

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GERÇEK ZAMANLI VIDEO GÖRÜNTÜLERİNDEN
YÜZ BULMA VE TANIMA SİSTEMİ**

Kontrol ve Bilgisayar Müh. Erkan SÜTÇÜLER

**FBE Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. M. Elif KARSLIGİL

İSTANBUL, 2006

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GERÇEK ZAMANLI VIDEO GÖRÜNTÜLERİNDEN
YÜZ BULMA VE TANIMA SİSTEMİ**

Kontrol ve Bilgisayar Müh. Erkan SÜTÇÜLER

**FBE Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. M. Elif KARSLIGİL

İSTANBUL, 2006

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER.....	ii
SİMGE LİSTESİ	v
KISALTMA LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ÖNSÖZ.....	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Yüz Bulma Alt Sistemi.....	4
1.2 Yüz Tanıma Alt Sistemi	5
2. YÜZ BULMA YÖNTEMLERİNİN GENEL TANITIMI	8
2.1 Bilgi Tabanlı Yüz Bulma Yöntemleri	8
2.1.1 Farklı Çözünürlüklerde Odaklanma Yaklaşımı	9
2.1.2 Yatay / Dikey Projeksiyonlama Yaklaşımı	10
2.2 Özellik Tabanlı Yüz Bulma Yöntemleri.....	11
2.2.1 Raslantısal Graf Eşleme	11
2.2.2 Özellik Gruplama	12
2.3 Şablon Eşleme Tabanlı Yüz Bulma Yöntemleri.....	13
2.4 Görünüm Tabanlı Yüz Bulma Yöntemleri	13
3. YÜZ TANIMA YÖNTEMLERİNİN GENEL TANITIMI	17
3.1 Özellik Tabanlı Yüz Tanıma Yöntemleri	22
3.1.1 Yapısal Eşleme	22
3.1.2 Elastik Demet Grafı Eşleme	23
3.1.3 Gizli Markov Modeli.....	23
3.2 Görünüm Tabanlı Yüz Tanıma Yöntemleri.....	24
3.2.1 Temel Bileşen Analizi (Özyüzler Yöntemi ile Yüz Tanıma)	25
3.2.2 Üç Boyutlu Yüz Tanıma Modeli (3D Morphable Model).....	27
3.3 Karma Yüz Tanıma Yöntemleri	28
3.3.1 Aktif İstatistiksel Yüz Modelleri	28

3.3.2	Diğer Karma Yöntemler	29
4.	YÜZ BULMA ALT SİSTEMİ	31
4.1	Yüz Bulma Sistemine Giriş	31
4.2	Yüz Bulma Sistemi Adımları	33
4.2.1	Önplan Tespiti	33
4.2.2	Ten Tespiti	34
4.2.2.1	Ten Rengi Bilgisinin Toplanması	34
4.2.2.2	Ten Renginin Sınıflandırılması ve Destek Vektör Makineleri	35
4.2.3	Yüz Konumlandırma	40
4.2.4	Göz Tabanlı Kanonik Yüz Modeli'nin Oluşturulması	43
5.	YÜZ TANIMA ALT SİSTEMİ	46
5.1	Yüz Tanıma Sistemi Adımları	47
5.1.1	Özyüz Uzaklı Projesiyonlama	47
5.1.2	Özyüz Uzaklı Projesiyonlama ile Yüz Tanıma	49
5.1.2.1	Özyüz Uzaklığının Oluşturulması	49
5.1.2.2	Eğitim Resimlerinin Özyüz Uzaklığındaki Projeksiyonlarının Oluşturulması	50
5.1.2.3	Test Resminin Kimliğinin Destek Vektör Makinesi ile Tespit Edilmesi	50
5.1.3	Tanıyan Yüzler Üzerinde Kayan Pencere Yaklaşımının Uygulanması	51
6.	GERÇEK ZAMANLI VIDEO GÖRÜNTÜLERİNDEN YÜZ BULMA VE YÜZ TANIMA UYGULAMASI – “WHO ARE YOU?”	53
6.1	“Who are you?” Uygulaması Veritabanı Veri Modeli	53
6.2	“Who are you?” Uygulaması	55
6.2.1	Yüz Tanıma Sistemindeki Kullanıcıların Kayıt Edilmesi	58
6.2.2	Yüz Tanıma Sisteminin Eğitilmesi	60
6.2.3	Yüz Tanıma İşlemi	61
7.	DENEYSEL SONUÇLAR	65
7.1	Yüz Bulma Alt Sistemi Deneysel Sonuçları	66
7.1.1	Yüz Bulma Alt Sisteminin Başarımını Etkileyen Faktörler	68
7.1.2	Yüz Bulma Alt Sisteminin Başarımını Arttırmak İçin Yapılan Diğer Deneyler	69
7.2	Yüz Tanıma Alt Sistemi Deneysel Sonuçları	70
7.2.1	Polinomik Çekirdek Fonksiyonlu Destek Vektör Makinesi ile Yapılan Denemeler	71

7.2.2	Radyal Tabanlı Çekirdek Fonksiyonlu Destek Vektör Makinesi Kullanılarak Yapılan Denemeler.....	73
7.2.3	Öklit Mesafesi Kullanılarak Yapılan Denemeler	75
7.2.4	Yüz Tanıma Alt Sisteminin Başarımını Etkileyen Faktörler	76
7.2.5	Yüz Tanıma Alt Sisteminin Başarımını Arttırmak İçin Yapılan Diğer Deneyler	77
8.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	79
	KAYNAKLAR.....	86
	ÖZGEÇMİŞ.....	90

SİMGE LİSTESİ

ϵ_i	Yapay değişken
I	Resmin renk yoğunluğu düzeyi
$P(..)$	Olasılık fonksiyonu
w	Aşırı düzleme normal uzaklık
Δ	Resimler arası öngörülen renk yoğunluğu farklılığı
Ω_I	Aynı bireye ait çeşitli resimler arasındaki farklılıklar
Ω_E	Bir bireyin diğer bireylerin resimlerinden farklılıkları

KISALTMA LİSTESİ

AAM	Active Appearance Model
ASM	Active Shape Model
EBGM	Elastic Bunch Graph Matching
HMM	Hidden Markov Model
ICA	Independent Component Analysis
LDA	Linear Discriminant Analysis
LEM	Line Edge Map
LGL	Local Gray-Level
PCA	Principal Component Analysis
PDM	Point Distribution Model
RBF	Radial Basis Kernel Function
SNOW	Sparse Network of Windows
SVM	Support Vector Machine
TVM	Texture Variation Model
WHO	“Who are you?” – Video tabanlı yüz bulma ve tanıma uygulaması

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1	“Who are you?” – Video tabanlı ve gerçek zamanlı yüz bulma ve yüz tanıma sistemi genel modeli	3
Şekil 1.2	“Who are you?” – Video tabanlı ve gerçek zamanlı yüz bulma ve yüz tanıma sistemi detaylandırılmış modeli	6
Şekil 2.1	Farklı çözünürlüklerde odaklanma yaklaşımı	9
Şekil 2.2	Yatay / dikey projeksiyonlama	10
Şekil 2.3	Raslantısal graf işleme	12
Şekil 2.4	Şablon eşleme yaklaşımı	13
Şekil 2.5	Öğretme ve test resimlerinin sunumu	14
Şekil 2.6	Pozitif ve negatif giriş öğretme resimleri	15
Şekil 2.7	Alt örnekleme yüz araştırma yöntemi	16
Şekil 3.1	Çizgisel kenar haritası (LEM - Line edge map)	22
Şekil 3.2	Elastik demet grafi eşleme yöntemi – İşaretlenmiş noktalar	23
Şekil 3.3	Seri haldeki yüz resimlerinin modellendiği gizli markov modeli	24
Şekil 3.4	Üç boyutlu yüz tanıma modeli	27
Şekil 4.1	Video tabanlı yüz bulma altsistemi	32
Şekil 4.2	Orijinal yüz resimleri ve ten rengi işaretleyicileri	35
Şekil 4.3	Ten rengi bilgisinin toplanması & işlenmesi altyapısı	36
Şekil 4.4	Kamera önünde yalnızca tek bir adet yüz olduğu zaman elde edilen yatay ve dikey projeksiyonlar	41
Şekil 4.5	Kırpılmış ortalama yöntemi ile resimlerdeki baskın yüzlerin en etkin biçimde konumlandırılması	42
Şekil 4.6	Göz tabanlı kanonik yüz modeli örneği	44
Şekil 4.7	Yüz bulma alt sisteminin adım adım çıktıları	45
Şekil 5.1	Video tabanlı yüz tanıma altsistemi	47
Şekil 5.2	İkili Eşleme Yöntemi – Destek Vektör Makinesi	51
Şekil 5.3	Tanınan yüzler üzerinde kayan pencere yaklaşımının uygulanması	52
Şekil 6.1	“Who Are You?” uygulaması veritabanı veri modeli	54
Şekil 6.2	“Who are You?” uygulaması grafiksel kullanıcı arayüzü	56
Şekil 6.3	Yüz tanıma sistemindeki kullanıcıların kayıt edilmesi grafiksel kullanıcı arayüzü..	58

Şekil 6.4	Yüz tanıma sisteminin eğitilmesi grafiksel kullanıcı arayüzü.....	60
Şekil 6.5	Yüz tanıma işlemi grafiksel kullanıcı arayüzü (Yüz tanıma işlemi sırasında).....	62
Şekil 6.6	Yüz tanıma işlemi grafiksel kullanıcı arayüzü (Yüz tanıma işlemi sonucunda).....	63
Şekil 7.1	Yüz bulma alt sisteminin performans testlerinde kullanılan resimlerden bazıları	66
Şekil 7.2	Yüz bulma alt sistemini tarafından tespit edilen yüzler	67
Şekil 7.3	Yüz tanıma alt sistemini tarafından oluşturulan kanonik yüz modelleri.....	68
Şekil 7.4	Yüz bulma alt sistemi tarafından elde edilen başarısız sonuçlar	69
Şekil 7.5	Yüz tanıma alt sisteminin performans testlerinde kullanılan eğitim ve test resimlerden bazıları	70
Şekil 7.6	Polinomik çekirdek fonksiyonu.....	72
Şekil 7.7	Radyal tabanlı çekirdek fonksiyonu	73
Şekil 7.8	Yüz tanıma alt sistemi tarafından elde edilen başarısız sonuçlar.....	77

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1	Lokal kontrast ayarlama ve sonrasında kenar tespiti işlemi.....	10
Çizelge 2.2	Bilgi tabanlı yüz bulma metodlarının avantajları ve dezavantajları.....	11
Çizelge 2.3	Özellik tabanlı yüz bulma metodlarının avantajları ve dezavantajları	12
Çizelge 2.4	Şablon eşleme tabanlı yüz bulma metodlarının avantajları ve dezavantajları.....	13
Çizelge 2.5	Görünüm tabanlı yüz bulma metodlarının avantajları ve dezavantajları	16
Çizelge 3.1	Yüz tanıma pazarı – Biyometrik sistemlerden toplam kazanç [2002 – 2007 / M\$]17	
Çizelge 3.2	Kimlik tanıma pazarı – Kullanılan teknolojiye göre market yüzdeleri	18
Çizelge 3.3	PCA ve ICA için 2 boyutlu örnek veri dağılımı.....	26
Çizelge 3.4	Görünüm tabanlı ve özellik tabanlı yüz tanıma metodlarının avantajları ve dezavantajları.....	30
Çizelge 4.1	CbCr renk parçacıkları uzayında ten rengi dağılımı (kırmızı alan).....	36
Çizelge 4.2	Destek vektör makinesi sınıflandırmasının ardından CbCr renk parçacıkları uzayında ten rengi dağılımı	40
Çizelge 4.3	Yüz dikdörtgeninin boyutunun tespit edilmesi	43
Çizelge 6.1	“Who Are You?” uygulaması veri modeli tabloları.....	54
Çizelge 6.2	“Who are you?” uygulaması grafiksel kullanıcı arayüzü alanları.....	56
Çizelge 6.3	Yüz tanıma sistemindeki kullanıcıların kayıt edilmesi grafiksel kullanıcı arayüzü alanları	59
Çizelge 6.4	Yüz tanıma sisteminin eğitilmesi grafiksel kullanıcı arayüzü alanları.....	61
Çizelge 6.5	Yüz tanıma işlemi grafiksel kullanıcı arayüzü alanları	64
Çizelge 7.1	Polinomik çekirdek fonksiyonu ile elde edilen yüz tanıma başarımlar oranları	72
Çizelge 7.2	Radyal tabanlı çekirdek fonksiyonu ile elde edilen yüz tanıma başarımlar oranları...	74
Çizelge 7.3	Radyal tabanlı çekirdek fonksiyonu ile elde edilen en yüksek yüz tanıma başarımlar oranları.....	74
Çizelge 7.4	Destek vektör makinesi ve Öklit mesafesi kullanıldığında elde edilen yüz tanıma başarımlar oranları	76
Çizelge 8.1	Yüz tanıma alt sistemi başarımlar oranları	81

ÖNSÖZ

Yıldız Teknik Ünivertesi yüksek lisans sıralarında tez danışmanım Elif Karslıgil'den şekil tanıma dersini alırken ilgi duymaya başladığım yüz bulma ve tanıma konularının, beni bu denli maceralı bir akademik yolculuğa çıkaracağını hiç tahmin edemezdim. Bir konu ile ilgili bir şeyler yapacaksam ya tam yapmaya çalışmalıyım ya da hiç başlamamalıyım anlayışından yola çıkarak bu tez çalışması kapsamında, bir “Gerçek Zamanlı Video Görüntülerinden Yüz Bulma ve Tanıma Sistemi” için ihtiyaç duyulan metodolojileri ve yaklaşımları tasarlamayı ve bu problemlerin çözümü için yüksek standartlarda bir uygulama geliştirmeyi hedefledim.

Beni sürekli yeni fikirler üretmeye ve bu fikirleri zaman kaybetmeden uygulamaya zorlayan bir çalışmaydı bu. Brüksel'de, Roma'da, Madrid'de proje yaptığım zamanlarda bile yanımdan ayırmadığım video kameram ve bilgisayarım ile otel odamda sürekli yeni deneyler yaptığımı ve elde ettiğim başarısız sonuçlardan sonra tez danışmanımı tez kapsamımı daraltmak için nasıl ikna edebileceğimi düşündüğümü hala çok net hatırlıyorum. Neyseki tüm bu zorlu tırmanışlara rağmen sonuç olarak ulaştığım noktada, gelecekteki birçok akademik ve ticari çalışma için temel oluşturabilecek bir tez çalışması ürettiğime inanıyorum.

Bu tez çalışmasını yaparken, tez kapsamımı daraltmak için elimden gelen her şeyi yapmama rağmen, tam tersine tez kapsamımı daha da genişletmek için elinden gelen hiçbir gayreti esirgemeyen ve beni hem bu tez çalışması sırasında hem de Yıldız Teknik Üniversitesi'ndeki öğrencilik hayatım boyunca sürekli destekleyen değerli danışmanın Elif Karslıgil'e teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Ve yeniden; Bugüne kadarki hayatımda yaratabilmeyi başardığım bir nebze olsun artı değer ve güzellik varsa bunun tamamını borçlu olduğum sevgili babam Birol Sütçüler ve annem Güngör Sütçüler. Sizler dün, bugün ve daima. Hep benimlesiniz...

Erkan Sütçüler
Haziran, 2006

ÖZET

GERÇEK ZAMANLI VIDEO GÖRÜNTÜLERİNDEN YÜZ BULMA VE TANIMA SİSTEMİ

Erkan SÜTÇÜLER

Bilgisayar Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi

Yüz bulma ve yüz tanıma sistemleri geçtiğimiz yıllarda bilimsel araştırma grupları ve piyasa tarafından oldukça geniş ilgi görmüştür ve halen bu sistemlerin gerçek zamanlı uygulamalarının geliştirilmesi oldukça zorlayıcı bir branş olarak görülmektedir. Ayrıca makine öğrenmesi ve bilgisayarda grafik işleme toplulukları da yüz bulma ve tanıma çalışmalarına dahil olmuşlardır. Farklı branşlarda uzmanlaşmış bu araştırmacıların ortak ilgisi, yüz bulma ve tanıma problemlerinin çözümünün gündelik ve sanal hayata kazandıracağı artı değerın yadsınamayacak bir öneme sahip olmasından kaynaklanmaktadır.

Yüz bulma ve tanıma teknikleri gerekli koşulların sağlandığı ortamlarda oldukça iyi sonuçlar vermelerine karşın, ortam şartlarındaki küçük değişimlerde yüz bulma ve tanıma problemi büyük ölçüde çözümsüz kalmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında video görüntülerinden gerçek zamanlı bir yüz bulma ve tanıma sistemi için ihtiyaç duyulan metodolojiler ve yaklaşımlar tasarlanmış ve problemin çözümü için yüksek standartlarda bir uygulama geliştirilmiştir.

Yüz bulma probleminin çözümü için farklı aydınlanma ve pozlarda çekilmiş yüz resimlerinden yarım milyon üzerinde ten rengi piksel toplanmıştır. Bir resim üzerindeki yüz rengi olan ve yüz rengi olmayan alanların sınıflandırılması bir ikili sınıflandırma problemidir. Dolayısıyla toplanan bu yarım milyon ten rengi pikselin YCbCr renk uzayındaki karşılıkları ile bu renk uzayının diğer kısmı ikili sınıflandırma problemlerinde başarısını kanıtlamış destek vektör makinesi algoritması ile birbirlerinden ayrılmışlardır. Sınıflandırılmış piksellerin kullanılmasıyla video kareleri üzerindeki ten rengi alanların tespit edilmesi için yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Video karelerinde tespit edilen ten rengi alanlar üzerindeki yüzün tespit edilmesi için istatistiksel bir yüz konumlandırma metodu kullanılmıştır. Bu metodda temel olarak x ve y eksenleri boyunca alınan histogramlar kullanılarak yüz alanının merkez koordinatları, yüksekliği ve genişliği bulunmuştur. Son olarak yüz tanıma sürecinin başarımını arttırmak için yüz bulma sisteminin çıktıları standartlaştırılmış bir kanonik yüz modeline dönüştürülmüştür. Yapılan testlerde yüz bulma başarıım oranları %90, hata oranı %10 olarak elde edilmiştir.

Geliştirilen yüz tanıma sistemi, temel bileşen analizi yöntemlerinden biri olan, özyüz uzayı projeksiyonlama ile yüzlere ait özellik kümelerini üretmektedir. Kullanılan temel bileşen analizi yöntemi, yüz tanıma problemine iki boyutlu bir tanıma problemi olarak yaklaşmaktadır. Yüzler arasındaki farklılıkları en iyi ortaya çıkaran yüz uzayına ait özvektörler ve özyüzler elde edilir. Ardından gerçek yüzler bu özyüzlerin kombinasyonları ile ifade edilerek, yüzlere ait özellik kümeleri türetilir. Son olarak, yüz tanıma işlemi sırasında eğitim ve test yüzlerinin özellik kümeleri arasındaki benzerlikler destek vektör makinesi yöntemi ile bulunmaktadır. Yüz tanıma sisteminde yer alan kişilerin her birinin sistemde en az beş farklı yüzle ifade edilmesi yüz bulma sisteminin performansını arttıran bir özelliktir. Seri olarak analiz edilen video karelerinden en

tutarlı tanıma sonuçların elde edilmesi için kayan pencere yaklaşımı geliştirilmiştir. Yapılan testlerde yüz tanıma sisteminin başarıml oranı %91, hata oranı %5 olarak kaydedilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yüz tanıma, yüz bulma, temel bileşen analizi, destek vektör makinesi, video tabanlı görüntü işleme, gerçek zamanlı uygulamalar.

JÜRİ:

1. Yrd. Doç. Dr. M. Elif KARSLIGİL (Danışman)
2. Prof. Dr. A. Çoşkun SÖNMEZ
3. Doç. Dr. Selim AKYOKUŞ

Tarih: 05.06.2006

Sayfa Sayısı: 90

ABSTRACT

REAL-TIME FACE LOCALIZATION AND RECOGNITION SYSTEM BY USING VIDEO SEQUENCES

Erkan SÜTÇÜLER

Computer Engineering, M.S. Thesis

In recent years face detection and face recognition has received substantial attention from both research communities and the market, but still remained very challenging in real-time applications. The machine learning and computer graphics communities are also increasingly involved in face recognition. This common interest among researchers working in diverse fields is motivated by remarkable ability to recognize people and the fact that human activity is a primary concern both in everyday life and in cyberspace.

Although some techniques of face detection and recognition are able to produce considerably good results in some particular environmental conditions, even minor changes in these environmental conditions might have broken effects on these techniques. In the context of this thesis, necessary methodologies and approaches were studied to design a real-time face detection and recognition system by using video sequences. Moreover, a robust and practical software application has been developed to solve these problems.

In order to solve face detection problem, about half million skin color pixels were collected from the face images taken under different lighting conditions and pose orientations. The differentiation of skin and non-skin pixels on a human image is a binary classification problem. Therefore, the YCbCr color space representation of these collected pixels and the rest of the color space has been distinguished by using support vector machine algorithm which has proved its ability and strength in binary classification problems. By using these classified pixels, a novel approach to detect skin colors on the video frames has been introduced. Then, a statistical face localization method has been utilized to detect faces on video frames. This method basically calculates the center coordinates, width and height of face areas by using histograms created along the x and y-axis on the video frames. As a last step in order to increase the performance of face recognition system, the outputs of face detection system are converted into a standardized canonical face model. The success ratio of the face detection system is 90% whereas its failure rate is 10%.

The face recognition system derives the feature set of human faces by using the projections of eigenface space which is a principal component analysis method. The principal component analysis method considers the face recognition problem as a 2-D pattern recognition problem. It first creates the set of eigenvectors and eigenfaces of face space which most efficiently extracts the differences between different face frames. Then the real faces are represented as the combinations of these eigenfaces and the feature sets of the faces are derived. As a last step, the similarities between the feature sets of training and test faces are calculated by using the support vector machine algorithm. Each subject within the face recognition system is represented via at least five faces and this approach obviously increases the performance level of face recognition

system. In order to get most consistent recognition results, sliding window approach has been introduced by using the sequence of video frames. The success ratio of the face detection system is 91% whereas its failure rate is 5%.

Keywords: Face recognition, face detection, principal component analysis, support vector machine, video-based image processing, real-time applications.

JURY:

1. Assist. Prof. M. Elif KARSLIGİL (Supervisor)
2. Prof. Dr. A. ořkun SÖNMEZ
3. Assoc. Prof. Selim AKYOKUŞ

Date: 05.06.2006

Page: 90

1. GİRİŞ

İnsan yüzleri, insanların kimliklerini ve duygularını temsil ettikleri için insanların sosyal dünyadaki hayatlarında oldukça önemli bir yere sahiptirler. İnsanların birbirlerinin yüzlerinden birbirlerine ait zeka, karakter, duygu ve düşünceleri algılamaları şüpheye açık, algılayanın yeteneklerine bağlı bir durum olsa da, insanların hemen hepsinin birbirlerinin yüzlerinden birbirlerinin kimliklerini algılayabiliyor olmaları gayet net ve tartışmasız bir gerçektir. İnsanlar hayatları boyunca binlerce yüz ile karşılaşır bu yüzleri öğrenirler ve öğrendikleri bu yüzleri aradan yıllarca zaman geçmiş olmasına rağmen hala tanıyabilirler. İnsanın bu yeteneği öylesine gelişmiş bir yetenektir ki, yaşlanma, yüz ifadesi, gözlük, sakal, bıyık, saç şekli gibi insan yüzlerindeki görsel özelliklerin değişimi bile insanın yüz tanıma yeteneğini engelleyememektedir.

İnsan yüzünün insan kimliğinin tanınmasında bu denli ayrıcalıklı bir yere sahip olması, insan yüzünün bilişim sistemleri tarafından da öğrenilmesi ve tanınması konusunda bilimadamlarını çeşitli araştırmalar ve çalışmalar yapmaya itmiştir. Bununla beraber çok sayıda ticari, güvenlik ve adli amaçlı uygulamada yüz tanıma teknolojilerinin kullanılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Kalabalık gözetim otomasyonları, giriş kontrol sistemleri, yüz bilgilerinin yeniden oluşturulması, insan bilgisayar arayüzü uygulamaları, multimedya haberleşmesi (yapay yüzlerin oluşturulması) ve içerik tabanlı yüz veritabanlarının yönetimi gibi birçok uygulamada gelişmiş yüz tanıma teknolojilerinin kullanılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

İnsanın yüz tanıma yeteneğinin çok güçlü olduğunun açıkça bilinmesine rağmen, yüz bilgilerinin insan beyninde nasıl kodlandığı ve yüz tanıma işleminin nasıl gerçekleştirildiğine dair henüz çok fazla bilgimiz bulunmamaktadır. Geçtiğimiz son 30 yıl boyunca yüz tanıma sistemleri konusunda oldukça fazla sayıda çalışma yapılmıştır. Ancak yüz tanıma için bilgisayar tabanlı bir modelin oluşturulması yüz bilgilerinin karmaşık ve değişken olmalarından ötürü oldukça zor bir süreçtir. Yüz bilgilerinin karmaşık ve değişken olmaları yüz tanıma hatta özellikle yüz bulma ve konumlandırma işlemini sırasında bilgisayar tabanlı görüntü işleme tekniklerinin ön plana çıkmasında önemli rol oynamıştır.

İnsan yüzünü bulma ve konumlandırma işlemi yüz tanıma uygulamaları için çoğunlukla ilk adım olarak uygulanmaktadır. Yüz tanıma uygulamaları ellerinde yeterince kaliteli ve normalize edilmiş yüz resimleri oldukları varsayımı altında çalışmaktadırlar. Bu durum yüz tanıma

uygulamalarının başarımlarının yüz bulma uygulamalarının başarımlarına fazlasıyla bağımlı olduğu gerçeğini ortaya çıkarmaktadır. Bu doğrultuda geçmişte yapılan çalışmalar göz önünde bulundurulduğunda yüz bulma yöntemleri 4 temel grupta incelenmişlerdir:

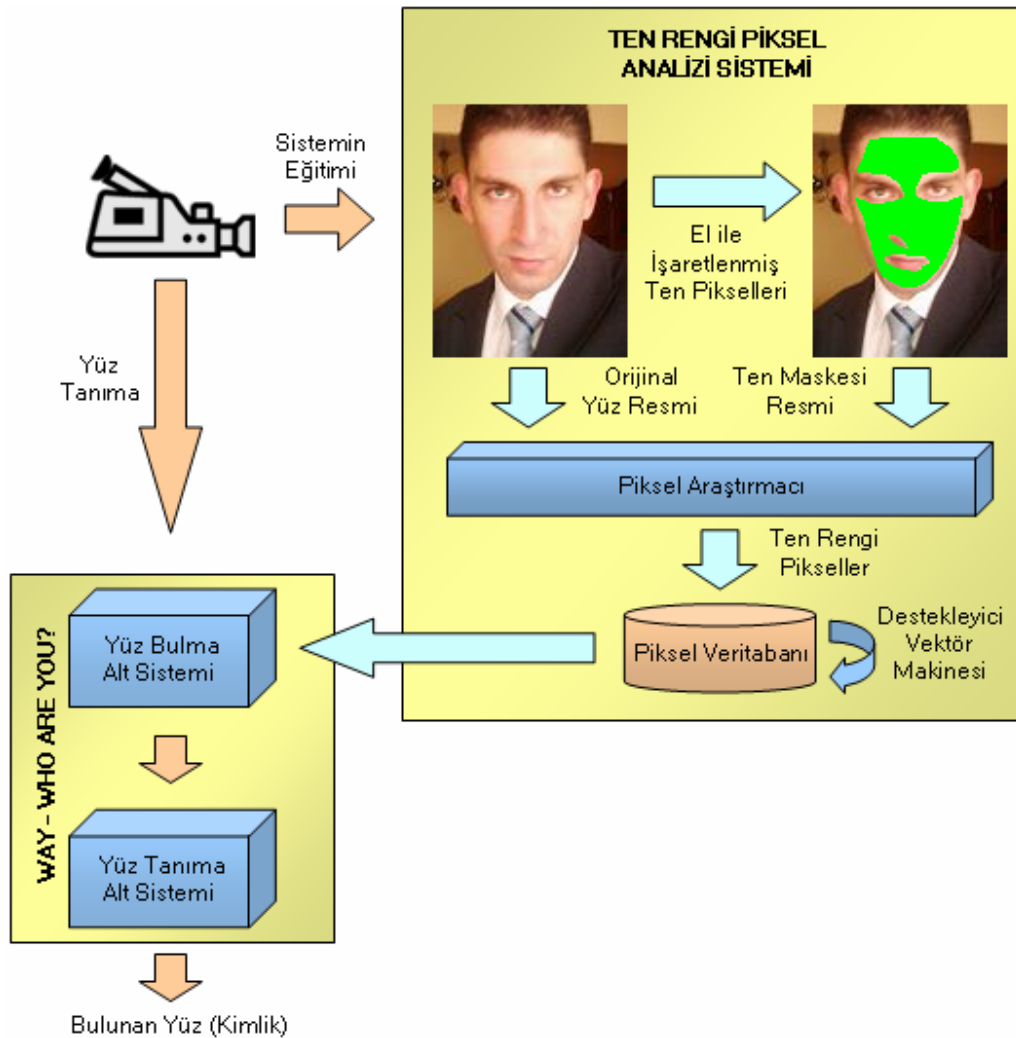
1. **Bilgi tabanlı yüz bulma yöntemleri:** Farklı çözünürlüklerde odaklanma yaklaşımı (Yang ve Huang, 1994), yatay dikey projeksiyonlama yaklaşımı (Kotropoulos ve Pitas, 2004).
2. **Özellik tabanlı yüz bulma yöntemleri:** Raslantısal graf işleme (Leung vd., 1995), özellik gruplama (Yow ve Cipolla, 1996).
3. **Şablon eşleme tabanlı yüz bulma yöntemleri:** Yüze ait baskın özellikleri içeren kenar maskesi kullanılarak verilen test resimleri üzerindeki yüz alanlarının bulunmaya çalışıldığı yöntemlerdir (Vaillant vd., 1994).
4. **Görünüm tabanlı yüz bulma yöntemleri:** Temel bileşen analizi, destek vektör makineleri, yapay sinir ağları gibi yöntemler (Sung ve Poggio, 1998).

Yüz tanıma sürecinin ilk adımı yüz resimlerinden çeşitli özelliklerin çıkarılmasıdır. Bu alandaki çalışmaların ortak özelliği aynı insana ait yüz resimlerinin özellikleri arasında bir benzerlik olması beklenirken, farklı insanların yüz resimlerine ait özelliklerin ise birbirlerinden ayırt edilebilir olmasıdır. Bütün bunlar göz önünde bulundurulduğunda bilgisayar tabanlı yüz tanıma sistemleri temel olarak 3 gruba ayrılmışlardır:

1. **Özellik tabanlı yüz tanıma sistemleri:** Yapısal eşleme (Cox vd., 1996; Manjunath vd., 1992; Gao ve Leung, 2002), elastik demet grafi eşleme (Wiskott vd., 1997; Gonzalez-Jimenez ve Alba-Casto, 2004), gizli markov modeli (Samaria, 1994; Nefian ve Hayes, 1998, 1999, 2000; Kohir ve Desai, 2000; Nefian, 2002; Othman, 2003).
2. **Görünüm tabanlı yüz tanıma sistemleri:** Temel bileşen analizi (Turk ve Pentland, 1999; Draper vd., 2003; Swets ve Weng, 1996; Bellhumeur ve Hespanha, 1999), 3 boyutlu yüz tanıma modelleri (Blanz ve Vetter, 1997, 2003).
3. **Karma yüz tanıma metodları:** İlk iki yöntemin farklı kombinasyonlarından oluşan yöntemleri. Aktif istatistiksel yüz modelleri (Cootes vd., 1995; Chen vd., 2005) ve diğer çeşitli kombinasyonlar.

Bu tez çalışması kapsamında video tabanlı ve gerçek zamanlı bir yüz bulma ve yüz tanıma sistemi geliştirilmiştir. Bu konularda yapılan pekçok bilimsel makale ve tez çalışmasında yüz

bulma ve yüz tanıma konuları birbirlerinden bağımsız olarak incelenmiştir. Çalışmalar çoğunlukla yalnızca yüz bulma konusuna odaklanmış veya mevcut yüz veri bankaları kullanılarak yalnızca yüz tanıma konusuna odaklanmıştır. Bu tez çalışması kapsamında ise hem yüz tanıma hem de yüz bulma alanında bütün, doğru ve uygulanabilir yöntemlerin geliştirilmesi ve tüm bu yöntemlerden yararlanılarak işlevsel, son kullanıcıların kullanımına hazır, yüksek performans ve başarımlarına sahip bir ürünün geliştirilmesi hedeflenmiştir. Geliştirilen ürün WHO (Who are you?) olarak isimlendirilmiştir. Şekil 1.1’de WHO uygulamasının genel fonksiyonel modeli yer almaktadır.



Şekil 1.1 “Who are you?” – Video tabanlı ve gerçek zamanlı yüz bulma ve yüz tanıma sistemi genel modeli

1.1 Yüz Bulma Alt Sistemi

Yüz bulma alt sistemi kapsamında özellikle insan yüzünde yer alan renklere ve yüzün şekline odaklanan özellik tabanlı bir yüz bulma sistemi geliştirilmiştir. Bu sistem resimler üzerindeki yüz alanlarını bulabilmek için, yarım milyon üzerinde yüz pikseli kullanılarak oluşturulmuş istatistiksel bir yüz rengi modeli kullanmaktadır (bkz. Şekil 1.1 – Ten Rengi Piksel Analizi Sistemi).

Toplanan bu yarım milyon piksel, YCbCr renk uzayında ifade edilir. Bir resim üzerindeki yüz rengi olan ve yüz rengi olmayan alanların sınıflandırılması bir ikili sınıflandırma (binary classification) problemi olduğu için, yüz piksellerine destek vektör makinesi (Support Vector Machine - SVM) uygulanması bu problemin çözümü için en uygun yöntemlerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu adım bize daha sonradan tüm olası CbCr kombinasyonlarının yüz rengi veya yüz rengi değil şeklinde sınıflandırılmasını sağlamaktadır. Böylece verilen herhangi bir CbCr değerinin basit bir kontrolle doğrudan yüz rengi veya yüz rengi değil şeklinde sınıflandırılması sağlanmıştır. Sistemin bu özelliği onu diğer benzeri sistemlerden ayırmakta ve yüz alanlarının en düşük bellek alanı ve en yüksek performansla tespit edilmesini sağlamaktadır.

SVM yöntemiyle tespit edilen ten rengi alanda, yüzün merkezinin bulunması amacıyla istatistik tabanlı yüz konumlandırma yöntemi kullanılmaktadır. Çalışma kapsamında yüzün boyutunun hesaplanması amacıyla gerçek zamanlı uygulamalar için oldukça ideal basit bir metod geliştirilmiştir. Bu metod önceden tanımlanmış genişlik ve yükseklik değerlerinin yüz merkezinden itibaren azaltılıp arttırılması ile optimize edilmeleri esasına dayanır.

Yüz bulma işleminin son adımında ise yüz alanının üst bölümünde gözlerin hizasını temsil eden bir yatay çizgi bulunur. Gözlerin yüz alanı üstündeki konum bilgisi kullanılarak, standartlaştırılmış bir göz tabanlı kanonik yüz modeli oluşturulur.

Sonuç olarak önerilen yüz bulma alt sistemi aşağıda belirtilen temel adımlardan oluşmaktadır:

1. Yüz bulma işlemi için sisteme ulaşan video karesinde yer alan önplan bilgisinin arkaplan karesinden ayrıştırılması sağlanır. Arkaplan karesi yüz bulma alt sisteminin çalıştırıldığı ilk anda alınmış ve uygulama belleğine kayıt edilmiştir.
2. Ayrıştırılan önplan bilgisi üzerinde ten alanı tespit edilir.
3. Bir önceki adımda tespit edilen ten alanı üzerinde yüzün konumlandırılması sağlanır.

4. Sonuncu olarak dördüncü adımda yüz alanının üst bölümünde gözlerin hizasını temsil eden bir yatay çizgi bulunur. Gözlerin yüz alanı üstündeki konum bilgisi kullanılarak, standartlaştırılmış bir göz tabanlı kanonik yüz modeli oluşturulur. Bu model genel olarak tüm yüz resimlerinin 32x32 boyutlarda ve gri renk düzeyinde olmaları esasına dayanmaktadır.

1.2 Yüz Tanıma Alt Sistemi

Geliştirilen yüz tanıma sistemi, temel bileşen analizi (principal component analysis) yöntemlerinden biri olan, özyüz uzayı projeksiyonlama ile yüzlere ait özellik kümesini çıkarmaktadır. Kullanılan temel bileşen analizi yöntemi, yüz tanıma problemine iki boyutlu bir tanıma problemi olarak yaklaşmakta ve yüzler arasındaki farklılıkları en iyi ortaya çıkaran yüz uzayının (face space) özvektörlerinin, yani özyüzlerin elde edilerek, diğer yüzlerin bu özyüzlerin kombinasyonu ile ifade edilmesi ilkesine dayanmaktadır. Son olarak, tanıma işlemi sırasında elde edilen eğitim ve test yüzlerinin özellikleri arasındaki benzerlikler destek vektör makinesi yöntemi ile bulunmaktadır.

Özyüzler, eğitim kümesinde yer alan yüzlerin temel bileşenlerini oluşturmaktadır. Tanıma olayı yeni bir yüzün, elde edilen bu özyüzler tarafından gerilen yüz uzayına projeksiyonu ile gerçekleştirilmektedir. Projeksiyon sonucu elde edilen konum, sisteme tanıtılmış yüzlerin bu yüz uzayındaki konumları ile karşılaştırılır. Yeteri kadar yakın olan bireyler varsa, bu durum yeni yüz sisteme daha önceden tanıtılmıştır anlamına gelir. Aksi halde, istenirse bu yeni yüzün, yüz uzayındaki konumu saklanarak sistemin yeni yüzü öğrenmesi sağlanabilir.

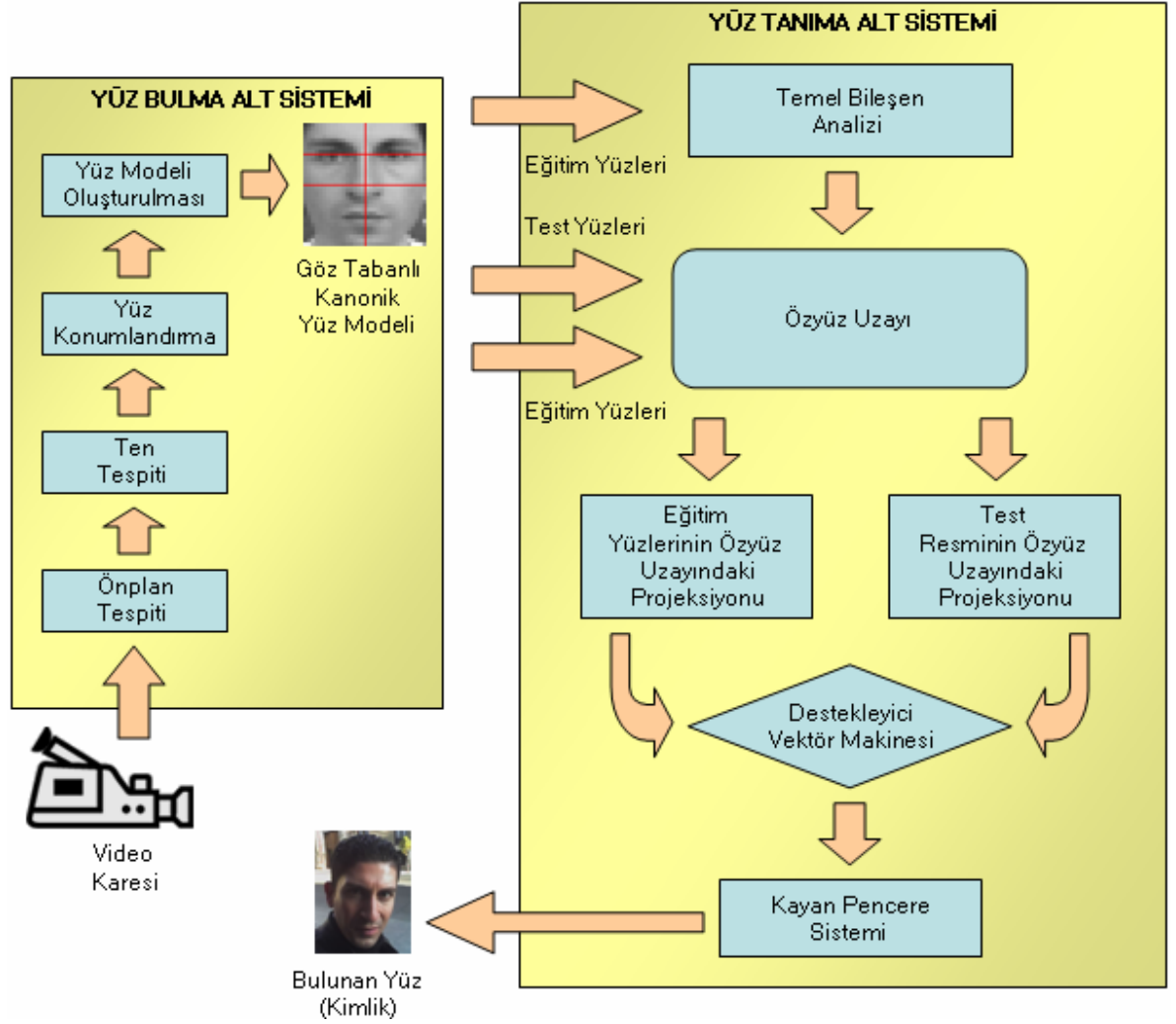
Gerçekleştirilen her bir yüz tanıma işleminin ardından bir sonraki video karesinden elde edilen yüz ile yeniden tanıma işlemi gerçekleştirilir. Sistemin genel başarımını arttırmak için ard arda elde edilen yüz tanıma işlemlerinin sonuçları bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen kayan pencere yaklaşımı ile değerlendirilerek yüz tanıma işleminin tutarlılığının artırılması sağlanır.

Sonuç olarak önerilen yüz tanıma alt sistemi aşağıda belirtilen temel adımlardan oluşmaktadır:

1. Özyüz uzayı projeksiyonlama ile yüzlere ait özellik setinin çıkarılması.
2. Destek vektör makinesi yönteminin ikili eşlemelerle kullanılması ile eğitim ve test yüzlerinin özellikleri arasındaki benzerliklerin bulunması.

3. Kayan pencere yaklaşımı ile ard arda elde edilen yüz tanıma işlemlerinin sonuçlarının değerlendirilerek yüz tanıma işleminin tutarlılığının artırılması.

Şekil 1.2’de geliştirilen yüz bulma ve yüz tanıma sisteminin detaylandırılmış modeli görülmektedir.



Şekil 1.2 “Who are you?” – Video tabanlı ve gerçek zamanlı yüz bulma ve yüz tanıma sistemi detaylandırılmış modeli

Bu tez çalışması kapsamında Bölüm 2’de yüz bulma yöntemlerinin, Bölüm 3’de ise yüz tanıma yöntemlerinin genel tanıtları yer almaktadır. Bununla paralel olarak Bölüm 4’de bu tez

kapsamında geliştirilen yüz bulma alt sistemi, Bölüm 5’de ise tez kapsamında geliştirilen yüz tanıma alt sistemi tanıtılmaktadır.

6. bölümde ise tez kapsamında geliştirilen gerçek zamanlı video tabanlı yüz bulma ve yüz tanıma uygulaması “WAY – Who are you?” detaylı olarak tanıtılmaktadır. Bu bölüm “Who are you?” uygulamasının gerçekleştirme detaylarının tanıtıldığı ve aynı zamanda uygulamanın kullanım kılavuzu olarak değerlendirilebilecek bölümdür.

7. bölümde ise “Who are you?” uygulaması ile elde edilen deneysel sonuçlar, 8. bölümde tez çalışmasının sonuçları ve gelecekteki benzer çalışmalar için öneriler yer almaktadır.

2. YÜZ BULMA YÖNTEMLERİNİN GENEL TANITIMI

İnsan yüzünü bulma işlemi yüz tanıma uygulamaları için çoğunlukla ilk adım olarak uygulanmaktadır. Yüz tanıma uygulamaları ellerinde yeterince kaliteli ve normalize edilmiş yüz resimleri oldukları varsayımı altında çalışmaktadırlar. Bu durum yüz tanıma uygulamalarının başarımlarının yüz bulma uygulamalarının başarımına fazlasıyla bağımlı olduğu gerçeğini ortaya çıkarmaktadır.

Yang (2004) tarafından yapılan çalışmada çeşitli yüz bulma yöntemleri özetlenmiştir. Bilgi tabanlı yüz bulma yöntemleri kodlanmış çeşitli kuralları baz alarak çalışırlar ve yüz özelliklerinin test resimlerinden önışleme adımı olarak çıkarılmasını gerektirirler. Özellik tabanlı yüz bulma yöntemleri ise yüz özelliklerinin poz, yüz/kamera doğrultusu, şekil, kenar, renk çeşitliliği, renk yoğunluğu ve desen gibi çevresel faktörlerden bağımsız olarak elde edilmesine olanak sağlarlar. Şablon eşleme tabanlı yüz bulma metodları yüz bölgelerini ve kenarlarını şablon olarak kullanan, uygulanması oldukça basit yöntemlerdir. Özellik tabanlı yüz bulma yöntemleri ise yüze ait özellikleri çeşitli istatistiksel sınıflandırma ve makine öğrenmesi yöntemleri bulup çıkaran yöntemlerdir.

Bu bölümde yukarıda söz edilen metodlar kısaca tanıtılmakta, birbirlerine göre üstünlükleri ve zayıflıkları karşılaştırmalı olarak anlatılmaktadır.

2.1 Bilgi Tabanlı Yüz Bulma Yöntemleri

Bilgi tabanlı yüz bulma yöntemleri tipik bir insan yüzünü oluşturan kodlanmış insan bilgisini kullanan yöntemlerdir. Genellikle bir yüze ait özellikler arasındaki ilişkiler bir yüzü ifade edecek kodlanmış kurallar olarak düşük detaydan yüksek detaya doğru ifade edilirler.

Tipik bir bilgi tabanlı yüz bulma sürecinde aşağıda belirtilen temel kurallar resimdeki yüzü arama işlemi sırasında uygulanmaktadır:

1. Yüzün merkez bölgesi benzer renk yoğunluğu dağılımı özelliği göstermektedir.
2. Yüzün merkez bölgesindeki ortalama renk yoğunluğu ile diğer bölgelerindeki ortalama renk yoğunluğu arasında önemli farklılıklar bulunmaktadır.
3. Bir yüz test resimlerinde genellikle birbirine simetrik iki göz, bir burun ve bir ağız gözükmektedir.

Bilgi tabanlı yüz bulma yöntemi olarak sınıflandırılabilir iki iyi bilinen ve sık kullanılan yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemler:

1. Farklı Çözünürlüklerde Odaklanma Yaklaşımı
2. Yatay / Dikey Projeksiyonlama Yaklaşımı

2.1.1 Farklı Çözünürlüklerde Odaklanma Yaklaşımı

Farklı çözünürlüklerde odaklanma yaklaşımında, test resminin en düşük çözünürlüğünde yüzün merkez bölgesi, bu bölgenin benzer renk yoğunluğu dağılımı özelliği göstermesinden yararlanılarak bulunur. Ardından tespit edilen yüz merkezine ve çevresine lokal kontrast ayarlama (histogram equalization) işlemi uygulanır. Aynı bölgeye kenar tespiti (edge detection) işlemi uygulandıktan sonra yüz adaylarındaki göz, burun ve ağız gibi yüz organlar aranır (Yang ve Huang, 1994).

Şekil 2.1’den de rahatlıkla görülebileceği gibi, yüz resminin en düşük çözünürlüğünde yüz merkezi benzer renk yoğunluğu dağılımı özelliği göstermektedir.



Şekil 2.1 Farklı çözünürlüklerde odaklanma yaklaşımı
(Yang ve Huang, 1994)

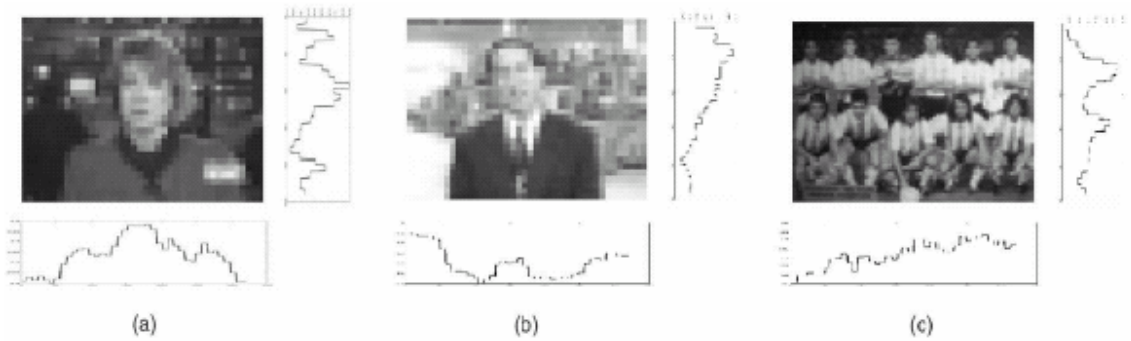
Çizelge 2.1 Lokal kontrast ayarlama ve sonrasında kenar tespiti işlemi
(Yang ve Huang, 1994)



Çizelge 2.1’de düzey düzey uygulanan lokal kontrast ayarlama işleminin ardından tespit edilen yüze ait kenar bilgileri modellenmiştir.

2.1.2 Yatay / Dikey Projeksiyonlama Yaklaşımı

Yatay ve dikey projeksiyonlama yaklaşımında insan yüzleri, elde edilen yatak ve dikey projeksiyon diyagramlarından türetilmeye çalışılır. Yüz adayı olarak bulunan bölgelerde göz, burun, ağız gibi yüze ait özellikler aranarak yüzün doğru olarak bulunduğu teyid edilir (Kotropoulos ve Pitas, 2004).



Şekil 2.2 Yatay / dikey projeksiyonlama
(Kotropoulos ve Pitas, 2004)

Yatay ve dikey projeksiyon profillerindeki tepe noktaları kullanılarak bir test resmi üzerinde yer alan tek bir yüz resminin bulunması çoğu zaman uygulanabilir bir yöntemdir. Ancak bu yaklaşım Şekil 2.2 (b) ve (c) görüldüğü gibi karmaşık arkaplanlarda ve birden fazla yüzün bulunduğu resimlerde başarılı sonuçlar üretmekte zorlanabilir.

Çizelge 2.2 Bilgi tabanlı yüz bulma metodlarının avantajları ve dezavantajları

Üstünlükleri	Zayıflıkları
- Yüze ait özellikleri ve bu özelliklere ait ilişkileri tanımlayacak kurallar bulmak çok kolaydır. - Kodlanmış kurallar baz alınarak, bir test resmi içindeki yüze ait özellikleri çıkarmak ve sonra aday yüzleri onaylamak uygulaması oldukça basit yöntemlerdir. - Karmaşık olmayan arkaplanlarda oldukça başarılı sonuçlar üreten yöntemlerdir.	- İnsan bilgisini kurallara dönüştürmek her zaman kolay olmayabilir. Çok detaylı kurallar kullanıldığında yüzleri bulmak mümkün olmayabilir, daha az detaylı kurallar kullanıldığında ise hatalı pozitif sonuçlar bulunabilir. - Farklı pozlardaki resimler için bu yöntemlerin uygulanması oldukça güçtür.

2.2 Özellik Tabanlı Yüz Bulma Yöntemleri

Özellik tabanlı yüz tanıma metodları kenar, renk çeşitliliği, renk yoğunluğu, desen ve şekil gibi insan yüzüne ait değişmez özellikleri kullanarak yüzü tanımayı amaçlar. Bu metodlar önce test resimlerindeki aday yüzleri bulurlar ardından bunların gerçekten insan yüzü olduklarını ispatlarlar.

Özellik tabanlı yüz bulma metodları olarak sınıflandırılabilen iki ayrı iyi bilinen yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemler şunlardır:

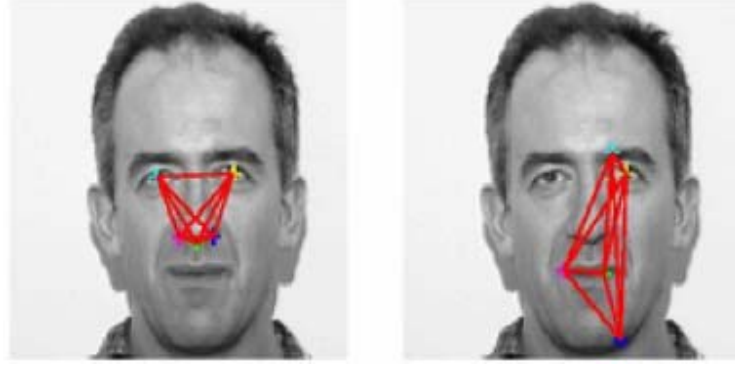
1. Raslantısal Graf Eşleme
2. Özellik Gruplama

2.2.1 Raslantısal Graf Eşleme

Raslantısal graf eşleme yönteminde yüz bulma problemi yüze ait özelliklerin geometrik düzenlemesini bulma problemine dönüştürülmüştür. Yüze ait özellikler genellikle çoklu doğrultulama ve çok ölçekli Gaussian türevi filtelerinin ortama cevaplarından elde edilir.

Bu yaklaşım yüze ait özellikler dizisinin Gaussian dağılımı bilgileriyle beraber öğrenilmesi esasına dayanır. Yüzü arama işlemi sırasında, Gaussian filtrelerinden geçirilmiş test resimlerine

ait yüz özellikleri aranmaktadır. Ardından Şekil 2.3’de örneklenmiş raslantısal graf işleme yöntemi aday yüz alanlarında uygulanarak yüzün bulunması sağlanmış olur (Leung vd., 1995).



Şekil 2.3 Raslantısal graf işleme
(Leung vd., 1995)

2.2.2 Özellik Gruplama

Özellik gruplama yönteminde raslantısal graf eşleme yöntemine benzer olarak Gaussian filtrelerinin 2. türevi kullanılarak aday yüz bölgelerinin taranması işlemi gerçekleştirilir. Ardından her bir özellik ve gruplama Bayesian network’ler içerisinde incelenerek değerlendirilir (Yow vd., 1996).

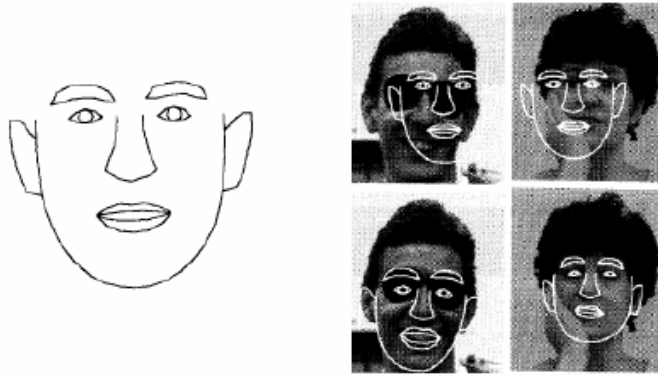
Çizelge 2.3 Özellik tabanlı yüz bulma metodlarının avantajları ve dezavantajları

Üstünlükleri	Zayıflıkları
Yüze ait özellikler poz doğrultuları ve aydınlanma koşullarından bağımsızlardır.	- Aydınlanma ve resimlerdeki diğer benzeri gürültüler, yüzlerdeki özelliklerin bulunmasını zorlaştırır. - Karmaşık arkaplanlar üzerindeki yüzlerin bulunması kolay değildir.

2.3 Şablon Eşleme Tabanlı Yüz Bulma Yöntemleri

Şablon eşleme tabanlı yüz bulma yöntemleri, önceden tanımlanmış yüzlere ait kenar ve alan bilgileri kullanılarak bu şablonlara denk düşen modellerin test resmi üzerinde nerede bulunduğunun araştırılması esasına dayanır.

Yüze ait baskın özellikleri içeren kenar maskesi kullanılarak verilen test resimleri üzerindeki yüz alanları bulunmaya çalışılır (Vaillant vd., 1994). Şekil 3.6'da şablon eşleme tabanlı yüz bulma yöntemlerine ait uygulama örnekleri verilmiştir.



Şekil 2.4 Şablon eşleme yaklaşımı
(Vaillant vd., 1994)

Çizelge 2.4 Şablon eşleme tabanlı yüz bulma metodlarının avantajları ve dezavantajları

Üstünlükleri	Zayıflıkları
Hesaplama açısından oldukça basit yöntemlerdir.	- Şablonlar eğer yüze yakın bölgelerden itibaren test resimleri üzerinde taranmazlarsa yüzün bulunması çok maliyetli olabilir. - Farklı poz doğrultuları için şablon yüzlerin bulunması ve doğru olarak uygulanmaları çok kolay değildir.

2.4 Görünüm Tabanlı Yüz Bulma Yöntemleri

Görünüm tabanlı yüz bulma yöntemlerinde çoğunlukla şekil tanıma, makine öğrenmesi ve veri madenciliği konuları kapsamında geliştirilmiş iyi bilinen sınıflandırma algoritmaları kullanılır.

Tipik bir görünüm tabanlı yüz bulma süreci aşağıdaki temel adımları içermektedir (Sung ve Poggio, 1998):

1. Giriş resimlerine önışleme uygulanarak, bu resimlerin yüz bulma sürecine hazır hale getirilmesi.
2. Öğrenme ve test resimlerinin tekilleştirilmiş bir standarta getirilmesi.
3. Bir sınıflandırma algoritmasının pozitif ve bazen de negatif giriş verileriyle eğitilmesi
4. Yüzleri bulmak için bir arama stratejisinin uygulanması

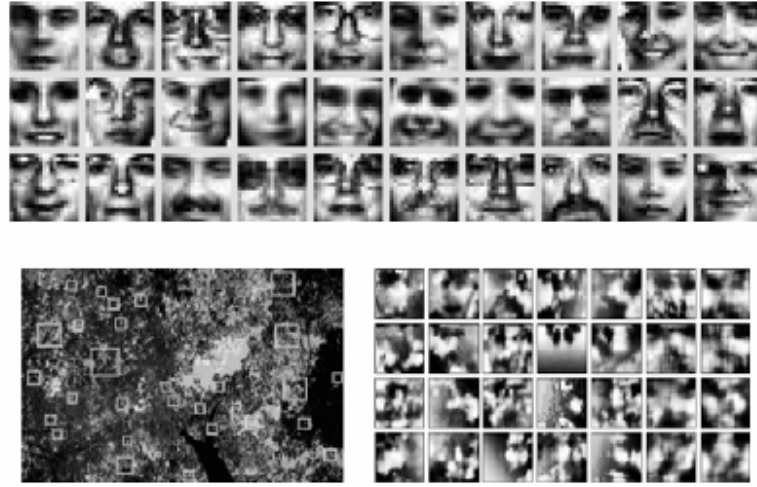
Giriş resimlerindeki önışleme işlemi temel olarak verilen giriş resimlerinin renk çeşitliliği, renk yoğunluğu, arkaplan deseni, kenar, şekil, boyut ve kontrast dağılımı gibi özelliklerinin tekilleştirilmiş bir standarta getirilmesini amaçlar. Bu adım özellikle farklı aydınlanma koşulları, yüz doğrultuları ve arkaplanlarda çalıştırılması amaçlanan yüz bulma uygulamaları için oldukça önemli ve kritik bir adımdır.

Öğrenme ve test resimlerinin tekilleştirilmiş bir standarta getirilmesi sırasında resmin bir bütün olarak veya blok tabanlı olarak işlenmesi yaklaşımı uygulanır. Test resimleri bütün olarak incelenirken, taranmış yüz resimleri renk yoğunluğu vektörleri olarak ifade edilirler. Test resimleri blok tabanlı olarak incelenirken, her bir yüz resmi birbirlerinin üstüne binen veya birbirlerinden bağımsız bloklar olarak ifade edilirler. Bu işlemler farklı boyutlardaki bloklar kullanılarak gerçekleştirilebilir. Vektör ölçeklendirmesi ve özellikle PCA (Principal Component Analysis) tabanlı yöntemlerle daha iyi sonuçlar üretilebilir.



Şekil 2.5 Öğretme ve test resimlerinin sunumu
(Sung ve Poggio, 1998)

Sınıflandırma işlemi öncesinde gerçekleştirilen öğretim sürecinde, otomatik veya elle normalize edilmiş ve standart boyutlara getirilmiş olabildiğince fazla pozitif test resmi kullanılır (Sung ve Poggio, 1998). Ayrıca yapılan bir çok çalışmada herhangi bir yüz resmi içermeyen negatif test resimleri de kullanılmıştır (Vetter vd., 1997).



Şekil 2.6 Pozitif ve negatif giriş öğretme resimleri
(Vetter vd., 1997)

Aşağıda iyi bilinen ve başarılı bazı sınıflandırma algoritmalarının isimleri yer almaktadır:

1. Temel bileşen analizi
2. Destek vektör makinesi
3. Yapay sinir ağları
4. İstatistiksel dağılım tabanlı metodlar
5. Naïve Bayes sınıflandırıcısı
6. Gizli Markov Modeli
7. Seyrak Ağ Analizi (SNOW-Sparse Network of Windows)
8. Kullback ilişkisel bilgilendirme sistemi
9. Tümevarımsal öğrenme
10. Adaboost

Yüz bulma işlemi çoğunlukla verilen test resimlerinin yatay ve dikey doğrultularda taranması ile gerçekleştirilir. Bu algoritmanın başarımlı performansını arttırmak için giriş test resimlerinin genişlikleri ve yükseklikleri azaltılarak alt örnekleme yapılır. Alt örnekleme ve tarama işlemi verilen giriş test resmi olabildiğince küçülene kadar devam edilir.



Şekil 2.7 Alt örnekleme yüz araştırma yöntemi
(Yang, 2004)

Çizelge 2.5 Görünüm tabanlı yüz bulma metodlarının avantajları ve dezavantajları

Üstünlükleri	Zayıflıkları
▪ Başarılı ve güçlü makine öğrenmesi algoritmalarını kullanırlar. ▪ İspatlanmış başarılı sonuçlar üretirler. ▪ Hızlı ve etkin çalışırlar. ▪ Farklı boyutlardaki ve doğrultulardaki yüz resimleri için de başarıyla çalışırlar.	▪ Genellikle resim üstünde tarama işlemi gerektirirler. ▪ Sınıflandırma algoritmalarını eğitmek için birçok pozitif ve negatif örnek gerektirirler.

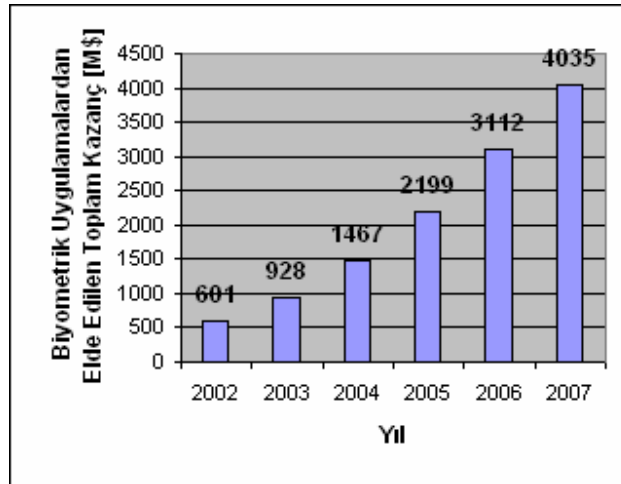
3. YÜZ TANIMA YÖNTEMLERİNİN GENEL TANITIMI

Yüz tanıma yöntemleri geçtiğimiz yıllarda bilimsel araştırma grupları ve piyasa tarafından oldukça geniş bir ilgi görmüş ve halen gerçek uygulamalarının geliştirilmesi oldukça zorlayıcı bir branş olarak görülmektedir. Ayrıca makine öğrenmesi ve bilgisayarda grafik işleme toplulukları da yüz tanıma çalışmalarına dahil olmuşlardır. Farklı branşlarda uzmanlaşmış bu araştırmacıların ortak ilgisi yüz tanıma problemlerinin çözümünün gündelik ve sanal hayata kazandıracağı artı değerın yadsınamayacak bir öneme sahip olmasından kaynaklanmaktadır.

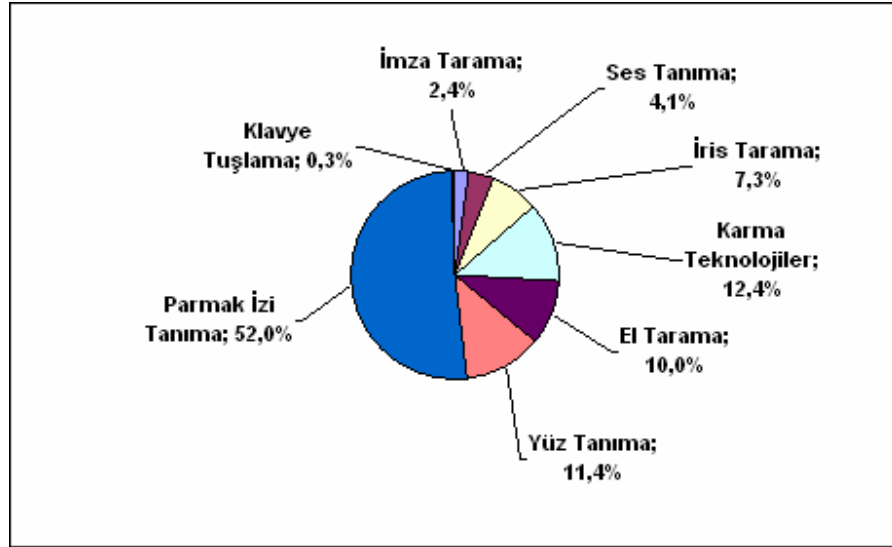
Bununla beraber çok sayıda ticari, güvenlik ve adli amaçlı uygulamada yüz tanıma teknolojilerinin kullanılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Kalabalık gözetim otomasyonları, giriş kontrol sistemleri, yüz bilgilerinin yeniden oluşturulması, insan bilgisayar arayüzü uygulamaları, multimedya haberleşmesi (yapay yüzlerin oluşturulması) ve içerik tabanlı yüz veritabanlarının yönetimi gibi birçok uygulamada gelişmiş yüz tanıma teknolojilerinin kullanılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bugüne kadar Cognitec, Eyematic, Viisage ve Identix gibi çeşitli ticari yüz tanıma ürünleri piyasada yerlerini almışlardır.

Yüz tanıma uygulamaları sektöründe 2002 yılında dünya ölçeğindeki 601 milyon dolarlık kazancın 2007 yılında 4 milyar dolara ulaşması beklenmektedir (bkz. Çizelge 3.1) (Uluslararası Biyometri Grubu). Geniş ölçekli biyometrik uygulamaların halka açık ortamlarda uygulanmaya başlaması ve biyometrik uygulamalarda kabul gören standartlar bu ilerlemenin başlıca nedenleri olarak gösterilmektedir. Çizelge 3.2’de yüz tanıma sistemlerinin, diğer biyometri tabanlı kimlik doğrulama yöntemleriyle karşılaştırmalı pazar payları görülebilir.

Çizelge 3.1 Yüz tanıma pazarı – Biyometrik sistemlerden toplam kazanç [2002 – 2007 / M\$]



Çizelge 3.2 Kimlik tanıma pazarı – Kullanılan teknolojiye göre market yüzdeleri (Uluslararası Biyometri Grubu)



Yüz tanıma senaryoları iki grupta sınıflandırılabilir:

1. Yüz Onaylama (Kimlik Doğrulama)
2. Yüz Tanıma (Kimlik Bulma)

Yüz Onaylama (Kimlik Doğrulama – “Olduğumu iddaa ettiğim kişi miyim?”) işlemi sırasında kimliği onaylanmak istenen yüz ile kişiye ait yüz veritabanındaki yüz arasında eşleşme olup olmadığı incelenir. Yüz onaylama başarımının optimum düzeye getirilmesi için onaylama oranı (gerçekten yetkilendirilmiş kullanıcının olduğunu iddaa ettiği kişi ile eşleşmesi) ile hatalı kabul oranı (yetkilendirilmemiş bir kullanıcının olduğunu iddaa ettiği kişi ile eşleşmesi) arasındaki dengenin ayarlanması gerekmektedir.

Yüz Tanıma (Kimlik Bulma - “Ben kimim?”) işlemi ise tanınmak istenen yüzün veritabanındaki tüm yüzlerle hangi oranlarda eşleştiğinin hesaplanması esasına dayanır. Tanıma işlemi ise sorgulanan resmin veritabanındaki hangi yüze ait resimle daha çok eşleştiğinin bulunması ile sağlanır. Yüz tanıma süreci bu şekilde yakınlık hesaplama problemine dönüştürülmüş olmaktadır. Sorgulanan resme ait normalize edilmiş özellik seti ile yüz veritabanında yer alan diğer yüzlerle ait özellik setleri karşılaştırılarak her bir karşılaştırma işlemine ait yakınlık değerleri hesaplanır. Ardından tüm hesaplanan yakınlık değerleri büyükten küçüğe doğru sıralanır. Sıralama listesinin en üstünde yer alan yüz, yüz tanıma işleminin sonucunda bulunan yüz olmaktadır.

Yüz tanıma uygulamalarının kalitesi yüz tanıma veritabanının oluşturulması ve yüz tanıma işlemleri sırasında elde edilen yüz pozlarının kalitesi ile doğrudan orantılıdır. Yüz tanıma uygulamalarının başarımında aşağıda belirtilen koşullar ve sınırlamalar önemli rol oynamaktadır:

1. Yüz veritabanlarının sıklıkla güncellenmesi

Gerçek yüz veritabanlarında sıklıkla yapılan güncellemeler yeni eklenen veya silinen yüzler, tüm bu yüzlere ait normalize edilmiş özellik setinin sıklıkla güncellenmesini veya yeniden hesaplanmasını zorunlu kılmaktadır.

2. Çevresel faktörlerin kontrol güçlükleri

Aydınlanma koşulları, yüz poz açısı ve yüz ifadesi gibi çevresel koşullar her yüz tanıma ortamında rahatlıkla kontrol edilememektedir. Bu durum yüz tanıma işlemlerinde kullanılan resimlerin çevresel faktörlerden sıklıkla etkilenmesi problemine yol açmaktadır.

3. Ön cepheden alınan yüz pozlarının kullanılması

İnsanlar bir kapıdan girdiklerinde, genellikle yüzlerinin ön cepheleri doğrudan doğruya görülebilir. Bu durum çeşitli durumlarda yüz tanıma uygulamaları için ön cepheden alınmış yüz pozlarının kullanılmasına olanak sağlamaktadır.

4. Ard arda çekilen yüz pozlarının kullanılması

Bir kameradan ard arda çekilen yüz pozlarının kullanılması yüz tanıma işlemleri sırasında en kaliteli yüz resimlerinin kullanılmasına olanak sağlamaktadır.

Çevresel etkenlerin yeterince rahat kontrol edilemediği bir ortamda güçlü bir yüz tanıma yöntemi şu şekilde formülize edilebilir: Yüz tanıma hizmetinden yararlanan bir grup insana ait yüz fotoğrafları yüz tanıma veritabanınca yönetilir. Tanıma işlemi sırasında kişilerin yüzleri veritabanında yer alan yüzlerden biri ile eşleştirilir. Eğer eşleştirme başarılı bir şekilde sonlandırılmıyorsa, bu kişinin yüzü yüz tanıma veritabanına yeni bir yüz olarak kaydedilir. Bu durum göz anına alındığında yüz tanıma literatüründe aşağıda belirtilen problemlere ait çözümler aranmaya başlanmıştır:

1. Yüz veritabanından yüz incelemesi

Bir yüzün yüz tabanındaki resimlerden biri ile eşleşip eşleşmediği kontrol edilir. Eğer yüz, yüz veritabanındaki yüzlerden biri ile eşleşirse kabul edilir. Aksi durumda red edilir. Bu

yöntemler bazı yüzlerin red edilmesi yeteneğini de gerektirdiği için, normal bir yüz tanıma yöntemine göre daha güç yöntemler olarak bilinirler (Li ve Wechsler, 2004).

2. Kalabalıkta yüz tanıma

Kalabalık içindeki pek çok yüzün eş zamanlı olarak tanımlanması yöntemidir. Bu yöntemde yüzler ancak kısmi olarak ve farklı açılarda görülebildikleri için ön cepheden yüz tanımaya kıyasla daha güç yüz tanıma yöntemleri olarak bilinirler (Gutta ve Wechsler, 2004).

Bu güçlüklerin üstesinden gelmek ve yüz tanıma sürecinin kalitesini arttırmak için aşağıda belirtilen önileme adımlarından bir veya birkaçı uygulanmaktadır:

1. Göz merkezlerinin yüz resimlerinde aynı standart noktaya alınabilmesi için, yüz resimlerinin yeniden boyutlandırılması, döndürülmesi ve çeşitli dönüşümlere tabi tutulması.
2. Arkaplan ve saç bilgisinin yüz resimlerinden kaldırılması için çeşitli standard maskelerin uygulanması
3. Maskelenmiş yüz piksellerine kontrast dengeleme (histogram eşleme) işlemi uygulanarak dengeli bir renk dağılımının elde edilmesi
4. Yüz bilgisinin sıfır ortalama ve birim standart sapmaya sahip olacak şekilde normalize edilmesi

Yüz tanıma işlemi çoğunlukla en yakın komşuluğun bulunması işlemidir. Bu yaklaşımda, yüzlerin benzerliği iki yüz resminin veya bu resimlere ait özellik setlerinin arasındaki mesafenin hesaplanması ile bulunur. Bu mesafenin olabildiğince düşük olması aynı zamanda yüz tanıma işleminin sonucuna duyulan güvenilirliği de arttıracaktır. Ayrıca belirlenen bir eşik değerinin üzerinde kalan benzerlik oranı neticesinde bir test resminin sistem tarafından tanınlayan bir yüz olarak görülmesi de sağlanabilir. Li ve Wechsler (2004) yüz veritabanlarında yüz incelemesi probleminin çözümünde bu eşik değerinin belirlenmesi ve yüz tanıma başarımının optimize edilmesi için bir algoritma önermişlerdir.

En yakın komşuluk yönteminin alternatifi ise Bayesian yakınlığı (Moghaddam ve Pentland, 2000) yönteminin kullanılmasıdır. Pratikte Bayesian yönteminin uygulanmasındaki en temel güçlük, sınırlı sayıdaki öğretici resimden çok boyutlu düzlemlerde olasılık dağılımının hesaplanmasıdır. Bu durumdan kaçınmak için Moghaddam (2000) resim farklılıkları üzerinde

Bayesian analizi yaparak çoklu sınıf problemini, ikili sınıf problemine dönüştürerek problemin çözümünü daha basit hale indirgemıştır. Birbirinden bağımsız iki ayrı sınıf tanımlanır: Ω_I , bir bireye ait birden fazla resim arasındaki farklılıklar ve Ω_E , bir bireyin diğer bireylerin resimlerinden farklılığı. İki sınıfın da Gaussian dağılımına uygun olduğu varsayılarak $P(\Delta|\Omega_I)$ ve $P(\Delta|\Omega_E)$ olasılık fonksiyonları resimler arasındaki öngörülen renk yoğunluğu farklılığı $\Delta = I_1 - I_2$ baz alınarak hesaplanır. Bu olasılık fonksiyonları ve Maximum Posteriori kuralları kullanılarak $P(\Delta|\Omega_I) > P(\Delta|\Omega_E)$ koşulu sağlandığında verilen iki yüz resminin aynı kişiye ait oldukları anlaşılmış olmaktadır.

Bu bölümde gri renk seviyesindeki resimler üzerinde yüz tanıma yöntemleri tanıtılmıştır (Gong vd., 2000; Zhao vd., 2003; Kong vd., 2005). Renkli resimlerden yüz tanıma yöntemleri özellikle aydınlanma koşullarına bağımlı oldukları için çoğunlukla geleneksel anlamdaki yüz tanıma yöntemlerinden daha farklı yöntemler gerektirmektedirler.

Geçtiğimiz yıllarda pek çok yüz tanıma algoritması ve bunların türevleri geliştirilmiştir. Zhao, Chellappa, Phillips ve Rosenfeld'e (2003) göre bu algoritmalar temel olarak özellik tabanlı, görünüm tabanlı ve karma metodlar olarak sınıflandırılabilir:

1. Özellik tabanlı metodlar

Bu metodlarda genellikle ilk aşamada gözün, burnun ve ağzın yeri saptanır, ardından bu organların birbirlerine göre geometrik konumlarından ve/veya şekillerinden yüzü sınıflandıran yapısal veriler elde edilir.

2. Görünüm tabanlı metodlar

Bu metodlarda yüz bilgisinin tamamı kullanılarak yüzü sınıflandıracak ham veri elde edilmeye çalışılır.

3. Karma metodlar

En iyi sonuçların elde edilmesi için özellik tabanlı ve görünüm tabanlı metodların eş zamanlı olarak uygulandıkları yöntemlerdir.

Bundan sonra yer alan 3 alt başlıkta özellik tabanlı, görünüm tabanlı ve karma metodlar hakkında genel tanıtım bilgileri yer almaktadır.

3.1 Özellik Tabanlı Yüz Tanıma Yöntemleri

Özellik tabanlı metodlar temel olarak 3 farklı grupta incelenebilirler:

1. Yapısal Eşleme
2. Elastik Demet Grafi Eşleme
3. Gizli Markov Modeli

3.1.1 Yapısal Eşleme

Bu metodlar göz, kaş, burun ve ağız gibi yüzdeki organların yüz üzerindeki konumlarının tesbit edilmesi esasına dayanır (Cox vd., 1996; Manjunath vd., 1992). Bu organların birbirlerine göre konumları, özellikleri, aralarındaki açılar ve mesafeler yüzlerin tanıma işlemi sırasında kullanılacak belirleyici özellikleridir. Ancak bu algoritmaların başarımları yüzdeki özellik setlerinin tespit edilme kalitesiyle doğrudan orantılıdır.

Diğer bir yaklaşım da şablon eşleme ve geometrik özellik seti eşleme yöntemleriyle yüzdeki bu özelliklerin çizgisel kenar haritası (LEM - Line Edge Map) olarak türetilmesidir (Gao ve Leung, 2002). Bu yöntemde genellikle Sobel kenar analizi algoritması kullanılarak yüzlerin ikili kenar haritaları oluşturulur. Yüz resimleri arasındaki benzerlikler yüz özellik şemaları kullanılarak bulunmaktadır. Şekil 3.1’de çizgisel kenar haritası örneği görülebilir.



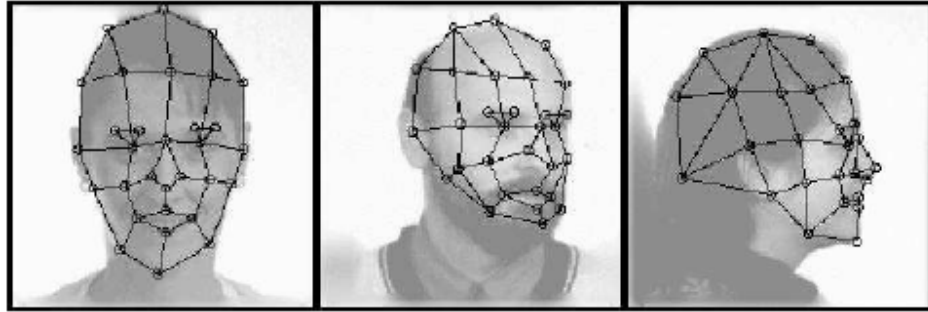
Şekil 3.1 Çizgisel kenar haritası (LEM - Line edge map)
(Gao ve Leung, 2002)

3.1.2 Elastik Demet Grafi Eşleme

Elastik demet grafi eşleme yönteminde (EBGM - Elastic Bunch Graph Matching) (Wiskott vd., 1997) genişçe bir dikdörtgenler ızgarası insan yüzüne örtülerek yüz üzerindeki kritik noktaların işaretlenmesi sağlanır. İki boyutlu Gabor dalgacıklarının konvolüsyon setinin dikdörtgenler ızgarası üzerindeki her noktada hesaplanmasıyla, yüz üzerinde işaretlenen kritik noktaları ifade eden özellik vektörü elde edilmiş olmaktadır. Ardından graf eşleme yöntemlerinden biri kullanılarak graf şablonlarının karşılaştırılması yapılır.

Elastik demet grafi eşleme yönteminde en önemli adımlardan biri, yüz üzerindeki kritik noktaların dikdörtgenler ızgarası üzerine tam ve doğru olarak bulunmasıdır. Gonzales-Jimenez ve Albo-Castro (2004) yüzde görülen aydınlanma değişimlerini kontrol altından tutabilmek için yüzdeki çıkıntıları ve çukurlukları bulan bir algoritma geliştirmiştir. Bu algoritma yürütüldükten sonra yüzdeki kritik noktaların çoğunlukla yüzdeki çıkıntılara karşılık geldiği görülmektedir.

Bu yöntemler genellikle yüksek performansla çalışan yöntemlerdir. Ancak çoğunlukla 128x128 gibi büyük boyutlarda yüz resimlerine ihtiyaç duyarlar. Bu durum bu metotların ancak yeterince büyük resimlerle çalışmasına neden olmaktadır. Şekil 3.2’de elastik demet grafi örneği görülebilir.



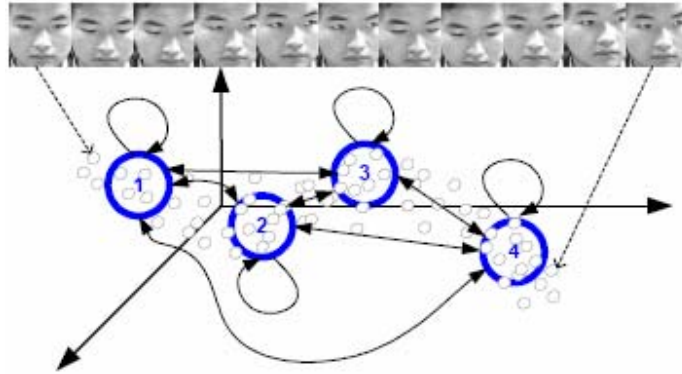
Şekil 3.2 Elastik demet grafi eşleme yöntemi – İşaretlenmiş noktalar
(Gonzales-Jimenez ve Albo-Castro, 2004)

3.1.3 Gizli Markov Modeli

Gizli Markov Modeli (HMM - Hidden Markov Model) kullanılarak yapılan ilk yüz modelleme çalışmalarında yukarıdan-aşağıya bir boyutlu dikey HMM süper durum (superstate) yapıları kullanılmıştır (Samaria, 1994). Her süper durum soldan-sağa bir boyutlu yatay bir Markov zinciri

içermektedir. Benzer bir tek boyutlu HMM (Nefian ve Hayes, 1998) modeli ise özellik vektörüne ayırık kosinüs çevrimi uygulanması ile elde edilebilir. Diğer bir çalışmada ise yüz resimleri zigzaglar çizerek taranır ve tek boyutlu özellik vektörü elde edilmiştir (Nefian ve Hayes, 1999). Gömülü HMM'lerde ise yüz resimleri iki boyutlu olarak taranırlar ve her bir özellik seti bloğu satır ve sütun bazında bir indise sahip olmaktadır (Nefian ve Hayes, 1999, 2000).

Gömülü Bayesian ağlarında genelleştirilmiş bir gömülü HMM iskeleti kullanılarak karmaşıklık önemli ölçüde azaltılır (Nefian, 2002). Geçtiğimiz dönemlerde iki boyutlu daha az karmaşık bir HMM yapısı kullanılarak özellik vektörleri arasındaki koşullu bağımsızlıklardan yararlanılarak üç boyutlu durum geçiş matrislerinin iki boyutlu dikey ve yatay durum geçiş matrislerine dönüştürülmesi sağlanmıştır (Othman, 2003). Şekil 3.3'de üç boyutlu bir durum geçiş uzayı örneği yer almaktadır.



Şekil 3.3 Seri haldeki yüz resimlerinin modellendiği gizli markov modeli

3.2 Görünüm Tabanlı Yüz Tanıma Yöntemleri

Görünüm tabanlı metodlar temel olarak 2 farklı grupta incelenebilirler:

1. Temel bileşen analizi
2. Üç boyutlu yüz tanıma modelleri
3. Karma Yöntemler

3.2.1 Temel Bileşen Analizi (Özyüzler Yöntemi ile Yüz Tanıma)

n adet sütun ve m adet satırdan oluşan bir yüz resmi $n \times m$ boyutunda bir vektörle ifade edilebilir. Yüz uzayı ise tüm yüzlere ait ortak bilginin altkümesi olarak ifade edilebilir. Oldukça geniş bir kullanım alanı bulan özyüzler yöntemi ile yüz tanıma (PCA – Principal Component Analysis) metodunda ortogonal özvektörler kullanılarak yüz uzayı daha düşük boyutlu bir uzaya dönüştürülür. Bir özyüz ise öğretici resim setinin kovaryans matrisinin özvektörlerinin hesaplanması ile bulunur. Özyüzleri yöntemi ile yüz tanıma sürecinde en büyük özdeğerlere karşılık gelen özvektörler seçilirler ve bu özvektörler öğretici data setindeki temel değişimlere karşılık gelirler. Renk yoğunluğu normalizasyonları uygulandıktan sonra, PCA yöntemiyle yüzlerin düşük boyutlu doğrusal ifadeleri oluşturulmuş olur (Turk ve Pentland, 1999). Tanımlanan bir grup özyüz için, yüz veritabanındaki her bir yüz bir ağırlıklar vektörü olarak ifade edilebilir. Bu ağırlıklar bir yüz resminin matris içler çarpımı yöntemiyle özvektörler üzerindeki projeksiyonu alınarak elde edilirler. Benzer şekilde test işlemi sırasında da kimliği bulunmak istenen yüz resminin ağırlıklar vektörü oluşturulur. Test resmi için kimlik belirleme işlemi, test vektörüne ait ağırlık vektörünün yüz veritabanındaki ağırlık vektörleri arasında en yakın olduğu ağırlık vektörünün çeşitli olasılık yöntemleri (Moghaddam ve Pentland, 2000) kullanılarak bulunmasıyla tamamlanır.

Temel bileşen analizi yönteminin bazı avantajları şunlardır:

1. Gürültüye karşı düşük hassasiyet
2. Bellek ve kapasite ihtiyaçlarını azaltması
3. Az boyutlu uzaylarda çok daha etkin indekslemelerin yapılmasına olanak vermesi

Ancak temel bileşen analizi yöntemleri, yüz resimlerinin tam ve düzgün olarak elde edilmesine, sabit aydınlanma koşullarına bağımlıdır. Eğer bu koşullara uyulmazsa, ilk özvektörler yüz pozları ve aydınlanma koşullarındaki farklılıkları yansıtacaklardır. Bu nedenle PCA tabanlı metodlar aydınlanma ve poz gibi çeşitli önkoşullarla sınırlandırılmamış ortamlar için uygun değildir.

Bağımsız bileşen analizi yöntemi (ICA – Independent Component Analysis) istatistiksel olarak bağımsız, yüz uzayının çeşitli alanları için yerleşmiş özvektörler oluşturulur. Çizelge 3.3’de bağımsız bileşen analizi ve temel bileşen analizi arasındaki farklılıklar gösterilmiştir.

Bağımsız bileşen analizi yöntemi kaynakları ayrıştırma problemiyle ilişkili olup, gözlemlenen bir sinyali, doğrusal, birbirlerinden bağımsız ve bilinmeyen sinyallerin kombinasyonları olarak

tanımlamak için kullanılırlar. Tüm bağımsız bileşen analizi algoritmaları iteratif yaklaşımlar kullanarak bağımsızlığı olabildiğince arttırmaya çalışırlar (Draper vd., 2003).

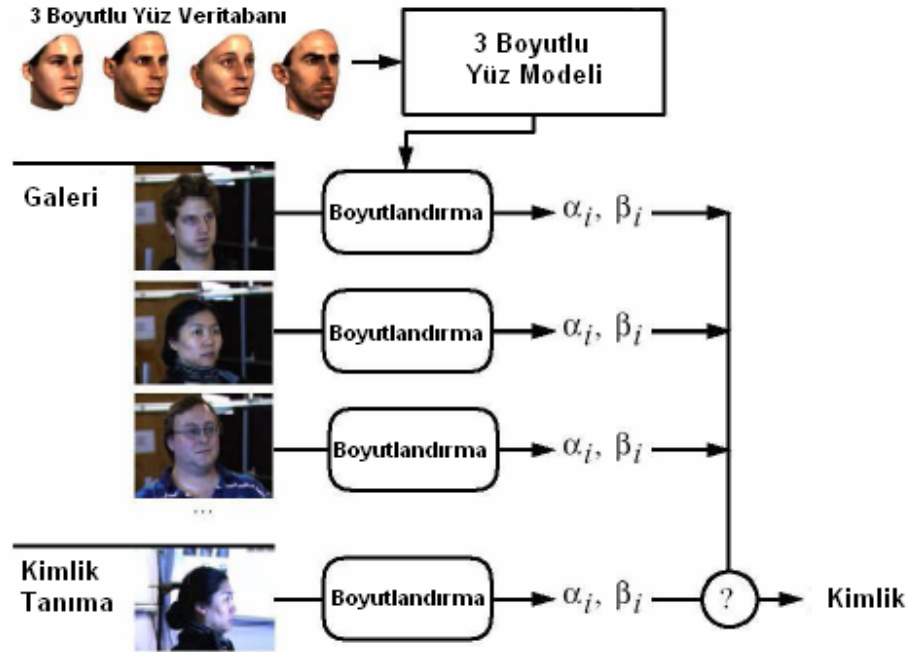


Çizelge 3.3 PCA ve ICA için 2 boyutlu örnek veri dağılımı

PCA ve ICA algoritmaların yüz tanıma performanslarının karşılaştırılması kolay değildir. Bunun öncelikle nedeni iki yöntemin temel mimarisinin, gerçekleştirdikleri adımların birbirlerinden farklı olmaları ve uzaklık metriklerinin de karşılaştırma sonuçlarına dahil edilmesinin gerekliliğidir. Ancak yapılan deneysel çalışmalarda özellikle üst üste binen özellik vektörlerine gerek duyulduğu durumlarda ICA'nın yüksek bir performans gösterdiğini ortaya çıkarmıştır.

Daha da başarılı tanıma sonuçları elde etmek için ışık kaynağı ve yüz ifadesi gibi koşullardan Fisher bağımsız doğrusal farklılık analizi (LDA – Linear Discriminant Analysis) yöntemi kullanılabilir. Bir kişinin farklı pozlarına ait bir grup yüz resmi verildiğinde LDA yönteminin asıl hedefi bu resimlere ait çok boyutluluğu olabildiğince azaltmak ve bunu yaparken farklı kişilere ait resimler arasındaki mesafeyi olabildiğince yüksek tutmaktır (Swets ve Weng, 1996; Bellhumeur ve Hespanha, 1999). LDA yöntemi, özvektör analizi, matris çarpımı ve matris tersini alma işlemlerini gerektirmektedir. Elde edilen özvektörler fisher yüzleri olarak adlandırılırlar. LDA, PCA ve ICA'nın tersine sınıf etiketlemelerine dayanan bir eşzamanlı öğrenme (supervised learning) tekniğidir. LDA ve PCA algoritmalarının ortak bir karakteristiği ise her iki yönteminde uzaysal olarak bağımsız özellik vektörler oluşturmayı hedeflemeleridir. Bir diğer deyişle, PCA ve LDA tarafından üretilen temel özellik vektörleri içlerinde olabildiğince

az sayıda sıfır içerirler. Böylece verilen bir test resminde görülebilen en ufak bir piksel farklılığında bütün altuzay projeksiyonunun etkilemesi sağlanır.



Şekil 3.4 Üç boyutlu yüz tanıma modeli
(Blanz ve Vetter 2003)

3.2.2 Üç Boyutlu Yüz Tanıma Modeli (3D Morphable Model)

Gerçekte insan yüzü üç boyutlu düzlemde yer alan bir yüzeydir. Bu nedenle özellikle aydınlanma, poz ve yüzdeki değişim koşulları göz önünde bulundurulduğunda prensipte üç boyutlu yüz modellerinin insan yüzünü daha iyi ifade etmesi beklenir. Bu bölümde Blanz ve Vetter (1997, 2003) tarafından öne sürülen üç boyutlu yüz tanıma modeli tanıtılmıştır.

Yüz şeklini ve model parametrelerini içeren üç boyutlu yüz modeli genel olarak yüzün şeklini ve desenini baz almaktadır ve bu model her yeni tanıma işleminde tek bir yüz resmi ile iyileştirilebilir. Yüz tanıma işlemi sırasında yüze ait şekil ve desen parametreleri göz önünde bulundurulurken resimlere ait poz ve aydınlanma parametreleri tanıma işleminin dışında tutulmuş olur. Poz ve aydınlanmadan kaynaklanan aşırı değişimlerin yüz tanıma sürecine etkileri ancak bu ve benzeri yaklaşımlarla üretilen yüz modelleri ile azaltılabilir.

Uygulanan genel yaklaşım yüz resimlerini model parametreleri ile ifade etmektir. Tanıma işlemini test resimlerinin oluşturulduğu ortam koşullarından bağımsız hale getirebilmek için yüze

ait model parametreleri ile ortam koşullarından kaynaklanan model parametreleri birbirlerinden ayırt edebilmek gerekir. Bu işlem ise ancak iki boyutta yer alan resimlerin üç boyutlu bilgisayar grafiği teknolojisi ile yeniden üretilmeleri ile sağlanabilir. Şekil 3.4'de bu modelin fonksiyonel akış şeması görülebilir.

3.3 Karma Yüz Tanıma Yöntemleri

Karma metodlar özellik tabanlı yüz tanıma metodları ile görünüm tabanlı yüz tanıma metodlarının karma olarak kullanılmalarıyla daha başarılı yüz tanıma sonuçları elde etmeyi hedeflerler.

3.3.1 Aktif İstatistiksel Yüz Modelleri

Cootes (Cootes vd., 1995) tarafından öne sürülen aktif şekil modelleri aşağıda belirtilen istatistiksel şekil modellerini birleştirirler:

1. Nokta dağılım modeli (PDM - Point Distribution Model) bir objenin şeklini ve şeklindeki değişimleri nokta topluluğu olarak belirler.
2. Yerel gri düzeyi modeli (LGL - Local Gray-Level) noktadaki değişimleri gri düzeyindeki değişimler olarak belirler.

Bir PDM bir yüz şeklini n adet işaretlenmiş noktadan oluşan bir $x = (x_1, y_1, \dots, x_n)$ vektörü olarak ifade edebilir. Yüz şekilleri arasındaki değişimler M adet örnek yüz resminin, ortalama yüz resminden sapmalarına uygulanan PCA ile bulunabilir. PCA ayrıca PDM aracılığı ile bulunan her noktada hesaplanan LGL değerlerine de uygulanabilir. Her bir nokta için oluşturulan LGL ve PDM modelleri beraberce bir aktif şekil modeli (ASM – Active Shape Model) oluştururlar. Bir yüz resmi için ASM oluşturulurken daha önceden oluşturulmuş tüm PDM ve LGL değerlerinin iteratif olarak örtüştürülmesi sağlanır.

Aktif görünüm modelleri (AAM – Active Appearance Models) de bir yüz şeklini n adet işaretlenmiş noktadan oluşan bir $x = (x_1, y_1, \dots, x_n)$ vektörü olarak ifade ederler. ASM yöntemine benzer şekilde yüz şekillerinin ve şekillerdeki değişimlerin nokta dağılım modelini oluştururlar. Ancak ASM yönteminden farklı olarak LGL yerine her bir noktadaki desenleri

gözlemleyen desen değişim modeli (TVM – Texture Variation Model) kullanılır. Hem PDM hem de TVM, PCA yöntemiyle yeniden şekillendirilirler.

Bazı çalışmalarda AAM, resim desenleriyle sağladığı başarılı eşleşmelerden ötürü başarılı sonuçlar üretmiştir. Ancak yüz resmi ile arkaplandaki değişimler yeterince belirgin değilse, özellik noktalarını belirlemek halen zorlayıcı bir süreçtir. Bununla beraber AAM yönteminde hem öğretim hem de tanıma sürece oldukça karmaşık ve uzun olduğu için bu yöntemler gerçek zamanlı kullanımlar için ideal yöntemler değillerdir.

3.3.2 Diğer Karma Yöntemler

(Chen vd., 2005) yüz resmi sınıflarını modellemek için gizli markov modelini kullanmış ve ardından gizli markov modelinde tahmin edilen her bir parametreye kısmi türev analizi yapabilmek için Fisher özdeğerlerini hesaplamıştır. Ardından Fisher özdeğerleri klasik logaritmik olasılıklar ve görünüm tabanlı özellik setleri ile birleştirilmiştir. Sonuçta elde edilen özellik vektörleri bir yüz modelinde bulunması gereken tüm yerel özellikleri taşıyabilmektedir. Ardından bu özellik vektörlerini yüz tanıma işleminde kullanabilmek için LDA yöntemi uygulanır.

Bu yöntem tek başına HMM'in kullanılmasına veya yalnızca görünüm tabanlı özellik (Fisher) özvektörlerinin kullanılmasına kıyasla daha başarılı sonuçlar üretmiştir.

Çizelge 3.4 Görünüm tabanlı ve özellik tabanlı yüz tanıma metodlarının avantajları ve dezavantajları

	Görünüm Tabanlı Metodlar	Özellik Tabanlı Metodlar
Üstünlükleri	Yüz tanıma problemi çok sayıda iyi bilinen ve başarılı istatistik algoritması ile çözülebilen yüz uzayı analiz problemine dönüştürülür. Düşük çözünürlük ve kalitedeki yüz resimleri ile bile çalışabilen yöntemlerdir.	Modeller gerçek yüzlerin fiziksel özelliklerini ve ilişkilerini içerirler. Yüz resimlerindeki bozucu etkenler modellemeye çeşitli parametreler olarak dahil edilerek poz, aydınlanma ve yüz ifadesi gibi özelliklerin modelleme üzerindeki olumsuz etkileri giderilebilir. İnsanların yüz tanıma işlemi için sahip oldukları bilgi birikimiyle örtüşen yöntemlerdir.
Zayıflıkları	Her bir yüz için çok sayıda test yüz resmi gerektirir. İnsanların yüz tanıma işlemi için sahip oldukları bilgi birikimiyle örtüşmeyen yöntemlerdir. Poz, aydınlanma ve yüz ifadesi gibi özellikler modellemeyi güçleştirmektedir. Bir yüze ait test imajları analiz edilirken, bu yüz resimlerine ait benzerlikler önceden analiz edilmelidir.	Modellerin oluşturulması karmaşık ve uzun bir işlemdir. Yüze ait özelliklerin tam otomatikleştirilmiş bir yöntemle elde edilmesi kolay değildir. Modelin oluşturulması bir arama sürecidir ve lokal minimumlar nedeniyle hatalı sonuçlar üretilebilir. Ancak tanıma sonuçları oluşturulan bu modellere bağlıdır. Modelin oluşturulması zaman alıcı bir süreçtir. Yüksek çözünürlükte ve iyi kalitede yüz resimlerine ihtiyaç duyar Yüz resimleri üzerinde oldukça detaylı ön işleme gerektirir.

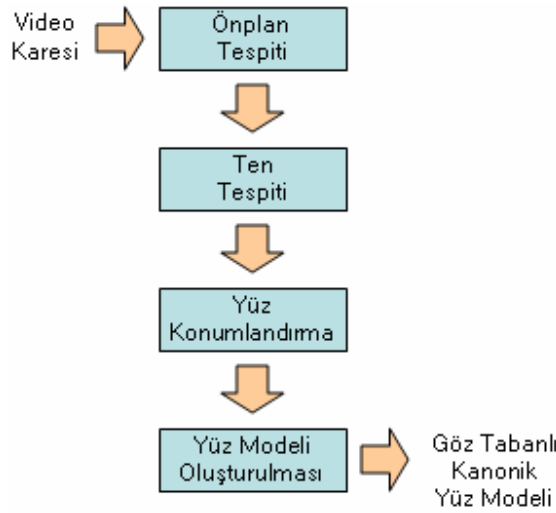
4. YÜZ BULMA ALT SİSTEMİ

Bu bölümde video tabanlı ve olabildiğince hatasız çalışan gerçek zamanlı bir yüz bulma sisteminin dizayn ve gerçekleştirme detayları anlatılmıştır. Bu amaçla bu çalışma kapsamında özellikle insan yüzünde yer alan renklere ve yüzün şekline odaklanan özellik tabanlı bir yüz bulma sistemi geliştirilmiştir. Bu sistem resimler üzerindeki yüz alanlarını bulabilmek için, yarım milyonun üzerinde yüz pikseli kullanılarak oluşturulmuş istatistiksel bir yüz rengi modeli kullanılmaktadır. Toplanan bu yarım milyon piksel, YCbCr renk uzayında ifade edilmiştir. Bir resim üzerindeki yüz rengi olan ve yüz rengi olmayan alanların sınıflandırılması bir ikili sınıflandırma (binary classification) problemi olduğu için, yüz piksellerine destek vektör makinesi (Support Vector Machine - SVM) uygulanması bu problemin çözümü için en uygun yöntemlerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu adım bize daha sonradan tüm olası CbCr kombinasyonlarının yüz rengi veya yüz rengi değil şeklinde sınıflandırılmasını sağlamaktadır. Böylece verilen herhangi bir CbCr değerinin basit bir kontrolle doğrudan yüz rengi veya yüz rengi değil şeklinde sınıflandırılması sağlanacaktır. Sistemin bu özelliği onu diğer benzeri sistemlerden ayırmakta ve yüz alanlarının en düşük bellek alanı ve en yüksek performansla tespit edilmesini sağlamaktadır. Bu çalışma kapsamında geliştirilen bir yüz alanı bulma metodu ile resim üzerinde tespit edilen ten rengi alanlar üstündeki yüz alanının konumunun ve boyutunun tam ve doğru olarak tespit edilmesi sağlanır. Yüz alanı tespit edildikten sonra yüz alanının üst bölümünde gözlerin hizasını temsil eden bir yatay çizgi bulunur. Son adımda gözlerin yüz alanı üstündeki konum bilgisi kullanılarak, standartlaştırılmış bir göz tabanlı kanonik yüz modeli oluşturulur.

4.1 Yüz Bulma Sistemine Giriş

Günümüze kadar yapılan pek çok çalışma yüzdeki ten renginin insan yüzündeki önemli ayırt edici özelliklerden biri olduğunu göstermektedir (Sporis ve Rabenstein, 2001; Jones ve Rehg, 2002; Hsu vd., 2002; Tomaz vd., 2003; Raja vd., 1998; Zhu vd., 2004; Kuchi vd., 2002). Ayrıca renk işleme yüzdeki diğer şekilsel özelliklere kıyasla işlenmesi daha az maliyetli bir yöntemdir. Bununla beraber birçok koşulda insanın yüz rengi yüzün kameraya göre doğrultusundan ve hatta aydınlanma koşullarından da bağımsız olabilmektedir. Bu tez çalışmasında Jones ve Rehg'in yaptığı çalışmaya (2002) benzer şekilde resimler üzerindeki yüz rengi alanları bulabilmek için yarım milyonun üzerinde ten rengi piksel içeren istatistiksel bir ten rengi modeli geliştirilmiştir.

Sınıflandırma işlemi sırasında toplanan bu piksellerin YCbCr renk uzayındaki karşılıkları kullanılmıştır. Böyle bir tercihin yapılmasının nedeni YCbCr renk uzayının, ten rengi bilgisini elde etmek için çok kritik olan renk parçacıkları düzeyi (CbCr - chrominance) ile parlaklık (luminance) düzeyini birbirlerinden en iyi ayıran renk uzayı olmasıdır (Spors ve Rabenstein, 2001; Terrillon vd., 2000; Hsu vd., 2002). Toplanan yarım milyon ten rengi piksel YCbCr renk uzayında temsil edildikten sonra, bu piksellerin destek vektör makinesini öğretmeleri ile yenilikçi bir ten rengi sınıflandırılma yöntemi üretilmiş olur. Destek vektör makinesi eğitildikten sonra YCbCr renk uzayındaki tüm CbCr kombinasyonları destek vektör makinesinde test edilerek hangi CbCr değerlerinin yüz rengi olduğuna, hangi CbCr değerlerinin yüz rengi olmadığına karar verilmiş olur. Bir seferlik test işleminin ardından hangi CbCr değerlerinin yüze ait ten rengi bilgisi olduğu tespit edilmiş olacaktır. Böylece yüz tarama işlemi sırasında destek vektör makinesiyle test işleminin tekrardan uygulanmasına gerek kalmayacaktır. Geliştirilen yöntem hem hesapmalama açısından daha basit hem de gerçek zamanlı uygulamalar için daha kullanılabilir olacaktır.



Şekil 4.1 Video tabanlı yüz bulma altsistemi

SVM yöntemiyle tespit edilen ten rengi alanda, yüzün merkezinin bulunması amacıyla Qian tarafından geliştirilen (1998) istatistik tabanlı yüz konumlandırma yöntemi kullanılmaktadır. Çalışma kapsamında yüzün boyutunun hesaplanması amacıyla gerçek zamanlı uygulamalar için oldukça ideal basit bir metod geliştirilmiştir. Bu metod önceden tanımlanmış genişlik ve

yükseklik değerlerinin yüz merkezinden itibaren azaltılıp artırılması ile optimize edilmeleri esasına dayanır. Şekil 4.1’de geliştirilen video tabanlı yüz bulma altsistemi tanıtılmıştır.

4.2 Yüz Bulma Sistemi Adımları

Önerilen yüz bulma alt sistemi dört temel adımdan oluşmaktadır:

1. Birinci adımda yüz bulma işlemi için sisteme ulaşan video karesinde yer alan önplan bilgisinin arkaplan karesinden ayrıştırılması sağlanır. Arkaplan karesi yüz bulma alt sisteminin çalıştırıldığı ilk anda alınmış ve uygulama belleğine kayıt edilmiştir.
2. İkinci adımda ayrıştırılan önplan bilgisi üzerinde ten alanı tespit edilir.
3. Üçüncü adımda bir önceki adımda tespit edilen ten alanı üzerinde yüzün konumlandırılması sağlanır.
4. Sonuncu olarak dördüncü adımda yüz alanının üst bölümünde gözlerin hizasını temsil eden bir yatay çizgi bulunur. Gözlerin yüz alanı üstündeki konum bilgisi kullanılarak, standartlaştırılmış bir göz tabanlı kanonik yüz modeli oluşturulur.

4.2.1 Önplan Tespiti

Önerilen yüz bulma sistemi herhangi bir hareketin ve görsel değişimin olmadığı, sabit bir arkaplana giriş yapan kişilerin tanınması esasına dayanmaktadır. Böylece söz konusu sistemde önplan tespiti, sahneye giriş yapan insanın konumlandırılması anlamına gelmektedir. Yüz bulma sistemi ilk çalıştırıldığı anda video kamera tarafından alınan ilk video karesi yüz bulma sisteminin çalıştırılacağı arkaplan görüntüsü olarak kabul görmektedir. Bu sayede sistem önceden tanımlanmış çeşitli renk ve resimler içeren arkaplan sahnelerinden bağımsız olarak istenilen herhangi bir ortamda çalıştırılabilecektir.

Önplan tespitinin gerçekleştirilmesi için, yüz bulma işlemi için sisteme ulaşan video karesi ile sistem belleğine daha önceden kayıt edilmiş arkaplan karesi arasındaki her bir pikselin RGB renk uzayındaki Öklit (Euclidean) uzaklıkları hesaplanır.

$$E = \sqrt{(R_{bg} - R_{act})^2 + (G_{bg} - G_{act})^2 + (B_{bg} - B_{act})^2} \quad (4.1)$$

Yukarıda verilen Öklit uzaklığı formülünde ‘bg’ sistem belleğine kayıt edilmiş arkaplan karesine ait bir pikseli temsil ederken, ‘act’ yüz bulma işlemi için sisteme ulaşan ulaşan pikselin değerini temsil etmektedir. Bir piksel için hesaplanan Öklit uzaklığı E verilen bir ϵ eşik değerinden büyükse bu pikselin önplana ait olduğu anlaşılır. Aksi durumda bu piksel arkaplanın bir parçası olarak kabul edilmiştir.

$$\text{Piksel} \begin{cases} \text{Önplan,} & E > \epsilon, \\ \text{Arkaplan,} & \text{değilse} \end{cases} \quad (4.2)$$

Önplan tespiti işleminin sonunda önplan piksellerinin gerçek resim üzerindeki konumlarını gösteren bir ikili maske (binary mask) yaratılır. Bu ikili maske bir sonraki adımda ten rengi tespiti işlemi sırasında kullanılacaktır. Elde edilmiş olan bu ikili maske, açma morfolojik işlemi (opening morphological operation) ile yeniden şekillendirilerek önplan görüntüsü üzerinde oluşması muhtemel görüntülerin etkisi engellenmiş olunur.

4.2.2 Ten Tespiti

Bir önceki adımda tespit edilen önplan alanında yer alan ten rengi alanların tespit edilmesi için istatistiksel bir ten rengi modeli geliştirilmiştir. Bu modelin oluşturulması iki temel adımı içermektedir:

1. Ten rengi bilgisinin toplanması.
2. Tene ait renklerin ve diğer renklerin birbirlerinden ayrılarak akıllı bir yöntem ile sınıflandırılması.

4.2.2.1 Ten Rengi Bilgisinin Toplanması

Akıllı bir istatistiksel yüz rengi modeli oluşturabilmek amacıyla farklı aydınlanma koşulları ve doğrultularda çekilmiş 70 adet birbirlerinden farklı renk tonlarında insan yüzü resmi toplanmıştır. Bu resimlerde yer alan ten rengi alanların piksel değerleri, ‘Piksel Veritabanı’ ismi verilen bir veritabanına, bu çalışma kapsamında özel olarak geliştirilen ‘Piksel Araştırmacı’ uygulaması ile yerleştirilmiştir.

Öncelikli olarak elde edilen her bir yüz resminin kopyası alınır. Ardından kopyalanmış resim üzerindeki tüm ten rengi alanlar, resimler üzerinde bulunmayan bir renkle örneğin yeşil ($RGB=0,255,0$) ile işaretlenir. İşaretlenen bu alanlar doğal olarak dudak, kulak ve gözleri içermemektedir. Ardından ‘Piksel Araştırmacı’ uygulaması hem orijinal yüz resmini hem de el ile ten alanları işaretlenmiş diğer yüz resmini giriş olarak kabul ederek, ten rengi bilgisini ‘Piksel Veritabanı’na yerleştirir. Yerleştirme işlemi sırasında el ile ten alanları yeşil renge işaretlenen bölümler, orijinal yüz resmi üzerindeki gerçek ten alanlarına karşılık gelecektir. Şekil 4.2’de yüzlere ait orijinal resimler ve bu yüz resimlerinin ten alanları yeşil renk ile işaretlenmiş kopyaları görülmektedir.

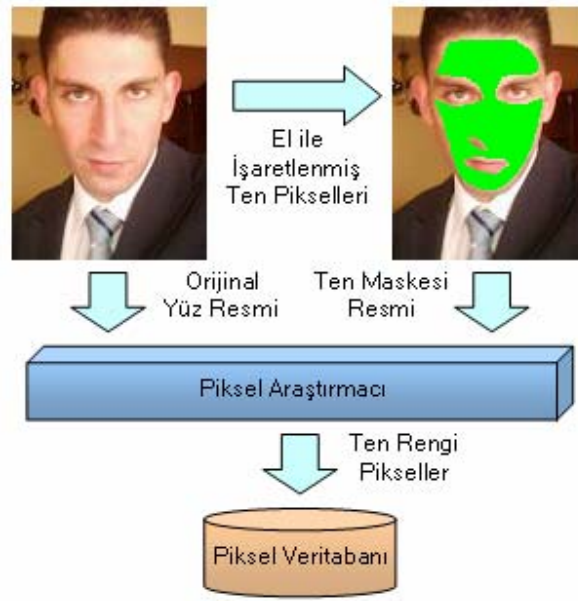


Şekil 4.2 Orijinal yüz resimleri ve ten rengi işaretleyicileri

Şekil 4.3’de ten rengi bilgisinin toplanması ve işlenmesi altyapısı tanıtılmıştır. 70 adet yüz resminin işlenmesinin ardından toplam 527.724 ten rengi değeri ‘Piksel Veritabanı’ na aktarılmıştır.

4.2.2.2 Ten Renginin Sınıflandırılması ve Destek Vektör Makineleri

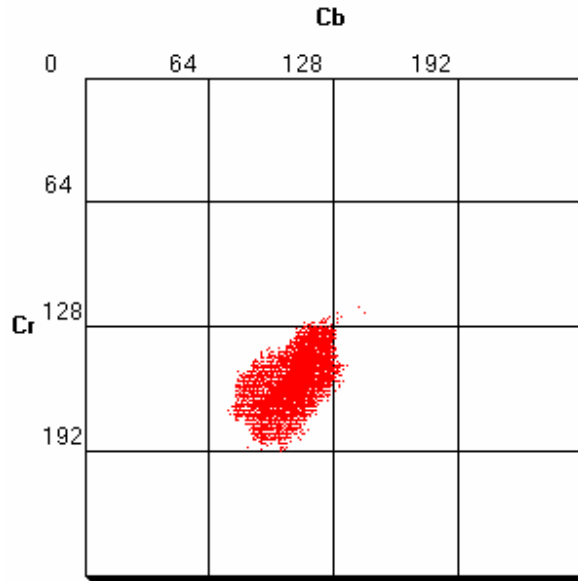
Çalışma kapsamında geliştirilen ten renginin sınıflandırılması metodunda ‘Piksel Veritabanı’ nda yer alan piksellerin YCbCr renk uzayındaki karşılıklarının kullanılmasına karar verilmiştir.



Şekil 4.3 Ten rengi bilgisinin toplanması & işlenmesi altyapısı

Bu kararın verilmesinde iki temel neden rol oynamaktadır:

1. YCbCr renk uzayı, ten rengi bilgisini elde etmek için çok kritik olan renk parçacıkları düzeyi (CbCr - chrominance) ile parlaklık (luminance) düzeyini birbirlerinden en iyi ayıran renk uzayıdır (Spors ve Rabenstein, 2001; Terrillon vd., 2000; Hsu vd., 2002).



Çizelge 4.1 CbCr renk parçacıkları uzayında ten rengi dağılımı (kırmızı alan)

2. ‘Piksel Veritabanı’nda RGB uzayındaki 96.768 adet birbirlerinden farklı piksel değeri, CbCr renk parçacıkları uzayında yalnızca 1,836 adet birbirlerinden farklı piksel değerine karşılık gelmektedir. Ayrıca bu 1,836 adet piksel CbCr renk parçacıkları uzayında Çizelge 4.1’de görüldüğü üzere aynı alanda birbirlerine sıkıca bağlı olarak gruplanmışlardır.

İstatistiksel makine öğrenmesi metodlarının pratik şekil tanıma problemlerinin çözümünde çok başarılı oldukları görülmektedir (Osuna vd., 1997). Bir resim üzerindeki yüz rengi olan ve yüz rengi olmayan alanların sınıflandırılması bir ikili sınıflandırma (binary classification) problemi olduğu için, yüz piksellerine destek vektör makinesi (Support Vector Machine - SVM) uygulanması bu problemin çözümü için en uygun yöntemlerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır.

Farzedelim ki pozitif ve negatif örnekleri birbirinden ayıran bir aşırıdüzlem var, bu düzlem üzerindeki noktalar $w \cdot x + b = 0$ eşitliğini sağlayacaktır. Burada w aşırıdüzleme olan normal ve $|b|/\|w\|$ aşırıdüzlemden orijine olan dik uzaklıktır. Aşırıdüzleme en yakın pozitif ve negatif örnekler arasındaki mesafeye ayırıcı aşırıdüzleminin “tolerans”ı dersek, destek vektör yöntemi bu “tolerans”ın en yüksek olduğu bir aşırıdüzlem bulmaya çalışır.

Ayrılamaz veriler için kısıtlamalara bir de arttıran yapay değişken (ϵ_i) eklenerek problem aşağıdaki şekilde formüle edilir (Cortes ve Vapnik, 1995):

$$\begin{aligned} x_i \cdot w + b &\geq +1 - \epsilon_i & y_i &= +1 \\ x_i \cdot w + b &\leq -1 + \epsilon_i & y_i &= -1 \\ \epsilon_i &\geq 0 \quad \forall i. \end{aligned} \quad (4.3)$$

Bir hatanın oluşması için ϵ_i biri geçmelidir, $\sum_i \epsilon_i$ eğitim hataları sayısının üst sınırıdır. Dolayısıyla hata maliyetlerini arttırmak için hedef fonksiyona kullanıcı tarafından seçilecek bir düzenleyici C parametresi eklenmiştir. C parametresinin değerinin yüksek olması hatalara daha yüksek ceza atanmasına yol açacaktır. En genel optimal ayırıcı aşırıdüzlem;

$$P_c = \frac{1}{2} \|w\|^2 + C \sum_i \epsilon_i$$

$$y_i(x_i \cdot w + b) \geq 1 - \epsilon_i, \quad \epsilon_i \geq 0 \quad \forall i, \quad (4.4)$$

eşitliğini en küçük yapan w ve b parametreleri ile tanımlanır. Amaç (w , b) parametrelerinin çözümünü ve kısıtlamalarını bulmaktır. Yukarıdaki probleme çözüm bulunabilmesi için aşağıdaki Lagrange fonksiyonunu en küçük yapan w ve b değerleri bulunmalıdır:

$$L_P = \frac{1}{2} \|w\|^2 + C \sum_i \varepsilon_i - \sum_i \alpha_i \{y_i(x_i \cdot w + b) - 1 + \varepsilon_i\} - \sum_i \mu_i \varepsilon_i \quad (4.5)$$

Burada ε_i değerlerin pozitif olmasını sağlamak için eklenmiştir, α_i pozitif lagrange çarpanlarıdır. Çözümü biraz daha kolaylaştırmak için yukarıdaki Lagrangian problemi dual problemine dönüştürülmelidir:

$$L_D = \sum_i \alpha_i - \frac{1}{2} \sum_i \sum_j \alpha_i \alpha_j y_i y_j x_i \cdot x_j$$

$$0 \leq \alpha_i \leq C \text{ ve } \sum_i \alpha_i y_i = 0 \quad (4.6)$$

Gerekli parametreler L_D en büyük yapılarak hesaplanır. Doğrusal olmayan destek vektör makinaları ise veriyi öncelikle farklı bir uzaya eşlemlmekte ve sınıflandırma işlemini bu yeni (genellikle daha yüksek boyutlu) öznitelik uzayında gerçekleştirmektedir. Çoğu zaman eşleme fonksiyonlarının bilinmesine gerek yoktur, bunun yerine bir çekirdek fonksiyonu kullanılır. Sonuç olarak destek vektör makinası aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$f(x) = \text{sign}(\sum_i y_i \alpha_i k(x, x_i) + b) \quad (4.7)$$

Parametreler ise aşağıdaki fonksiyon en büyük yapılarak bulunur:

$$L_D = \sum_i \alpha_i - \frac{1}{2} \sum_i \sum_j \alpha_i \alpha_j y_i y_j k(x_i, x_j)$$

$$0 \leq \alpha_i \leq C \text{ ve } \sum_i \alpha_i y_i = 0$$
(4.8)

Bu çalışmada öznitelik vektörleri arasındaki benzerliği hesaplamak için aşağıda belirtilen radyal tabanlı çekirdek fonksiyonu (RBF - radial basis kernel function) kullanılmıştır:

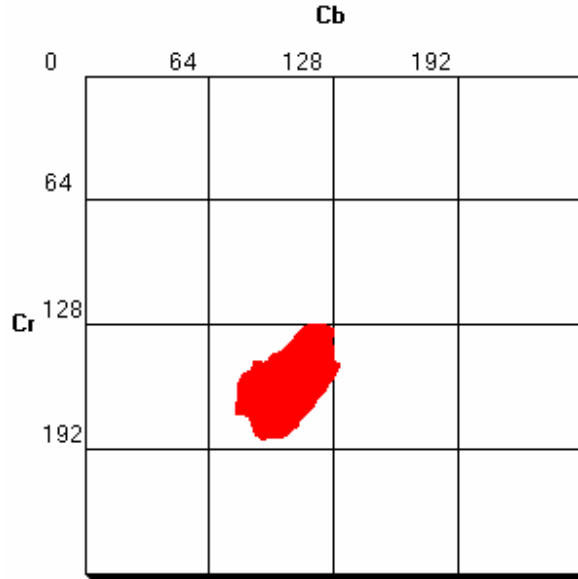
$$K(x_i, x_j) = \exp\left(-\frac{\|x_i - x_j\|^2}{2\sigma^2}\right)$$
(4.9)

Destek vektör makinesi öğretilirken, Çizelge 4.1’de gösterilen CbCr renk parçacıkları uzayındaki 1,836 adet birbirinden farklı piksel pozitif örnek, uzayın geri kalan kısmı ise negatif örnekler olarak kabul edilmişlerdir. Öğretme işlemi sırasında doğrusal, polinom ve sigmoid çekirdek fonksiyonlarına kıyasla daha başarılı sonuçlar ürettiği için radyal tabanlı çekirdek fonksiyonu kullanılmıştır. Destek vektör makinesini öğretme işlemi tamamlandıktan sonra CbCr renk parçacıkları uzayındaki tüm noktalar test edilerek, ten rengi veya ten rengi değil şeklinde sınıflandırılmışlardır. Test işleminin ardından CbCr renk parçacıkları uzayındaki 1.960 adet birbirlerinden farklı piksel değerinin ten rengi sınıfına ait olduğu anlaşılmıştır. Çizelge 4.2’de sınıflandırma işleminin sonucu görülmektedir.

Tek seferlik destek vektör makinesi sınıflandırma işleminin ardından CbCr renk parçacıkları uzayını kapsayan iki boyutlu bir ikili harita (2-D Binary Map) oluşturulur. Bu harita ile verilen bir Cb, Cr değer çiftinin ten rengi olup olmadığının en efektif şekilde anlaşılması sağlanır. Bu sayede yüz bulma süreci içerisinde destek vektör makinesinin uygulamalar tarafından eşzamanlı olarak öğretilmesine veya test edilmesine gerek kalmayacaktır. Bu özelliği bu yenilikçi ten rengi tanıma sistemini, uygulamalar için kullanımı çok basit ve hesaplamalar açısından da en hızlı ve efektif hale getirmektedir.

Önerilen yüz bulma sisteminde, önplan tespit etme işlemi sonucunda elde edilen maskeye yukarıda tanıtilen iki boyutlu ikili harita uygulanarak, önplan üzerinde yer alan ten rengi alanların tespit edilmesi sağlanmış olur. Son olarak, ten bulma işlemi sonucunda yüz konumlandırma işleminde kullanılmak üzere farklı bir maske yaratılır. Bu maske kapama morfolojik işlemi

(closing morphological operation) ile yeniden şekillendirilerek ten alanı üzerinde oluşması muhtemel ufak çaplı açıklık alanların kapatılması sağlanmış olunur.



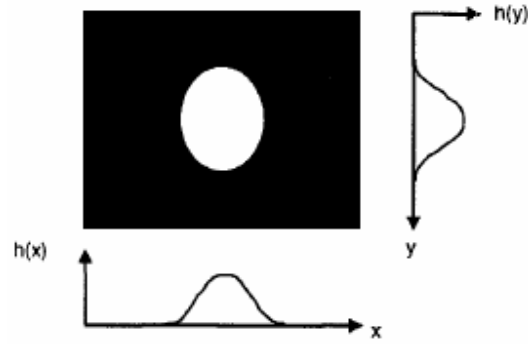
Çizelge 4.2 Destek vektör makinesi sınıflandırmasının ardından CbCr renk parçacıkları uzayında ten rengi dağılımı

4.2.3 Yüz Konumlandırma

Yüz alanını bulma sürecinin son adımında üretilen maske üzerinde yer alan yüz bilgisinin, merkez koordinatlarını bulabilmek için istatistiksel bir yüz konumlandırma metodu kullanılmıştır (Qian, 1998). Bu metodda temel olarak x ve y eksenleri boyunca alınan histogramlar kullanılarak yüz alanının merkez koordinatları tahmin edilir.

Şekil 4.4’de ideal bir dünyada kamera önünde yalnızca tek bir adet yüz olduğu zaman elde edilen yatay ve dikey projeksiyonlar görülmektedir.

$h_x(i), i = 0, 1, \dots$ ve $h_y(i), i = 0, 1, \dots$, x ve y eksenlerinde alınan projeksiyonlarda bulunan piksel sayılarını temsil etmektedir. (x_c, y_c) yüzün merkez koordinatları ve (w, h) yüzün yükseklik ve genişliği (4.10)’da verilen formüllerle bulunabilir. α ve β sabit ölçekleme çarpanlarıdır.



Şekil 4.4 Kamera önünde yalnızca tek bir adet yüz olduğu zaman elde edilen yatay ve dikey projeksiyonlar

$$x_c = \frac{\sum_i x_i h_x(i)}{\sum_i h_x(i)}, \quad y_c = \frac{\sum_i y_i h_y(i)}{\sum_i h_y(i)},$$

$$w = \alpha \left[\frac{\sum_i (x_i - \mu_x)^2 h_x(i)}{\sum_i h_x(i)} \right]^{1/2}, \quad h = \beta \left[\frac{\sum_i (y_i - \mu_y)^2 h_y(i)}{\sum_i h_y(i)} \right]^{1/2} \quad (4.10)$$

Ancak yapılan bu tez çalışması kapsamında deneylerde bu formüllerin bu şekilleriyle kullanılması pratikte 2 temel sorunu beraberinde getirmektedir:

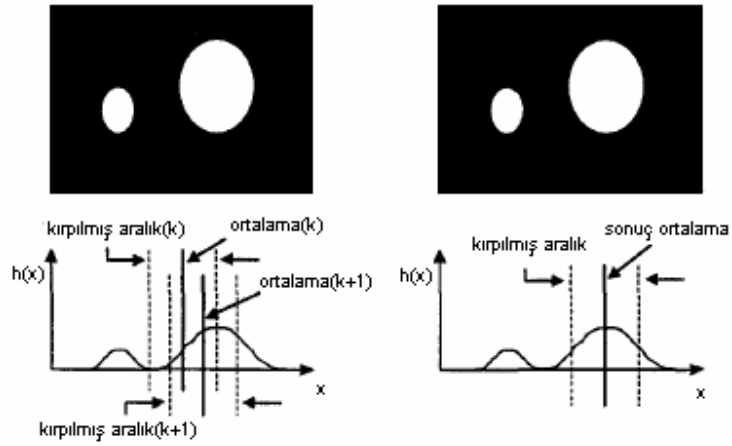
α ve β sabit ölçekleme çarpanları için atanan değerler ancak yüz ile kamera arasında mesafe sabit bir değerde ise geçerli olmaktadır. Kamera ile yüz arasındaki uzaklık değiştirildiğinde bu çarpanlarında değiştirilmesi gerekmektedir.

Kameraya birden fazla yüz veya el ve kol gibi diğer ten rengi alanlar girdiğinde yöntemin etkinliği oldukça azalmakta ve hatta yöntem hatalı sonuçlar üretmeye başlamaktadır.

Bu problemin üstesinden gelmek için kırılmış ortalama (trimmed mean) yöntemi kullanılarak kameraya giren diğer bir yüzün ve ten rengi alanların etkisi en aza indirilerek, kameranın gördüğü yalnızca en baskın yüzün alınması sağlanmaktadır. Kırılmış Ortalama yöntemi aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır:

1. Ortalama μ ve standart sapma σ değerleri tüm dağılım örnekleri baz alınarak hesaplanır.

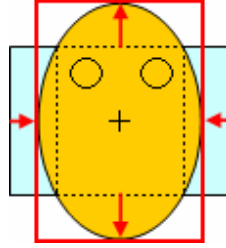
2. $\mu_i(0) = \mu$ ve $\delta = \max(a * \sigma, b * \text{ÖrnekGenişlik})$ olsun. a ve b ölçekleme faktörleri ve ÖrnekGenişlik x ve y doğrultularındaki resim yüksekliği ve resim genişliği olsun. (Örnek $a=1,0$ ve $b=0,2$)
3. $[\mu_i(k) - \delta, \mu_i(k) + \delta]$ aralığındaki örneklerden $\mu_i(k+1)$ kırılmış ortalaması hesaplanır.
4. 3. adım $|\mu_i(k+1) - \mu_i(k)| < \varepsilon$ koşulu sağlanana kadar uygulanır. ε to(ö)lerans olarak kabul edilir. (Örnek $\varepsilon = 1,0$)
5. Elde edilen son ortalama resimdeki dominant yüzün merkez koordinatlarıdır.



Şekil 4.5 Kırılmış ortalama yöntemi ile resimlerdeki baskın yüzlerin en etkin biçimde konumlandırılması

Dikdörtgensel yüz alanının yüksekliğinin ve genişliğinin en etkin biçimde hesaplanması için hesaplama karmaşıklığı oldukça basit ve gerçek zamanlı uygulamalar için uygun bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntem ilk aşamada yukarıda verilmiş olan formüller kullanılarak elde edilen genişlik ve yükseklik değerlerini baz almaktadır. Ardından genişlik ve yükseklik değerleri kullanılarak oluşturulan yüz dikdörtgeninin yüzün merkez noktasından itibaren daraltılıp genişletilmesiyle yüz çerçevesinin boyutu optimize edilir. Eğer ilk olarak yükseklik ve genişlik değerleri baz alınarak oluşturulan dikdörtgenin kenarları yüz alanının içinde ise bu değerler yüzün sınır alanlarına kadar genişletilir. Aksi durumda kenarlar yüz alanının dışındalar ise yüz alanının kenarına kadar daraltılırlar. Çizelge 4.3’de örnek bir yüz çerçevesinin boyutunu tespit etme işlemi gösterilmektedir. Açık mavi alan ilk olarak hesaplanan yükseklik ve genişlik değerleri baz

alınarak hesaplanan yüz çerçevesini temsil etmektedir. Yöntemin uygulanması esnasından yüz çerçevesinin genişliği azaltılıp, yüksekliği ise arttırılmıştır.



Çizelge 4.3 Yüz dikdörtgeninin boyutunun tespit edilmesi

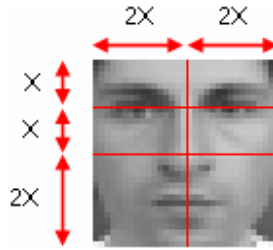
4.2.4 Göz Tabanlı Kanonik Yüz Modeli'nin Oluşturulması

Yüz bulma uygulamalarından elde edilen ham veri çoğu zaman yüz tanıma ve benzeri uygulamalar için kullanılabilir nitelikte olmamaktadır. Yüz tanıma uygulamalarının başarım oranı bu uygulamaların üzerinde çalıştığı yüz resmi grubunun boyut ve görünüm olarak tekilleştirilmiş bir standartta olmasına oldukça bağlıdır. Ayrıca tekilleştirilmiş standartlardaki yüz resimlerinde göz ve burun gibi yüze ait organların da hemen hemen eşdeğer konumlarda olması tanıma başarımını destekleyen unsurlardan biridir. Bu nedenlerden ötürü bu çalışma kapsamında önerilen ve geliştirilen yüz bulma yönteminde konumlandırılan yüzlerin tekilleştirilmiş bir standartta dönüştürülmesi başarılı bir yüz tanıma işlemi için kaçınılmaz olmuştur.

Bu ihtiyacı karşılayabilmek için göz tabanlı kanonik yüz modeli kavramı geliştirilmiştir. Bu model tekilleştirilmiş yüz resimlerini oluşturmak için aşağıdaki kuralları uygulamaktadır:

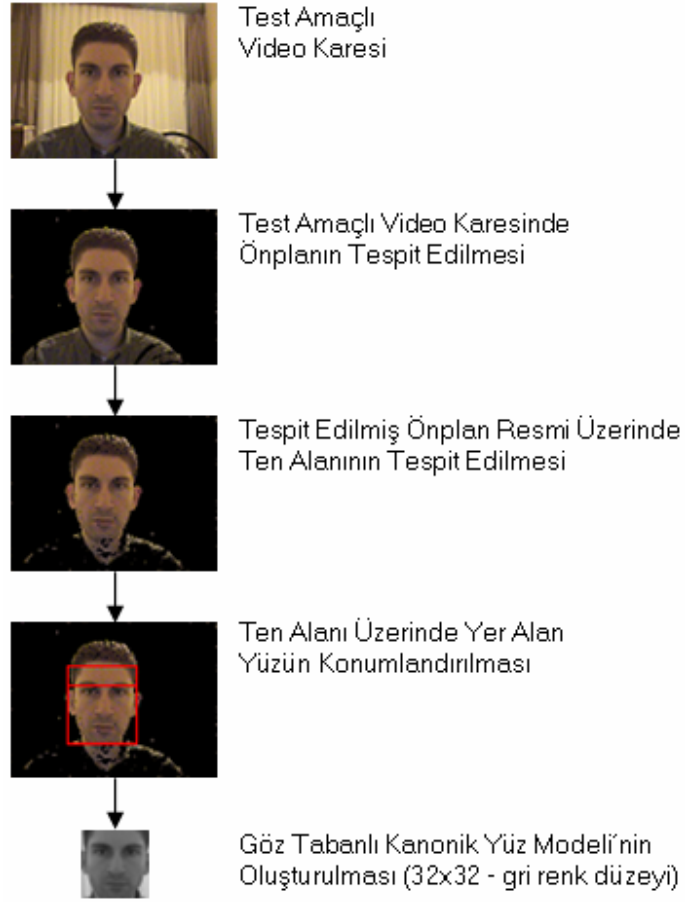
1. Tüm yüz resimleri aynı boyutlarda olmalıdır. (Geliştirilen deneysel uygulamada 32x32)
2. Yüz resimleri içerisinde yalnızca yüz bilgisi yer almalıdır.
3. Yüzün sola veya sağa doğru en fazla 30 derece toleransla kameraya bakıyor olması gerekmektedir.
4. Yüz resimleri üzerinde yer alan gözler aynı düşey koordinatlarda olmalıdır. Bu düşey koordinat resmin en üst çeyreğinin alt koordinatlarıdır. (32x32'lik yüz resimlerinden yukarıdan itibaren 8. piksel civarı)

İnsan yüzünün üst yarısında gözlerin bulunduğu bölüm diğer bölümlere kıyasla daha az az ten rengi piksel içerdiği için, önerilen sistemde gözler yüzün üst yarısında en az sayıda ten rengi piksel içeren bir yatay çizginin taranması ile bulunmaktadır. Bu işlemin ardından tekilleştirilmiş yüz resmi gözler resmin en üst çeyreğinin alt koordinatlarına getirelecek şekilde yeniden düzenlenir ve 32x32 olacak şekilde yeniden boyutlandırılır. Şekil 4.6'da 32x32 boyutlarında üretilmiş göz tabanlı kanonik yüz modeli örneği görülmektedir.



Şekil 4.6 Göz tabanlı kanonik yüz modeli örneği

Şekil 4.7'de geliştirilen yüz bulma alt sisteminin adım adım çıktıları görülebilmektedir.



Şekil 4.7 Yüz bulma alt sisteminin adım adım çıktıları

5. YÜZ TANIMA ALT SİSTEMİ

Bu bölümde video tabanlı ve gerçek zamanlı bir yüz tanıma sisteminin dizayn ve gerçekleştirme detayları anlatılmıştır. Bir önceki ana bölümde tanıtılan yüz bulma alt sisteminin çıktıları yüz tanıma alt sistemi için giriş verisi olarak kullanılmıştır. Geliştirilen yüz tanıma sistemi, temel bileşen analizi (principal component analysis) yöntemlerinden biri olan, özyüz uzayı projeksiyonlama ile yüzlere ait özellik kümesini çıkarmaktadır. Kullanılan temel bileşen analizi yöntemi, yüz tanıma problemine iki boyutlu bir tanıma problemi olarak yaklaşmakta ve yüzler arasındaki farklılıkları en iyi ortaya çıkaran yüz uzayının (face space) özvektörlerinin, yani özyüzlerin elde edilerek, diğer yüzlerin bu özyüzlerin kombinasyonu ile ifade edilmesi ilkesine dayanmaktadır. Son olarak, tanıma işlemi sırasında elde edilen eğitim ve test yüzlerinin özellikleri arasındaki benzerlikler destek vektör makinesi yöntemi ile bulunmaktadır.

Özyüzler, eğitim kümesinde yer alan yüzlerin temel bileşenlerini oluşturmaktadır. Tanıma işlemi yeni bir yüzün, elde edilen bu özyüzler tarafından gerilen yüz uzayına projeksiyonu ile gerçekleştirilmektedir. Projeksiyon sonucu elde edilen konum, sisteme tanıtılmış yüzlerin bu yüz uzayındaki konumları ile karşılaştırılır. Yeteri kadar yakın olan bireyler varsa, bu durum yeni yüz sisteme daha önceden tanıtılmıştır anlamına gelir. Aksi halde, istenirse bu yeni yüzün, yüz uzayındaki konumu saklanarak sistemin yeni yüzü öğrenmesi sağlanabilir.

Geliştirilen yüz tanıma sisteminde özyüz uzayına projeksiyonlama yöntemi ile yüzlere ait özellikle kümesini çıkarmasının temel nedenleri:

1. Yöntemin yüzün geometrisinden bağımsız olması.
2. Gerçeklemenin diğer görünüm tabanlı yöntemlere göre daha kolay olması ve özel bir donanım gerektirmeden kişisel bilgisayar ve düşük çözünürlüklü kamera (webcam) ortamında bile gerçek zamanlı olarak çalıştırılabilmesi.
3. Sistemin yeni yüzleri veritabanına almasının diğer pek çok yönteme kıyasla çok kolay ve etkin olması.

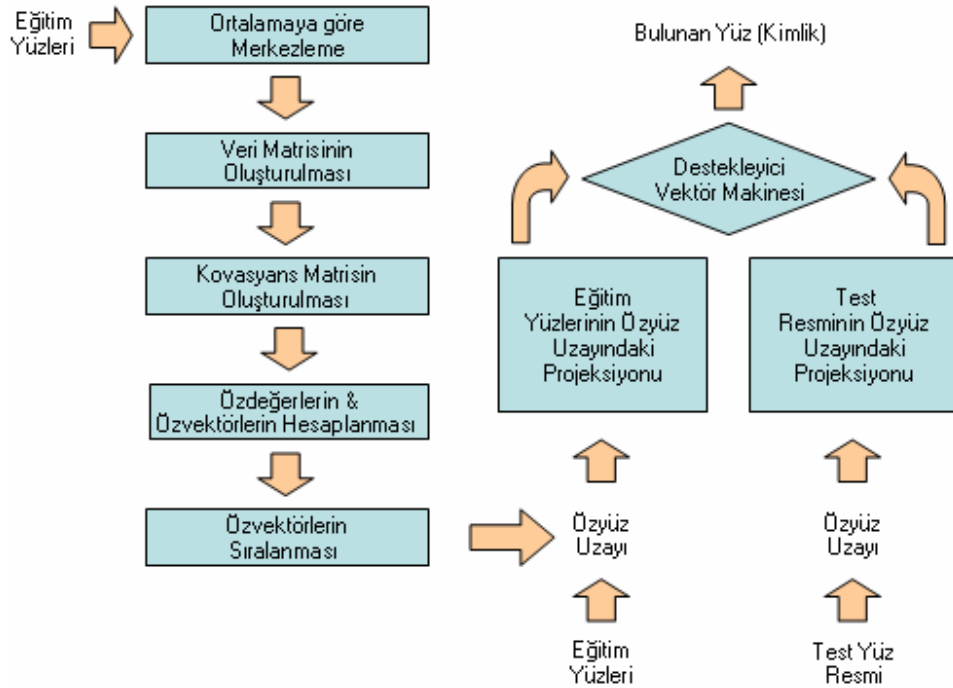
Özyüz uzayı projeksiyonlama ile elde edilen özellik kümelerine destek vektör makinesi uygulanarak yüz tanıma işlemi gerçekleştirilir. Gerçekleştirilen her bir yüz tanıma işleminin ardından bir sonraki video karesinden elde edilen yüz ile yeniden tanıma işlemi gerçekleştirilir. Sistemin genel başarımını arttırmak için ard arda elde edilen yüz tanıma işlemlerinin sonuçları bu

çalışma kapsamında gerçekleştirilen kayan pencere yaklaşımı ile değerlendirilerek yüz tanıma işleminin tutarlılığının artırılması sağlanır.

5.1 Yüz Tanıma Sistemi Adımları

Önerilen yüz tanıma alt sistemi üç temel adımdan oluşmaktadır:

1. Özyüz uzayı projeksiyonlama ile yüzlere ait özellik setinin çıkarılması.
2. Destek vektör makinesi yönteminin ikili eşlemelerle kullanılması ile eğitim ve test yüzlerinin özellikleri arasındaki benzerliklerin bulunması.
3. Kayan pencere yaklaşımı ile ard arda elde edilen yüz tanıma işlemlerinin sonuçlarının değerlendirilerek yüz tanıma işleminin tutarlılığının artırılması.



Şekil 5.1 Video tabanlı yüz tanıma altsistemi

5.1.1 Özyüz Uzağı Projeksiyonlama

Bir grup eğitim amaçlı yüz resminden türetilen kovaryans matrisin özvektörlerinden özyüz uzayı elde edilmektedir. Kovaryans matrisden elde edilen sıfırdan farklı özdeğerlere ait özvektörler

eğitim resimlerini N boyutlu bir uzayda yansıtmakta ve döndürmektedir. Her bir yüz resmi, boyutu N olan bir vektörde saklanmaktadır.

$$x^i = \begin{bmatrix} x_1^i & \dots & x_N^i \end{bmatrix}^T \quad (5.1)$$

Yüz resimleri, ortalama resmin yüz resimlerinden çıkarılması ile ortalamaya göre merkezlenirler.

$$\bar{x}^i = x^i - m, \quad m = \frac{1}{P} \sum_{i=1}^P x^i \quad (5.2)$$

Tüm vektörler yanyana getirilip birleştirilerek NxP boyutlarında bir veri matrisi elde edilir. P burada sistemde yer alan yüz resimleri sayısını ifade etmektedir.

$$\bar{X} = \begin{bmatrix} \bar{x}^1 & | & \bar{x}^2 & | & \dots & | & \bar{x}^P \end{bmatrix} \quad (5.3)$$

X veri matrisinin kendisinin transpozesi ile çarpılması ile kovaryans matrisi elde edilir.

$$\Omega = \bar{X}\bar{X}^T \quad (5.4)$$

Elde edilen bu kovaryans matrisin P taneye kadar sıfırdan farklı özdeğerlerle ilişkilendirilmiş özvektörleri olması beklenmektedir ($P < N$). Özvektörler kendileriyle ilişkili özdeğerlere göre büyükten küçüğe doğru sıralanırlar. En büyük özdeğerle ilişkilendirilmiş özvektör resimler üzerindeki en yüksek dereceden farklılıkları bulma yeteneğine sahip özvektördür. En büyük ikinci özdeğerle ilişkilendirilmiş özvektör resimler üzerindeki ikinci en yüksek dereceden farklılıkları bulma yeteneğine sahip özvektördür. Bu trend resimler üzerinde en düşük dereceden farklılıkları bulma yeteneğine sahip en küçük özdeğerle ilişkilendirilmiş özvektöre kadar devam etmektedir.

5.1.2 Özyüz Uzayı Projeksiyonlama ile Yüz Tanıma

Özyüz uzayı projeksiyonlama ile yüz tanıma üç temel adımdan oluşmaktadır. Bu adımlar:

1. Eğitim resimleri kullanılarak özyüz uzayı oluşturulmalıdır.
2. Eğitim resimlerinin özyüz uzayındaki projeksiyonu alınmalıdır.
3. Test resimlerinin özyüz uzayındaki projeksiyonları alınır ve daha önceden özyüz uzayındaki projeksiyonları oluşturulmuş eğitim resimlerinden hangisine daha yakın oldukları tespit edilir.

5.1.2.1 Özyüz Uzayının Oluşturulması

Aşağıdaki adımlarla özyüz uzayı oluşturulur:

1. **Ortalamaya göre Merkezleme:** Her bir eğitim resmi ortalamaya göre merkezlenmelidir. Ortalama resmin her bir eğitim resminden çıkarılması ile eğitim resimlerinin ortalamaya göre merkezleri alınmış olmaktadır.
2. **Veri Matrisinin Oluşturulması:** Eğitim resimleri ortalamalarına göre merkezlendikten sonra, tüm bu resimler $N \times P$ boyutunda bir matrisde birleştirilirler. P eğitim resmi sayısına karşılık gelmektedir ve veri matrisinde her bir sütun ayrı bir eğitim resmini ifade eder.
3. **Kovaryans Matrisin Oluşturulması:** Veri matrisi kendisinin transpozesi ile çarpılarak kovaryans matris hesaplanır.
4. **Özdeğerlerin ve Özvektörlerin Hesaplanması:** Kovaryans matris kullanılarak özdeğerler ve bu özdeğerlere karşılık gelen özvektörler hesaplanır.

$$\Omega V = \Lambda V \quad (5.5)$$

Burada V özvektör grubu olup, bu özvektörler Λ özdeğerleri ile eşleşirler.

5. **Özvektörlerin Sıralanması:** Özvektörler $v_i \in V$ kendilerine karşılık gelen özdeğerlere $\lambda_i \in \Lambda$ göre büyükten küçüğe doğru sıralanırlar. Sadece sıfırdan farklı özdeğerlere sahip özvektörler tutulmaktadır. Her bir sütununu ayrı bir özvektörün oluşturduğu bu matris özyüz uzayı olarak tanımlanır.

$$V = \begin{bmatrix} v_1 & | & v_2 & | & \dots & | & v_P \end{bmatrix} \quad (5.6)$$

5.1.2.2 Eğitim Resimlerinin Özyüz Uzayındaki Projeksiyonlarının Oluşturulması

Ortalamaya göre merkezlenmiş her bir eğitim yüz resmi $\bar{x}^i$ 'nin özyüz uzayındaki projeksiyonu oluşturulur. Bu işlem her bir eğitim resminin özyüz uzayının transpozesi ile çarpılmasıyla gerçekleştirilir.

$$\tilde{x}^i = V^T \bar{x}^i \quad (5.7)$$

Böylece bir eğitim resmi ile ilk özvektörün nokta çarpımı, yeni oluşan vektördeki ilk değer olacaktır. Projeksiyon vektörü özvektör sayısı kadar değer içerecektir.

5.1.2.3 Test Resminin Kimliğinin Destek Vektör Makinesi ile Tespit Edilmesi

Ortalama resmin test resminden çıkarılması ile test resminin ortalamaya göre merkezlemesi gerçekleştirilmiş olur. Ardından test resminin özyüz uzayındaki projeksiyonu alınır.

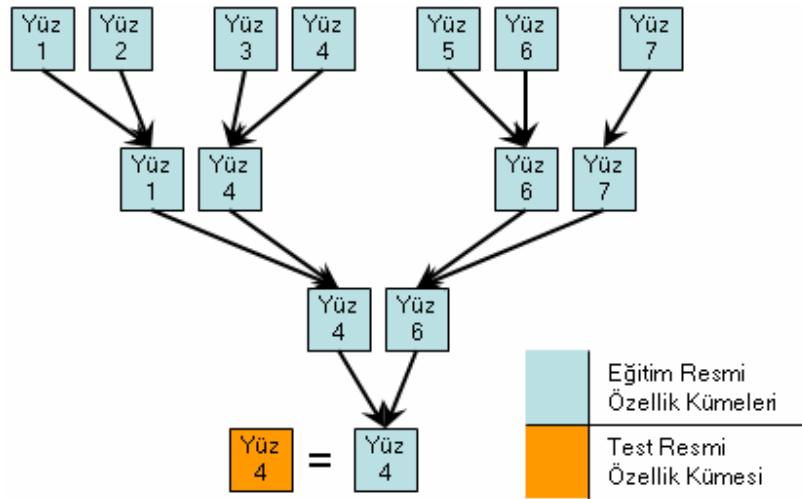
$$\bar{y}^i = y^i - m, m = \frac{1}{P} \sum_{i=1}^P x^i \quad (5.8)$$

$$\tilde{y}^i = V^T \bar{y}^i \quad (5.9)$$

Test resminin özyüz uzayındaki projeksiyonun daha önceden özyüz uzayındaki projeksiyonları oluşturulmuş eğitim resimlerinden hangisine daha yakın oldukları tespit edilir. Resimlerin çeşitli benzerlik ölçekleri ile karşılaştırılmaları mümkündür. Bu çalışma kapsamında kullanılan destek vektör makineleri yöntemi bölüm 4.2.2.2'de 'Ten renginin sınıflandırılması ve destek vektör makineleri' başlığı altında tanıtılmıştır.

Destek vektör makinesi yöntemi özünde ikili sınıflandırma yöntemi olduğu için, destek vektör makinesi ile eğitim ve test yüzlerinin özellikleri arasındaki benzerliklerin bulunması için

aşağıdaki örnekte gösterilen ikili eşleme (pairwise) yöntemi kullanılmıştır. Destek vektör makinesinin buna benzer çoklu sınıfların ayrıştırılması problemlerinin çözümlerinde kullandığı durumlarda uygulanabilecek diğer bir yaklaşımda birine karşılık kalanlar (one against rest) yönteminin uygulanmasıdır. Ancak sistemlerdeki toplam sınıf sayısı arttıkça birine karşılık kalanlar yöntemin pratik uygulanabilirliğinin azaldığı gözlemlenmiştir.



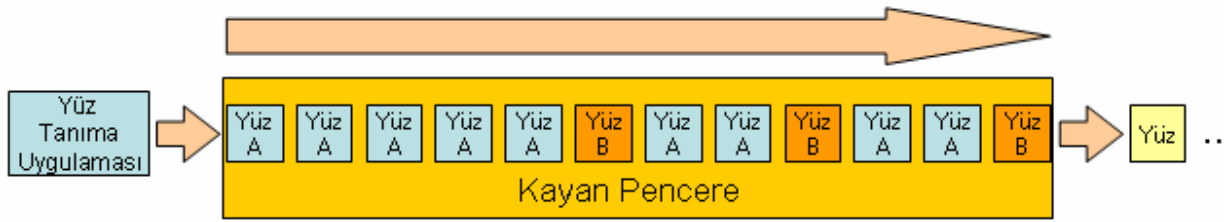
Şekil 5.2 İkili Eşleme Yöntemi – Destek Vektör Makinesi

Temel bileşen analizi yöntemi ile özellik kümeleri oluşturulan eğitim resimlerinden hangisinin test resminin özellik kümesine yakın olduğunun bulunması için, test resmi eğitim resimlerinin ikili grupları ile sınıılır. Şekil 5.2’de 4 numaralı test resmine ait özellik kümesinin, 4 numaralı eğitim resmine ait özellik kümesine yakınsaması gösterilmiştir.

5.1.3 Tanınan Yüzler Üzerinde Kayan Pencere Yaklaşımının Uygulanması

Özyüz uzayı projeksiyonlama ve destek vektör makinesi yöntemleri ile gerçekleştirilen her bir yüz tanıma işleminin ardından bir sonraki video karesinden elde edilen yüz ile yeniden tanıma işlemi gerçekleştirilir. Sistemin genel başarımını arttırmak için ard arda elde edilen yüz tanıma işlemlerinin sonuçları bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen kayan pencere yaklaşımı ile değerlendirilerek yüz tanıma işleminin tutarlılığının artırılması sağlanır.

Temel olarak tanınan yüzler üzerinde kayan pencere yaklaşımının uygulanması ard arda kimliği tespit edilen N adet yüz resminden en az M tanesinin ($\frac{N}{2} < M \leq N$) aynı kişiye ait olup olmadığının tespit edilmesi esasına dayanır. Bu koşul sağlanıncaya kadar yüz tanıma uygulaması ard arda gelen video karelerini tanımaya devam edecektir. Koşul sağlandığı anda en az M kere tanınan yüz, yüz tanıma işleminin sonucu olarak bulunan yüz olacaktır.



Şekil 5.3 Tanınan yüzler üzerinde kayan pencere yaklaşımının uygulanması

Şekil 5.3’de verilen örnek’de N ’nin 12, M ’nin 8 olduğu varsayılırsa, toplam 9 tane resim A kişisine ait olduğu için tanıma işleminin sonucunda kimliği tespit edilen kişiye ait yüz ‘Yüz A’ dır.

6. GERÇEK ZAMANLI VIDEO GÖRÜNTÜLERİNDEN YÜZ BULMA VE YÜZ TANIMA UYGULAMASI – “WHO ARE YOU?”

Bu bölümde bu tez kapsamında geliştirilen video tabanlı ve gerçek zamanlı yüz tanıma uygulaması tanıtılmıştır. Söz konusu uygulama günümüz kişisel bilgisayar son kullanıcıları tarafından en çok bilinen ve tercih edilen MS Windows işletim sistemi üzerinde ve MS Visual C++ 6.0 bütünleşik uygulama geliştirme platformunda üretilmiştir.

Uygulama “Who Are You? - WAY” olarak isimlendirilmiştir ve bu bölümün ilerleyen kısımlarında “Who Are You?” ismi ile ifade edilecektir.

Uygulamanın çalıştırılabilmesi için bir veritabanına ihtiyaç duyulmaktadır. Uygulamanın olabildiğince güvenli ve yüksek performanslı bir veritabanı ile çalıştırılması için Oracle ilişkisel veritabanı yönetim sisteminin kullanılması tercih edilmiştir. Ancak geliştirilen MS Windows uygulamasının veritabanı erişimleri MS açık veritabanı bağlantı (MS ODBC – Open DataBase Connectivity) altyapısı ile gerçekleştiği için Oracle dışındaki herhangi bir veritabanı da uygulama ile beraber rahatlıkla kullanılabilir. İlerleyen bölümlerde kullanılan veritabanının veri modeli ve bu veri modelinde yer alan veritabanı objelerinin tanımlamaları da detaylı olarak anlatılmıştır.

Uygulamanın son kullanıcılar tarafından öğrenilme hızının yüksek olması ve her düzeyde son kullanıcı tarafından rahatlıkla anlaşılıp, kullanılabilmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda uygulama temel olarak 3 ana grafik kullanıcı ekranından meydana gelmektedir:

1. Yüz Tanıma Sistemindeki Kullanıcıların Kayıt Edilmesi (Users / Enrollment)
2. Yüz Tanıma Sistemin Eğitilmesi (Training)
3. Yüz Tanıma İşlemi (Recognition)

İlerleyen bölümlerde tüm bu ekranlar ve bu ekranların özellikleri detayları ile beraber açıklanacaklardır.

6.1 “Who are you?” Uygulaması Veritabanı Veri Modeli

Aşağıda şekilde “Who are you?” uygulamasının veritabanı veri modeli yer almaktadır.

WHOAREYOU2.FACES	
ID	NUMBER (10)
PERSON_ID	NUMBER (10)
NAME	VARCHAR2 (20)
SURNAME	VARCHAR2 (20)
FACE	VARCHAR2 (2048)

WHOAREYOU2.SKIN_PIXELS_SUMMARY	
CR	NUMBER (3)
CB	NUMBER (3)

WHOAREYOU2.SKIN_PIXELS	
R	NUMBER
G	NUMBER
B	NUMBER
CR	NUMBER
CB	NUMBER

Şekil 6.1 “Who Are You?” uygulaması veritabanı veri modeli

Uygulamanın veri modelinden de görülebileceği üzere, oldukça yüksek performanslı, basit ve taşınabilir veri modeli geliştirilmiştir. Veri modelinde yer alan tabloların işlevleri ve açıklamaları aşağıdaki tabloda görülebilir.

Çizelge 6.1 “Who Are You?” uygulaması veri modeli tabloları

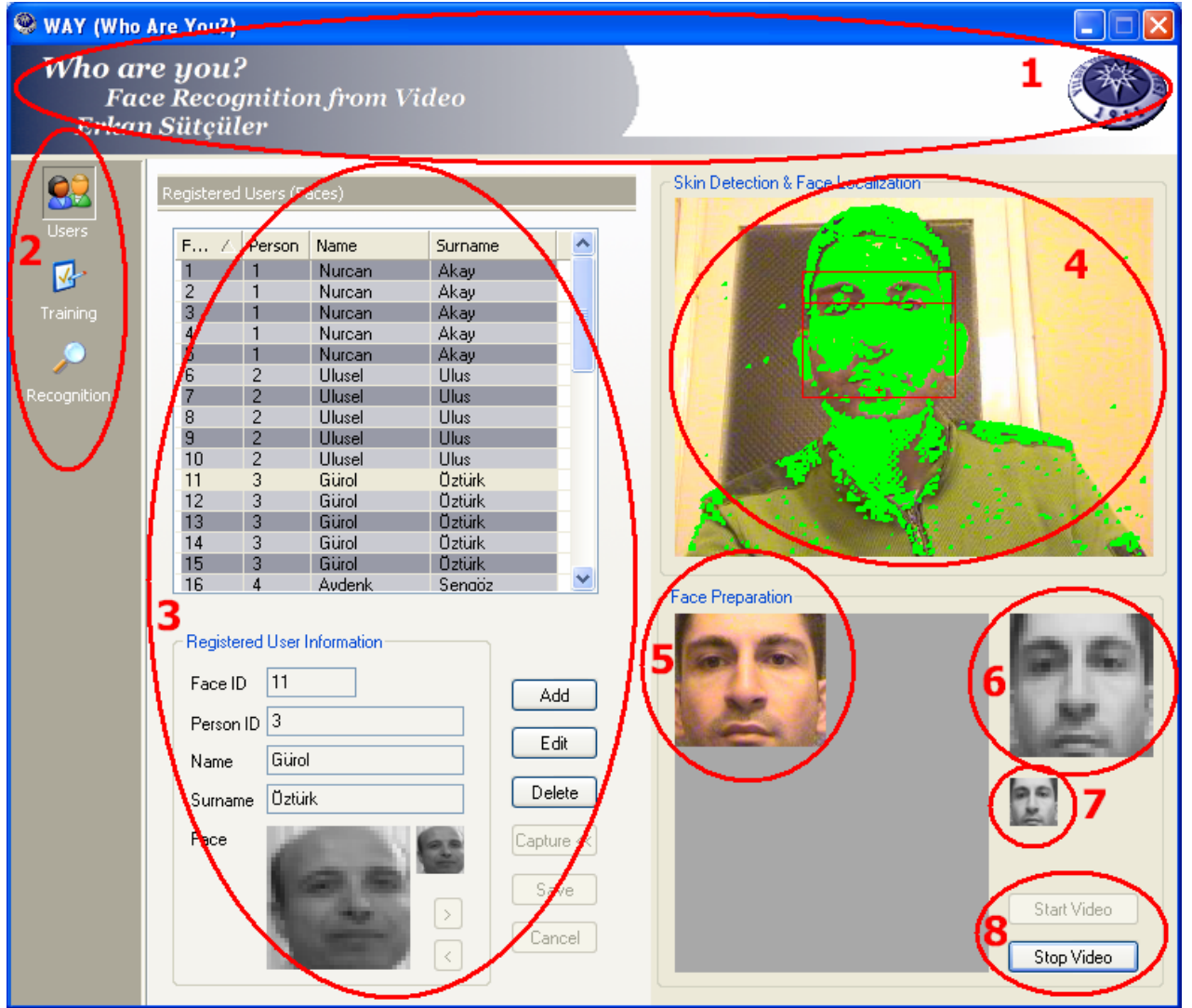
Tablo İsmi	Açıklama
FACES	Bu tabloda sistemde yer alan insanlar ve yüzler ile ilgili bilgiler tutulmaktadır. Bu bilgiler içinde; kullanıcının sistemdeki resminin numarası (PERSON_ID), kullanıcıya ait sistem tarafından atanmış bir kimlik numarası (ID), kullanıcı önadı (NAME), kullanıcı soyadı (SURNAME) ve yüz bilgileri yer almaktadır (FACE).
SKIN_PIXELS	Bölüm 4.2.2.1 – Ten Rengi Bilgisinin Toplanması bölümünde açıklanan 527.724 adet ten rengi piksek bilgisini taşıyan tablodur. Ten rengi bilgisi RGB uzayındaki R, G, B değerleri ve YCbCr renk uzayındaki Cb ve Cr değerleri ile saklanmaktadır. Bu tabloda yer alan birbirinden farklı 1.836 adet Cb, Cr renk kombinasyonu Çizelge 4.1’deki CbCr renk parçacıkları uzayında ten rengi dağılımı grafiğinde gösterilmektedir.

SKIN_PIXELS_SUMMARY	1.836 adet Cb, Cr renk kombinasyonu Çizelge 4.2’de görüldüğü gibi Destek vektör makinesi sınıflandırmasının ardından CbCr renk parçacıkları uzayında 1.960 adet özet renge dönüştürülmüştür. Tüm bu 1.960 adet renk bu tabloda saklanmaktadır. Bu tablo “Who Are You?” uygulamasının gerçek zamanlı olarak kullanılmasında oldukça ciddi önem taşımaktadır. “Who Are You?” uygulaması çalıştırıldığı ilk anda bu tablo içerisinden yüz rengi olduğu öngörülen tüm CbCr renk kombinasyonlarını uygulama belleğine indirerek bölüm 4.2.2 – “Ten Tespiti” sürecinde gösterilen işlemlerin olabildiğince hızlı, gerçek zamanlı olarak yapılmasına olanak sağlar.
---------------------	--

6.2 “Who are you?” Uygulaması

“Who are you?” gerçek zamanlı ve video tabanlı yüz bulma uygulaması, kullanıcıların yazılımı rahatlıkla öğrenmelerine ve uygulama pratiklerini en üst düzeye getirmelerine yardımcı olacak şekilde dizayn edilmiş ve kodlanmıştır.

“Who are you?” uygulamasının grafiksel kullanıcı arayüzü Şekil 6.2’den de takip edilebileceği gibi 8 ayrı grafiksel alandan meydana gelmektedir. Çizelge 6.2’de her bir grafiksel kullanıcı alanının işlevi tanıtılmıştır.



Şekil 6.2 “Who are You?” uygulaması grafiksel kullanıcı arayüzü

Çizelge 6.2 “Who are you?” uygulaması grafiksel kullanıcı arayüzü alanları

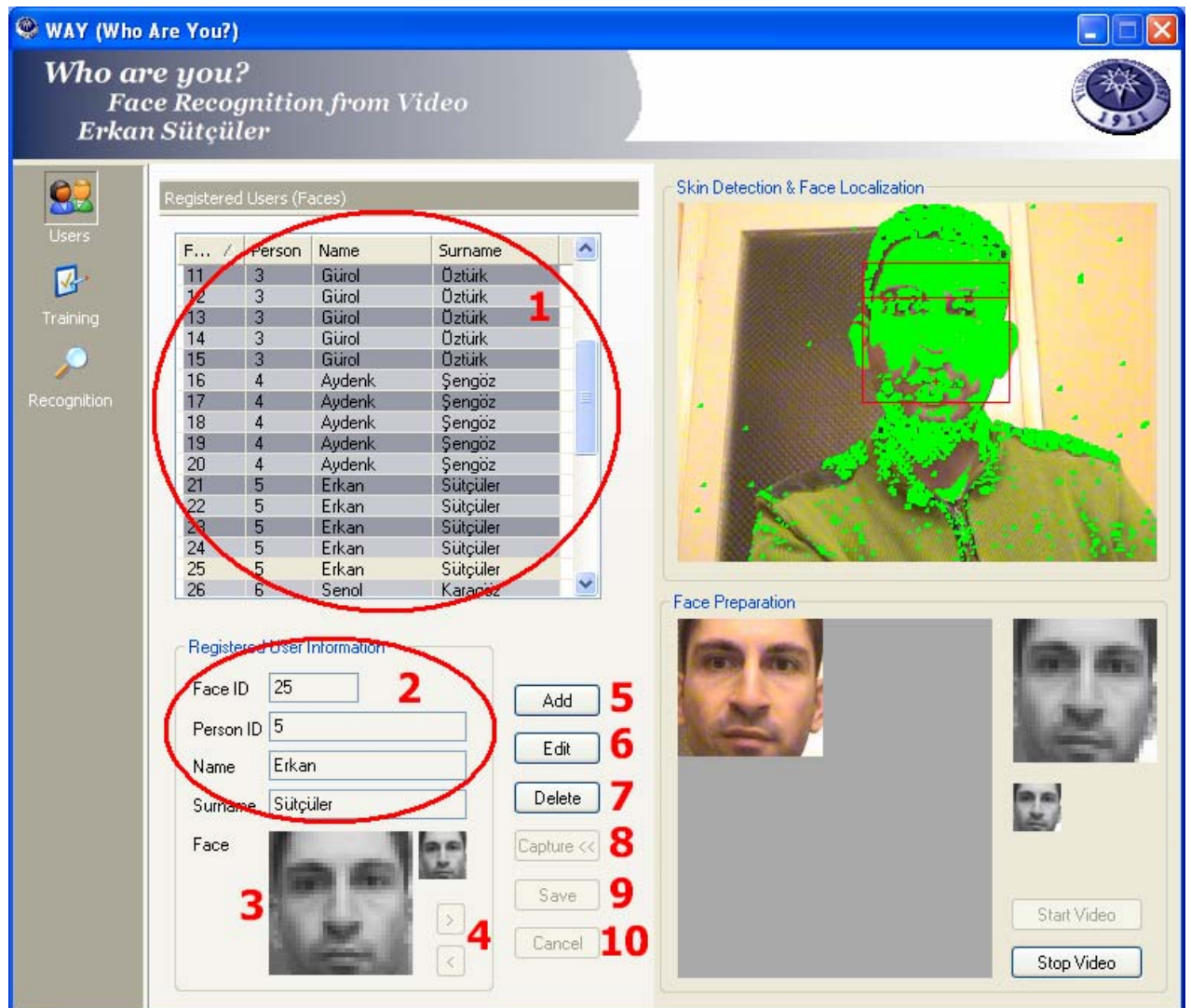
Grafiksel Alan	Açıklama
Bölüm-1	Görsel amaçlı grafiksel uygulama başlığı

Bölüm-2	Uygulamanın 3 ana grafiksel kullanıcı alanlarından birinin kullanıcılar tarafından seçilmesine olanak sağlayan menü. Bu menüde yer alan öğeler şunlardır: Users - Yüz Tanıma Sistemindeki Kullanıcıların Kayıt Edilmesi Training - Yüz Tanıma Sisteminin Eğitilmesi Recognition - Yüz Tanıma İşlemi
Bölüm-3	2 numaralı alanda gösterilen menüden seçim yapıldıktan sonra, kullanıcının seçtiği işlevin gerçekleştirilmesine olanak sağlayacak kullanıcı arayüzünün belirttiği alandır. Şekil 6.2’de 3 numaralı alanda “Users - Yüz Tanıma Sistemindeki Kullanıcıların Kayıt Edilmesi” grafiksel kullanıcı arayüzü yer almaktadır. Bu arayüz bir sonraki bölümde detaylı olarak tanıtılacaktır.
Bölüm-4	4, 5, 6, 7 ve 8 numaralı alanlar “Who are you?” uygulamasının video etkileşimini gösteren alanlardır. Video ile etkileşim, video karelerinde yer alan yüzlerin tespit edilmesi ve konumlandırılması hem yüz tanıma sistemindeki kullanıcıların kayıt edilmesi hem de yüz tanıma işlemi sırasında gerekli süreçlerden biri olduğu için 4, 5, 6, 7 ve 8 numaralı alanlar kullanıcının 2 numaralı menüden yaptığı seçimlerden bağımsız olarak daima “Who are you?” uygulamasında görünen alanlardır. 4 numaralı alanda video karesine giriş yapan ten rengi alanlar uygulama tarafından yeşil (RGB=0,255,0) renk ile gösterilirler ve bu alanlardan tespit edilen yüz bölümü gene uygulama tarafından kare bir kutu ile işaretlenir. “Who are you?” uygulaması yüz bölümünde yer alan göz bölümünü de yatay bir çizgi ile işaretlemektedir.
Bölüm-5	4. bölümde tespit edilen yüz alanının bilgilendirme amaçlı olarak gerçek boyutlarda ve renklerde kopyalandığı alandır.
Bölüm-6	5. bölümde gösterilen “Who are you?” tarafından tespit edilmiş yüzün 32x32 pixel olarak boyutlandırılmış ve gri renk seviyesine getirilmiş biçimidir. Ancak bu resimde her bir pixel 3x3 boyutlarında gösterilerek resmin daha anlaşılır ve gözlemlenebilir boyutlara getirilmesi sağlanmıştır.
Bölüm-7	6. bölümdeki resmin orijinal boyutlarındaki halidir. Bir kişi için veritabanında saklanacak, eğitim ve tanıma işlemleri sırasında kullanılacak 32x32 boyutunda ve gri seviyesindeki bir resmin son şeklidir.

Bölüm-8	Video'nun çalıştırılması veya durdurulması işlemleri bu butonlar kullanılarak gerçekleştirilir. "Start Video" butonuna basıldığında video karşısında herhangi bir yüzün olmaması beklenmekte ve video tarafından alınan ilk kare arkaplan resmi olarak değerlendirilmektedir. "Stop Video" butonu ise "Who are you?" uygulaması ile video cihazı arasındaki etkileşimi sonlandırmaktadır.
---------	---

6.2.1 Yüz Tanıma Sistemindeki Kullanıcıların Kayıt Edilmesi

Yüz tanıma sistemindeki kullanıcıların kayıt edilmesi ile ilişkili grafiksel kullanıcı ekranı görüntüsü Şekil 6.3'de, bu ekrandaki öğelerle ilgili açıklamalar ise Çizelge 6.3'de görülebilir.



Şekil 6.3 Yüz tanıma sistemindeki kullanıcıların kayıt edilmesi grafiksel kullanıcı arayüzü

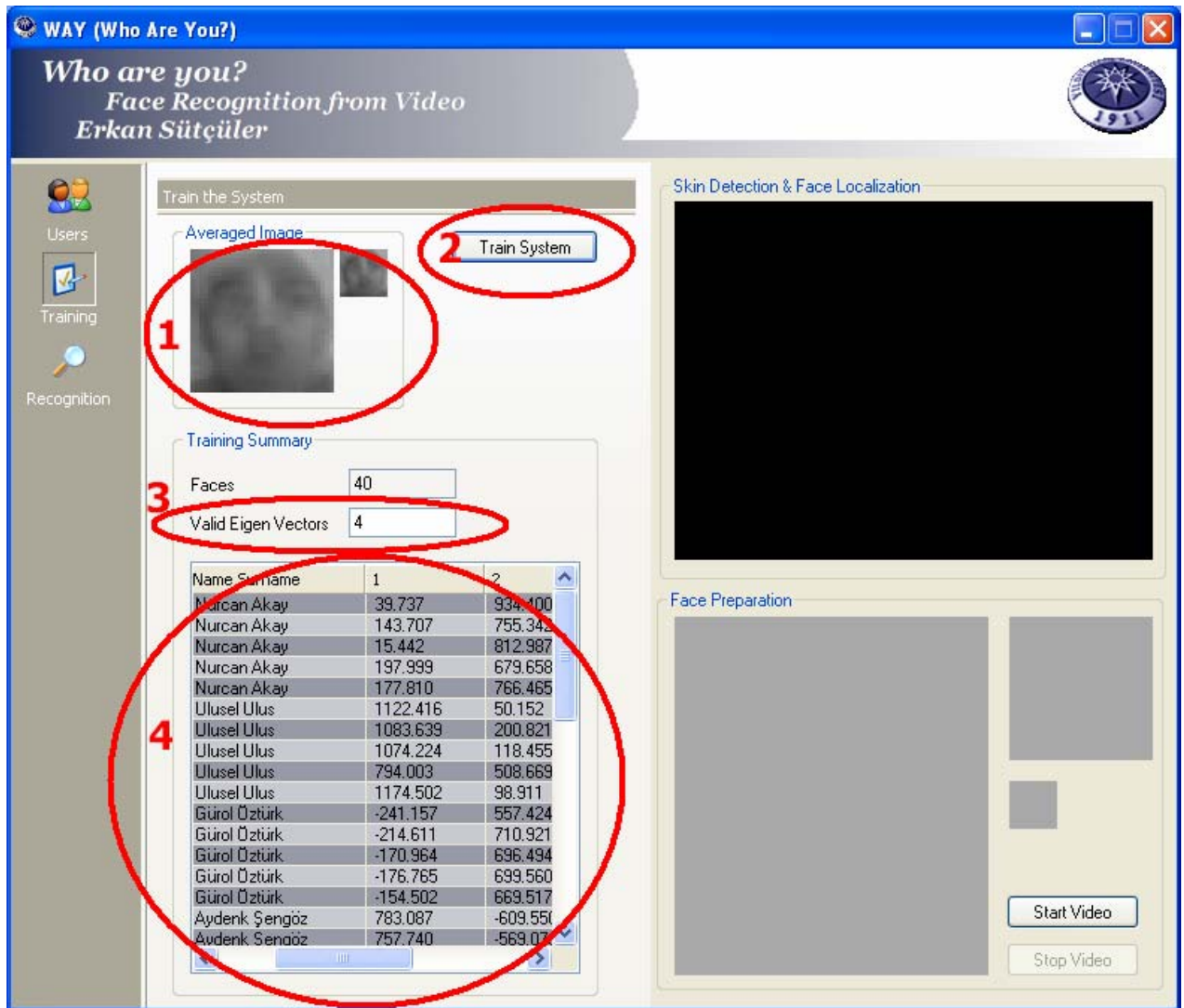
Çizelge 6.3 Yüz tanıma sistemindeki kullanıcıların kayıt edilmesi grafiksel kullanıcı arayüzü alanları

Grafiksel Alan	Açıklama
Bölüm-1	“Who are you?” sisteminde yer alan kullanıcıların ve bu kullanıcılara ait yüzlerin listesi
Bölüm-2	Bölüm-1’de yer alan listeden seçilen herhangi bir kullanıcının yüzüne ait kimlik numarası, kullanıcının kimlik numarası, kullanıcı ismi ve kullanıcı soyismi bu alanda görülebilir.
Bölüm-3	Bölüm-1’deki listeden seçilen kullanıcının kayıt aşamasında daha önceden sistem tarafından yakalanarak tespit edilmiş yüz resmi 32x32 orijinal boyutlarda (sağda) ve 96x96 büyütülmüş boyutlarda görülebilmektedir.
Bölüm-4	Yüz resimlerinin parlaklık ayarının artırılmasında veya azaltılmasında kullanılan butonlar.
Bölüm-5	Sisteme yeni kullanıcı veya kullanıcı yüzü eklenmek istendiğinde kullanılması gereken butondur.
Bölüm-6	Sistemde tanımlı olan bir kullanıcı veya kullanıcıya ait yüzlerden biri değiştirilmek istendiğinde kullanılması gereken butondur.
Bölüm-7	Sistemde tanımlı olan bir kullanıcı veya kullanıcıya ait yüzlerden biri silinmek istendiğinde kullanılması gereken butondur.
Bölüm-8	Sistemde tanımlı olan bir kullanıcıya yeni bir yüz eklenmek istediğinde veya kullanıcının mevcut olan yüzlerden biri yenilenmek istendiğinde “Capture” botununa basılarak, “Who are you?” tarafından o an tespit edilmiş yüzün kullanıcıya atanması sağlanmaktadır.
Bölüm-9	Kullanıcı bilgileri veya kullanıcıya ait yüzlerden biri değiştirildikten sonra “Save” butonuna basılarak değişikliklerin kalıcı olarak “Who are you?” veritabanına aktarılması sağlanır.

Bölüm-10	Kullanıcı bilgileri veya kullanıcıya ait yüzlerden biri değiştirildikten sonra “Cancel” butonuna basılarak yapılan tüm değişikliklerin “Who are you?” veritabanına yazılmaksızın iptal edilmesi sağlanır.
----------	---

6.2.2 Yüz Tanıma Sisteminin Eğitilmesi

Yüz tanıma sisteminin eğitilmesi ile ilişkili grafiksel kullanıcı ekranı görüntüsü Şekil 6.4’de, bu ekrandaki öğelerle ilgili açıklamalar ise Çizelge 6.4’de görülebilir.



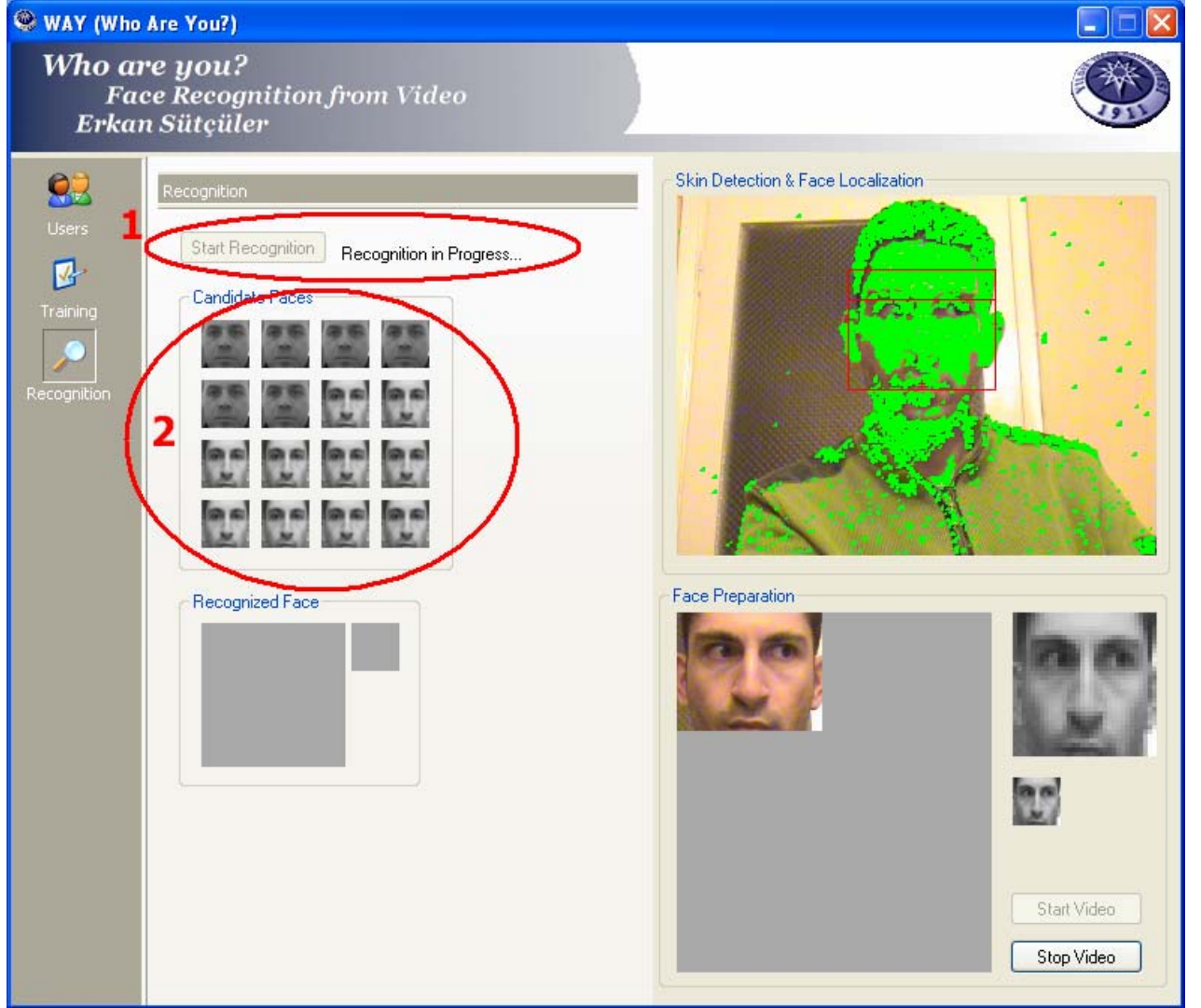
Şekil 6.4 Yüz tanıma sisteminin eğitilmesi grafiksel kullanıcı arayüzü

Çizelge 6.4 Yüz tanıma sisteminin eğitilmesi grafiksel kullanıcı arayüzü alanları

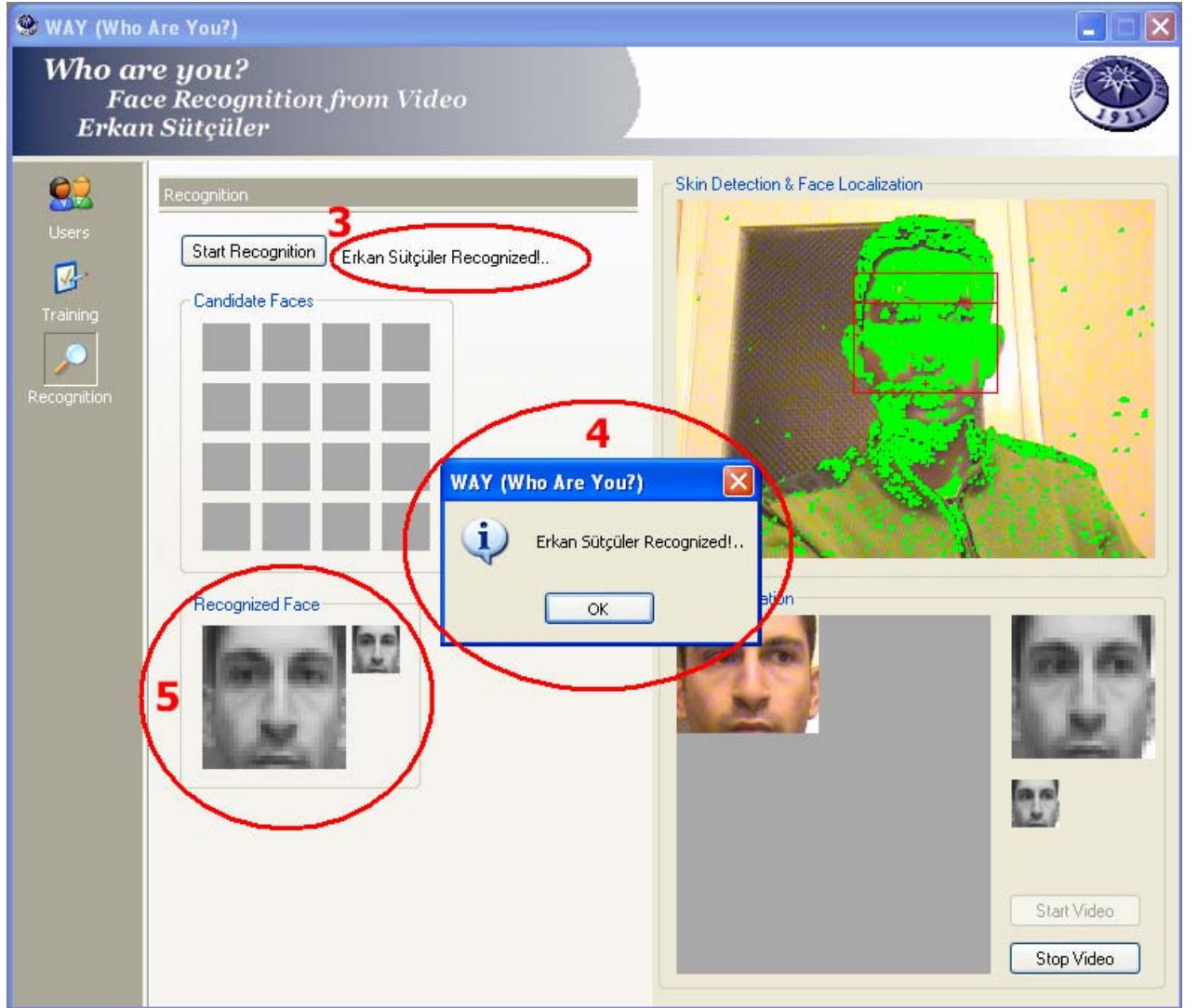
Grafiksel Alan	Açıklama
Bölüm-1	Eğitim işlemi sonucunda elde edilen ortalama yüz resminin gösterildiği alandır. 32x32 orijinal boyutlarda (sağda) ve 96x96 büyültülmüş boyutlarda görülebilmektedir.
Bölüm-2	“Train System” butonuna basılarak, temel bileşen analizi yöntemiyle her bir yüz için çıkarılan özellik setinin kullanılarak, destek vektör analizi metodu ile “Who are you?” uygulamasının eğitilmesi sağlanır.
Bölüm-3	Temel bileşen analizi yönteminde kaç tane özdeğer ve özvektör kullanıcılığı bu alana girilen sayı ile öngörülmektedir.
Bölüm-4	Eğitim işleminden sonra her bir kişinin sistemde yer alan yüzleri için elde edilen özellik setleri bu alanda görülebilmektedir. Her bir yüzün özellik setinde Bölüm-3’deki alana girilen sayı kadar özellik bilgisi yer alacaktır.

6.2.3 Yüz Tanıma İşlemi

Yüz tanıma işlemi ile ilişkili grafiksel kullanıcı ekranı görüntüleri Şekil 6.5 ve Şekil 6.6’da, bu ekranlardaki öğelerle ilgili açıklamalar ise Çizelge 6.5’de görülebilir.



Şekil 6.5 Yüz tanıma işlemi grafiksel kullanıcı arayüzü (Yüz tanıma işlemi sırasında)



Şekil 6.6 Yüz tanıma işlemi grafiksel kullanıcı arayüzü (Yüz tanıma işlemi sonucunda)

Çizelge 6.5 Yüz tanıma işlemi grafiksel kullanıcı arayüzü alanları

Grafiksel Alan	Açıklama
Bölüm-1	“Start Recognition” butonuna basılarak yüz tanıma işleminin başlatılması sağlanır. Bu işlemin başlatılması için sistemin “Training” ekranın eğitilmiş olması ve “Start Video” butona basılarak video kamera ile “Who are you?” uygulaması arasında etkileşimin başlatılmış olması gerekmektedir. Tanıma işlemi sırasında “Start Recognition” butonu basılamaz (disabled) duruma gelmektedir.
Bölüm-2	Tanınan yüzler üzerinde uygulanan kayan pencere yaklaşımının sonuçları bu alan üzerinde görülmektedir. Şekil 6.5, Bölüm-2’de de görüldüğü tanıma işlemleri sonucunda elde edilebilecek birbirlerinden farklı sonuçlardan kaynaklanan sapmalar ancak böyle bir yöntemle giderilebilecektir.
Bölüm-3	Tanıma işlemi sonrasında tanınan yüzün sistemdeki kullanıcılardan hangisine ait olduğu bu alanda gösterilmekte ve “Start Recognition” butonu tekrardan basılarak (Enabled) duruma gelmektedir.
Bölüm-4	Tanıma işlemi sonucunda tanınan yüzün sahibi mesaj kutusu grafik kullanıcı arayüzü ile de “Who are you?” uygulama kullanıcıya gösterilmektedir.
Bölüm-5	Tanıma işlemi sonrasında tanınan kişinin sisteme daha önceden kayıt edilmiş orijinal resmi bu alanda gösterilmektedir.

7. DENEYSEL SONUÇLAR

Geliştirilen “Who are you?” gerçek zamanlı video tabanlı yüz bulma ve tanıma uygulamasının başarımlarının analizi 3 farklı yaklaşımla gerçekleştirilmiştir:

1. Yüz bulma alt sisteminin bağımsız olarak başarımlarının analiz edilmesi.
2. Yüz tanıma alt sisteminin bağımsız olarak başarımlarının analiz edilmesi.
3. Yüz bulma ve yüz tanıma alt sistemlerinin “Who are you?” uygulaması kapsamında gerçek zamanlı olarak çalıştırılması ile elde edilen başarımlarının analiz edilmesi.

Yüz bulma alt sisteminin başarımlarının test edilmesi sırasında ağırlıklı olarak Essex Üniversitesi tarafından geliştirilen yüz tanıma kütüphanesi kullanılmıştır. Bu kütüphanede yer alan yüzlere ait resimlerin önemli bir kısmı tek renkli bir arkaplanda çekildiği için, bu tez kapsamında geliştirilen yüz tanıma alt sistemini test etmek için en uygun kütüphanelerden biri olarak görülmektedir. Bunun nedeni ise geliştirilen yüz tanıma alt sisteminin ilk adımının video kamera önüne geçen kişiyi arkaplandan ayırıyor olması ve yüz bulma işlemini arkaplandan bağımsız olarak gerçekleştiriyor olmasıdır. Test sırasında kullanılan yüz resimlerin tek renkli bir arkaplana sahip olmaları ise yüz bulma sisteminin bu ilk adımına karşılık gelmektedir ve arkaplandan ayrıştırılmış insan resimleri üzerinde yüz alanının bulunması problemini simüle etmektedir.

Yüz tanıma alt sisteminin başarımlarının test edilmesi için ise AT&T Laboratuvarları’nda geliştirilen yüz veritabanı kullanılmıştır. Bu tez kapsamında geliştirilen yüz tanıma alt sistemi, yüz bulma alt sisteminin çıktıları olan kanonik yüz modeli resimlerini giriş verisi olarak kullanmaktadır. Kanonik yüz modelindeki resimlerin ortak özellikleri ise 32x32 boyutlarında, gri renk seviyesinde ve resim üzerinde sadece yüz bilgisini içeren standartlaştırılmış bir biçimde olmalarıdır. Benzer şekilde AT&T Laboratuvarları’nda geliştirilen yüz veritabanındaki resimlerin özelliği de 92x112 boyutlarında, gri renk seviyesinde ve resim üzerinde çoğunlukla yüz bilgisini içeren bir yaklaşımda olmalarıdır. Böylece bu veritabanındaki resimler üzerinden uygulanan yeniden boyutlandırma işleminin ardından bu resimler yüz tanıma alt sisteminin test edilmesi için uygun hale getirilmişlerdir.

7.1 Yüz Bulma Alt Sistemi Deneysel Sonuçları

Yüz bulma alt sisteminin başarımlarını test etmek için ağırlıklı olarak Essex Üniversitesi tarafından geliştirilen yüz tanıma kütüphanesinden alınan resimler kullanılmıştır. Yukarıdaki giriş bölümünde de belirtildiği gibi bu kütüphanedeki resimlerin sabit renkli bir arkaplanda çekilmiş olmaları, geliştirilen yüz tanıma alt sisteminde video kamera önüne gelen kişinin arkaplandan ayrıştırılması işlemine karşılık gelmektedir. Bunun yanında bu kütüphane ile beraber bir takım raslantısal insan ve portre resimleri de seçilerek test edilmişlerdir. Şekil 7.1’de yüz bulma alt sisteminin performans testleri sırasında kullanılan resimlerden bir grup görülebilir.



Şekil 7.1 Yüz bulma alt sisteminin performans testlerinde kullanılan resimlerden bazıları

Seçilen toplam 100 tane resim yüz bulma alt sistemine giriş verisi olarak gelen video karelerini temsil etmektedir. Yüz bulma alt sisteminin performans testleri sırasında özellikle 100 tane resmin seçilip yüz bulma başarımlarının değerlendirilmesinin nedeni, yüz bulma alt sisteminin performansını net olarak belirleyebilmektir. Aksi durumda video kameradan gelen video kareleri ile yüz bulma alt sisteminin performans ölçümünü net olarak sayısal anlamda ölçmek mümkün olmayacaktır.

Oluşturulan 100 tane test resminin “Who are you?” uygulaması kapsamındaki yüz bulma alt sistemi tarafından analiz edilmesi sonucunda **%90** oranında başarımla elde edilmiştir. Şekil 7.2’de Şekil 7.1’de yer alan resimlere uygulanan yüz bulma işlemi sonucunda elde edilen resimler gösterilmiştir.



Şekil 7.2 Yüz bulma alt sistemini tarafından tespit edilen yüzler

Şekil 7.3’de Şekil 7.2’de bulunan yüzlerin “Who are you?” uygulaması tarafından kanonik yüz modeline dönüştürülmüş biçimleri görülmektedir. Yüz resimlerinin en yukarıda çeyreğinin altında kalan yatay çizgi ise gözleri işaret etmektedir.

Yapılan testler sırasında yüz bulma alt sistemin çalışma hızının gerçek zamanlı bir uygulama için oldukça başarılı düzeyde olduğu gözlemlenmiştir. Sistem bir video karesi üzerindeki yüzün tespit edilip, kanonik yüz modelinin oluşturulması işlemine kadar geçen süreci ortalama olarak Intel Pentium Mobile 1.7 GHz işlemcili kişisel bilgisayar ortamında **100 ms**’de gerçekleştirmektedir.



Şekil 7.3 Yüz tanıma alt sistemini tarafından oluşturulan kanonik yüz modelleri (32x32 normal boyutlarında ve 3 kat büyültüş 96x96 boyutlarında)

Sistemin çalışma hızının yüksek olmasının en temel etkenleri:

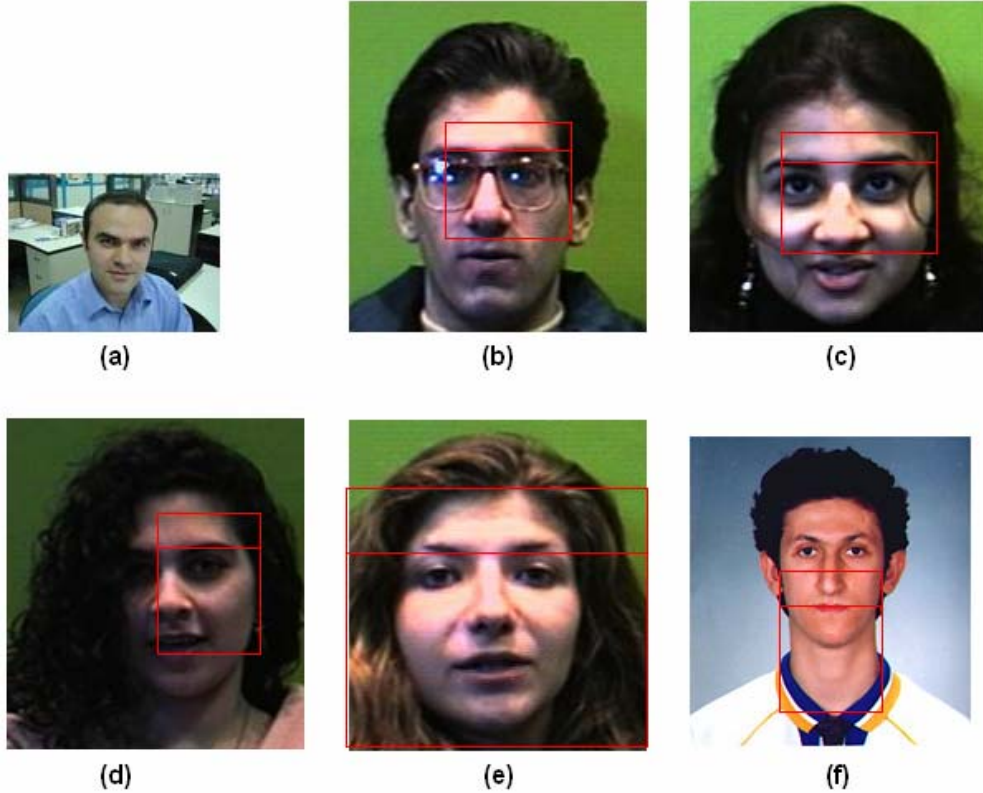
1. Arkaplandan ayrıştırılan bireyin resmi üzerindeki ten rengi piksellerin, bir kontrol tablosu üzerinden olabildiğince hızlı ve basit olarak tespit edilmesi.
2. Ten rengi alanlar üzerindeki yüzün tespit edilmesi işleminin herhangi bir karmaşık makine öğrenmesi işlemini gerçek zamanlı olarak gerektirmemesi ve olabildiğince basit matematiksel işlemlerden oluşmasıdır.

7.1.1 Yüz Bulma Alt Sisteminin Başarımını Etkileyen Faktörler

Yüz bulma alt sistemi ile ilgili tüm bu testler gerçekleştirilirken aynı zamanda yüz bulma alt sistemi için geliştirilen yöntemin ne gibi durumlarda başarısız çalıştığı da incelenmiştir. Başarısız yüz bulma işlemlerinin temel nedenleri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Birey üzerinde ten renginde veya ten rengine yakın renklerde kıyafetlerin bulunması veya resmin arkaplanın bu renklerde objeler olması. (bkz. Şekil 7.4 – a)
2. Bireyin gözlük takması ve gözlük camındaki parlamalar. (bkz. Şekil 7.4 – b)
3. Aydınlatma koşullarından ötürü bireyin yüzünde oluşan gölgeler veya parlamalar. (bkz. Şekil 7.4 – c, d, e)

4. Bireyin yüzünün bir bölümünün saçlar tarafından kapatılması veya bireyin saçlarının ten renginde veya ten rengine yakın renklerde olması. (bkz. Şekil 7.4 – d, e)
5. Bireyin boyun, kol, bacak gibi çeşitli ten rengi organlarının da kamera tarafından algılanması. (bkz. Şekil 7.4 – f)



Şekil 7.4 Yüz bulma alt sistemi tarafından elde edilen başarılı sonuçlar

7.1.2 Yüz Bulma Alt Sisteminin Başarımını Arttırmak İçin Yapılan Diğer Deneyler

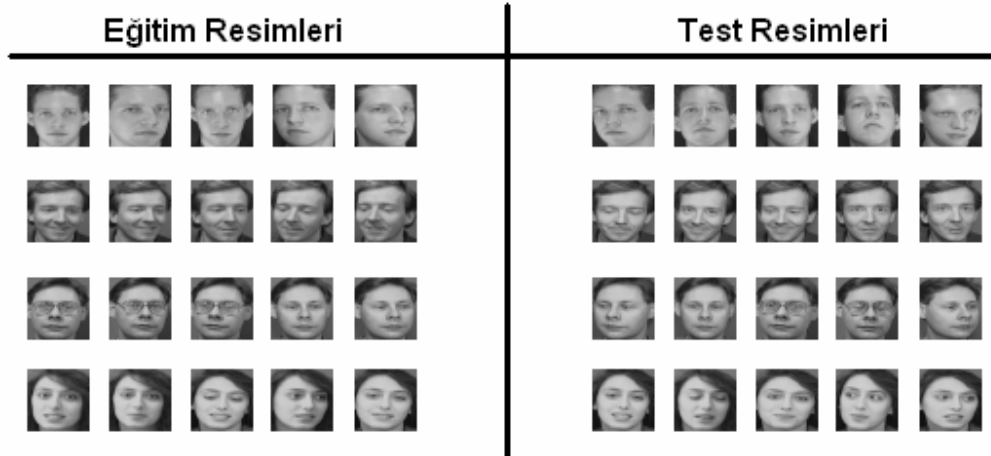
Yüz bulma alt sisteminin başarımını daha da arttırabilmek için ten rengi pikseller için yapılan istatistiksel analizler ve destek vektör makinesi ile yapılan ten rengi piksel, ten rengi olmayan piksel sınıflandırmalarına benzer analizler yüz resimleri üzerindeki dudak ve ağız alanları için de yapılmıştır. Ancak dudak ve ağız alanlarının renkleri genel olarak ten renklerine çok yakın oldukları için, bu uygulamanın yüz tanıma alt sisteminin başarımını arttırıcı herhangi bir katkısı gözlemlenmemiştir.

7.2 Yüz Tanıma Alt Sistemi Deneysel Sonuçları

Yüz tanıma alt sisteminin başarımlarını test etmek için AT&T Laboratuvarları tarafından geliştirilen yüz veritabanından alınan resimler kullanılmıştır. Giriş bölümünde de belirtildiği gibi bu kütüphanedeki resimlerin 92x112 boyutlarında, gri renk seviyesinde ve resim üzerinde sadece yüz bilgisini içerecek şekilde standartlaştırılmış biçimlerde olmaları, bu kütüphaneyi yüz tanıma alt sisteminin başarımlarını test etmek için ideal hale getirmektedir.

AT&T Laboratuvarları'nda geliştirilen yüz veritabanında 40 kişiye ait 10'ar tane yüz resmi yer almaktadır. Aynı kişiye ait resimler farklı bakış açıları, aydınlanma koşullarında ve çoğu zaman birbirlerinden farklı zamanlarda çekilmişlerdir. Her bireye ait veritabanında yer alan 10 resimden 5'i tez kapsamında geliştirilen yüz tanıma alt sistemini eğitmek için kullanılırken, kalan 5 resim ise testlerde kullanılmıştır. Sonuç olarak yüz tanıma alt sisteminin testleri sırasında toplam 200 resim eğitim amaçlı kullanılırken, toplam 200 resim ise test amaçlı kullanılmıştır. Yüz veritabanında yer alan resimler kanonik yüz modelinde olduğu gibi 32x32 boyutlarına dönüştürüldükten sonra test ve eğitim işlemlerinde kullanılmışlardır.

Şekil 7.5'de yüz tanıma alt sisteminin performans testleri sırasında kullanılan resimlerden bir grup görülebilir.



Şekil 7.5 Yüz tanıma alt sisteminin performans testlerinde kullanılan eğitim ve test resimlerinden bazıları

AT&T Laboratuvarları yüz veritabanından seçilen toplam 200 tane eğitim resmi ve 200 tane test resmi, yüz tanıma alt sistemine giriş verisi olarak gelen video karelerini temsil etmektedir. Yüz tanıma alt sisteminin performans testleri sırasında özellikle 400 tane resmin seçilip yüz tanıma alt

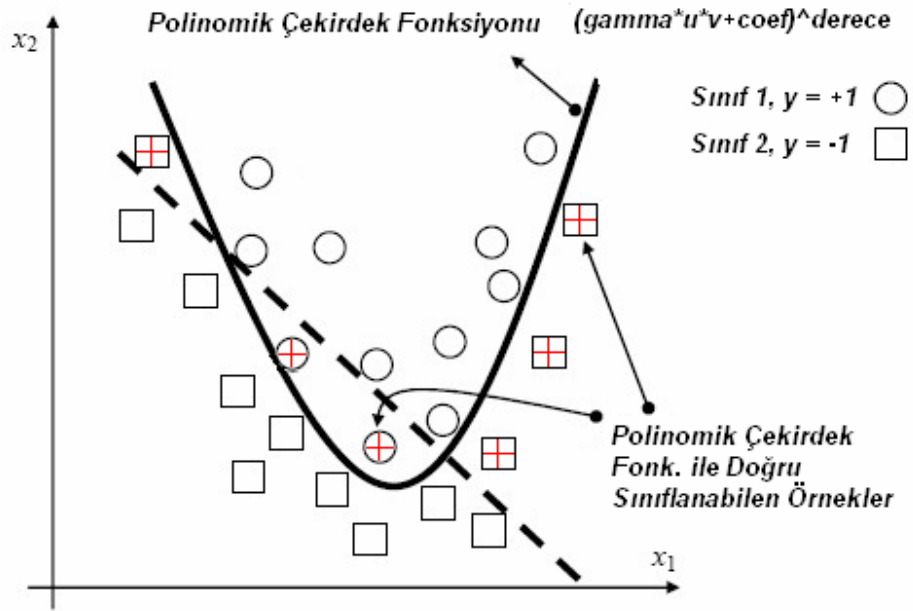
sisteminin başarımlarının değerdendirilmesinin nedeni, yüz tanıma alt sisteminin performansını net olarak belirleyebilmektir. Aksi durumda video kameradan gelen video kareleri ile yüz tanıma alt sisteminin performans ölçümünü net olarak sayısal anlamda ölçmek mümkün olmayacaktır.

Yapılan performans ölçümleri aynı zamanda uygulamanın en optimize biçimde çalıştırılması için gerekli parametrelerin ve metodolojilerin bulunmasını da amaçlamaktadır. Yapılan farklı testler aşağıda özetlenmiştir:

1. Yüz tanıma alt sisteminin temel bileşen analizi adımımda her bir yüz için üretilen özvektörlerin kaç adet elemanı yüz tanıma işlemi sırasında yüzleri temsil eden bilgi olarak değerdendirilecektir?
2. Yüz tanıma işlemi sırasında kullanılan destek vektör makinesi hangi tip çekirdek fonksiyonunu kullanacaktır? Kullanılan çekirdek fonksiyonları için en optimum parametreler hangileridir?
3. Yüz tanıma işlemi sırasında destek vektör makinesi tamamen kaldırılıp, yerine Öklit mesafesi yöntemi kullanıldığında elde edilen sonuçlar nelerdir?

7.2.1 Polinomik Çekirdek Fonksiyonlu Destek Vektör Makinesi ile Yapılan Denemeler

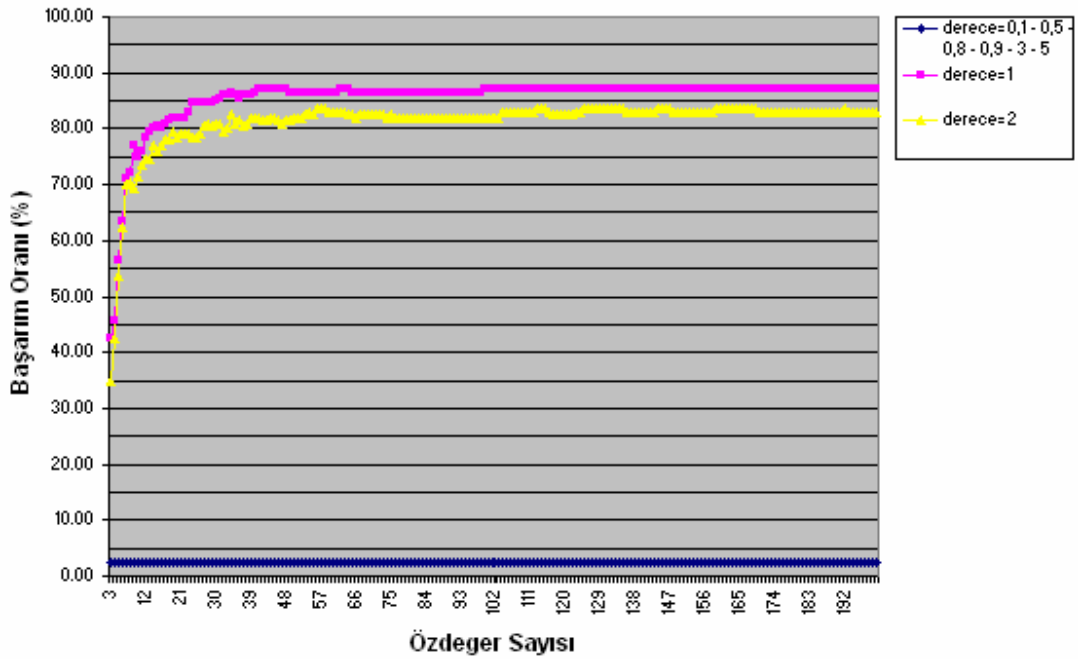
Yüz bulma alt sistemi sisteminin performans ölçümleri ilk olarak polinomik çekirdek fonksiyonları ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 7.6'da da görülebileceği gibi polinomik çekirdek fonksiyonları bazı durumlarda lineer sınıflandırma ile tam olarak birbirlerinden ayıramayan sınıf objelerini de birbirlerinden ayırmayı başarabilmektedir. Bu yüzden polinomik çekirdek fonksiyonunun parametrelerini değıştirerek yüzler arasında destek vektör makinesi sınıflandırması yapılmış ve her bir parametre için başarımlar oranı incelenmiştir.



Şekil 7.6 Polinomik çekirdek fonksiyonu

Polinomik çekirdek fonksiyonun farklı üstel dereceleri için elde edilen yüz tanıma başarımları, yüz tanıma işlemi sırasında kullanılan özdeğer sayısı veya özvektör eleman sayısına bağlı olarak Çizelge 7.1'deki grafikte belirtilmiştir.

Çizelge 7.1 Polinomik çekirdek fonksiyonu ile elde edilen yüz tanıma başarımları
Polinomik Çekirdek Fonksiyonu ile Elde Edilen Başarımların Oranı



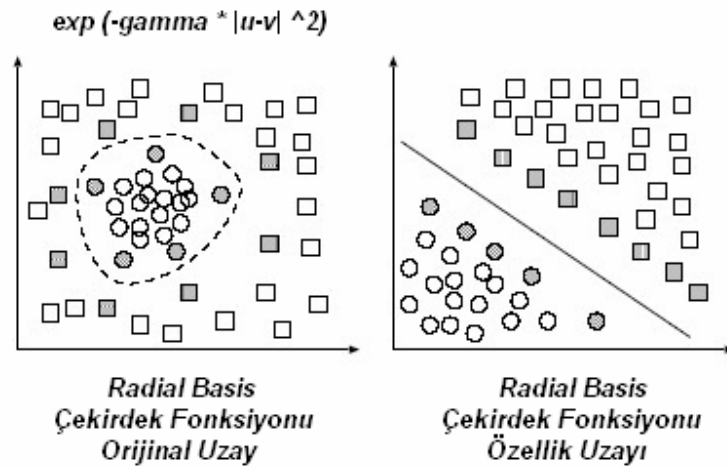
Polinomik çekirdek fonksiyonları ile yapılan testlerde 0,1., 0,5., 0,8., 0,9., 3. ve 5. dereceden polinomik çekirdek fonksiyonlarının yüz tanıma işlemlerinde başarısız sonuçlar ürettiği gözlemlenmiştir.

1. dereceden polinomik çekirdek fonksiyonunun başarımının 120 civarında özdeğer kullanıldığında **%87**'ye kadar ulaştığı gözlemlenmiştir. 120 özdeğer, testlerden önce eğitilmiş toplam 200 özdeğerin %60'ına karşılık gelmektedir.

2. dereceden polinomik çekirdek fonksiyonunun başarımının ise 130 civarında özdeğer kullanıldığında **%83,5**'a kadar ulaştığı gözlemlenmiştir. 130 özdeğer, testlerden önce eğitilmiş toplam 200 özdeğerin %65'ine karşılık gelmektedir.

7.2.2 Radyal Tabanlı Çekirdek Fonksiyonlu Destek Vektör Makinesi Kullanılarak Yapılan Denemeler

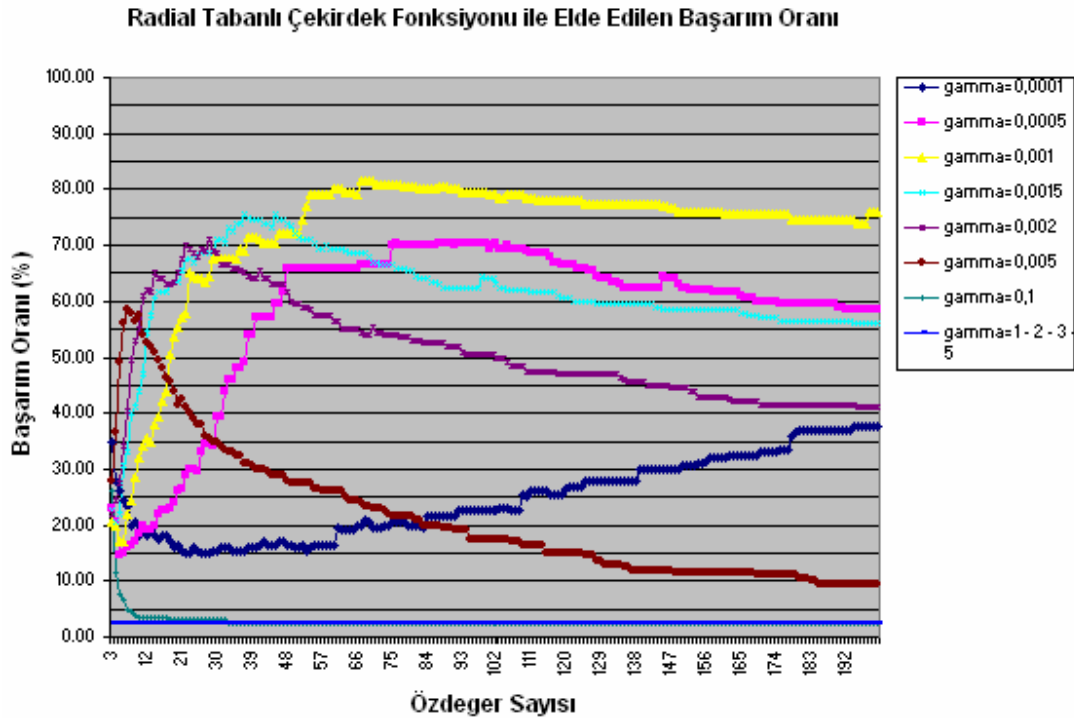
Yüz bulma alt sistemi sisteminin performans ölçümleri radyal tabanlı çekirdek fonksiyonları ile de gerçekleştirilmiştir. Şekil 7.7'de radyal tabanlı çekirdek fonksiyonunun karakteristiği gösterilmiştir



Şekil 7.7 Radyal tabanlı çekirdek fonksiyonu

Radyal tabanlı çekirdek fonksiyonun farklı gamma değerleri için elde edilen yüz tanıma başarımları, yüz tanıma işlemi sırasında kullanılan özdeğer sayısı veya özvektör eleman sayısına bağlı olarak Çizelge 7.2'deki grafikte belirtilmiştir.

Çizelge 7.2 Radyal tabanlı çekirdek fonksiyonu ile elde edilen yüz tanıma başarımları



Radyal tabanlı çekirdek fonksiyonun birbirlerinden farklı gamma değerleri için elde edilen en yüksek tanıma oranları Çizelge 7.3’de gösterilmiştir. Bu tabloda gözükten değerlerden de anlaşılacağı üzere radyal tabanlı çekirdek fonksiyonu kullanılarak gerçekleştirilen destek vektör makinesi ile yüz tanıma işleminde en yüksek başarımları **%81,5**’dir. Bu oran gamma değeri 0,001 iken, 67 tane özdeğer kullanıldığında elde edilmiştir. 67 tane özvektör toplam özvektör sayısının %34’ünü karşılık gelmektedir.

Çizelge 7.3 Radyal tabanlı çekirdek fonksiyonu ile elde edilen en yüksek yüz tanıma başarımları

Gamma	Özdeğer Sayısı	Başarım Oranı
0,0001	194	%37,5
0,0005	87	%70,5
0,0010	67	%81,5
0,0015	45	%75,5

0,0020	28	%71,0
0,0050	7	%58,5
0,1000	3	%26,0
1-2-3-5	3	%2,5

7.2.3 Öklit Mesafesi Kullanılarak Yapılan Denemeler

Yüz bulma alt sistemi sisteminin performans ölçümleri aynı zamanda yüz bulma alt sistemindeki destek vektör makinesi adımı sistemden tamamen kaldırılıp bunun yerine aşağıda belirtilen Öklit mesafesi yöntemi kullanılarakta ölçülmüştür.

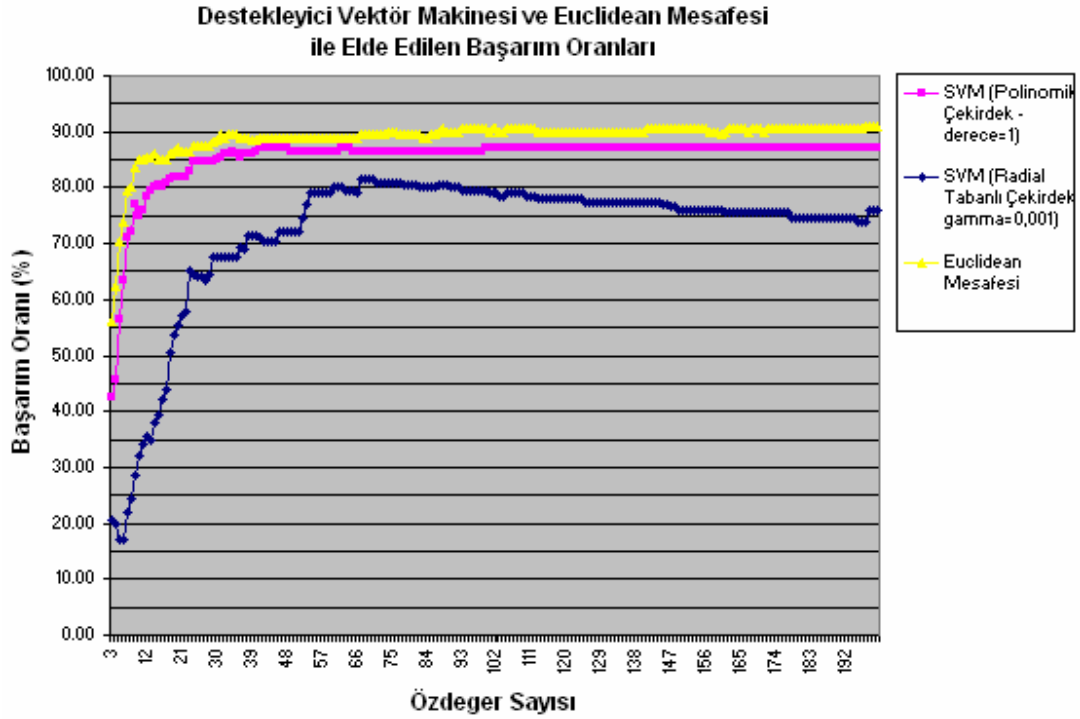
$$L_2(A, B) = \sum_{i=1}^N (A_i - B_i)^2 \quad (7.1)$$

Yöntem temel olarak test işlemi sırasında elde edilen özellik vektörünün, eğitim sırasında elde edilmiş olan özellik vektörlerinden hangisine daha yakın olduğunun destek vektör makinesi tabanlı olarak değilde, Öklit mesafesi hesaplanarak bulunması esasına dayanmaktadır.

Öklit mesafesi kullanılarak yapılan testlerde yüz tanıma alt sisteminin başarımının eğitim yüz resmi sayısı kadar özvektör kullanıldığında %91'lere kadar yükseldiği görülmektedir.

Çizelge 7.4'de polinomik ve radyal tabanlı çekirdek fonksiyonlarının en optimum parametreleri kullanıldığında elde edilen başarımlar, destek vektör makinesi tamamen kaldırılıp Öklit mesafesi yöntemi kullanıldığında elde edilen başarımlar gösterilmiştir.

Çizelge 7.4 Destek vektör makinesi ve Öklit mesafesi kullanıldığında elde edilen yüz tanıma başarımları



7.2.4 Yüz Tanıma Alt Sisteminin Başarımını Etkileyen Faktörler

Yüz tanıma alt sistemi ile ilgili tüm bu testler gerçekleştirilirken aynı zamanda yüz tanıma alt sistemi için geliştirilen yöntemin ne gibi durumlarda başarısız çalıştığı da incelenmiştir. Şekil 7.8’de yüz bulma alt sistemi tarafından gerçekleştirilen 4 örnek başarısız yüz eşleştirmesi gösterilmiştir. Başarısız yüz bulma işlemlerinin temel nedenleri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Görünümleri, saç yapıları ve renkleri, alın genişlikleri birbirlerine çok benzeyen yüzler. (bkz. Şekil 7.8 – a, b)
2. Gözlüklü yüzler ve gözlüklerde meydana gelen parlamalar. (bkz. Şekil 7.8 – a, c, d)
3. Yüzlerde yer alan sakal ve bıyıklar. (bkz. Şekil 7.8 – c, d)
4. Aydınlatma koşullarından ötürü bireyin yüzünde oluşan gölgeler veya parlamalar. (bkz. Şekil 7.8 – a, c)



Şekil 7.8 Yüz tanıma alt sistemi tarafından elde edilen başarılı sonuçlar

7.2.5 Yüz Tanıma Alt Sisteminin Başarımını Arttırmak İçin Yapılan Diğer Deneyler

Birinci dereceden polinomik çekirdek fonksiyonu ile uygulanan destek vektör makinesi kullanıldığında elde edilen en yüksek %87'lik başarımla karşılık, Öklit mesafesi kullanıldığında %91'lik başarımla elde edilmiştir. Bu durum Öklit mesafesi yönteminin sistemin genel başarımını daha da arttırmak için kullanılabileceği gerçeğini ortaya koymuştur. Uygulama gerçek zamanlı olarak çalıştırılırken her iki yöntemin de eş zamanlı olarak kullanılmasıyla, sistemin genel başarımının nasıl değiştiği incelenmiştir.

Başka bir deyişle temel bileşen analizi sonucunda bir test video karesi için oluşturulan özellik vektörlerinin:

1. Birinci dereceden polinomik fonksiyon kullanılarak oluşturulan destek vektör makinesiyle hangi kişiye ait eğitim resimlerine daha yakın olduğu bulunur (Geçerli özdeğer (özvektör) sayısı = $0,6 \times \text{Toplam eğitim yüzü sayısı}$),
2. Öklit mesafesi kullanılarak hangi kişiye ait eğitim resimlerine daha yakın olduğu bulunur (Geçerli özdeğer (özvektör) sayısı = $0,6 \times \text{Toplam eğitim yüzü sayısı}$).

Eğer bu 2 testin sonucunda da aynı kişi işaret ediliyorsa test işleminin sonucu geçerli sayılır, aksi takdirde bu testlerin birbirinden farklı kişilere işaret ettiği durumlarda test işleminin sonucu geçersiz sayılmalıdır.

Hem destek vektör makinesi ve hem de Öklit mesafesi ile elde edilen test sonuçların birbirilerini doğrulamasının beklendiği deneylerde **%84** oranında doğru eşleşme, yalnızca **%5** oranında hatalı eşleşme ve **%11** oranında iki yöntemin birbirini doğrulamadığı durumla karşılaşmıştır.

Yüz tanıma alt sistemi, gerçek zamanlı olarak video cihazından gelen video karelerini arka arkaya işleyerek çalışacağı için, tanıma işlemi sırasında gerçek zamanlı olarak değerlendirilecek yeterince test resmi olacaktır. Dolayısı ile destek vektör makinesi yöntemi ile Öklit mesafesi yöntemlerinin sonuçlarının eşleşmediği **%11**'lik oran arka arkaya işlenen video kareleri ile oldukça rahat telafi edilebilecek bir oran olmaktadır ve geliştirilen yöntemin ve uygulamanın video tabanlı olmaları bu anlamda oldukça ciddi bir avantaj sağlamaktadır. Bu iki yöntem bir arada kullanıldığında yalnızca **%5**'lik hata değeri oldukça düşük ve başarılı bir değerdir. Yüz bulma ve tanıma alt sistemi bu iki yöntem kullanılarak gerçek zamanlı olarak gerçek video kareleri ile çalıştırıldığında oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Kononik yüz modelindeki tek bir test resmi yüz tanıma alt sistemine giriş bilgisi olarak verildiğinde, bu test resmine destek vektör makinesi ve Öklit mesafesi yöntemleri arka arkaya uygulandığında yüz tanıma işleminin sonucu ortalama olarak Intel Pentium Mobile 1.7 GHz işlemcili kişisel bilgisayar ortamında **250 ms**'de alınmaktadır. Yalnızca destek vektör makinesi uygulandığında bu süre yaklaşık **240 ms**, yalnızca Öklit mesafesi uygulandığında ise yaklaşık **10 ms** olmaktadır.

Bölüm 7.2.4'de tartışılan yüz tanıma sisteminin başarımını etkileyen faktörden biri olan aydınlanmanın etkisini azaltmak için eğitim ve test işlemleri sırasında yüz bulma alt sistemi tarafından hazırlanan kanonik yüz modelleri üzerinde kontrast eşleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Ancak kanonik yüz modellerindeki resimlerin boyutu 32x32 boyutlarına getirilirken meydana gelen veri kaybının üstüne bir de kontrast eşleme işleminin sonucunda meydana gelen veri kaybı eklenince tanıma işleminin başarımının **%55** civarlarına düştüğü gözlemlenmiş ve kontrast eşleme uygulamasından vaz geçilmiştir.

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında video tabanlı ve gerçek zamanlı bir yüz bulma ve tanıma sistemi için ihtiyaç duyulan metodolojiler ve yaklaşımlar tasarlanmış ve problemin çözümü için yüksek standartlarda bir uygulama geliştirilmiştir. Bu konularda yapılan pekçok bilimsel makale ve tez çalışmasında yüz bulma ve yüz tanıma konuları birbirlerinden bağımsız olarak incelenmiştir. Çalışmalar çoğunlukla yalnızca yüz bulma konusuna odaklanmış veya mevcut yüz veri bankaları kullanılarak yalnızca yüz tanıma konusuna odaklanmıştır. Bu tez çalışması kapsamında ise hem yüz tanıma hem de yüz bulma alanında bütün, doğru ve uygulanabilir yöntemlerin geliştirilmesi ve tüm bu yöntemlerden yararlanılarak işlevsel, son kullanıcıların kullanımına hazır, yüksek performans ve başarımlarına sahip bir ürünün geliştirilmesi hedeflenmiştir.

Böylesine bütün ve uygulanabilir bir uygulamanın üretilebilmesi için dizayn edilen yöntemler ve bu yöntemler kullanılarak geliştirilen uygulama iki farklı fonksiyonel modülden meydana getirilmiştir. Bu modüller:

1. Yüz bulma alt sistemi
2. Yüz tanıma alt sistemi

Yüz bulma alt sistemi ile yapılan testlerde başarımlarının %90'a kadar ulaştığı ve her bir video karesinin Intel Pentium Mobile 1.7 GHz işlemcili kişisel bilgisayar ortamında en fazla 100 ms'de işlenerek yüz bulma işleminin tamamlandığı gözlemlenmiştir. Yüz bulma alt sisteminin bu denli yüksek performanslı çalışmasının nedeni yüzün tespit edilmesi işleminin herhangi bir karmaşık makine öğrenmesi işlemini gerçek zamanlı olarak gerektirmemesi ve yalnızca olabildiğince basit matematiksel işlemlerden oluşmasıdır.

Önerilen yüz bulma alt sistemi herhangi bir hareketin ve görsel değişimin olmadığı, sabit bir arkaplana giriş yapan kişilerin tanınması esasına dayanmaktadır. Böylece söz konusu sistemde önplan tespiti, sahneye giriş yapan insanın konumlandırılması anlamına gelmektedir. Yüz bulma sistemi ilk çalıştırıldığı anda video kamera tarafından alınan ilk video karesi yüz bulma sisteminin çalıştırılacağı arkaplan görüntüsü olarak kabul görmektedir. Bu yöntemle sistemin video tabanlı geliştirilmiş olmasının avantajından yararlanılmıştır. Sahneye giren insan, arkaplan pikselleri ile en son video karesinin karşılaştırılması ile oldukça hızlı tespit edilebilmektedir. Böylece bir resim üzerindeki yüz bulma problemi, bir insanın dijital görünüm bilgisi üzerindeki yüzün tespit edilmesi problemine dönüştürülmüş olmaktadır.

Yüz bulma alt sisteminin ten rengini tespit etme metodolojisi gücünü, ten rengi olan ve ten rengi olmayan pikseller üzerinde uygulanan destek vektör makinesi ikili sınıflandırmasından almaktadır. Ancak tüm bu sınıflandırmalar uygulama geliştirilirken yapılmış ve elde edilen sonuçlar uygulama veritabanında saklanmıştır. Uygulama gerçek zamanlı olarak çalıştırıldığında, video kareleri üzerindeki ten rengi piksellerin, bir kontrol tablosu üzerinden olabildiğince hızlı ve basit olarak tespit edilmesini sağlayan programlama teknikleri kullanılmıştır.

Yüz tanıma alt sistemi video kareleri üzerindeki yüzün konumunu ve boyutlarını tespit ettikten sonra standartlaştırılmış bir göz tabanlı kanonik yüz modeli oluşturur. Bu model genel olarak tüm yüz resimlerinin 32x32 boyutlarda, gri renk düzeyinde ve sadece yüz bilgisini içeren resimler olmaları esasına dayanmaktadır. Örneğin bu modelde dikey ekseninde yukarıdan itibaren 8. pikselde gözler yer almaktadır. Tespit edilen yüz resimlerinin böylesine standartlaştırılmış bir modele dönüştürülmeleri yüz tanıma alt sisteminin başarımlı performansı için oldukça önem taşımaktadır. Aksi durumda ortak bir kaliteye ve standarta getirilmemiş yüz resimleri üzerinde yüz tanıma işleminin gerçekleştirilmesi oldukça güç olacaktır.

Yüz tanıma alt sisteminin başarımlının ise %91'e kadar yükseldiği gözlemlenmiştir. Yüz tanıma alt sistemi genel olarak temel bileşen analizi ile elde edilen özellik kümelerinin destek vektör makinesi ile sınıflandırılması ve tanıma işlemleri sırasında da test özellik kümelerine, en yakın eğitim özellik kümelerinin bulunması esasına dayanır. Çizelge 8.1'de destek vektör makinesiyle beraber kullanılan çeşitli çekirdek fonksiyonları için elde edilen en yüksek başarımlı oranları gösterilmiştir. Ayrıca destek vektör makinesi uygulaması tamamen yüz tanıma alt sisteminden kaldırılıp, bunun yerine sadece Öklit uzaklığı ile tanıma işlemi gerçekleştirildiğinde elde edilen sonuçlarda gösterilmiştir. Buna ek olarak destek vektör makinesi ve Öklit mesafesi yöntemleri beraber kullanıldıklarında elde edilen başarımlı ve hata oranları da gösterilmiştir.

Özellikle destek vektör makinesi ve Öklit mesafesi bir arada kullanıldığında elde edilen %5'lik hata oranı oldukça başarılı bir hata oranıdır. Bu yöntemde gerçekleştirilen testlerin %84'ünde başarılı sonuç elde edilmiştir. Testlerin %11'inde destek vektör makinesi ile Öklit mesafesi yöntemleri aynı kişiye işaret etmediği için bu testler geçersiz sayılmıştır. Gene geliştirilen sistemin video tabanlı olmasının avantajından yararlanarak destek vektör makinesi yöntemi ile Öklit mesafesi yöntemlerinin sonuçlarının eşleşmediği %11'lik oran arka arkaya işlenen video kareleri ile oldukça rahat telafi edilebilen bir oran olmaktadır.

Çizelge 8.1 Yüz tanıma alt sistemi başarımlar oranları
(Testler Intel Pentium Mobile 1.7 GHz işlemcili kişisel bilgisayar ortamında gerçekleştirilmiştir)

Yöntem	Çalışma Süresi	Başarımlar Oranı	Hata Oranı
Destek Vektör Makinesi (Polinomiyal Çekirdek Fonksiyonu – derece=1)	240 ms	%87	%13
Destek Vektör Makinesi (Radyal Tabanlı Çekirdek Fonksiyonu – gamma=0,001)	240 ms	%81.5	%18,5
Öklit Mesafesi	10 ms	%91	%9
Destek Vektör Makinesi (Polinomiyal Çekirdek Fonksiyonu – derece=1) + Öklit Mesafesi	250 ms	%84	%5 (+ %11 Kabul Edilmeyen Sonuç)

Bu tez kapsamında geliştirilen yüz tanıma alt sisteminin testlerinde AT&T Laboratuvarları'na ait yüz veritabanı kullanılmıştır. Perez ve arkadaşlarına ait sinir ağları tabanlı bir çalışmanın (2003) testlerinde de aynı yüz veritabanı kullanılmıştır. Perez'in elde edilen %84'lük başarımlar oranı ve %16'lık hata oranına karşılık, bu tez kapsamında geliştirilen destek vektör makinesi ve Öklit mesafesi tabanlı yöntemin %84'lük başarımlar oranı ve %5'lik hata oranı ile çalışması, yalnızca Öklit mesafesi kullanıldığında %91'lik başarımlar oranlarına ulaşılması geliştirilen yöntemin başarımlarını ve tutarlılığını gösteren diğer bir unsurdur.

Yüz tanıma alt sistemin temel bileşen analizi ve destek vektör makinesi yöntemleri ile eğitilmesi sırasında, bir yüz resminin sistemde eğitilmesi yaklaşık olarak 65 ms sürmektedir. Sistemin gerçek zamanlı yüz bulma ve yüz tanıma işlemlerinden önce tek bir defa eğitileceği düşünülecek olursa her bir yüz resmi için 65 ms oldukça kabul edilebilir bir süre olacaktır.

Yine benzer şekilde yüz tanıma alt sisteminin video tabanlı olarak çalışmasının avantajından yararlanılarak kayan pencere yaklaşımı uygulanmıştır. Bir yüz tanıma işleminin geçerli sayılabilmesi için video kamera önüne geçmiş olan kişinin veritabanında yer alan eğitim yüzlerinden biriyle en az birkaç kere eşleşmesi gerekmektedir. Kayan pencere yaklaşımı tanıma

işleminin tutarlılığını ve başarı oranını arttırmak için bu tez kapsamında geliştirilmiş bir metodolojidir.

Geliştirilen yüz bulma ve yüz tanıma alt sistemleri video tabanlı bir altyapı üzerinde çalıştırılmalarının avantajlarından da yararlanarak aşağıdaki yeteneklere sahip olacak şekilde geliştirilmişlerdir:

1. Sistem video kamera tarafından izlenen sahneye giren herhangi bir mesafedeki tek bir yüzü bulacak ve ardından tanıyacak şekilde tasarlanmıştır.
2. Sistem video tabanlı olarak geliştirildiği için gerçek zamanlı olarak kullanılabilir. Ayrıca geliştirilen yöntemler uygulama kapsamındaki yüz bulma ve yüz tanıma alt sistemlerinin kişisel bilgisayar ortamında bile gerçek zamanlı olarak kullanılmasına olanak verecek performans seviyelerinde geliştirilmiştir.
3. Video kamera tarafından uygulamaya aktarılan video karelerinin her biri için yüz bulma ve yüz tanıma işlemleri uygulanmaktadır. Hem yüz bulma alt sistemi, hem de yüz tanıma alt sistemi ürettikleri sonuçların geçerli olup olmadıklarını kontrol etmektedirler. Başarılı bir tanıma eşleşmesinin ardından, video kameradan uygulamaya kesintisiz olarak aktarılmaya devam video kareleri kullanılmaya devam edilerek tanıma sonucu iyicene olgunlaştırılmaktadır. Ancak ardarda gelen eşleşmeler belirli bir tutarlılık düzeyine eriştikten sonra yüz tanıma alt sistemi, tanıma işlemini başarı ile tamamlanmış bir tanıma olarak görecektir.
4. Kameraya farklı açılardan bakan yüzler algılanabilmektedir.
5. Oldukça geniş bir renk aralığında ten rengi analizi yapılmakta ve kamera karşısındaki yüzler rahatlıkla yakalabilmektedir. Ancak bu geniş renk aralığı bazı çok düşük, çok yüksek aydınlanma ve yüz parlaması durumlarında ten bilgisi olmayan görünüm bilgisinin de yüz bulma sürecinde değerlendirilmesine neden olmakta yüz bulma alt sisteminin başarılarını düşürebilmektedir.
6. Yüz tanıma işlemleri öncesinde yüz tanıma alt sisteminin herhangi bir kişiye ait birden fazla (ortalama olarak 5) resimle eğitilmesi, bireylere ait farklı zamanlarda, aydınlanma koşullarında ve farklı poz açılarından çekilmiş resimlerin sistem veritabanında saklanmasına olanak vermektedir. Böylece yüz tanıma işlemi sırasında video kamera

karşına geçmiş olan kişinin o anki görünümü ve poz açısı çoğu durumda aynı bireye ait veritabanında yer alan verilerden biri ile eşleşiyor olacaktır.

7. Yüz tanıma alt sistemi tarafından kullanılan temel bileşen analizi ve destek vektör makinesi makine öğrenme yöntemlerinin uygulama kapsamında en başarılı şekilde çalışabilmesi için birçok test yapılmıştır ve sistemin genel başarımları oranı en yüksek seviyelere çekilmeye çalışılmıştır. Yapılan testler sonucunda:

- a. Temel bileşen analizinde kullanılması gereken optimum özvektör sayısı bulunmuştur
- b. Destek vektör makinesinin kullanması gereken çekirdek fonksiyon tipi ve bu fonksiyonun en başarılı tanıma sonuçları ürettiği parametreler bulunmuştur.
- c. Destek vektör makinesi yönteminin yüz tanıma alt sisteminden tamamen kaldırılıp, Öklit mesafesi yöntemi ile yüzlere ait özellik kümelerinin yakınlıklarının hesaplanmasının, tanıma işleminin başarımlarını oldukça yüksek seviyelere çektiği gözlemlenmiştir.
- d. Geliştirilen uygulama kapsamında destek vektör makinesi ile elde edilen sonuçların, Öklit mesafesi uygulaması ile elde edilen sonuçlarla doğrulanması yaklaşımı benimsenmiştir. Böylece sistemin hata oranı yalnızca %5 düzeyine düşürülerek geliştirilen yüz tanıma alt sisteminin pratik anlamdaki uygulanabilirliği iyicene artırılmıştır.

Aşağıda yüz bulma ve yüz tanıma alt sistemleri ile ilgili gelecekte yapılacak çalışmalar için öneriler yer almaktadır:

1. **Adaptif Arkaplan Güncellemesi:** Yüz bulma alt sistemi çalıştırılırken, önplanın tespit edilmesi, yani kameranın karşısına geçen insana ait dijital görüntü bilgisinin arkaplan görüntüsünden ayrıştırılması için video kamerası çalıştırıldığı anda ilk video karesi arkaplan görüntüsü olarak kaydedilmektedir. Ancak zamanla video kamerasının bulunduğu zemin veya masanın üzerinde meydana gelen sarsıntılar, veya arkaplan görüntüsündeki çeşitli değişiklikler (ışık kaynağı, gündüz gece farklılığı, sahneye yerleştirilen bir obje), uygulamanın belleğinde yer alan arkaplan görüntüsü ile gerçek arkaplan görüntüsü arasında farklılıklar oluşabilmesine neden olmaktadır. Bu yüzden

uygulama çalışırken uygulama belleğinde yer alan arkaplan bilgisini de adaptif olarak güncelleyecek bir yöntem geliştirilmelidir.

2. **Yüz Bulma Alt Sistemi Çıktılarının Doğrulanması:** Yüz bulma alt sistemi gerçek zamanlı olarak çalışırken doğası gereği herhangi bir makine öğrenmesi işlemi gerçekleştirmemektedir. Yöntemin olabildiğince hızlı çalışmasını sağlayabilmek için yöntem yalnızca ten rengi bilgisini kullanmakta ve tespit edilen ten rengi alanlar üzerinde yüz bilgisinin şekilsel olarak tespit edilmesi esasına dayanmaktadır. Dolayısı ile yöntem zaman zaman aydınlanmalardan, gölgelenmelerden veya sistemde yer alan diğer dominant ten rengi objelerden ötürü yüz bilgilerini eksik veya hatalı olarak bulabilmektedir. Bu gibi durumlarda yüz bulma alt sisteminin çıktılarının özellikle destek vektör makinesi gibi bir ikili sınıflandırma yöntemi ile doğrulanması yüz bulma alt sisteminin başarımlarını oldukça olumlu yönde etkileyecektir.
3. **Yüz Tanıma Alt Sisteminin Gerçek Zamanlı Olarak Eğitilmesi:** Yüz tanıma alt sisteminin eğitilmesi sistem veritabanında yer alan tüm yüzlerin tek bir seferde uygulamaya öğretilmesini gerektirmektedir. Yapılan testler sonucunda her bir yüz resminin yüz tanıma alt sistemine öğretilmesi yaklaşık 65 ms sürmektedir. Sistem veritabanında 300 tane yüz resmi varken bu eğitim süresi 20 saniye gibi oldukça kısa bir süre olsada, 100bin civarında yüz resminin sisteme öğretilmesi 2 saate yakın bir zaman almaktadır. Buradaki problem 100bin tane resmin yer aldığı veritabanına tek bir yüz resmi daha eklenmek istendiği durumlarda tüm bu eğitim sürecinin yeniden gerçekleştirilmesi, sistemin 2 saat boyunca tekrardan eğitilmesi gerektiğidir. Sistemin tüm bu eğitim sürecini baştan sona yeniden gerçekleştirmeksizin yeni yüzleri sistem veritabanına daha kolay ve esnek bir şekilde ekleyebilecek olması gerekmektedir. Arttırımlı temel bileşen analizi yöntemi ile sistemin daha kolay ve maliyetsiz olarak eğitilmesi sağlanabilecektir. Buna ek olarak tanıma işlemi sonucunda sistem veritabanındaki eğitilmiş yüzlerle eşleşmeyen bir test yüz resminin, otomatik olarak sisteme öğretilmesi de uygulamaya eklenmesi değerlendirilebilecek bir özelliktir.
4. **Yüz Tanıma Alt Sisteminin Aydınlanma Değişimlerinden Daha Az Etkilenmesinin Sağlanması:** Yüz tanıma alt sistemi insan yüzlerine ait özellik kümelerini temel bileşen analizi ile çıkarmaktadır. Ancak temel bileşen analizi ışık değişimlerine karşı çok hassas bir özellik kümesi oluşturma yöntemi olduğu için geliştirilen yüz tanıma alt sistemleri

değişken ışıklandırma koşullarına ve çeşitli parlamalara karşı oldukça hassas tepkiler vermektedir. Ancak daha da başarılı tanıma sonuçları elde etmek için ışık kaynağı ve yüz ifadesi gibi koşullardan bağımsız olarak başarıyla çalışabilen doğrusal farklılık analizi (LDA – Linear Discriminant Analysis) yöntemi kullanılabilir.

Bu tez çalışmasında sonuç olarak hem yüz tanıma alt sistemi hem de yüz bulma alt sistemi gerçek zamanlı bir uygulamanın ihtiyaçlarını ve hedeflerini karşılayacak şekilde geliştirilmiştir. Aynı zamanda kullanılan video teknolojisinin avantajlarından da yararlanılarak uygulamanın başarımını en yüksek seviyelere çıkaracak yöntemler tespit edilmiş ve uygulanmıştır. Bu yöntemler geliştirilirken uygulamanın gerçek zamanlı bir uygulama olarak yüksek performans ve hızla çalışması gerektiği de hiçbir zaman gözden kaçırılmamıştır.

KAYNAKLAR

Atalay, I., (1996), "Face Recognition using Eigenfaces", *Istanbul Technical University*, M. Sc. Thesis.

Bellhumeur, P. ve Hespanha, J., (1999), "Eigenfaces vs. Fisherfaces: Recognition using Class Specific Linear Projection", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 711-720.

Blanz, V. ve Vetter, T., (1997), "A morphable Model for the synthesis of 3D faces", *SIGGRAPH*, 187-194.

Blanz, V. ve Vetter, T., (2003), "Face Recognition based on Fitting a 3D Morphable Model", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1063-1074.

Chen, L., Man, H. ve Nefian, A.V., (2005), "Face Recognition based on Multi-class Mapping of Fisher Score", *Pattern Recognition*, 799-811.

Cootes, T., Taylor, T., Cooper, C. ve Graham, D., (1995), "Active Shape Models – Their Training and Application", *Computer Vision and Image Understanding*, 38-59.

Cortes, C. ve Vapnik, V., (1995), "Support-vector networks. Machine Learning", 20/273-297.

Cox, I., Ghosn J. ve Yianilos, P., (1996), "Feature-based Face Recognition using Mixture-distance", *Int. Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition*, 209-216.

Draper, B.A., Vaek, K., Bartlett, M.S. ve Beveridge, J.R., (2003), "Recognizing Faces with PCA and ICA", *Computer Vision and Image Understanding*, 115-137.

Face Recognition Data, University of Essex, <http://cswww.essex.ac.uk/mv/allfaces/index.html>

Gao, Y. ve Leung, M., (2002), "Face Recognition using Line Edge Map", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 764-779.

Gong, S., McKenna, S.J. ve Psarrou, S.J., (2000), "Dynamic vision: From images to face recognition", *Imperial College Press, World Scientific Publishing*.

Gonzalez-Jiminez, D. ve Alba-Casto, J., (2004), "Frontal Face Authentication through Creaseness-driven Gabor Jets", *ICIAR*, 660-667.

Gutta, S. ve Wechsler, H., (2004), "Face Recognition using Asymmetric Faces", *ICBA.*, 162-168.

Hsu, R.L., Mottaleb, M.A. ve Jain, A.K., (2002), "Face Detection in Color Images", *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, (24-5):696-706.

Internation Biometric Group, <http://www.biometricgroup.com>

- Jianke, Z., (2005), "Real-time Face Recognition System", University of Macau, M. Sc. Thesis.
- Jones, M.J. ve Rehg, J.M., (2002), "Statistical Color Models with Application to Skin Detection", *International Journal of Computer Vision*, Kluwer Academic Publishers, (46):81-96.
- Kepenekçi, B. ve Akar, G.B., (2003), "Face Classification with Support Vector Machine", *Ortadoğu Teknik Üniversitesi / Tübitak Bilten*, Ankara.
- Kohir, V. ve Desai, E., (2000), "Face Recognition", *Proc. International Conference Image Processing*, 309-312.
- Kong, S.G., Heo, J., Abidi, B.R., Paik, J. ve Abidi, M.A., (2005), "Recent Advances in Visual and Infrared Face Recognition", *Computer Vision and Image Understanding*, 103-135.
- Kotropoulos, C. ve Pitas, I., (2004), "Rule-Based Face Detection in Frontal Views", *IEEE ICASSP-04*, Munich/Germany.
- Kuchi, P., Gabbur, P., Bhat, P.S. ve Davis, S., (2002), "Human Face Detection and Tracking using Skin Color Modeling and Connected Component Operators", *IETE Journal of Research*, 48(3-4):289-93.
- Leung, T., Burl, M. ve Perona, P., (1995), "Finding Faces in Cluttered Scenes Using Labeled Random Graph Matching", *International Conference Computer Vision*, 637-644.
- Li, F. ve Wechsler, H., (2004), "Watch List Face Surveillance using Transductive Inference", *ICBA*, 23-29.
- Luo, H. ve Eleftheriadis, A., (2000), "On Face Detection in the Compressed Domain", *International Multimedia Conference, Proceedings of the eighth ACM International Conference on Multimedia*, 285-294.
- Manjunath, B., Chellappa, B. ve Von Der Marsburg, R., (1992), "A Feature-based Approach to Face Recognition", *Int. Proc. IEEE Conference Computer Vision and Pattern Recognition*, 373-378.
- Moghaddam, B. ve Pentland, A., (2000), "Probabilistic Visual Learning for Object Representation", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1090-1104.
- Nefian, A. ve Hayes, M., (1998), "Hidden Markov Models for Face Recognition", *Proc. International Conference Acoustics, Speech and Signal Processing*, (5), 2771-2774.
- Nefian, A. ve Hayes, M., (1999), "An Embedded HMM for Face Detection and Recognition", *Proc. International Conference Acoustics, Speech and Signal Processing*, (6).
- Nefian, A. ve Hayes, M., (2000), "Maximum Likelihood Training of the Embedded HMM for Face Detection and Recognition", *Proceedings of International Conference of Image Processing*.

- Nefian, A., (2002), "Embedded Bayesian Networks for Face Recognition", *In Proceedings of International Conference of Multimedia and Expo.*, 133-136.
- Osuna, E., Freund, R. ve Girosi, F., (1997), "Training Support Vector Machines: An Application to Face Detection", *Proceedings of CVPR*, Puerto Rico, 130-136.
- Othman, H. ve Aboulnasr, T., (2003), "A Separable Low Complexity 2D HMM with Application to Face Recognition", *IEEE Trans. Patt. Analysis and Machine Intelligence*, 1229-1238.
- Perez, C.A., Salinas, C.A, Estevez, P.A. ve Valenzuela, P.M, (2003), "Genetic Design Biologically Inspired Receptive Fields for Neural Pattern Recognition", *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, (33-2).
- Qian, R.J., Sezan, M.I. ve Matthews, K.E., (1998), "A Robust Real-Time Face Tracking Algorithm", *Proceedings of the International Conference on Image Processing*, 131-135.
- Raja, Y., McKenna, S.J. ve Gong, S., (1998), "Tracking and Segmenting People in Varying Lighting Conditions using Colour", *Proceedings of FG'98*, Nara.
- Samaria, F., (1994), "Face Recognition using Hidden Markov Model", *PhD Thesis, Univ. of Cambridge*.
- Singh, S.K., Chauhan, D.S, Vatsa, M. ve Singh, R., (2003), "A Robust Skin Color Based Face Detection Algorithm", *Tamkang Journal of Science and Engineering*, (6-4):227-234.
- Spors, S. ve Rabenstein, R., (2001), "A Real-Time Face Tracker for Color Video", *IEEE Int. Conf. on Acoustics, Speech & Signal Processing (ICASSP)*, Utah.
- Sung, K. ve Poggio, T., (1998), "Example-based Learning for View-based Face Detection", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, (20):39-51.
- Swets, D. ve Weng, J., (1996), "Using Discriminant Eigenfeatures for Image Retrieval", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 831-836.
- Terrillon, J.C., Shirazi, M.N., Fukamachi, H. ve Akamatsu, S., (2000), "Comparative Performance of Different Skin Chrominance Models and Chrominance Spaces for the Automatic Detection of Human Faces in Color Images", *Proc. IEEE International Conference on Face and Gesture Recognition*, 54-61.
- The Database of Faces, AT&T Laboratories Cambridge,
<http://www.cl.cam.ac.uk/Research/DTG/attarchive/facedatabase.html>
- Tomaz, F., Candeias, T. ve Shahbazkia, H., (2003), "Improved Automatic Skin Detection in Color Images", *VIIth Digital Image Computing: Techniques and Applications*, Sydney.
- Turk, M. ve Pentland, A., (1999), "Eigenfaces for Recognition", *Journal of Cognitive Neuroscience*, 71-86.

- Vaillant, R., Monroq, C. ve LeCun, Y., (1994), "Original Approach for the Localization of Object in Images", *IEEE Proc. on Vision, Image and Signal Processing*, 245-250.
- Vetter, T., Jones, M.J. ve Poggio, T., (1997), "A Bootstrapping Algorithm for Learning Linear Models of Object Classes", *MIT Technical Report, AIM-1600*.
- Wiskott, L., Fellous, J., Kruger, J. ve Von Der Malsburd, N., (1997), "Face Recognition by Elastic Bunch Graph Matching", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 775-779.
- Yamhor, W.S., (2000), "Analysis of PCA-based and Fisher Discriminant-based Image Recognition Algorithms", *Colorado State University, Technical Report CS-00-103*.
- Yang, G.Z. ve Huang, T.S., (1994), "Human Face Detection in Complex Background", *Pattern Recognition*, 27(1), 53-63.
- Yang, M.H., (2004), "Recent Advances in Face Detection", *IEEE ICPR 2004 Tutorial*, Cambridge.
- Yow, K.C. ve Cipolla, R., (1996), "Feature-Based Human Face Detection", *CEUD/F-INFENG/TR 249*.
- Zhao, W., Chellappa, R., Phillips, P. ve Rosenfeld, P., (2003), "Face Recognition: A Literature Survey", *ACM Computing Survey*, 399-458.
- Zhu, Q., Cheng, K.T., Wu, C.T. ve Wu, Y.L., (2004), "Adaptive Learning of an Accurate Skin-Color Model", *IEEE 6th International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition*, Seoul, 2004.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi	27.04.1979	
Doğum Yeri	İstanbul	
Lise	1990-1997	Kartal Anadolu Lisesi (Almanca)
Lisans	1998-2002	İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik – Elektronik Fakültesi, Kontrol ve Bilgisayar Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2003-2006	Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü
Çalıştığı Kurumlar	2000-2002	Gantek Teknoloji – Yazılım Geliştirme Mühendisi
	2002-2005	Alcatel Teletaş – Yazılım Mimarı
	2005-Devam	Accenture Consulting – Teknoloji Danışmanı
İletişim Bilgileri	Adres	Kaptan Arif Cad. Çobanyıldızı Sok. Dinçer Apt. B Blok N:32 D:16 81090 Erenköy / İstanbul
	Telefon	(+90) 544 356 21 63