

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ*FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PLASTİK CERRAHİ AMELİYATLARINDA 3-B PLANLAMA
İÇİN BİR SİSTEM; CYCLOPS 3-D SCANNER**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektronik ve Haberleşme Müh. Ersin ÖZÜAĞ

Ana Bilim Dalı : Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği

Danışman: Doç. Dr. Oğuzhan URHAN

KOCAELİ, 2010

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ*FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PLASTİK CERRAHİ AMELİYATLARINDA 3-B PLANLAMA
İÇİN BİR SİSTEM; CYCLOPS 3-D SCANNER**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektronik ve Haberleşme Müh. Ersin ÖZÜAĞ

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 20 Haziran 2010

Tezin Savunulduğu Tarih: 12 Temmuz 2010

TEZ DANIŞMANI

Doç. Dr. Oğuzhan URHAN



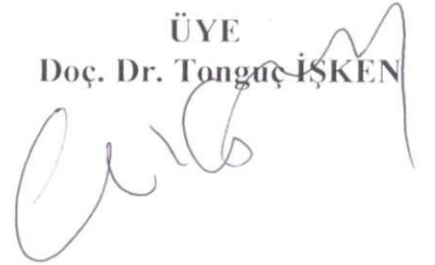
ÜYE

Doç. Dr. Cemil ÖZ



ÜYE

Doç. Dr. Tonguç İŞKEN



KOCAELİ 2010

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Öncelikle, yüksek lisans çalışmalarım sonucunda oluşan tezimi paylaşıyor olmamın içimde uyandırdığı sevinçle birlikte, her şey gibi bu çalışmanın da zamanın gerisinde kalacağına burukluğuyla bu önsözü kaleme aldığımı sizlerle paylaşmak isterim.

Yüksek lisansım sırasında, sadece teorik bilgilerin üretilmesi ve kullanılması üzerine değil de bununla birlikte, bu teorik bilgilerin de kullanıldığı bir uygulamayı üretmiş olan bir çalışmanın parçası olduğum için, en azından bir şeyler üretmiş bir grubun üyesi olmaktan gurur duymaktayım. Bu haklı gururu benimle paylaşmaları gerektiğine inandığım aileme sunulması mümkün olmayan minnettarlığımı, en azından burada ifade etmek benim için bütün bu çalışmalarımın en zevkli ve heyecan dolu bölümüdür. Ayrıca yüksek lisansım boyunca sürekli birlikte olduğum çok değerli KULIS ekibine ve bütün çalışmalarım sırasında benden desteklerini esirgemeyen Sarp Ertürk'e, danışmanım Oğuzhan Urhan'a ve M. Kemal Güllü'ye sonsuz teşekkürlerimi de sunmaktan onur duyarım.

Bu çalışma, Sanayi ve Ticaret Bakanlığı ve Pars Ar-Ge Ltd. Şti. tarafından 00262.STZ.2008-1 sayılı Sanayi Tezleri(SANTEZ) projesi kapsamında desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iii
SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR	iii
ÖZET.....	v
İNGİLİZCE ÖZET	vi
1. GİRİŞ	1
2. 3-B TARAMA SİSTEMİ.....	4
2.1 Giriş	4
2.2 Donanım	4
2.2.1 Kamera-Projektör ölçümlemesi	6
3. İNSAN YÜZLERİNİN 3-B NOKTA BULUTLARINI OLUŞTURMAK İÇİN KULLANDIĞIMIZ YÖNTEMLER.....	7
3.1 Giriş	7
3.2 Renk Değişmezleri Yaklaşımlı Yöntem	8
3.3 Renk Uzayı Ayrışımı Yaklaşımlı Yöntem.....	13
3.4 Sonuçlar	21
4. NOKTA BULUTUNUN ÜÇGENLENMESİ VE MODEL DEFORMASYON- LARI	22
4.1 Giriş	22
4.2 Delaunay Üçgenleme Yöntemi.....	22
4.3 OpenGL ve 3-B Model Deformasyonları	24
4.3.1 OpenGL.....	24
4.3.2 Model deformasyonları	26
5. GRAFİK KULLANICI ARA YÜZÜNÜN (GUI) OLUŞTURULMASI	30
SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	32
KAYNAKLAR	33
KİŞİSEL YAYINLAR ve ESERLER.....	36
ÖZGEÇMİŞ	37

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1: Yapılandırılmış ışık kaynağı ile tarama mantığı.....	4
Şekil 2.2: 3-B tarama sistemi tasarım şeması	5
Şekil 3.1: Çalışmada kullanılan renkli derinlik betimleyici örüntüler	8
Şekil 3.2: Renk değişmezliği yaklaşımlı yöntemde yüze yansıtılan örüntü.....	9
Şekil 3.3: Renk dönüşümü ve süzgeçleme sonrası yüze yansıtılan örüntü	11
Şekil 3.4: Renk kanallarının tepe noktaları	12
Şekil 3.5: Renk değişmezliği yaklaşımlı yöntemle elde edilen 3-B nokta bulutu	12
Şekil 3.6: Renk uzayı ayrışımı yaklaşımlı yöntemin akış şeması [9]	14
Şekil 3.7: Renk uzayı ayrışımı yaklaşımlı yöntemde yüze yansıtılan örüntü	14
Şekil 3.8: Yüz bölgesinin belirlenmesi	14
Şekil 3.9: Renk kanalları genlik değişimi süzgeçleme öncesi ve sonrası	16
Şekil 3.10: Renk kanalları için tepe noktaların bulunması yöntemi	16
Şekil 3.11: Özgün imge ile süzgeçlenmiş imge renk kanalları dağılımı.....	18
Şekil 3.12: Renklerin doğrulanması sonucunda elde edilen görüntü.....	19
Şekil 3.13: Renk uzayı ayrışımı yaklaşımlı yöntemle elde edilen 3-B nokta bulutu	20
Şekil 3.14: Renk değişmezliği yaklaşımlı yöntemin yarar/yitimi sağladığı nokta.....	20
Şekil 4.1: Voronoi diyagramı[31]	23
Şekil 4.2: Delaunay üçgenlemesi[31]	23
Şekil 4.3: Delaunay yönteminin nokta bulutuna uygulanması.....	24
Şekil 4.4: OpenGL' de üçgen çizimi	25
Şekil 4.5: OpenGL' de işlemler yapılırken izlenen yol[28]	25
Şekil 4.6: OpenGL' de oluşturulan modelin farklı açılardan görünümü	25
Şekil 4.7: 3-B modellere uygulanabilecek örnek deformasyon biçimi[35]	27
Şekil 4.8: Deformasyon bölgesinin farklı şekillerde seçilmesi.....	28
Şekil 4.9: Deformasyon bölgesi üzerinde deformasyon şiddetinin ayarlanması	28
Şekil 4.10: Deformasyona uğratılmış modelin farklı açılardan görüntüsü	29
Şekil 5.1: Sistem kontrolü için tasarlanan kullanıcı ara yüzü	30
Şekil 5.2: Tasarlanan ara yüz ile yapılan işlemlerin görüntüsü.....	31
Şekil 6.1: Cyclops 3D scanner cihazının önden ve arkadan görüntüsü	32

SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR

2-B	: İki Boyut
3-B	: Üç Boyut
OpenGL	: Open Graphics Library
MFC	: Microsoft Foundation Class Library
ANSI	: American National Standart Institue
USB	: Universal Serial Bus
RS232	: Recommended Standard 232
SDK	: Sofware Development Kit
RANSAC	: Random Sample Consensus
DLT	: Direct Linear Transformation
KYM	: Kırmızı, Yeşil, Mavi
API	: Application Programming Interface
GUI	: Graphic User Interface
SAN-TEZ	: Sanayi Tezleri

PLASTİK CERRAHİ AMELİYATLARINDA 3-B PLANLAMA İÇİN BİR SİSTEM; CYCLOPS 3-D SCANNER

Ersin ÖZÜAĞ

Anahtar Kelimeler: Bilgisayarla Görme, Yapılandırılmış Işık, 3-B Modelleme, Model Deformasyonu

Özet: Günümüzde plastik cerrahide tıbbi veya estetik sorunlardan kaynaklı ameliyatlara zorunlu veya isteğe bağlı olarak gerçekleştirilmektedir. Ancak bu ameliyatlara öncesi dönemde hastaların yoğun kaygılar yaşadıkları bilinmektedir. Bu dönemde doktoruyla sağlıklı, güvene dayalı bir ilişki kuran hastaların ameliyatlara ilgili kaygılarının azaldığı gözlenmiştir. Bu ilişki içerisinde hastaların kesinlikle doktorlarına ne istediklerini ve ne istemediklerini iyi anlatmaları gerekmektedir [1]. Doktorların ameliyat planlaması ve hastaların ameliyat sonrası çekincelerinin azaltılması amacıyla cerrahlar, genellikle Photoshop benzeri grafik düzenleme programlarıyla hastaların çekilen fotoğrafları üzerinde oynamalar yaparak, bu tip kaygıları gidermeye çalışmaktadırlar. Ancak bu programlarda çekilen fotoğraflar sadece 2-boyutlu düzenlemelere olanak sağlamaktadır, örneğin farklı bakış açılarında ameliyatın nasıl sonuç vereceğiyle ilgili hastaya bilgi verilememektedir. Bu durumlarda da hastanın kaygıları devam etmektedir.

Bu tez kapsamında gerçekleştirilen projede geliştirilen 3-B tarayıcı sayesinde plastik cerrahideki tıbbi ve estetik ameliyatlara öncesinde hastaların yüzleri 3-B ortamda bilgisayar ortamında çeşitli oynamalarla ameliyat sonrası beklenen hale getirilir ve daha gerçekçi verilerin elde edilmesi sağlanır. Böylece cerrahlar için daha verimli bir ameliyat planlamasına, hastalar için de ameliyat öncesi kaygıların azaltılmasına olanak sağlanabilir.

Geliştirilen 3-B tarayıcı temel olarak bir projeksiyon cihazı, yüksek çözünürlüklü bir fotoğraf makinesi ve sistemi denetleyen bir bilgisayardan oluşmaktadır. Öncelikle projeksiyon cihazı aracılığı ile yüz bölgesine yansıtılan örüntülerin kırınımı fotoğraf makinesiyle kaydedilerek yüzün 3-B hali bilgisayar ortamında oluşturulmaktadır. Daha sonra 3-B yüz üzerinde ameliyat uygulamalarına uygun şekillerde cerrah tarafından çeşitli değişiklikler yapılmaktadır. 3-B model oluşturulması aşamasında literatürdeki yöntemlerden farklı olarak renk değişmezliği yaklaşımı kullanan bir yöntem tez çalışmaları kapsamında geliştirilmiştir. Ayrıca literatürde yer alan renk uzayı ayrışımı yaklaşımını standart bir yöntemin başarımı da iyileştirilmiştir.

A 3-D PLANNING SYSTEM FOR PLASTICAL SURGERY OPERATIONS; CYCLOPS 3-D SCANNER

Ersin ÖZÜAĞ

Keywords: Computer Vision, Structured Light, 3-D Modeling, Model Deformations

Abstract: Today on plastic surgery for medical or aesthetic issues related operations are performed as required or optional. However, it is known that many of patients experienced intense anxiety before in the period of these operations. It was observed that, during this period a patient, who has a relationship with his doctor based on trust, has more reduced anxiety before operations. Within this bilateral relationship, the patients have to tell doctors exactly what he/she wants and do not want [1]. Doctors generally uses graphic editor programs like Photoshop, to modify photos of patient, to provide operation planning and reduction of postoperative reservation of patients. But these photos only allows two-dimensional arrangements, so the results of operation unknown in a different perspective. In this case, the patient's concerns remain.

Through this study, a 3-D face scanning device is developed to obtain the patient's face in 3-D. In this way, the device scans the faces of patients before the surgery, and shows the status, which obtained via computer-aided deformations, after surgery. Thus, more efficient operation planning for doctors, and reduction of pre-operation anxiety for patients can be provided.

The developed 3-D scanner consists of a projector device, a high resolution camera and a computer, which controls the whole system. Firstly, the projector is used to reflect a pattern to face and distortions of the pattern on the face are recorded by the camera. Afterwards 3-D versions of the faces are created by computer. Thus, the doctor can make various changes on the face, to simulate the surgical operation. At the model creation stage a novel method based on color invariance is proposed within the scope of this thesis. Additionally, performance of a color space separation based method is improved.

1. GİRİŞ

Güncel görüntüleme teknolojileri ve gelişmekte olan tümdevre teknolojisinin sağladığı yüksek işlem kapasiteleri ile 3-B (3-Boyutlu) görsel sistemlerin kullanımları artık 2-B görsel sistemlerin yerini almaktadır. 3-B televizyon üzerinde yoğunlaşan çalışmalar, konunun geldiği ileri noktayı göstermektedir. Ayrıca 3-B bilgisi tıp, biyoloji, insansız denetim, nesne tanıma gibi sistemlerde yaygın şekilde kullanılmaktadır. Nesnelerin 3-B görüntülerinin bilgisayar ortamında oluşturulması için farklı donanımlar kullanılmakla beraber yaygın olarak çizgi lazer [2] veya projeksiyon cihazı ve kamera kullanılır. Birçok çalışmada 3-B bilgisini elde etmek için stereo görme, yapılandırılmış ışık, kodlanmış ışık gibi yöntemler kullanılmıştır [3]. Bu temel yöntemler esas alınarak farklı amaçlar için farklı uygulamalar geliştirilmiştir. Örneğin, kodlanmış ışık kullanan bir 3-B modelleme yönteminde hareketli projeksiyon cihazı [4], 3-B video oluşturmak için tasarlanan bir sistemde kamera ve projeksiyon cihazı dizileri [5], 3-B sahne bilgisini kullanan bir sistemde birden fazla kamera [6] gibi farklı kullanımlar bulunmakta ve geliştirilmeye devam edilmektedir.

2-B görüntü(ler)den 3-B model oluşturma üzerine araştırmalara aktif şekilde devam edilmektedir. Bunun için sıkça kullanılan yöntemlerden biri stereo-görmedir. Bu yöntemle 3-B modeller iki ya da daha fazla görüntülerden oluşturulur [7]. Bu durumda iki ya da daha fazla kamera kullanılması veya hareketli bir sistemle nesne üzerinden farklı açılarda birden fazla görüntü alınması gerekmektedir. Yakın geçmişte yine sıkça kullanılmış olan farklı bir yöntem de çizgi lazer kullanımıdır [2]. Ancak çizgi lazer kullanımı durumunda ise nesne üzerine sadece tek bir çizgi yansıtıldığından bütün nesnenin taranması için denetimli bir hareket sistemi gerekmektedir [8].

Bu tez çalışması ile mümkün olduğunca az donanımsal karmaşıklık ve az maliyetle hızlı ve yüksek çözünürlükte bir 3-B model oluşturma sisteminin geliştirilmesi

amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda yukarıda belirtilen stereo-görme ve çizgi-lazer gibi çoklu kamera veya hareketli bir donanım gerektiren ve göreceli olarak yavaş çalışan sistemlerin kullanılması uygun görülmemiştir. Bu nedenle stereo-görmeye çok benzer bir yaklaşım olan yapılandırılmış ışık yöntemi kullanılmıştır [9]. Bu sistemde donanım olarak bir adet yüksek çözünürlükte kamera ve projeksiyon cihazı kullanılmaktadır.

Yapılandırılmış ışık yönteminde temel mantık, 3-B taraması yapılacak cismin üzerine önceden belirlenmiş örüntülerin projeksiyon cihazı ile yansıtılmasıdır. Daha sonra örüntü yansıtılmış nesnenin kamera ile görüntüleri alınır. Burada kameradan alınan görüntülerde 3-B nesne yüzeyinde yansıtılan örüntünün bozulduğu görülür. Daha sonra bu bozulmalar incelenerek 3-B nesneyi ifade eden 3-B nokta bulutu hesaplanır [10].

Yüksek çözünürlükte 3-B modellerin oluşturulabilmesi için öncelikle yüksek çözünürlükte nokta bulutunun (point cloud) hesaplanması gerekmektedir. Ancak bu işlemlerin hesapsal yükünün fazla olması, derinlik bilgisi çıkarımı için kullanılan derinlik betimleyici örüntünün önemini arttırmaktadır [11]. Bu tez çalışmaları kapsamında iki farklı renkli örüntü kullanılmıştır. Bunlardan birisinde 3-B model çıkarmak için ilk defa önerilen renk değişmezleri yaklaşımı [12], diğerinde ise renk uzayı ayrışımı yaklaşımı [11] kullanılmıştır. Bu iki yaklaşımdan renk uzayı ayrışımının ileri bölümlerde değinilecek üstünlükleri göz önünde bulundurularak ilk yöntemin kullanılmasından vazgeçilmiştir.

Bu çalışmanın bir diğer ana hedefi ise, plastik cerrahi ameliyat planlamaları için 3-B model üzerinde çalışan uygun bir kullanıcı ara yüzünün oluşturulmasıdır. Bu nedenle ameliyat sırasında doktorların sıklıkla kullandıkları bazı temel yöntemlerin oluşturulan 3-B model üzerine de uygulanmasını ve sonucun bir anlamda modellenmesi amaçlanmıştır. Bu yüzden geliştirilen bir ara yüz programı ile doktorların, oluşturulan modeller üzerinde ameliyat ortamında yapmayı planladıkları değişikliklerin benzetimlerinin bilgisayar ortamında 3-B olarak yapmalarına olanak sağlanmıştır. Model üzerindeki 3-B deformasyon işlemleri OpenGL ortamında

gerçekleştirilmiştir. Gerekli olan kullanıcı ara yüz programı ise MFC(Microsoft Foundation Class Library) uygulaması olarak hazırlanmıştır.

Bu çalışmayla, insan yüzlerinin hızlı ve yüksek çözünürlükte 3-B modellenmesi ve bu modeller üzerinde plastik cerrahinde kullanılan bazı tıbbi ve estetik ameliyat yöntemlerinin benzetiminin yapılması sağlanmıştır. Böylece hem doktorların ameliyat planlamasına yardımcı olunması hem de hastaların ameliyat öncesi kaygılarının giderilmesine katkı sağlanması hedeflenmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde, 3-B tarama sistemi için seçilen donanımın genel özellikleri, genel yapıları ve birbirleriyle olan iletişimlerinin nasıl yapıldığı hakkında bilgiler verilmiştir. Ayrıca donanımın en önemli iki bileşeni olan kamera ve projektör arasındaki geometrik ilişkilerin de nasıl sağlandığı açıklanmıştır. Üçüncü bölümde, gerçek dünyadaki 3-B nesneden, 3-B nokta bulutlarının bilgisayar ortamına nasıl aktarıldığı hakkında bilgiler verilmiş ve 3-B nokta bulutunun hesaplanması sırasında kullanılan iki farklı yöntemin avantajları ve varsa dezavantajları incelenmiştir. Dördüncü bölümde ise bir önceki bölümde elde edilen nokta bulutunun, bilgisayar ortamında modellenmesi için kullanılan ve literatürde var olan bir üçgenleme yöntemi anlatılmıştır. Ayrıca çalışmanın temel amaçlarından biri olan 3-B model deformasyonlarının da nasıl yapıldıkları açıklanmıştır. Çalışmanın beşinci ve son bölümünde ise, sistemde donanımının denetimini, 3-B model oluşturmayı ve 3-B deformasyonları bir arada denetleyebilecek bir kullanıcı ara yüzünün tasarımı anlatılmıştır. Sonuçlar bölümünde çalışmanın sonucunda, elde edilen kazanımlardan bahsedilip, ürün olarak ortaya çıkarılan “Cyclops 3-D Scanner” cihazı tanıtılmıştır.

2. 3-B TARAMA SİSTEMİ

2.1. Giriş

Yapılandırılmış ışık sistemi, bir kameranın edilgen hale getirildiği stereo görme sistemine bezemektedir. Projektörden yansıtılan yapılandırılmış ışığın kamera ile alınan görüntüdeki karşılığı bulunup derinlik bilgisi basit bir üçgenleme yöntemiyle elde edilebilmektedir. Bu da yapılandırılmış ışık yönteminin stereo görmeye göre bir üstünlüğüdür[13].

Şekil 2.1' de yapılandırılmış ışık yaklaşımının temel mantığı gösterilmiştir. Şekilden açıkça görüldüğü gibi, ışık kaynağına göre farklı bir açıdan bakıldığında, yansıtılan yapılandırılmış ışığın cismin şekline göre deforme olduğu ve derinlik bilgisini açığa çıkardığı görülmektedir.

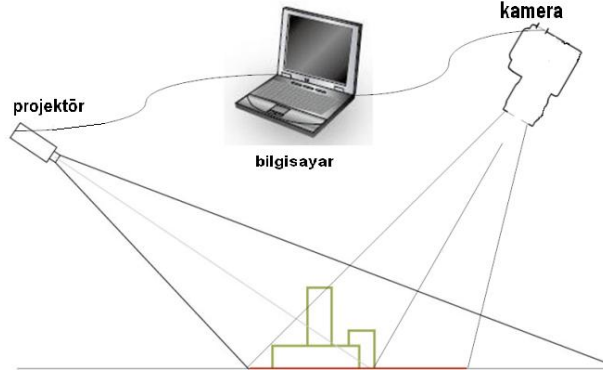


Şekil 2.1: Yapılandırılmış ışık kaynağı ile tarama mantığı, 3-B yüzeye projektör ile yansıtılan düz siyah çizginin, projektöre göre farklı bir açıdan bakıldığında görüntüsü.

2.1. Donanım

Yukarıda bahsedilen yapısal ışığın, bilgisayar yardımıyla projektörde üretilmesi ve yine aynı bilgisayar yardımıyla bir kameradan üzerine yapısal ışık yansıtılmış nesnenin görüntülerinin alınması mümkündür. Şekil 2.2' de böyle bir sistemin

tasarım şeması verilmiştir. Bu çalışma için tercih edilen projeksiyon cihazı 1024x768 piksel çözünürlükte ve 3000 ANSI lümen şiddetinde ışık yayabilmektedir. Kullanılan fotoğraf makinesi ise 10.2 Milyon piksel çözünürlükte görüntü elde edebilmektedir.



Şekil 2.2: 3-B tarama sistemi tasarım şeması

Donanımda kamera-projektör ikilisinin denetiminin sağlanması ve ayrıca 3-B modellerin görselleştirilmesi için kontrol birimi olarak bir bilgisayar kullanılmıştır. 3-B modelin elde edilmesi için biri görüntü yansıtılmış, diğeri görüntü yansıtılmamış iki tane görüntüye ihtiyaç duyulmaktadır. Görüntü yansıtılmış görüntü derinlik bilgisi çıkarımı için, diğeri ise 3-B modelin doku bilgisinin oluşturulması için kullanılmaktadır.

Donanım olarak kullanılan kamera ve projektörün denetiminin, bilgisayar tarafından tek bir USB girişi ile denetlenmesi için bir USB çoğullayıcı ve USB'den RS232'ye çevirici kullanılmıştır. RS232 bağlantısı projektör denetimi için, USB bağlantısı da kamera denetimi için kullanılmıştır.

Projektörün denetleme işlevleri, bilgisayar tarafından RS232 seri haberleşme kanalları kullanılarak, projektörün seri haberleşme yönergeleri ile gerçekleştirilmiştir. Ayrıca kullanılan kameranın da denetim işlevleri, üretici firması tarafından sağlanan, yazılım geliştirme donatıları (SDK – Software Development Kit) kullanılarak sağlanmıştır.

2-B görüntülerden 3-B model elde eden sistemlerin başarılı ve yüksek doğrulukta modelleme yapabilmeleri için öncelikle ölçümlemenin (kalibrasyon) yapılması gerekmektedir [14]. Bu nedenle öncelikle projektör-kamera ve sahne arasındaki 3-B geometri hesaplanmalıdır.

2.1.1. Kamera-Projektör ölçümlemesi

Çok kameralı sistemlerde, kameraların ölçümlemeleri hakkında hiçbir bilgi yoksa, bu durumun izdüşümsel yeniden yapılandırmadan daha iyi olması imkansızdır [15]. Kamera ve projektör sisteminde projektör cihazını tek bakış açılı bir kamera olarak düşünebiliriz. Bu yüzden kamera ve projektör arasındaki geometrinin hesapları yapılırken sistemi çok kameralı sistem gibi kabul edip, projektör ve kamera arasındaki geometriyi çoklu bakış geometrisindeki gibi tanımlayabiliriz [16]. Ayrıca, projektörün yansıma yüzeyi düz olduğunda kamera ve projektörün optik parametreleri perspektif dönüşümlerle modellenebilir [17].

2-B Homografi, X_i ve bunlara karşılık gelen X'_i noktalar kümesi verildiğinde, her bir X_i 'yi X'_i 'ye götüren izdüşümün hesaplanmasıdır. Uygulamada X_i ve X'_i ler iki imge üzerindeki noktalar olarak alınırlar [15].

Bu bilgiler ışığında kamera ve projektör arasındaki homografinin hesaplanması ile ikisinin 3-B uzaydaki geometrik ilişkisi elde edilebilir. Bunun için öncelikle, projektörden düz bir yüzeye yansıttığımız bir noktanın $P\{x, y\}$, kamerada hangi noktaya $P_c\{x, y\}$ karşılık geldiğinin bulunması gerekmektedir. Bu noktaların kullanıcı yardımıyla elle seçilmesi mümkün olmakla birlikte bu çalışmada kamera–projektör arasındaki geometrinin çıkarılması, projektörden yansıtılan bir ölçümleme görüntüsünden otomatik olarak yapılmıştır. Bu işlem sırasında iki imgenin öznitelik noktalarının bulunması ve bunların eşleştirilmesi [18]'deki gibi yapılmıştır. Elimizdeki iki imgenin ortak noktalarının bulunmasından sonra bu noktalar, [15]'de verilen RANSAC (RANdom SAmple Consensus) ve DLT (Direct Linear Transformation) işlemsel süreçlerinden geçirilerek kamera ve projektör arasındaki homografi hesaplanmıştır.

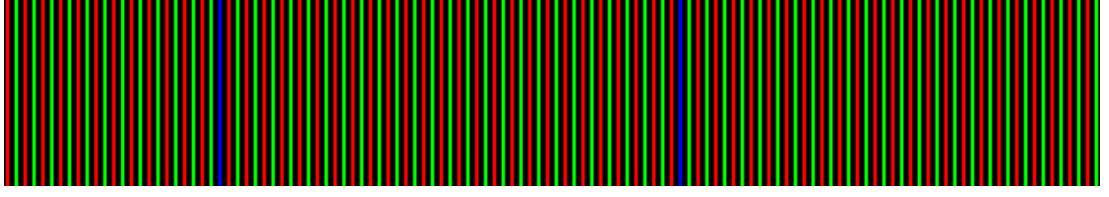
3. İNSAN YÜZLERİNİN 3-B NOKTA BULUTLARINI OLUŞTURMAK İÇİN KULLANILAN YÖNTEMLER

3.1. Giriş

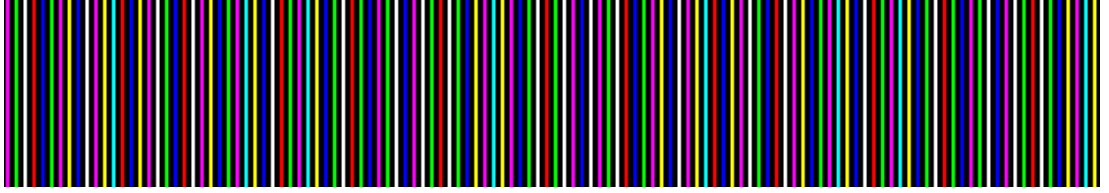
Bu tez çalışması kapsamında insan yüzlerine renkli örüntü yansıtma temelli iki farklı yöntem kullanılmıştır. Yüze yansıtılan renkli örüntülerdeki karşıtlığın yüksek olması, daha iyi sonuçların alınmasını sağlamaktadır [9]. Ancak, projektördeki her bir renk kanalının diğer kanalları etkilemesiyle renk girişiminin oluşması [19], karşıtlığı fiziksel olarak sınırlamaktadır. Bu yüzden bu çalışmada kullanılan renkli örüntüler arasında [9]'daki gibi siyah (geçiş) örüntüleri kullanılmıştır. Kullanılan örüntülerden ilki renk değişmezleri yaklaşımli bir yöntemi, ikincisi ise renk uzayı ayrışımı yaklaşımli bir yöntemi temel almaktadır. Bu iki yaklaşımın birbirlerinden en önemli farkları, projektörle yüze yansıtılan derinlik betimleyici örüntünün yapısıdır. Her iki yaklaşım için özel olarak üretilmiş örüntüler kullanılmıştır. Ancak kullanılan örüntüler her ne kadar farklı olsalar da bu iki yaklaşım da derinlik bilgisi çıkarımı için temelde aynı mantık üzerinde çalışmaktadır.

Renk değişmezleri yaklaşımli yöntemde kullanılan renkli örüntü [20]'deki gibi oluşturulmuştur (Şekil3.1(a)). Bu örüntüdeki mavi renkli çizgilerin amacı, derinliğin ani değiştiği bölgelerde kırmızı ve yeşil çizgilerin takibinin doğru yapılmasını sağlayacak denetim işleyişini oluşturmaktır.

Renk uzayı ayrışımı yaklaşımli yöntemde kullanılan renkli örüntü Şekil3.1(b)'de verilmiştir. Bu örüntü [9]'daki gibi birbirlerinden ayırt edilmesi en kolay yedi ayrı renkten oluşturulmaktadır. Renklerin ayırt edilebilirliğinin yüksek olması, yüze yansıtılmış örüntüdeki bozulan renklerin ayrışımını kolaylaştırmaktadır.



(a)



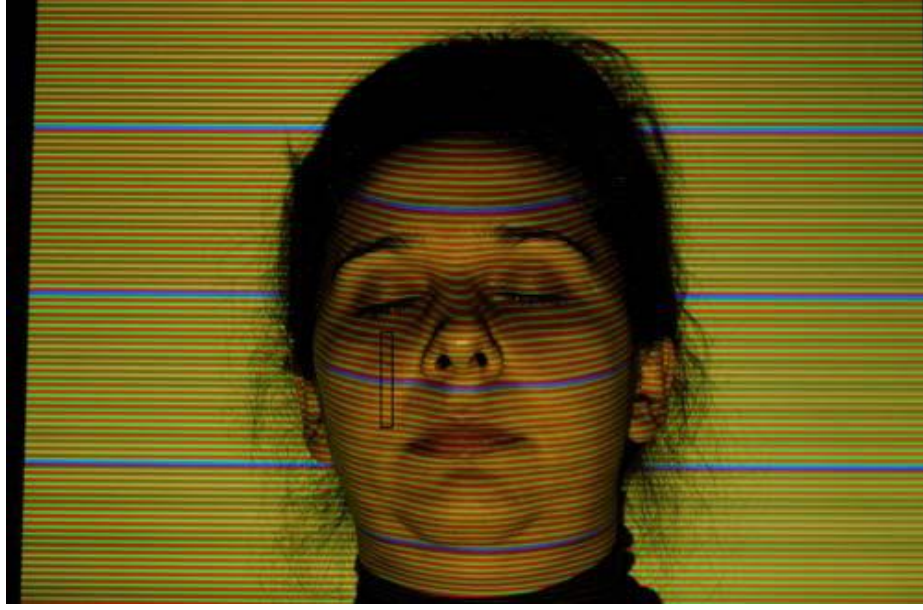
(b)

Şekil 3.1 (a) Renk değişmezleri yaklaşımı için renkli derinlik betimleyici örüntü, (b) Renk uzayı ayrışımı yaklaşımı için renkli derinlik betimleyici örüntü (örüntüler 90° döndürülmüştür)

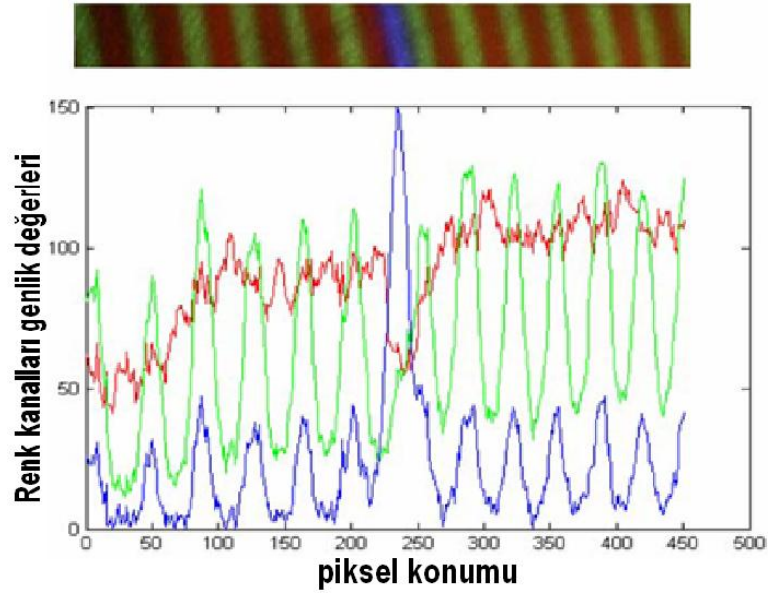
3.2. Renk Değişmezleri Yaklaşımı Yöntem

Renk değişmezleri yaklaşımı bir yöntem, ilk kez bu tez çalışmaları kapsamında 3-B modelleme amaçlı kullanılmıştır.

Renk değişmezleri yaklaşımı yöntemde kullandığımız renkli derinlik betimleyici örüntünün yüze yansıtılması sonucunda oluşan görüntü Şekil 3.2(a)'da verilmiştir. Şekil 3.2(a)'daki gibi görüntünün elde edilmesinden sonra, derinlik bilgisinin çıkarılması için öncelikle renkli yatay çizgilerin takip edilmesi gerekmektedir. Buradaki gibi bir görüntüde yatay çizgileri takip etmek için sıklıkla kullanılan iki farklı yöntem vardır. Bunlardan ilki, [19-21]'dekiler gibi yatay çizgilerin kenarlarını bularak takip etmektir. Diğeri ise, [22-23]'dekiler gibi yatay çizgilerin her bir renk kanalı için, düşeyde tepe noktalarının yatay çizginin orta noktası olacağını varsayarak çizgileri takip etmektir.



(a)



(b)

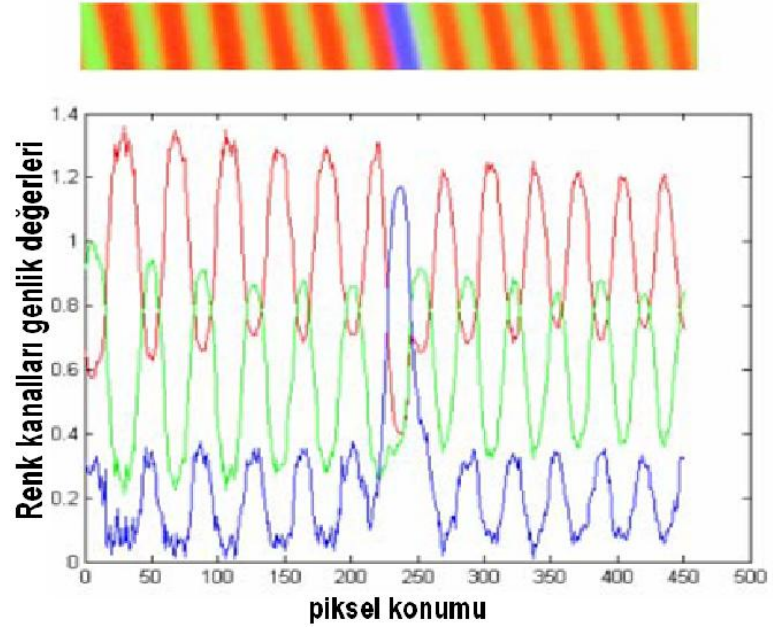
Şekil 3.2: (a) Şekil3.1(a) 'daki derinlik betimleyici örüntünün yüze yansıtılmış hali, (b) işaretli bölgenin renk kanalları genlik değişimleri

Yatay çizgilerin takibi için yapılan deneylerde, projektörle oluşturulan örüntün yüze yansıtılması sonucunda elde edilen verilerin [9]'daki gibi olduğu gözlenmiştir. Şekil3.2(a)'daki işaretli bölgenin renk kanalları değişimi Şekil 3.2(b)'de verilmiştir. Burada, eğer kenar (renk kanallarının kesişim noktaları) bölgelerin belirlenmesi yöntemi kullanılırsa, kenar noktalarının hangi renge ait olduklarının bulunmasında

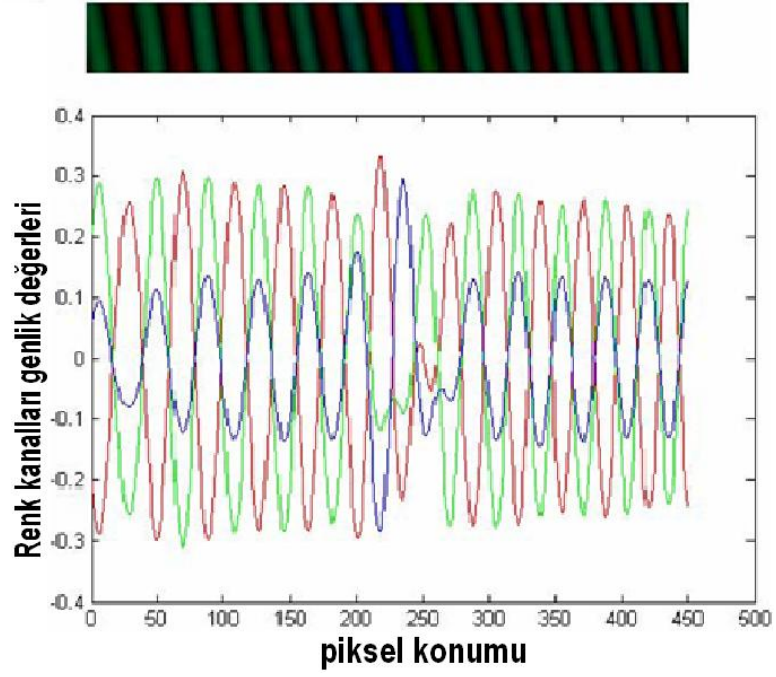
zorluklar yaşanacağı açıkça görülmektedir. Çünkü kesişim noktalarında ilgilenilen renk kanalları aynı genliktedir. Bu nedenle renk kanallarının tepe yaptıkları noktaların bulunması üzerine gidilmiştir. Ancak Şekil 3.2(b)'de görüldüğü gibi verilerin yüksek derecede gürültülü olması ve özellikle kırmızı renk kanalının ten üzerinde çok fazla dağılması nedenleriyle, tepe noktalarının saptanması için doğrudan kırmızı (K), yeşil (Y) ve mavi (M) renk kanallarının kullanımı uygun değildir. Bu nedenle [24]'te verilen nesne tanıma amaçlı renk dönüşümü yönteminin 3-B model oluşturma amacıyla kullanılması ilk kez bu tez çalışması kapsamında önerilmiştir.

Yapılan renk dönüşümü sonrasında Şekil 3.2(a)'daki işaretli bölgenin değişimi Şekil3.3(a)'da verilmiştir. Şekil 3.2(b)'deki grafikte, Şekil 3.3(a)'daki grafik karşılaştırıldığında, renk dönüşümü sonrasında oluşan verilerde renk kanallarının birbirlerinden ayrılması ve tepe noktalarının bulunması daha kolaydır. Ancak hala veriler üzerinde gürültü bulunmaktadır. Ayrıca Şekil 3.3(a)'daki grafikte olduğu gibi renk kanallarının ortalama değerlerinin farklı oldukları görülmektedir. Bu sorunları gidermek için frekans uzayında bant geçiren süzgeçleme işlemi Ayrık Kosinüs Dönüşümü (DCT – Discrete Cosine Transform) kullanılarak yapılmıştır. Frekans uzayında gerçekleşen bu süzgeçleme işlemi sonrasında renk kanallarının değişimi Şekil 3.3(b)'de verilmiştir. Şekil 3.3(b)'de görüldüğü gibi artık renk kanallarının tepe noktaları açıkça ortaya çıkmıştır. Burada tepe noktaların saptanması için elde edilen renk kanalı işaretlerinin ikinci türevlerini değerlendirmek yeterli olmaktadır. Ayrıca burada sadece mavi renk kanalının yeri, basit bir eşikleme yöntemi kullanılarak bulunur. Renk kanalları için tespit edilen tepe noktaları Şekil 3.4'te verilmiştir.

Burada kaş, sakal ve kirpik gibi ışığı soğuran ve dağıtan, burun gibi keskin derinlik değişimi olan bölgelerde oluşan kopukluklar, bir alt veya bir üst çizgi yardımıyla, eğer bu mümkün olmuyorsa da doğrusal bir ara değerlendirme işlemiyle doldurulmuştur. Ayrıca örüntüdeki mavi çizgilerin önemi de burada ortaya çıkmaktadır. Aradaki boşluklar doldurulurken diğer çizgilerin sıralarının karıştırılması için mavi çizgilerin konum bilgileri de kullanılmaktadır.

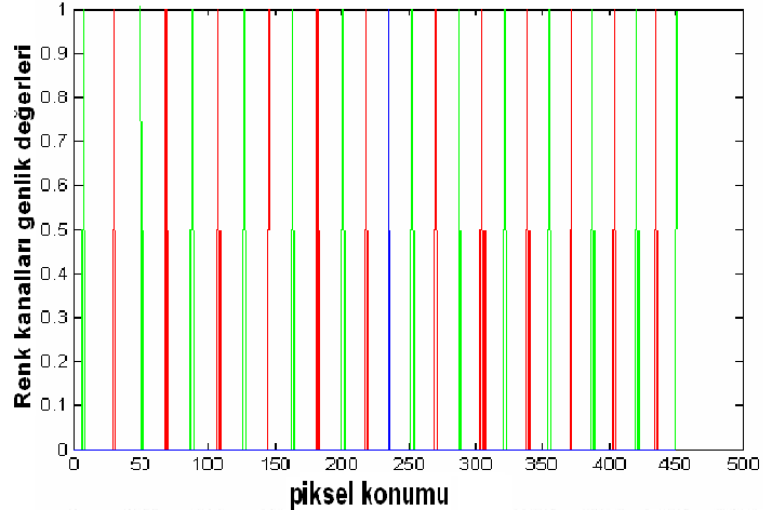


(a)



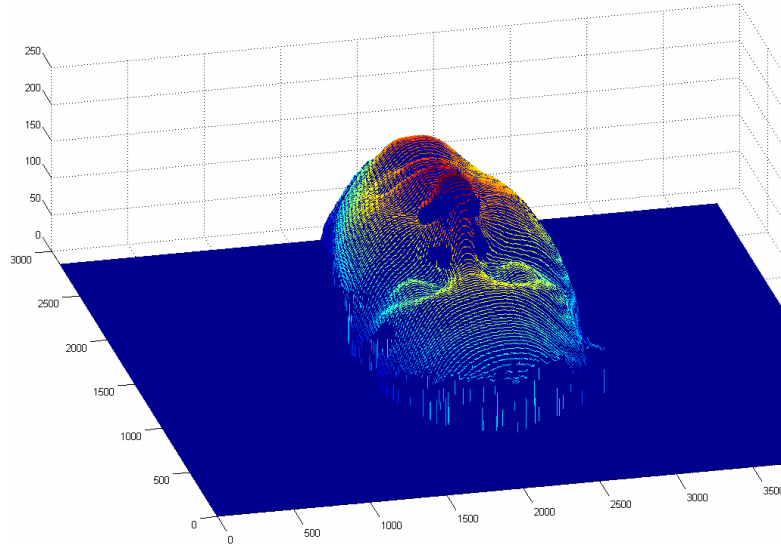
(b)

Şekil 3.3: (a) Şekil3.2(a) 'daki işaretli bölgenin renk dönüşümü sonrası hali, (b) bant geçiren süzgeçleme sonrası



Şekil 3.4: Renk kanallarının tepe noktaları

Bu aşamadan sonra projektörden yansıtılan örüntü yardımıyla, örüntülerin üç boyutlu yüzeydeki bükülme şiddetlerine göre derinlik bilgisi çıkarılmaktadır. Şekil 3.5 'te bu yolla elde edilmiş 3-B nokta bulutu gösterilmektedir.



Şekil 3.5: Elde edilen 3-B nokta bulutu

3.3. Renk Uzayı Ayırışımı Yaklaşımli Yöntem

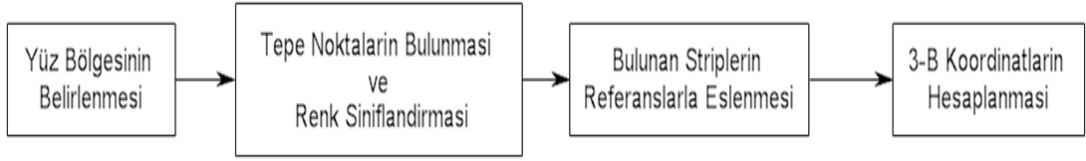
Tez çalışmasının bu kısmında kullanılan renk uzayı ayırışımı yaklaşımli yöntem [22]'deki çalışmayı temel almaktadır. [22]'deki çalışmanın akış şeması Şekil 3.6'da verilmiştir. Tez kapsamında ek olarak [22]'deki çalışmada verilen renklerin sınıflandırılması yönteminin de iyileştirilmesi için yenilikler önerilmiştir.

Renk uzayı ayırışımı yaklaşımli yöntemde kullanılan renkli derinlik betimleyici örüntü Şekil 3.1(b)'de verilmiştir. Bu örüntüde kullanılan ardışık renkler değerlendirme aşamasında birbirlerine karışmayı en aza indirgeyecek şekilde seçilmiştir. Bu örüntünün yüze yansıtıldığı görüntü Şekil 3.7'de verilmiştir.

Bu aşamadan sonra yapılması gereken, bir önceki yöntemde de olduğu gibi, renkli örüntünün insan yüzünde (3-B nesne yüzeyi) aldığı şeklin incelenerek 3-B nokta bulutunun hesaplanmasıdır. Burada yüz bölgesini arka plandan ayırma işlemi için otomatik yöntemler kullanılacağı gibi tez kapsamında gerçekleştirildiği şekilde kullanıcı desteği de alınabilir. Çalışmanın bu bölümünde yüz bölgesi bilgisayar faresi (mouse) kullanılarak kullanıcı yardımıyla belirlenmiştir. Yüz bölgesinin belirlenmesi sonrası elde edilen görüntü Şekil 3.8'de verilmiştir.

Bu yöntemde de derinlik bilgisini doğrudan Şekil 3.8'de verilen görüntü üzerinden elde etmek, Şekil 3.9(a)'da verilen grafik göz önünde bulundurulduğunda, pek mümkün görünmemektedir. Çünkü burada da bir önceki çalışmadaki gibi, öncelikle renk kanallarının tepe noktalarının bulunması gerekmektedir. Daha sonra bu tepe noktalarının bulunduğu yerlerdeki renkler yansıtılan örüntüdeki yedi ayrı renge sınıflandırılmaya çalışılır. Bu yüzden tepe noktaların olabildiğince az hata ile bulunması gerekmektedir. Ancak Şekil 3.9(a)'daki grafikten de görüldüğü burada tepe noktaların doğru olarak bulunması, gürültü ve yüzde renklerin dağılması sebebiyle mümkün olmamaktadır. Bu nedenle [22]'de önerildiği gibi, imgedeki gürültüleri yok etmek ve yatay çizgilerin takibini kolaylaştırmak için görüntüye, önce 2-B kum saatimsi alçak geçiren süzgeç (2-D hourglass shaped low-pass filter) ve ardından görüntünün her bir sütununa 1-B bant geçiren süzgeç uygulanmıştır. Böylece hem yatayda çizgilerin olabildiğince yumuşatılması hem de düşey düzlemde

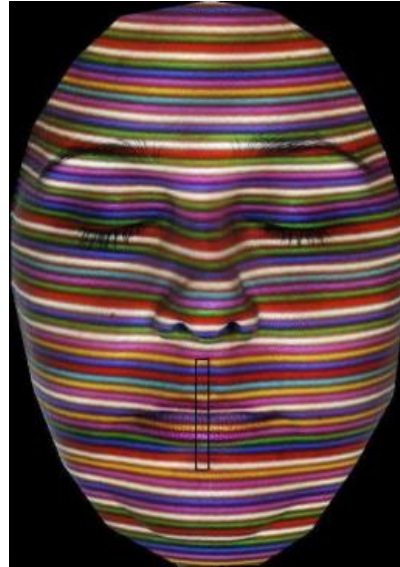
renkli çizgiler arasındaki farkların artması sağlanmıştır. Süzgeçleme işlemlerinden sonra elde edilen veriler Şekil 3.9(b)'de verilmiştir.



Şekil 3.6: Renk uzayı ayrışımı yaklaşımının yöntemin akış şeması [9]

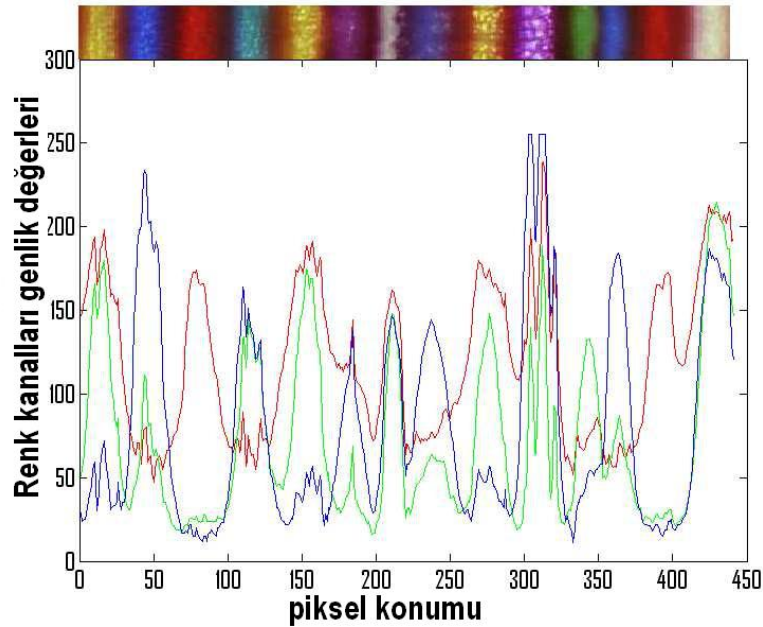


Şekil 3.7: Renk uzayı ayrışımı yaklaşımında kullanılan renkli örüntünün yüz bölgesine yansıtılmış durumu

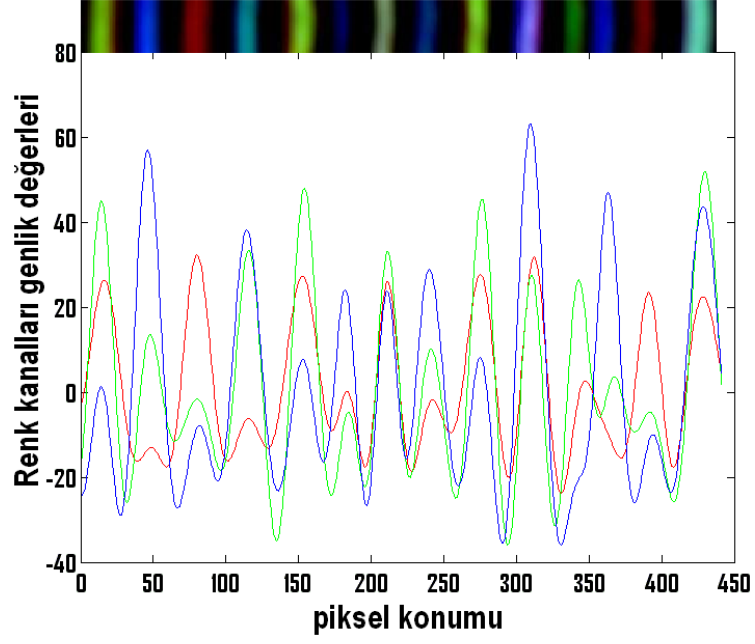


Şekil 3.8: Yüz bölgesinin belirlenmesi sonucunda elde edilen görüntü

Bu aşamadan sonra, Şekil 3.9(b)'deki veriler üzerinden renk kanallarının tepe noktalarının hesaplanması gerekmektedir. Ancak burada bir önceki yöntemde önerildiği gibi ikinci türev bilgisini kullanmak her zaman tepe noktalarını doğru şekilde vermemektedir. Şekil 3.10'daki gibi, bir renk kanalının doygunluğa ulaşması veya yüzün bazı bölgelerinde renk kanallarının aşırı derece dağılması gibi durumlarda da tepe noktaların bulunması için farklı bir yol izlenmiştir. [22]'deki çalışmada bu sorunun giderilmesi için, renk kanallarının tepe genliğe ulaşması beklenen bölgelerdeki genlik değerlerine ikinci dereceden bir polinom uydurulmuş ve bu polinomun tepe noktası ilgili renk kanalının tepe noktası olarak alınmıştır. Bu yöntem düzgün ve yüksek doğrulukla çalışmakla beraber, yaptığımız deneylerde, işlem yükünün fazla oluşundan dolayı yavaş olduğu görülmüştür. Bu nedenle şekil 3.10'da görsel olarak gösterilmeye çalışıldığı gibi, ilgili renk kanalının değişimi takip edilerek, kanalın genliğinin artışı tamamladığı ve azalmaya başladığı noktaların ortası o renk kanalının tepe noktası olarak alınmıştır. Bu işlem her bir renk kanalının tepe noktaları için ayrı ayrı uygulanır. Sonrasında her bir çizginin tepe noktası [22]'deki gibi, o çizgiyi oluşturan üç ayrı renk kanalının tepe noktalarının ortalaması olarak hesaplanır.

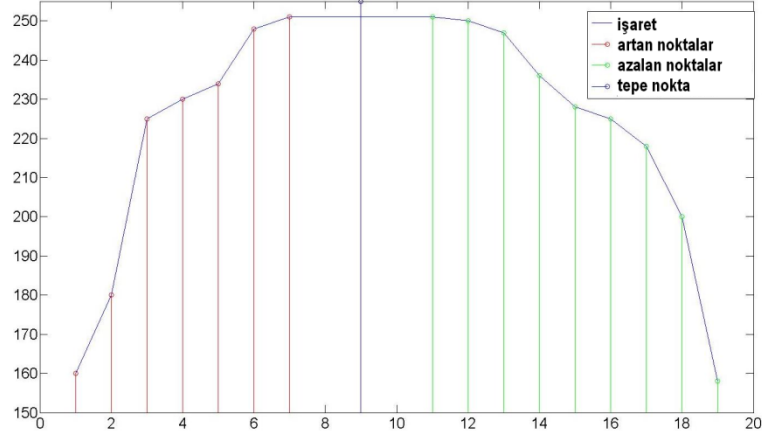


(a)



(b)

Şekil 3.9: (a) Şekil 3.8 'deki görüntüde işaretli bölgedeki renk kanalları değişim grafiği, (b) aynı verilerin süzgeçleme işlemleri sonrasındaki hali



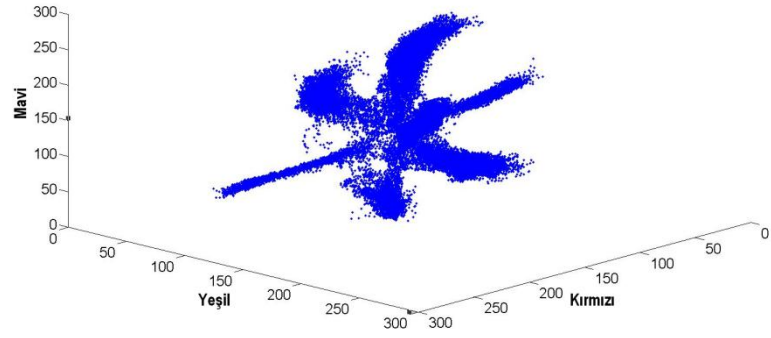
Şekil 3.10: Renk kanalları için tepe noktalarının bulunması yöntemi

Yatay çizgilerin düşeydeki tepe noktaları hesaplandıktan sonra, Şekil 3.8'deki ham görüntüde bu noktalara karşılık gelen piksellerin renklerinin sınıflandırılması gerekmektedir. İlgili piksellerin projektörden yansıtılan yedi ayrı renge sınıflandırılması için [22]'de önerilen KMeansLineFit algoritması uygulanmıştır. Bu algoritma piksellerin K, Y ve M renk uzayında dağılımına göre 3-B uzayda sınıflandırma yapmaktadır. Şekil 3.8'de görüntünün ilgili piksellerin renk uzayında dağılımı Şekil 3.11(a)'da verilmiştir. Bu dağılımda, yedi farklı renge ilişkin

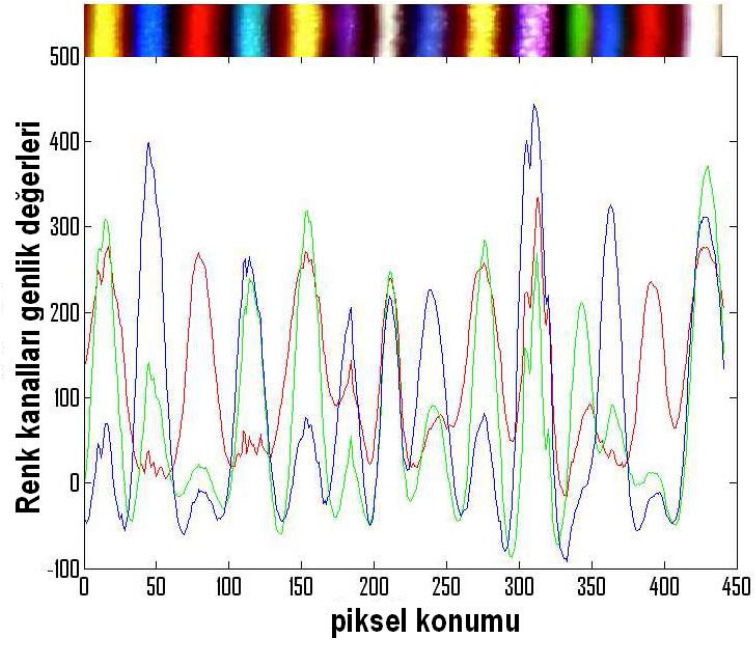
kümelenmeler kabaca görülmektedir. Bu aşamada kullanılan KMeansLineFit yöntemi ile her bir pikselin hangi renge ait olduğuna karar verilmektedir. Burada öncelikle, başlangıç olarak projektörden yansıtılan yedi ayrı renk için, renk uzayında yedi ayrı renk doğrusu oluşturur. Örneğin kırmızı renk kanalı için oluşturulan renk doğrusunun başlangıç noktası $\{0, 0, 0\}$ ve uzayda geçtiği bir nokta da $\{255, 0, 0\}$ noktası olarak alınır. Oluşturulan yedi ayrı renk doğrusuna, uzaydaki her bir pikselin Öklid (Euclidean) uzaklıkları hesaplanır ve ilgili piksellerin, kendilerine en yakın renk doğrusunun işaret ettiği renge ait oldukları sonucuna varılır. Daha sonra sınıflandırılan piksellerin, ortalaması göz önüne alınarak renk doğruları güncellenir. Bu işlemler renk doğrularında artık değişim olmayana kadar ya da belirli bir yineleme sayısı kadar devam ettirilir.

Yapılan deneyler sırasında, Şekil3.11(a)'daki renk uzayı dağılımında genlik değerinin düşük olduğu bölgelerde sınıflandırma başarımının düştüğü gözlenmiştir. Bunun sebebi, bahsedilen bölgelerdeki piksellerin dağılım aralığının düşük olması ve böylece gürültü ve yüzdeki renk bozunumlarının etkisinin oransal olarak artmasıdır. Bu nedenle tez kapsamında [22]'deki çalışmaya yenilik olarak, orijinal görüntü I (Şekil 3.8), süzgeçlenmiş görüntü I_f ile gösterilmek üzere, $I_w = I + I_f * w$ şeklinde bir w çarpanı ile ölçekleme eklenmiştir. Ölçeklenmiş görüntünün renk kanalları değişim grafiği Şekil 3.11(b) 'de, renk uzayı dağılımı da Şekil 3.11(c)'de verilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda w değerinin 3 olarak alınması uygun görülmüştür.

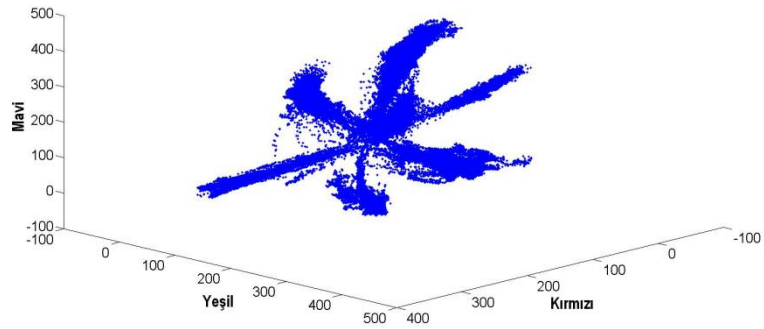
Ölçekleme sonrasında, Şekil 3.11(c)'de de görüldüğü gibi, renkler arasındaki farklar mantıklı bir şekilde arttırılmıştır. Böylece oluşacak kümelenmelerin renk doğruları arasındaki Öklid uzaklıkları artmıştır. Bunun da önceki durumda sorun yaratan piksellerin daha doğru sınıflandırılmasına yardımcı olduğu gözlenmiştir. Ancak bu aşamadan sonra da, KMeansLineFit işlemsel sürecinin uygulanması sonucunda hatalı sınıflandırılan pikseller bulunmaktadır. Yapılan gözlemler sonucunda bu piksellerin, burunun sağ ve sol kenarları, yüzün sağ ve sola bakan yan çevreleri gibi ışığı kameraya doğru değil de bulunan ortama doğru yansıtan bölgelerinde yoğunlaştığı görülmüştür.



(a)



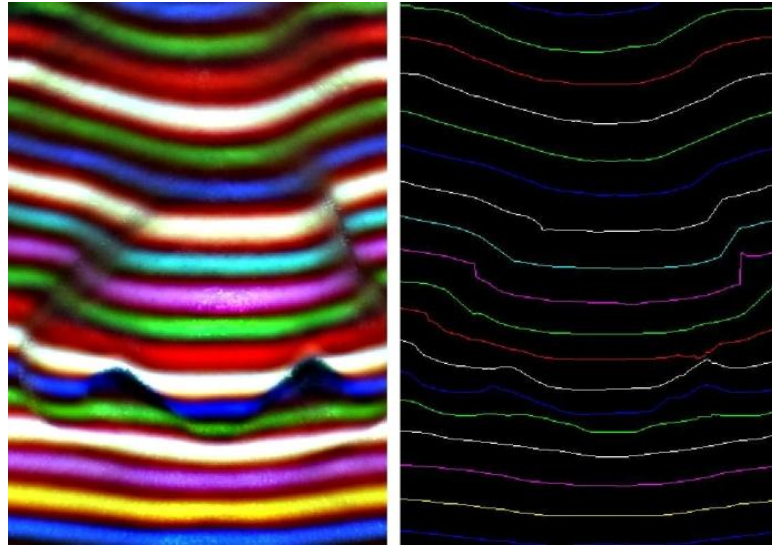
(b)



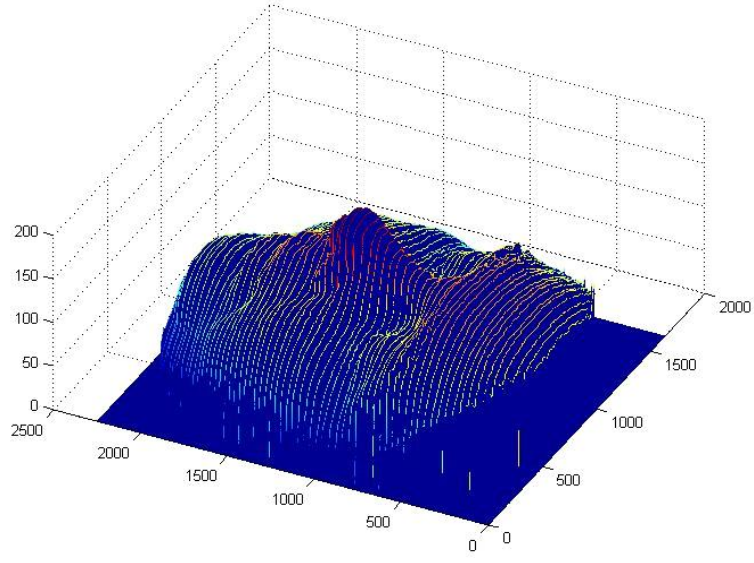
(c)

Şekil 3.11: (a) Şekil 3.8 ‘deki ham imgede, hesaplanan tepe noktalara karşılık gelen, piksellerin K,Y,M renk uzayında dağılımı, (b) Şekil 3.8 ‘deki görüntüde işaretli bölgeye karşılık gelen, ölçeklenmiş renk kanalları değişim grafiği, (c) Ölçeklenmiş görüntünün ilgili piksellerinin aynı uzayda dağılımı

Düzgün bir 3-B nokta bulutu oluşturmak için bu etkilerin de giderilmesi gerekmektedir. Bu amaçla öncelikle, KMeansLineFit ve bu tezde önerilen ek işlemden sonra elde edilen imgede tek renge sahip en büyük çizgi bulunur. Bu çizgi yardımıyla bütün görüntü yukarı ve aşağı yönde taranır ve çizgiler sıralanır. Bu sıralama sonucunda aynı çizgiye ait oldukları belirlenen ancak farklı renkteki çizgi parçaları bulunursa, bunlar arasında çoğunluk oylaması (majority voting) yapılır ve çoğunluk rengi bütün çizgiye atanır. KMeansLineFit yöntemiyle renklerin yüksek doğrulukta sınıflandırılması oylama işlemlerinin sorunsuz tamamlanmasını sağlamaktadır. Renklerin doğrulanması da yapıldıktan sonra, bir önceki çalışmada da yapıldığı gibi, çizgiler arasında varsa kopuklukların doldurulması yapılır. Bu aşamada elde edilen görüntü Şekil 3.12’ de verilmiştir. Daha sonra yine bir önceki çalışmadakine benzer şekilde, projektörden yansıtılan görüntü ile Şekil 3.12’ deki gibi elde ettiğimiz görüntüler arasındaki farklardan derinlik bilgisi çıkarılır. Böylece elde edilen 3-B nokta bulutu Şekil 3.13’te verilmiştir.



Şekil 3.12: Renklerin doğrulandığı ve çizgiler arası kopukluğun doldurulduğu görüntü



Şekil 3.13: Elde edilen 3-B nokta bulutu görüntüsü



Şekil 3.14: Renk değışmezliği yönteminde karşılaşılan güçlükler

3.4. Sonuçlar

Bu çalışmada kullanılan iki yöntem de beklentileri karşılamakla beraber, birbirlerine göre üstünlüklerinin ve varsa yarar yitimi sağladıkları yerlerin, değerlendirmesi yapılmış ve sonucunda renk uzayı ayrışımı yaklaşımlı yöntemin amacımıza daha uygun olduğu belirlemiştir.

Renk değişmezliği yaklaşımının çalışmamız için getirdiği en büyük dezavantaj, kullanılan renkli örüntüdeki renk sayısının azlığı ve bu nedenle, ani derinlik değişimi saptanan bölgelerde renkli çizgilerin sırasının karışmasıdır. Bu durum Şekil 3.14'teki görüntüde açıklanmaya çalışılmıştır. Renkli çizgilerin sırası her ne kadar mavi çizgiler yardımıyla takip edilip doğrulanmaya çalışılsa da, bunun yüzün kaş, sakal, kirpik ya da burun deliği, kızarıklık ve ben gibi ışık yansımasını veya renkliliği etkileyen bölgelerinde, kopuklukların olması nedeniyle her zaman doğru sonuçlar üretemediği ya da bunun sağlanması için çok fazla işlem yükünün göze alınması gerektiği gözlenmiştir.

Şekil 3.14'deki görüntü karşılaştığımız yarar yitimine örnek olması için hastanın yüz konumunun denetimsiz bir Şekilde ayarlanması sonucunda alınmıştır. Ancak yüzler her ne kadar denetimli olarak konumlandırılırsa da, sistemin çok çeşitli ve istenmeyen durumlara da hazırlıklı olmasının gerektiği göz önünde bulundurulmuş ve bu yöntemden vazgeçilmiştir. Bu nedenle çalışmalarımızda, bu yönteme göre daha fazla renkli çizgi kullanan ve bunları birbirine karışmayı en aza indirgemeye yönelik bir algoritmayla sıralayan, ikinci yöntemin uygulanması uygun grlmştir.

4. NOKTA BULUTUNUN ÜÇGENLENMESİ VE MODEL DEFORMASYONLARI

4.1. Giriş

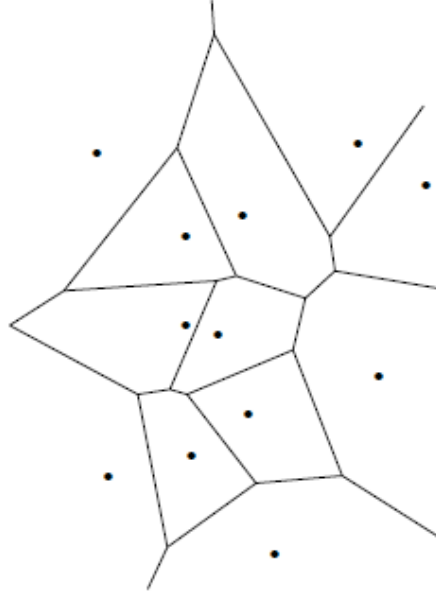
Bilgisayar grafiklerinde, 3-B modelleme 3-B bir nesne yüzeyini matematiksel olarak ifade eden işlemlerden oluşmaktadır [25]. Bizim de 3-B nokta bulutunun elde edilmesinden sonra yapmamız gereken, bilgisayar ortamında 3-B nesneminin modellenmesi için öncelikle bu modelin 3-B uzayda doğru olarak ifade edilmesini sağlamaktır. Bu yüzden sıklıkla kullanılan üçgenleme yöntemi uygun görülmüştür. Üçgenleme bir yüzeyi üçgenlere bölerek ifade etmektir [26].

Bu yöntemin temel mantığı, 3-B nokta bulutundan, nesneyi ifade edecek en uygun sayıda üçgenler oluşturmaktır. Bu çalışmada derinlik bilgisinin elde edilmesinden sonra 3-B modele geçmek için Delaunay üçgenleme [27] yöntemi kullanılmıştır.

Üçgenleme aşamasından sonra modelin görselleştirilmesinin ve üzerinde istenilen deformasyon işlemlerinin yapılabilmesi için yaygın olarak kullanılan OpenGL [28 - 29] yazılım ara yüzünün kullanılması tercih edilmiştir.

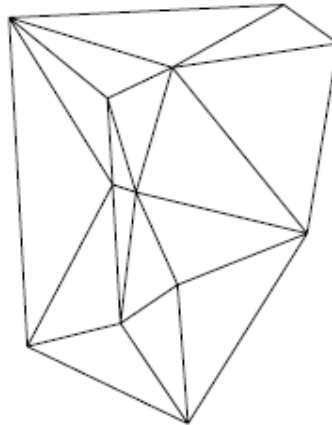
4.2. Delaunay Üçgenleme Yöntemi

Verilen bir nokta kümesinde Delaunay üçgenleme yapılması için Voronoi diyagramının çıkarılması gerekmektedir. Voronoi diyagramı ve Delaunay üçgenleme hesapsal geometrideki veri yapıları arasında en çok kullanılanlarındandır [30]. Düzlemde yer alan sonlu nokta kümesine ait her hangi bir noktaya, kümedeki diğer noktalardan daha yakın konumda bulunan düzlem noktalarının geometrik yerine o noktanın Voronoi Çokgeni (poligonu) denilmektedir. Kümedeki tüm noktaların çokgenlerinin birleşimi, o kümenin Voronoi diyagramını oluşturur [31]. Şekil 4.1'de bir veri kümesi ve ona ait Voronoi diyagramı gösterilmiştir.

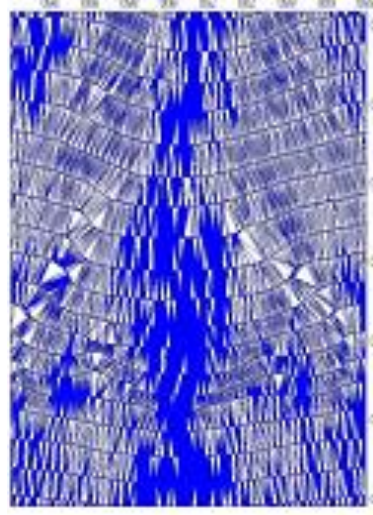


Şekil 4.1: Voronoi diyagramı [31]

Bir noktanın Voronoi çokgeni herhangi bir noktayı, kendisine en yakın konumdaki komşu noktalardan ayırmaktır. Çokgenin kenarları, nokta ile komşu noktaları birleştiren doğru parçalarının kenar orta dikmelerinden oluşmakta, her nokta kendisine ait komşu noktalar ile birleştirildiğinde Delaunay üçgenlemesi elde edilmektedir [31]. Şekil 4.2' de Delaunay üçgenlenmesi örneği gösterilmektedir.



Şekil 4.2: Delaunay üçgenlemesi [31]



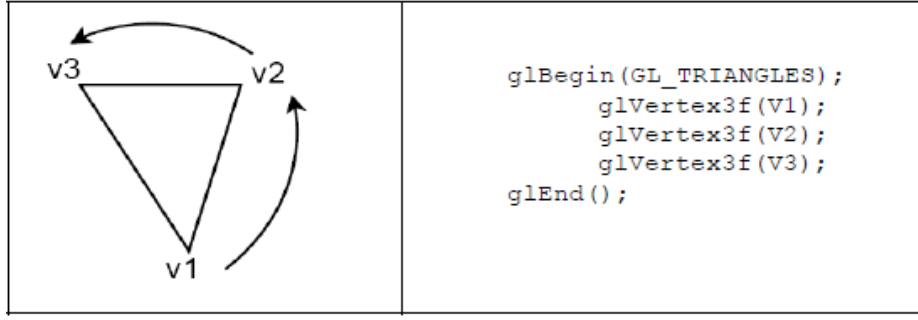
Şekil 4.3: Delaunay üçgenleme yönteminin üçüncü bölümde elde edile nokta bulutuna uygulanması sonucu elde edilen görüntünün bir bölümü

4.3. OpenGL ve 3-B Model Deformasyonları

Üçgenleme aşamasından sonra, elde edilen 3-B modelin bilgisayar ortamında görselleştirilmesini ve istenilen deformasyonların yapılmasını sağlamak gerekmektedir. Modelin bilgisayar ortamında görselleştirilmesi için daha önce de bahsedildiği gibi OpenGL grafik ara yüzü kullanılmıştır. Model üzerindeki deformasyonlar için de bu konuda sıklıkla kullanılan yöntemlerin uygulamaları yine OpenGL fonksiyonlarının yardımlarıyla gerçekleştirilmiştir.

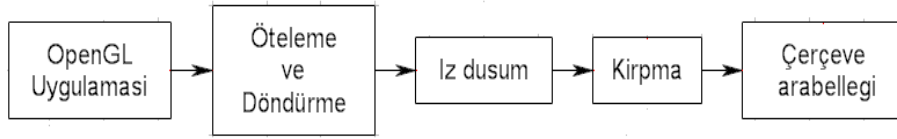
4.3.1. OpenGL

OpenGL’de 3-B modeller farklı şekillerde ifade edilebilmektedirler. Bu çalışmada 3-B model üçgenlerden oluşturulduğu için, burada OpenGL’in üçgen oluşturma fonksiyonlarından yararlanılmıştır. OpenGL’de üçgenlerin çizimi, Şekil 4.4’ te gösterildiği gibi, üçgenleri oluşturan vertekslerin 3-B uzaydaki konumlarına göre bir çizim yapılır. Verteks 3-B uzayda bir noktayı tanımlayan, OpenGL’in en basit kavramıdır. OpenGL’de verteksler x,y,z koordinatlarına sahiptir ve genellikle kesirli (float) değer olarak tanımlanırlar [32].



Şekil 4.4: OpenGL’ de üçgen çizimi

Oluşturduğumuz modelin üçgen çizim yöntemleriyle OpenGL ortamına aktarılmasından sonra, farklı açılardan incelenebilmesi için öteleme ve döndürme gibi işlemlerin de gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu amaçlar için izlenebilecek yok Şekil 4.5’te gösterilmiştir.



Şekil 4.5: OpenGL’ de işlemler yapılırken izlenilebilecek yol, Burada öteleme ve döndürme, noktaların yerlerini değiştirmeye, izdüşümü 3-B OpenGL koordinatlarındaki noktaların görüntü yüzeyine(ekran) izdüşümünü, kırpma ekran dışında kalan alanların kırılmasını göstermektedir [28].



Şekil 4.6: OpenGL’ de oluşturulan modelin farklı açılardan görünümü

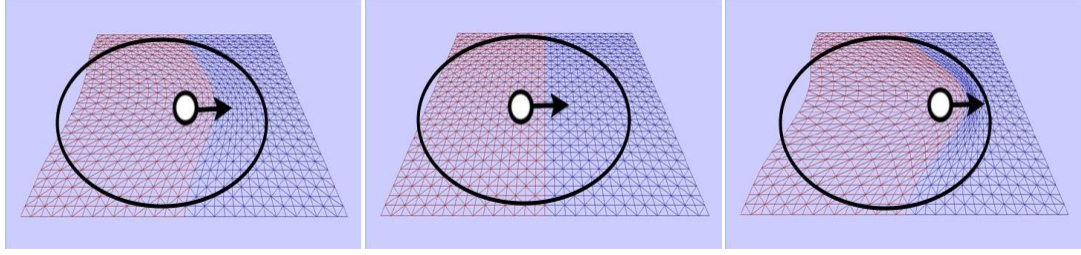
Modelimizin OpenGL ekranında gösterimini ve istediğimiz gibi denetimini sağladıktan (Şekil 4.6) sonra artık bu çalışmanın asıl amaçlarından biri olan, yüz bölgesinde istenilen deformasyonların yapılması gerekmektedir.

4.3.2. Model deformasyonları

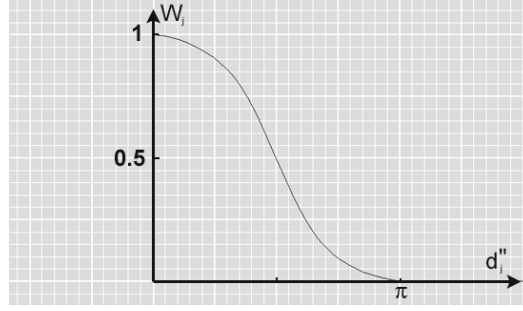
Model deformasyonları ve animasyonları neredeyse bütün bilgisayar grafikleri uygulamalarında ve ayrıca tıp, anatomi, psikoloji, bilgisayarla görme gibi çok geniş alanlarda kullanılmaktadır [33-34]. Deformasyon, temel olarak modeli oluşturan vertekslerin konumlarını değiştirmeye karşılık gelmektedir. Böylece her yer değiştirmede model geometrisi yeniden tanımlanmış olmaktadır. Deformasyonun göze hoş görünmesi ve pürüzsüz olması için modelin yerel biçimlerinin korunması gerekmektedir [33].

Çalışmanın bu kısmında önceki bölümlerde oluşturulan model üzerinde istenen yerel deformasyonların gerçekleştirilmesi üzerinde durulmuştur. Bu yüzden öncelikle, deformasyon yapılacak bölge ve sonrasında deformasyonun biçimi belirlenmelidir. Bunlar için kullanıcının bilgisayar faresini (mouse) kullanması sağlanmıştır. Kullanıcının deformasyon yapılacak bölgeyi fare yardımıyla seçmesi gerekmektedir. Ancak fare 2-B ekran uzayında hareket ederken OpenGL'de oluşturulan model 3-B OpenGL uzayındadır. Bu nedenle öncelikle farenin 2-B uzaydaki konumunun OpenGL ile yaratılan 3-B uzaydaki karşılığının bulunması gerekmektedir. Bu amaçla OpenGL tarafından sağlanan iz düşüm fonksiyonları kullanılmıştır.

Deformasyon yapılacak bölgenin seçilmesinden sonra, yapılması gereken deformasyonun biçiminin ve şiddetinin belirlenmesidir. Burada yapılan deformasyonun modelin genel görünümünü de bozmaması için, deformasyon fonksiyonunun da doğru seçilmesi ve ayarlanması gerekmektedir. Kullanılan deformasyon fonksiyonu [35]'te önerilene benzer şekilde oluşturulmuştur (Şekil 4.7). Burada önerilen deformasyon yüzeyi, seçilen deformasyon noktasını merkez alan R yarıçaplı bir küre ile modelin kesişim yüzeyi olarak alınmaktadır. Deformasyon yüzeyi seçildikten sonra Şekil 4.7(b)'deki gibi seçilen deformasyon noktasından uzaklaştıkça deformasyon şiddetini yumuşak bir şekilde azaltan bir fonksiyonla deformasyon şiddeti ayarlanmaktadır.



(a)



(b)

Şekil 4.7: [35] ' te önerilen (a) Deformasyon biçimi, (b) Deformasyon şiddetini ayarlama fonksiyonu

Ancak bizim çalışmamızda yüz bölgesinde yapılabilecek çok çeşitli deformasyonların olması sebebiyle sadece bu deformasyon yüzeyi biçiminin kullanılması yetersiz kalmaktadır. Bu yüzden deformasyon yüzeyini oluşturan küre fonksiyonu yerine üç eksendeki yarıçapı da ayarlanabilir elipsoid fonksiyonu kullanılmıştır. Kullanılan elipsoid fonksiyonu şu şekildedir,

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1, \quad (4.1)$$

Burada, 'a' , 'b' ve 'c' sırasıyla x, y ve z eksenlerindeki yarıçaplardır. Bu değişkenler kullanıcı tarafından ayarlanabilir yapılmıştır. Bu ayarlamaları kullanarak kullanıcının aynı noktada seçtiği farklı deformasyon yüzeyleri Şekil 4.8'de gösterilmiştir.



Şekil 4.8: Model üzerinde deformasyon için seçilen noktaya (kırmızı nokta) çizilen üç farklı elipsoidin model ile kesiştiği yüzeyler (yeşil). Sol: $a = b = c$, orta: $a < b = c$, sağ : $b < a = c$

Deformasyon yapılacak yüzeyi belirledikten sonra, deformasyonun şiddetinin hangi bölgede yoğunlaşacağını ve etkisinin deformasyon yüzeyi üzerinde nasıl yayılacağını belirlemek gerekmektedir. Bunun için seçilen deformasyon yüzeyinin merkezine, x ve y eksenlerindeki standart sapmaları ayarlanabilir bir 2-B Gauss (Gaussian) fonksiyonu eklenmiştir. Bu sayede seçilen deformasyon yüzeyinde istenilen şekillerde deformasyon şiddetinin dağılımı da ayarlanabilir olmuştur. Deformasyon şiddeti dağılımı ile ilgili örnekler Şekil 4.9’ da verilmiştir.



Şekil 4.9: Deformasyon yüzeyinde(yeşil alan) deformasyon şiddetinin değişik şekillerde ayarlanması. Kırmızı rengin en belirgin olduğu noktada deformasyon katsayısı ‘1’ olarak ayarlanır ve kırmızı rengin şiddetindeki değişim gibi, bu katsayı Gauss eğrisi değişimi hızında azalır.

Bütün bu işlemlerden sonra istenen deformasyonların yapılmasına olanak sağlanmış olmaktadır. Örnek bir yüz modeli için uygulanmış çeşitli deformasyonlar ve bunun farklı açılardan sonuçları Şekil 4.10’da verilmiştir.

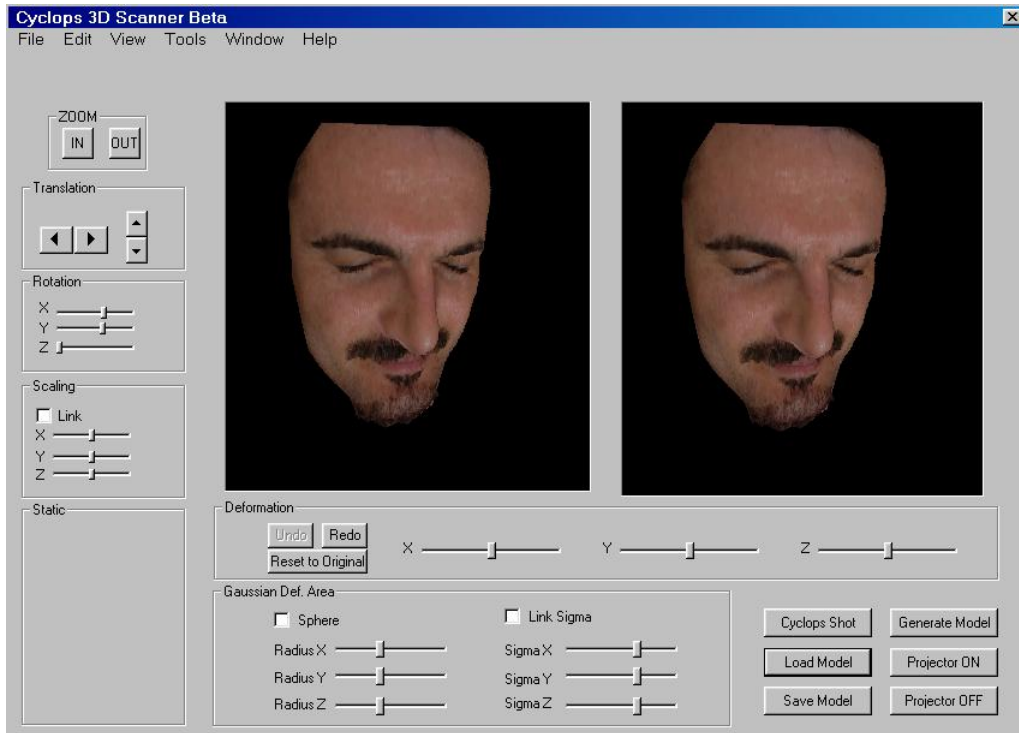


Şekil 4.10: Deformasyona uğratılmış modellerin (sol) farklı açılardan görüntüleri

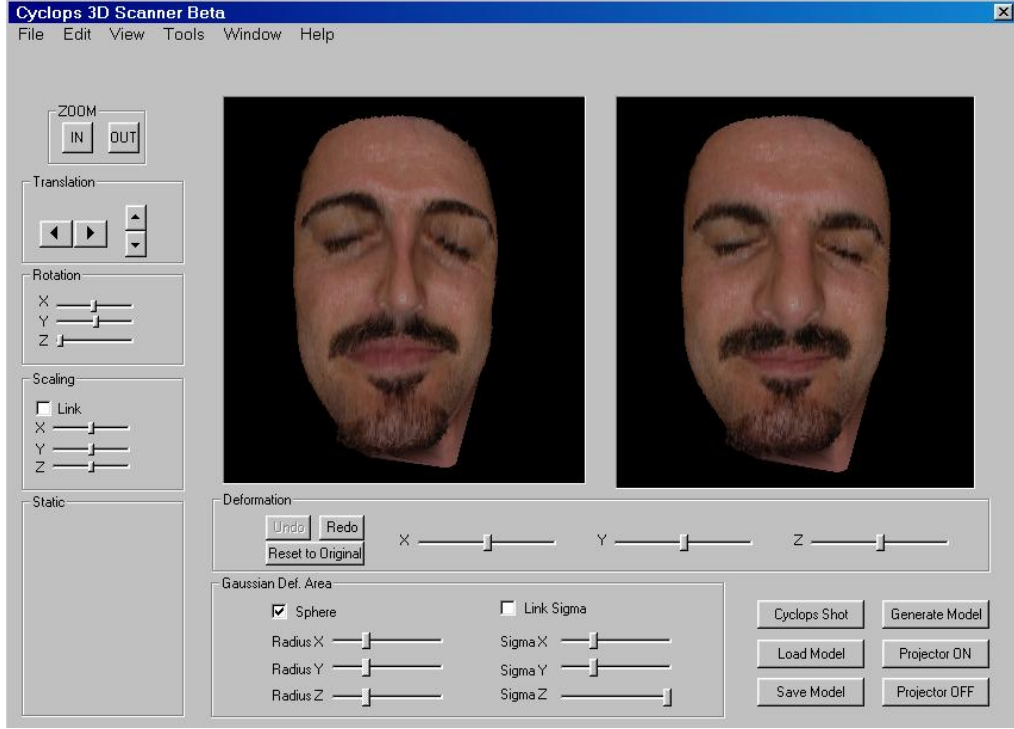
5. GRAFİK KULLANICI ARA YÜZÜNÜN (GUI) OLUŞTURULMASI

Çalışmanın bu bölümünde, sistemde donanımının denetimini, 3-B model oluşturmayı ve 3-B deformasyonları bir arada denetleyebilecek bir kullanıcı ara yüzünün tasarlanması amaçlanmıştır. Bu amaçla, Windows MFC kütüphaneleri kullanılarak bir ara yüz tasarımı üzerine gidilmiştir.

MFC (Microsoft Foundation Class Library), Windows API bölümlerini C++ sınıflarında paketleyen bir kütüphanedir [36]. Bu kütüphanenin sağladığı işlevler sayesinde Şekil 5.1'deki gibi bir kullanıcı ara yüzü tasarlanmıştır. Bu ara yüze, deformasyona uğratılmış modeli ve özgün modeli aynı anda görmemizi sağlayacak iki farklı pencere, modele bakışın ayarlanabilmesi için ayar çubukları, yapılacak deformasyonların bölgesini ve biçiminin ayarlanması için denetim çubukları, modellerin kaydedilmesi ve okunması için kaydet ve yükle seçenekleri ve donanımın denetimi için denetim düğmeleri eklenmiştir. Şekil 5.2' de bu ara yüz kullanılarak yapılan işlemler gösterilmiştir.



Şekil 5.1: Tasarlanan ara yüz



Şekil 5.2: Tasarlanan ara yüz yardımıyla model üzerinde deformasyon işlemleri, sol görüntü deforme edilmiş model, sağ görüntü özgün model

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, insan yüzlerinin 3-B olarak modellenmesi ve bu modeller üzerinde çeşitli deformasyonların uygulanması üzerine bazı özgün yaklaşımlar önerilmiştir. Bu yöntemler sayesinde, çalışma kapsamında, 3-B model oluşturma ve model üzerinde ihtiyaç duyulan deformasyonların yapılmasına olanak sağlanmıştır.

3-B nokta bulutları oluşturma sırasında kullandığımız renk uzayı ayrışımı yaklaşımı yöntem derinlik bilgisinin yüksek çözünürlükte ve düzgün olarak çıkarılmasında önemli kolaylıklar sağlamıştır.

Bu tez kapsamında detayları açıklanan bir 3-B tarayıcı donanımı ve bu donanımı denetleyen bir uygulama yazılımı ile ara yüz programı geliştirilmiştir. Ayrıca 00262.STZ.2008-1 sayılı Sanayi Tezleri (SAN-TEZ) projesi kapsamında desteklenen bu çalışma sonucunda “ Cyclops 3D Scanner ” adı verilen bir ürün ortaya çıkarılmıştır. Ürünün farklı açılardan görüntüsü Şekil 6.1’ de verilmiştir.



Şekil 6.1: Cyclops 3D Scanner cihazının önden ve arkadan görüntüsü

Bu ürünün plastik cerrahinin çeşitli alanlarında kullanılması düşünülmektedir. Bu yüzden şimdiye kadar sadece yüz bölgesinin modellenmesi ve deforme edilmesi üzerine yoğunlaşan çalışmalarımızın ileride diğer plastik cerrahi ihtiyaçlarına da yöneltilmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca ürünün doktorlardan ve hastalardan gelecek olan geri bildirimler doğrultusunda güncellemelerinin yapılması da sağlanacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] İlhan, E., 2007. Ameliyat öncesi ve ameliyat günü, <http://www.rinoplasti.com/default.php?parent=7&entry=13> , (Ziyaret Tarihi : **10 Haziran 2010**).
- [2] Yıldırım, İ., Demir, B., Ertürk, S. “3-Dimensional Modeling and Visualization of Cultural Assests For E-Government”, *Signal Processing and Communications Applications, IEEE 14th*, On Pages: 1-4 (2006).
- [3] S. Winkelbach and F. M. Wahl, “Shape from Single Stripe Pattern Illumination”, *Pattern Recognition, Lecture Notes in Computer Science 2449 Springer .*, page 240 – 247 (2002).
- [4] Hermans, C., Francken, Y., Cuypers, T. Bekaert, P., “Depth from Sliding Projections”, *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, page 1865 – 1872 (2009).
- [5] Barker, H., Li, Z., “Camera and Projector Arrays for Immersive 3D Video”, *Proceedings of the 2nd International Conference on Immersive Telecommunications.*, Article No : 23 (2009)
- [6] Zabulis, X., Sarmis, T., Grammenos, D., Argyros, A., “A Multi Camera Vision System Supporting the Development of Wide-Area Exertainment Applications”, *MVA2009 IAPR Conference on Machine Vision Applications*, Yokohama , JAPAN., page 8 – 16 (May 20-22, 2009).
- [7] Kosov, S., “Multi – View 3D Reconstruction with Variational Method”, *Master’s Thesis by Sergev Kosov Saarland University*, 22 Jan 2008
- [8] Tornslev, K. “3D Scanning Using Multibeam Laser”, Master Thesis by Kenn Tornslev, *IMM-Thesis-2005-83*
- [9] Fechteler, P., Eisert, P. and Rurainsky, J., “Fast and High Resolution 3D Face Scanning”, *ICIP 2007. IEEE International Conference.* Page 81 – 84 (Publication Date: Sept 16, 2007)
- [10] T. Peng and S.K. Gupta., “Model and Algorithms for Point Cloud Construction Using Digital Projection Patterns”, *ASME Journal of Computing and Information Science in Engineering 7(4)*. Page 372 – 381(2007)
- [11] Özüağ, E., Güllü, M. K., Urhan, O., Ertürk, S., “3D Face Modeling and Local Deformations”, *Signal Processing and Communications Applications*, IEEE 18th, 2010

- [12] Özüağ, E., Güllü, M. K., Urhan, O., “Extraction of High Resolution Depth Data from Human Face”, *Signal Processing and Communications Applications*, IEEE 17th, On Pages: 77-80 (2009).
- [13] Zhang, S., ”High-Resolution, Real-time 3-D Shape Measurement”, *A Dissertation Presented by Song Zhang, Stony Brook University*, May 2005
- [14] Sadlo, F., Weyrich, T., Peikert, R., Gross, M., ”A Practical Structured Light Acquisition System for Point-Based Geometry and Texture”, *Appeared in the Proceedings of the urographics Symposium on Point-Based Graphics*, Pages: 89 – 98 (2005).
- [15] Hartley, R., Zisserman, A., ”Multiple View Geometry in Computer Vision”, Second edition, *Published by the press syndicate of the University of Cambridge*, : 2003, ISBN : 0521 54051 8 hardback
- [16] Hamanda, K., Sato, J., ”Calibraton and Image Generation of Mobile Projector-Camera Systems”, *14th International Conference on Image Analysis and Processing(ICIAP 2007)*, Pages: 93-98(2007).
- [17] Sukthankar, R., Stockton, R. G., Mullin, M. D., ”Smarter Presentations: Exploting Homography in Camera-Projector Systems”, *Appears in: Proceedings of International Conference on Computer Vision*, Pages: 247 – 253 (2001).
- [18] Lowe, D. G., “ Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints”, *International Journal of Computer Vision, Volume 60, Number 2*, Pages: 91 – 110(20) - November 2004
- [19] Zhang, L., Curles, B., Seitz, S. M., “Rapid Shape Acquisition Using Color Structured Light and Multi-pass Dynamic Programming”, *3D Data Processing Visualization and Transmission, Proceedings. First International Symposium*, Pages: 24 – 36 (2002).
- [20] Wang, G.H., Hu, Zh.Y, Wu, F.Ch, Tsui, H.T., “Projector-Camera Based System for Fast Object Modeling”, *in Proc. Of IEEE International Workshop on Projector-Camera Systems(in conjunction with ICCV 2003)*. Nice, France 2003.
- [21] Li, H., Straub, R., Prautzsch, H., “Fast Subpixel Accurate Reconstruction Using Color Structured Light”, *Proceedings of the Forth IASTED International Conference on Visualization, Imaging and Image Processing(VIIP 2004)*, Pages: 396 – 401(2004).
- [22] Fechteler, P., Eisert, P., “Adaptive Color Classificaiton for Structured Light Systems”, *2008 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops(CVPRW 2008)*, Pages: 1 – 7(2008).
- [23] Robinson, A., Alboul, L., Rodrigues, M., “Methods for Indexing Stripes in Uncoded Structured Light Scanning Systems”, *Journal of WSCG, Vol.12, No.1-3*, Pages: 371 – 378(WSCG 2004).

- [24] Gevers, T., Smeulders, A.W.M., “Color-Based Object Recognition”, *Pattern Recognition* **32**, Pages: 453 –464(1999).
- [25] 2010, “http://en.wikipedia.org/wiki/3D_model”, **Ziyaret Tarihi : 10 Haziran 2010**
- [26] Kramer, J., “Delaunay Triangulation in Two and Three Dimensions”, *Master Thesis by Jörg Kramer*(Dec 1995)
- [27] 2010 , “http://en.wikipedia.org/wiki/Delaunay_triangulation”, **Ziyaret Tarihi : 10 Haziran 2010**
- [28] Shreinger, D., Woo, M., Neider, J., Davis, T., “OpenGL Programming Guide”, Fifth Edition, *Addison-Wesley Professional*, 2005
- [29] Segal, M., Akeley, K., “The OpenGL Graphics System : A Specification (Version : 2.1 – July 30.2006)”, Online Source: <http://www.opengl.org/documentation/specs/version2.1/glspec21.pdf>, **Ziyaret Tarihi : 10 Haziran 2010**
- [30] Leach, G., “Improving Worst-Case Optimal Delaunay Triangulation Algorithms”, *In 4th Canadian Conference on Computational Geometry*,(June 15, 1992)
- [31] Yanalak, M., “Yüzey Modellemede Üçgenleme Yöntemleri”, *Harita Dergisi*, **126**, sayfa 58 – 69 (2001)
- [32] “High-End 3D Graphics with OpenGL”, *Freescale Semiconductor Application Note, Document Number : AN3994, Rev.0, by Multimedia Application Division Freescale Semiconductor, Inc. Austin, TX* (2010).
- [33] Sheffer, A., Kraevoy, V., “Pyramid Coordinates for Morphing and Deformation”, *3D Data Processing, Visualization and Transmission, 2004, 3DPVT. Proceedings. 2nd International Symposium*. Pages: 68 – 75 (2004).
- [34] Kouadio, C., Poulin, P., Lachapelle, P., “Real-Time Facial Animation Based Upon a Bank of 3D Facial Expressions”, *Computer Animation 98. Proceedings*, **8 – 10 june**, Pages: 128 – 136(1998).
- [35] Pasquariello, S., Pelachaud, C., “Greata : A Simple Facial Animation Engine”, *6th Online World Conference on Soft Computing in Industrial Applications, Session on Soft Computing for Intelligent 3D Agents, September* (2001).
- [36] 2010, “http://en.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Foundation_Classes”, **Ziyaret Tarihi : 10 Haziran 2010**

KİŞİSEL YAYINLAR ve ESERLER

1. Özüağ, E., Güllü, M.K., Urhan, O., Ertürk, S., “ 3-B Yüz Modelleme ve Yerel Deformasyonlar”, *18. IEEE Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı SIU-2010*
2. Özüağ, E., Güllü, M.K., Urhan, O., Ertürk, S., “High Resolution 3-D Face Modeling and Model Warping” , *18th International Conference in Central Europe on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision, WSCG-2010 Poster Proceedings*, papers: 57 – 60
3. Özüağ, E., Güllü, M.K., Urhan, O., “İnsan Yüzünden Yüksek Çözünürlükte Derinlik Bilgisi Çıkarımı”, *17. IEEE Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı SIU-2009*, sayfa: 77 - 80

ÖZGEÇMİŞ

1986 yılında Bingöl/Kiğı'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini İstanbul'un farklı semtlerinde tamamladı. 2004 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü'nden 2008 yılında Elektronik ve Haberleşme Mühendisi olarak mezun oldu. 2008 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı..