76	20,33	20,30	15,75	19,74	16,74	31,27	19,30	19,43	14,30	21,47	20,51	24,01	21,67
frvnd1v2	37,33	26,81	22,77	26,57	26,60	28,94	24,54	22,65	29,11	22,44	44,85	26,63	30,17	24,56	17,27	28,91	33,78	32,76
gtctn1v2	24,59	20,40	21,96	18,86	21,01	19,58	25,99	20,52	27,08	21,72	32,12	17,68	23,36	19,79	26,90	15,25	24,74	23,88
gtvds1v2	25,23	28,45	31,16	28,17	22,52	24,76	32,33	30,20	27,52	30,92	28,98	24,52	27,86	25,79	32,79	29,27	14,59	32,46
hlkbw1v2	21,52	17,81	21,25	18,18	21,05	22,43	19,94	18,82	17,93	19,39	27,86	20,34	21,51	18,73	26,84	20,98	25,33	15,56
Yeşil: En iyi eşleşme Sarı: En iyi 2. eşleşme Köşegen :Doğru Eşleşme 18 sahne 18 model Alınan test bölgesi : Tüm Yüz En iyi eşleşme 17/18 %94,4																		

İkinci olarak mimiklerden daha çok etkilenen yanak bölgesi çıkartılarak her insanda farklılık gösterecek özel bölgeler olan göz ve burun bölgesi alınmıştır (Resim 6.6) . Bu deney sonucunda da sadece 1 insanın yüzü yanlış tahmin edilmiştir. Buradan da göreceğimiz gibi göz ve burun bölgesi her insanda ayırt edici olduğu için tanıma başarısında değişiklik olmamıştır. Sonuçlar Çizelge 6.7’ de verilmiştir.



Resim 6.6. Model ve test yüzleri

Çizelge 6.7. Burun-göz bölgesi test sonuçları

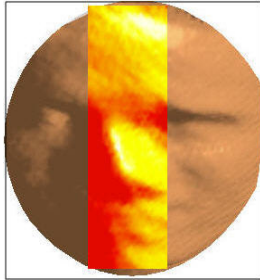
	adcol1v1	arhen1v1	ayhan1v1	chbmr1v1	chprl1v1	crlry1v1	ddpls1v1	emvdb1v1	erkhn1v1	fbfrr1v1	fcchr1v1	fdrrb1v1	fdtx1v1	frthr1v1	frvnd1v1	gtctn1v1	gtvds1v1	hlkbw1v1
adcol1v2	12,73	20,39	25,80	19,43	21,47	16,61	20,98	22,92	24,71	24,37	17,32	21,82	21,86	22,30	31,50	21,15	19,47	19,68
arhen1v2	22,82	16,33	26,03	21,04	18,88	20,16	19,13	19,27	18,59	22,28	29,87	21,11	17,89	17,68	25,65	21,63	24,41	22,97
ayhan1v2	31,43	24,85	15,42	22,88	26,31	26,95	25,02	19,84	26,17	18,08	41,29	23,47	29,21	21,33	21,45	26,29	29,29	27,10
chbmr1v2	22,51	20,22	20,74	14,89	18,92	18,84	20,35	18,26	21,75	18,95	30,25	20,48	22,42	17,97	25,16	21,18	20,79	21,57
chprl1v2	25,42	20,76	24,73	20,36	16,44	20,37	21,57	21,25	25,00	21,90	33,26	20,06	22,70	18,70	24,97	22,64	19,84	26,84
crlry1v2	19,96	18,86	21,96	17,23	18,69	14,14	21,96	18,75	24,71	20,09	27,62	16,34	22,06	18,58	25,37	17,38	16,59	22,32
ddpls1v2	22,76	18,41	22,28	18,42	17,58	20,25	15,42	17,52	19,98	18,24	29,92	20,40	18,75	16,08	23,52	22,76	21,42	23,60
emvdb1v2	27,54	19,40	20,47	19,97	22,02	23,29	20,27	15,47	21,29	17,35	37,40	21,27	23,98	18,01	21,96	23,53	28,71	23,73
erkhn1v2	27,13	19,34	22,06	19,15	20,34	24,61	17,05	17,22	14,96	17,80	35,24	23,46	21,86	17,13	22,62	25,95	27,11	22,18
fbfrr1v2	27,78	21,68	18,15	21,02	22,56	23,98	20,85	17,94	23,17	15,55	36,03	22,62	24,63	18,39	23,35	24,95	25,17	25,85
fcchr1v2	17,09	27,08	35,82	27,20	27,43	23,02	27,45	31,44	29,52	33,43	14,04	29,40	26,11	29,07	37,65	29,90	22,42	25,52
fdrrb1v2	24,02	22,24	21,58	22,58	22,85	19,50	24,96	21,26	28,84	22,89	32,29	16,43	26,49	21,91	26,23	19,56	21,89	25,51
fdtx1v2	20,60	17,55	24,94	18,40	16,86	18,07	18,37	19,16	21,62	21,44	27,61	20,01	17,34	16,87	25,89	20,52	19,82	22,86
frthr1v2	23,77	17,64	19,81	17,86	17,95	19,76	18,02	15,66	20,74	16,70	31,96	19,44	19,44	14,48	22,05	21,22	21,10	22,93
frvnd1v2	33,86	27,02	22,52	26,41	26,13	28,35	26,47	22,70	29,96	22,45	42,69	22,64	29,25	23,39	18,25	27,12	28,69	33,72
gtctn1v2	24,55	21,64	24,25	20,30	21,25	18,77	24,75	21,59	29,89	22,90	32,58	18,24	25,39	21,39	27,48	15,59	20,45	25,95
gtvds1v2	26,45	26,65	32,36	27,44	21,54	23,00	28,27	28,44	29,08	29,67	31,44	24,78	27,45	24,74	30,12	29,27	15,00	33,92
hlkbw1v2	21,72	18,55	22,76	18,85	21,67	20,28	20,45	20,47	18,74	21,10	27,05	21,90	22,53	19,66	28,22	22,45	23,94	16,12
Yeşil: En iyi eşleşme Sarı: En iyi 2. eşleşme Köşegen :Doğru Eşleşme 18 sahne 18 model Alınan test bölgesi : Tüm Yüz En iyi eşleşme 17/18 %94,4																		

Farklı ilk durumlarda tanıma başarısının ve yaptığımız çevirmenin başarısını görmek için test görüntüsüne bir ilk değer verdik. Bu çevirilmiş görüntü tekrar düzeltme için algoritmaya girdiğinde tekrar istenen doğrultuda çıkmıştır. Bu test görüntüsü ile yapılan karşılaştırma sonucunda çevirilmeden önce alınan başarı ile aynı başarı elde edilmiştir. Sonuçlar Çizelge 6.8’ de verilmiştir.

Çizelge 6.8. Çevirilmiş burun-göz bölgesi

	adcol1v1	arhen1v1	ayhan1v1	chbmr1v1	chprl1v1	crlry1v1	ddpls1v1	emvdb1v1	erkhn1v1	fbftr1v1	fcthr1v1	fddrb1v1	fdtx1v1	frthr1v1	frvnd1v1	gtctn1v1	gtvds1v1	hlkbw1v1
adcol1v2	12,7	18,9	24,6	19,8	19,6	16,7	19,4	19,4	24,1	21,7	18,5	22,5	19,8	20	27,9	21,8	19,6	19,3
arhen1v2	21,5	15,8	23,1	19	17,2	17,3	18	16,9	17,6	20,4	30,2	18,1	17,5	16,8	23,6	18,7	17,9	22,4
ayhan1v2	34,4	25,5	16,1	25,2	25,9	27,9	26,5	21,4	23,3	18,2	44,7	24,1	30,3	21,8	21,5	28,2	27,8	29,7
chbmr1v2	24,2	20,9	21,4	15,4	19,3	19,4	21,4	18,8	20,1	19,5	32,1	21,8	23,4	18,4	25,6	21,8	20,1	22
chprl1v2	27,7	19,7	23,7	20,7	16,5	22	21	18,8	22	19,7	35,5	21	22,4	18,1	23,4	23,1	19,5	27
crlry1v2	21,3	17,1	21,2	16,8	17,6	14,4	21,3	16,9	20,8	19,3	30,1	16,2	21,7	17,7	23,2	16,6	16,2	22,5
ddpls1v2	24,3	18,7	24,4	19,5	17,4	20,3	16	17,8	18,6	19,5	30,9	20,2	18,4	17,1	23,6	23	20,8	23,7
emvdb1v2	26,7	18,2	20,4	19,7	20	21,8	18,9	15,3	17,5	16,9	37	20,1	21,6	16,8	22,4	22,5	23,6	22,7
erkhn1v2	26,7	18	20,1	17,8	18,4	21,1	17,9	15,8	14,7	17	36,5	20,2	21,2	16,3	22,4	22,5	21,2	22,3
fbftr1v2	28,4	21,4	18	21,8	22,5	23,7	23,1	18,6	21	15,7	37,6	22,5	25,9	19,1	22,8	25,4	23,3	26,6
fcthr1v2	17,2	26,3	34,1	26,7	26,8	23,7	26	29,2	29,6	32,2	14	29,6	27	28,6	36,6	28,8	24,9	24,3
fddrb1v2	37,4	29,3	28	26	28,4	31,3	30	26	26,5	26,5	43,5	27,9	31,4	28,3	28,6	28,1	34,1	28,9
fdtx1v2	21,4	17,3	25,4	19,2	16,7	18,1	18,8	18,4	20,5	21,6	29,3	20,1	18,2	17,3	25,2	20,6	17,9	23,9
frthr1v2	31,1	25	26,6	25,1	25,7	26,4	25,6	25,4	24,4	26,6	40,3	24,9	25,4	24	30,6	27,1	29,2	27,5
frvnd1v2	33,5	32,1	31,6	29,6	33,1	37,1	30,2	27,2	30,3	27,9	37,1	31,3	34,3	32,5	28,8	31,9	39,9	30,5
gtctn1v2	25,7	20,7	23,9	20,7	20,7	18,3	25,3	21	26,6	22,6	34,4	17,4	25,4	21,2	25,8	15,8	17,5	27,4
gtvds1v2	27,7	20,5	26,1	23,2	18,5	21,7	23,6	20,8	23,7	22,9	35,6	21,3	23,4	19,3	25,8	23,1	15,6	29,6
hlkbw1v2	21,1	18,5	22	18,4	20,7	19,3	18,8	18,2	18,2	20,4	30,2	21,6	20,7	18,7	27,4	21,4	23,2	17,3
18 sahne 18 model Alınan test bölgesi : Burun Bölgesi/ İlk Çevirme Uygulanmış En iyi eşleşme 17/18 %94,4																		

Bir sonraki test yüzümüz yüzün ortasından geçen bir profildir (Resim 6.7).



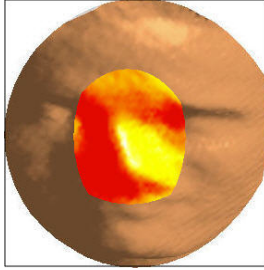
Resim 6.7. Model ve test yüzleri

Bu deneyde göz bölgesi çıkartılmış ve ağız bölgesi test kümemize dahil edilmiş olduğu için tanıma oranında düşüş olmuştur. 2 görüntü yanlış tahmin edilip 16 görüntü doğru şekilde tahmin edilmiştir.

Çizelge 6.9. Profil test sonuçları

	adcol1v1	arhen1v1	ayhan1v1	chbmr1v1	chprl1v1	crly1v1	ddpls1v1	emvdb1v1	erkhn1v1	fbftr1v1	fcthr1v1	fdrrb1v1	fdtx1v1	frthr1v1	frvnd1v1	gtctn1v1	gtvds1v1	hlkbw1v1
adcol1v2	13,61	17,42	19,37	14,51	18,22	20,73	20,96	16,19	20,52	18,76	19,71	18,80	18,14	16,86	17,91	18,43	18,18	16,30
arhen1v2	19,17	14,10	18,10	20,23	19,30	25,31	30,96	22,30	17,78	22,64	26,74	18,24	25,09	18,20	22,22	20,75	20,34	20,47
ayhan1v2	19,53	16,93	14,94	17,90	15,76	22,57	25,22	21,80	18,35	19,56	22,51	16,72	25,24	17,02	18,65	19,63	16,19	19,81
chbmr1v2	18,09	24,91	20,16	15,88	19,82	21,94	21,39	18,63	23,70	19,57	21,32	26,96	21,31	19,37	19,97	26,07	20,25	19,24
chprl1v2	26,55	24,39	19,53	23,63	15,82	22,84	33,38	25,98	21,43	26,78	25,84	19,41	28,95	21,37	21,44	22,25	15,36	25,70
crly1v2	21,72	22,30	22,16	20,73	19,63	13,56	26,19	20,30	22,85	27,95	20,25	20,36	22,64	20,69	18,12	23,80	25,16	22,25
ddpls1v2	21,76	23,32	24,92	21,62	29,96	39,26	14,20	22,97	30,42	21,23	39,70	33,49	38,54	26,78	24,60	25,01	30,73	25,15
emvdb1v2	31,64	31,87	33,51	16,82	31,09	28,38	24,95	29,98	19,98	20,31	28,33	28,53	35,67	30,20	19,13	32,62	30,06	31,93
erkhn1v2	21,00	19,25	19,13	22,11	15,94	26,01	30,71	19,89	14,44	19,49	27,87	16,50	21,54	16,84	19,60	19,60	18,66	22,45
fbftr1v2	19,86	19,91	19,73	20,32	21,49	30,62	22,36	20,87	20,43	14,65	25,31	27,22	22,93	18,79	21,96	27,00	24,15	22,74
fcthr1v2	22,58	26,70	25,54	21,48	20,64	17,54	24,56	21,82	21,91	28,03	13,77	22,36	21,55	22,42	20,49	28,02	30,57	24,58
fdrrb1v2	29,71	20,54	19,37	21,99	19,09	25,63	34,71	21,34	19,73	23,63	26,42	16,42	30,62	20,46	23,33	20,95	25,47	21,56
fdtx1v2	16,82	20,11	23,45	18,54	18,26	21,19	20,79	16,17	18,03	18,51	19,31	28,92	15,09	16,93	17,81	33,46	30,04	20,53
frthr1v2	15,92	16,34	16,74	16,38	16,04	21,96	24,79	16,58	17,74	17,74	23,01	17,83	19,16	14,67	17,31	19,00	18,60	18,68
frvnd1v2	21,68	21,29	20,64	20,35	19,56	20,23	26,45	20,68	19,80	23,51	23,52	20,04	22,43	17,77	16,08	24,83	21,66	21,23
gtctn1v2	19,73	18,03	17,18	18,59	18,97	24,92	24,63	22,79	24,26	20,70	24,50	20,10	27,51	21,22	23,39	15,74	22,81	19,47
gtvds1v2	28,58	26,16	21,93	28,72	20,59	32,06	38,03	31,04	23,71	28,40	34,31	22,06	33,52	25,31	26,53	27,96	15,32	30,94
hlkbw1v2	17,15	19,75	20,82	17,73	20,99	24,61	25,32	19,22	18,77	18,87	23,63	18,44	21,95	18,32	23,29	21,10	21,13	14,83
18 sahne 18 model Alınan test bölgesi :Profil En iyi eşleşme 16/18 %88,8																		

Burun bölgesiyle yaptığımız testte ise bir önceki test görüntüsünden daha küçük olan ve sadece burun bölgesini içeren bir test yüzü alınmıştır (Resim 6.8).



Resim 6.8. Model ve test yüzleri

Bu deneyde elde ettiğimiz sonuçlar profil ile elde ettiğimiz sonuçlar ile aynıdır. 2 görüntü yanlış tahmin edilmiş ve %88,8 başarı elde edilmiştir (Çizelge 6.10). İkinci en iyi eşleşmeye göre başarı oranı %94,4' dür.

Çizelge 6.10. Burun bölgesi test sonuçları

	adcol1v1	arhen1v1	ayhan1v1	chbmr1v1	chpr1v1	crlry1v1	ddpls1v1	emvdb1v1	erkhn1v1	fbftr1v1	fcthr1v1	fdrib1v1	fdtx1v1	frthr1v1	frvnd1v1	gtctn1v1	gtvds1v1	hikbw1v1
adcol1v2	13,61	17,42	19,37	14,51	18,22	20,73	20,96	16,19	20,52	18,76	19,71	18,80	18,14	16,86	17,91	18,43	18,18	16,30
arhen1v2	19,17	14,10	18,10	20,23	19,30	25,31	30,96	22,30	17,78	22,64	26,74	18,24	25,09	18,20	22,22	20,75	20,34	20,47
ayhan1v2	19,53	16,93	14,94	17,90	15,76	22,57	25,22	21,80	18,35	19,56	22,51	16,72	25,24	17,02	18,65	19,63	16,19	19,81
chbmr1v2	18,09	24,91	20,16	15,88	19,82	21,94	21,39	18,63	23,70	19,57	21,32	26,96	21,31	19,37	19,97	26,07	20,25	19,24
chpr1v2	26,55	24,39	19,53	23,63	15,82	22,84	33,38	25,98	21,43	26,78	25,84	19,41	28,95	21,37	21,44	22,25	15,36	25,70
crlry1v2	21,72	22,30	22,16	20,73	19,63	13,56	26,19	20,30	22,85	27,95	20,25	20,36	22,64	20,69	18,12	23,80	25,16	22,25
ddpls1v2	21,76	23,32	24,92	21,62	29,96	39,26	14,20	22,97	30,42	21,23	39,70	33,49	38,54	26,78	24,60	25,01	30,73	25,15
emvdb1v2	31,64	31,87	33,51	16,82	31,09	28,38	24,95	29,98	19,98	20,31	28,33	28,53	35,67	30,20	19,13	32,62	30,06	31,93
erkhn1v2	21,00	19,25	19,13	22,11	15,94	26,01	30,71	19,89	14,44	19,49	27,87	16,50	21,54	16,84	19,60	22,99	18,66	22,45
fbftr1v2	19,86	19,91	19,73	20,32	21,49	30,62	22,36	20,87	20,43	14,65	25,31	27,22	22,93	18,79	21,96	27,00	24,15	22,74
fcthr1v2	22,58	26,70	25,54	21,48	20,64	17,54	24,56	21,82	21,91	28,03	13,77	22,36	21,55	22,42	20,49	28,02	30,57	24,58
fdrib1v2	29,71	20,54	19,37	21,99	19,09	25,63	34,71	21,34	19,73	23,63	26,42	16,42	30,62	20,46	23,33	20,95	25,47	21,56
fdtx1v2	16,82	20,11	23,45	18,54	18,26	21,19	20,79	16,17	18,03	18,51	19,31	28,92	15,09	16,93	17,81	33,46	30,04	20,53
frthr1v2	15,92	16,34	16,74	16,38	16,04	21,96	24,79	16,58	17,74	17,74	23,01	17,83	19,16	14,67	17,31	19,00	18,60	18,68
frvnd1v2	21,68	21,29	20,64	20,35	19,56	20,23	26,45	20,68	19,80	23,51	23,52	20,04	22,43	17,77	16,08	24,83	21,66	21,23
gtctn1v2	19,73	18,03	17,18	18,59	18,97	24,92	24,63	22,79	24,26	20,70	24,50	20,10	27,51	21,22	23,39	15,74	22,81	19,47
gtvds1v2	28,58	26,16	21,93	28,72	20,59	32,06	38,03	31,04	23,71	28,40	34,31	22,06	33,52	25,31	26,53	27,96	15,32	30,94
hikbw1v2	17,15	19,75	20,82	17,73	20,99	24,61	25,32	19,22	18,77	18,87	23,63	18,44	21,95	18,32	23,29	21,10	21,13	14,83
18 sahne 18 model Alınan test bölgesi : Burun Bölgesi En iyi eşleşme 16/18 %88,8																		

Karakteristik özellikler bir yüzü tanımada oldukça başarılıdır. Yüz görüntülerinin ait olduğu kişi ile düzgün olarak eşleştirilmeleri için alınan noktaların aynı kişiden farklı zamanlarda alınmış görüntüler ile aynı özellikleri taşımaları yani farklı zamanlarda farklı durumlarda fazla değişikliğe uğramaması ve aynı kişiye ait olmayan görüntüler ile ayırt edici özellikler taşıması gerekmektedir. Yanak bölgesi yüz mimiklerinden fazlaca etkilenen bir bölgedir. Aynı zamanda farklı insanlarda yanak bölgesi hemen hemen aynı özellikleri taşımaktadır. Bu nedenle bu bölgeden tanıma yapmaya çalışmak bize başarılı sonuçlar vermez. Resim 6.9 tanıma için seçilen test bölgesini göstermektedir. Yanak bölgesi seçilerek yapılan deneyin sonucu ise Çizelge 6.1’ de verilmiştir.



Resim 6.9. Model ve test görüntüsü (yanak bölgesi)

Çizelge 6.11. Yanak bölgesi test sonuçları

	adcol1v1	arhen1v1	ayhan1v1	chbmr1v1	chprl1v1	crly1v1	ddpls1v1	emvdb1v1	erkhn1v1	fbftr1v1	fcthr1v1	fdrb1v1	fdtx1v1	frthr1v1	frvnd1v1	gtctn1v1	gtvds1v1	hlkbw1v1
adcol1v2	22,98	25,76	31,16	26,09	26,99	25,75	25,31	26,47	27,22	28,23	23,46	29,91	25,80	27,40	34,00	27,86	30,31	23,68
arhen1v2	19,16	15,50	24,65	20,33	20,33	19,37	18,05	18,89	19,43	20,18	25,50	24,37	18,94	18,65	25,40	24,03	18,55	20,05
ayhan1v2	27,30	17,01	14,43	15,67	25,89	26,40	28,95	28,70	17,47	16,76	31,23	28,43	19,52	15,61	33,25	22,00	26,77	15,77
chbmr1v2	25,68	27,77	24,80	26,22	25,07	28,29	24,73	25,51	29,07	26,45	25,22	26,36	26,33	31,07	25,22	29,51	22,89	22,89
chprl1v2	30,83	27,55	27,99	14,75	25,28	18,96	18,95	17,96	25,36	20,26	31,55	16,86	27,16	26,17	32,49	29,10	20,26	18,61
crly1v2	29,27	18,09	30,49	16,98	17,25	13,78	20,68	25,80	24,66	27,55	29,57	16,45	18,52	18,28	21,92	17,99	37,83	19,49
ddpls1v2	27,41	28,46	30,32	27,71	27,91	28,80	30,31	26,07	28,30	24,34	33,51	29,09	30,94	29,93	30,59	28,96	34,13	26,14
emvdb1v2	32,92	21,64	29,06	25,38	22,20	25,22	26,17	24,13	18,71	24,65	35,47	16,96	27,93	27,31	30,41	26,63	36,93	23,14
erkhn1v2	21,65	25,19	15,37	23,46	24,18	24,42	26,82	14,56	14,75	15,61	32,69	16,11	25,20	14,91	31,16	21,95	26,95	20,57
fbftr1v2	25,47	28,52	30,80	27,63	27,55	27,38	31,76	27,70	26,60	27,90	30,26	28,88	29,57	29,16	31,54	27,09	30,84	25,28
fcthr1v2	26,60	29,10	33,97	31,46	28,07	28,63	28,51	29,07	29,57	30,28	27,24	33,55	27,24	31,41	33,86	31,31	31,69	25,96
fdrb1v2	29,09	17,07	16,01	15,86	17,16	17,89	18,30	17,55	22,34	25,95	31,69	15,43	18,47	16,39	32,12	18,58	20,30	19,22
fdtx1v2	22,24	24,19	31,85	25,42	25,11	23,81	26,86	26,72	25,85	29,98	24,57	27,27	25,10	26,51	34,31	25,78	26,16	22,12
frthr1v2	29,71	15,85	14,94	15,45	15,88	22,14	25,82	15,46	16,79	15,86	31,40	23,24	17,86	13,45	31,23	17,40	19,16	16,36
frvnd1v2	27,21	20,15	31,07	20,17	26,81	29,18	18,81	17,45	25,16	17,76	38,41	27,44	23,33	26,65	30,80	22,07	32,20	21,18
gtctn1v2	23,43	27,69	34,31	29,19	29,77	27,49	30,06	30,75	29,91	32,93	25,04	29,84	29,70	30,61	36,15	28,00	32,25	24,33
gtvds1v2	28,65	27,91	33,05	27,87	29,47	28,03	30,51	29,01	29,31	31,37	27,59	32,22	29,24	29,36	31,43	29,03	32,50	26,52
hlkbw1v2	37,36	18,29	38,39	21,15	38,15	22,74	16,92	19,34	24,95	30,68	34,09	35,11	19,46	21,69	33,14	20,54	41,32	18,71
18 sahne 18 model Alınan test bölgesi : Yanak Bölgesi En iyi eşleşme 6/18 %33																		

Yapılan testler sonucu elde edilen başarı yüzdesi en iyi ilk değer göz önüne alınarak hesaplandığında Çizelge 6.12, en iyi ilk iki değer dikkate alındığında Çizelge 6.13’de verilen sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 6.12. En iyi eşleşme

En İyi İlk Eşleşmeye Göre				
	test1	test2	test3	test4
doğru	17	17	16	16
yanlış	1	1	2	2
toplam	18	18	18	18
yuzde	%94.4	%94.4	%88.8	%88.8
test 1: tüm yüz test 2: burun-göz bölgesi test 3: burun bölgesi test4 : profil				

Çizelge 6.13. En iyi ikinci eşleşme

En İyi İkinci Eşleşmeye Göre				
	test1	test2	test3	test4
doğru	18	17	17	17
yanlış	0	1	1	1
toplam	18	18	18	18
yuzde	100%	%94.4	%94.4	%94.4
test 1: tüm yüz test 2: burun-göz bölgesi test 3: burun bölgesi test4 : profil				

7. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Görüntü işleme üzerine çalışmalar son yıllarda artarak devam etmektedir. Bilgisayarla görme; aranan insanların bulunması, güvenlik gerektiren noktalarda kişinin tanınması, personellerin kimliklerinin doğrulanması gibi güvenlik amaçlı nedenleri olduğu gibi bir şeklin tahmininde, 3B bir nesnenin modellenmesinde, bir görüntüde hareketin algılanmasında, doku kaplamada, değişen bir giriş değişkenini izlemede, çıkan ürünün uygunluk testi ile kalitesinin tahmini gibi üretim aşamalarında da kullanılmaktadır.

Yüz tanıma ile ilgili çalışmalarda ilk olarak 2 boyutlu görüntüler ele alınmıştır. Ancak aydınlanma, poz değişikliği, farklı yüz ifadeleri gibi faktörlere bağlılık bu çalışmalarda yüksek başarının elde edilmesini güçleştirmiştir. Teknolojik gelişmelerle günümüzde derinlik tarayıcıların daha fazla kullanılmaya başlaması ve bu tarayıcılarla gerçek nesnelere ait 3 boyutlu (3B) şekil verilerinin kolay bir şekilde elde edilebilmesi, 3B nesne tanıma yöntemlerinin gelişmesini sağlamaktadır.

Yapılan bu çalışmada 3B çakıştırma problemlerinde genel olarak kullanılan “İteratif En Yakın Nokta” (ICP) algoritması uygulandı. ICP algoritması model ve sahne olarak adlandırılabilen iki yüz görüntüsünün noktaları arasında bir eşleşme sağlayarak belli çevirme ve öteleme değerleri bulmaktadır. Daha sonra bu değerleri görüntülerin uygun şekilde çakıştırılması için kullanmaktadır. Bu çakıştırma işlemi tekrarlı şekilde görüntüler en yakın duruma gelene kadar devam eder. Bu iki küme arasındaki uzaklık değeri ise bize çakıştırma işleminin performansını ve görüntülerin benzerliğini vermektedir.

Çalışmada kullanmış olduğumuz ICP çakıştırma algoritmasını yüz tanıma için kullanarak performanslı bir tanıma başarısı elde edebileceğimiz gösterilmiştir. Bu yapılırken çakırtmada olabilecek farklı senaryolar oluşturulmuş ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Ancak ICP algoritmasının uygulanmasında eksikliklerin olduğu görülmüştür. ICP algoritması görüntüyü oluşturan her nokta ile diğer görüntü arasında bir ilişki kurmakta ve buna göre çevirme ve öteleme değerlerini tanımlamaktadır. Bu bir görüntü için 3000’den fazla nokta içeren veritabanımız için

fazla bir işlem yükü anlamına gelmektedir. İkinci olarak ICP algoritmasında iterasyonlar sonunda ilk duruma bağlı olarak lokal minimuma yaklaşma sorunu mevcuttur. Uygun verilmemiş ilk durum sonunda görüntü global minimuma yaklaşamayacak ve sonuç olarak hatalı çakıştırma yapılacaktır. ICP algoritması işlem yükü ve ilk konuma bağlılığı nedeniyle bazı ön işlemlerden geçirilmiş ve başarı arttırılmıştır.

İlk konuma bağlılığı ortadan kaldırmak için 2 adet yaklaşım incelenmiştir. Farklı açılarla elde edilmiş görüntüler çakıştırılırken farklı yönlere yönlendikleri için çakıştırma başarısı düşük çıkmıştır. Bu sorunu aşmak için 3B uzayda bulunan görüntümüze yine 3B uzayda uygun çevirme değerleri bulunarak farklı çevirmeler uygulanmış ve farklı yönlere yönelmiş görüntüler, uygulanan çevirme ile yaklaşık olarak aynı doğrultuya yönlendirilmiştir. Yapılan testler sonucunda lokal minimuma yaklaşma sorununun aşıldığı ve başarılı sonuçların elde edildiği görülmüştür. Bu yöntem başarılı çakıştırma sağlıyor olsa da işlem yükü artmıştır. İşlem yükünü azaltmak için çakıştırılacak iki yüzün baktıkları yönlerin bulunması ve buradan hesaplanan tek bir döndürme matrisinin kullanılması önerilmiştir. Yüzlerin baktıkları yönlerin bulunması için ise yüze ait burundan geçen ve yüzü iki eşit parçaya ayıran profil çıkartılmıştır. Bu profilin çıkartılmasında yüzün simetri özelliğinden yararlanılmıştır. Yüzün simetri düzleminin denklemi çıkartılırken yüz görüntüsünden bir nokta seçilmiş ve daha sonra bu yüzün ayna görüntüsü elde edilmiştir. Bu ayna görüntüsünde ilk görüntüde işaretlenen noktanın eş noktası bulunmuştur. Daha sonra bu iki görüntü aynı doğrultuda olduğu için ICP ile bir ön çakıştırma işleminden geçirilmiştir. Bulduğumuz bu iki noktanın oluşturduğu doğru, simetri düzlemimize diktir. Ayrıca bu iki noktaya eşit uzaklıktaki noktalar aradığımız simetri düzlemini vermektedir. Böylece sadece herhangi bir nokta seçilerek görüntüye ait simetri düzlemini bulmuş oluruz. Daha sonra görüntü kameraya dik bakacak şekilde çevrilmiştir. Bu çevirme için x düzlemine dik bir düzlem normali alınmış ve bu düzlem ile yaptığı açı hesaplanmıştır. Bu açı çevirme için kullanılmıştır. Görüntünün ilk konumu ne olursa olsun bütün yüzlere yapılan bu ön işlem sonucunda aynı yöne doğru yönelmiş yüz veritabanı elde edilmiştir.

Görüntü üzerinde bazı iyileştirmelerin yapılması başarıyı arttıracak için veritabanı kümesi aradeğerleme kullanılarak iyileştirilmiştir. Aradeğerleme için en yakın komşuluklar alınmış ve eksik verilerin daha uygun değerler ile doldurulması sağlanmıştır.

İşlem yükünü azaltmak için de uygun yöntemler araştırılmıştır. Eş noktaların bulunması için tüm uzay yerine parçala ve fethet mantığına dayanan KD ağacı algoritması kullanılmıştır. Bu metot uzayı belirli alt uzaylara bölmekte ve en yakın noktayı bu alt uzayda aramaktadır. Bu algoritma uygulandığında en yakın nokta hesaplama süresi düşmüş ve hesaplamalar hızlanmıştır.

Yapılan bütün bu değişiklikler sonunda Besl'in makalesinde anlattığı temel ICP algoritmasından daha hızlı ve başarı oranı daha yüksek olan bir algoritma üretilmiştir.

Çalışmamızın başarısını ölçmek için çeşitli deneysel çalışmalar yapılmıştır. İnsanlardan farklı zamanlarda, farklı durumlarda ve pozlarda alınan görüntüler ile elde edilen veritabanındaki görüntüler karşılaştırma başarısını ölçmek için kullanılmıştır. İlk olarak tüm yüzün karşılaştırılması sonucundaki başarı test edilmiştir. Veritabanındaki bir kişinin tüm yüzünü oluşturan noktalar, test edilecek kişinin tüm yüzü ile karşılaştırılarak sonuçlar elde edilmiştir. Sonra yüzün karakteristik özelliklerini taşıyan burun ve göz bölgesini içeren test altgörüntüleri alınmış ve sonuçlar incelenmiştir. Daha sonra bu bölge küçültülerek sadece burun bölgesi ile tanıma yapılmıştır. Son olarak görüntüleri kameraya bakacak şekilde düzeltmekte de kullandığımız profil kullanılarak tanıma başarısı ölçülmüştür. Tüm yüz, burun-göz kesiti, burun kesiti ve profil olmak üzere farklı kesimlerden karşılaştırma ve tanıma başarısı incelenmiştir. Karakteristik bölgelerin karşılaştırma başarısına etkisini görmek için karakteristik özellik içermeyen noktalardan oluşan yanak bölgesi seçilmiştir.

18 adet yüz ile yapılan çalışmaların sonucunda tüm yüz tanıma için %94.4 (17/18) başarı elde edilmiştir. Karakteristik özelliklerin bulunduğu burun ve gözler ile yapılan çalışma sonucunda %94.4 (17/18) başarı elde edilmiştir. Yüzün yanak bölgesi fazla karakteristik özellik taşımadığı için ve ağız bölgesi de mimiklerde

fazlaca etkilendiği için bu sonucun elde edilmesi doğaldır. Göz bölgesini çıkartarak yaptığımız burun kesiti testinde (16/18) %88.8 başarı elde edilmiştir. Profil ile yapılan testte ise %88.8 (16/18) başarı elde edilmiştir. Bunun sebebi hem bir önceki deneyde bulunan göz bölgesinin alınmaması ve mimiklerden etkilenen ağız bölgesinin tanıma için alınan test görüntüsüne eklenmiş olmasıdır. Özel nokta içermeyen ve her insanda benzer özellikleri taşıyan yanak bölgesi ile yapılan karşılaştırma sonucunda %33,3 başarı elde edilmiştir.

En iyi ikinci tahmin göz önüne alındığında (Rank2) başarı oranı artmıştır. Tüm yüzü kullanarak yapılan deneyde başarı %94.4 den % 100' e yükselmiştir. Burun ve göz bölgesini içeren test görüntüsü ile yaptığımız örnekte başarı oranı değişmemiş sadece burun bölgesini içeren test görüntüsü ile yapılan deneyde başarı %88.8 den % 94.4 'e çıkmıştır. Profil kullanılarak yapılan deneyde ise başarı oranı % 88.8'den %94.4 'e yükselmiştir.

Bu çalışma karşılaştırma için başarılı sonuçlar veren ICP algoritmasının eksik yönlerinin giderilmesi için yapılmıştır. Uygun ilk alınan görüntülerde başarılı karşılaştırma gerçekleştirilmesine rağmen farklı ilk konumlar ile alınan görüntüler arasında lokal minimuma yaklaşma nedeniyle hatalı eşleşmeler gerçekleşmektedir. Bu sorunu ortadan kaldıran yöntemler bu çalışmada sunulmuştur. Ayrıca işlem yükü fazla olan algoritmanın işlem yükünü azaltacak yöntemler araştırılmış ve en uygun sonuç olan K-D ağacı algoritması uygulanmıştır.

KAYNAKLAR

1. Peer, P., Solina, F., "An Automatic Human Face Detection Method", *Proceedings of the 4th Computer Vision Winter Workshop (CVWW'99)*, Austria, 122-130 (1999).
2. Achermann, B., Jiang, X., Bunke, H., "Face Recognition Using Range Images", *Proceedings of International Conference on Virtual Systems and MultiMedia*, Geneva, 129-136 (1997).
3. Bernadini, F., Martin, I.M., Rushmeier, H., "High-quality Texture Reconstruction from Multiple Scans," *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 7(4):318-332 (2001).
4. Chen, Q., Medioni, G., "A Volumetric Stereo Matching Method: Application to Image-Based Modeling," *Proceedings of Computer Vision and Pattern Recognition*, California, 29-34 (1999).
5. Lu, Z., Chen, W., "Fast and Robust 3-D Image Registration Algorithm Based on Principal Component Analysis", *Bioinformatics and Biomedical Engineering (ICBBE)*, 6: 872- 875 (2007).
6. Gordon, G., "Face Recognition Based on Depth and Curvature Features", *SPIE Proc. Geometric Methods in Computer Vision*, 1570: 234-247 (1991).
7. Rusinkiewicz, S., Levoy, M., "Efficient variants of the ICP algorithm", *3. International Conference on 3D Digital Imaging and Modeling (3DIM)*, 145-152 (2001).
8. Lu, X., Colbry, D., Jain, A.K., "Matching 2.5D Scans for Face Recognition", *International Conference on Biometric Authentication (ICBA)*, Hong Kong, 30-36 (2004).
9. Zitová, B., Flusser, J., "Image registration methods: a survey", *Image and Vision Computin*, 977-1000 (2003).
10. Turk, M., Pentland, A.P., "Eigenfaces for Face Detection/Recognition", *Journal of Cognitive Neuroscience*, 3(1): 71-86 (1991).
11. Amor, B., Aadabilian, M., Chen, L., "New Experiments on ICP-Based 3D Face Recognition and Authentication", *ICPR (3)*, 1195-1199 (2006).
12. Beumier, C., Acheroy, M., "Automatic 3D face authentication", *Image and Vision Computing*, 18(4): 315-321 (2000).

13. Xiaoguang, L., Anil, K.J., "Automatic feature extraction for multiview 3D face recognition", *Proc. IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition*, Southampton, 585-590 (2006).
14. Whitmarsh, T., Remco, C., "Landmark Detection on 3D Face Scans by Facial Model Registration", *Proceedings of the 1st International Workshop on Shape and Semantics*, Matsushima, 71-76 (2006).
15. Gordon, G., "Face Recognition Based on Depth and Curvature Features", *SPIE Proc. Geometric Methods in Computer Vision*, Mallorca, 1570: 234-247 (1991).
16. Colombo, A., Cusano, C., Schettini, R., "3D face detection using curvature analysis," *Pattern Recognition*, 39(3): 444-455 (2006).
17. Pan, G., Wu, Y., Wu, Z., "Investigating Profile Extracted from Range Data for 3D Face Recognition", *IEEE Int. Conf. Syst. Man Cybern*, USA, 2: 1396-1399 (2003).
18. Yu, K., Jiang, X.Y., Bunke, H., "Robust facial profile recognition", *Proc. IEEE International Conference on Image Processing 3*, Zurich, 491-494 (1996).
19. Gökberk, B., "Three Dimensional Face Recognition", Doktora Tezi, *Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-151 (2006).
20. Besl, P.J., McKay, N.D., "A Method for Registration of 3-D Shapes", *Proceedings of IEEE Transaction. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Washington, 14(2) : 239-256 (1992).
21. Sharp, G.C., Lee, S.W., Wehe, D.K., "ICP registration using invariant features", *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions*, 90-102 (2002).
22. Peng, X., Chen, W., Ma, Q., "Feature-based non-rigid image registration using a Hausdorff distance matching measure," *Optical Engineering*, 46(5): 057201 (2007).
23. Chen, Y., Medioni, G., "Object modelling by registration of multiple range images," *Int. Journal of Image and Vision Computing*, 10: 145-155 (1992).
24. Friedman, J.H., Bentley, J., Finkel, R., "An algorithm for finding best matches in logarithmic expected time," *ACM Trans. on Mathematical Software*, 3: 209-226 (1977).
25. Greenspan, M., Godin, G., Talbot, J., "Acceleration of binning nearest neighbor methods," *Proceedings of Vision Interface 2000*, Montreal, 337-344 (2000).

26. Moore, A.W., "An Introductory Tutorial on Kd- Trees", *Extract from Efficient Memory-based Learning for Robot Control (Technical Report 209)*, Computer Laboratory, 1-20 (1991).
27. Amor, B.B., Ouji, K., Ardabilian, M., Chen, L., "3D Face recognition by ICP-based shape matching", *2nd Int. Conf. on Machine Intelligence*, Canada, 1195 - 1199 (2005).
28. Malassiotis, S., Srinivas, M.G., "Pose And Illumination Compensation For 3D Face Recognition," *Proc. ICIP*, 91-94 (2004).
29. Akarun, L., Gökberk, B., Salah, A.A., "3D Face Recognition for Biometric Applications", *Proc. of the 13th European Signal Processing Conference (EUSIPCO)*, Antalya, 1-5 (2005).
30. Akarun, L., Gökberk, B., Salah, A.A., "Rank-based Decision Fusion for 3D Shape-based Face Recognition", *Proceedings of the IEEE 13th Signal Processing and Communications Applications Conference*, Kayseri, 364-367 (2005).
31. Chang, K.I., Bowyer, K.W., Flynn, P.J., "Multiple Nose Region Matching for 3D Face Recognition under Varying Facial Expression", *IEEE transactions on Pattern Analysis and Matching Intelligence*, 28(10): 1695-1700 (2006).
32. Greenspan, M., Yurick, M., "Approximate K-D Tree Search for Efficient ICP," *Proceedings of the fourth international conference on 3-D digital imaging and modeling*, Canada, 442-448 (2003).
33. Beumier, C.M., Acheroy, M., "Face verification from 3D and grey level cues", *Pattern Recognition Letters*, 22: 1321-1329 (2001).
34. Çevik, Ö., Bilge, H.Ş., "İteratif En Yakın Nokta Algoritmasını Kullanarak 3Boyutlu Profil ile Yüz Tanıma", *IEEE 15th Signal Processing and Communications Applications (SIU 2007)*, Eskişehir, 1-4 (2007).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÇEVİK, Özgür
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 07.02.1982 Sakarya
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0 (312) 4186741
 e-mail : ozgcevik@yahoo.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Elekt-Elektronik Müh.	2005
Lise	Malatya Anadolu Lisesi	2000

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2007-	TUBİTAK/UEKAE	Araştırmacı
2005-2007	Gazi Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Çevik, Ö., Bilge, H.Ş., “İteratif En Yakın Nokta Algoritmasını Kullanarak 3Boyutlu Profil ile Yüz Tanıma”, *IEEE 15th Signal Processing and Communications Applications (SIU 2007)*, Eskişehir, 1-4 (2007)

Hobiler

Bilgisayar, İnternet, Basketbol