

İKİ BOYUTLU GÖRÜNTÜLERDEN ÜÇ BOYUTLU ŞEKİL ELDE ETME

Mehmet KARAMAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ŞUBAT 2009

ANKARA

Mehmet KARAMAN tarafından hazırlanan İKİ BOYUTLU GÖRÜNTÜLERDEN
ÜÇ BOYUTLU ŞEKİL ELDE ETME adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun
olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Hasan Şakir BİLGE
Tez Yöneticisi, Bilgisayar Mühendisliği A.B.D.

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

Prof. Dr. M. Sezai DİNÇER
Elektrik – Elektronik Mühendisliği A.B.D., Gazi Üniversitesi
Doç. Dr. M. Ali AKCAYOL
Bilgisayar Mühendisliği A.B.D., Gazi Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Hasan Şakir BİLGE
Bilgisayar Mühendisliği A.B.D., Gazi Üniversitesi

Tarih: 02/02/2009

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

Prof. Dr. Nail ÜNSAL
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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

Mehmet KARAMAN

İKİ BOYUTLU GÖRÜNTÜLERDEN ÜÇ BOYUTLU ŞEKİL ELDE ETME

(Yüksek Lisans Tezi)

Mehmet KARAMAN

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ŞUBAT 2009**

ÖZET

İki boyutlu görüntülerden üç boyutlu şekil elde etmek için birçok yöntem kullanılmaktadır. Gölgeden şekil elde etme ve fotometrik stereo yöntemleri görüntüye ait gölge bilgisini kullanarak üç boyutlu şekil bilgisini elde etmektedir. Her iki yönteminde kendine has kuvvetli ve zayıf yönleri bulunmaktadır. Gölgeden şekil elde etme yöntemi şekil bilgisine ait ağız, göz ve burun gibi detay bilgileri için daha iyi sonuç vermektedir. Fotometrik stereo yöntemi ise şekle ait genel yapıyı daha iyi bir biçimde elde etmektedir. Daha iyi derinlik bilgisi elde etmek için bu iki yöntemin de birleştirildiği uygulamalar vardır. Bu çalışmada uygulanan birleştirme yöntemleri incelenmiş ve daha iyi bir birleştirme yöntemi sunulmuştur. Çalışma boyunca yeni iki adet birleştirme yöntemi anlatılmış ve test sonuçları sunulmuştur.

Her iki yöntem için de öncelikli olarak gölgeden şekil elde etme ve fotometrik stereo derinlik bilgileri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu derinlik bilgileri geliştirilen yöntemlere girdi olarak verilmiştir.

Eşik değeri kullanarak birleştirme yönteminde; her noktada gölgeden ve fotometrik stereodan elde edilen derinlik bilgileri karşılaştırılmaktadır. Fotometrik stereo derinlik değeri gölgeden şekil elde etme derinlik değerinden büyükse o noktadaki derinlik bilgisi için fotometrik stereo derinlik bilgisi

kullanılmaktadır. Diğer durumlar için ön tanımlı olarak bir eşik değeri belirlenmekte ve karşılaştırmalarda bu değer bir kıstas olarak kullanılmaktadır. Gölgeden şekil elde etme derinlik değeri fotometrik stereo derinlik değerinden büyükse ve aralarında fark eşik değerinden küçükse sonuç derinlik bilgisi için gölgeden şekil elde etme derinlik değeri kullanılmaktadır, eğer aradaki fark eşik değerinden büyükse gölgeden şekil elde etme derinlik değerinin %30'u ve fotometrik stereo derinlik değerinin %70'inin toplamı sonuç derinlik bilgisini oluşturmaktadır.

Oranlama ile birleştirme yönteminde ise, tüm şekil bilgileri ayrı ayrı normalleştirilmektedir. Daha sonra her nokta şekil bilgisindeki en yüksek değerle toplanmakta ve tüm derinlik bilgisinin logaritması alınmaktadır. Son olarak da gölgeden şekil elde etme derinlik değerinin %20'si ve fotometrik stereo derinlik değerinin %80'i toplanarak sonuç bilgisi elde edilmektedir.

Elde edilen derinlik bilgisine ait hata oranları karelerin farkı ve ortalama hata yöntemleri kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen bu hata oranları incelendiğinde önerilen yaklaşımların başarılı olduğu görülmektedir.

Bilim Kodu : 902.1.067
Anahtar Kelimeler : Gölgeden şekil elde etme, fotometrik stereo, üç boyutlu şekil elde etme
Sayfa Adedi : 71
Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. Hasan Ş. BİLGE

3D SHAPE RECONSTRUCTION USING 2D IMAGES

(M.Sc. Thesis)

Mehmet KARAMAN

GAZI UNIVERSITY

INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

FEBRUARY 2009

ABSTRACT

Many methods are used to obtain three-dimensional shapes from two-dimensional images. Shape from shading and photometric stereo methods use shadow information in images to obtain three-dimensional shape information. Each method has its own strengths and weaknesses. Shape from shading method gives better results for detailed regions such as mouth, eyes and nose. Photometric stereo method gives better results for the general shape information. To obtain better depth information these two methods are combined in some studies. In this study, applied methods are investigated and a better combination method is presented. And also during this study two new fusion methods are explained and test results are presented.

Firstly, depth information is obtained from the shape from shading and photometric stereo. The calculated depth information is used as input for the application.

In threshold value method for combining, the depth information obtained from the shape from shading and photometric stereo is compared in each point. For each point value, if photometric stereo value greater than shape from shading value, the result depth value is photometric stereo's depth value. Otherwise, a pre-defined limit value is determined and is used as criteria for comparison. If

shape from shading depth value is greater than photometric stereo depth value and also their difference is smaller than the threshold value, the result value is shape from shading's depth value, if the value of difference is greater than the threshold, 30% of the depth of shape from shading and 70% of the depth of photometric stereo are summed together for the result of depth value.

In the other combination method, the depth maps are separately normalized. Then for every point, maximum value is added and the logarithm of each depth information is separately taken. Result of the depth information is obtained from the shape from shading and photometric stereo depth information with certain ratios. These rates are 20% for shape from shading and 80% for photometric stereo.

Errors of depth information are calculated by using the mean square and the mean average error methods. When these errors are investigated, it is seen that the proposed approaches are successful.

Science Code	: 902.1.067
Key Words	: Shape from shading, photometric stereo, 3D shape reconstruction
Page Number	: 71
Adviser	: Assist. Prof. Dr. Hasan Ş. BİLGE

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Hasan Ş. BİLGE'ye Yüksek Lisans eğitimim süresince yardımlarını esirgemeyen hocalarım Sayın Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU ve Sayın Doç. Dr. M. Ali AKCAYOL'a, çalışmalarım sırasında manevi desteklerini ve değerli bilgilerini esirgemeyen arkadaşlarım Nesrin BOZDEMİR, Uraz YAVANOĞLU, Serpil ERYİĞİT, Ahmet AKALIN ve Ahmet ÇİVİ'ye ayrıca maddi manevi her türlü destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan çok değerli aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xv
1. GİRİŞ	1
2. GÖLGEDEN ŞEKİL ELDE ETME	5
2.1. Yansıma Modelleri	7
2.2. Genel Literatür Taraması	11
2.3. Gölgeden Şekil Elde Etme Yaklaşımları	13
2.3.1. Minimizasyon yaklaşımları.....	13
2.3.2. Yayılım yaklaşımları	15
2.3.3. Yerel yaklaşımlar	15
2.3.4. Doğrusal yaklaşımlar	16
2.3.5. İç yansımalar	16
2.4. Yaygın Olarak Kullanılan Gölgeden Şekil Elde Etme Yöntemleri.....	16
2.4.1. Tsai ve Shah yöntemi	16
2.4.2. Ikeuchi ve Horn yöntemi	19
2.4.3. Frankot ve Chellappa yöntemi	24
3. FOTOMETRİK STEREO	27
4. GÖLGEDEN ŞEKİL ELDE ETME VE FOTOMETRİK STEREONUN BİRLEŞTİRİLMESİ	32
4.1. Ortalama Yöntemi ile Birleştirme	35
4.2. Sınır Değeri Kullanarak Birleştirme.....	36
4.3. Oranlama ile Birleştirme.....	39
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	40
5.1. Gölgeden Şekil Elde Etme Çalışmaları	40
5.1.1. Tsai Shah metodu ile ilgili yapılmış çalışmalar	40

	Sayfa
5.1.2. Ikeuchi ve Horn metodu	45
5.1.3. Francot ve Challeppa metodu	47
5.2. Fotometrik Stereodan Şekil Elde Etme Çalışmaları.....	49
5.3. Ortalama Yöntemi ile Birleştirilmiş Gölgeden Şekil Elde Etme ve Fotometrik Stereodan Şekil Elde Etme Çalışmaları	52
5.4. Uyarlanır Biçimde Birleştirilmiş Gölgeden Şekil Elde Etme ve Fotometrik Stereodan Şekil Elde Etme Çalışmaları	55
5.5. Testler ve İstatistikler	56
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	65
KAYNAKLAR.....	66
ÖZGEÇMİŞ	70

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. GŞEE için kullanılan dört yaklaşım. Kişilerin yanında parantez içindeki sayı makalenin yayınlanmış olduğu yılı temsil etmektedir.....	12
Çizelge 2.2. GŞEE tekniklerinin farklı şekilde sınıflandırılması. Kişilerin yanında parantez içindeki sayı makalenin yayınlanmış olduğu yılı temsil etmektedir.....	13
Çizelge 5.1. Yöntemlere ait test sonuçları	63
Çizelge 5.2. Tsai – Shah yöntemine ait test sonuçları	64
Çizelge 5.3. Horn yöntemine ait test sonuçları	64

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. GŞEE ile şekil elde etme	2
Şekil 1.2. Stereo yöntemiyle şekil elde etme	2
Şekil 2.1. Gölgeden şekil elde etme problemi.....	5
Şekil 2.2. Lambert yansıma modelinin geometrisi	8
Şekil 2.3. Lambert yansıma modeli	9
Şekil 2.4. Phong yansıma modeli	10
Şekil 2.5. Lambert ve Phong yansıma modelleri.....	10
Şekil 3.1. Fotometrik stereo geometrisi	27
Şekil 3.2. Fotometrik yaklaşım.....	27
Şekil 3.3. Örnek fotometrik görüntü.....	28
Şekil 4.1. Horn yöntemi ile GŞEE hata – iterasyon grafiği	32
Şekil 4.2. Tsai&Shah yöntemi ile GŞEE hata – iterasyon grafiği.....	33
Şekil 4.3. Sakarya ve Erkmen’e ait yöntemin genel yapısı.....	34
Şekil 4.4. Ortalama yöntemine ait genel yapı	36
Şekil 4.6. Birinci uygulamaya ait yöntemin genel yapısı	38
Şekil 4.7. İkinci uygulamaya ait yöntemin genel yapısı	39
Şekil 5.1. Mozart görüntüsü ($p_s = 0, q_s = 0,314$)	41
Şekil 5.2. Tsai – Shah metodu ile 10 iterasyon sonucu elde edilen şekil	41
Şekil 5.3. Tsai – Shah metodu ile 100 iterasyon sonucu elde edilen şekil	42
Şekil 5.4. Tsai – Shah metodu ile 1000 iterasyon sonucu elde edilen şekil.....	42
Şekil 5.5. Tsai – Shah metodu ile 10 iterasyon ve 10 x 10 pencerecik ortanca süzgeci sonucu elde edilen şekil	43
Şekil 5.6. Tsai – Shah metodu ile 10 iterasyon ve 20 x 20 pencerecik ortanca süzgeci sonucu elde edilen şekil	43
Şekil 5.7. Tsai – Shah metodu ile 10 iterasyon ve 50 x 50 pencerecik ortanca süzgeci sonucu elde edilen şekil	44
Şekil 5.8. Yanlış ışık kaynağından ışıklandırma yapıldığı durumdaki elde edilen şekil	45
Şekil 5.9. Horn metodu ile elde edilen şekil (1 iterasyon).....	46
Şekil 5.10. Horn metodu ile elde edilen şekil (2 iterasyon)	46
Şekil 5.11. Horn metodu ile elde edilen şekil (5 iterasyon)	47
Şekil 5.12. Horn metodu ile elde edilen şekil (10 iterasyon)	47

Şekil	Sayfa
Şekil 5.13. Mozart görüntüsü ve elde edilen şekil.....	48
Şekil 5.14. DEM görüntüsü ve elde edilen şekil	48
Şekil 5.15. Vazo görüntüsü ve elde edilen şekil.....	49
Şekil 5.16. Küre görüntüsü ve elde edilen şekil	49
Şekil 5.17. Fotometrik stereo Mozart görüntüleri	50
Şekil 5.18. Elde edilen Mozart şekli.....	50
Şekil 5.19. Fotometrik stereo Beethoven görüntüleri.....	50
Şekil 5.20. Elde edilen Beethoven şekli.....	51
Şekil 5.21. Fotometrik stereo küre görüntüleri	51
Şekil 5.22. Elde edilen küre şekli	51
Şekil 5.23. Mozart görüntüsü üzerinde her iki yaklaşıma da filtre uygulanmadan normal toplam işlemini yapılması sonucu elde edilen şekil	53
Şekil 5.24. Mozart görüntüsü için filtre uygulanmış ve birleştirilmiş şekil sonucu...	53
Şekil 5.25. Mozart görüntüsü üzerinde her iki yaklaşıma da filtre uygulanmadan normal toplam işlemini yapılması sonucu elde edilen şekil	54
Şekil 5.26. Mozart görüntüsü için filtre uygulanmış ve birleştirilmiş şekil sonucu...	54
Şekil 5.27. Mozart görüntüleri için 11x11'lik Gauss filtresi kullanılarak geliştirilen birinci yöntemle elde edilen derinlik bilgisi.....	55
Şekil 5.28. Mozart görüntüleri için geliştirilen ikinci yöntemle elde edilen derinlik bilgisi	56
Şekil 5.29. Mozart görüntüleri için geliştirilen yöntemle elde edilen derinlik bilgisi	56
Şekil 5.30. Mozart görüntüsü için gerçek derinlik bilgisi.....	57
Şekil 5.31. Mozart görüntüsü için Tsai – Shah yöntemi.....	57
Şekil 5.32. Mozart görüntüsü için Tsai – Shah yöntemi.....	58
Şekil 5.33. Mozart görüntüsü için Tsai – Shah yöntemi.....	58
Şekil 5.34. Mozart görüntüleri ile fotometrik stereo sonucu elde edilen derinlik haritası	59
Şekil 5.35. Mozart görüntüler için Sakarya ve Erkmen tarafından geliştirilen yöntem	59
Şekil 5.36. Küre için Tsai – Shah yöntemi	60
Şekil 5.37. Küre için Tsai – Shah yöntemi	60
Şekil 5.38. Küre için Tsai – Shah yöntemi	61
Şekil 5.39. Küre için fotometrik stereo sonucu elde edilen derinlik haritası	61

Şekil	Sayfa
Şekil 5.40. Küre için Sakarya ve Erkmen tarafından geliştirilen yöntem.....	62
Şekil 5.41. Test kriteri olarak kullanılan yüz bölgesi	63

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı kısaltmalar açıklamalarıyla beraber aşağıda sunulmuştur.

Kısaltmalar

GŞEE

Açıklama

Gölgeden Şekil Elde Etme

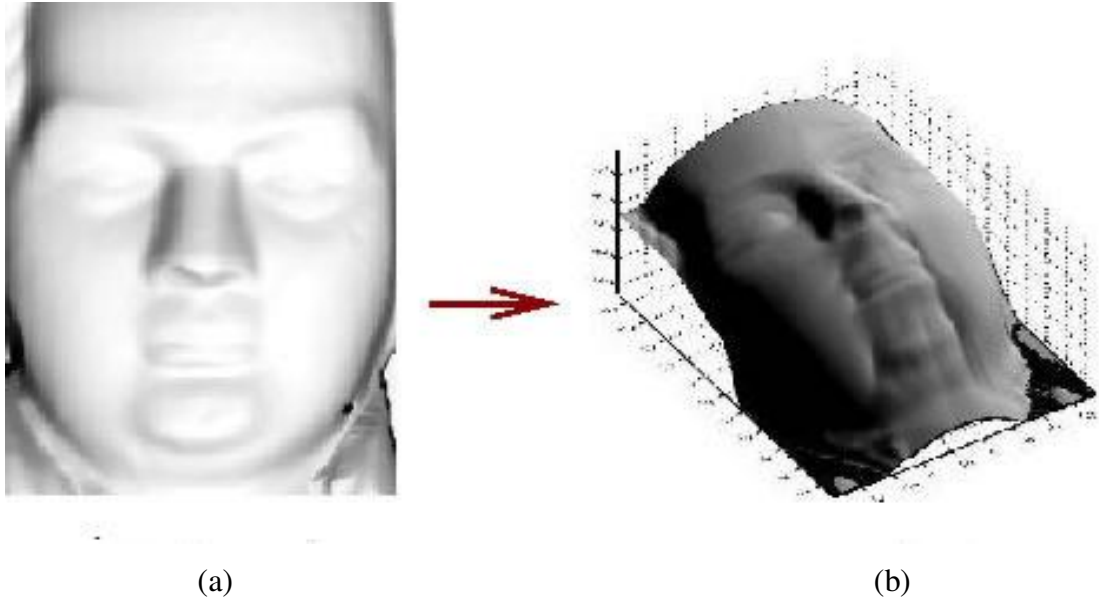
1. GİRİŞ

Günümüzde görüntü işleme, bilgisayarla görme ve bilgisayar grafikleri gibi bilim dalları insana ait 3 boyutlu yüz modellerini yüz tanıma, animasyon ve üç boyutlu oyunlar gibi birçok alanda kullanmaktadır. Üç boyutlu şekil bilgisi özel tarayıcılar ile doğrudan elde edilebildiği gibi bir veya birden fazla iki boyutlu görüntü kullanılarak da elde edilebilir.

Bir nesneye ait görüntü ya da görüntülerden değişik yöntemlerle üç boyutlu şekiller elde edilebilir. Buna da genel olarak X'den şekil elde etme (shape from X) yöntemleri denir. X'den şekil elde etme başlığı altında gölgeden, stereodan, hareketten, dokudan ya da yüzey çizgilerinden de şekil elde edilebilmektedir [1 – 3].

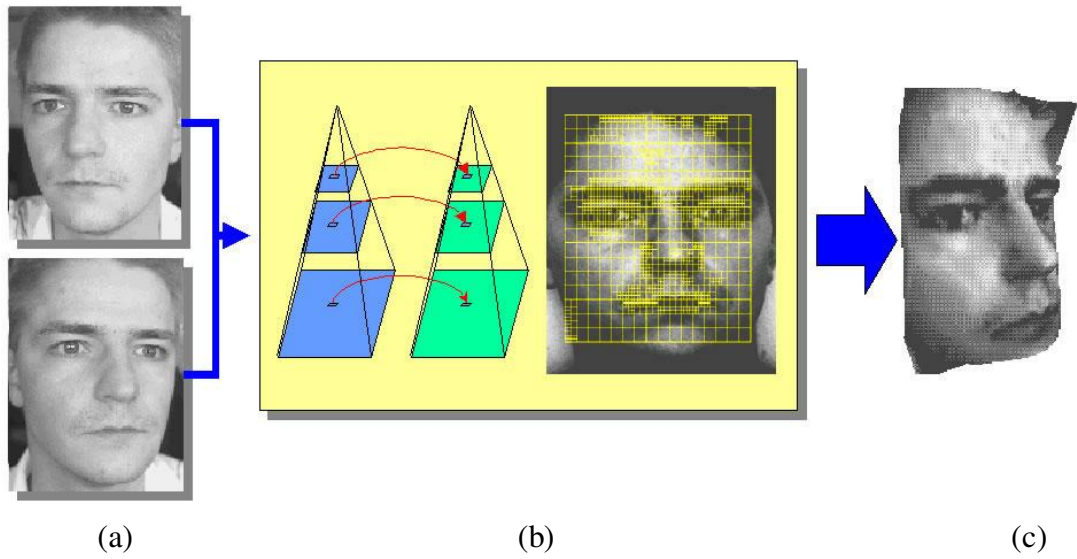
Bu tez çalışmasında, iki boyutlu görüntülerden derinlik bilgisinin (x,y,z koordinat sistemindeki z koordinat bilgisi) elde edilmesine değinilmektedir. Bu yöntemle gölgeden şekil elde edilmesi (GŞEE) denilmektedir ve tezde bu alanda yapılan çalışmalara değinilmektedir (Şekil 1.1). Basit bir biçimde değinecek olursak GŞEE; üç boyutlu şeklin oluşturulması için görüntünün ışık kaynağı ve yüzey yansıma bilgilerine ihtiyaç duymaktadır ve bu bilgileri de kullanarak ilgili algoritma yürütülerek şekil bilgisi elde edilmektedir [4].

Bir diğer yöntemde ise sabitleştirilmiş iki kamera sistemi ile görüntüye ait iki farklı görüntü elde edilmekte ve bu görüntüleri kullanarak da nesneye ait üç boyutlu şekil elde edilmektedir. Bu yöntemle stereodan üç boyutlu şekil elde etme (Şekil 1.2) denilmektedir. Burada; x eksenini boyunca kaydırılmış olan iki adet kamera tarafından bir nesneye ait 2 adet sağ ve sol görüntüler elde edilmekte ve bu görüntüler arasındaki belirli bir kayma miktarı kullanılarak pikseller arasındaki uzaklık hesaplanmaktadır. Bu kayma miktarına ise farklılık (disparity) denilmektedir.



Şekil 1.1. GŞEE ile şekil elde etme

a) Yüz görüntüsü b) GŞEE ile oluşturulan üç boyutlu şekil



Şekil 1.2. Stereo yöntemiyle şekil elde etme

a) Stereo görüntüler b) Derinlik hesaplanması
c) Elde edilen üç boyutlu şekil

Çalışma boyunca nesne olarak yüz görüntülerinden ve üç boyutlu yüz şekli elde edilmesinden bahsedileceğinden dolayı nesne kelimesi yerine genel olarak yüz kelimesi kullanılacaktır.

Yüz görüntüleri doğası gereği çok girift bir yapıya sahiptir. İki boyutlu bir yüz görüntüsünden üç boyutlu bir şekle geçiş aşamasında birçok problem ortaya çıkmaktadır. Burun, ağız ve göz gibi yüz bölgelerinin düzgün bir biçimde elde edilmesi çok zordur. Bu olumsuzluğu gidermek için tezde GŞEE ve fotometrik stereodan şekil elde etme yaklaşımlarına değinilmiş ve bu yöntemler uyarlanır bir şekilde kullanılarak daha iyi bir sonuç elde edilmiştir.

Tez çalışmasında uygulanan yöntem; Tsai-Shah GŞEE yöntemi ve fotometrik stereo yönteminin birleştirilmesi ile daha iyi bir üç boyutlu şeklin elde edilmesi yöntemidir. Bu amaçla öncelikli olarak GŞEE ve fotometrik stereo yöntemleri kullanılarak her yöntem için ayrı ayrı derinlik haritaları elde edilmiştir. GŞEE yöntemi ile derinlik elde edilirken fotometrik stereodan elde edilen albedo bilgisi kullanılmıştır. Bu sayede GŞEE yöntemine girdi olarak verilen görüntü iyileştirilerek daha iyi bir sonuç elde edilmeye çalışılmıştır.

Yapılan çalışmalar boyunca genel olarak fotometrik stereodan elde edilen derinlik bilgisinin GŞEE yöntemi ile elde edilen bilgiye göre daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Bu gerçekten yola çıkarak iki derinlik bilgisi her nokta için ayrı ayrı karşılaştırılmıştır. Karşılaştırılan nokta için fotometrik stereo derinlik bilgisi GŞEE derinlik bilgisinden daha büyükse sonuç derinlik bilgisi için doğrudan doğruya fotometrik stereo değeri alınmıştır. GŞEE derinlik bilgisi fotometrik stereo derinlik bilgisinden büyük olduğu durumda ise fotometrik stereo ile GŞEE derinlik bilgileri arasındaki fark önceden tanımlanmış belirli bir değerden büyükse fotometrik stereo bilgisinin %70'i GŞEE bilgisinin %30'u sonuç derinlik bilgisi olarak alınmaktadır, diğer durumlarda yani aradaki fark tanımlanmış bir değerden küçükse sonuç derinlik bilgisi için doğrudan GŞEE derinlik bilgisi alınmaktadır.

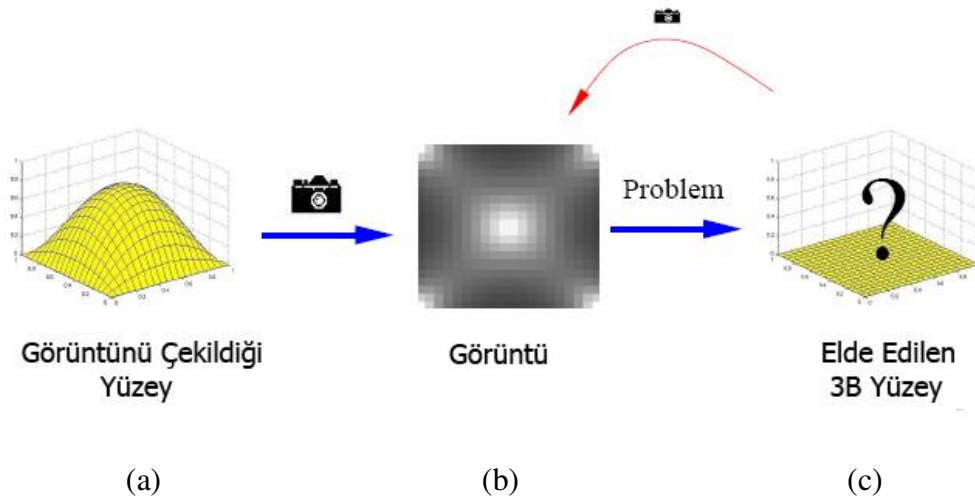
Tez genel olarak giriş bölümü de dâhil olmak üzere 6 bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümde gölgeden şekil elde etme yönteminin matematiksel olarak tanımı, bilimsel kaynaklardaki çalışmalar (genel, minimizasyon, yerel yaklaşımlar, v.s.) ve bu konu hakkında genel bilgiler yer almaktadır. Üçüncü bölümde fotometrik stereodan şekil etme yöntemi hakkında yapılan bilimsel çalışmalara değinilmiş ve ayrıntılı biçimde

yapılan çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir. Dördüncü bölümde yuvarıdaki yöntemlerin birleştirilmesi için geliştirilen yaklaşımlara değinilmiştir. Beřinci bölümde yapılan deneysel çalışmalardan çıkan sonuçların değerlendirilmesi, testler ve analizler bulunmaktadır. Altıncı bölümde ise yapılan çalışma hakkında son bir değerlendirme bulunmaktadır.

2. GÖLGEDEN ŞEKİL ELDE ETME

Gölgeden şekil etme; herhangi bir görüntüden nesnenin üç boyutlu şeklinin elde edilmesi olarak tanımlanabilir [5 – 7]. Burada yeri bilinen bir kaynaktan gelen ışık sayesinde nesne üzerinde oluşan yansıma bilgisi kullanılmaktadır. Gölgeden şekil elde etme, bilgisayarla görmede karmaşık denklemler kullanılarak sonuca tam olarak ulaşılamayan ve kötü konumlanmış zor bir problem olarak bilinmektedir. Daha basit bir biçimde şöyle açıklanabilir; 3B bir görüntüden elde edilen 2B görüntü kullanılarak tekrar orijinal 3B görüntüyü doğru biçimde elde etmek neredeyse imkansıza yakındır ve GŞEE temel olarak bu probleme çözüm aramaktadır (Şekil 2.1) [8 - 10].

Genel olarak iyi konumlanmış bir problem ise, sürekli olarak aynı girdi değerlerine karşılık farklı yöntemlerle bile tek bir sonuç döndürür. Tek bir görüntü ile üç boyutlu şeklin elde edilmesi probleminde farklı yöntemlerle ancak benzer veya yakın sonuçlar üretebilmektedir.



Şekil 2.1. Gölgeden şekil elde etme problemi

a) Görüntünün çekildiği yüzey b) Görüntü c) Elde edilen 3B yüzey

GŞEE problemi ilk olarak Horn tarafından ortaya atılmış ve bundan sonraki tüm çalışmalar, bu çalışma ya da bu çalışmadan türetilmiş çalışmalar üzerine inşa

edilmiştir. Horn yapmış olduğu çalışmada nesneye ait şekil bilgisini, bu nesneye ait gölge ve belirtilen yansıma fonksiyonunu kullanarak elde etmişti [11-12].

$$I_{x,y} = R(p, q) \quad (2.1)$$

Denklemdaki $I_{x,y}$ görüntüye ait parlaklık bilgisini temsil etmektedir. $p = z_x$ ve $q = z_y$ nesneye ait yüzey eğim bilgileridir.

Çeşitli yansıma fonksiyonları olmakla beraber gölgeden şekil elde etme yaklaşımlarında genel olarak Lambert yansıma fonksiyonu kullanılmaktadır (Şekil 2.2) .

$$I_{x,y} = \rho \cos \theta \quad (2.2)$$

$$I_{x,y} = \rho_{x,y} \frac{1 + pp_s + qq_s}{\sqrt{p^2 + q^2 + 1} \sqrt{p_s^2 + q_s^2 + 1}} \quad (2.3)$$

Eş. 2.3.'de $\rho_{x,y}$ görüntü yüzeyine doğru gelen ışığın yansıtma gücü olarak da bilinen albedoyu temsil etmekte ve genel olarak literatür çalışmalarında göz ardı edilmektedir. θ yüzey normaline gelen ışık ve yüzey normali $\vec{n} = (p, q, 1)$ arasındaki açıyı temsil etmektedir. Negatif aydınlanma vektörü ise $-\vec{L} = (p_s, q_s, 1)$ ışık kaynağına olan ters yön vektörünü temsil etmektedir. Bununla beraber yüzey oryantasyonu slant ve tilt isimli iki açı ile de temsil edilmektedir. Başka bir ifade ile ışık kaynağı, aydınlanma yönü slant ve tilti ile sunulabilmekte ve algoritmalar bu değişkenler kullanılarak da yapılabilmektedir. Aydınlanma yönü slantı α , negatif $\vec{L}$ ve pozitif z eksenini arasındaki açıdır, aydınlanma yönü tilti τ ise, negatif $\vec{L}$ ve x-z düzlemi arasındaki açıyı temsil etmektedir. Bu değerler p_s ve q_s ile doğrudan ilişkilidir.

$$p_s = \tan \alpha \cos \tau \quad (2.4)$$

$$q_s = \tan \alpha \sin \tau \quad (2.5)$$

Yukarıda kısa bir biçimde Horn'un GŞEE modeli ve temel değişkenlerinden bahsedilmiştir.

2.1. Yansıma Modelleri

Gri seviyeli bir görüntüdeki piksel değerleri aslında o noktadaki kodlanmış ışık miktarına karşılık gelmektedir. Bu değer de tamamen yüzey özellikleri ve ışık kaynağı arasındaki ilişki ile belirlenmektedir. Birçok şekil elde etme metodu ışıklandırma ve görüntüye ait yansıma karakteristiklerini kullanarak şekil bilgisini elde etmektedir. Sonuç olarak ışıklandırma ve nesneye ait bazı özellikler kullanılarak 3B şekiller yeniden elde edilebilirler. Fakat bununla beraber stereo gibi bazı teknikler yansıma özelliklerini kullanmadan da görüntüye ait şekil bilgisini elde edebilmektedir.

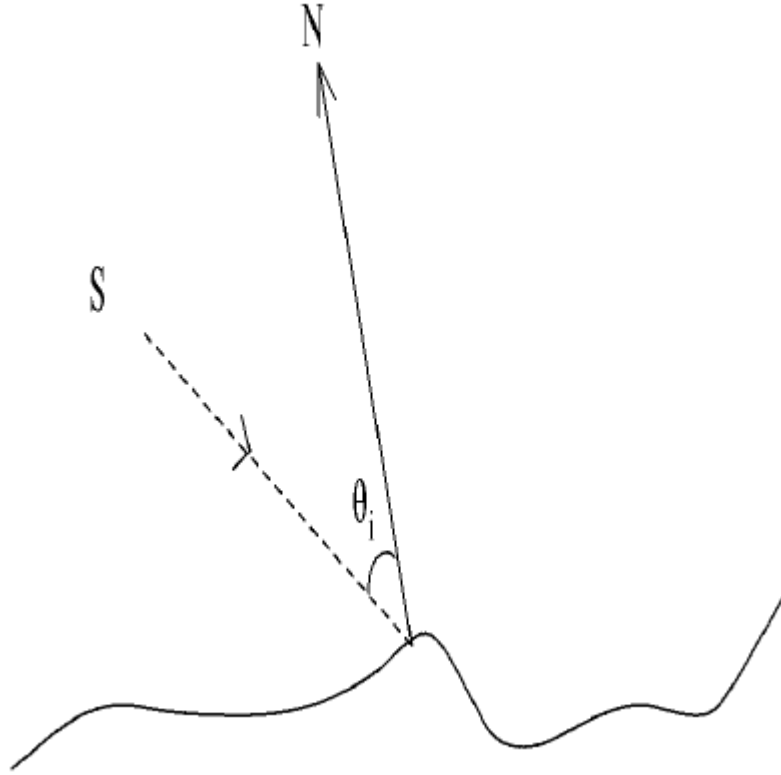
Bilgisayarla görmede farklı nesnelere ait yansıma özelliklerinin gösterimi çok önemlidir. Bunun için ABD'de Standartlar Bürosu yansıma özelliklerini "Bi-directional Reflectance-Distribution Function" (BRDF) adı altında standart belirlemişlerdir ve bu sayede yansıma özellikleri bir standart halinde belirlenmiştir.

Yansıma gelen ışığa ait enerjinin emiliminden oluşan bir yüzey olarak düşünülebilir. Temel olarak ışığın emilimi olmakta fakat herhangi bir yansımanın olmadığı varsayılmaktadır. Başka bir varsayım ise yüzeydeki tüm ışık dağılımı kusursuz ve düzgün bir dağılım olduğudur.

Yansıma modelleri GŞEE'de kullanılan temel şekil oluşturma modelleridir. Genel olarak Lambert modeli kullanılsa da Specular ve Phong yansıma modelleri de kullanılmaktadır.

Lambert yüzeyinin temel özellikleri aşağıdaki belirtilmiştir.

- Yansıyan radyans yönden bağımsız ve sabittir.
- BRDF sabittir.
- Radyans emilimi irradayansa eşittir.



Şekil 2.2. Lambert yansıma modelinin geometrisi

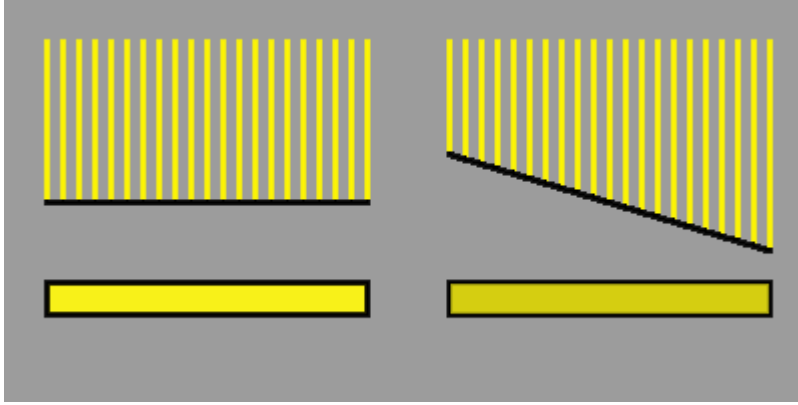
Lambert ve Phong yansıma modelleri hakkında aşağıda kısa bir bilgi verilmiştir. Ayrıca Lambert modelinin kullanım amacı hakkında da ayrıntılı bilgiler verilmiştir.

Lambert yansımanın temel olarak iki özelliği bulunmaktadır (Şekil 2.2). Bunlar herhangi bir noktanın ne kadar ışığı aldığı ve buna karşılık bakış noktasının aldığı bu ışık miktarının ne kadar yansıttığıdır. Şekil 2.3'e bakıldığında aynı ışık kaynağının farklı yüzeylere etki ettiği görülmektedir. Soldaki resimde ışık yüzeye doğrudan gelmektedir, buna karşılık sağdaki resimde ise ışık belirli bir açıdan yüzeye doğru

gelmektedir. Bu şekillerden de kolaylıkla anlaşılacağı gibi soldaki resim daha çok ışığa maruz kalırken sağdaki resim ona nazaran daha az ışık kaynağına maruz kalmakta ve daha az ışığı yansıtmaktadır. Basit geometri bilgisini düşünecek ve Lambert denklemini dikkate alacak olursak, yüzeye gelen ışık miktarını aşağıdaki eşitlikle ifade edebiliriz.

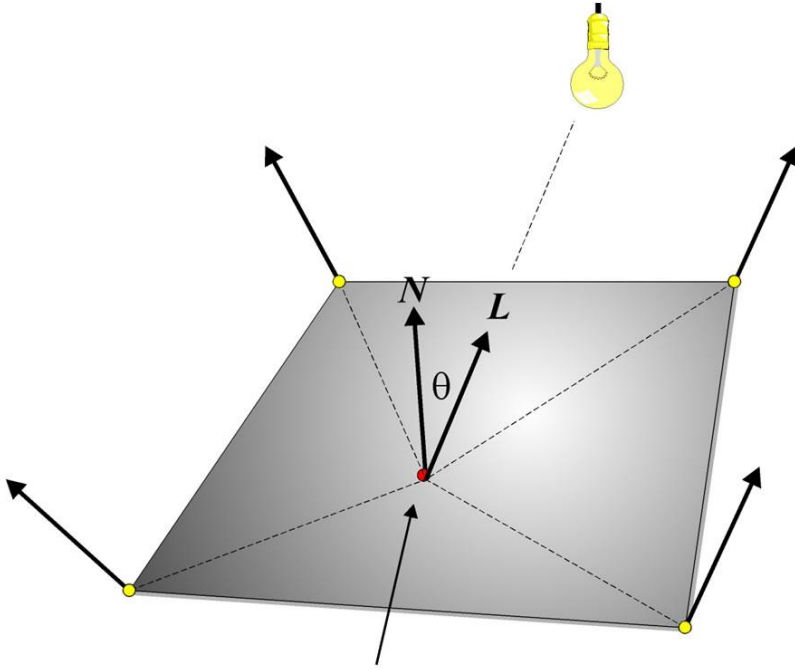
$$I_g = \cos \theta \quad (2.6)$$

Buradaki θ yüzey normali ile yüzeydeki etki edilen nokta arasındaki açıyı temsil etmektedir.



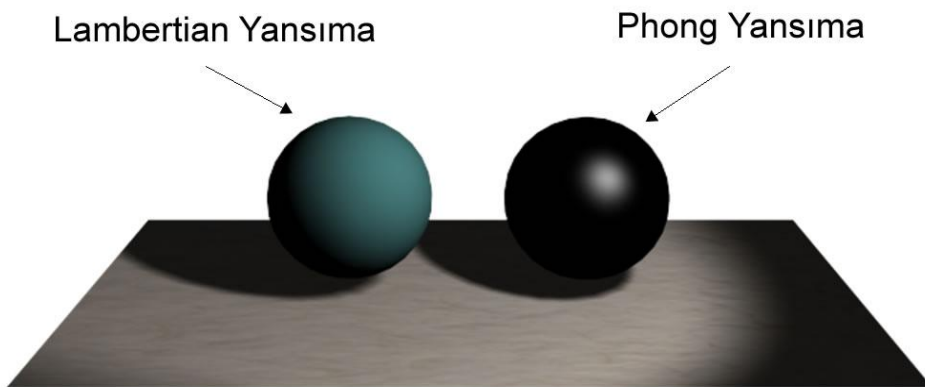
Şekil 2.3. Lambert yansıma modeli

Fakat Lambert modeline karşılık Phong modeli ise sanki kusursuz bir ayna yüzeyinde yansıma yapıyormuşçasına; gelen ışık miktarı ile yansıyan ışık miktarı aynı olmakta ve bu durum üç boyutlu bir ortamda Şekil 2.4'teki gibi görüntülenebilmektedir.



Şekil 2.4. Phong yansıma modeli

Genel olarak Lambert modelinin kullanılmasındaki temel neden; Phong modelinde gelen ve yansıyan ışık aynı oranda ve belirli bir şekilde yansıma olmaktadır. Fakat buna karşılık Lambert modelinde ise gelen ışık ve yansıyan ışık arasında daima bir kayıp olmaktadır. Tıpkı doğadaki tüm yüzeyler gibi yansıma yapmaktadır (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Lambert ve Phong yansıma modelleri

Albedo yüzey tarafından yapılan yansımaaya bağılıdır. Genellikle tüm özellikleri Lambert yansıması gibi olan bir yüzey olarak tanımlanmaktadır. 0 ile 1 arasında bir değere sahiptir.

2.2. Genel Literatür Taraması

Bu kadar temel girişten sonra kısaca GŞEE yaklaşımına ait genel literatür bilgisinin de verilmesinde fayda olduğu düşünülmüştür.

Bugüne kadar birçok araştırmacı gölgelenme bilgisinden faydalanarak insan gözü veya insan beyninin oluşturduğu 3B şekli elde etmek için çalışmalar yapmıştır. Bunu simule etmek için birçok araştırma yapmışlardır. Ramachandra beyine ait şekil bilgisini elde etmek için sadece gölgelenme bilgisini değil aynı zamanda nesneye ait ışık kaynağı uzaklığı ve açısı gibi görsel sistem bilgisini de kullanarak 3B şeklini elde etmeye çalışmıştır. Barrow ve Tenenbaum gölge desen çizgilerinin oluşturulması için gölgelenmiş desenlerini kullanarak yeni bir model sunmuştur. Mingolla ve Todd'un çalışmaları ise GŞEE-Lambert yansıma modeli üzerinde bilinen ışık kaynağı doğrultusu ve bakış yönü aracılığı ile 3B şekil elde etme yöntemidir [13 - 14].

GŞEE probleminin çözümü için ne kadar çalışma yapılmış olsa da tabii ki gerçek insan görme sistemi ile bilgisayarla görme sistemi arasında farklılığın olduğunu ve sonuçların hiçbir zaman insan gözü gibi elde edilmeyeceği bilinen bir gerçektir.

GŞEE teknikleri genel olarak dört gruba ayrılmaktadır. Bunlar minimizasyon yaklaşımları, yayılım yaklaşımları, yerel yaklaşımlar ve doğrusal yaklaşımlardır.

Minimizasyon yaklaşımları, enerji fonksiyonunun minimize edilmesini sağlayarak sonuca gitmektedir.

Yayılım yaklaşımları, bütün görüntüye ait başlangıç şekil bilgisinin belirli bir noktada kullanıma başlanması ile yüzeye ait genel şekil bilgisinin yayılımı biçiminde çözüm üreten bir yaklaşımdır. Bu yayılım başlangıç derinlik bilgisinin yüzey yayılımı sırasında her nokta için nokta komşuluğuna da bakarak şekil bilgisinin yenilenmesi olarak düşünülmelidir.

Yerel yaklaşımlar yüzey tipi varsayımlarına yani belirli bölgelerdeki eğimin fazla olacağı belirli bölgelerdeki eğimin az olacağı bilgisine göre şekil bilgisini türetmektedir.

Doğrusal yaklaşımlar, yansıma haritasının doğrusal bir biçimde hesaplanmasına dayanmaktadır.

Çizelge 2.1. GŞEE için kullanılan dört yaklaşım. Kişilerin yanında parantez içindeki sayı makalenin yayınlanmış olduğu yılı temsil etmektedir.

Minimizasyon	Yayılım	Yerel	Lineer
Ikeuchi & Horn (1981)	Horn(1970)	Pentland(1984)	Pentland(1988)
Brooks& Horn (1985)	Rouy & Tourin (1992)	Lee & Rosefeld (1985)	Tsai & Shah(1992)
Frankot&Chellappa (1988)	Dupuis & Olensis (1992)		
Horn(1989)	Kimmel&Bruckstein(1992)		
Malik&Maydan (1989)	Bichsel&Pentland(1992)		
Szeliski(1991)			
Zheng&Chellappa(1991)			
Lee & Kuo (1991)			
Leclerc & Bobic (1993)			
Vega & Yang (1993)			

Çizelge 2.2. GŞEE tekniklerinin farklı şekilde sınıflandırılması. Kişilerin yanında parantez içindeki sayı makalenin yayınlanmış olduğu yılı temsil etmektedir.

Kısmi diferansiyel denklem	Minimizasyon	Görüntü yansıma denklem tahmini
Rouy&Tourin(1992)	Ikeuchi & Horn (1981)	Horn&Brooks(1986)
Oliensis&Dupuis(1992)	Brooks& Horn (1985)	Strat(1979)
Ishii & Ramaswamy(1995)	Frankot&Chellappa (1988)	Courtaile(2004)
Camilli(1999)	Horn(1989)	Courtaile&Durou(2006)
Tankus(2005)	Malik&Maydan (1989)	Crouzil, Descombes & Durou (2003)
Kimmel&Sethian(2001)	Szeliski(1991)	
Kain & Ostrov(2001)	Zheng&Chellappa(1991)	
Prados&Faugeras(2005)	Lee & Kuo (1991)	
Falcone(2003)	Leclerc & Bobic (1993)	
Bruckstein(1998)	Vega & Yang (1993)	
Duroo&Piau(2000)	Worthington&Hancock(1999)	

2.3. Gölgeden Şekil Elde Etme Yaklaşımları

2.3.1. Minimizasyon yaklaşımları

Minimizasyon yaklaşımlarından ilki Ikeuchi ve Horn tarafından öne sürülen yöntemdir [15-16]. Bu yöntemde yüzey gradyanlarının iyileştirilmesi ile şekil bilgisi elde edilmeye çalışılmaktadır. Bu yaklaşım geliştirilmeden önce her yüzey noktasına ait yüzey gradyanı için iki bilinmeyen bulunmaktaydı. Ayrıca görüntü içindeki her bir pikselin bir gri değerine sahip olduğu bilinmekteydi. Bu bilgilerin ışığında şekil bilgisi elde etmek için iki adet sabit tanımlanmaktadır. Minimizasyon yaklaşımı bu iki sabit arasındaki ilişki sonucunda oluşturulan enerjiye göre çözüm üretmektedir. İki sabit aydınlık ve düzlük sabiti olarak bilinmektedir. Aydınlık sabiti görüntünün her yüzey noktasında aynı aydınlanmayı gerekli kılan bir sabit, düzlük sabiti ise düz yüzeyin iyileştirmesini garanti eden bir sabittir. İyileştirilmiş şekil ise bu iki sabit arasındaki enerji fonksiyonunun minimize edilmesi ile hesaplanmaktadır. Elde edilen

şeklin doğru şekil olduğu ise başlangıçta verilen sınırlandırmalar çerçevesinde sorgulanmakta ve garanti edilmektedir. Üç boyutlu projeksiyon ise en az bir sonlu sınırı olan gradyan olduğu sürece elde edilmektedir.

Yine bu iki sabit kullanılarak yüzey normalinde aynı enerji fonksiyonunun minimizasyonu Brook ve Horn tarafından yapılan çalışmalarda mevcuttur [17-18].

Frankot ve Chellappa, Brook ve Horn'un algoritmalarını kendi çalışmaları ile birleştirerek derinliklerinin eşit olduğu $z_{xy} = z_{yx}$ benzer yüzeyleri elde etmişlerdir [19]. Bu yüzeylere ait yüzey eğimleri, Fourier tabanlı dik fonksiyon kümelerinin doğrusal birleşimi ile iteratif bir biçimde tahmin edilmektedir. Eğim ilişkilerinin doğruluğu en yakın yüzeyler içerisindeki ayrık yüzey eğimleri arasındaki yüzey eğiminin birleştirilmesi ile olmaktadır. Projeksiyon doğrusal bileşenlerdeki birleşimlerin en yakın katsayı kümesinin bulunup uygulanması ile gerçekleşmektedir.

Düzlük sabiti yerine Zeng ve Chellappa x ve y doğrultusunda birbirlerine yakın giriş görüntüsü ve elde edilen şekle ait görüntünün yoğunluk gradyanı arasındaki ilişkiyi tanımlamışlardır [20-21]. Buna yoğunluk gradyan sabiti adını vermişler ve sabit olarak da bunu kullanmışlardır.

Tüm bu çalışmalar çeşitli teknik hesaplar yapılması sonucu çözüme ulaşmaktadır. Bunların yerine Leclerc ve Bobick görüntüye ait derinlik bilgisini ayrık formülasyon ve birleşik gradyan tekniğini kullanarak çözmüşlerdir [22-23]. Parlaklık ve düzlük sabitleri ise uyum göstermesi açısından çalışmaya uyarlanmıştır ve bu çalışmalarında stereo derinlik haritasını ise başlangıç tahmini için kullanılmıştır.

Lee ve Kuo ise derinliği iyileştirmek için parlaklık ve düzlük sabitlerini kullanmıştır [24-25]. Yüzey yaklaşım tahminlerinin temelini ise üçgenlerin birleşme modeli oluşturmaktadır. Bu yaklaşımda derinlik için bir başlangıç derinliğine gerek duyulmaktadır.

Malik ve Maydan düz yüzeylerin bölünmesi ile bir çözüm geliştirmişlerdir [26-27]. Bunlar gölgeleme sabitini enerji fonksiyonu içinde kullanmışlar ve enerji fonksiyonunun minimizasyonunu gerçekleştirmişler.

2.3.2. Yayılım yaklaşımları

Horn'un karakteristik yol metoduna aslında temelde bir yayılım metodu olarak bakılabilir. Karakteristik yol eğer başlangıç noktası biliniyorsa görüntü boyunca uzayan bir çizgi sayesinde yüzey derinliği ve eğilimi hesaplanabilen bir yaklaşım sunmaktadır. Horn'un bu metodu küresel yaklaşımı kullanarak tekil noktaların komşuları arasındaki başlangıç yüzey eğrilerini oluşturmasını sağlamaktadır. Bu sayede görüntüye ait şekil bilgisi karakteristik yol boyunca yayılarak 3-boyutlu şekli oluşturmaktadır. Karakteristik yol, yayılımın olduğu doğrultu boyunca yoğunluk gradyanının uzayan bir çizgisi olarak tanımlanmaktadır. Oluşan şekil istenen bir haritalamayı vermiyorsa yoğunluk gradyanından elde edilen şekil haritasını elde etmek için iterasyonlar tekrarlanarak istenen haritalama elde edilmektedir. Haritalama da istenen durum ise yol çizgilerinin birbirine yakınlığıdır.

Horn'un yukarıdaki metoduna benzer biçimde Kimmel ve Bruckstein algoritmanın başlangıcındaki yakın eğriler sayesinde eşit yükseklik eğrilerinin katmanları oluşturularak yüzeyi yeniden oluşturulabilir bir teknik geliştirmişlerdir [28-29]. Bu teknik diferansiyel geometri ile uygulanabilir olmasından dolayı zor ve karmaşıktır [30]. Bu algoritmada temel kritik nokta ise başlangıç için tekil noktaların alanlarının içindeki yakın eğrileri kullanmasıdır.

2.3.3. Yerel yaklaşımlar

Pentland'ın yerel yaklaşımı üç boyutlu şekil bilgisini yoğunluk, ilk türev ve ikinci türevi kullanarak elde etmektedir [31]. Pentland yüzeyin her noktanın küresel bir şekil olarak varsaymıştır. Aynı küresel varsayım altında Lee ve Rosenfelt

yoğunluğun ilk türevini kullanarak ışık kaynağı koordinat sistemindeki yüzeyin eğim açıları olan ϕ ve θ açılarını kullanarak üç boyutlu şekli elde etmişlerdir [32-33].

2.3.4. Doğrusal yaklaşımlar

Pentland, Tsai ve Shah'a ait doğrusal yaklaşımlar; yansıma haritasının doğrusallığından yola çıkarak üç boyutlu şekli elde etmektedirler.

Pentland yüzey gradyanı olan yansıma fonksiyonunun ve her noktanın derinliğindeki yakın formları elde etmek için doğrusal fonksiyona Fourier dönüşümü uygulayan doğrusal yaklaşımını kullanmıştır.

Tsai ve Shah ise ilk önce gradyanın ayrık yaklaşımını daha sonra derinliği ifade eden yansıma fonksiyonunun doğrusal yaklaşımını kullanmışlardır [34]. Bunların algoritması her noktadaki derinliği Jacobi iteratif şemasını kullanarak elde etmişlerdir.

2.3.5. İç yansımalar

Hiç bir yöntem iç yansımayı dikkate almamıştır. Bu problemin çözümü için Nayaret fotometrik stereoları kullanarak iç yansılardan şekil elde etmiştir [35 – 36]. Bu şekilde yapmış olduğu çalışmalarda fotometrik stereolardan şekil etmede iç yansıma problemi yüzünden birçok hatalı sonuç elde edilmiştir. Bu yüzden Nayaret şekil bilgisini iteratif bir biçimde çözen bir yaklaşım önermiştir.

2.4. Yaygın Olarak Kullanılan Gölgeden Şekil Elde Etme Yöntemleri

2.4.1. Tsai ve Shah yöntemi

GŞEE yöntemlerinden Tsai ve Shah tarafından geliştirmiş yöntem en çok kullanılan ve uygulan yöntemdir. Tsai ve Shah yönteminde yansıma fonksiyonu üzerinde doğrusal yaklaşımı uygulayarak diğer yerel yaklaşımlardan daha kesin ve hızlı sonuç

elde etmişlerdir. Genel olarak yaklaşım ise p ve q değişkenlerine ayrı ayrı yaklaşımlar uygulamışlar ve Z derinlik haritasını ise Lambert yansıma fonksiyonu üzerinde doğrusal ve iteratif bir biçimde oluşturmuşlardır.

Genel Lambert yansıma fonksiyonu aşağıdaki eşitliklerde de ifade edilmektedir. Denklemleri aşağıdaki şekilde sırası ile açabiliriz.

$$I_{x,y} = \rho_{x,y} \frac{1 + pp_s + qq_s}{\sqrt{p^2 + q^2 + 1} \sqrt{p_s^2 + q_s^2 + 1}} \quad (2.7)$$

$$I_{x,y} = \frac{\cos \sigma + p \cos \tau \sin \sigma + q \sin \tau \cos \tau}{\sqrt{1 + p^2 + q^2}} \quad (2.8)$$

$I_{x,y}$ görüntüye ait gri renk seviyelerini temsil etmektedir. $p - q$ ve $\sigma - \tau$ ise derinliğe ve birbirlerine bağlı olarak aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir.

$$p = \frac{\partial Z}{\partial x} \quad (2.9)$$

$$q = \frac{\partial Z}{\partial y} \quad (2.10)$$

$$p_s = \frac{\cos \tau \sin \sigma}{\cos \sigma} \quad (2.11)$$

$$q_s = \frac{\sin \tau \sin \sigma}{\cos \sigma} \quad (2.12)$$

Yukarıdaki şekilde x ve y düzlemlerine göre ayrıştırılmış denklemleri kullanarak p ve q aşağıdaki şekilde tekrardan oluşturulabilir.

$$p = \frac{\partial Z}{\partial x} = Z(x, y) - Z(x-1, y) \quad (2.13)$$

$$q = \frac{\partial Z}{\partial y} \quad Z(x, y) - Z(x, y-1) \quad (2.14)$$

Yukarıdaki eşitlikler dizisi ise aşağıdaki biçimde ifade edilebilir.

$$0 = f(I(x, y), Z(x, y), Z(x, -1y), Z(x, y-1)) \quad (2.15)$$

$$= I(x, y) - R(Z(x, y), Z(x, -1y), Z(x, y-1)) \quad (2.16)$$

I görüntüsündeki verilen her x ve y noktaları için f fonksiyonun Z^{n-1} derinliği için doğrusal yaklaşımı Eş. 2.17'deki gibi sunulabilir.

$$= f(I(x, y), Z(x, y), Z(x, -1y), Z(x, y-1)) \quad (2.17)$$

$$\begin{aligned} &\approx f(I(x, y), Z^{n-1}(x, y), Z^{n-1}(x-1, y), Z^{n-1}(x, y-1)) \\ &+ (Z(x, y) - Z^{n-1}(x, y)) * \frac{\partial}{\partial Z(x, y)} f(I(x, y), Z^{n-1}(x, y), Z^{n-1}(x-1, y), Z^{n-1}(x, y-1)) \\ &+ (Z(x-1, y) - Z^{n-1}(x-1, y)) * \frac{\partial}{\partial Z(x-1, y)} f(I(x, y), Z^{n-1}(x, y), Z^{n-1}(x-1, y), Z^{n-1}(x, y-1)) \\ &+ (Z(x, y-1) - Z^{n-1}(x, y-1)) * \frac{\partial}{\partial Z(x, y-1)} f(I(x, y), Z^{n-1}(x, y), Z^{n-1}(x-1, y), Z^{n-1}(x, y-1)) \end{aligned} \quad (2.18)$$

Eş. 2.18'de NxN boyuttaki bir görüntü için çözmesi oldukça zor bir denklemdir. Bunun için Tsai ve Shah Jacobi iteratif yaklaşımı kullanarak daha kolay bir şekilde çözmüşlerdir. Bu yaklaşımda verilen bir ilk Z^0 derinliği için derinlik değerleri iteratif bir biçimde hesaplanmaktadır.

Konuyu daha açık bir şekilde ifade etmek gerekirse Eş. 2.18'de $Z(x-1, y)$ ve $Z(x, y-1)$ yerine $Z^{n-1}(x-1, y)$ ve $Z^{n-1}(x, y-1)$ konulursa eşitlik aşağıdaki şekilde elde edilebilir.

$$0 = f(Z(x, y)) \quad (2.19)$$

$$\approx f(Z^{n-1}(x, y)) + (Z(x, y) - Z^{n-1}(x, y)) \frac{d}{dZ(x, y)} f(Z^{n-1}(x, y)) \quad (2.20)$$

Daha sonra $Z(x, y) = Z^n(x, y)$ şeklinde n. iterasyonunu düşünürsek eşitlik aşağıdaki şekilde doğrudan çözülebilir

$$Z^n(x, y) = Z^{n-1}(x, y) + \frac{-f(Z^{n-1}(x, y))}{\frac{d}{dZ(x, y)} f(Z^{n-1}(x, y))} \quad (2.21)$$

$$\frac{d}{dZ(x, y)} f(Z^{n-1}(x, y)) = -1 * \left(\frac{p_s + q_s}{\sqrt{p^2 + q^2 + 1} \sqrt{p_s^2 + q_s^2 + 1}} - \frac{(p+q)(pp_s + qq_s)}{\sqrt{p^2 + q^2 + 1} \sqrt{p_s^2 + q_s^2 + 1}} \right) \quad (2.22)$$

Eş. 2.20'de $Z^0(x, y) = 0$ olarak verilirse sonuç Eş. 2.21 örneğinde olduğu gibi iteratif bir biçimde oluşturulabilir.

2.4.2. Ikeuchi ve Horn yöntemi

GŞEE yaklaşımlarında oluşturulacak şekildeki değişimin hesaplanmasına ait ilk uygulama Ikeuchi ve Horn tarafından gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen yaklaşım nesneye ait yüzey eğilimlerinin fonksiyonel olarak hesaplanmasına dayanmaktadır. Çalışmalarında yüzey eğilimlerinin değişimlerini dikkate alarak görüntü üzerinde iki boyutlu kısmi türevlerini (p - q) kullanarak sonuca ulaşmışlardır.

Çalışmalarında kolaylık sağlaması açısından $p - q$ uzayını $f - g$ uzayına dönüştürerek aşağıdaki eşitlikleri elde etmiş ve daha sonraki algoritma adımlarında bu değerleri kullanmışlardır. Bu dönüşümün temel sebebi kapalı sınırların denklemden çıkartılarak çözümün daha kolay hale getirilebilir olmasını sağlamaktır [37].

$$f = \frac{2p}{1 + \sqrt{1 + p^2 + q^2}} \quad (2.23)$$

$$g = \frac{2q}{1 + \sqrt{1 + p^2 + q^2}} \quad (2.24)$$

$$f^2 + g^2 \leq 4 \quad (2.25)$$

Herhangi bir noktadaki eğimin kapalı sınırları $f - g$ uzayındaki herhangi bir noktadaki yarıçapı ile doğrudan ilişkilidir. Eş. 2.6 örneğinde yüzeydeki tüm görülebilir alanlara uygulanması çok kolaydır bu işlem sayesinde kapalı sınırlar artık denklemden herhangi bir sorun teşkil etmeyecektir.

Bu ilişki sonucunda görüntüyü f, g ve Ω ile tekrar düzenlersek; yansıma haritası aşağıdaki eşitlikten de görülebileceği üzere f ve g ye bağlı olarak oluşturulabilir hale gelmiştir.

$$E(x, y) = R(f(x, y), g(x, y)) \quad (2.26)$$

Uygun fonksiyonlar kullanılarak parlaklık hatasını aşağıdaki integral ile hesaplayabiliriz.

$$\iint_{\Omega} (E(x, y) - R(f(x, y), g(x, y)))^2 dx dy \quad (2.27)$$

Bu aşamadan sonra integrallerin döngüsüne bağlı olarak yeni terimler oluşturabilir ve ekleyebiliriz. $f - g$ dönüşümünden sonra kullanacağımız stereografik koordinatlar yüzünden integral döngü denklemleri daha da karmaşık hale gelmektedir.

$$p = \frac{4f}{4-f^2-g^2} \quad (2.28)$$

$$q = \frac{4g}{4-f^2-g^2} \quad (2.29)$$

$$p_y - q_x = 0 \quad (2.30)$$

$$\frac{f_y(4+f^2-g^2) - g_x(4-f^2+g^2) + 2(g_y - f_x)fg}{(4-f^2-g^2)^2} = 0 \quad (2.31)$$

Eş. 2.31 görüldüğü üzere çok karmaşık bir şekil almıştır. Hala parlaklık gibi ek sabitler olmadan denklem iyi konumlanmış bir problem değildir. Eş. 2.31'e ek olarak Ikeucki ve Horn, düzlük sabiti olarak aşağıdaki gibi yeni bir değer eklemeye karar vermişlerdir.

$$\iint_{\Omega} (f_x^2 + f_y^2 + g_x^2 + g_y^2) dx dy \quad (2.32)$$

Eş. 2.32'ye parlaklık değişimi de eklenerek aşağıdaki fonksiyonel sonuca varmışlardır. Yani f ve g kullanılarak minimize edilmesi gereken eşitlik elde etmişlerdir.

$$\iint_{\Omega} (E(x, y) - R(f(x, y), g(x, y)))^2 + \lambda (f_x^2 + f_y^2 + g_x^2 + g_y^2) dx dy \quad (2.33)$$

λ skalar sabiti temsil etmektedir. Eş. 2.33 eşitlik düzenlenmesi gereken eşitlik olarak düşünülmektedir. Eş. 2.33'deki skalar değişken tek sonucu elde edebilmek için minimizasyon durumunda kullanılmak için eklenmiştir.

Bu minimizasyon yaklaşımı Euler eşitliği sayesinde çok kolay okunabilir hal almaktadır.

$$(E - R)R_f + \lambda \nabla^2 f = 0 \quad (2.34)$$

$$(E - R)R_g + \lambda \nabla^2 g = 0 \quad (2.35)$$

Eş. 2.34 ve Eş. 2.35'deki R_f ve R_g sırası ile $R(f,g)$ sonucunun birinci kısmi türevlerini temsil etmektedir ve aşağıdaki eşitlik ise Laplacian operatörünü temsil etmektedir.

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \quad (2.36)$$

Eş. 2.36'daki Euler eşitliğindeki ek sabitler olmaksızın tek çözümlü bir davranış sergileyememektedirler. Fakat istenen sonuç ek sabitler f ve g ye bağlı olarak kapalı sınırlarla beraber elde edilebilirlerdir.

Bu aşamadan sonra Laplacian ayırık yaklaşımı üzerinde bu eşitlikler incelenmektedir. Verilen bir noktadaki Laplacian fonksiyonu tahmini olarak fonksiyonun yerel ortalaması ve her noktadaki değeri arasındaki farka eşit olmaktadır. Buradaki temel ölçüt anlaşıldığı üzere yerel ortalamalardır.

Örnek verecek olursak işlemlerde basit sonlu diferansiyel yaklaşımı kullanılacak olursa eşitlikler farklı şekilde düzenlenebilir.

$$\left\{\nabla^2 f\right\}_{ij} \approx \frac{1}{\varepsilon^2} \left[\left(f_{i,j+1} + f_{i+1,j} + f_{i,j-1} + f_{i-1,j} \right) - 4f_{i,j} \right] \quad (2.37)$$

$$\left\{\nabla^2 f\right\}_{ij} \approx \frac{4}{\varepsilon^2} \left(\bar{f}_{i,j} - f_{i,j} \right) \quad (2.38)$$

Düzenlemeler sonucunda eşitlikler Eş. 2.37 ve Eş. 2.38'deki şekle getirilebilir ki buradaki yerel ortalama aşağıdaki eşitlikte verilmiştir.

$$\bar{f}_{ij} = \frac{1}{4} \left[f_{i,j+1} + f_{i+1,j} + f_{i,j-1} + f_{i-1,j} \right] \quad (2.39)$$

Eş. 2.39 eşitlik için aynısı g içinde uygulanabilir. Bu sonlu diferansiyel yaklaşım eşitlikleri Eş. 2.36'daki Euler eşitliği üzerine uygulanırsa aşağıdaki sonuç eşitlikler elde edilmektedir.

$$f_{ij} = \bar{f}_{ij} + \frac{\varepsilon^2}{4\lambda} \left(E_{ij} - R(f_{ij}, g_{ij}) \right) R_f(f_{ij}, g_{ij}) \quad (2.40)$$

$$g_{ij} = \bar{g}_{ij} + \frac{\varepsilon^2}{4\lambda} \left(E_{ij} - R(f_{ij}, g_{ij}) \right) R_g(f_{ij}, g_{ij}) \quad (2.41)$$

Böylece f_{ij} ve g_{ij} birbirinden ayrıştırılmış olurlar. Bu sayede iteratif yapı bir önceki değerleri kullanarak yenide şekillendirilip yeni değerler kullanılarak elde edilebilir hale gelmiştir. Bu düşünceyle son olarak eşitliklerimi tekrardan düzenlersek Eş. 2.42 ve Eş. 2.43 eşitliklerine ulaşılmaktadır.

$$f_{ij}^{k+1} = \bar{f}_{ij}^k + \frac{\varepsilon^2}{4\lambda} \left(E_{ij} - R(f_{ij}^k, g_{ij}^k) \right) R_f(f_{ij}^k, g_{ij}^k) \quad (2.42)$$

$$g_{ij}^{k+1} = \bar{g}_{ij}^k + \frac{\varepsilon^2}{4\lambda} \left(E_{ij} - R \left(f_{ij}^k, g_{ij}^k \right) \right) R_g \left(f_{ij}^k, g_{ij}^k \right) \quad (2.43)$$

Bu sonuç eşitliklerdeki ε görüntü hücrelerindeki aralığı temsil etmektedir. $\bar{f}$ ve $\bar{g}$ ise sırası ile f ve g 'nin ortalamalarını temsil etmektedir.

2.4.3. Frankot ve Chellappa yöntemi

Frankot ve Chellappa doğrusal ve yerel yaklaşımlardaki hesaplama gereksinimini fazlalığından dolayı yeni bir yöntem geliştirmişlerdir. Temel uygulama olası integrallenemeyen yüzey eğimlerinin sonlu fonksiyonlar kümesi ile sunulması ve integrallenebilmesinin sağlanması üzerine çalışmaktadır.

Temel GŞEE yaklaşımlarının verilen tek görüntü üzerinden düzgün bir yüzeyin tahmin edilmesi şeklinde çalıştığı varsayımı ile çalışmaktadır. Bu amaçla herhangi bir görüntü üzerindeki yüzey değişimlerini içeren model, yüzey eğimi ve daha sonra bu yüzey eğimleri arasındaki ilişkinin çözümü ile doğrudan ilişkilidir.

$I(x, y)$ üzerinde çalışılacak görüntü yoğunluğu olarak düşünecek olursak $z(x, y)$ 'de (x, y) düzlemindeki bilinmeyen yükseklik olarak adlandırabiliriz. Görüntü yoğunluğu ve yüzey eğimleri arasındaki ilişki aşağıdaki Eş. 2.44'teki eşitlikle gösterilebilir.

$$I(x, y) = R(z_x, z_y, \beta, l, \rho) \quad (2.44)$$

Eş. 2.44'deki yüzey eğim değerleri aşağıdaki eşitliklerle gösterilebilir.

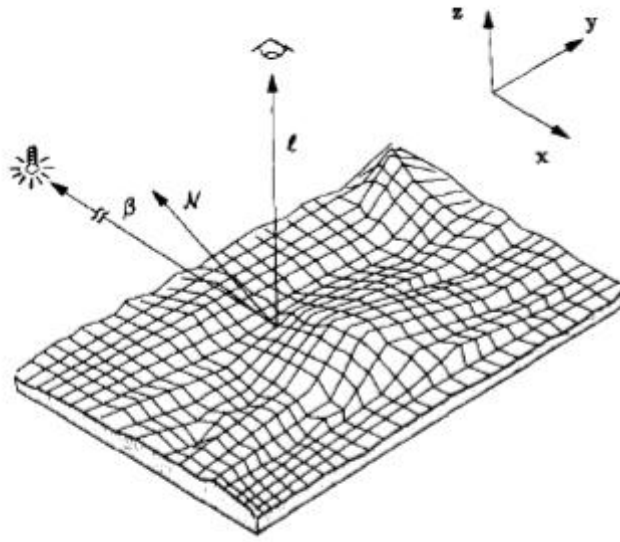
$$z_x = \frac{\partial z}{\partial x} \quad (2.45)$$

$$z_y = \frac{\partial z}{\partial y} \quad (2.46)$$

β aydınlanma yön vektörünü, l tek kameradan yüzeye gelen vektör ve ρ ise albedo olarak temsil edilmektedir. Bununla beraber eşitlikler aşağıdaki varsayımlarla da ilişkilidir.

Her (x_0, y_0) noktasında yansıma haritasındaki çoklu yansıma yok sayılmıştır.

Albedo ρ , β vektörü ve l tüm görüntü boyunca bilindiği varsayılmaktadır. R uzaysal olarak değişmemektedir.



Şekil 2.6. Yansıma geometrisi

Yukarıdaki eşitliklerden de anlaşılabileceği gibi GŞEE x ve y ye bağlı kısmi diferansiyel denklemi olarak sunulmaktadır. Tabii ki burada z_x ve z_y arasındaki tutarlılık konusu kafalarda soru olarak oluşabilmektedir. Sonuçlar arasındaki integrallenebilme yüzey eğimlerinin üzerindeki sabitlerin tutarlılığından yani aşağıdaki denklemden dolayı yukarıdaki sorun ortadan kalkmış olmaktadır.

$$z_{xy}(x, y) = z_{yx}(x, y) \quad (2.47)$$

Frankot ve Chellappa tarafından geliştirilen yaklaşım integrallanemeyen tahmini yüzey eğimlerinin $(\hat{z}_x, \hat{z}_y)$ integrallenebilir yüzey eğimleri kümesi haline çevrilmesine dayanmaktadır.

$$\frac{\partial}{\partial y} \tilde{z}_x = \frac{\partial}{\partial x} \tilde{z}_y \quad (2.48)$$

Bunlarda eş zamanlı olarak minimize edilmektedir.

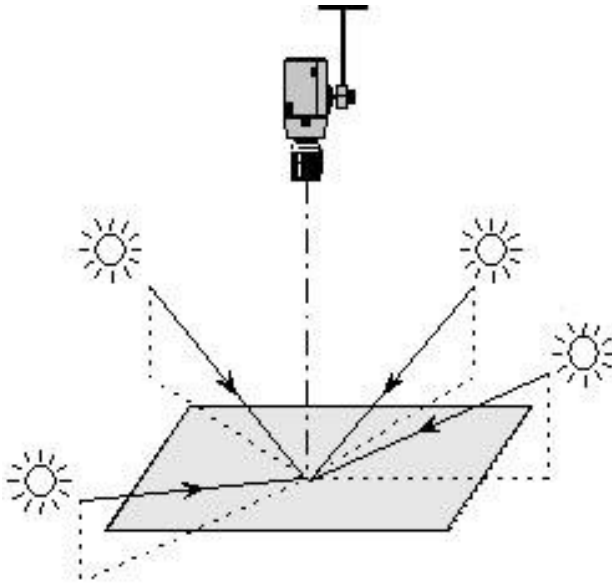
$$d\left\{(\hat{z}_x, \hat{z}_y), (\tilde{z}_x, \tilde{z}_y)\right\} = \iint |\tilde{z}_x - \hat{z}_x|^2 + |\tilde{z}_y - \hat{z}_y|^2 dx dy \quad (2.49)$$

Minimizasyon sonucu ise yukarıdaki eşitlikteki gibi elde edilmektedir. Sonuç derinlik ise bu değerlerin minimize edilmesi sonucunda oluşmaktadır.

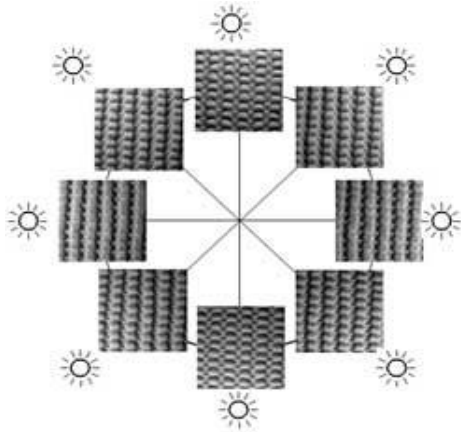
3. FOTOMETRİK STEREO

Bu bölümde ise fotometrik stereo yaklaşımı hakkında temel bilgiler, nasıl kullanılabileceği ve konu hakkında yapılan çalışmalardan bahsedilecektir.

Fotometrik stereo basit bir tanımla nesnelere ait yüzey normallerinin belirlenen farklı ışık şartları altında yeniden oluşturularak elde edilmesi şeklinde tanımlayabiliriz ve bu konu hakkında birçok çalışma yapılmıştır [38 – 41].



Şekil 3.1. Fotometrik stereo geometrisi



Şekil 3.2. Fotometrik yaklaşım



Şekil 3.3. Örnek fotometrik görüntü

Fotometrik stereoda ideal görüntü ve üç boyutlu yapıyı daha uygun biçimde elde etmek ve yüzey eğilimini doğru tahmin edebilmek için gönderilecek ışık kaynakları bir biri ile uyumlu bir şekilde dağılım göstermelidir (Şekil 3.2, Şekil 3.3).

Yüzey eğilimleri görüntüye ait yüzey noktalarının iki boyutlu olarak ilk türevlerinin hesaplanması ile elde edilmektedir.

GŞEE yaklaşımlarında fotometrik stereo kullanılmasıdaki amaç kötü konumlanmış problem olan bu yaklaşımın çözümünü daha kolay hale getirilir olmasını sağlamaktır. Bu kolaylığı aynı görüntü üzerine farklı aydınlanma doğrultusundan gelen ışık sayesinde oluşturduğu birden çok görüntünün kullanılması sayesinde sağlanmaktadır.

Bunların yanından fotometrik stereo kullanmanın birçok avantajı da bulunmaktadır.

- Fotometrik stereo yüzey eğimlerinin yanında albedoyu da iyileştirmektedir.
- Tek görüntülü GŞEE yaklaşımının aksine fotometrik stereoda yüzey düzlüğü varsayımına gerek yoktur.

- Sadece ışık doğrultusu gerekmektedir bu sayede hesaplama maliyeti de azalmaktadır.
- Her görüntüden kendi yansıma haritası oluşturulmaktadır. Böylece her görüntüye ait tek yüzey eğimleri oluşmaktadır.

Şekil elde etme yaklaşımında fotometrik stereo uygulamasında GŞEE yaklaşımlarındaki temel terimler ve eşitlikler kullanılmaktadır. Bu yaklaşımda temel olarak ışık kaynağının yüzeye paralel bir ve sabit x düzlemi üzerindeki konum değişim sayesinde elde edilen görüntülerin kullanılması ile sonuca gidilmesi hedeflenmektedir.

Bu yaklaşımda Lambert yüzeyi matris formatında düşünülerek her görüntü için derinlik haritası Eş. 3.1'deki gibi sunulmaktadır.

$$I_i(x, y) = \rho(L_i N) \quad (3.1)$$

$I_i(x, y)$ eşitlikteki her $x - y$ noktasındaki renk yoğunluğunu temsil etmektedir. Aşağıdaki eşitlikte ise her $x - y$ noktasına karşılık gelen $S(x, y)$ yüzeyine doğru gelen birim yüzey normalindeki birim vektörüne ait eşitliği temsil etmektedir.

$$N = \frac{(p, q, -1)^T}{\sqrt{p^2 + q^2 + 1}} = \left(\frac{-p}{\sqrt{p^2 + q^2 + 1}}, \frac{-q}{\sqrt{p^2 + q^2 + 1}}, \frac{1}{\sqrt{p^2 + q^2 + 1}} \right)^T \quad (3.2)$$

Eş. 3.2 eşitliğinde kullanılan $p - q$ değişkenleri sırası ile aşağıda tanımlanmışlardır ve $x - y$ düzlemine göre sırasıyla kısmi türevleri tanımlamaktadır.

$$p = \frac{\partial Z(x, y)}{\partial x} \quad (3.3)$$

$$q = \frac{\partial Z(x, y)}{\partial y} \quad (3.4)$$

Eş. 3.5 eşitliği her I görüntüsü için ışık kaynağından yüzeye doğru gelen birim aydınlanma vektörünün matris formunu temsil etmektedir. ρ ise her x – y noktasına ait albedoyu temsil etmektedir.

$$L_i = [I_{xi}, I_{yi}, I_{zi}]^T \quad (3.5)$$

Bu temel girişten sonra üç görüntüye ait aydınlanma vektörünü L_1, L_2, L_3 şekli den sırası ile tanımlarsak eşitlik Eş. 3.6'daki eşitlik haline gelmektedir.

$$I = \rho \cdot L \cdot N \quad (3.6)$$

Eş. 3.6 eşitliğindeki I ve L sırası ile Eş. 3.7 ve Eş. 3.8 eşitliklerini temsil etmektedir

$$I = [i_1, i_2, i_3]^T \quad (3.7)$$

$$L = [L_1, L_2, L_3]^T \quad (3.8)$$

Eş. 3.7'deki I ifadesi görüntülere ait yoğunluk vektörünü, L ise her ışık kaynağından gelen ve ışık yoğunlunu da içeren fotometrik aydınlanma matrisini temsil etmektedir.

Fotometrik aydınlanma vektörünün tekil olmadığı ve matrisin tersinin de L^{-1} var olduğu düşünülerek aşağıdaki eşitlik oluşturulabilir.

$$M = L^{-1} I \quad \rho N \quad (3.9)$$

Ki Eş. 3.9 eşitliğindeki M değişkeni Eş. 3.10'daki şekilde sunulabilir.

$$M = [m_1, m_2, m_3]^T \quad (3.10)$$

Eş. 3.10'da kullanarak üç görüntülü fotometrik stereo şekil elde etme algoritması aşağıda şekilde oluşturulabilir.

- Yüzeydeki her $x - y$ noktası için, görüntüye ait I yoğunluk matrisi farklı aydınlanma vektörü L için oluşturulur.
- $M = [m_1, m_2, m_3]^T$ matrisi I ve L^{-1} matrisleri kullanılarak elde edilir.
- Yüzeye ait gradyanlar aşağıdaki eşitlikler yoluyla hesaplanır.

$$p = -\frac{m_1}{m_3} \quad (3.11)$$

$$q = -\frac{m_2}{m_3} \quad (3.12)$$

- Son olarak ta albedo Eş. 3.13 yoluyla hesaplanır.

$$\rho = \frac{1}{\sqrt{m_1^2 + m_2^2 + m_3^2}} \quad (3.13)$$

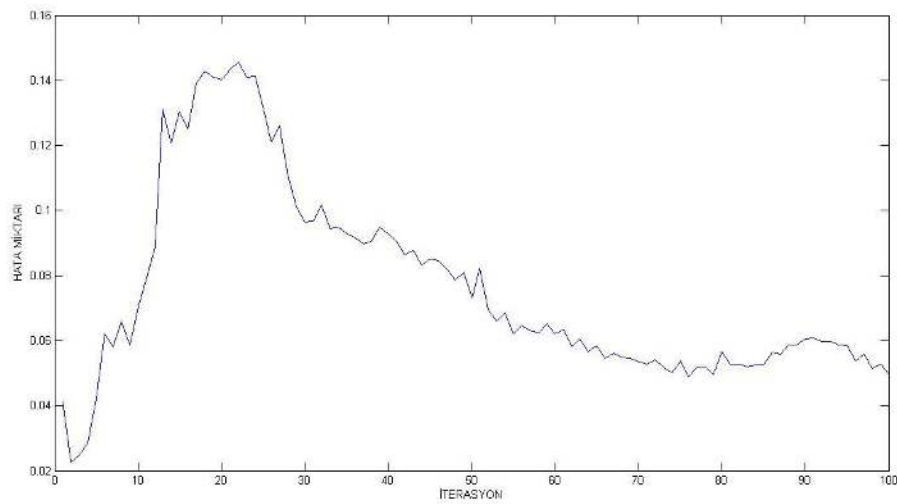
Son olarak ta derinlik haritası görüntü matrisi boyunca aşağıdaki denklem vasıtası ile iteratif bir biçimde oluşturulur.

$$Z(x, y) = Z(x-1, y) + Z(x, y-1) + \left(\frac{\partial x}{\partial Z} + \frac{\partial y}{\partial Z} \right) / 2 \quad (3.14)$$

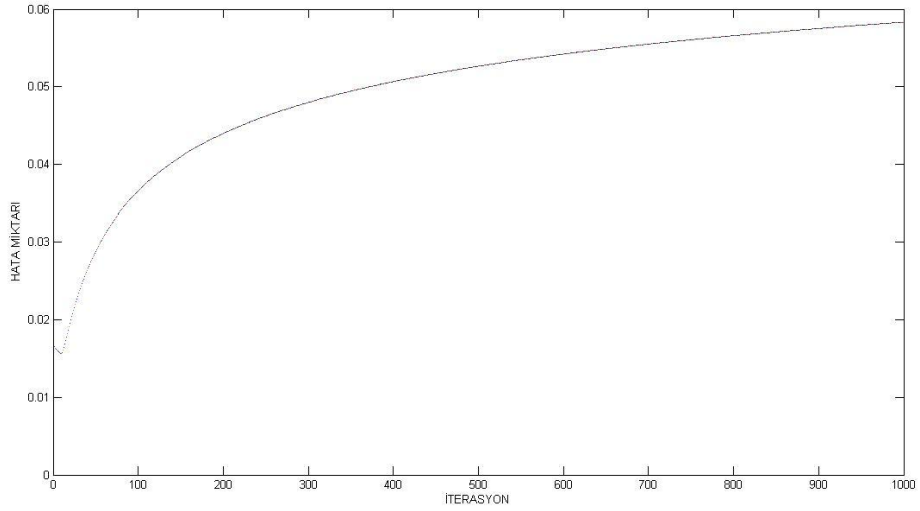
4. GÖLGEDEN ŞEKİL ELDE ETME VE FOTOMETRİK STERONUN BİRLEŞTİRİLMESİ

Üç boyutlu şekillerin yeniden yapılandırılması ve iyileştirilmesi alanında yapılan çalışmalar ne kadar iyi sonuçlar verseler de birbirlerine göre zayıf ve üstün yanları olmasından dolayı tek başlarına çok iyi bir sonuç elde etmek zordur. Bu nedenle bilim adamları temel olarak yapılan gölgeden, fotometrik stereodan, hareket ve desenden elde edilen derinlik bilgilerinin birleştirilmesi konusunda çalışmalarda bulunmuşlardır.

Çalışmalarda kullanılacak olan GŞEE yöntemlerini en iyi iterasyon sayısında kullanımı ile yeniden yapılandırılacak yüzeyin daha iyi sonuç vermesi amacı ile Horn metodunu 100 iterasyona ve Tsai&Shah metodunu ise 1000 iterasyona kadar çalıştırılmıştır. Sonuç olarak Horn metodu en iyi sonucu 2. iterasyonda Tsai&Shah metodu ise en iyi 10. iterasyonda vermektedirler. Bu nedenle çalışmalarda en iyi sonucu elde etmek için bu iterasyon miktarları kullanılmıştır.



Şekil 4.1. Horn yöntemi ile GŞEE hata – iterasyon grafiği



Şekil 4.2. Tsai&Shah yöntemi ile GŞEE hata – iterasyon grafiği

Sakarya ve Erkmen tarafından gerçekleştirilen yöntem sadece fotometrik stereo değil döngüsel bir biçimde GŞEE yöntemini kullanarak derinlik bilgisini iyileştirmiştir. Uygulamalarındaki temel amaç iki yöntemi de birleştirerek her iki yönteminde güçlü olduğu noktalarda uygun yöntemin sonucunun kullanılması ve daha iyi yeniden yapılandırılmış derinlik bilgisinin elde edilmesidir. Uygulamanın temel çalışma prensibi ise fotometrik stereo GŞEE yönteminin kullanacağı ilk derinlik bilgisini ve albedoyu hesaplamaktadır daha sonra fotometrik stereoda kullanılan görüntüler sırası ile albedo bilgisini de ve fotometrik stereodan gelen görüntü bilgisini de kullanarak yeni bir derinlik bilgisi oluşturmaktadır.

Uygulama adımları ise şöyle anlatılabilir. N görüntülü bir sistem için verilen her görüntü I_k ile ve her yeni hesaplanan derinlik bilgisi Z_k olarak gösterilirse

$$Z_k = Z_{k-1} * W_{ps} + TS_k * W_{sfs} \quad (4.1)$$

Eş. 4.1'deki TS_k gölgeden şekil elde etme yaklaşımı ile I_k görüntüsünden elde edilen derinliği temsil etmektedir. W_{ps} ve W_{sfs} ise aşağıdaki aralıklarda tanımlı ve eşitlikleri sağlayan değerlerdir.

$$0 \leq W_{ps} \leq 1 \quad (4.2)$$

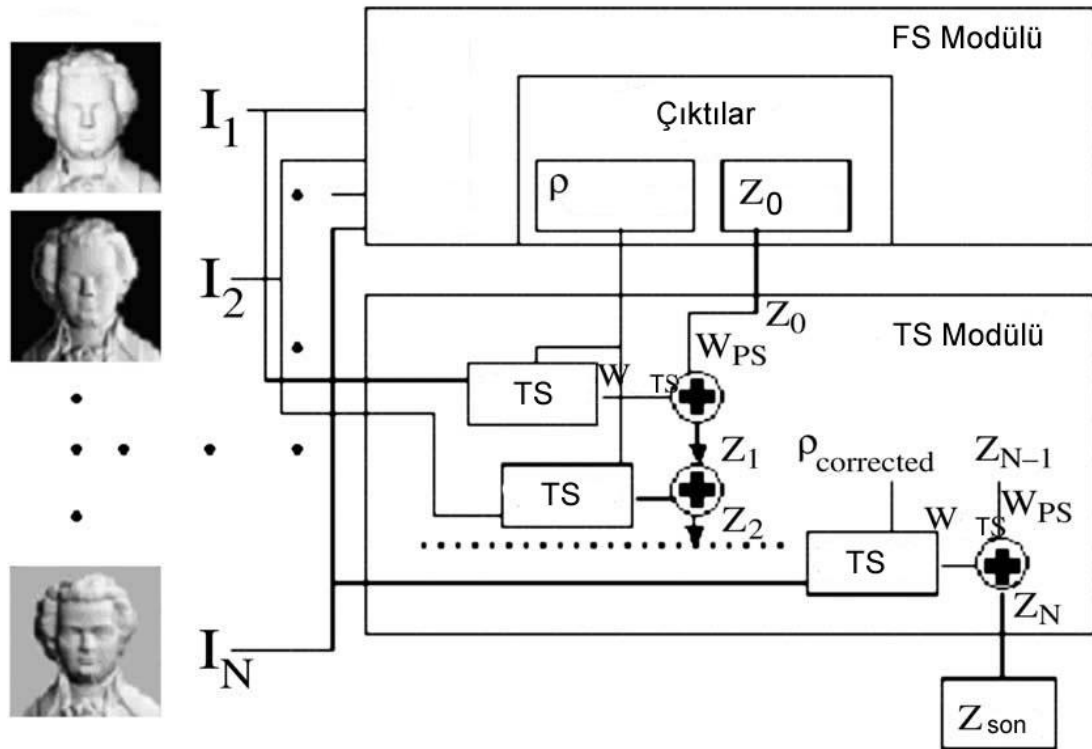
$$0 \leq W_{sfs} \leq 1 \quad (4.3)$$

$$W_{sfs} + W_{ps} = 1 \quad (4.4)$$

$k = 1$ değeri için eşitlik aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir. Eşitlikteki Z_0 değeri fotometrik stereodan gelen başlangıç derinlik değeridir.

$$Z_1 = Z_0 * W_{ps} + TS_1 * W_{sfs} \quad (4.5)$$

Sakarya ve Erkmen yaptıkları deneysel çalışmalar sonucu sonucun başarısını çok fazla etkileyen W_{ps} ve W_{sfs} değerleri için aşağıdaki eşitliğin en başarılı sonucu elde ettiğini söylemektedirler. Yapılan çalışmaya ait temel yapı Şekil 4.3'te sunulmuştur.



Şekil 4.3. Sakarya ve Erkmen'e ait yöntemin genel yapısı

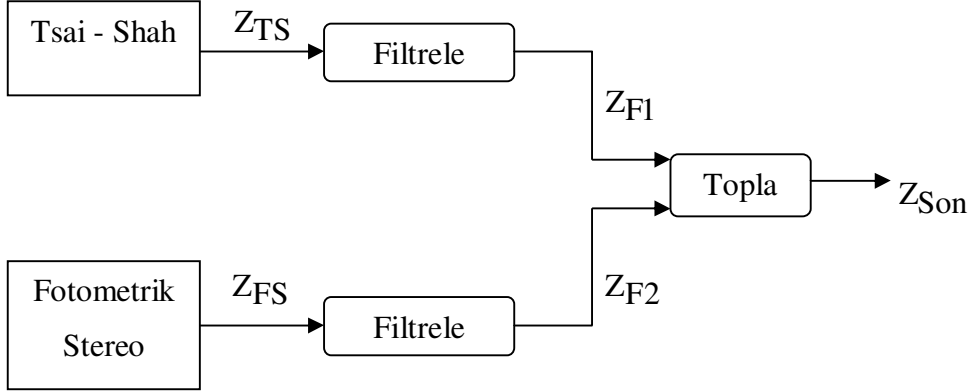
Çalışmalar boyunca GŞEE ve fotometrik stereodan bahsedilmiş ve deneysel çalışmalar bölümünde ayrı ayrı bu çalışmalar incelenmiştir. Bunun yanında her iki yöntemin uyarlanır biçimde birleştirilmesi üzerine çalışmalar yapılmış yine çalışma sonuçları deneysel çalışmalar bölümünde incelenmiştir. Son olarak tüm yöntemlere ait hata miktarları karelerin farkı ve genel ortalama yöntemleri ile incelenmiş ve tablo halinde sunulmuştur.

Yukarıda bahsedilen yöntemlerin birleştirilmesi için genel ortalama yöntemi, Sakarya ve Erkmen'e ait yöntem ve geliştirilen yöntem uygulanmıştır. Bu yöntemler aşağıda ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

4.1. Ortalama Yöntemi ile Birleştirme

Bu yöntem birleştirme yöntemlerinden en basiti olarak sınıflandırılabilir. GŞEE yöntemi bilindiği üzere elde edilen derinlik bilgisi görüntüye ait burun, göz ve ağız gibi detay bilgilerini içermektedir, benzer biçimde fotometrik stereoda ise şekle ait kaba bir yapıyı diğer yöntemle göre daha iyi sunmakta fakat detay bilgilerinde başarılı olamamaktadır. Bu nedenle GŞEE yöntemine yüksek geçiren bir filtre ve fotometrik stereo yönteminde de alçak geçiren bir filtre uygulanarak elde edilen derinlik bilgileri toplanmış ve ortalamaları alınarak bir yöntem geliştirilmiştir. Cryer, Tsai ve Shah tarafından yapılan çalışmaya benzer biçimde bir çalışma uygulanmıştır.

Çalışma teknik olarak Şekil 4.4'teki gibi ifade edilebilir.



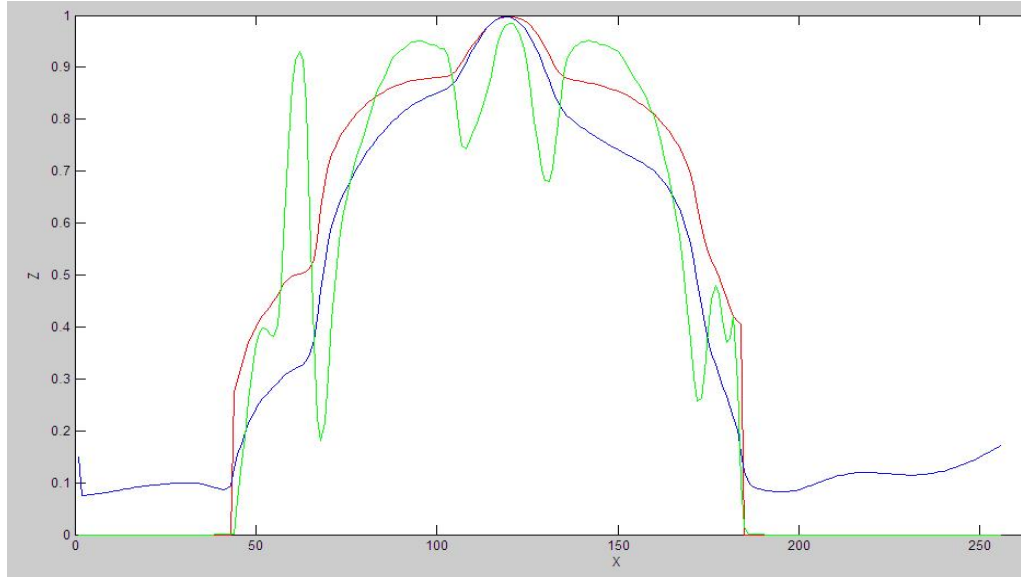
Şekil 4.4. Ortalama yöntemine ait genel yapı

4.2. Sınır Değeri Kullanarak Birleştirme

Uygulanan yöntem temel olarak Tsai-Shah GŞEE yöntemi ve temel fotometrik stereo yönteminin birleştirilmesi ile daha iyi bir üç boyutlu şeklin yeniden yapılandırılmasını amaçlamaktadır. Bu amaçla öncelikli olarak GŞEE ve fotometrik stereo yöntemleri ile ayrı derinlik haritaları elde edilmiştir. GŞEE elde edilirken fotometrik stereodan elde edilen albedo bilgisi kullanılarak GŞEE yöntemine girdi olarak verilen görüntü iyileştirilerek daha iyi bir sonuç elde edilmeye çalışılmıştır.

Yapılan çalışmalar boyunca genel olarak fotometrik stereodan elde edilen derinlik bilgisinin GŞEE yöntemi ile elde edilen bilgiye göre daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Bu gerçekten yola çıkarak iki derinlik bilgisi her nokta için Şekil 4.3'te görüldüğü üzere ayrı ayrı karşılaştırılmış eğer fotometrik stereo derinlik bilgisi daha yüksekse doğrudan bu değer alınmış değilse ve fotometrik stereo ile GŞEE bilgileri arasındaki fark belirli bir değerden büyükse fotometrik stereo bilgisinin %70'i GŞEE bilgisinin %30'u alınmakta diğer durum için ise doğrudan GŞEE derinlik bilgisi alınmaktadır. Son adımda ise elde edilen derinlik bilgisi Gauss filtresi ile filtrelenerek sonuç derinliğe ulaşılmaktadır.

Derinlikler arasındaki fark bilgisi deneysel olarak Mozart görüntüleri ve normalleştirilmiş derinlik bilgileri için 0.1 olarak belirlenmiştir. Genel yapı ve sözde kodlar aşağıda bulunmaktadır.



Şekil 4.5. $x=140$ noktasından alınan derinlik bilgileri

Kırmızı : Gerçek derinlik bilgisi Mavi : Fotometrik Stereo derinlik bilgisi

Yeşil : Tsai – Shah metodundan elde edilen derinlik bilgisi

Uygulanan yönteme ait sözde kod algoritması;

for i =1to x boyutu

for j=1 to y boyutu

begin

if $Z_{FS}(i, j) > Z_{TS}(i, j)$ then

$Z_{SON1}(i, j) = Z_{FS}(i, j)$

else

begin

if $Z_{TS}(i, j) - Z_{FS}(i, j) > 0.1$ then

$Z_{SON1}(i, j) = Z_{FS}(i, j) * 0.3 + Z_{TS}(i, j) * 0.7$

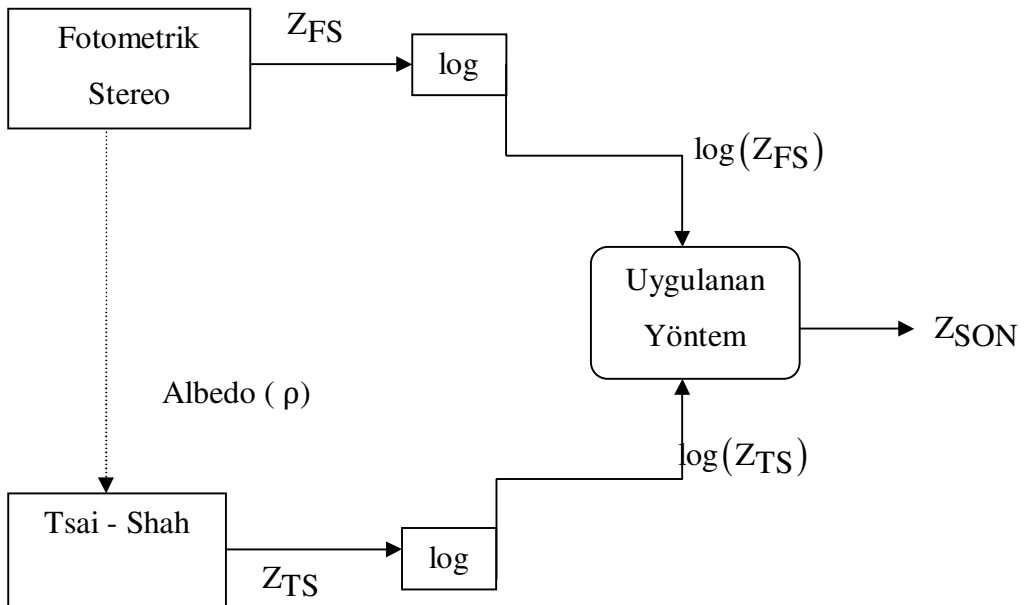
else

$Z_{SON1}(i, j) = Z_{TS}(i, j)$

end

end

$Z_{SON} = \text{Filtrele}(Z_{SON1})$



Şekil 4.6. Birinci uygulamaya ait yöntemin genel yapısı

4.3. Oranlama ile Birleştirme

Bu yöntem ise yine Tsai – Shah ve fotometrik stereo yöntemlerinin birleştirilmesine dayanmakta ve daha az işlem adımı ile süreci tamamlamaktadır. Basit bir biçimde süreç alınan derinlik bilgilerini 0 – 1 aralığında normalleştirilmesi daha sonra maksimum değer yani 1 ile toplanmaları son adımda ise her bir piksel için fotometrik stereoya ait derinlik değerinin %80 ve GŞEE'ye ait derinlik değerinin %20'sini alınması ve sonuçların toplanması şekliden çalışmaktadır.

Uygulanan yönteme ait sözde kod algoritması;

for i =1 to x boyutu

for j=1 to y boyutu

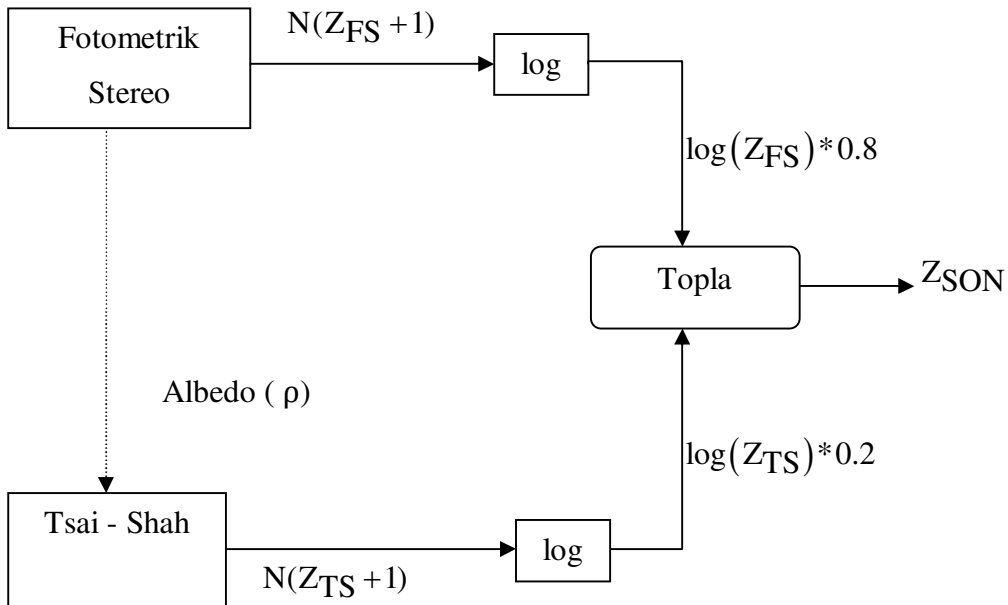
begin

$$Z_{TS1}(i, j) = \log(N(Z_{TS}(i, j)) + 1)$$

$$Z_{FS1}(i, j) = \log(N(Z_{FS}(i, j)) + 1)$$

$$Z_{SON}(i, j) = N(Z_{TS1}(i, j)) * 0.2 + N(Z_{FS1}(i, j)) * 0.8$$

end



Şekil 4.7. İkinci uygulamaya ait yöntemin genel yapısı

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Tez çalışması sürecinde birçok GŞEE ve fotometrik stereo algoritması üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Bu bölümde öncelikli olarak GŞEE algoritmaları ile yapılan deneysel sonuçlar ve sonuçlara ait yorumlar bulunmaktadır daha sonra fotometrik stereodan şekil elde etme algoritması ile yapılan deneysel çalışmalar ve son olarak ta geliştirilmiş yeni model şekil elde etme yaklaşımı için deneysel sonuçlar ayrıntılı bir biçimde sunulmaktadır.

5.1. Gölgeden Şekil Elde Etme Çalışmaları

GŞEE yaklaşımları genel olarak 4 kısma ayrılmakla beraber çalışmalarda genellikle lineer ve minimizasyon yaklaşımları kullanılmaktadır. Tez çalışmasında ise bu iki yaklaşımdan Horn ve Francot – Challeppa’ya ait minimizasyon yaklaşımlarıyla Tsai-Shah’a ait lineer yaklaşım üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Çalışmalarda sentetik Mozart, Beethoven ve küre görüntüleri üzerinde uygulamalar gerçekleştirilmiştir

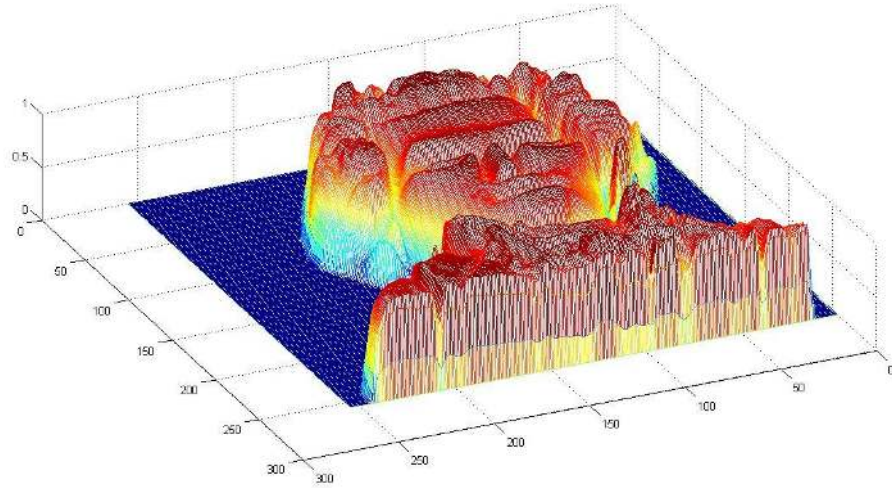
5.1.1. Tsai Shah metodu ile ilgili yapılmış çalışmalar

Bu bölümde Tsai-Shah tarafından geliştirilmiş olan gölgeden şekil elde etme algoritması ve ilgili birçok deneysel sonuç yorumları ile beraber sunulmaktadır.

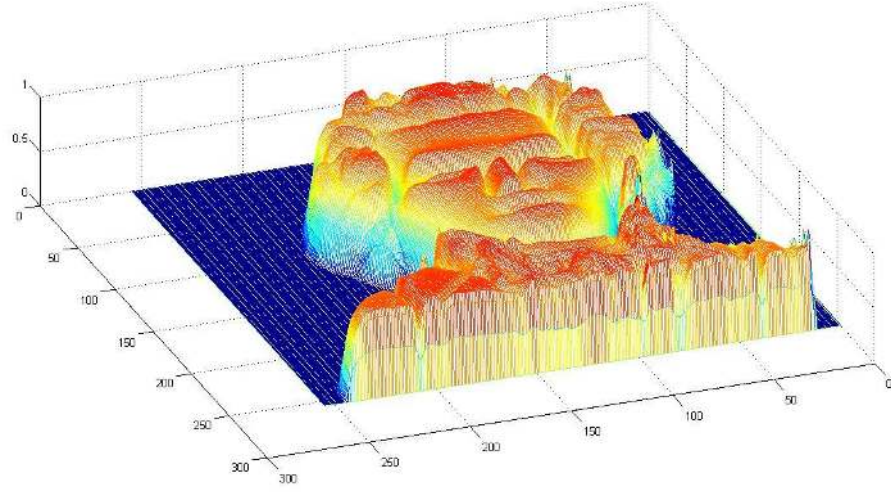
Metotla ilgili olarak 256 x 256 boyutundaki Mozart görüntüsüne doğru ışık kaynağı noktalarından gelen ışık bilgisi ve 10,1000 ve 1000 iterasyon ile yapılmış deneysel sonuçları Şekil 5.1, 5.2, 5.3 ve 5.4’te sunulmuştur.



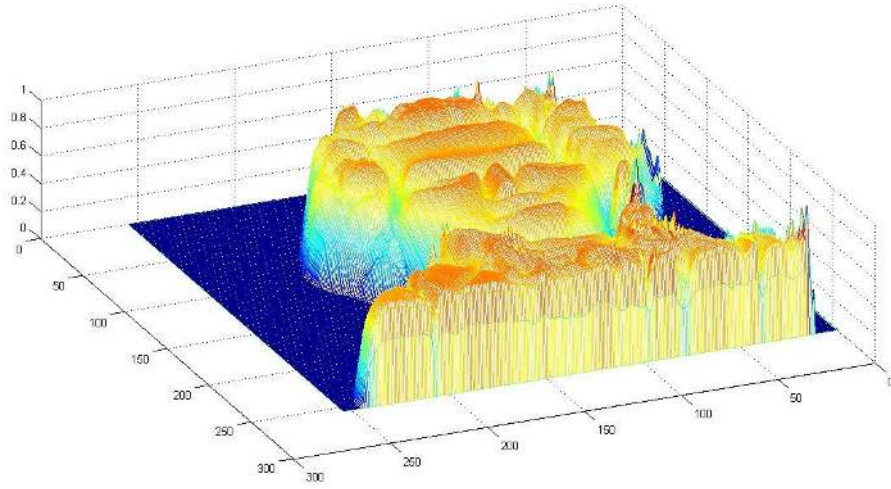
Şekil 5.1. Mozart görüntüsü ($p_s = 0, q_s = 0,314$)



Şekil 5.2. Tsai – Shah metodu ile 10 iterasyon sonucu elde edilen şekil



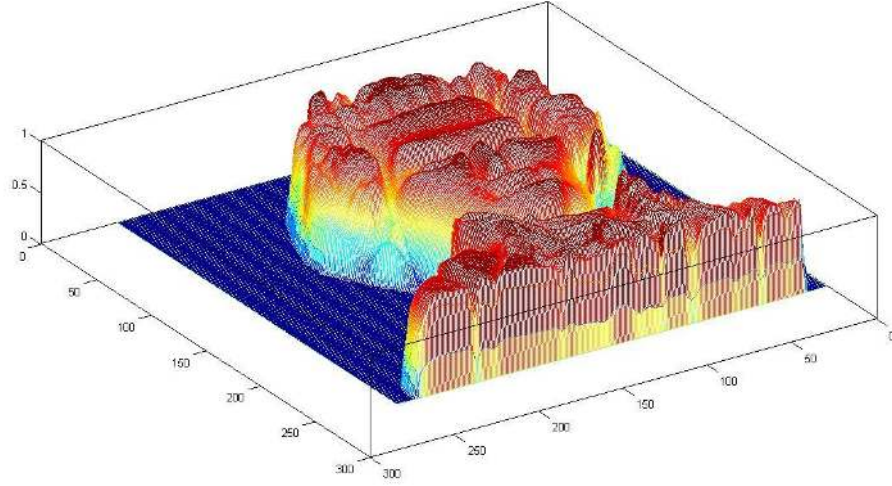
Şekil 5.3. Tsai – Shah metodu ile 100 iterasyon sonucu elde edilen şekil



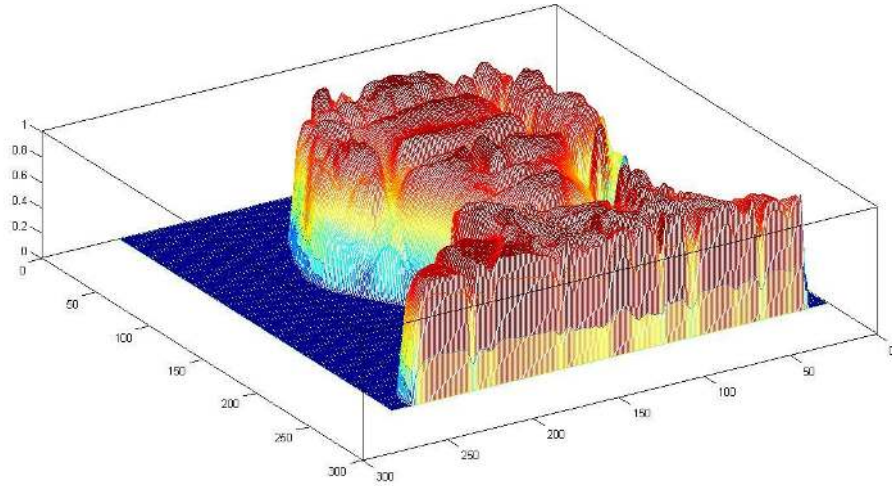
Şekil 5.4. Tsai – Shah metodu ile 1000 iterasyon sonucu elde edilen şekil

Şekil 5.2, 5.3 ve 5.4'e dikkat edilirse iterasyon sonuçlarına göre elde edilen görüntü her iterasyon da yüze ait alın gibi önemli bazı noktalardaki keskinliklerin daha da yumuşadığı ve ideal sonuca yaklaştığı görülmektedir.

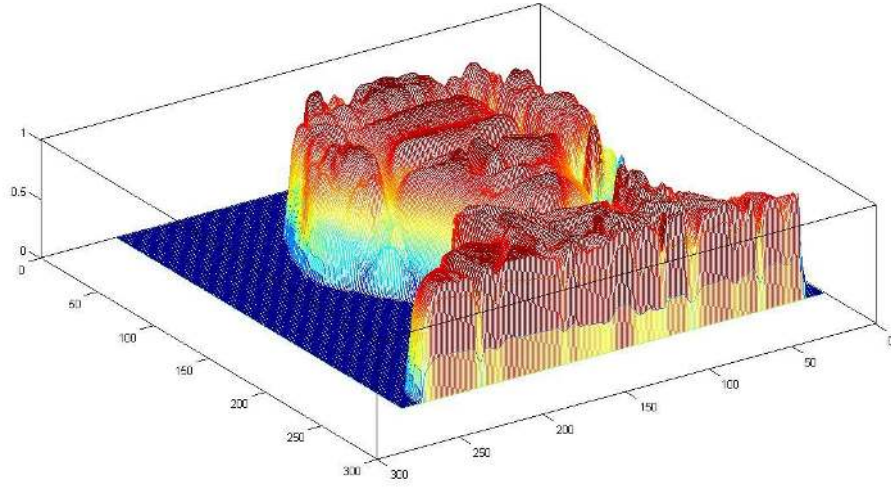
Daha sonra aynı görüntüye ait 10 iterasyon sonucu ile karşılaştırmak için önce görüntüye 10, 20 ve 50 pencerelik ortanca süzgeci uygulanmış ve sonuçları Şekil 5.5, 5.6, ve 5.7’de ayrıntılı bir biçimde sunulmuştur.



Şekil 5.5. Tsai – Shah metodu ile 10 iterasyon ve 10 x 10 pencerelik ortanca süzgeci sonucu elde edilen şekil



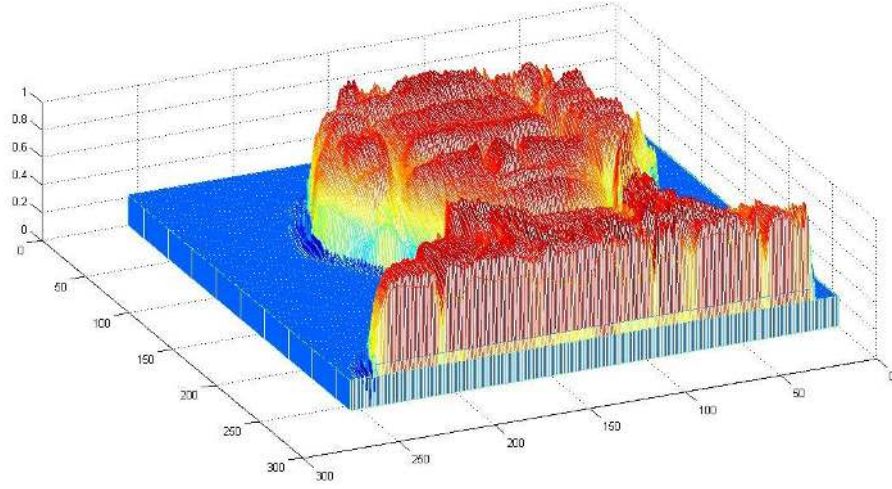
Şekil 5.6. Tsai – Shah metodu ile 10 iterasyon ve 20 x 20 pencerelik ortanca süzgeci sonucu elde edilen şekil



Şekil 5.7. Tsai – Shah metodu ile 10 iterasyon ve 50 x 50 pencerelik ortanca süzgeci sonucu elde edilen şekil

Şekil 5.5, 5.6, ve 5.7 dikkatle incelendiği takdirde filtrelerin şekildeki yanak ve dudak gibi özelliklerin süzgeç boyutu arttıkça daha da yumuşadığı görülmektedir.

Şimdiye kadar ki uygulamalarda görüntüye doğru ışık kaynağından ışıklandırıldığı durumlar üzerinde deneysel sonuçlar yansıtılmıştır. Aşağıdaki şekilde aynı görüntüye yanlış bir ışık kaynağından ışık geldiği durum incelenmiş ve yanlış ışık kaynağının istenen şekli daha kötü bir biçimde oluşturulduğu görülmektedir.

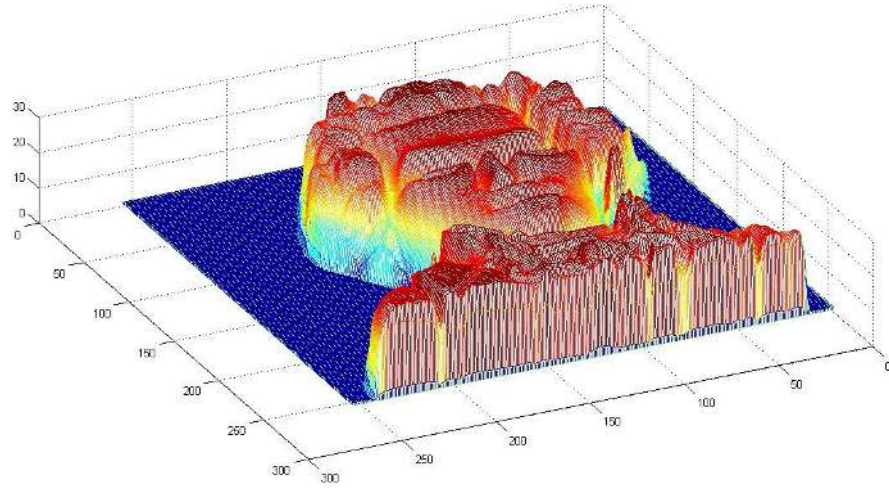


Şekil 5.8. Yanlış ışık kaynağından ışıklandırma yapıldığı durumdaki elde edilen şekil

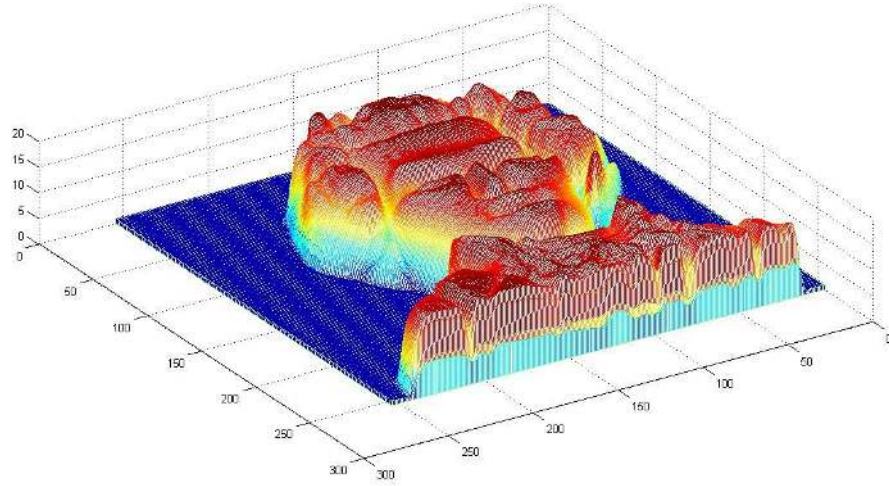
5.1.2. Ikeuchi ve Horn metodu

Bu aşamada yapılan çalışma GŞEE yönteminin atası sayılan Horn'a ait metodun gerçekleştirilmesi hakkında yapılan uygulama deneylerini içermektedir.

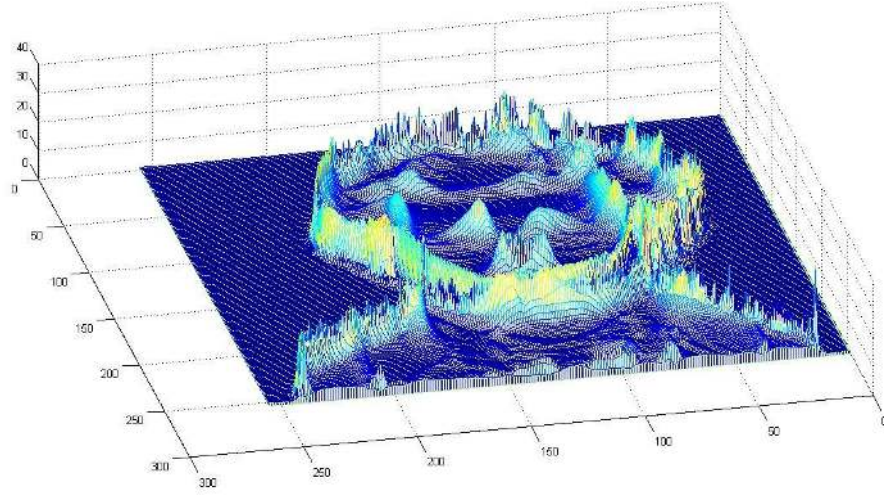
Horn'un metodu şekli bir bütün halinde elde etmekte ve genel görüntüyü ilk iterasyonlarda elde etmektedir. İterasyon sayısı arttıkça elde edilen şeklin yapısı bozulmaktadır.



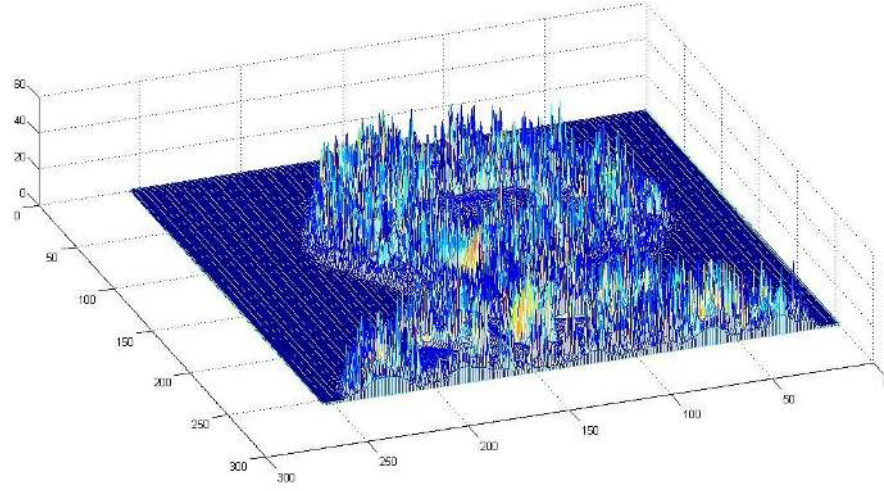
Şekil 5.9. Horn metodu ile elde edilen şekil (1 iterasyon)



Şekil 5.10. Horn metodu ile elde edilen şekil (2 iterasyon)



Şekil 5.11. Horn metodu ile elde edilen şekil (5 iterasyon)



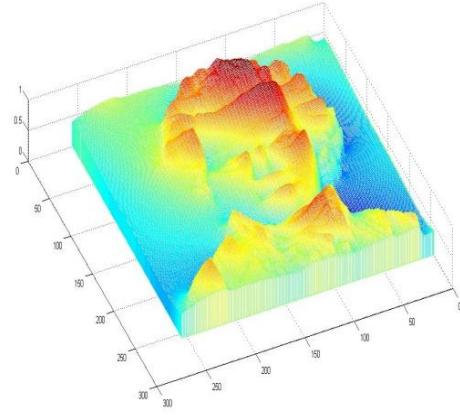
Şekil 5.12. Horn metodu ile elde edilen şekil (10 iterasyon)

5.1.3. Francot ve Challeppa metodu

Francot ve Challeppa'nın gelen ışığı dikkate almadan farklı bir GŞEE yaklaşımı geliştirdikleri önceki bölümlerde bahsedilmişti. Bu bölümde yapmış oldukları çalışmayla ilgili olarak deneysel çalışmalar sunulmaktadır.



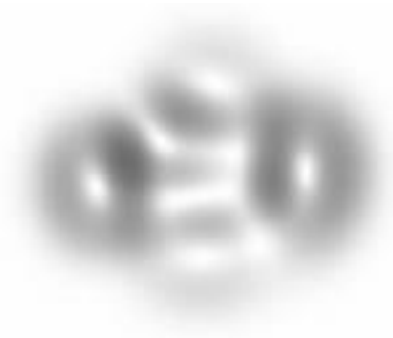
(a)



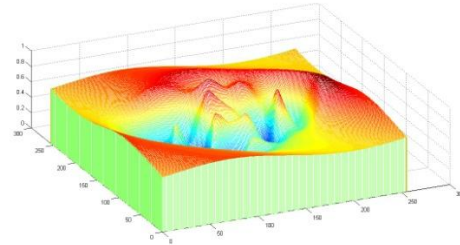
(b)

Şekil 5.13. Mozart görüntüsü ve elde edilen şekil

a) Görüntü b) Elde edilen şekil



(a)



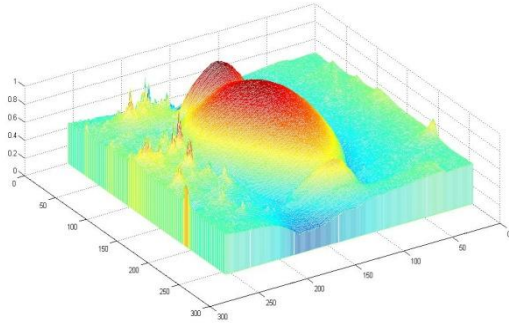
(b)

Şekil 5.14. DEM görüntüsü ve elde edilen şekil

a) Görüntü b) Elde edilen şekil



(a)



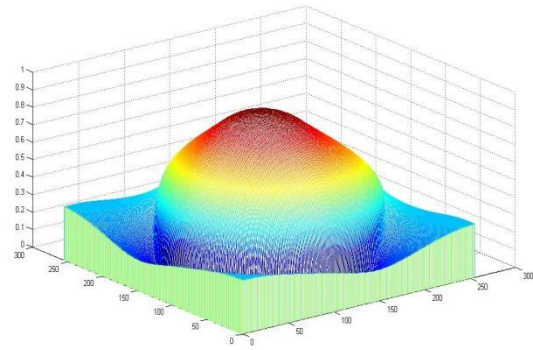
(b)

Şekil 5.15. Vazo görüntüsü ve elde edilen şekil

a) Görüntü b) Elde edilen şekil



(a)



(b)

Şekil 5.16. Küre görüntüsü ve elde edilen şekil

a) Görüntü b) Elde edilen şekil

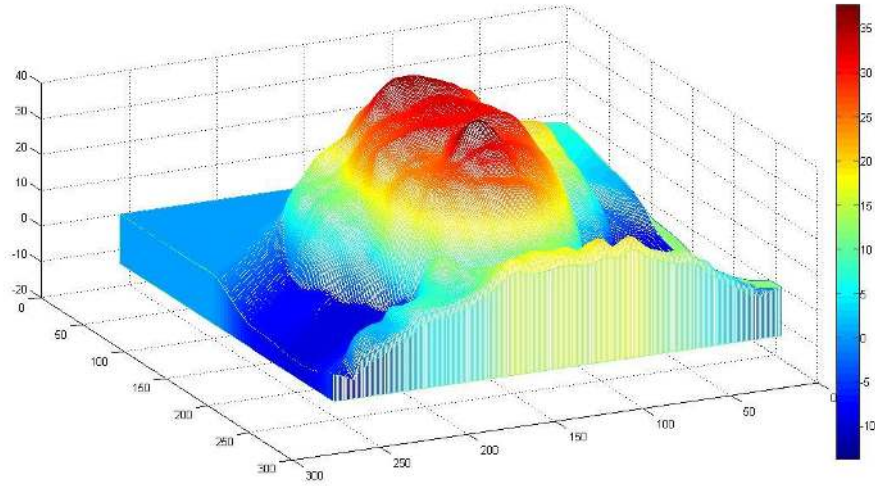
Şekil 5.13, 5.14, 5.15 ve 5.16’da da görülebileceği gibi bu yöntem çoğu görüntülerde iyi sonuç vermemektedir.

5.2. Fotometrik Stereodan Şekil Elde Etme Çalışmaları

Bu bölümde ise eldeki sentetik görüntülere ait stereo görüntüler üzerinde stereo şekil elde etme algoritması uygulanmıştır.



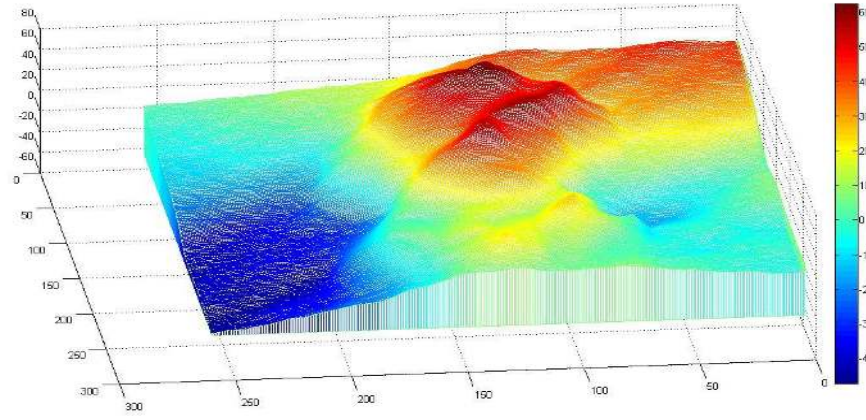
Şekil 5.17. Fotometrik stereo Mozart görüntüleri



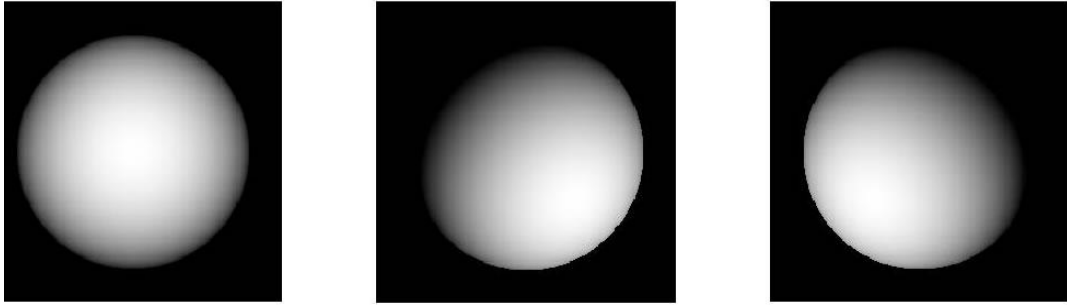
Şekil 5.18. Elde edilen Mozart şekli



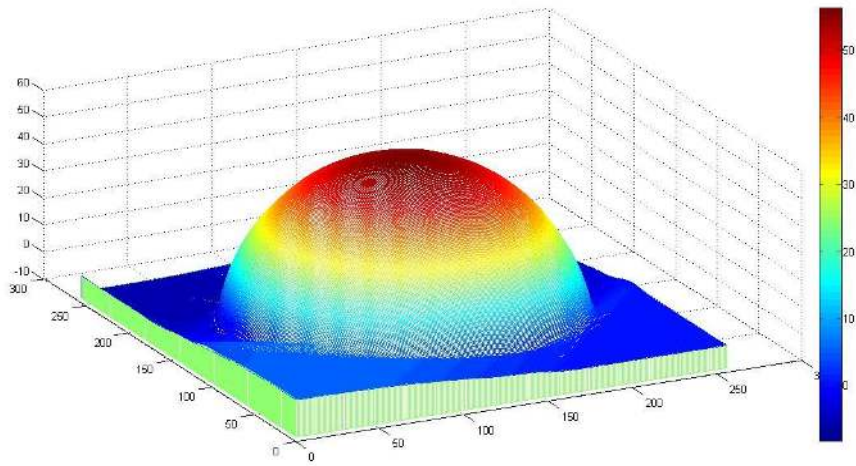
Şekil 5.19. Fotometrik stereo Beethoven görüntüleri



Şekil 5.20. Elde edilen Beethoven şekli



Şekil 5.21. Fotometrik stereo küre görüntüleri



Şekil 5.22. Elde edilen küre şekli

Şekil 5.18, 5.20 ve 5.22'deki deneysel sonuçlardan da anlaşılacağı gibi düzgün ışık kaynağı ve fotometrik stereo görüntüler sisteme girdi olarak verildiği takdirde istenilen sonuçların elde edildiği fakat yanlış ışık kaynağı verildiği takdirde elde edilecek yeni şeklin düzgün olmadığı açık bir biçimde görülmektedir.

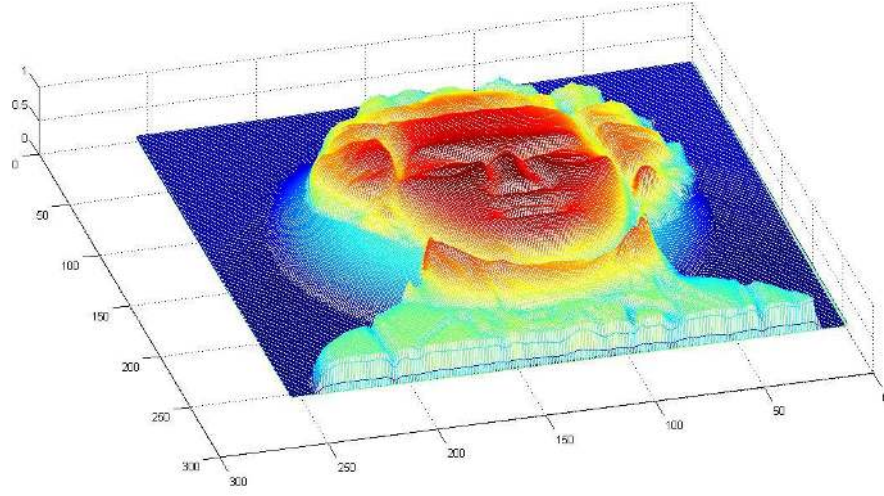
Ayrıca GŞEE algoritmaları ile fotometrik stereo şekil elde etme algoritmaları ile elde edilen sonuçlar arasındaki temel farka dikkat çekmekte fayda vardır, sonuçlar dikkatle incelendiğinde stereo sonuçlarda elde edilen şekil girdi olarak verilen şeklin genel bir yapısını içerirken GŞEE ile elde edilen şekilde alın, burun, yanak, burun ve göz gibi yüze ait ayrıntılarında belirgin biçimde edildiği görülmektedir.

5.3. Ortalama Yöntemi ile Birleştirilmiş Gölgeden Şekil Elde Etme ve Fotometrik Stereodan Şekil Elde Etme Çalışmaları

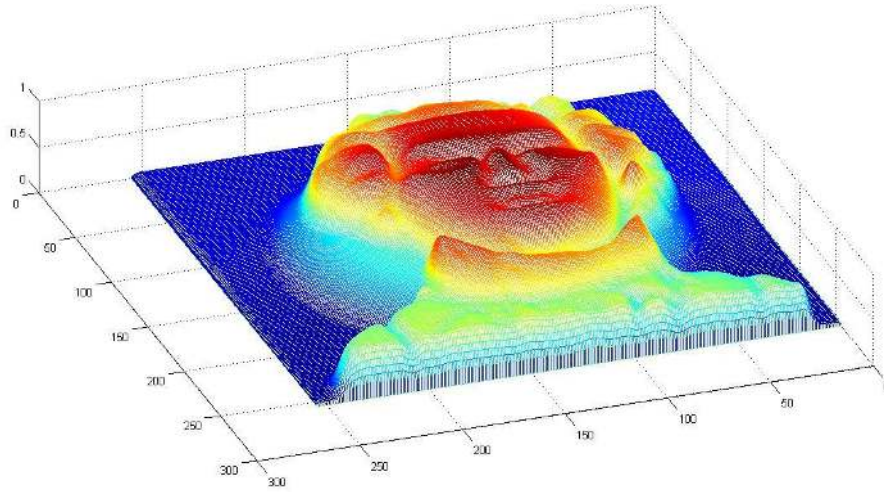
GŞEE ve stereodan şekil elde etme birbirlerine göre avantajları olmasına rağmen her ikisinin de eksikleri bulunmaktadır bu nedenle bu iki yaklaşımı birleştirerek yeni bir deneysel sonuç üretilmiştir.

Birleştirme amaçlı çalışmada 7x7 boyutundaki Gaussian alçak geçiren filtresi ve yüksek geçiren filtreleri sırası ile fotometrik stereo ve GŞEE yaklaşımlarından elde edilen sonuç üzerine uygulanmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

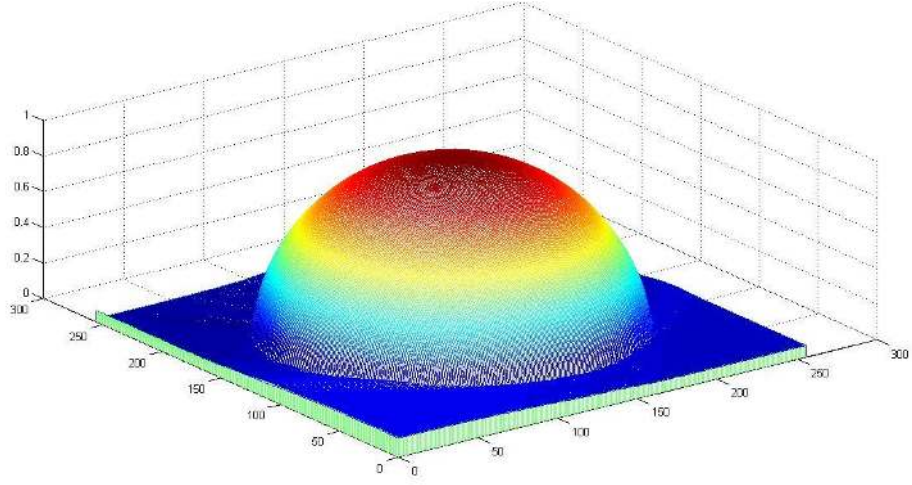
Gauss filtresi uygulanmadan önce elde edilen derinlik bilgileri Tsai – Shah'a ait metotla 10 iterasyon sonucu elde edilen Mozart ve küre görüntülerine ait derinlik bilgisi ve aynı görüntülere ait fotometrik stereo ile elde edilen derinlik bilgileridir.



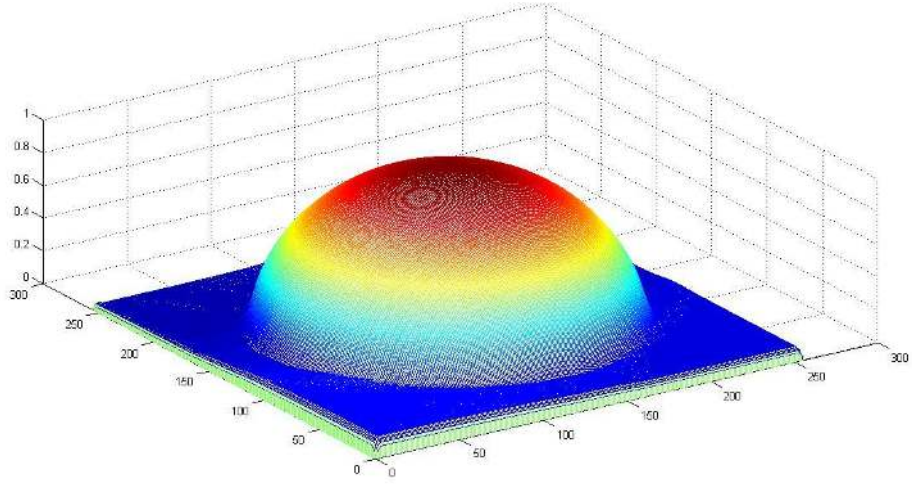
Şekil 5.23. Mozart görüntüsü üzerinde her iki yaklaşıma da filtre uygulanmadan normal toplam işlemini yapılması sonucu elde edilen şekil



Şekil 5.24. Mozart görüntüsü için filtre uygulanmış ve birleştirilmiş şekil sonucu



Şekil 5.25. Mozart görüntüsü üzerinde her iki yaklaşıma da filtre uygulanmadan normal toplam işlemini yapılması sonucu elde edilen şekil



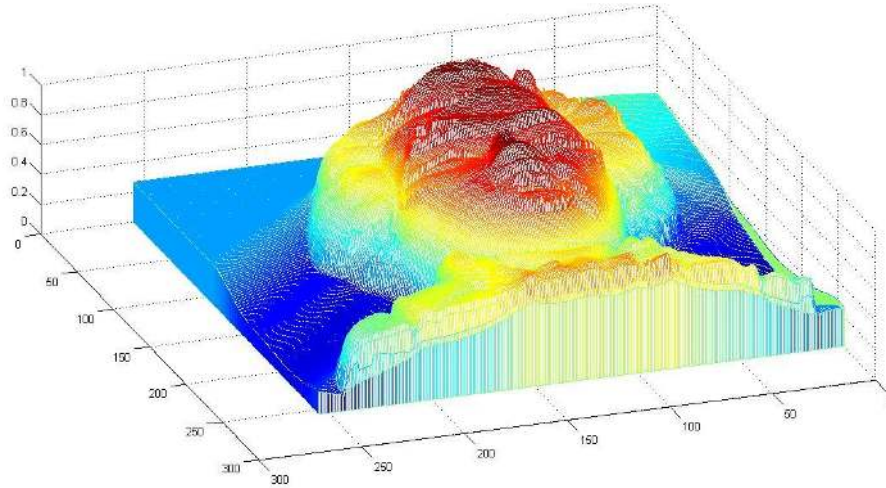
Şekil 5.26. Mozart görüntüsü için filtre uygulanmış ve birleştirilmiş şekil sonucu

Şekil 5.23, 5.24, 5.25 ve 5.26'daki sonuçlar dikkate alındığı takdirde alın burun ve yanakların normal şekil elde etme yaklaşımlarından elde edilen sonuçların toplamı görüntüsünde (Şekil 5.30) daha keskin olmasına rağmen uygulanan Gauss filtreleri sonucu daha düzgün çıktığı görülmektedir.

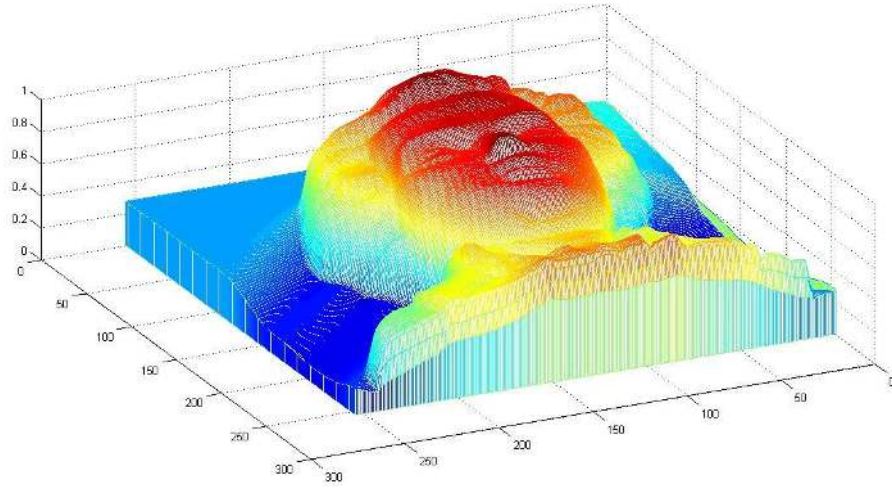
5.4. Uyarlanıır Biçimde Birleştirilmiş Gölgeden Şekil Elde Etme ve Fotometrik Stereodan Şekil Elde Etme Çalışmaları

Bu bölümde GŞEE metodlarından Tsai- Shah'a ait yöntem ve Fotometrik Stereo yaklaşımının adaptif bir biçimde uygulamasına ait örnekler bulunmaktadır. Çalışmada önceki bölümlerde kullanılan Mozart görüntüleri kullanılmıştır.

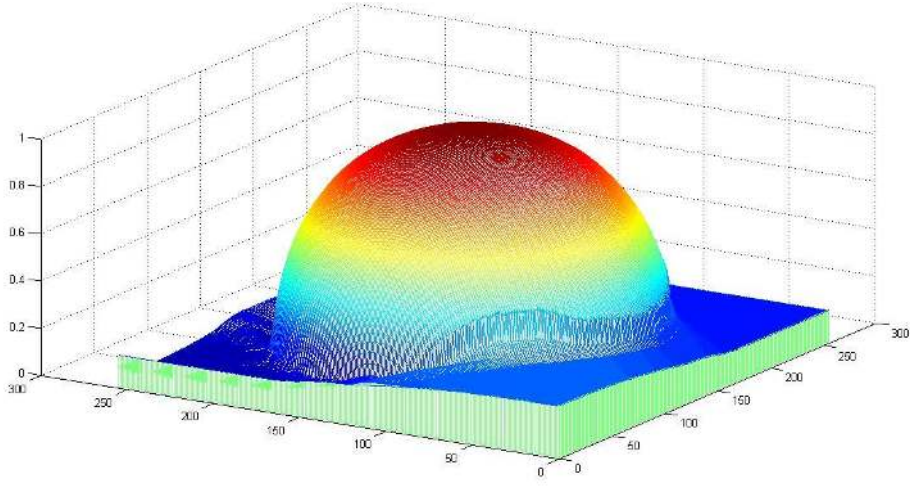
Geliştirilen yöntem uygulanmadan önce elde edilen derinlik bilgileri Tsai – Shah'a ait metotla 10 iterasyon sonucu elde edilen Mozart ve küre görüntülerine ait derinlik bilgisi ve aynı görüntülere ait fotometrik stero ile elde edilen derinlik bilgileridir.



Şekil 5.27. Mozart görüntüleri için 11x11'lik Gauss filtresi kullanılarak geliştirilen birinci yöntemle elde edilen derinlik bilgisi.



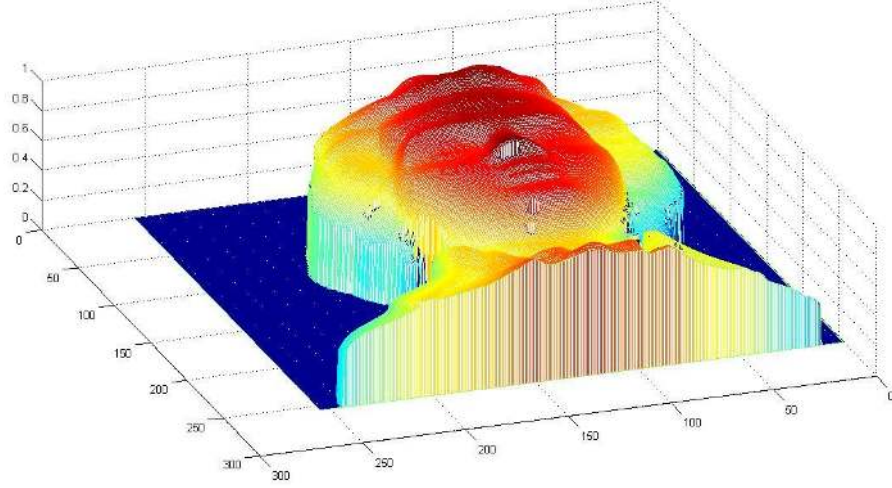
Şekil 5.28. Mozart görüntüleri için geliştirilen ikinci yöntemle elde edilen derinlik bilgisi



Şekil 5.29. Mozart görüntüleri için geliştirilen yöntemle elde edilen derinlik bilgisi

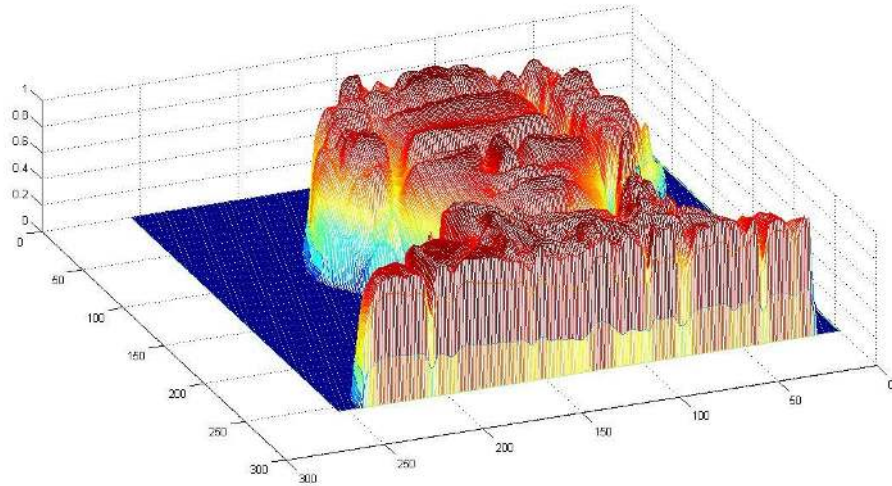
5.5. Testler ve İstatistikler

Geliştirilen yöntemi Tsai – Shah, Horn ve Francot Challeppa'ya ait GŞEE yöntemleri, fotometrik stereo yöntemi, ortalama yöntemi ile birleştirme, Sakarya ve Erkmen'e ait yöntemleri ile karşılaştırmak için Şekil 5.30'da belirtilen gerçek derinlik bilgisi kullanılmıştır.

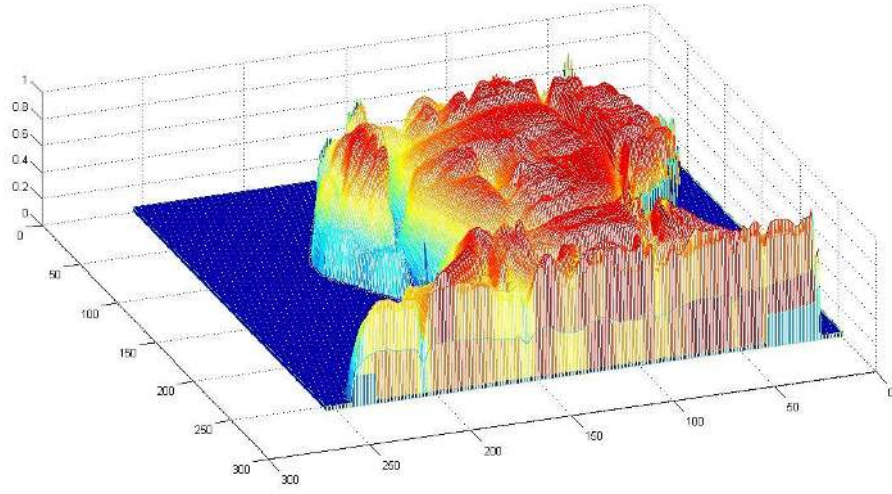


Şekil 5.30. Mozart görüntüsü için gerçek derinlik bilgisi

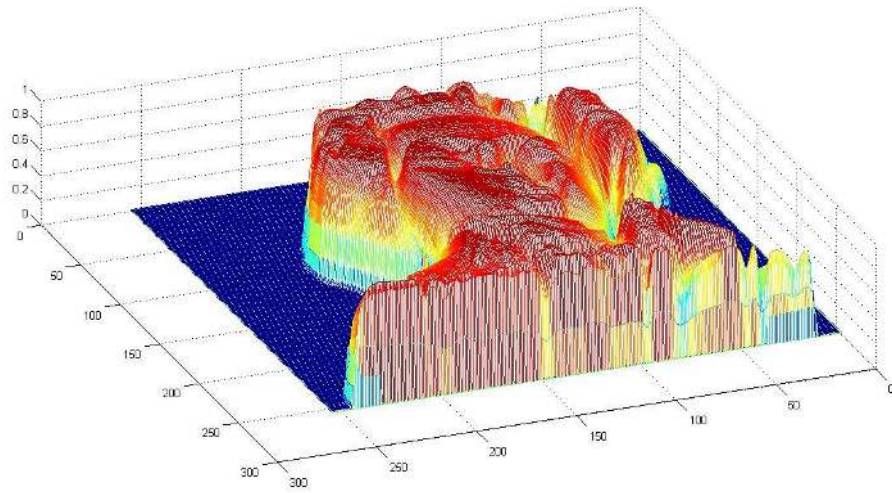
Sakarya ve Erkmen'e ait yöntemde gölgeden şekil elde etme yaklaşımı olarak Tsai – Shah'a ait ve fotometrik stereo yaklaşımı kullanılmıştır. Kullanılan görüntüler ise önceki uygulamalarda kullanılan üç adet Mozart görüntüsüdür.



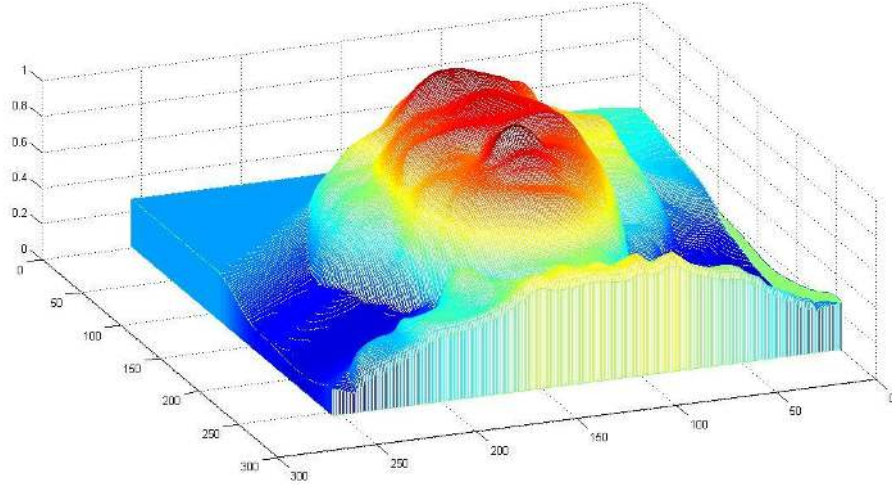
Şekil 5.31. Mozart görüntüsü için Tsai – Shah yöntemi



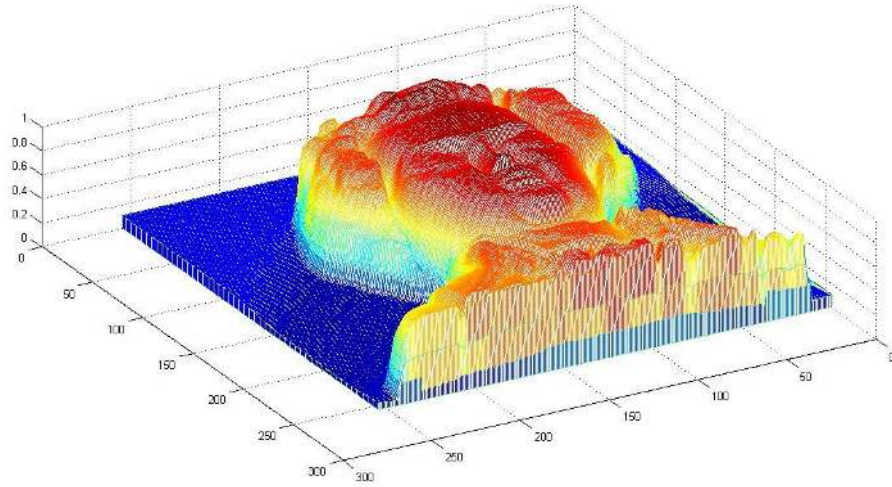
Şekil 5.32. Mozart görüntüsü için Tsai – Shah yöntemi



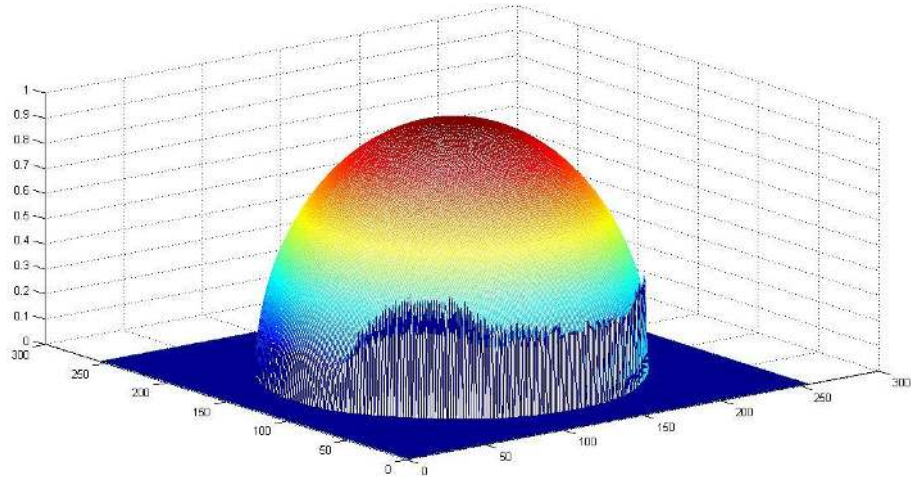
Şekil 5.33. Mozart görüntüsü için Tsai – Shah yöntemi



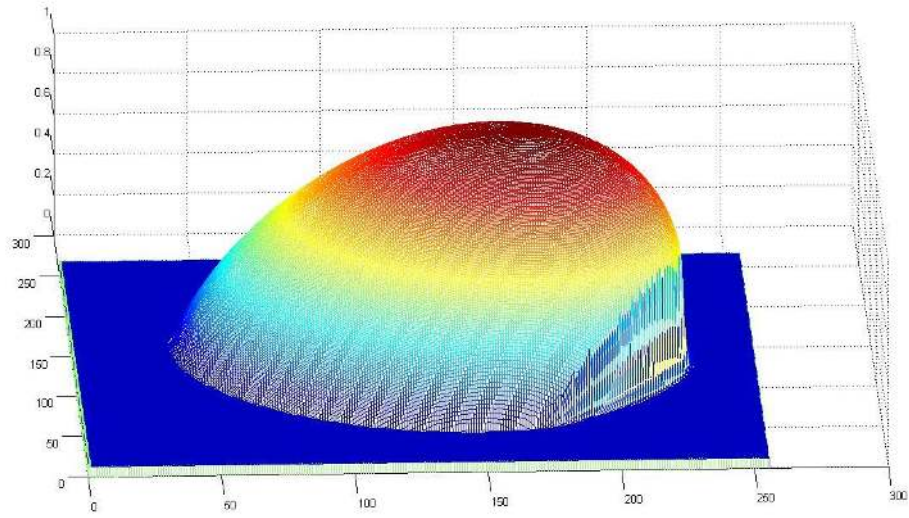
Şekil 5.34. Mozart görüntüleri ile fotometrik stereo sonucu elde edilen derinlik haritası



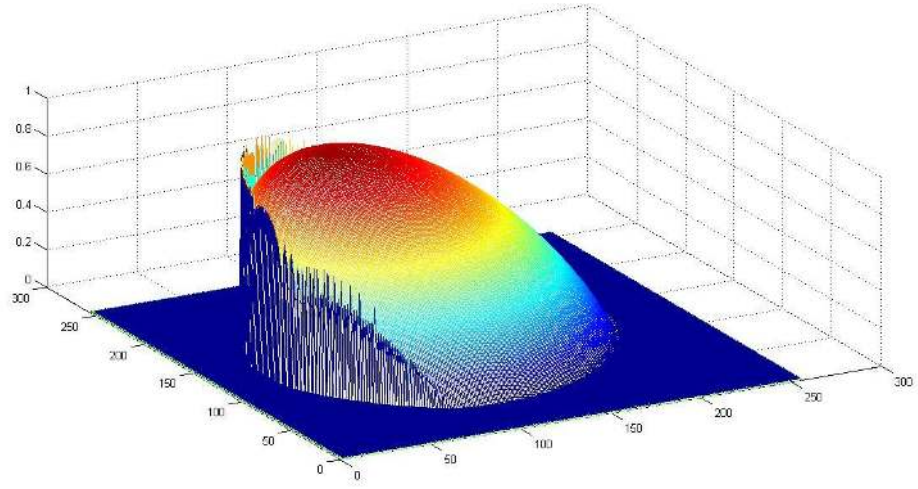
Şekil 5.35. Mozart görüntüler için Sakarya ve Erkmen tarafından geliştirilen yöntem



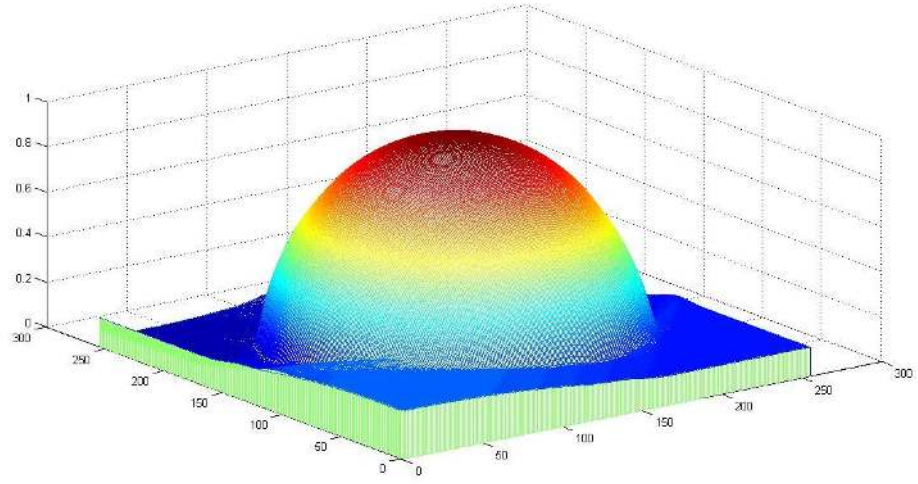
Şekil 5.36. Küre için Tsai – Shah yöntemi



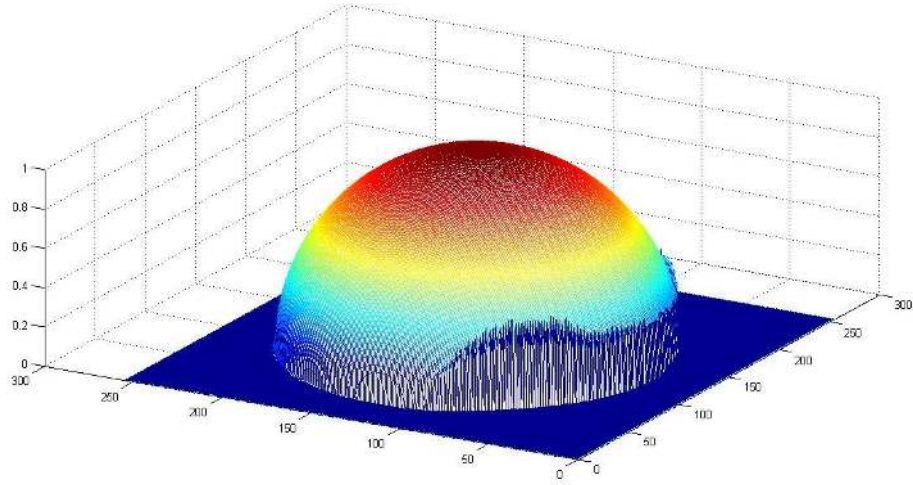
Şekil 5.37. Küre için Tsai – Shah yöntemi



Şekil 5.38. Küre için Tsai – Shah yöntemi



Şekil 5.39. Küre için fotometrik stereo sonucu elde edilen derinlik haritası



Şekil 5.40. Küre için Sakarya ve Erkmen tarafından geliştirilen yöntem

Yöntemlerdeki başarıların test edilmesi amacı ile Çizelge 5.1, 5.2 ve 5.3 oluşturulmuştur. Tablolarda sırası ile karelerin farkı ve genel ortalama yöntemleri ile derinlik hata miktarları bulunmuş ve geliştirilen yöntemin başarısı açıkça görülmüştür.

Testlerde gereksiz noktalar ve buna bağlı etkilerin azaltılması amacıyla eldeki görüntüye ait tüm noktalar karşılaştırmalarda kullanılmamış sadece ilgilene noktalar yani yüz bölgesi testlerde kıstas olarak kullanılmıştır.



Şekil 5.41. Test kriteri olarak kullanılan yüz bölgesi

Çizelge 5.1. Yöntemlere ait test sonuçları

Yöntemler	Karelerin Farkı	Ortalama Hata
Tsai –Shah (10 iterasyon)	0,0157	0.0835
Horn (2 iterasyon)	0,0232	0,1006
Francot – Challeppa	0,0774	0,2532
Fotometrik Stereo	0,0086	0,0726
Ortalama Yöntemi	0,0073	0,0566
Sakarya & Erkmen	0,0052	0,0423
Geliştirilen Yöntem 1	0,0049	0,0378
Geliştirilen Yöntem 2	0,0034	0,0284

Çizelge 5.1’de hata oranları dikkate alındığında gerçekleştirilen yöntemlerin her ikisinin de başarısı açık bir biçimde görülmektedir.

Çizelge 5.2. Tsai – Shah yöntemine ait test sonuçları

İterasyon	Karelerin Farkı	Ortalama Hata
10	0.0157	0.0835
100	0.0366	0.1688
1000	0.0583	0.2294

Çizelge 5.3. Horn yöntemine ait test sonuçları

İterasyon	Karelerin Farkı	Ortalama Hata
2	0.0228	0.1311
5	0.0422	0.1911
7	0.0582	0.2250

Çizelge 5.2 ve Çizelge 5.3’de de görüldüğü gibi iterasyon sayısı arttıkça elde edilen derinlik bilgisi doğruluğu iyileşmemekte hatta Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de de görüleceği üzere belirli bir noktadan sonra hata değeri düşmektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tüm çalışma süreci boyunca birçok GŞEE yöntemi ve fotometrik stereo yaklaşımları ayrıntılı olarak incelenmiştir. Ayrıca bu iki yaklaşımın birleştirilmesi amacıyla yapılmış çeşitli çalışmalar incelenmiş ve deneysel bölümlerde bu çalışmalar karşılaştırma amacıyla kullanılmıştır.

Birleştirme amacıyla iki adet birleştirme yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemlerden birincisinde GŞEE yöntemi ve fotometrik stereo yöntemi ayrı ayrı her noktada incelenmekte ve üstün olan yöntem üstün olduğu noktalarda uyarlanır bir biçimde kullanılmaktadır. Yöntemde fotometrik stereo sonucunun daha iyi olması da dikkate alınarak eğer belirli bir noktada bu değer daha yüksekse fotometrik stereo değeri alınmaktadır. Eğer GŞEE yaklaşımı daha yüksekse ve iki yaklaşım arasındaki farkın mutlak değeri belirlenen eşik değerinden küçükse GŞEE'ye ait derinlik bilgisi alınmakta, fakat eşik değerinden büyük ise fotometrik stereo değerinin yüzde yetmişi ve GŞEE derinlik değerinin yüzde otuzu alınarak o noktadaki derinlik bilgisi hesaplanmaktadır. Son olarak yüzeyin daha yumuşak geçişlere sahip olması için de süzgeç uygulanarak istenen derinlik değerine ulaşılmaktadır.

İkinci yöntemde ise GŞEE yöntemi ve fotometrik stereo yöntemi yine ayrı ayrı elde edilmektedir. Daha sonra her iki yöntem de belirli bir aralıkta normalleştirilmekte ve maksimum değerleri ile toplanmaktadır. Son olarak da test tablolarından da görüleceği üzere fotometrik stereo yönteminin daha iyi sonuç vermesi nedeni ile bu derinlik değerinin yüzde sekseni ve GŞEE yöntemine ait derinlik değerine ait sonucun da yüzde yirmi değeri alınarak yeni derinlik bilgisi oluşturulmaktadır.

Deneysel sonuçlarda açıkça görülmektedir ki, uygulanan yöntemin her ikisi de fotometrik stereoda bulunmayan yüze ait göz ve burun gibi özellikleri daha iyi bir şekilde ortaya çıkarmaktadır ve GŞEE'de bulunan keskin derinlikleri normal insan yüz modeline uygun hale getirmektedir. Aynı zamanda literatürdeki diğer yöntemlerdeki kısmi keskinlikleri de düzeltilmektedir.

KAYNAKLAR

1. Cryer, E. J., Tsai, P., Shah, M., “Combining shape from shading and stereo using human visual model”, *UCF Technical Report, Florida*, 3 – 4 (1992).
2. Saxena, A., Chung, S. H., Ng, Y. A., “3 – D Depth reconstruction from a single still image”, *International Journal Of Computer Vision*, 76: 53 – 69 (2008).
3. Castelan, M., Hancock E. R., “Acquiring height data from a single image of a face using local shape indicators”, *Computer Vision and Image Understanding*, 103: 64 – 79 (2006).
4. Fleming, R. W., Torralba, A., Adelson, E. H., “Specular reflections and the perception of shape”, *Journal of Vision*, 4: 798 – 820 (2004).
5. Durou, J., Falcone M., Sagona M., “Numerical Methods for shape from shading: A new survey with benchmarks”, *Computer Vision and Image Understanding*, 109: 22 – 43 (2008).
6. Yoshiki, K., Saito, H., Mochimaru M., “Reconstruction of 3D face model from single shading image based on anatomical database”, *The 18th International Conference on Pattern Recognition*, Hong Kong, 350 – 353 (2006).
7. Yuen, S. Y., Tsui, Y. Y., Chow, C. K., “A Fast marching formulation of perspective shape from shading under frontal illumination”, *Pattern Recognition Letters*, 28: 806 – 824 (2007).
8. Chen, M., “Interactive specification and acquisition of depth from single images”, Yüksek Lisans Tezi, *Massachusetts Institute of Technology Department of Architecture*, USA, 28 – 30 (2001).
9. Tankus, A., Sochen, N., Yeshurun, Y., “A New perspective [on] shape from shading”, *ICCV’03*, 2:862 – 869 (2003).
10. Prados, E., Faugeras, O., “Shape from shading: A Well – Posed problem ?”, *International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition CVPR05*, San Diego, 1 – 8 (2005).
11. Horn, B. K. P., “Shape from Shading: A Method for Obtaining the Shape of a Smooth Opaque Object from One View”, *Massachusetts Inst. of Technology Artificial Intelligence Laboratory*, 37 – 43 (1970).
12. Samaras, D., Metaxas, D., “Incorporating illumination constraints in deformable models for shape from shading and light direction estimation”, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2 – 3 (2003).

13. Barrow, H. G., Tenenbaum, J. M., “Retrospective on ‘interpreting line drawings as three-dimensional surfaces’”, *Artificial Intelligence*, 59: 71–80, (1993).
14. Mignolla, E., Todd, J. T., “Perception of solid shape from shading”, *Biological Cybernetics*, 53: 137–151, (1996).
15. Ikeuchi, K., Horn, B. K. P., “Numerical Shape from Shading and Occluding Boundaries”, *Artificial Intelligence*, 17: 141–148,(1981).
16. Wong., K. K., “Structure and motion from silhouettes”, *Department of Engineering University of Cambridge*, U.K., 61 – 64 (2001).
17. Brooks, J., Horn, B. K. P., “Shape and Source from Shading”, *Proc. Int’l Joint Conf. Artificial Intelligence*, 932-936, (1985).
18. Agrawal, A., Chellappa, R., Raskar, R., “An Algebraic approach to surface reconstruction from gradient fields”, *International Conference on Computer Vision*, San Diego, 1 – 8 (2005).
19. Frankot, R. T., Chellappa, R., “A Method for enforcing integrability in shape from shading algorithms”, *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 10: 439-451, (1988).
20. Zheng, Q., Chellappa, R., “Estimation of Illuminant Direction, Albedo, and Shape from Shading”, *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 13 (7): 680-702, (1991).
21. Zhao, W. Y., Chellappa, R., “Symmetric shape from shading using self ratio image”, *International Journal Of Computer Vision*, 45(1): 55-75 (2001).
22. Leclerc, Y. K., Bobick, A. F., “The Direct Computation of Height from Shading”, *IEEE Proc. Computer Vision and Pattern Recognition*, 552-558, (1991).
23. Liu, X., Yu, Y., Shum, H., “Synthesizing bidirectional texture functions from real-world surfaces”, *ACM SIGGRAPH*, 97 – 106 (2001).
24. Lee, K. M., Kuo, C. C. J., “Shape from Shading with a Linear Triangular Element Surface Model”, *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 15 (8): 815-822, (1993).
25. Crouzil, A., Descombes, X., Durou, J., “A Multiresolution approach for shape from shading coupling deterministic and stochastic optimization”, *IRIT University Paul Sabatier RR-2005*, France, 3 (2003).

26. Malik, J., Maydan, D., "Recovering Three Dimensional Shape from a Single Image of Curved Objects", *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 11, (1989).
27. Ukida, H., "Shape from shading analysis for reconstructing 3D object shape using an image scanner", *Kyoto University*, Japan, 11- 12 (2003).
28. Kimmel, R., Bruckstein, A. M., "Global shape from shading", *Computer Vision and Image Understanding*, 62(3): 360-369, (1995).
29. Paragos, N., Deriche, R., "Geodesic active regions and level set methods for supervised texture segmentation", *International Journal of Computer Vision*, 46(3): 223-247 (2002).
30. Feris, R. S., "Detection and modeling of depth discontinuities with lighting and viewpoint variation", Doktora Tezi, *University of California Santa Barbara – Department of Computer Science*, USA, 22-25 (2006).
31. Pentland, A., "Shape Information from Shading: A Theory about human perception", *Proc. Int'l Conf. Computer Vision*, 404-413 (1988).
32. Lee, C. H., Rosenfeld, A., "Improved Methods of Estimating Shape from Shading Using the Light Source Coordinate System", *Artificial Intelligence*, 26: 125-143 (1985).
33. Wang, Y., Samaras, D., "Estimation of multiple directional light sources for synthesis of augmented reality images", *Graphical Models*, 65: 185 – 205 (2003).
34. Tsai, P. S., Shah, M., "Shape from shading using linear approximation", *Image and Vision Computing J.*, 12 (8): 487-498, (1994).
35. Lensch, H., "Image Based reconstruction of spatial appearance and geometric detail", *ACM Transactions on Graphics*, 5(N):1-27 (2003).
36. Nayar, S. K., Ikeuchi, K., Kanade, T., "Surface reflection: Physical and geometrical perspectives", *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 13 (7): 611-634 (1991).
37. Horn, B., Brooks, M., "The Variational approach to shape from shading", *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 33:174-208 (1986).
38. Lange, H., "Advances in the cooperation of shape from shading and stereo vision", *In 3DIM*, 46 – 58 (1999).
39. Cryer, J.E., Tsai, P.S., Shah, M., "Integration of shape from shading and stereo", *PR(28)*, 7 (1995).

40. Haines, S.F.T., Wilson, R.C., “Integrating stereo and shape from shading derived orientation information”, *British Machine Vision Conference 2007*, 1 – 10 (2007).
41. Sakarya, U., Erkmén İ., “An improved method of photometric stereo using local shape from shading”, *Image and Vision Computing*, 21: 941 – 954 (2003).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : KARAMAN, Mehmet
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 01.05.1982, Adana
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0 (312) 583 3534
 e-mail : mehmet.karaman@tib.gov.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Bilgisayar Mühendisliği	2009
Lisans	Kocaeli Üniversitesi / Bilgisayar Mühendisliği	2004
Lise	Düziçi Anadolu Öğretmen Lisesi	2000

İş Deneyimi

Yıl	Kurum	Görev
2008-Halen	Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu	İletişim Uzmanı
2005-2008	Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü	Bilgisayar Mühendisi
2004-2005	Hey Tekstil A.Ş.	Yazılım Uzmanı

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Karaman M., “DSİ Su Kalitesi Uygulaması Coğrafi Bilgi Sistemleri Modeli”, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Konferansı*, KTU, Trabzon(2007).
2. Dinçer A., Yüksel E., Karaman M., Seyrek K., “Web Based Water Quality Decision System”, 5. *International Conference on Geographic Information Systems*, İstanbul(2008).

3. Karaman M., Bilge H. Ş, “Gölgeden Şekil Elde Etme ve Fotometrik Stereonun Uyarlanır Bir Şekilde Birleştirilmesi”, *IEEE 17. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı*, Antalya(2009).