

Aydınlanma Alt-uzaylarına dayalı Gürbüz Yüz Tanıma Illumination Subspaces based Robust Face Recognition

D. Kern, H.K. Ekenel, R. Stiefelhagen

Interactive Systems Labs, Universität Karlsruhe (TH)

76131 Karlsruhe, Almanya

ekenel@ira.uka.de

web: http://isl.ira.uka.de/face_recognition

Özetçe

Bu çalışmada aydınlanma alt-uzaylarına dayalı bir yüz tanıma sistemi sunulmuştur. Bu sistemde, ilk olarak, baskın aydınlanma yönleri, bir topaklandırma algoritması kullanılarak öğrenilmiştir. Topaklandırma algoritması sonucu önden, sağ ve sol yanlardan olmak üzere üç baskın aydınlanma yönü gözlemlenmiştir. Baskın aydınlanma yönlerine karar kılındıktan sonra, yüz uzayı -yüzün görünümündeki aydınlanmadan kaynaklanan değişimleri, farklı kişi kimliklerinden kaynaklanan değişimlerden ayırmak için- bu üç aydınlanma uzayına bölünmüştür. Daha sonra, ek aydınlanma yönü bilgisinden faydalanmak için aydınlanma alt-uzaylarına dayalı yüz tanıma algoritması kullanılmıştır. Önerilen yaklaşım, CMU PIE veritabanında, "illumination" ve "lighting" kümelerinde yer alan yüz imgeleri üzerinde sınanmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlar, aydınlanma yönünden yararlanmanın ve aydınlanma alt-uzaylarına dayalı yüz tanıma algoritmasının yüz tanıma başarımını önemli ölçüde artırdığını göstermiştir.

Abstract

In this paper a face recognition system that is based on illumination subspaces is presented. In this system, first, the dominant illumination directions are learned using a clustering algorithm. Three main illumination directions are observed: Ones that have frontal illumination, illumination from left and right sides. After determining the dominant illumination direction classes, the face space is divided into these classes to separate the variations caused by illumination from the variations caused by different identities. Then illumination subspaces based face recognition approach is used to benefit from the additional knowledge of the illumination direction. The proposed approach is tested on the images from the illumination and lighting subsets of the CMU PIE database. The experimental results show that by utilizing knowledge of illumination direction and using illumination subspaces based face recognition, the performance is significantly improved.

1. Giriş

Yüz tanıma araştırma alanında karşılaşılan en büyük problemlerden biri aydınlanma farklılıklarından kaynaklanan yüzün görünümündeki değişimlerdir [1]. Bu değişimler, farklı kişi kimliklerinden kaynaklanan yüzün görünümündeki değişimlere çoğu zaman baskın gelmektedir. Bu nedenle, her ne kadar kişinin yüzü, aynı şartlarda aydınlatılmış başka birinin yüzüne, farklı şartlarda aydınlatılmış kendi yüzünden

daha fazla benzese de, yüz tanıma algoritmasının, aydınlanmadan dolayı ortaya çıkan değişimleri gözardı edip doğru kimliğe karar vermesi gerekir.

Yüz tanıma alanındaki ilk çalışmalar yüzün geometrisine dayalı öznitelikler kullanmışlardır. Örneğin, burun, gözler, ağız arasındaki uzaklıklar, birbirleriyle yaptıkları açılar vb. [2]. Aydınlanmadan kaynaklanan değişimler yüzün geometrisini etkilemeyeceğinden, bu yaklaşımlar ilk bakışta aydınlanma değişimlerine karşı dayanıklı gözükse de, bu yaklaşımları uygulamak için gerekli olan önemli noktaların (göz merkezleri, burun ucu vb.) sezim başarımı, aydınlanma değişimleri nedeniyle önemli ölçüde düştüğü için, önerilmiş olan geometrik özniteliklere dayalı algoritmalar yüz tanıma için yeterli başarımı sağlayamamışlardır. 1990'ların başından itibaren yüzdeki pixel değerlerine dayalı bütüncül yaklaşımlar yaygınlık kazanmıştır, ör. imgelerin pixel değerleri arasında ilinti, Eigenfaces/özyüzler [3,4]. Bu yöntemler doğrudan imgedeki pixel değerlerine dayalı oldukları için aydınlanma değişimlerine karşı çok duyarlıdır. Bu problemin üstesinden gelmek için, pixel bilgileri yanında sınıf bilgisini de kullanan Fisherfaces [5] yöntemi önerilmiştir. Fakat, eğitim kümesindeki yüz imgelerinin, yüzün görünümünde oluşabilecek olası değişimleri modelleyemediği durumlarda bu yöntemin de iyi çalışmadığı gösterilmiştir [6]. [7]'de yüz tanıma başarımı, değişik aydınlanma koşulları altında deneysel olarak sınanmıştır. Yapılan çalışmada farklı yüz betimleme yöntemleri -kenar haritaları (edge map), Gabor süzgeçleri, imge türevi, log dönüşümleri vb.- denenmiş ve aydınlanma değişimlerine karşı duyarlılıkları ölçülmüştür. Yapılan deneyler sonucu hiç bir betimleme yönteminin aydınlanma değişimlerine karşı duyarsızlık sağlayamadığı gözlemlenmiştir. Bu çalışmadan çıkan önemli sonuç, bir kişinin farklı aydınlanma koşulları altındaki yüz görünümü değişimlerinin -sınıf içi değişimler-, farklı kişilerin aynı aydınlanma koşulları altındaki yüz görünümü değişimlerinden -sınıflar arası değişimler- daha büyük olması bilgisidir.

Bu çalışmada, aydınlanma yön bilgisini kullanan, aydınlanma alt-uzaylarına dayalı bir yüz tanıma sistemi önerilmiştir. Baskın aydınlanma yönleri bir topaklandırma algoritması kullanılarak öğrenilmiştir. Baskın aydınlanma yönlerinin öğrenimi için topaklandırma algoritması kullanılmasıdaki neden, sabit bir pozda, aydınlanmanın yüzün görünümünü etkileyen temel değişim kaynağı olduğu varsayımdır. Bu aşamadan sonra, yüz uzayı, yüzün görünümündeki aydınlanmadan kaynaklanan değişimleri, farklı kişi kimliklerinden kaynaklanan değişimlerden ayırmak için, bu aydınlanma uzaylarına bölünmüştür. Daha sonra her aydınlanma uzayı ayrı bir alt-uzay ile betimlenmiştir.

Algoritmanın bu kısmı her bir pozun ayrı bir alt-uzay ile betimlendiği [8]'deki fikirle benzerlik göstermektedir. Test aşaması sırasında, test imgesinin önce hangi aydınlanma yönüne sahip olduğu tespit edilir. Bu bilgi elde edildikten sonra sınıflandırma, bulunan aydınlanma yönüne karşılık gelen aydınlanma alt-uzayında yapılır. Doğal olarak, her zaman, her kişinin tüm aydınlanma yönlerini içeren eğitim verisi bulunmayabilir. Bu nedenle çalışmamızda bu probleme de değinilmiş ve yapay eğitim verisi üretimi ile bu problemin giderilmesine çalışılmıştır.

Aydınlanma üzerine yapılan diğer çalışmalardan farklı olarak, bu çalışma, probleme hızlı, basit ve doğal bir çözüm sağlamaktadır. Bu konuda bilinen temel yaklaşımlar aydınlanma konileri (illumination cones) [9] ve ışık alanlarıdır (light fields) [10]. Aydınlanma konileri yaklaşımının, işlem yükü ve kişi başı farklı aydınlanma koşulları altında çekilmiş 7 imge gereksinimi gibi dezavantajları vardır. Işık alanları yaklaşımında ise bir çok parametrenin kestirimi gerekmektedir –iç (intrinsic) kamera parametreleri, nesnenin kameraya göre konumu vb.-. Bu çalışmalar dışında, 3 boyutlu modellere dayalı yaklaşım da [11] çok başarılı bulunmakla birlikte, aşırı işlem yükü ([11]'te sadece yüze, 3 boyutlu model oturtma işleminin Pentium 4, 2GHz işlemcili bir bilgisayarda 4.5 dakika aldığı belirtilmiştir) ve yüze 3 boyutlu model oturtma işlemi için bir çok noktanın kestirimi gereksinimi, bu yaklaşımın gerçek dünya problemlerine uygulanmasını şu an için mümkün kılmamaktadır. Bununla birlikte, çalışmamızda önerdiğimiz sistem oldukça hızlı ve geneldir, kişi başına tek eğitim imgesi ile bile çalışabilmektedir. Sistem yüz imgesine ek olarak imgedeki aydınlanma yönü bilgisine ihtiyaç duyar, bu da sadece 3 farklı sınıf içeren bir sınıflandırma problemidir ve sistem üzerinde fazla bir işlem yüküne neden olmaz.

2. Yüz Tanıma için Aydınlanma Yönünden Faydalanma

Önerilen yöntemde ilk yapılması gereken, baskın aydınlanma yönlerine karar kılınmasıdır. Bu baskın aydınlanma yönleri bir topaklandırma algoritması yardımı ile öğrenilmiş ve yüz uzayı bu aydınlanma uzaylarına bölünmüştür. Her aydınlanma uzayında sınıf-içi değişimlerin (aynı kişinin farklı yüz imgeleri arasındaki görünüm değişimleri), sınıflar-arası değişimlerden (farklı kişilerin yüz imgeleri arasındaki görünüm değişimleri) daha az olması beklenir. Çünkü aydınlanmadan kaynaklanan değişimler, farklı kişi kimliklerinden kaynaklanan değişimlerden ayrılmıştır. Aydınlanmanın, sabit bir pozda, sınıf-içi değişimlere yol açan temel kaynak olduğu varsayımıyla (V : değişinti):

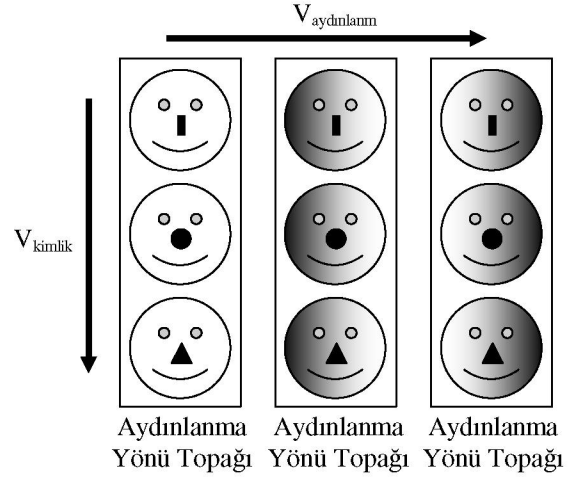
$$V_{\text{sınıf-içi}} = V_{\text{aydınlanma}} \quad (1)$$

İfadedeki değişimlerin, abartılı olmadıkları sürece, yüzün görünümünde büyük bir değişime yol açmadıkları bilindiği için bu makul bir varsayımdır. Sınıflar-arası değişimler ise hem aydınlanma hem de farklı kişi kimliklerinden kaynaklanır:

$$V_{\text{sınıflar-arası}} = V_{\text{aydınlanma}} + V_{\text{kimlik}} \quad (2)$$

Aydınlanma yönünün tespiti ve buna bağlı değişik aydınlanma topaklarının oluşturulması, bize $V_{\text{aydınlanma}}$ hakkında yaklaşık bir fikir verir. Böylelikle her aydınlanma yönü topağında, sınıf-içi değişimler yaklaşık olarak ortadan kalkarken,

sınıflararası değişimler yine yaklaşık olarak sadece kimlik değişimlerinden kaynaklanır. Şekil 1'de bu çıkarımlar gösterilmiştir.



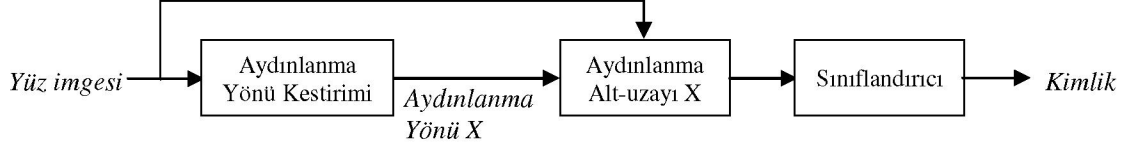
Şekil 1: Aydınlanma yönü topakları, V_{kimlik} , $V_{\text{aydınlanma}}$ arasındaki ilişki

3. Aydınlanma Yönü Sınıflandırma

Sistemde, test aşamasında ilk olarak, test imgesinin eğitim sırasında bulunan aydınlanma yönü topaklarından hangisine ait olduğunun bulunması gerekir. Bunun için, bu çalışmada hem doğrudan yüz imgesinin pixel değerlerine, hem de yüz imgelerinin üzerinde temel bileşen analizi (TBA –principal component analysis) uygulanarak elde edilen düşük boyutlu öznelik vektörlerine dayalı sınıflandırma yaklaşımları kullanılmıştır. Her iki yaklaşımda da, eğitim sırasında elde edilen her topağın ortalama değeri hesaplanmıştır. Test aşamasında, her topağın ortalama pixel ya da öznelik vektörü değeri, test imgesinin pixel ya da öznelik vektörü değerleri ile karşılaştırılmış, bulunan en yakın topak, yüz imgesinin aydınlanma yönü olarak atanmıştır. Bu en yakın ortalama sınıflandırıcısında (nearest mean classifier) kullanılan uzaklık ölçütü Öklid uzaklığıdır.

4. Aydınlanma Alt-uzaylarına Dayalı Yüz Tanıma

Eğitim aşamasında, bulunan her topak için TBA kullanılarak bir aydınlanma alt-uzayı oluşturulmuştur. Test aşamasında yüz imgesinin aydınlanma yönü bulunduktan sonra, yüz imgesi karşılık gelen aydınlanma alt-uzayında betimlenmiş ve burada sınıflandırma işleme yapılmıştır. Özetle, bu çalışmada geliştirilen yüz tanıma sisteminin iki yapı taşı vardır. İlki aydınlanma yönü sınıflandırıcısıdır. Bu bölümde, sistem bir ön yüzü girdi olarak alır ve çıktı olarak karşılık gelen aydınlanma yönünü verir. İkincisi ise aydınlanma alt-uzaylarına dayalı yüz sınıflandırıcısıdır. Bu bölümde, sistem girdi olarak yüz imgesiyle birlikte aydınlanma yönü bilgisini alıp, çıktı olarak kişinin kimliğini verir. Her aydınlanma yönünden eğitim verisi olmadığı durumlarda, bu açığı kapatmak için, Denklem 3'te görülen doğrusal fonksiyon kullanılarak yapay eğitim verisi üretilmiştir [12]. Bu fonksiyon ile önden aydınlatılmış yüz imgelerinden, yanlardan aydınlatılmış yapay yüz imgeleri üretilmiştir.



Şekil 2. Aydınlanma alt-uzayına dayalı yüz tanıma sistemi

$$a(x,y) = b(x,y) - (2d*x)/(N_x-1) + d \text{ her } x = 0,1, \dots, N_x-1 \text{ ve } y = 0,1, \dots, N_y-1 \text{ için} \quad (3)$$

$a(x,y)$: yapay imge, $b(x,y)$: orijinal imge, d : pixel cinsinden aydınlanma değişkeni

N_x : pixel cinsinden imge genişliği, N_y : pixel cinsinden imge yüksekliği

5. Deneyleer

Önerilen sistemin aydınlanma yönü sınıflandırma başarımı ve yüz tanıma başarımı CMU PIE [13] veritabanında, “illumination” ve “lighting” kümelerinde yer alan ön-yüz (frontal face) imgeleri üzerinde sınanmıştır. Veritabanı 68 kişiden oluşmaktadır. Her kişinin, birbirlerinden farklı aydınlanma ve ışıklandırma koşulları içeren 45 yüz imgesi bulunmaktadır.

5.1. Aydınlanma Yönü Sınıflandırma Deneyleeri

CMU PIE veritabanındaki 45 aydınlanma koşulunun çoğu birbirlerine çok benzemektedir, bu nedenle tüm bu sınıfları kullanmak yerine, baskın, önemli aydınlanma yönlerini öğrenmek için bir topaklandırma algoritması kullanılmıştır. Bu doğrultuda, kullanılan veritabanı, 34’er kişilik iki kümeye ayrılmıştır. Veri kümelerinden biri eğitim-topaklandırma amacıyla diğeri ise aydınlanma yönünün sınıflandırma başarımının sınanmasında kullanılmıştır.

Topaklandırma için k-means algoritması kullanılmıştır. Algoritma, 3 kere farklı başlangıç topak ortalamaları ile çalıştırılmış ve farklı başlangıç topak ortalamaları ile çalıştırma sonuçları, topaklandırma sonuçlarının tutarlılığının denetlenmesi için birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Deneyleerde denenen topak sayısı 3 ile 7 arası değişmektedir. TBA uygulandığı durumlarda öznelilik vektör boyutu 3 ve 10 olmuştur. Daha önceki çalışmalarda ilk üç özvektörün (eigenvector) aydınlanma koşullarından çok etkilendikleri öne sürülmüştür [5]. Bununla birlikte, elde ettiğimiz deneyleysel sonuçlar bu savı desteklememektedirler. 3 özvektör kullanılarak yapılan topaklandırmalarda elde edilen topaklar birbirlerinden sadece aydınlanma yönü farklılığı ile değil, aynı zamanda farklı kişi kimliklerinden gelen farklılıklarla da ayrılmıştır. Aydınlanma değişimlerini ayrıştırmada en iyi başarımlar 3 topak ve 10 özvektöre dayalı topaklandırma sonucu elde edilmiştir [14].



Şekil 3. Aydınlanma topaklarından örnek yüz imgeleri

Her topaktan örnek yüz imgeleri Şekil 3’te gösterilmiştir. Bu şekilde de gözlemleneceği gibi yüz imgeleri önden, sağ ve sol yanlardan aydınlatılmış imgeler olmak üzere topaklanmıştır. Bu sonuç gösteriyor ki bu yönler yüzün görünümünü etkileyen en baskın aydınlanma

yönleridir. Bu sonuç, yüzün burundan geçen dikey eksene göre simetrik olması ile açıklanabilir.

Tablo 1. Aydınlanma yönü sınıflandırma başarımı

	Yüz imgesi pixel değerleri	TBA öznelilik vektörü
Pixel değerlerini normalize etmeden	81.9%	81.8%
Pixel değerlerini normalize ederek	93.4%	93.5%

Aydınlanma yönü sınıflandırma yaklaşımlarını sınamak için, CMU PIE veritabanındaki her etiketlenmiş aydınlanma sınıfı, bu sınıfların örneklerinin çoğunluğunun bulunduğu topağa eklenmiştir. Her etiketlenmiş aydınlanma sınıfının örnekleri her zaman sadece tek bir topakta yer almadığı için bu ek bir hata getirir. Deneyleimizde yüz imgelerinin %5.85’i ait olmadıkları topağa atanmıştır. Aydınlanma yönü başarımlarını sonuçları Tablo 1’de görülmektedir. Deneyleer yüz imgelerini birim büyüklüğe normalize ederek ya da etmeden gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlardan gözlemleneceği gibi yüz imgelerini birim büyüklüğe normalize etmek aydınlanma yönü sınıflandırma başarımına büyük ölçüde katkı sağlamaktadır. İmge pixel değerleri ve TBA öznelilik vektörü ile sınıflandırma arasında önemli bir başarımlar farklı ortaya çıkmamıştır. Bu nedenle, daha hızlı çalışması açısından, önerilen yüz tanıma sisteminde TBA öznelilik vektörü ile sınıflandırma yapılmıştır. Sonuçların diğeri bir özelliği ise başarımların oldukça yüksek çıkmasıdır. Etiketlenmiş CMU PIE aydınlanma sınıflarının, topaklara az sayıda düzgün dağılması sonucu ortaya çıkan %5.85’lik hata payı göz önüne alındığında, elde edilen sonuçların neredeyse kusursuz bir sınıflandırma başarımına karşılık geldiği gözlemlenmektedir.

5.2. Yüz Tanıma Deneyleeri

Aydınlanma yönü bilgisinin yüz tanıma başarımına katkısını ölçmek için iki ayrı deney yürütülmüştür. Deneylelerden ilki eğitim verisi seçiminde aydınlanma yönünü dikkate alınmanın önemi üzerinedir. İkinci deneylede ise aydınlanma alt-uzaylarına dayalı yüz tanıma sisteminin başarımını sınanmıştır. Deneylelerde, topaklandırma sonucu bulunan 3 baskın

aydınlanma yönü kullanılmıştır. TBA sonucu yüz tanıma kullanılmak üzere öznelik vektörünün boyutu 20'dir. Bu boyuta betimleme yeterliliği ve işlem yükü değişkenleri göz önüne alınarak karar verilmiştir. Bu boyut %85 enerji korunumu sağlar ve aynı zamanda [8]'de de kullanılan boyuttur. Yüz veritabanı, aydınlanma yönü sınıflandırma deneylerinde olduğu gibi iki eşit parçaya bölünmüştür. Bu bölme işlemi 4 defa gerçekleştirilmiş ve algoritmalar 4 kere çalıştırılıp ortalama sonuçlar elde edilmiştir.

İlk deneyde kişi başı 3 ya da 6 eğitim imgesi kullanılmıştır. Ortalama başarımlar sonuçları Tablo 2'de verilmiştir. İlk satırdaki başarımların değeri özyüzler algoritmasının rastgele seçilen eğitim verileri kullanarak eriştiği sınıflandırma başarı oranıdır. İkinci satırda ise özyüzler algoritmasının her aydınlanma yönü topağında 1 ya da 2 eğitim yüz imgesi kullanarak eriştiği sınıflandırma başarı oranıdır. Elde edilen sonuçlar arasındaki yüksek başarımların farkı aydınlanma yönü bilgisinin kullanımının önemini göstermektedir.

Tablo 2. Eğitim verisi seçiminin yüz tanıma başarımları üzerindeki etkisi

Algoritma	Eğitim verisi	Başarımlar
Özyüzler (Eigenfaces)	Rastgele	49.0%
Özyüzler (Eigenfaces)	Her üç aydınlanma yönünden	78.1%

İkinci deney sonuçları Tablo 3'te verilmiştir. Bu tabloda, ilk satırda aydınlanma alt-uzaylarına dayalı yüz tanıma başarımları, ikinci satırda ise yine aynı yöntemle fakat bu sefer sadece önden aydınlanma içeren orijinal yüz imgeleri ve yandan aydınlanma içeren yapay yüz imgeleri kullanımı sonucu elde edilen yüz tanıma başarımları yer almaktadır. Yapay veri üretimi için Denklem 3'te verilen doğrusal fonksiyon kullanılmıştır. Tablo 2 ve Tablo 3 karşılaştırıldığında fark edileceği gibi aydınlanma alt-uzaylarına dayalı yüz tanıma sistemi, yüz tanıma başarımlarını daha da arttırmıştır. Diğer bir karşılaştırmada da, her aydınlanma yönünden eğitim verisi olmadığı durumlarda başvuru yapay veri üretimi yaklaşımının, orijinal veri ile elde edilen sonuçlara ulaşamasa da, bu sonuçlara oldukça yakın olduğu (her ne kadar basit doğrusal bir fonksiyon kullanılmış olsa da) ve aydınlanma yönü bilgisinden yararlanmadan, rastgele seçilen orijinal imgelerle erişilen başarımlardan çok daha yüksek başarı oranına eriştiği gözlemlenmiştir.

Tablo 3. Aydınlanma alt-uzaylarına dayalı yüz tanıma başarımları

Algoritma	Orijinal eğitim verisi	Başarımlar
Aydınlanma alt-uzayına dayalı yüz tanıma	Her üç aydınlanma yönünden	82.4%
Yapay veri ile aydınlanma alt-uzayına dayalı yüz tanıma	Önden aydınlanma	75.4%

6. Sonuçlar

Bu çalışmada aydınlanma yönü bilgisinden yararlanılarak geliştirilen bir yüz tanıma sistemi önerilmiştir. Çalışmada, ilk önce baskın aydınlanma yönleri saptanmıştır. Deneyler sonucu, önden, sağ ve sol yanlardan etki eden aydınlanmanın, yüz imgelerinin görünümü üzerinde baskın bir etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir. Daha sonra aydınlanma yönü sınıflandırma deneyleri yürütülmüştür. İmge değerleri birim büyüklüğe normalize edildiği durumda, gerek doğrudan imge pixel değerleri, gerekse de TBA öznelik vektörleri ile yapılan aydınlanma yönü sınıflandırımında yüksek başarımlara ulaşılmıştır. Yüz tanıma deneylerinde ilk olarak eğitim verisinin seçiminde aydınlanma yönü bilgisinin dikkate alınmasının önemi gösterilmiştir. Daha sonra aydınlanma alt-uzaylarına dayalı yüz tanıma sistemi sınanmış ve eksik eğitim verisi problemini gidermek için yapay veri üretilmiştir. Deneyler sonucunda aydınlanma yön bilgisinin kullanımının yüz tanıma başarımlarını önemli ölçüde arttırdığı gözlemlenmiştir. Eğitim verisinin doğru-dikkatli seçimi özyüzler algoritmasında başarımları %29.1 arttırmıştır. Aydınlanma alt-uzaylarına dayalı yüz tanıma yöntemi başarımlarını %4.3 daha da arttırmıştır. Yeterli veri olmadığı durumlarda, önden aydınlatılmış yüzlerden türetilen yapay verilerin kullanımı da yüksek başarı oranına yol açmış ve rastgele seçilen orijinal imgeler kullanımına göre yüz tanıma başarımlarını %26.4 arttırmıştır.

7. Kaynakça

- [1] W. Zhao et al., "Face Recognition: A Literature Survey", ACM Computing Surveys, Cilt 35, No. 4, s. 399-458, 2003.
- [2] T. Kanade, "Picture Processing by Computer Complex and Recognition of Human Faces", Teknik Rapor, Information Science Bölümü, Kyoto Üniversitesi, Japonya, 1973.
- [3] R. Brunelli and T. Poggio, "Face Recognition: Features versus Templates", IEEE Trans. on PAMI, Cilt 15, No. 10, s. 1042-1052, 1993.
- [4] M. Turk, A. Pentland, "Eigenfaces for Recognition", Journal of Cognitive Science 3 (1), 71-86, 1991.
- [5] P.N. Belhumeur et al., "Eigenfaces vs. Fisherfaces: Recognition Using Class Specific Linear Projection", IEEE Trans. on PAMI, C. 19, No. 7, s. 711-720, 1997
- [6] A. Martinez, A. Kak, "PCA versus LDA", IEEE Trans. on PAMI, Cilt 23, No. 2, s. 228-233, 2001.
- [7] Y. Adini et al., "Face Recognition: The Problem of Compensating for Changes in Illumination Direction", IEEE Trans. on PAMI, C. 19, No. 7, s. 721-732, 1997.
- [8] A. Pentland et al., "View Based and Modular Eigenspaces for Face Recognition", CVPR, 1994.
- [9] A.S. Georghiades et al., "Illumination Cones for Recognition under Variable Lighting: Faces", CVPR, 1998.
- [10] R. Gross, I. Matthews, S. Baker, "Appearance-based Face Recognition and Light-fields", IEEE Trans. on PAMI, Cilt 26, No. 4, s. 449-465, 2004.
- [11] V. Blanz, T. Vetter, "Face Recognition Based on Fitting a 3D Morphable Model", IEEE Trans. on PAMI, Cilt 25, No. 9, s. 1063-1074, 2003.
- [12] C. Sanderson, K.K. Paliwal, "Fast Features for Face Authentication under Illumination Direction Changes", Pattern Recognition Letters, s. 2409-2419, Ekim 2003.
- [13] T. Sim et al., "The CMU Pose, Illumination and Expression (PIE) Database", Intl. Conf. on Automatic Face and Gesture Recognition, 2002.
- [14] D. Kern, "Utilizing Illumination Classification for Robust Face Recognition", Diplomarbeit Raporu, Karlsruhe, Almanya, 2005.