

OPTİK LAZER TARAYICILAR İLE 3 BOYUTLU YÜZ MODELLEME VE DOĞRULUK ANALİZİ

Serra Yosmaoğlu^a, M.Cem Yaraş^{ab}, Yaşar Çark^a, Taşkın Özkan^b, Serap Erk^c, Bülent Bayram^d

^a Lisans Öğrencisi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 34220,Esenler İstanbul
(serra1612, cemyaras, yasarark@gmail.com)

^b Yüksek Lisans Öğrencisi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 34220,Esenler İstanbul
(taskin_ozkan@hotmail.com)

^c Yüksek Lisans Öğrencisi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Programı,34398,
Maslak-İstanbul
seraperk23@gmail.com

^dYıldız Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 34220,Esenler İstanbul
bayram@yildiz.edu.tr

ANAHTAR KELİMELER: 3B yüz modelleme, Optik lazer tarayıcı, Delaunay üçgenlemesi, Mesh model

ÖZET:

Lazer tarama, görüntü işleme ve bilgisayar tekniklerindeki gelişmeler endüstriyel amaçlı ölçme, modelleme ve analiz çalışmalarında hız ve doğruluğu artırmıştır. Özellikle karmaşık objelerin modellenmesi sürecinde, tersine mühendislik çalışmalarında hız ve doğruluk önemli ölçüde artmıştır. İnsan yüzünün üç boyutlu modellenmesine ilişkin çok farklı yöntemler mevcuttur. Farklı perspektiften çekilen fotoğraflar ile insan yüzünün üç boyutlu modellendiği sistemler olduğu gibi, aynı zamanda optik lazer tarayıcılar adı verilen ve objeye yansıtılan desenler yardımı ile üç boyutlu modelleme yapan sistemler de yaygın olarak kullanılmaktadır. Sunulan çalışmada optoTOP-HE optik lazer tarayıcı sistemi kullanılarak üç farklı insan yüzü taranmış ve Rapidform yazılımı ile (deneme sürümü) modellenmiştir. Tarama işlemi 1.4 Mpiksel sayısal kamera kullanılarak 1 sn lik bir zaman diliminde gerçekleştirilmiştir. Taranan yüzlerin modellenmesine yönelik süreçte farklı ölçütler uygulanarak bu ölçütlerin doğruluğa etkileri irdelenmiştir.

3D FACE MODELLING BY STRUCTURED-LIGHT SYSTEM AND ACCURAY ANALYSIS

KEY WORDS: 3D face modelling, Optical laser scanning, Delaunay triangulation, Mesh modelling

ABSTRACT:

The developments on laser scanning, image processing and computer techniques have increased the accuracy in industrial related modelling and analysing studies and brought advancements to achieve reliable solutions. Nowadays, creating accurate complex object models in short time is possible. Several methods have been proposed to create 3Dfacial models. There are approaches working with multi-camera system also available as well as approaches based on structured light systems. In the presented study, optoTOP-HE optical laser scanning system has been used to collect 3D point clouds for three different human faces. The camera resolution of the optoTOP-HE system is 1.4 mpixel and scanning time was approximately one second. The modelling of scanned facials has been done by using trial version of Rapidform commercial software. In this study, different criteria's were used for 3D face modelling and discussed their impacts on the accuracy and results.

1. GİRİŞ

Farklı perspektiflerden çekilen görüntüler yardımı ile üç boyutlu yüz modelleme halen birçok bilim dalı için önemli bir araştırma konusudur. Statik objelerin üç boyutlu modellerinin üretilmesine yönelik başarılı çözümler elde edilmiştir (Tsalakanidou, vd., 2005). Üç boyutlu yüz modellemesi konusu da onlarca yıldır birçok uygulamanın konusu olmuştur: estetik cerrahi, adli tıp, kimlik doğrulama, yüz etlendirme, iletişim ve hatta bilgisayar oyunları bunlardan bazılarıdır (Vezzetti ve Marcolin, 2012). Yapılandırılmış ışık tekniği üç boyutlu obje modelleme amacı ile kullanılabilen güçlü bir yöntemdir. Özellikleri bilinen bir desen obje üzerine iz düşürülerek objenin fotoğrafının çekilir. Düşürülen desendeki bozulmanın çok

sayıda kamera ile tespit edilmesi sonucu üç boyutlu model oluşur. (Akça, vd. 2007; Pribanic', vd., 2010) Üç boyutlu yüz modelleme ile ilgili farklı çalışmalar mevcuttur. Čarnický ve Chorvát, 2006) yaptıkları çalışmada yapılandırılmış ışık sistemi ile 25 farklı insanın yüzünü modellemiş ve 0,5 mm doğrulukta sonuç elde etmiştir. (Mazaheri ve M.Momeni,2008) geliştirdikleri yöntemde yapılandırılmış ışık ile epipolar geometriyi bütünleştirmişlerdir. (Modrow vd, 2008) geliştirdikleri yöntemde yakın kızılötesi bant aralığında yapılandırılmış ışık kullanmışlardır. Yöntem yüz tarama ve biyometrik uygulamalar için geliştirilmiştir. Sistemin doğruluğu 0,35mm olarak belirtilmiştir. (Wickramaratne, vd., 2009) geliştirdikleri sistemde 0,3 cm doğrulukla üç boyutlu yüz modeli oluşturmuşlardır. (Özüağ, vd. 2010) bir projeksiyon cihazı ve yüksek çözünürlüğe sahip bir fotoğraf makinesi ile insan yüzlerini 3-Boyutlu olarak bilgisayar ortamında elde

etmişler ve kullanıcının üç boyutlu model üzerinde değişiklikler yapabilmesine olanak sağlayan grafik kullanıcı ara yüzü tasarlamışlardır. (Wang ve Lai, 2011) geliştirdikleri sistemde doğrusal olmayan deformasyon ile doğrusal değiştirilebilen doğal yüz modelini bütünleştirerek üç boyutlu yüz ifadesi modeli oluşturmuşlardır.

Sunulan çalışma üç boyutlu insan yüzü modellemesi kapsamında öğrencilere verilen ödevin sonuçlarını içermektedir. Çalışmada yapılandırılmış ışık sistemi ile çalışan optoTOP-HE optik lazer tarayıcı sistemi kullanılarak elde edilen nokta bulutu Rapidform yazılımı ile (deneme sürümü) modellenmiş ve analiz edilmiştir.

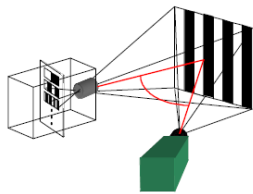
2. MATERYAL VE YÖNTEM

Sunulan çalışmada kullanılan optoTOP-HE optik lazer tarayıcı sistemin teknik özellikleri Tablo1'de verilmiştir.

Görüntü alanı	480x360 mm
Görüntü derinliği	320 mm
Veri toplama zamanı	< 1 sn.
Algılayıcı ağırlığı	2-3 kg
Sayılaştırma (İşlem yapma kapasitesi)	1280x1024 = 1.25M nokta
Baz Uzunluğu	600 mm
Yatay çözünürlük	~360 mikrometre
Düşey çözünürlük	~20 mikrometre
Detay doğruluğu (bağlı)	1/15000 (~50 mikrometre)
Detay doğruluğu	1/15000 (~45 mikrometre)

Tablo 1. OptoTOP-HE sistem özellikleri (Bayram, vd., 2009)

Sistem kodlanmış desenleri zaman serileri ile elde eder. İkili kodlanmış desenler bir projektör ile nesne üzerine yansıtılır. Yansıtılan desenler bir kamera ile kaydedilir. Kamera sistemi ile projektör sistemi kalibre edildiği için desenlerdeki deformasyonlardan derinlik hesaplanır. Böylelikle obje üç boyutlu modellenmiş olur (Şekil 1-sol). Kullanılan optoTOP-HE optik lazer tarayıcı sistemi Şekil 2' de verilmiştir.



Şekil 1. Yapılandırılmış ışık sisteminin çalışma ilkesi (Akça, vd. 2007)



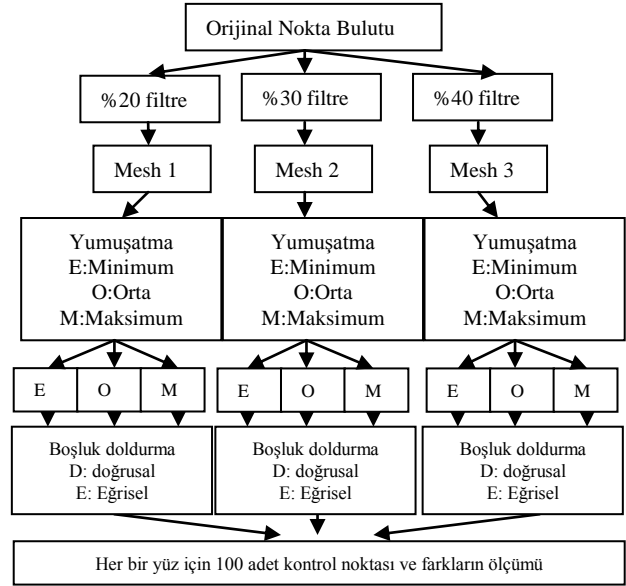
Şekil 2. optoTOP-HE optik lazer tarayıcı (Infotron, 2013).

Sunulan çalışmada üç farklı yüz taranmış ve sırası ile 1.yüz için 243911, 2. Yüz için 234970, 3. Yüz için ise 265785 nokta

bulutu kaydedilmiştir (Şekil 3). Uygulamaya ilişkin akış diyagramı Şekil 4' te verilmiştir.



Şekil 3. Tarama sonucu elde edilen nokta bulutları



Şekil 4. Çalışmanın akış diyagramı

Sunulan çalışmada taranan yüzlerin modellenmesine yönelik farklı ölçütler uygulanarak bu ölçütlerin doğruluğa etkileri irdelenmiştir. Bu amaçla nokta bulutları 0%, 20% 30% ve 40% oranında filtrelenmiştir. Bu işlemin ardından her bir filtreleme düzeyine göre mesh model oluşturulmuş ve yine oluşturulan mesh model minimum orta ve en yüksek düzeyde yumuşatılmıştır. Yine her bir yumuşatma düzeyi için boşluk doldurma operasyonu uygulanmıştır. Her bir düzey için boşluk doldurma işleminin doğruluk analizi yapılmıştır. Tarama işlemi sonucunda kaşlar, yüzdeki sakallı bölgeler de boşluklar oluşmuştur. Bunun nedeni kaşlar ve sakallı bölge ile gönderilen yapılandırılmış ışık deseni arasındaki etkileşimdir. Söz konusu alanların bütünlenmesi için en uygun mesh doldurma yöntemi araştırılmıştır.

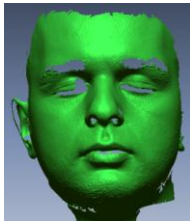
Modern donanımlar için orta düzeyli nokta bulutunu içeren projelerin işlenmesi çok önemli bir sorun doğurmamaktadır (Wand vd., 2008). Yüzbinlerce nokta bulutunun işlenmesi oldukça zaman alıcı bir süreçtir (Pardiñas, vd., 2008). Özellikle modelleme aşamasında yoğun nokta bulutu içeren taramalarda basit modelleme operasyonlarının yapılması bile uzun zaman alabilmektedir. Nokta bulutu filtreleme işlemi salt bu işlem için değil, aynı zamanda taranan verideki gürültünün giderilmesi için de gerekli olabilmektedir. Buradaki en önemli sorun gürültünün modellenme öncesi mi modelleme sırasında mı giderilmesi gerektiğidir. Çünkü filtreleme işlemi sonucunda veri kaybının yanında objenin geometrik özelliklerinde de bozulma meydana gelebilmektedir (Ali, 2005). Sunulan çalışmada da gerek nokta bulutu filtreleme, gerekse mesh yumuşatma

işlemleri yapılarak en uygun nokta bulutu ve mesh yumuşatma derecesi araştırılmıştır.

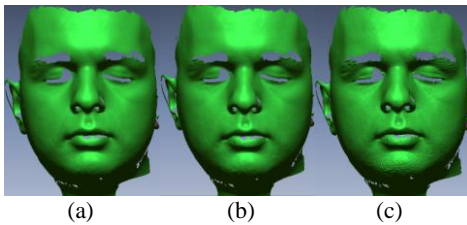
Düzenli olmayan oransal B-spline (NURB) eğrileri ve yüzeyler obje yüzeyinin modellenmesinde sağladıkları yüksek doğrulukta yaklaşımlardan ötürü kullanılan yöntemlerden biridir (Sun, vd., 2001). Çokça kullanılan diğer bir yöntem de sonlu elemanlara göre üçgenlemedir. Delaunay üçgenlemesi oldukça tatmin edici sonuçlar veren bir yöntemdir (Gao, vd. 2012).

Sonlu elemanlar yönteminde olduğu gibi çoğu uygulamada mesh kalitesi sonucu etkiler. Bundan dolayı kaliteli poligonal ya da çoklu yüzlü meshlerin mozaiklenerek yaratılması, tarayıcı verilerinden yararlanarak obje modellerinin yaratılması süreci birçok problem barındırır. Bu problemlerin çözümü için en bilinen, basit fakat güçlü bir yaklaşım olan Voronoi/Delaunay temelli yöntemler kullanılmaktadır. Fakat bu yöntemlerin ardından mesh kalitesinin artırılması için yumuşatma uygulanır (Vartziotis, vd., 2008). Mesh yumuşatma amacı ile en yaygın olarak kullanılan yöntem Laplace yöntemidir. Yöntem gereğince her bir nokta yerine yinelemeli olarak o noktanın doğrudan bağlı olduğu komşu noktaların aritmetik ortalaması ile elde edilen sonuç atanır. (Vartziotis, vd., 2013). Üçgenler arasındaki geometrik sıranın ve akışın izlenmesini temel alarak mesh yumuşatan algoritmalar da mevcuttur. Bunun yanında Gauss mesh yumuşatma algoritmasına eklentiler yapılarak geliştirilen algoritmalar üç boyutlu topolojiyi koruyarak yumuşatma yapan algoritmalara uzanan birçok farklı yöntem mevcuttur (Wang ve Yu, 2011).

Sunulan çalışmada filtreleme uygulanmayan nokta bulutundan (Şekil 5), %20, %30 ve %40 oranında filtrelenen nokta bulutlarından elde edilen ve minimum orta ve maksimum düzeyde yumuşatma uygulanarak elde edilen meshler Şekil 6,7,8' de sunulmuştur.

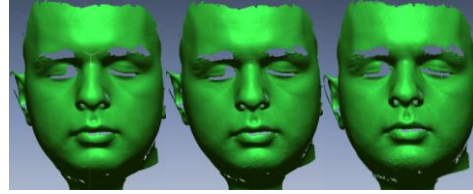


Şekil 5. Orijinal nokta bulutundan elde edilen mesh model



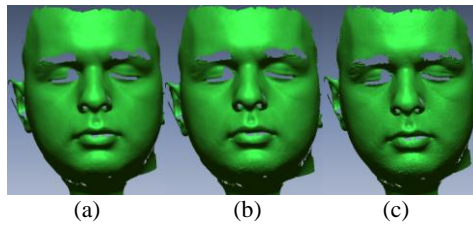
- a) %20 filtrelenmiş nokta bulutundan elde edilen maksimum düzeyde yumuşatılmış mesh model
b) %20 filtrelenmiş nokta bulutundan elde edilen orta düzeyde yumuşatılmış mesh model
c) %20 filtrelenmiş nokta bulutundan elde edilen minimum düzeyde yumuşatılmış mesh model

Şekil 6. %20 filtrelenmiş nokta bulutundan elde edilen mesh modeller



- a) %30 filtrelenmiş nokta bulutundan elde edilen maksimum düzeyde yumuşatılmış mesh model
b) %30 filtrelenmiş nokta bulutundan elde edilen orta düzeyde yumuşatılmış mesh model
c) %30 filtrelenmiş nokta bulutundan elde edilen minimum düzeyde yumuşatılmış mesh model

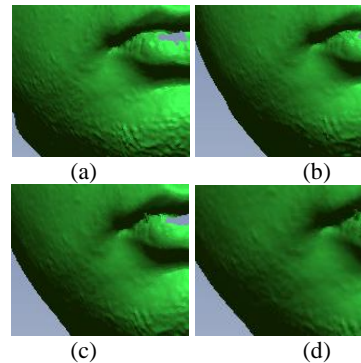
Şekil 7. %30 filtrelenmiş nokta bulutundan elde edilen mesh modeller



- a) %40 filtrelenmiş nokta bulutundan elde edilen maksimum düzeyde yumuşatılmış mesh model
b) %40 filtrelenmiş nokta bulutundan elde edilen orta düzeyde yumuşatılmış mesh model
c) %40 filtrelenmiş nokta bulutundan elde edilen minimum düzeyde yumuşatılmış mesh model

Şekil 8. %40 filtrelenmiş nokta bulutundan elde edilen mesh modeller

Şekil 9' da yumuşatma oranlarının sonuca etkisi verilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere nokta bulutu %20 ve %30 filtrelendiğinde ve minimum düzeyde yumuşatma olduğunda orijinal nokta bulutundan elde edilen mesh modele göre anlamlı farklılıklar oluşmamaktadır (b,c). Ancak nokta bulutunun %40 oranında filtrelenmesi ve minimum düzeyde yumuşatma uygulanan mesh model orijinal mesh modelle karşılaştırıldığında yüze ait detayların yok olmaya başladığı görülmektedir (d). Fakat buna karşın %20 filtrelenmiş nokta bulutundan elde edilen mesh modelin maksimum ölçüde yumuşatılması ile elde edilen sonuç orijinal mesh model ile karşılaştırıldığında çok genel bir yüz modelinin elde edildiği görülmektedir (e).





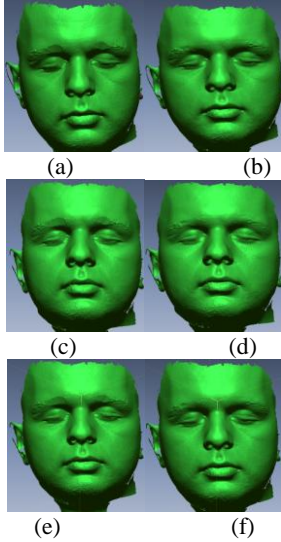
(e)

- Orijinal mesh
- %20 filtrelenmiş minimum yumuşatılmış mesh model
- %30 filtrelenmiş minimum yumuşatılmış mesh model
- %40 filtrelenmiş minimum yumuşatılmış mesh model
- %20 filtrelenmiş maksimum yumuşatılmış mesh model

Şekil 9. Mesh yumuşatma oranlarının sonuca etkisi

Yumuşatma analizinin ardından yaratılan mesh modeldeki boşluklar doldurulmuştur. Çoğu yöntemde komşuluk analizinden ve komşu noktaların geometrisinden yararlanılarak enterpolasyon ile boşluklar doldurulur (Branch, vd., 2006). Marching Cube ve mesafe fonksiyonlarını temel alan yöntemler girdi noktalara gereksinim duymazlar ve genellikle yaklaşım yöntemleri olarak anılırlar. Delaunay üçgenleme ve Voronoi diyagramlarını temel alan diğer yöntemler ise yeniden yapılandırılan mesh üzerindeki girdi noktalarını korurlar (Yang ve Feng,2011).

Boşluk doldurma işleminin en önemli sorunlarından biri boşlukların belirlenebilmesidir. Sunulan çalışmada boşluk alanları etkileşimli olarak kullanılan yazılımın araçları ile belirlenmiştir. Doldurulacak bölgenin sınırlarında oluşan mesh hataları elle düzeltilmiş ve doğrusal ve eğrisel fonksiyonlar kullanılarak doldurma işlemi gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar Şekil 10' da sunulmuştur.



- %20 filtrelenmiş-minimum yumuşatılmış mesh model-doğrusal boşluk doldurma
- %20 filtrelenmiş-minimum yumuşatılmış mesh model-eğrisel boşluk doldurma
- %30 filtrelenmiş-minimum yumuşatılmış mesh model-doğrusal boşluk doldurma
- %30 filtrelenmiş-minimum yumuşatılmış mesh model-eğrisel boşluk doldurma
- %40 filtrelenmiş-minimum yumuşatılmış mesh model-doğrusal boşluk doldurma
- %40 filtrelenmiş-minimum yumuşatılmış mesh model-eğrisel boşluk doldurma

Şekil 10. Boşluk doldurma işlemi sonuçları

Şekil 10'dan da görüleceği üzere her bir filtreleme düzeyi sonucu oluşturulan mesh modellerdeki boşlukların kapatılmasında eğrisel yöntemin gerçeğe daha yakın sonuçlar verdiği görülmüştür.

3. SONUÇ VE TARTIŞMA

Sunulan çalışmada üç farklı yüze ait nokta bulutları elde edilmiş ve her bir yüz için sırası ile %20, %30 ve %40 oranında nokta bulutları filtrelenmiş, bu işlemin ardından her bir düzey için mesh modeller elde edilmiştir. Mesh modeller de minimum, orta ve maksimum düzeyde yumuşatılmıştır. Doğruluk analizi için her bir yüz için orijinal nokta bulutlarından üretilen mesh model kullanılmıştır. Yumuşatılan mesh modeller ile orijinal mesh model karşılaştırılmıştır. Her bir yüz için orijinal mesh üzerinde ve diğer yumuşatılmış mesh model üzerinde eşlenik olarak işaretlenen 100 adet noktada yapılan ölçülerle filtreleme ve yumuşatma sonuçları, aynı zamanda boşluk doldurma sonuçları karşılaştırılmıştır (Şekil-11). Her bir yüz için toplam 100 noktanın 1. Yüz için 16'sı, 2. Yüz için 19'u, 3. Yüz için 21'i boşluk doldurma sonuçlarının analizi için kullanılmıştır. Referans mesh modeldeki boşluklar önce doğrusal ve sonra eğrisel fonksiyon kullanılarak doldurulmuş, böylelikle boşluk doldurma sonuçlarının analizi için iki ayrı referans mesh model elde edilmiştir. Farklı filtreleme düzeyleri sonucu elde edilen mesh modellerdeki boşluklar da aynı şekilde doğrusal ve eğrisel fonksiyonlar kullanılarak doldurulmuştur. Karşılaştırma işlemi de buna göre yapılmıştır. Genel ve boşluk doldurma işlemine ilişkin yapılan ölçülerle ilgili karşılaştırma ve sonuçlar Tablo 1 ve Tablo 2' de sunulmuştur. Tablolardaki değerler elde edilen farkların mutlak değerleri alınarak hesaplanmıştır.



Şekil 11. Referans kontrol noktaları

Tablo1 Mesh modeller için yapılan ölçülerin karşılaştırılması

	KN Say.	%20 filtre			%30 filtre			%40 filtre			
		Mesh yumuşatma düzeyi			Mesh yumuşatma düzeyi			Mesh yumuşatma düzeyi			
		Mak.	Ort.	Min.	Mak.	Ort.	Min.	Mak.	Ort.	Min.	
1. yüz	84	Ortalama (mm)	0,045	0,025	0,015	0,042	0,025	0,011	0,044	0,024	0,012
2. yüz	81		0,059	0,038	0,012	0,059	0,039	0,012	0,055	0,038	0,016
3. yüz	79		0,034	0,021	0,010	0,033	0,005	0,005	0,032	0,021	0,006

Filtreleme ve mesh yumuşatma düzeyi için referans mesh model ile diğer mesh modeller arasındaki farkların ortalamalarına bakıldığında her filtre düzeyi için maksimum mesh yumuşatma düzeyindeki farkların 0,027 mm düzeyinde olduğu görülmektedir. Yine aynı şekilde nokta bulutunun %40 filtrelenmesi ile elde edilen nokta bulutundan yaratılan mesh in maksimum yumuşatılması durumunda referans mesh model ile

farkların ortalamasının 0,044 mm olduğu görülmektedir. Buradan da çok yoğun nokta bulutu ile çalışmak yerine seyreltilmiş nokta bulutu ile elde edilen mesh modelin de orijinal mesh modele yakın olduğu, dolayısı ile filtreleme ve maksimum mesh yumuşatma işleminin sonucu 0,044 mm bir farkla değiştirdiği görülmüştür.

Tablo 2 Boşluk doldurma işlemi için yapılan ölçülerin karşılaştırılması.

	KN Sayı.	%20 filtre			%30 filtre			%40 filtre			
		Mesh yumuşatma düzeyi			Mesh yumuşatma düzeyi			Mesh yumuşatma düzeyi			
		Mak.	Ort.	Min.	Mak.	Ort.	Min.	Mak.	Ort.	Min.	
1. yüz	16	Doğrusal	0,047	0,033	0,020	0,053	0,040	0,019	0,053	0,040	0,022
		Eğrisel	0,140	0,112	0,092	0,147	0,088	0,079	0,124	0,099	0,077
2. yüz	19	Doğrusal	0,047	0,057	0,036	0,041	0,033	0,038	0,148	0,086	0,087
		Eğrisel	0,156	0,170	0,167	0,140	0,156	0,175	0,118	0,155	0,104
3. yüz	21	Doğrusal	0,005	0,004	0,005	0,041	0,005	0,005	0,038	0,043	0,021
		Eğrisel	0,077	0,091	0,081	0,101	0,116	0,150	0,082	0,077	0,069

Referans mesh modeldeki boşluklar eğrisel ve doğrusal fonksiyonlar kullanılarak doldurulmuş ve boşluk doldurma işleminin analizi için iki ayrı referans mesh model elde edilmiştir. %20,%30 ve %40 filtrelenmiş nokta bulutlarından elde edilen ve minimum, orta ve maksimum yumuşatma işlemi uygulanan mesh modellerdeki boşluklar da referans mesh modelde olduğu gibi eğrisel ve doğrusal fonksiyonlar uygulanarak doldurulmuş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Tablo 2' ye bakıldığında eğrisel fonksiyonun filtrelemeye duyarlı olduğu ve referans mesh model ile farkların arttığı görülmektedir. Yine Tablo 2'den doğrusal fonksiyon kullanılarak boşlukların doldurulduğu mesh modellerde yumuşatma düzeyi arttıkça farkların arttığı görülmektedir. Dolayısı ile doğrusal fonksiyonun da mesh yumuşatmaya duyarlı olduğu gözlenmiştir. Buna karşılık nokta bulutunun %40 filtrelendiği ve mesh modele maksimum yumuşatma uygulandığı durumda bile 3 yüz için maksimum farkın 0,148 mm düzeyinde kaldığı görülmüştür. Her ne kadar Tablo 2' den doğrusal fonksiyon ile boşluk doldurma işlemi sonucu oluşan farklar eğrisel fonksiyona göre daha düşük değerlerde oluşmuşsa da, sunulan çalışmada doğrusal fonksiyonla elde edilen semantik sonucun eğrisel fonksiyona göre daha fazla hata barındırdığı görülmüştür.

Gelecekte sunulan çalışmanın geliştirilerek optoTOP-HE sistemi ile taranan insan yüzündeki boşlukların doldurulması için görüntü eşleme yöntemleri ile elde edilen nokta bulutunun bütünleme amacı ile kullanılması ve eğrisel fonksiyonlar

kullanılarak boşlukların doldurulması ile elde edilen sonuçların irdelenmesi planlanmaktadır.

Teşekkür

Çalışmamızda verilerin elde edilmesi için sistemlerini kullanımımıza sunan Infotron A.Ş. nezdinde Sayın Engin Arslan ve Deniz Özdemir'e, çalışmamızı destekleyen EMI Harita ve Sayın Hasan Nokay'a teşekkürlerimizi sunarız.

Kaynaklar

Hakemli dergiler:

1. Akça, D., Grün, A., Breuckman, B., Lahanier, C., 2007. High Definition 3d-Scanning Of Arts Objects and Paintings, 3D Measurement Techniques VIII, vol.II, p.50-58, July 9-12, Zurich, Switzerland.
2. Bulent BAYRAM, Fatih POYRAZ, Kemal Ozgur HASTAOĞLU, Uğur ACAR, İbrahim CETİN, 2009. Optik Lazer Tarayıcılarla Hasarlı Otomobil Örneğinde Objelerin Modellenmesi, Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi, Cilt: 1, No: 1, March, 2009 (49-58), ISSN:1309/3983
3. Daoshan OuYang, Hsi-Yung Feng, 2011. Reconstruction of 2D polygonal curves and 3D triangular surfaces via clustering of Delaunay circles/spheres, Computer-Aided Design 43 (2011) 839-847.
4. Dimitris Vartziotis, Theodoros Athanasiadis, Iraklis Goudas, Joachim Wipper, 2008. Mesh smoothing using the Geometric Element Transformation Method, Comput. Methods Appl. Mech. Engrg. 197 (2008) 3760-3767.
5. Dimitris Vartziotis, Joachim Wipper, Manolis Papadarakakis, 2013. Improving mesh quality and finite element solution accuracy by GETMe smoothing in solving the Poisson equation, Finite Elements in Analysis and Design 66 (2013) 36-52.
6. Enrico Vezzetti, Federica Marcolin, 2012. 3D human face description: landmarks measures and geometrical features, Image and Vision Computing 30, 698-712.
7. Filareti Tsalakanidou, Frank Forster, Sotiris Malassiotis, Michael G. Strintzis, 2005. Real-time acquisition of depth and color images using structured light and its application to 3D face recognition, Real-Time Imaging 11, 358-369.
8. J. Čarnický, D. Chorvát Jr., 2006. Three-dimensional measurement of human face with structured-light illumination, Measurement Science Review, Volume 6, Section 2, No. 1.
9. J. Roca-Pardiñas, H. Lorenzo, P. Arias, J. Armesto, 2008. From laser point clouds to surfaces: Statistical nonparametric methods for three-dimensional reconstruction, Computer-Aided Design 40 (2008) 646-652.
10. John Branch, Flavio Prieto, Pierre Boulanger, Automatic Hole-Filling of Triangular Meshes Using Local Radial Basis Function, 3D Data Processing, Visualization, and Transmission, Third International Symposium on, 14-16 June 2006, p. 727 - 734, Print ISBN: 0-7695-2825-2.
11. Jun Wang, Zeyun Yu, 2011. Quality mesh smoothing via local surface fitting and optimum projection, Graphical Models 73 (2011) 127-139.
12. Michael Wand, Alexander Berner, Martin Bokeloh, Philipp Jenke, Arno Fleck, Mark Hoffmann, Benjamin Maier, Dirk Staneker, Andreas Schilling, Hans-Peter Seidel, 2008. Processing and interactive editing of huge point clouds from 3D scanners, Computers & Graphics 32 (2008) 204-220.
13. Shu-Fan Wang and Shang-Hong Lai, 2011. Reconstructing 3D Face Model with Associated Expression Deformation from a Single Face Image via Constructing a Low-Dimensional Expression Deformation Manifold, IEEE Transactions On

Pattern Analysis And Machine Intelligence, Vol. 33, NO. 10, p.2115-2121.

14. Tomislav Pribanic', Saša Mrvoš, Joaquim Salvi, 2010. Efficient multiple phase shift patterns for dense 3D acquisition in structured light scanning, Image and Vision Computing 28, 1255–1266.

15. V. K. De Wansa Wickramaratne, V. V. Ryazanov and A. P. Vinogradov, 2009. Analysis of a 3D Face-Scanning System by Active Triangulation, Pattern Recognition and Image Analysis, Vol. 19, No. 1, pp. 78–83.

16. W. Sun, C. Bradley, Y.F. Zhang, H.T. Loh,2001. Cloud data modelling employing a uni@ed, non-redundant triangular mesh, Computer-Aided Design 33 (2001) 183-193.

17. Zhanheng Gao, Zeyun Yua, Michael Holst, 2012. Quality tetrahedral mesh smoothing via boundary-optimized Delaunay Triangulation, Computer Aided Geometric Design 29 (2012) 707–721.

Diğer literatür:

1. Daniel Modrow, Claudio Laloni, Guenter Doemens and Gerhard Rigoll, 2008. A novel sensor system for 3D face scanning based on infrared coded light, Rigoll, Proc. SPIE 6805, Three-Dimensional Image Capture and Applications 2008, 68050M, (February 25, 2008); doi:10.1117/12.766216;http://dx.doi.org/10.1117/12.766216.

2. Ngozi Sherry Ali, 2005. Reverse Engineering of Automotive Parts Applying Laser Scanning and Structured Light Techniques, Project in Lieu of Thesis presented for the Masters of Science Degree The University of Tennessee, Knoxville.

İnternet:

1. M.Mazaheri, M.Momeni, 2008. 3D Modeling Using Structured Light Pattern And Photogrammetric Epipolar Geometry, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B3b. Beijing 2008, http://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/3b_pdf/16.pdf (13 May 2013).

2. Ersin ÖZÜAĞ, M. Kemal GÜLLÜ, Oğuzhan URHAN, Sarp ERTÜRK, 2010. 3-B Yüz Modelleme ve Yerel Deformasyonlar, SIU2010 - IEEE 18.Sinyal isleme ve iletişim uygulamaları kurultayı, Diyarbakır. <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=05652700>

3. Inftron, 2013. <http://www.3btarama.com/breuckmann-stereoscan.html> (10 May 2013)