

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇOKLU AÇIKLIKLI GÖRÜNTÜLERDEN
DERİNLİK ÇIKARIMI

Mahmut Salih SAYAR
YÜKSEK LİSANS TEZİ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM
DALI

GEBZE

2014

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇOKLU AÇIKLIKLI GÖRÜNTÜLERDEN
DERİNLİK ÇIKARIMI

Mahmut Salih SAYAR
YÜKSEK LİSANS TEZİ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM
DALI
DANIŞMANI
Doç. Dr. Y. Sinan AKGÜL

GEBZE

2014



**GEBZE YÜKSEK
TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ...30/12/2013..... tarih ve ..2013./..68..... sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 14/01/2014 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Mahmut Salih SAYAR'ın tez çalışması Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Doç. Dr. Yusuf Sinan AKGÜL

ÜYE

: Yrd. Doç. Dr. Yakup GENÇ

ÜYE

: Yrd. Doç. Dr. Tarkan AYDIN

(Handwritten signatures of the jury members)

ONAY

GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

TEZİN BAŞLIĞI: ÇOKLU AÇIKLIKLI GÖRÜNTÜLERDEN DERİNLİK ÇIKARIMI

YAZAR ADI : MAHMUT SALİH SAYAR

Bu tezde bir yüzeyin üç boyutlu yapısını kestirebilmek amacıyla sahne ile görüntü elde edilen kamera arasına bir adet aparat yerleştirilerek görüntü oluşum modelinin değiştirilmesi esasına dayanan hareketli açıklık metodu tanımlanmıştır. Hareketli açıklık metodu yardımı ile elde edilen görüntülerden derinlik haritaları elde edilmesi için çeşitli odak ölçüt operatörleri geliştirilmiş ve başarılı bir şekilde uygulanmıştır.

Görüntüler, önüne yerleştirilen aparatın hareket ettirilmesi sayesinde açıklığının şekli, boyutu ve pozisyonu değiştirilebilen bir kamera yardımı ile elde edilmiştir. Geliştirilen hareketli açıklık sistemi ile elde edilen görüntülerin kötü odaklanılmış bölgelerinde açıklığın hareketi ile bir miktar kayma gözlenmektedir. İyi odaklanılmış görüntü bölgelerinde ise bu kaymalar yok denecek kadar azdır. Tezde önerilen yöntemlerin tamamı bu özelliği farklı yaklaşımlarla birleştirerek kullanmakta ve sahne için birer derinlik haritası elde etmektedirler.

İyi odaklanılmış görüntü piksellerinin kötü odaklanılmış görüntü piksellerinden ayrılması için frekans analizi, projeksiyon cihazı yardımı ile yollanan çeşitli ışık desenlerinin sahne üzerindeki görüntülerini eşleştirme gibi yöntemler geliştirilmiştir. Her pixel için en iyi odaklanılmış görüntü belirlenerek sahneler için derinlik haritaları oluşturulmuştur.

Gerçek görüntüler üzerinde yapılan deneyler ile, hareketli açıklık kullanılarak elde edilen sonuçların literatürdeki yöntemlerin sonuçları ile kıyaslanabilir olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca klasik frekans analizi yöntemleri ile elde edilen sonuçların, hareketli açıklık kullanılarak iyileştirilebileceği gösterilmiştir.

SUMMARY

THESIS TITLE: DEPTH ESTIMATION FROM MULTIAPERTURE IMAGES

AUTHOR : MAHMUT SALIH SAYAR

In this thesis, the method of moving apertures that is based on the changing of the image formation model by placing an apparatus between the scene and camera is defined in order to estimate the three-dimensional shape of the scene. Several different focus measure operators have been developed to get a depth map using the images received using the moving apertures method, and are successfully applied.

The images are retrieved by using a camera whose aperture shape, size and position can be changed by moving the apparatus in front of it. Some displacement can be seen by aperture movement around the badly-focused parts of the images that are retrieved with a camera using the moving aperture system. These displacements are very small, or they don't exist on the well-focused parts of the same images. All of the proposed methods in this thesis combine and use this property in different ways, and get a depth map for the scene.

Methods such as frequency analysis, matching the images of the scene using several different structured light patterns projected onto the scene are developed. Depth maps for each scene are found by finding the image that is best-focused on each individual pixel.

Real-world experiments show that the results from moving apertures are comparable with the results of classical methods. Furthermore, the experiments show that the results received by classical frequency analysis methods may be improved by using moving apertures.

TEŞEKKÜR

Bu tezin her aşamasında, özellikle de yayın aşamasında büyük katkıları olan sabırlı ve anlayışlı hocam sayın Doç. Dr. Y. Sinan AKGÜL'e, bu süreçte burs programı ile bana destek vermiş olan TÜBİTAK'a, uzun süren laboratuvar çalışmalarım boyunca anlayış gösteren ve yardımcı olan Dr. Ulaş VURAL, Abdullah AKAY ve görme laboratuvarındaki diğer tüm çalışma arkadaşlarıma;

Tez jürimde bulduklarından dolayı Yrd. Doç. Dr. Yakup GENÇ ve Yrd. Doç. Dr. Tarkan AYDIN'a;

Bu tezde kullanılan hareketli aparat sistemini fiziksel olarak daha güvenilir hale getirmeme yardım eden babam Köksal SAYAR'a, hiçbir konuda desteğini esirgemeyen annem Necmiye SAYAR'a ve bana manevi desteği olan tüm dostlarıma teşekkür ederim.

Bu çalışma "Çifte Ağ Metodu Yardımıyla Cisimlerin 3 Boyutlu Yapılarının Bulunması İçin Bir Bilgisayarla Görme Metodu" adlı TÜBİTAK Kariyer Projesi 105E097 ile desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	IV
SUMMARY	V
TEŞEKKÜR	VI
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	VII
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
TABLolar DİZİNİ	XII
1. GİRİŞ	1
2. STEREO EŞLEŞME PROBLEMİ	4
2.1 PERSPEKTİF KAMERA MODELİ	4
2.2 PERSPEKTİF STEREO MODEL	5
2.3 STEREO YÖNTEMLERİ	7
2.3.1 EŞLEŞME FONKSİYONLARI	7
2.3.2 SCHARSTEIN-SZELISKI YÖNTEMİ	8
3. ODAKTAN ŞEKİL METOTLARI	12
3.1 İDEAL LENSLİ KAMERA MODELİ	12
3.2 ODAKTAN ŞEKİL ELDE ETME YÖNTEMLERİ	13
3.3 ODAK ÖLÇÜT OPERATÖRLERİ	14
3.3.1 LAPLACE TOPLAMI	14
3.3.2 DEĞİŞTİRİLMİŞ LAPLACE TOPLAMI	14
3.3.3 UYARLANABİLİR ODAKTAN ŞEKİL	15
4. HAREKETLİ AÇIKLIK SİSTEMİ VE GERÇEKLENMESİ	16
4.1 HAREKETLİ AÇIKLIK KAMERA MODELİ	17
4.2 SİSTEM DÜZENEGİ	18
5. HAREKETLİ AÇIKLIKLA RASTGELE DESEN EŞLEŞTİRME	21
5.1 NEÇİ3B	23
5.2 KAYMA MİKTARI ODAK ÖLÇÜT OPERATÖRÜ	25
5.3 DESEN Lİ DEĞİŞTİRİLMİŞ LAPLACE TOPLAMI	27
5.4 İKİNCİ DERECEDEDEN EĞRİ UYDURMA	27
5.5 DENEYLER	28
6. HAREKETLİ AÇIKLIKLA SAHNE BÖLÜTLEME	32

6.1 FLOODFILL	34
6.2 DENEYLER	35
7. HAREKETLİ AÇIKLIKLA SAHNE KODLAMA	41
7.1 FLOOD FİLTRESİ	44
7.2 DENEYLER	48
8. HAREKETLİ AÇIKLIKLA ODAKTAN ŞEKİL	54
8.1 AÇIKLIK FREKANSLARI TOPLAMI ODAK ÖLÇÜT OPERATÖRÜ	54
8.2 DOĞRUDAN EŞLEŞTİRMELİ ODAK ÖLÇÜSÜ	55
8.3 DENEYLER	57
9. SONUÇ	62
KAYNAKLAR	64
ÖZGEÇMİŞ	69
EK A – TERİMLER (TÜRKÇE – İNGİLİZCE)	70

SİMGELER VE KISALTMALAR DIZINI

3B	: 3 boyutlu
AFTOÖO	: Açıklık Frekansları Toplamı Odak Ölçüt Operatörü
BBA	: Birleştirilmiş bölgelerin alanı
BBBBKU	: Birleştirilmiş bölgeleri içine alan en küçük dikdörtgenin köşegen uzunluğu
BBCHU	: Birleştirilmiş bölgeleri içine alan en küçük konveks çokgenin çevre uzunluğu
BDT	: Bilgisayar Destekli Tasarım
Çİ	: Çapraz İlinti
DEOÖ	: Doğrudan Eşleştirmeli Odak Ölçüsü
DLT	: Değiştirilmiş Laplace Toplamı
FKT	: Fark Karelerinin Toplamı
KMOÖO	: Kayma Miktarı Odak Ölçüt Operatörü
KOÖO	: Karışım Odak Ölçüt Operatörü
MFT	: Mutlak Farkların Toplamı
MNBCR	: Ortanca noktaları içine alan en küçük çemberin yarıçapı
MNCHU	: Ortanca noktaları içine alan en küçük konveks çokgenin çevre uzunluğu
NEÇİ	: Normalize Edilmiş Çapraz İlinti
NEÇİ3B	: 3 Boyutlu Normalize Edilmiş Çapraz İlinti
NEFKT	: Normalize Edilmiş Fark Karelerinin Toplamı
ONBCR	: Orta noktaları içine alan en küçük çemberin yarıçapı
ONCHU	: Orta noktaları içine alan en küçük konveks çokgenin çevre uzunluğu
ONTHM	: Orta noktaların toplam hareket miktarı
OÖO	: Odak ölçüt operatörü
SOMFT	: Sıfır Ortalamalı Mutlak Fark Toplamı
UOÖ	: Uyarlanabilir Odak Ölçüsü

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Perspektif kamera modeli	4
2.2 Perspektif stereo model	5
2.3 Gri kodlama ışık desenleri	9
3.1 İdeal mercekli kamera modeli	13
4.1 Basitleştirilmiş ideal lensli kamera modeli	16
4.2 Hareketli açıklık kamera modeli	17
4.3 Deney düzeneği	18
4.4 Kullanılan sistemin şeması	19
4.5 Kullanılan hareketli aparatın BDT projesi	19
5.1 İki örnek desenin sahneye yansıtılması ile oluşan örnek görüntüler	22
5.2 Görüntülerin NEÇİ3B kullanılarak bulunan kayma miktarları ve hata oranları	25
5.3 Rastgele desenlerin sahneye yansıtılması ile oluşan görüntüler	28
5.4 KMOÖO ve eğri uydurma sonuçları (Deney 1)	29
5.5 KMOÖO ve eğri uydurma sonuçları (Deney 2)	30
5.6 Sahnenin elde edilen 3B yapısı	30
6.1 Sahne bölütleme için örnek dikdörtgensel ışık desenleri	32
6.2 Dikdörtgensel ışık desenlerinin sahneye yansıtılması ile oluşan görüntüler	33
6.3 Sahne bölütleme ve eğri uydurma deney sonuçları	36
6.4 Örnek sahne bölütleri ve operatörlerin bu bölütlerdeki grafikleri	37
6.5 Eğimli ve desenli sahne için Sahne Bölütleme, KOÖO ve eğri uydurma sonuçları	38
6.6 KOÖO ve eğri uydurma sonuçları	39
7.1 Sahneye gri kodlama ışık desenlerinin gönderilmesi sonucu oluşan görüntüler	41
7.2 Örnek sahnenin kodlanmış hali	43
7.3 Birleştirilmiş bölge, bölgeyi içine alan en küçük konveks çokgen, dikdörtgen ve köşegeni (sembolik)	45
7.4 Orta nokta veya ortanca noktaları içine alan en küçük konveks çokgen ve çember (sembolik)	46
7.5 Orta noktaların hareket miktarının sembolik gösterimi	47
7.6 Örnek bölgeler için operatörler tarafından üretilen grafikler	49
7.7 Operatörler kullanılarak elde edilen deney sonuçları	51

7.8 Sahnenin gri kodlama sonucu elde edilen 3B yapısı	52
8.1 Farklı açıklık ve odak ayarlarında elde edilmiş görüntülerde NEÇİ sonuçları	56
8.2 AFTOÖO ve DEOÖ için deney sonuçları	59
8.3 Deney sahnesinin elde edilen 3B yapısı	60

TABLULAR DIZINI

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
5.1 KMOÖO için hata oranları	30
6.1 Sahne Bölütleme ve KOÖO deneyleri için hata oranları	39
7.1 Sahne Kodlama ve çeşitli operatörler için hata oranları	50
8.1 Deneyler için hata oranları	59

1. GİRİŞ

Son yıllarda sahnenin görüntülerinden 3B yapısını anlamak bilgisayarla görme alanında önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir. Sahnenin 3B yapısının anlaşılması işlevin gerçekleştirilebilmesi için araştırmacılar tarafından literatürde çok çeşitli yöntemler geliştirilmekte ve zamanla farklı yaklaşımların klasik yöntemlerle birleştirilmesi ile sonuçlar daha da iyileştirilmektedir. Sahnenin 3B yapısı günümüzde sanayi, savunma sistemleri, tıp, astronomi gibi otomasyon gerektiren pek çok farklı dalda kullanım alanlarına sahiptir [37, 44, 13, 2]. Bu yöntemlerin temeli stereo eşleştirme ve bulanıklık analizi yöntemlerinin geliştirilmesi ile atılmıştır.

Bulanıklık analizi yöntemleri genellikle sahnenin bir odak operatörü yardımıyla frekans analizinin yapılması işlemidir. Nayar [43], görüntülerin iyi odaklanılmış bölgelerinin kötü odaklanılmış bölgelerine oranla yüksek frekanslı bileşenlere daha çok sahip olduğunu ifade etmiştir. İlerleyen yıllarda çeşitli frekans analizi yöntemleri geliştirilmiş ve kıyaslanabilir sonuçlar elde edilmiştir [9, 21, 27, 31, 38, 52, 55, 57, 58, 61, 63]. Bulanıklık analizi yöntemlerinin avantajları arasında hızlı ve iyi sonuçlar vermesi ve tek kameradan farklı odak ayarlarında elde edilen görüntülerin yeterli olması gösterilebilir.

Literatürde sahne görüntülerinden sahnenin 3B yapısının elde edilebildiği yöntemlerden bir diğeri stereo eşleştirme yöntemidir. Stereo görüntü oluşum modelleri iki adet farklı konumlandırılmış kamera kullanılarak elde edilen sahne görüntülerinde; sahnedeki noktaların, uzaklığı ile orantılı olarak görüntülerinin bir miktar kayacağı tezine dayanmaktadır. Bunun sonucu olarak, bu teze dayanılarak geliştirilen yöntemlerde görüntülerin bölge bölge eşleştirilmesi ve kayma miktarlarının bulunması gerekmektedir [5, 23]. Literatürde iki görüntünün eşleştirilmesi ile ilgili de pek çok yöntem bulunmaktadır [34, 40, 47, 54].

Diğer taraftan; projeksiyon teknolojisinin de gelişmesiyle birlikte, literatürdeki eşleştirme yöntemlerine alternatif olarak sahneye çeşitli yapıları ışık desenlerinin projeksiyon cihazı ile gönderilip bu şekilde görüntüler elde edilerek doğrudan eşleştirme yapılması ve derinlik haritası elde edilmesi fikri ortaya çıkmıştır.

Günümüzde sahneye ışık deseni yollanarak sahne yapısı elde edilen birçok yöntem mevcuttur [3, 10, 20, 22, 29, 48, 64]. Bu yöntemlerin yaptığı işlemler; bir veya daha fazla projeksiyon cihazı yardımı ile sahneye bilgisayar tarafından üretilen bir veya daha fazla yapılı ışık deseni göndererek bir veya daha fazla kamera ile görüntüler elde edilmesi, ve bu görüntülerin analiz edilerek derinlik haritasına dönüştürülmesi şeklinde iki farklı kategoride düşünülebilir. Projeksiyon cihazıyla eşleştirme yöntemleri genellikle frekans analizi yöntemlerine oranla daha iyi sonuç vermekle birlikte, iki ayrı kameranın kullanılmasını gerektirmekte, daha çok görüntüye ve bu görüntüler elde edilirken daha fazla zamana ihtiyaç duymaktadır.

Yukarıda kısaca değinilen yöntemlerde görüntüler elde edilirken çoğunlukla kameranın tüm açıklığı kullanılmakla birlikte, kamera ile sahnenin arasına çeşitli aparatlar yerleştirilerek ve bu sayede ışığın kırılması, gölge oluşumu gibi optik özelliklerden yararlanılarak derinlik haritası bulunan yöntemler de mevcuttur [1, 26, 30, 56, 60]. Green et al. [14] değişik kamera açıklıkları kullanılarak açıklık süresi sabit kalmak şartıyla görüntüler elde etmiş, bu görüntülerin bulanıklık analizini yapmıştır. Levin [32] kamera açıklığını [14] yönteminde kullanılan parçalı açıklık sistemini kodlamış, bu optik sistem ile elde edilen görüntüleri analiz ederek optimal kamera açıklığı çiftini belirlemeye çalışmıştır. Levin et al. [33] optimale yakın kodlanmış açıklık çifti kullanarak optik sistemi gerçekleştirmiş ve görüntülerden derinlik haritası elde etmiştir. Zhou et al. [65], iki adet kodlanmış açıklık kullanarak elde edilen görüntülere frekans analizi uygulamış ve derinlik haritası elde etmiştir.

Bu çalışmada [32] ve [33]'de anlatılan parçalı açıklık sistemine benzer şekilde, görüntünün oluşum yöntemi değiştirilerek kamera ile sahnenin arasına bir adet delikli aparat yerleştirilmiş ve bu aparatın döndürülmesiyle kameranın farklı yönlere kayan açıklıklar ile görüntü elde etmesi sağlanmıştır. Çalışmada kameranın açıklık değişimi sayesinde görüntülerin değişik odak ayarlarında değişik konumlarda oluşması ve görüntünün frekans analizi sonuçlarının değişiklik göstermesi özelliklerinin başarılı bir şekilde anlaşılması; projeksiyon cihazı ile sahneye ışık desenleri gönderme, şablon eşleştirme, frekans analizi gibi pek çok değişik yöntemler kullanılarak sağlanmış, bu özellikler kullanılarak sahnenin 3B yapısı farklı yöntemlerle elde edilmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

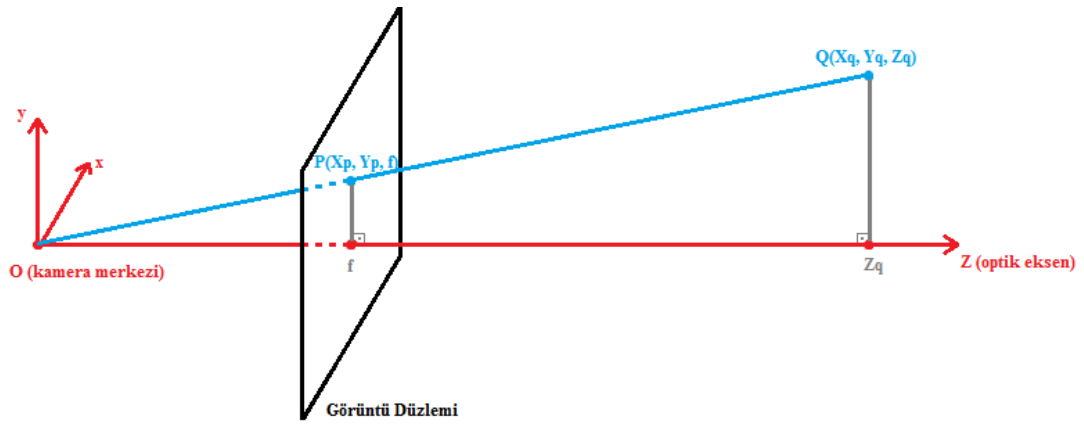
Geliştirilen kamera açıklık sistemi; aynı açıklığın farklı pozisyonlarda kamera önüne gelebilmesi sayesinde açıklık pozisyonunun görüntüye etkisinin daha net anlaşılabilmesi konusunda kodlanmış açıklık sistemlerinden üstündür. Ayrıca çok sayıda açıklık kullanılabilmesi; açıklık şekillerinin, büyüklüklerinin ve pozisyonlarının değişken olabilmesi; çok sayıda açıklıktan görüntü elde edilebilmesinin açıklık seçilimi veya puanlaması yapılmasına ve bu sayede tüm açıklıkların istenilen amaç doğrultusunda kullanılabilmesine olanak tanınması gibi çeşitli avantajları da mevcuttur.

Tezin akışı şu şekildedir. Bölüm 2’de stereo problemi tanımlanmış, literatürdeki bazı önerilen eşleşme yöntemleri özetlenmiştir. Bölüm 3’te literatürdeki birkaç odaktan şekil yöntemi açıklanmıştır. Bölüm 4’te hareketli açıklık sisteminin tanımı yapılmış, tüm açıklığın kullanılması ile arasındaki farklar, geliştirilen odaktan şekil yöntemlerinin dayanağı, sistemin gerçekleşmesi ve kullanılan deney düzeneği açıklanmıştır. Projeksiyon cihazı kullanılan hareketli açıklıkla rastgele desen eşleştirme yöntemi Bölüm 5’te, hareketli açıklıkla sahne bölütleme yöntemi Bölüm 6’da, hareketli açıklıkla sahne kodlama yöntemi Bölüm 7’de anlatılmıştır. Bölüm 8’de projeksiyon cihazı kullanılmayan hareketli açıklıkla odaktan şekil yöntemi ve önerilen frekans bazlı ve eşleştirme bazlı iki farklı odak ölçüt operatörü anlatılmış, Bölüm 9’da elde edilen sonuçlar yorumlanarak tez sonlandırılmıştır.

2. STEREO EŞLEŞME PROBLEMİ

2.1 PERSPEKTİF KAMERA MODELİ

O noktası kameranın merkezi ve f kameranın odak uzaklığı olmak üzere, şekildeki düzeneğe perspektif kamera modeli denir. Işınlardan herhangi bir kırılmaya uğramadıklarından dolayı bu model literatürde kullanılan en basit kamera modelidir. Perspektif kamera modeli, kameranın merkezi olan O noktası, optik eksen, görüntünün oluştuğu görüntü düzlemi ve sahnedeki herhangi bir 3B Q noktasından oluşmaktadır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 Perspektif kamera modeli

Bu modele göre sahnedeki herhangi bir $Q(X_q, Y_q, Z_q)$ noktasının kamerada oluşan görüntüsü olan $P(X_p, Y_p, f)$ noktasının koordinatları OPf ve OQZ_q üçgenleri arasındaki benzerlik kullanılarak şu şekilde bulunabilmektedir:

$$X_p = f \frac{X_q}{Z_q} \quad (2.1)$$

$$Y_p = f \frac{Y_q}{Z_q} \quad (2.2)$$

$$Z_p = f \quad (2.3)$$

2.2 PERSPEKTİF STEREO MODEL

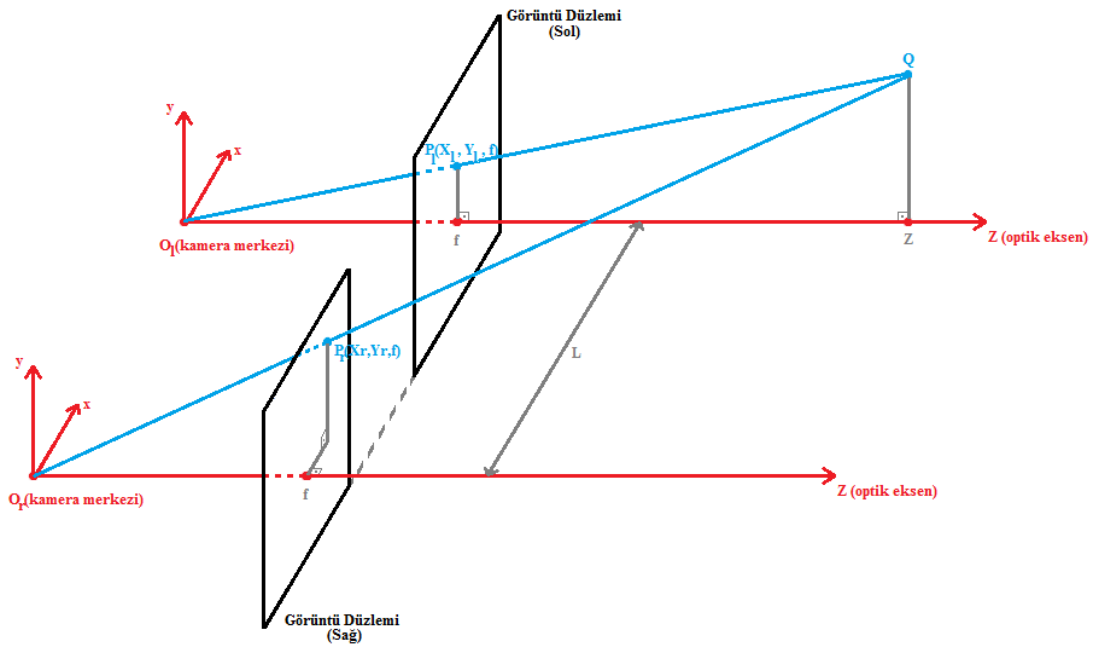
İki adet perspektif kamera kullanılan bu model, sahne üzerindeki bir noktanın kameralara uzaklığının belirlenmesi amacıyla geliştirilmiş en basit modeldir. Bu modele göre perspektif kameraların görüntü düzlemleri çakışmalı, odak uzaklıkları ve döndürme matrisleri aynı olmalıdır. Bu varsayımlar sonucunda elde edilen sistemde iki kameranın optik merkezleri arasındaki uzaklık L olmak üzere, örneğin sol kameranın optik merkezine göre Q noktasının sol kameradaki görüntüsünün koordinatları P_l ve sağ kameradaki görüntüsünün koordinatları P_r ile Q noktasının koordinatları arasındaki bağıntılar perspektif modeldeki özellikler kullanılarak şu şekilde elde edilebilecektir (Şekil 2.2):

$$X_l = \frac{Q_l x f}{Z_l} \quad (2.4)$$

$$Y_l = \frac{Q_l y f}{Z_l} \quad (2.5)$$

$$X_r = \frac{Q_r x f}{Z_r} \quad (2.6)$$

$$Y_r = \frac{Q_r y f}{Z_r} \quad (2.7)$$



Şekil 2.2 Perspektif stereo model

Diğer taraftan, görüntü düzlemleri ve döndürme matrisleri aynı olan bu kameraların koordinat sistemleri arasındaki tek fark x yönündeki L birimlik kaymış olma özelliği olduğuna göre, bu koordinat sistemlerinin birleştirilmesi ile oluşan koordinat sisteminde şu eşitlikler de doğru olmaktadır:

$$Q_{l,x} = Q_{r,x} + L \quad (2.8)$$

$$Q_{l,y} = Q_{r,y} = Q_y \quad (2.9)$$

$$Q_{l,z} = Q_{r,z} = Q_z \quad (2.10)$$

x eksenindeki eşitlik düzenlenirse şu bağıntı elde edilir:

$$X_l - X_r = \frac{Lf}{Z} \quad (2.11)$$

Bulunan $X_l - X_r$ ifadesine literatürde fark değeri denir ve d ile gösterilir. Ortak koordinat sisteminin merkezi iki kameranın koordinat sistemlerinin merkezlerinin orta noktasına taşınıp ifadeler düzenlenirse, nesnenin ortak koordinat sistemindeki koordinatları şu şekilde bulunacaktır:

$$Q_x = L \frac{X_l + X_r}{2d} \quad (2.12)$$

$$Q_y = L \frac{Y_r}{d} \quad (2.13)$$

$$Q_z = L \frac{f}{d} \quad (2.14)$$

Bulunan bu ifadeler, noktanın gerçek dünyadaki bir koordinat sistemine göre değil, kameraların ortak koordinat sistemine göre bulunan koordinatlardır. Gerçek koordinatların bulunabilmesi için ise öncelikle kamera kalibrasyonu işleminin uygulanması gerekmektedir [15].

2.3 STEREO YÖNTEMLERİ

Perspektif stereo model varsayımı üzerinden işlemler yapılarak sonuç elde edilmeye çalışıldığında doğrudan bir sonuç elde edilemeyecektir. Bunun nedeni kameralar arası mesafenin ve odak uzaklığının kesin bir doğrulukla bilinmemesinden ziyade, herhangi bir noktanın diğer resimde tam olarak hangi noktaya denk geldiğinin bilinmemesidir. O halde iki kameradan elde edilen görüntüler kullanılarak derinlik elde edilebilmesinde aşılması gereken en önemli problemlerden biri, bir görüntünün herhangi bir noktasının diğer görüntüde hangi noktaya karşılık geldiğinin belirlenmesidir. Bunun belirlenebilmesi için literatürde geliştirilmiş yöntemler, projeksiyon cihazı kullanılan ve projeksiyon cihazı kullanılmayan olarak iki farklı kategoride incelenebilir.

Projeksiyon cihazı kullanılan stereo yöntemleri, görüntüleri elde etmeden önce bir projeksiyon cihazı yardımı ile sahneye çeşitli yapılı ışık desenleri gönderir ve her desen için iki kameradan görüntüler elde eder. Daha sonra bu görüntüler çeşitli işlemlere tabi tutularak sahne farklı bölgelere ayrılır. Her bir bölgenin iki kamera için ayrı ayrı analiz edilmesi sonucunda bölgeler eşleşmiş olur. Son olarak elde edilmiş bölge koordinatlarının kayma veya fark değeri belirlenebilir.

Projeksiyon cihazı kullanılmayan stereo yöntemleri ise sahneye bir desen göndermek yerine, noktaları doğrudan eşleştirmeye çalışır. Bunun için literatürde geliştirilmiş çeşitli eşleştirme fonksiyonları mevcuttur. Eşleştirme işlemi genellikle noktanın kendisini de içeren, etrafında küçük bir penceredeki tüm piksellerin diğer görüntüdeki ilgili bölgenin tüm aynı boyutlu pencereleri için uygulanarak en iyi eşleşme değerine sahip olan nokta belirlenir ve bu noktanın koordinatları kullanılarak kayma miktarı hesaplanır.

2.3.1 EŞLEŞME FONKSİYONLARI

Literatürdeki eşleşme fonksiyonları; bir görüntüdeki herhangi bir pikselin, diğer bir görüntüdeki herhangi başka bir piksele olan benzerliğini ölçen fonksiyonlardır. Bu fonksiyonlar kullanılarak yapılan eşleştirmelerin sağlıklı olup olmadığı, genellikle fonksiyonun kullanıldığı işlemde tanımlanmak zorunda olan eşik değer(ler)e bağlıdır. A ve B eşleştirilmek istenen görüntüler; ω bu görüntülerin benzerlik oranı

bulunmak istenen penceresi; \bar{A} ve \bar{B} görüntülerin yoğunluklarının bu penceredeki ortalama değeri olmak üzere; literatürde sık kullanılan eşleşme fonksiyonları şunlardır:

a) Fark Karelerinin Toplamı (FKT):

$$\phi(A, B) = \sum_{p \in \omega} (A(p) - B(p))^2 \quad (2.15)$$

b) Mutlak Farkların Toplamı (MFT):

$$\phi(A, B) = \sum_{p \in \omega} |A(p) - B(p)| \quad (2.16)$$

c) Sıfır Ortalamalı Mutlak Fark Toplamı (SOMFT):

$$\phi(A, B) = \sum_{p \in \omega} (|A(p) - \bar{A}| - |B(p) - \bar{B}|) \quad (2.17)$$

d) Çapraz İlinti (Çİ):

$$\phi(A, B) = \sum_{p \in \omega} A(p)B(p) \quad (2.18)$$

e) Normalize Edilmiş Çapraz İlinti (NEÇİ):

$$\phi(A, B) = \sum_{p \in \omega} \frac{(A(p) - \bar{A})(B(p) - \bar{B})}{\sqrt{\sum_{q \in \omega} (A(q) - \bar{A})^2 \sum_{q \in \omega} (B(q) - \bar{B})^2}} \quad (2.19)$$

f) Normalize Edilmiş Fark Karelerinin Toplamı (NEFKT):

$$\phi(A, B) = \sum_{p \in \omega} \left(\frac{(A(p) - \bar{A})}{\sqrt{\sum_{q \in \omega} (A(q) - \bar{A})^2}} - \frac{(B(p) - \bar{B})}{\sqrt{\sum_{q \in \omega} (B(q) - \bar{B})^2}} \right)^2 \quad (2.20)$$

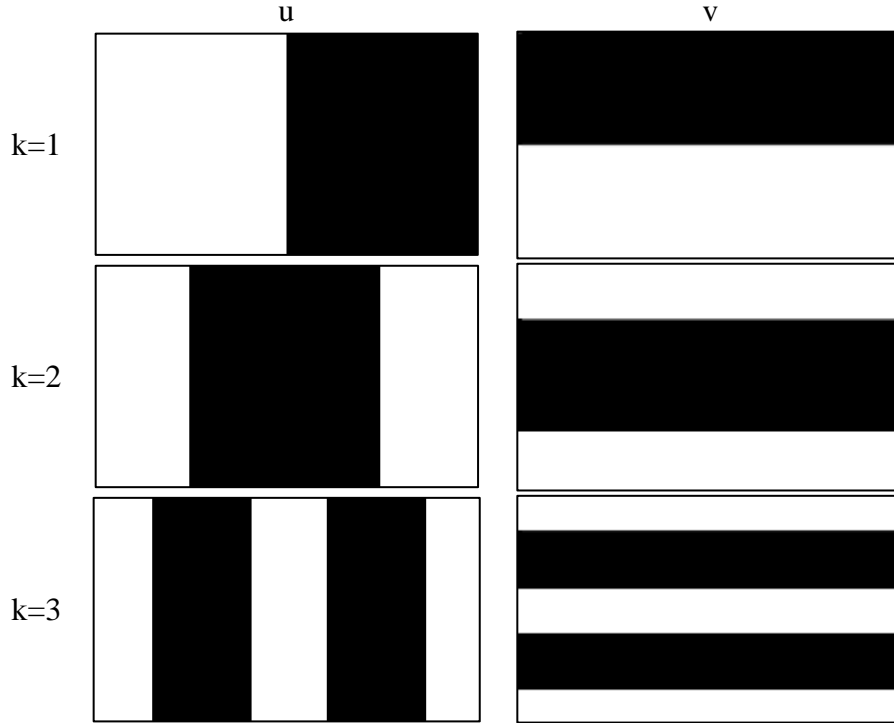
2.3.2 SCHARSTEIN-SZELISKI YÖNTEMİ

Scharstein ve Szeliski[50] tarafından geliştirilen bu yöntemin amacı sahnenin kameralar ile elde edilen görüntüsünün her pikseline birer eşsiz kod ataması yapmaktır. Atanan bu kodların farklı kameralardan elde edilen görüntülerdeki konum farklarından yararlanılması ile derinlik hesabı yapılabilmektedir.

Sahneye kod ataması bir veya daha fazla projeksiyon cihazı yardımı ile sahneye yapılı ışık desenleri yollanması ile yapılmaktadır. Yollanan bu yapılı ışık desenleri sahneyi sistemli bir şekilde parçalara ayırmakta ve bu parçaların her biri analiz işlemi sırasında buldukları piksellerin bir bitine tekabül etmektedir. Yöntemde iki

çeşit yapılı ışık deseni tanımlanmıştır: gri kodlama ve sinüs dalgaları ile kodlama. Bunlardan sinüs dalgaları ile kodlama, gri kodlamaya göre daha kötü sonuç verdiği için bu tezde kullanılmamıştır. [50] Bu nedenle gri kodlama yöntemi anlatılacaktır.

Gri kodlama yönteminde sahneye x ve y yönünde ayrı ayrı doğrusal ve parlak ışık desenleri yollanır ve sonuçta sahnenin her pikseline N bitlik birer (u, v) eşsiz kod ataması yapılmış olması beklenir. N bitlik bir kod elde etmek için 2^N gri kod deseni gerekmektedir. Örneğin 3 bitlik gri kodlama için kullanılan ışık desenleri Şekil 2.3'deki gibidir.



Şekil 2.3 Gri kodlama ışık desenleri

Sahneye parlak bir gri kodlama ışık deseni ve bu desenin tersi ayrı ayrı gönderilip kamera ile elde edilen görüntüler analiz edildiğinde elde edilen sonucun, sadece ışık deseninin kendisi gönderilerek elde edilen sonuçtan daha iyi olduğu görülmüştür. [50] Ayrıca görüntünün birden fazla kamera açıklık süresi için elde edilmesi de, sahnede çok karanlık veya çok parlak bölgeler oluşması durumunda oluşması muhtemel hataları önleyerek doğruluk oranını artırmaktadır. Sonuç olarak elde edilen tüm görüntüler için şu işlemler uygulanarak sahneye gönderilen bir desen,

(x, y) konumundaki bir piksel için analiz edilmiş ve piksele yatay ve dikey doğrultuda ayrı ayrı atanacak olan eşsiz (u, v) kodunun i . biti belirlenmiş olur: [50]

$$p = \max \left(I_{i,d,e,n}(x, y) - I_{i,d,e,r}(x, y) \right), \forall e \in E \quad (2.21)$$

$$C_{i,d}(x, y) = \begin{cases} 1, & p > T \\ 0, & p \leq T \end{cases} \quad (2.22)$$

Burada d , yatay veya dikey doğrultuyu; T , eşik değeri; E , kullanılan kamera açıklık süreleri kümesini; n ve r sırayla desenin kendisini ve tersini temsil etmektedir.

Sahnenin tüm görüşlerinin tüm pikselleri için; düşey desenlerin analizi sonucu u , yatay desenlerin analizi sonucu v kodları atandıktan sonra; sağ ve sol görüşleri için aynı koda sahip olan her bölgenin, sahnedeki aynı bölgenin farklı görüntüleri olduğu kabul edilerek görüntülerde sahne bölgeleri eşleştirilmiş olur. Eşleştirilen her sahne bölgesinin orta noktalarının kayma miktarı, bu bölge için fark değeri olarak kabul edilir. Bir sahne bölgesinin orta noktasının kayma miktarı şu şekilde bulunabilir: [50]

$$c = \sum_{(x,y) \in \omega_k} 1 \quad (2.23)$$

$$x_{m,k} = \frac{\sum_{(x,y) \in \omega_k} x}{c} \quad (2.24)$$

$$y_{m,k} = \frac{\sum_{(x,y) \in \omega_k} y}{c} \quad (2.25)$$

$$D = \sqrt{(x_{m,sol} - x_{m,sağ})^2 + (y_{m,sol} - y_{m,sağ})^2} \quad (2.26)$$

Burada k , sağ veya solu ifade eden bir değişken; ω_k , bölgenin sağ veya sol kameradan elde edilmiş görüntüsünde tüm piksellerinin bulunduğu koordinatlar kümesi; c , bu koordinatlar kümesinin eleman sayısı; $x_{m,k}$ ve $y_{m,k}$ sırasıyla bölgenin orta noktasının x ve y koordinatları; D , sağ ve sol görüntüde elde edilen orta noktaların arasındaki mesafeyi göstermektedir.

Birden fazla projeksiyon cihazı kullanılması durumunda sahnedeki yanlış eşleşmelerin düzeltilebileceği ve ayrıca ışıklandırma fark değeri hesabı ile daha

doğru sonuç elde edilebilecektir. Fakat bu tezin deney düzeneğinde tek projeksiyon cihazı kullanıldığından dolayı bu konu daha ayrıntılı anlatılmayacaktır.

3. ODAKTAN ŞEKİL METOTLARI

Görüntülerin bulanıklık miktarları kullanılarak derinlik bulunabileceğinden bahsedilebilmesi için öncelikle elde edilecek görüntülerin açık diyaframlı bir lens ile elde edildiği bilinmelidir. Bu durumda basit optik kuralları ve ışığın kırılma özelliğinden faydalanılarak görüntülerin her bir noktası için bulunacak olan bulanıklık değerleri ve görüntünün elde edildiği kameranın odak uzaklığı değerleri derinliğe dönüştürülebilmektedir. Perspektif kamera modeli ile elde edilen bir görüntüde tüm noktalara birden odaklanılmış gibi görünmekte olduğundan bulanıklık çok düşük olmakta, o nedenle bu model burada kullanılamamaktadır. Bunun yerine açık diyaframlı lensli bir kamera modeli kullanılmaktadır.

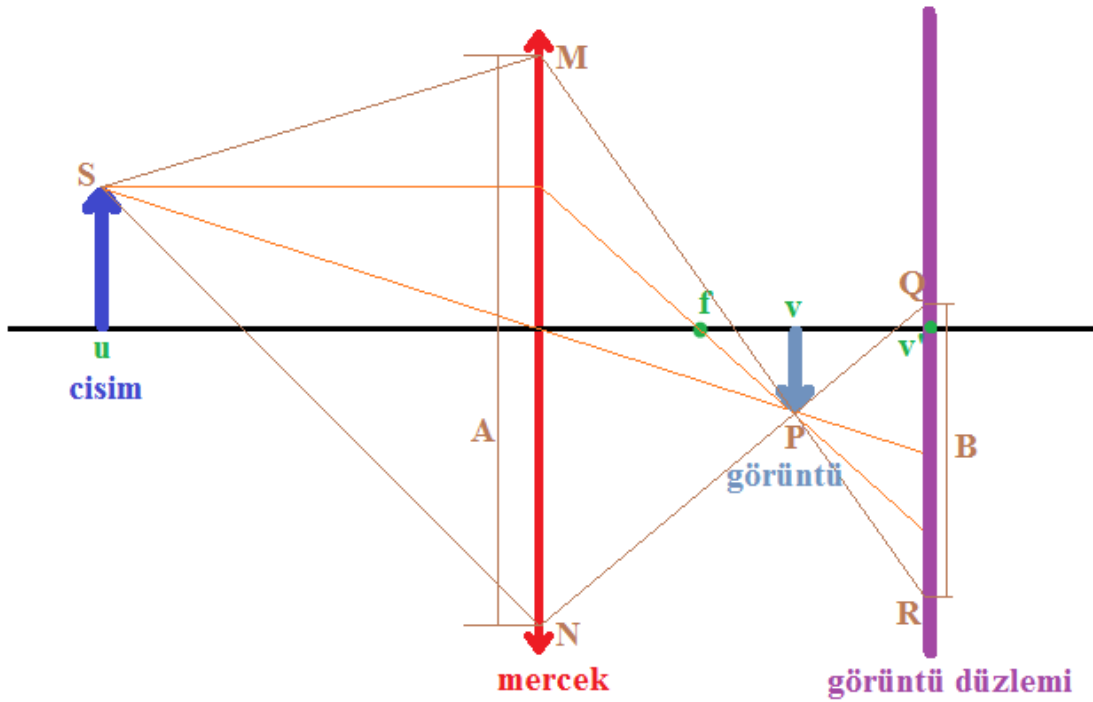
3.1 İDEAL LENSLİ KAMERA MODELİ

İdeal mercek kullanılan bir kameraya, herhangi bir noktadan gelen ışının uzantısı odak noktasına doğru kırılarak yoluna öyle devam edecektir. f odak uzaklığı, u noktanın ve v görüntünün optik eksenindeki konumu olmak üzere, bu kırılma işlemi matematiksel olarak şöyle ifade edilmiştir [6]:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v} \quad (3.1)$$

Görüntü düzleminin tam olarak P noktasının bulunduğu düzlem olduğu sahne noktaları için kamera tarafından bu noktalara çok iyi odaklanıldığı, P noktasından uzakta olduğu noktalar için ise bu noktalara iyi odaklanılmadığı söylenebilir. İyi odaklanılmamış sahne bölgelerinde Şekil 3.1'de görülebileceği gibi B bulanıklık bölgesi oluşacaktır. Kamerada görüntü düzlemi ile mercek arasındaki mesafe sabitken odak uzaklığını değiştirmek, odak uzaklığı sabitken görüntü düzleminin konumunu değiştirmekle eşdeğer sayılabilir. Görüntü düzlemi ile merceğin paralel olma özelliği kullanılarak $NMP \sim QRP$ benzerliğinden; B bulanıklık çapı ve A kamera açıklık uzunluğu olmak üzere, bulanıklık çapı hakkında şu eşitlik yazılabilir: (Şekil 3.1)

$$B = \frac{(v' - v)}{v} A \quad (3.2)$$



Şekil 3.1 İdeal mercekli kamera modeli

3.2 ODAKTAN ŞEKİL ELDE ETME YÖNTEMLERİ

Belirli sayıda odak ayarında aynı sahnenin farklı görüntülerinin elde edilmesi, bunların analiz sonucunun bir karar mekanizmasına devredilmesi ve her piksel için elde edilen odak ayarının derinlik haline dönüştürülmesi yöntemine odaktan şekil yöntemi denir. Bu yöntemde izlenilen yol, her bir piksel için pikselin en iyi odaklanmış görüntüsünün belirlenmesi ve bu görüntünün elde edildiği odak uzaklığının derinliğe dönüştürülmesi şeklinde özetlenebilir. Burada işlevsel olan işlem bir pikselin en iyi odaklandığı görüntünün anlaşılmasıdır. Bunun bulunabilmesi literatürdeki odak ölçüt operatörleri ile mümkündür. Odak ölçüt operatörü, kameranın herhangi bir görüntüdeki bir piksele odaklanma kalitesini ölçen fonksiyon olarak tanımlanabilir. Bir piksel için tüm odak ayarlarında odak ölçüt operatörü kullanılarak odak kaliteleri ölçüldükten sonra en iyi odaklanmış odak ayarı, odak kalitesi değerini en büyük yapan odak ayarı seçilerek bulunur.

$$f_i(x, y) = \arg \max_i (O\ddot{O}(x, y, i))$$

(3.3)

Burada $f_i(x, y)$, (x, y) koordinatlarındaki piksel için en iyi odaklanmış odak ayarı; $O\ddot{O}O(x, y, i)$, i . odak ayarı için (x, y) konumundaki pikselin odak ölçüt operatörü sonucunu göstermektedir. Son olarak elde edilen odak uzaklığı değeri, denklem (3.1)'de yerine yazılarak (x, y) konumundaki görüntü pikselinin kameraya uzaklığı bulunmuş olur.

3.3 ODAK ÖLÇÜT OPERATÖRLERİ

Bir görüntünün herhangi bir pikseline odaklanma kalitesini, pikselin etrafındaki bulanık piksellerin bulanıklık oranını hesaplayarak elde eden fonksiyonlara odak ölçüt operatörü denilmektedir. Literatürdeki birçok odak ölçüt operatörü, görüntünün bulanıklığını ölçerken çoğu zaman görüntünün frekans analizinden yararlanırlar. Görüntünün iyi odaklanmış bölgelerinde çoğunlukla yüksek frekanslı bileşenler bulunmaktadır. Frekans analizi ile görüntünün yüksek frekanslı bileşenleri belirlenebilir ve bu bileşenlerin buldukları bölgelere iyi odaklanıldığı kabul edilebilir.

Literatürde birçok farklı frekans analiz yöntemi ve daha farklı yöntemler kullanılan odak ölçüt operatörleri mevcuttur. Bu yöntemlerden bazıları şunlardır:

3.3.1 LAPLACE TOPLAMI

Görüntünün her iki yönde ayrı ayrı ikinci dereceden türevleri elde edildikten sonra ilgilenilen pikselin etrafında belirli boyutlarda bir pencere içerisindeki türev değerleri toplanarak bir odak ölçüt operatörü elde edilmiş olur [31].

$$OF_L = \sum_{(x,y) \in \Omega} \frac{d^2 I(x, y)}{dx^2} + \frac{d^2 I(x, y)}{dy^2} \quad (3.4)$$

3.3.2 DEĞİŞTİRİLMİŞ LAPLACE TOPLAMI

Laplace toplamında x ve y yönlerinde birbirinden bağımsız olarak değerlendirilmesi gereken türev değerleri zıt işaretli olduğunda birbirini olumsuz etkileyerek fonksiyonun yanlış sonuç vermesine neden olabilmektedir. Bu nedenle türev değerlerinin mutlak değerleri alınmaktadır. Ayrıca çok küçük değerlerin gürültü

olduğu varsayılarak sonucu değiştirmesinin engellenmesi için bir eşik değeri kullanılmıştır [43].

$$\nabla^2 I(x, y) = \left| \frac{d^2 I(x, y)}{dx^2} \right| + \left| \frac{d^2 I(x, y)}{dy^2} \right| \quad (3.5)$$

$$OF_{DLT} = \sum_{(x,y) \in \Omega} \nabla^2 I(x, y), \quad \nabla^2 I(x, y) > T \quad (3.6)$$

3.3.3 UYARLANABİLİR ODAKTAN ŞEKİL

Aydın ve Akgül[4] sahnenin tam odaklanılmış görüntüsünden yararlanarak özellikle cisim kenarlarında görülen kenar yayılması[42] probleminin çözümünü bir odak ölçüt operatörü olarak modellemiştir. Pencere içerisindeki iki pikselin arasındaki uzaklık aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\Delta d = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}, (x, y) \in \varphi(x_0, y_0) \quad (3.7)$$

Pikseller arası benzerlik değeri için de aşağıdaki formül kullanılır.

$$\Delta I_f = \sqrt{(I_f^r(x, y) - I_f^r(x_0, y_0))^2 + (I_f^g(x, y) - I_f^g(x_0, y_0))^2 + (I_f^b(x, y) - I_f^b(x_0, y_0))^2} \quad (3.8)$$

Pencere içerisindeki herhangi iki pikselin yakınlığı, aralarındaki uzaklık ve piksellerin benzerlik oranı ile ters orantılıdır.

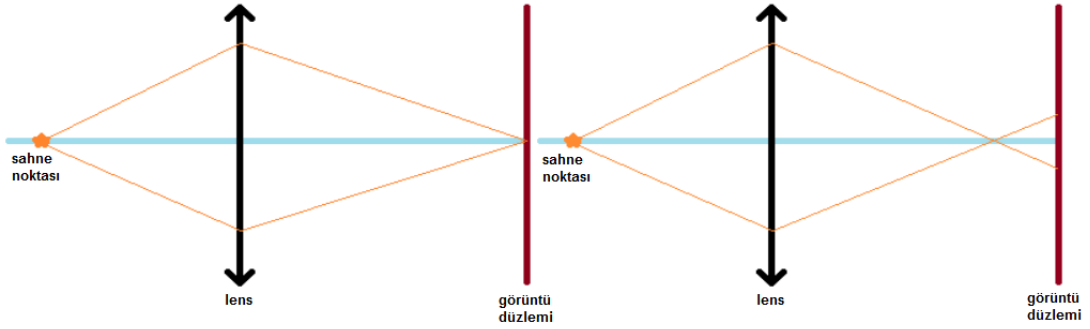
$$\omega_{x_0 y_0}(x, y) = e^{-\left(\frac{\Delta d}{\gamma_1} + \frac{\Delta I_f}{\gamma_2}\right)} \quad (3.9)$$

Penceredeki tüm pikseller için bu katsayılar matrisi hesaplandıktan sonra ilgili piksel için odak ölçütü şu şekilde hesaplanır.

$$AFM(x_0, y_0) = \sum_{(x,y) \in \varphi_{x_0, y_0}} \omega_{x_0 y_0}(x, y) FM(x, y) \quad (3.10)$$

4. HAREKETLİ AÇIKLIK SİSTEMİ VE GERÇEKLENMESİ

Literatürdeki odaktan şekil yöntemlerinin birçoğu, ideal lensli kamera modeli varsayımına dayanır. Bunun sonucunda gerçek bir noktanın görüntüdeki karşılığı olan bölgede; o noktaya odaklanılma kalitesine bağlı olarak, teorik olarak noktanın etrafında her yöne doğru yaklaşık olarak eşit miktarda (bulanıklık yarıçapı) bir bulanıklık mevcut olur. (Şekil 4.1)



Şekil 4.1 Basitleştirilmiş ideal lensli kamera modeli

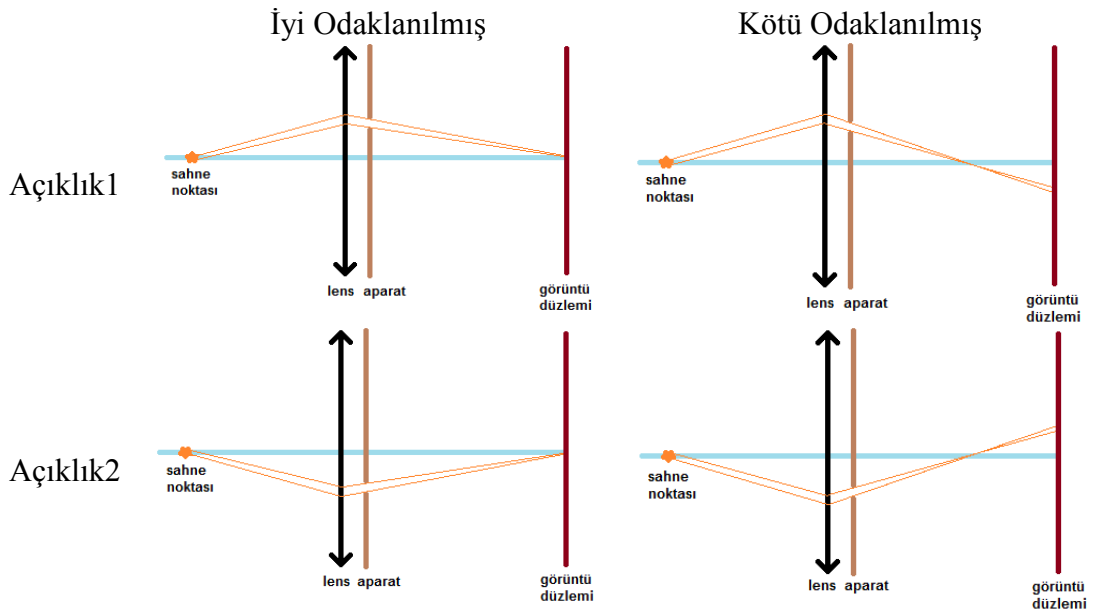
Klasik görüntü oluşum modelinde sahne noktasının elde edilen tek bir görüntüsü olmaktadır. Bu modele göre tam olarak odaklanmış bir bölgenin görüntüsü net, iyi odaklanılmamış bölgelerin görüntüsü ise bulanık oluşmaktadır. Literatürdeki Odaktan Şekil yöntemleri bu model kullanılarak elde edilen görüntü(ler) üzerinde önceki bölümlerde anlatılan çeşitli işlemleri uygulayarak sahnenin derinlik haritasını elde ederler.

Hasinoff ve Kutulakos [19], ideal lensli kameranın açıklığının büyütülüp küçültülerek ve açıklık konumu değiştirilmeden, açıklığın şekli değiştirilerek elde edilen görüntüler kullanılarak derinlik haritalarının daha az hatayla bulunabileceğini göstermiştir. Zhou et al. [65] tarafından, iki adet farklı kamera açıklığı kullanılarak derinlik elde edilmesi için Levin et al. [33] tarafından da kullanılan kodlanmış açıklık sisteminde açıklığın şekli optimize edilerek oldukça iyi sonuçlar elde edilebileceği gösterilmiştir. Bu çalışmaların tamamı kodlanmış iki adet açıklık kullanımına dayanmakta olup, açıklık kenarlarından dolayı oluşması muhtemel bulanıklıkların giderilmesi için ise literatürde yeterli çalışma yapılmamıştır.

Tez konusunun hareketli açıklık kullanılarak derinlik haritası bulmak olması nedeniyle; farklı hareketli açıklık sistemlerinin analizi veya incelenmesinden ziyade, sınırsız sayıda açıklık kullanılabilen bir hareketli açıklık sisteminin çeşitli yöntemler kullanılarak derinlik haritası bulunması amacıyla kullanılması konusuna odaklanılmıştır. Bununla birlikte; çok sayıda farklı kamera açıklıklarının kullanılması ile elde edilen görüntülerin, açıklık kenarlarının bulanıklık analizinde de ayrıca kullanılabilceği tahmin edilmektedir.

4.1 HAREKETLİ AÇIKLIK KAMERA MODELİ

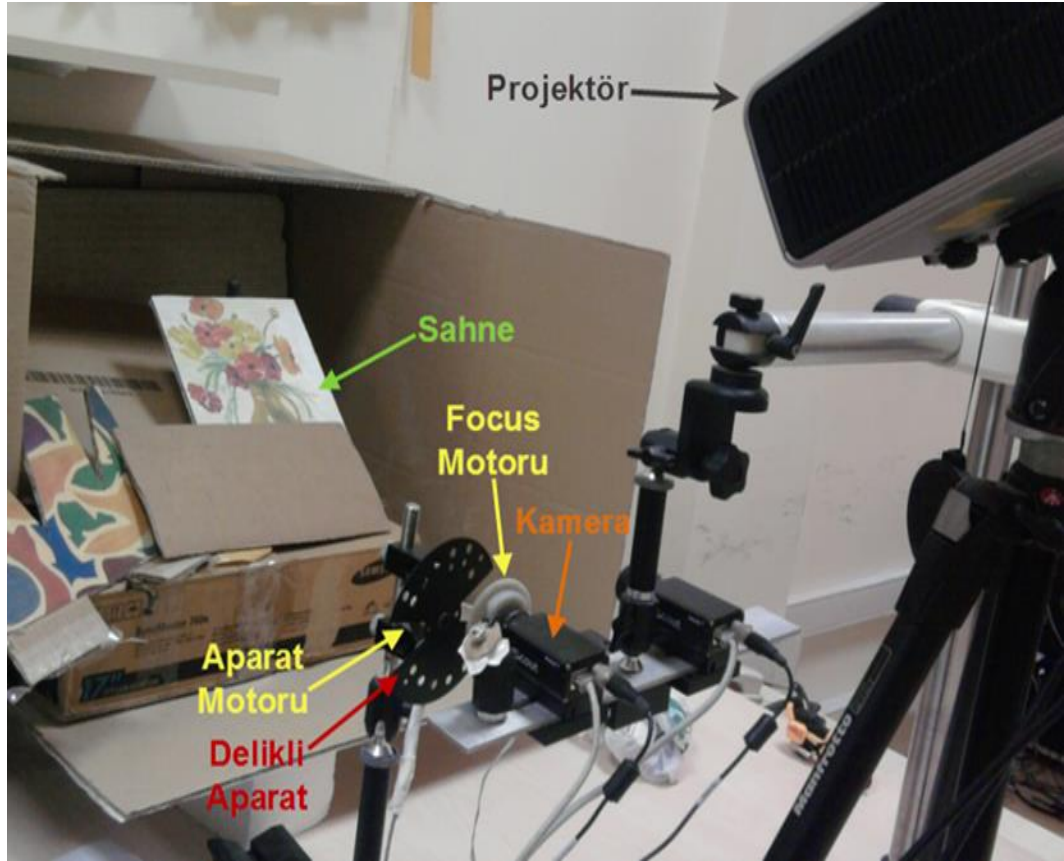
Hareketli açıklık kamera modeli, ideal lensli bir kamera ve önünde bir adet açıklık sisteminden oluşmaktadır. Bu açıklık sistemi yardımıyla kamera açıklığının konumu ve boyutu değiştirilerek aynı sahnenin farklı açıklıklardan elde edilmiş görüntülerinde iyi odaklanmış bölgelerin görüntülerinin yer değiştirmesi çok az veya hiç olmamakta, kötü odaklanmış bölgenin görüntüleri ise açıklığın konumuna bağlı olarak bir miktar yer değiştirmektedir. Açıklığın hareketi, bölgeye kötü odaklanıldığı takdirde bölgenin görüntüsünün görüntü düzlemi üzerinde farklı piksellerde oluşmasına neden olmaktadır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 Hareketli açıklık kamera modeli

4.2 SİSTEM DÜZENEGİ

Hareketli açıklık kamera modelinin uygulanabilmesi için kameranın içerisine ya da dışına görüntüyü engelleyici ve hareketli bir aparat sistemi yerleştirilmesi gerekmektedir. Bu tezdeki tüm deneylerde kullanılan deney düzeneği Şekil 4.3'de görülmektedir.

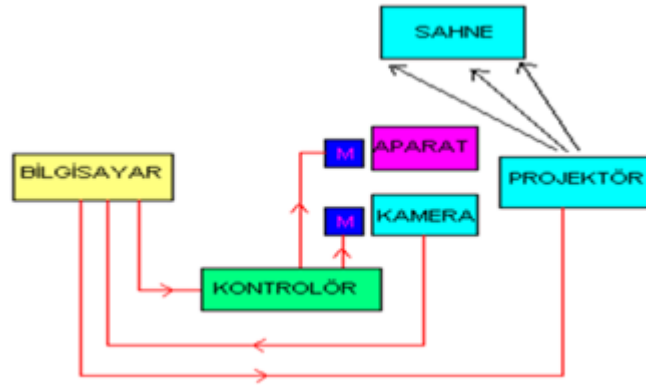


Şekil 4.3 Deney düzeneği

Kamera ile tüm açıklıkların kullanılabilmesi amacıyla delikli aparat-aparat motoru sistemi oluşturulmuş ve kameranın önüne yerleştirilmiştir. Delikli aparatın üzerinde bulunan delikler, aparat motoru yardımıyla sırayla kameranın önüne getirilerek her bir odak ayarı ve delik için resim çekme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu sırada kameranın ya da sahnedeki herhangi bir nesnenin hareket etmesi istenmemektedir. Bu amaçla kamera için bir sabitleme düzeneği kullanılmıştır.

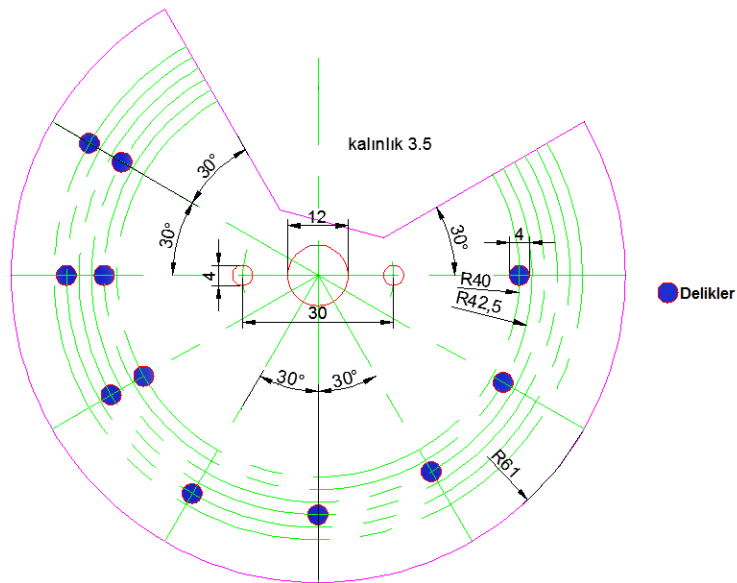
Kameranın odak ayarının program ile değiştirilebilmesi amacıyla da odak ayarının üzerine büyük bir dişli yerleştirilip bu da başka bir motora (focus motoru)

bağlanmıştır. Bu step motorların kontrol edilebilmesi, önceden hazırlanmış bir kontrol kartı ile mümkün olmuştur. Motorların kontrolü seri porttan yapılmakta olup; kameralar switchera, switcher da ethernet portuna bağlıdır. Kullanılan kameranın çözünürlüğü 640x480 ve projeksiyon cihazının çözünürlüğü 1024x768'dir.



Şekil 4.4 Kullanılan sistemin şeması

Tam odaklanılmış görüntünün elde edilmesi sırasında kameranın açıklığı mümkün olduğu kadar kısılmakta, teorik olarak ışık ışınları sadece bir noktadan geçecek şekilde getirilmesi gerekmektedir. (Bkz. Perspektif Kamera Modeli) Bu şekilde elde edilen görüntüde tüm piksellere iyi odaklanılmış gibi görünmektedir. Daha sonra kameranın açıklığı düzeltilerek deneye özgü diğer görüntülerin elde edilmesi işlemine başlanmaktadır.



Şekil 4.5 Kullanılan hareketli aparatın BDT projesi

Kullanılan düzenekteki delikli aparat üzerinde, aralarında eşit uzaklık bulunan 8 farklı açısal koordinatta delikler bulunmaktadır. Aparat motoru ile aparat döndürülerek bu deliklerin otomatik olarak sırasıyla kameranın önüne gelmesi sağlanmıştır. Kullanılan aparat motorunun adım açısı 30 dereceden çok küçük olduğundan dolayı Şekil 4.5’de şematik olarak görülen delikler, sabit olan kameranın önüne birbirinden oldukça farklı pozisyonlarda gelmekte ve bu sayede birçok farklı kamera açıklığı kullanılarak görüntüler elde edilmektedir. Bu sistem kullanılarak tam olarak 78 farklı kamera açıklığı elde edilmiştir. Bu kamera açıklıkları kullanılarak elde edilen görüntülerin analizi için geliştirilen yöntemler ilerleyen bölümlerde anlatılmaktadır.

5. HAREKETLİ AÇIKLIKLA RASTGELE DESEN EŞLEŞTİRME

Hareketli açıklık kullanılarak elde edilen görüntülerde bölgelere odaklanma kalitesine bağlı olarak bölgeler kaymaktadır. Sahne noktalarının farklı görüntülerde eşleştirilmesi, bu kaymanın ölçülebilmesi konusunda akla gelen en kestirme yöntemlerden birisidir. Fakat bu eşleştirme, üzerinde çok az desen bulunan veya desen bulunmayan yüzeylerin görüntülerinde başarısız olacaktır. Bunun nedeni sahneden elde edilecek görüntüde birbirine yakın olan piksellerin birbirine çok benzemesi ve bu nedenle eşleştirme yöntemlerinin başarısız olmasıdır.

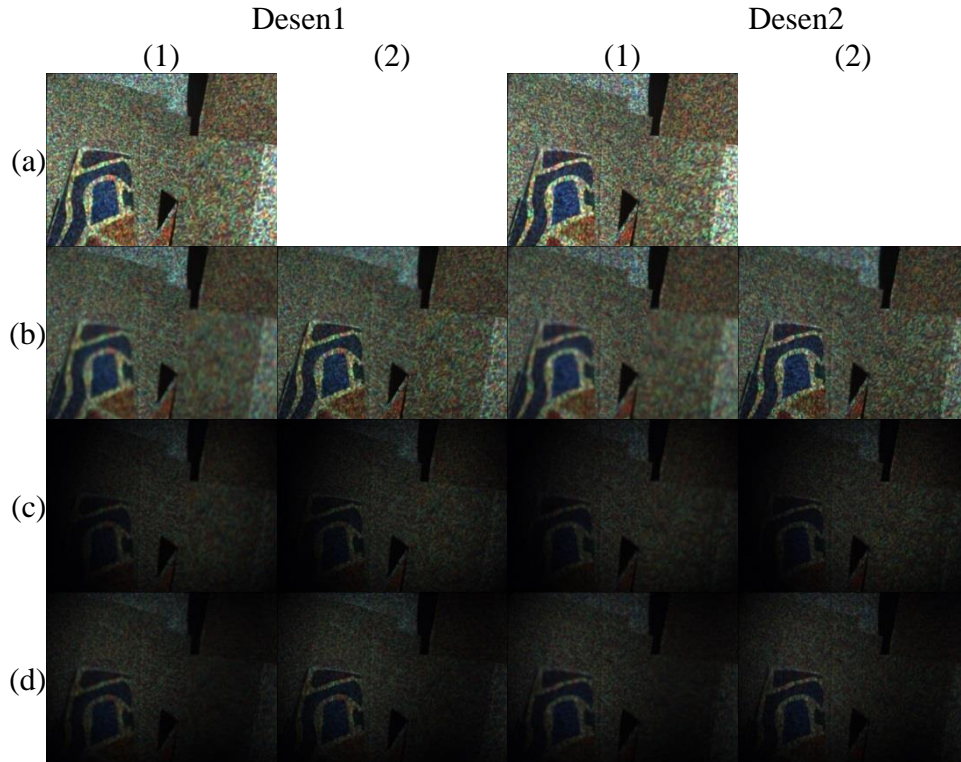
Eşleştirme yöntemleri bilindiği gibi bir pikselin etrafındaki bölgeyi başka bir pikselin etrafındaki daha büyük bir pencere içerisinde arayarak, o bölgeye en benzer bölgenin bulunması şeklindedir. Bu yöntemlerin başarısız olma nedeni eşleştirme yapılacak olan etraftaki tüm bölgeler birbirine benzer olması, dolayısıyla birer benzerlik ölçme fonksiyonu olan eşleştirme fonksiyonlarının bu birbirine çok benzer olan bölgelerden hangisini seçeceğine karar vermekte zorlanmasıdır. Bu problemi aşmak için Desjardins[11] ve Payeur[45] sahneye rastgele kodlanmış renkli desenler üretmek için sahneye rastgele kodlanmış renkli desenler üretmek ve karşılaştırılacak görüntüleri bu şekilde elde etmektedir. Bu sayede sahnede desensiz yüzeylerin sayısı azaltılmakta, eşleştirme hatalarının en büyük nedenlerinden birisi ortadan kalkmaktadır.

Geliştirilen yöntem kullanılarak sonuç elde edilmesi için sırasıyla şu işlemlerin yapılması gerekmektedir:

- 1) Öncelikle sahneye yansıtılmak üzere rastgele k adet rastgele desen üretilir. Desende birbirinden farklı dikdörtgensel bölgelerin herbirinin boyutları aynı ve yeterince küçük olması uygundur (2 veya 3 piksel büyüklüğünde olması durumunda iyi sonuçlar alınmıştır). Aksi takdirde desen üzerindeki büyük ve aynı renkteki bölgeler sahnenin, bölge boyunca aynı renge sahip bir bölgesine yansıtıldığında oluşan görüntünün eşleştirilmesi de zor olmaktadır. Diğer taraftan çok küçük desen bölgeleri oluşturulması da sahnenin çok mat olmasına neden olmakta ve desen sahne üzerinde seçilemediğinden sahnenin

desensiz bölgeleri desen yollarından yeterince etkilenememekte ve bu nedenle sonuç yeterince değişmemektedir.

- 2) Her odak ayarı ve açıklık için, tüm desenler sahneye ayrı ayrı yansıtılarak görüntüler elde edilir.
- 3) Elde edilen görüntüler tam odaklanmış görüntüleri ile eşleştirilir. Bu eşleştirme sırasında klasik eşleştirme yöntemlerinden NEÇİ'nin birden çok görüntüyü aynı anda eşleştirebilen geliştirilmiş hali olan NEÇİ3B kullanılmıştır. Bu eşleştirme yöntemi, (x, y) koordinatındaki bir pikselin her desen kullanılarak ayrı ayrı elde edilen görüntüsünün etrafındaki bir pencere içerisindeki pikselleri, tam odaklanmış görüntülerinin aynı boyutlu pencere etrafındaki pikselleri ile benzerliğini ölçerek, en benzer pikseli seçmektedir.
- 4) Eşleştirme hatası yeterince az olan yerlerin tam odaklanmış görüntüsündeki konumlarından kayma miktarları bir odak ölçüt operatörü olarak kullanılır ve derinlik haritası elde edilir.



Şekil 5.1 İki örnek desenin sahneye yansıtılması ile oluşan örnek görüntüler. (a) tam odaklanmış, (b) hareketli açıklık kullanılmadan, (c) 13 numaralı açıklık kullanılarak, (d) 44 numaralı açıklık kullanılarak, (1) 0 no'lu odak ayarında, (2) 22 no'lu odak ayarında elde edilmiş görüntüler.

5.1 NEÇİ3B

Literatürdeki eşleşme fonksiyonlarından biri olan Normalize Edilmiş Çapraz İlinti (NEÇİ), iki adet renkli veya siyah-beyaz görüntünün benzerlik oranını bulmada kullanılabilir. Aynı sahnenin birden fazla değişik desenler yansıtılarak çekilmiş görüntülerinin tamamının, iki farklı görüntü kümesi için benzerliği hesaplanmak istenmiş olduğundan; yöntem bazda eklemeler yapılması gerekmiştir. NEÇİ3B yönteminin amacı, farklı desenler kullanılarak elde edilen k elemanlı iki farklı görüntü kümesinin eşleşme olasılığı olan iki farklı nokta etrafında $w \times h$ boyutlu birer pencere içerisindeki piksellerin tüm renk kanalları ve desenleri kullanarak bu penceredeki piksellerin toplam benzerlik oranını bulmaktır. Bu benzerlik oranı eşleşme olasılığı olan diğer noktalar için de bulunduktan sonra; referans görüntü kümesinin eşleşmesi istenen noktası ile en iyi eşleşen noktanın koordinatı şu şekilde bulunabilir:

$$P_{eş}(x_{A_0}, y_{A_0}) = \underset{(x_{N_0}, y_{N_0}) \in \varphi}{\operatorname{argmax}} NEÇİ3B(x_{N_0}, y_{N_0}, x_{A_0}, y_{A_0}) \quad (5.1)$$

Burada A referans görüntü kümesini, N eşleştirilmek istenen görüntü kümesini, (x_{A_0}, y_{A_0}) eşleştirilmesi istenen tam odaklanmış referans noktasını temsil etmektedir. Noktanın eşleştirilebilmesi için etrafında $w \times h$ boyutlu bir ω penceresi tanımlanmıştır. Eşleştirilecek olan diğer görüntü kümesinde; ω penceresi ile eşit boyutta fakat merkezi bir miktar kaydırılarak (x_{N_0}, y_{N_0}) noktasına getirilmiş olan φ pencereleri tanımlanır. ω ve φ pencereleri üzerinde x yönünde t_x ve y yönünde t_y piksel eş zamanlı hareket edildiğinde şu konumlara erişilir:

$$x_N = x_{N_0} + t_x \quad (5.2)$$

$$y_N = y_{N_0} + t_y \quad (5.3)$$

$$x_A = x_{A_0} + t_x \quad (5.4)$$

$$y_A = y_{A_0} + t_y \quad (5.5)$$

Görüntü kümelerinin kırmızı, yeşil, mavi renk kanallarından her birisi için herhangi bir (x,y) koordinatındaki farklı desenler kullanılarak elde edilmiş görüntüler için ortalama renk yoğunluğu şu şekilde bulunur:

$$\mu_{N,r}(x, y) = \frac{\sum_{p=1}^k N_{p,r}(x, y)}{k} \quad (5.6)$$

$$\mu_{A,r}(x, y) = \frac{\sum_{p=1}^k A_{p,r}(x, y)}{k} \quad (5.7)$$

Pencerenin içindeki tüm pikseller için tüm renk kanalları ve tüm desenleri kullanarak (x_{N_0}, y_{N_0}) ve (x_{A_0}, y_{A_0}) arasındaki benzerlik oranı aşağıdaki gibi elde edilir:

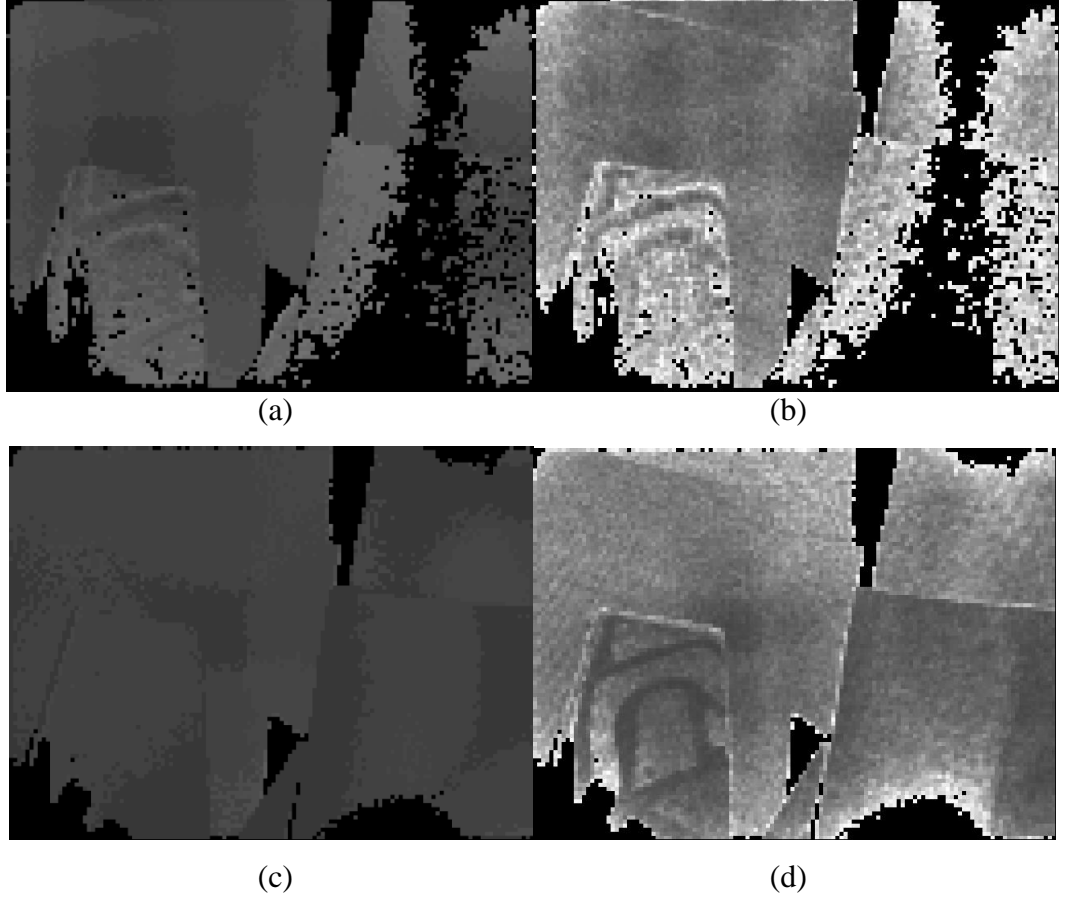
$$S_{NA} = \sum_{t_x=0}^{w-1} \sum_{t_y=0}^{h-1} \sum_r \sum_{p=1}^k (N_{p,r}(x_N, y_N) - \mu_{N,r}(x_N, y_N))(A_{p,r}(x_A, y_A) - \mu_{A,r}(x_N, y_N)) \quad (5.8)$$

$$S_{N^2} = \sum_{t_x=0}^{w-1} \sum_{t_y=0}^{h-1} \sum_r \sum_{p=1}^k (N_{p,r}(x_N, y_N) - \mu_{N,r}(x_N, y_N))^2 \quad (5.9)$$

$$S_{A^2} = \sum_{t_x=0}^{w-1} \sum_{t_y=0}^{h-1} \sum_r \sum_{p=1}^k (A_{p,r}(x_A, y_A) - \mu_{A,r}(x_N, y_N))^2 \quad (5.10)$$

$$NE\check{C}i3B(x_{N_0}, y_{N_0}, x_{A_0}, y_{A_0}) = \frac{S_{NA}}{\sqrt{S_{N^2} S_{A^2}}} \quad (5.11)$$

Görüntülerin tam odaklanılmış görüntüsü ile eşleştirilmesinin sonucunda eşleştirme hatası ve eşleştirilen noktanın tam odaklanılmış noktasından kayma miktarı belirlenmiş olur. Şekil 5.2’de örnek iki farklı açıklık-odak ayarı ile tam odaklanılmış görüntüleri arasında NEÇİ3B yöntemi kullanılarak bulunan en iyi eşleştirmelerin hata oranları ve kayma miktarları haritası görülmektedir. Bu kayma miktarları ve eşleşme hata oranları kullanılarak kayma miktarı odak ölçüt operatörü geliştirilmiştir.



Şekil 5.2 Görüntülerin farklı odak ayarları ve açıklıklarda NEÇİ3B kullanılarak elde edilen kayma miktarları ve hata oranları. (a, b) 0 numaralı odak ayarı ve 44 numaralı açıklık için kayma miktarı ve hata haritaları, (c, d) 23 numaralı odak ayarında aynı açıklık için kayma miktarı ve hata haritaları.

5.2 KAYMA MİKTARI ODAK ÖLÇÜT OPERATÖRÜ

Sahneye yollanan desenlerin tam odaklanılmış görüntüsü ile eşleştirilmesi ile düşük hataya sahip olan eşleştirmenin belirlenmesi sonucunda, kötü odaklanılmış durumda her açıklık için tam odaklanılmış görüntüsündeki noktanın farklı konumlarda bulunduğu görülmüştür. Dolayısıyla bir noktanın bir odak ayarı için toplam kayma miktarı, o noktaya odaklanma kalitesi ile ters orantılıdır. Bundan yola çıkılarak, tüm açıklıklardaki bu eşleşen noktalar arasındaki uzaklık değerleri toplanarak her odak ayarı için bu noktanın toplam kayma miktarı belirlenerek elde edilen fonksiyon bir odak ölçüt operatörü olarak kullanılabilir. Şekil 5.2'de noktanın tam odaklanılmış ayarındaki konumundan kayma miktarlarının, aynı kamera açıklığından iki farklı odak ayarında elde edilmiş görüntüler üzerinde kullanılmasının sonucu görülebilmektedir. Karanlık bölgeler az kayma olduğunu,

parlak bölgeler daha çok kayma olduğunu belirtmektedir (Şekil 5.2a ve c). Ayrıca en iyi eşleşmeden elde edilen hata oranları da Şekil 5.2b ve Şekil 5.2d'de görülmektedir.

KMOÖO'nün (x, y) koordinatındaki ve f odak ayarındaki bir görüntü pikseli için matematiksel ifadesi şu şekilde yazılabilir:

$$KMOÖO(x, y, f) = \sum_{a=1}^{n_a} d_{x,y}(I_{f,a}, I_{allf}) \quad (5.12)$$

Burada n_a toplam açıklık sayısını, $I_{f,a}$ f odak ayarı ve a açıklık numaralarına sahip görüntü, I_{allf} tam odaklanmış görüntüsü ve $d_{x,y}(I_{f,a}, I_{allf})$ bu görüntülerin (x, y) noktası etrafında eşleştirilmesi ve eşleşen bölgenin görüntü düzleminde koordinatının (x, y) koordinatına uzaklığını göstermektedir.

Elde edilen kayma miktarları çoğu zaman birçok nedenden dolayı yeterince doğru olamamaktadır. Hata oranını bir miktar azaltabilmek için ve bir sonraki bölümde anlatılacak olan sahne bölütleme yöntemi ile uyumlu ve birleştirilebilir bir yöntem olması için yöntem sonradan biraz daha geliştirilmiştir. Sahne bölütleme yönteminde elde edilen tam odaklanmış bölütlerinden herbirinin bulunduğu tüm pozisyonlardaki piksellerin odak ölçüt operatör sonuçları şu şekilde birleştirilerek her bölüt için son odak ölçüsü belirlenmiş olur:

$$KMOÖO_{son}(B, f) = \sum_{(x,y) \in B} KMOÖO(x, y, f) \quad (5.13)$$

Burada B sahne bölütleme yönteminde elde edilen bölütlerden birini, f odak ayarını, (x, y) bölütteki her bir pikselin koordinatını, $KMOÖO(x, y, f)$ de bu koordinat ve bu odak ayarında Kayma Miktarı Odak Ölçüt Operatörü'nün sonucunu göstermektedir.

5.3 DESENLİ DEĞİŞTİRİLMİŞ LAPLACE TOPLAMI:

Klasik DLT yönteminin, renkli desenlerin sahneye yansıtılması ile ideal mercekli kamera modeli kullanılarak elde edilen görüntüler analiz edilerek (x, y) koordinatında bulunan bir piksel için elde edilen sonuçlar şu şekilde birleştirilebilmektedir:

$$DDL T(x, y, f) = \sum_p DLT(I_{f,p}, x, y) \quad (5.13)$$

Burada p , desen indisini; f , odak ayarını; $I_{f,p}$ belirtilen desen ve odak ayarında elde edilmiş görüntüyü; $DLT(I_{f,p}, x, y)$, (x, y) konumundaki pikselin Desenli Değiştirilmiş Laplace Toplamı değerini göstermektedir.

5.4 İKİNCİ DERECEDEDEN EĞRİ UYDURMA

Odak Ölçüt Operatörlerinin karakteristik özelliği, tek bir minimum yada maksimum noktasının bulunmasıdır. Oysa operatörler gerçek dünya uygulamalarında kullanılırken bir takım problemler oluşmakta ve bu nedenle beklendiği gibi tek bir minimum veya maksimum nokta olmayabilmektedir. İkinci dereceden herhangi bir polinom istenen şartı sağlayabilmektedir. Dolayısıyla herhangi bir odak ölçüt operatörü fonksiyonu ikinci dereceden bir polinoma en az hatayla dönüştürülerek daha sağlıklı bir odak ölçüt operatörü elde edilebilmektedir.

Bu amaçla herhangi bir nokta dizisindeki noktalara en uygun, diğer bir deyişle hata oranı en düşük ve $y = ax^2 + bx + c$ formunda olan fonksiyonun a , b ve c parametreleri belirlenmelidir. Nokta dizisinin eleman sayısı N , i . elemanın x koordinatı x_i ve y koordinatı y_i olmak üzere, bu parametreler aşağıda verilen formüller kullanılarak hesaplanabilmektedir:

$$S_x = \sum_{i=1}^N x_i \quad (5.14)$$

$$S_{x^2} = \sum_{i=1}^N x_i^2 \quad (5.15)$$

$$S_{x^3} = \sum_{i=1}^N x_i^3 \quad (5.16)$$

$$S_{x^4} = \sum_{i=1}^N x_i^4 \quad (5.17)$$

$$S_y = \sum_{i=1}^N y_i \quad (5.18)$$

$$S_{xy} = \sum_{i=1}^N x_i y_i \quad (5.19)$$

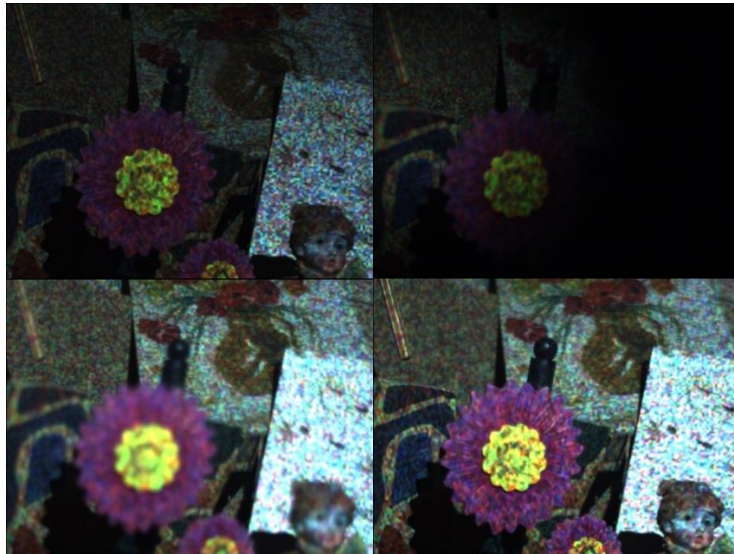
$$S_{x^2y} = \sum_{i=1}^N x_i^2 y_i \quad (5.20)$$

$$a = \frac{S_{x^2y} - \frac{S_{x^2}S_y}{N} - \frac{(S_{xy} - \frac{S_x S_y}{N})(S_{x^3} - \frac{S_x S_{x^2}}{N})}{S_{x^2} - \frac{S_x S_x}{N}}}{S_{x^4} - \frac{S_{x^2}S_{x^2}}{N} - \frac{(S_{x^3} - \frac{S_{x^2}S_x}{N})^2}{S_{x^2} - \frac{S_x S_x}{N}}} \quad (5.21)$$

$$b = \frac{S_{xy} - \frac{S_x S_y}{N} - a(S_{x^3} - \frac{S_{x^2}S_x}{N})}{S_{x^2} - \frac{S_x S_x}{N}} \quad (5.22)$$

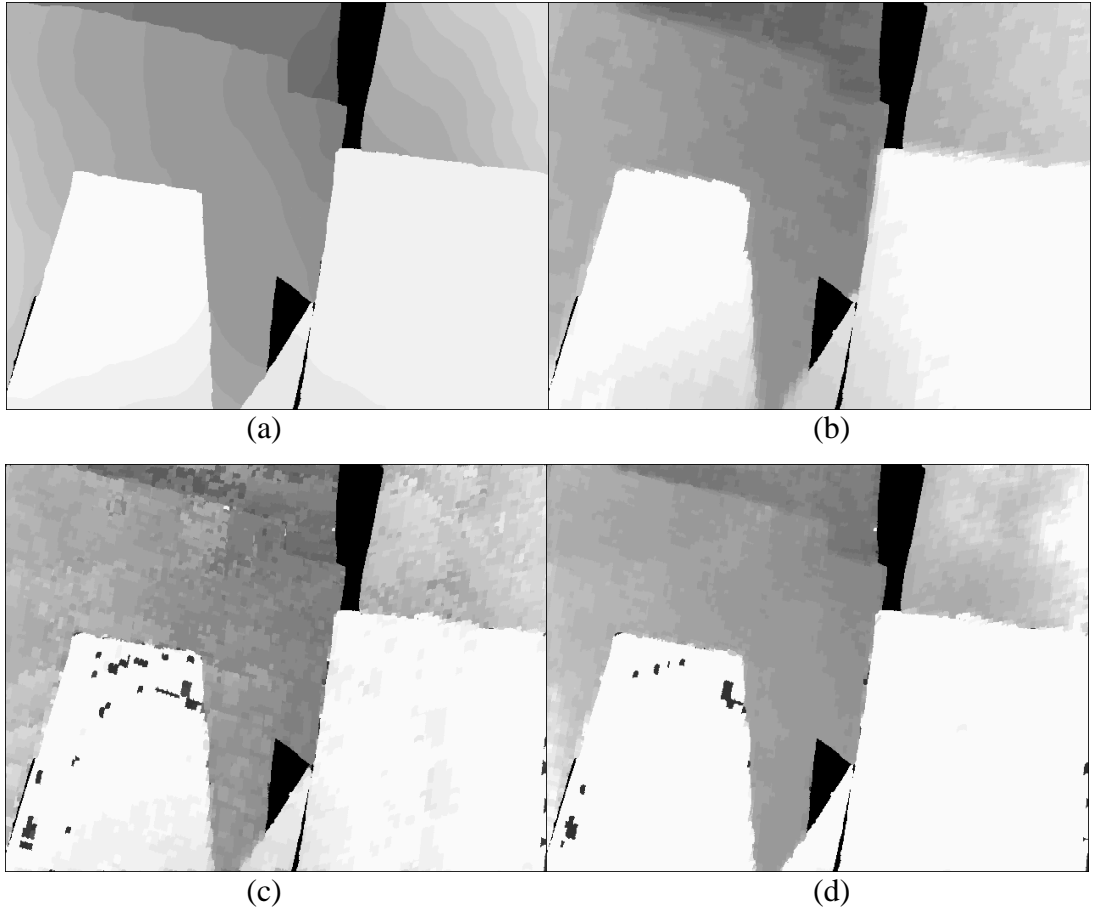
$$c = \frac{S_y - aS_{x^2} - bS_x}{N} \quad (5.23)$$

5.5 DENEYLER

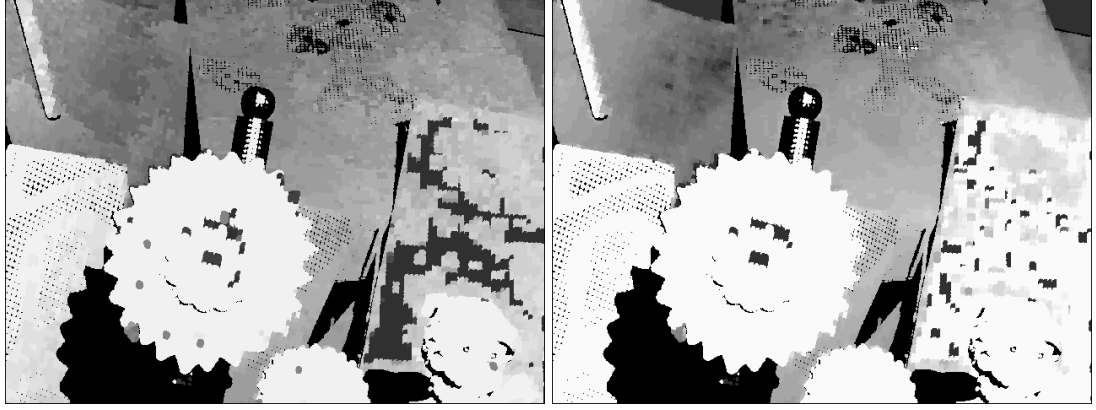


Şekil 5.3 Rastgele desenlerin Deney 2’de kullanılan sahneye yansıtılması ile oluşan görüntüler.

Sahneye projeksiyon cihazı yardımı ile rastgele desenlerin yollanması işlemi için öncelikle 15 adet rastgele ışık deseni belirlenmiştir. Desenlerin her biri 4x4 boyutlu küçük karelerden oluşmakta olup, birbirine komşu olan karelerin renklerinin birbirinden uzak olmasına ve renklerin parlak olmasına özen gösterilmiştir. Bu desenler daha sonra sırayla sahneye yansıtılmış, her açıklık ve odak ayarı için görüntüler elde edilmiştir. Deneylede toplam 62 adet farklı hareketli açıklık konumu ve 24 odak ayarında ayrı ayrı görüntüler elde edilmiştir. Tam odaklanılmış görüntüsü de elde edilerek bu görüntülerle eşleştirilmiştir. Bu eşleştirme işlemi sırasında kayma miktarı 5 pikselden fazla, ya da eşleşme hatası %0.1'den fazla olan pikseller ihmal edilmiştir. Elde edilen sonuçlar şekilde görülmektedir. Operatörün her odak için ürettiği sonuçlar, Bölüm 5.4'te anlatılan ikinci dereceden eğri uydurma işlemine tabi tutulmuş ve eğrinin tepe noktasının odak ayarının seçilmesiyle oluşan sonuçlar da şekilde görülmektedir.



Şekil 5.4 Rastgele desen ile KMOÖO ve eğri uydurma sonuçları (Deney 1). (a) Karşılaştırma için kullanılan referans derinlik haritası, (b) Ortalama DLT sonucu, (c) KMOÖO sonucu, (d) KMOÖO+Eğri Uydurma sonucu



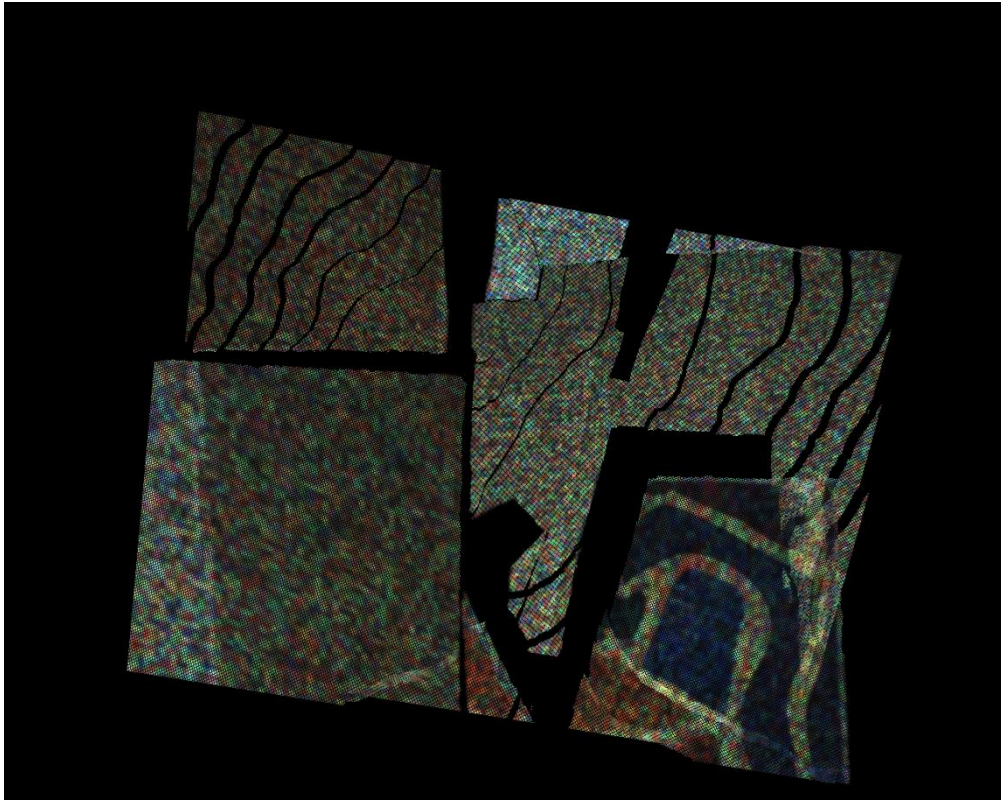
(a)

(b)

Şekil 5.5 Rastgele desen ile KMOÖO ve eğri uydurma sonuçları (Deney 2). (a) KMOÖO sonucu, (b) KMOÖO+Eğri Uydurma sonucu

Tablo 5.1 KMOÖO için hata oranları

Yöntem	Ortalama Hata Oranı (%)
DDLT	4.34285
KMOÖO	4.73463
KMOÖO + Eğri Uydurma	3.80800



Şekil 5.6 Sahnenin elde edilen 3B yapısı.

Kullanılan eşleştirme yönteminin hataları, piksel yoğunluğunun ve renk çözünürlüklerinin yetersizliği, açıklık kenarlarının orta bölgelere oranla daha az parlak olması ve bunun eşleştirme yönteminde hiçbir karşılığının olmayışı, resimde oluşan gürültüler, açıklığın tam odaklanılmış görüntüsünü sadece kaydırmayıp, aynı zamanda bir miktar büyütüp bükmesi gibi çeşitli nedenlerle sonuçlarda hatalar oluşabilmektedir. Kullanılan eğri uydurma yöntemi Şekil 5.4 ve Tablo 5.1’de görüldüğü gibi bu hataları oldukça azaltmıştır.

Yöntem uzak bölgelerde farklı renklere sahip nesnelerin bulunduğu bir sahne üzerinde denendiğinde daha büyük problemler ortaya çıkmıştır (Şekil 5.5). Bu problemlerin kaynağının, değişik renkli nesnelerin değişik renkli ışıkları farklı yansıtması olabileceği tahmin edilmektedir. Buna paralel olarak parlaklığın değişkenliği ve sonuç olarak görüntülerin eşleştirilmesinde karşılaşılan güçlük sonuçlara daha fazla hata olarak yansımıştır. Eğri uydurma yöntemi bu hataları azaltırken, hatası az olan bazı yerlerde hataların artmasına da neden olabilmektedir.

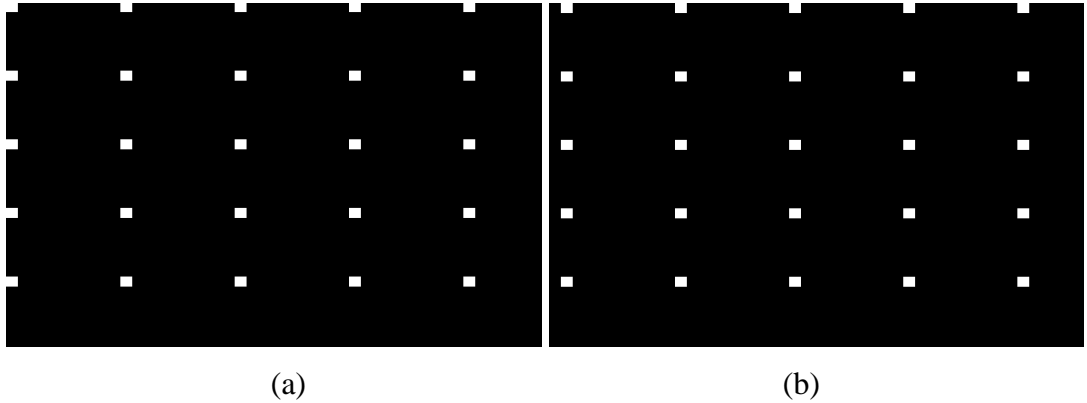
Sahneye gönderilen rastgele ışık desenlerinin analizi için herhangi bir kısıtlama olmadan literatürdeki herhangi bir eşleşme fonksiyonunun yönteme uyarlanıp kullanılabilme şansının bulunması, geliştirilen yöntem için önemli bir avantajdır. Farklı sahneler için farklı eşleşme fonksiyonlarının kullanılabilmesi mümkün olduğu gibi, hangi sahne için hangi fonksiyonun kullanılacağına karar vermek için dinamik programlama, makine öğrenmesi gibi mekanizmalar da geliştirilebilmesi mümkündür. Bununla birlikte sahneye gönderilen rastgele ışık desenlerinin optimizasyonu için yapılan çalışmalardan da yararlanılarak sonuçların daha da iyileştirilebileceği öngörülmektedir.

Yöntemde deneyler uzun zaman almakla birlikte, analiz işlemi ve sonuç almak daha uzun sürmektedir. Desen sayısı k , hareketli açıklığın pozisyon sayısı m , farklı odak uzaklığı sayısı f , tam odaklanılmış pencere boyutu $w_{allf} \times h_{allf}$, hareketli açıklık pencere boyutları $w_a \times h_a$, kamera çözünürlüğü $W \times H$ olmak üzere; kamera ile toplam elde edilmesi gereken görüntü sayısı $k(mf + 1)$ ve toplam uygulanması gereken eşleşme fonksiyonu sayısı yaklaşık olarak $mfWHw_{allf}h_{allf}(w_a - w_{allf})(h_a - h_{allf})$ kadardır.

6. HAREKETLİ AÇIKLIKLA SAHNE BÖLÜTLEME

Sahne noktalarının eşleştirilmesi için literatürde geliştirilmiş birçok yöntem olduğu gibi, yapılı ışık desenleri yollanarak bölgelerin doğrudan eşleştirilmesi için de pek çok yöntem mevcuttur. Yang et al. [62] dikdörtgensel ışık deseni kullanılarak sahne bölgelerinin eşleştirilebileceğini göstermiştir.

Görüntü elde etme işlemi sırasında hareketli açıklık kullanıldığında farklı odak ayarları için oluşan kaymanın anlaşılabilmesi ve birbirinden ayırt edilebilmesi amacıyla, sahneye dikdörtgensel ışık desenleri gönderilmektedir. Kullanılan desenin basitliği sayesinde, açıklığın değişimi ile oluşan problemler de azalmaktadır. Bu ışık desenlerinin sahneye gönderilmesi sonucunda oluşan görüntülerin farklı odak ayarlarında ve farklı açıklıklarda düzgün bir şekilde ayırt edilebilmesi gerekmektedir. Bu amaçla sahneden bağımsız olarak, sahneye yansıtılacak ışık desenleri için basit bir kaydırma sistemi tanımlanmıştır.

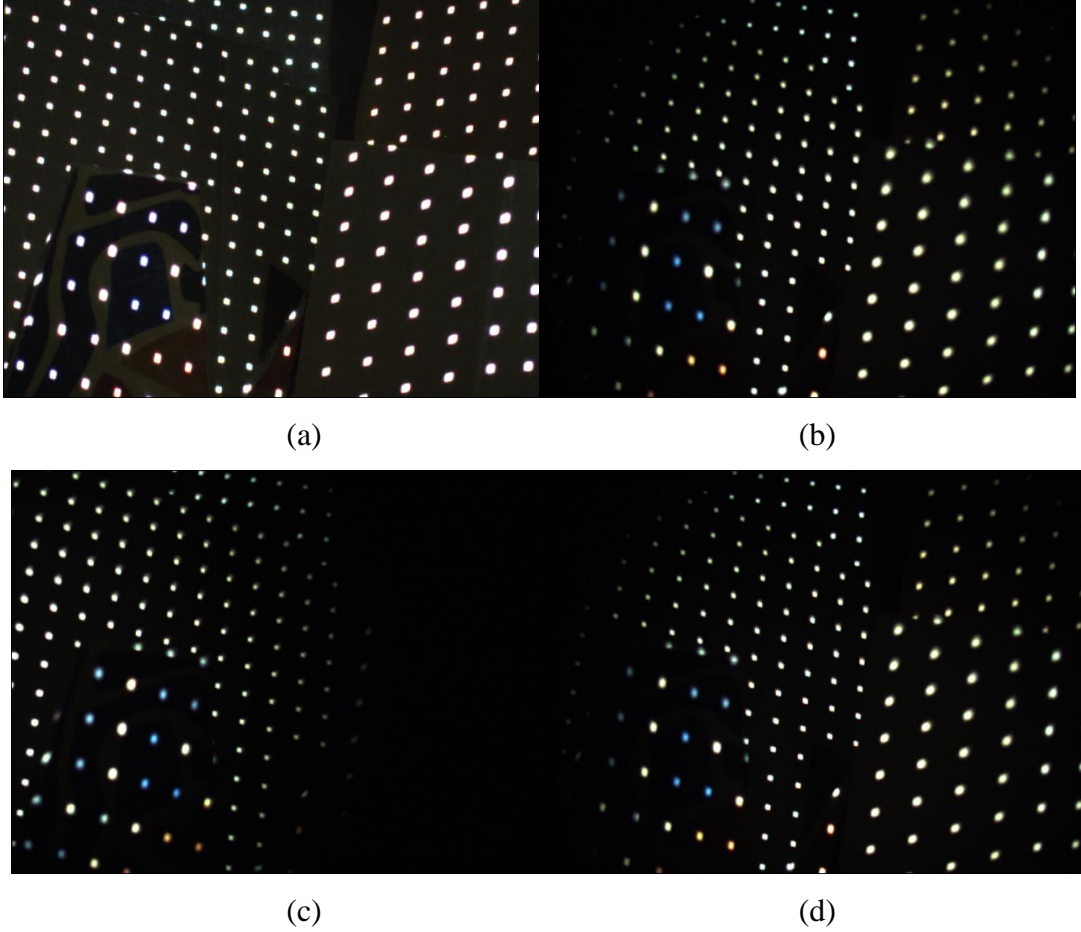


Şekil 6.1 Sahne bölütleme için örnek dikdörtgensel ışık desenleri

Sahne bölütleme yönteminde projeksiyon cihazı yardımıyla yansıtılan desenler, beyaz dikdörtgenlerden oluşmaktadır. Her desen içerisinde bu dikdörtgenlerden x ekseninde N_x , y ekseninde N_y tane bulunmaktadır. Desen x ve y eksenlerinde, yansıtılan beyaz dikdörtgenlerin boyutları olan w ve h miktarında ayrı ayrı kaydırılarak yeni desenler elde edilmekte ve bunlar da projeksiyon cihazı ile sahneye yansıtılmaktadır. Projeksiyon cihazının çözünürlüğü $W_p \times H_p$ ise, bu desenin toplam kaydırılma miktarları x yönünde C_x , y yönünde C_y şu bağıntılar ile bulunabilir:

$$C_x = \frac{W_p}{wN_x} \quad (6.1)$$

$$C_y = \frac{H_p}{hN_y} \quad (6.2)$$



Şekil 6.2 Dikdörtgenel ışık desenlerinin sahneye yansıtılması sonucu ortaya çıkan görüntüler. (a) Tam odaklanılmış görüntüsü, (b - d) Hareketli açıklık kullanılarak elde edilmiş görüntüler (Sırasıyla odak ayarları 0, 0, 5 ve açıklık ayarları 12, 25, 12)

Projeksiyon cihazı yardımı ile sahneye yansıtılması gereken toplam desen sayısı $C_x C_y$ kadardır. Desenlerin N_x , N_y , w , h parametreleri yöntemin başarımı üzerinde oldukça etkilidir. Yansıtılan desende bölgelerin birbirinden iyi ayırt edilebilmesi için w , h , N_x , N_y parametrelerinin tamamı sahneye de bağlı olarak yeterince küçük olmalıdır, aksi takdirde desenlerdeki dikdörtgenler çok büyük veya çok sık olduğundan farklı ayarlarda çekilen görüntülerde iç içe geçebilmekte ve ayırt edilememekte, bu da yanlış sonuçlar elde edilmesine neden olmaktadır. Bununla

birlikte w ve h parametrelerinin çok küçük seçilmesi durumunda da beyaz dikdörtgenler çok küçük olduğundan bölgede yeterince parlaklık oluşmamakta ve bu nedenle bölgelerin algılanması zorlaşabilmektedir.

Şekil 6.2a'da desenlerden biri gönderilmiş bir sahne için tam odaklanılmış görüntüsü görülmektedir. Bu görüntüdeki beyaz görülen her bölge birbirinden bağımsız birer sahne bölütü oluşturmaktadır. Bu bölütlerin farklı açıklıklarda ve odak ayarlarındaki görüntüleri de Şekil 6.2'de görülebilmektedir.

Tüm desenler sahneye yansıtılarak tam odaklanılmış görüntüler elde edildikten sonra elde edilen görüntüler siyah-beyaza dönüştürülüp parlak olan pikseller parlak olmayan piksellerden oldukça yüksek bir eşik değeri kullanılarak ayrılır. Oluşan ayrık piksel grupları floodfill yöntemiyle birbirinden ayrılır ve bu piksel gruplarının her biri birer bölge tanımlar. Tüm odak ayarlarında ve tüm kamera açıklıkları kullanılarak ayrı ayrı tüm desenler sahneye gönderilir ve elde edilen görüntüler biraz daha düşük bir eşik değeri kullanılarak tam odaklanılmışı benzer işleme tutularak bölgeler elde edilir. Elde edilen bu bölgelerin orta noktaları, tam odaklanılmış bölgelerinin orta noktalarından hangisine en yakın ise bu bölgenin o bölge olduğu varsayılır ve piksel koordinatları, odak ayarı ve açıklık ile birlikte kaydedilir. Sonuç olarak, her bölgenin tam odaklanılmış koordinatları, tüm odak ayarlarında ve tüm kamera açıklıklarındaki koordinatları elde edilmiş olur. Her bölge için elde edilmiş olunan bu koordinatlar bir odak ölçüt operatörü ile analiz edilir ve odaktan şekil ile en iyi odaklanılmış görüntünün odak ayarı elde edilir.

6.1 FLOODFILL

Desenlerin sahneye gönderilmesi sonucu elde edilen görüntülerin bölgelerinin birbirinden ayrılması işlevini gerçekleştirmek amacıyla geliştirilen bu yöntem, gelen bir görüntüdeki tüm pikseller için şu işlemleri yapar:

- 1) Parlaklık değeri eşik değerden büyük olmayan pikselleri herhangi bir bölgeye dahil etmez. Herhangi bir (x,y) koordinatındaki piksel için eşik değeri şu şekilde bulunmaktadır:

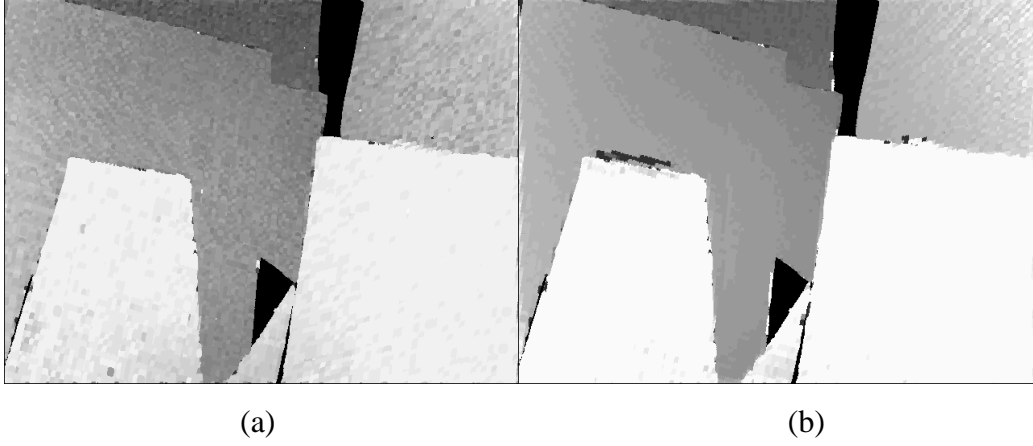
$$T(x,y) = \min(FPNT_{max}, FPNT + k_{Norm}N(x,y)) \quad (6.3)$$

Burada $FPNT$ eşik değerin sabit terimini, k_{Norm} normal piksel parlaklığı katsayısını, $N(x,y)$ bu konumdaki normal piksel parlaklığını, $FPNT_{max}$ eşik değerin alabileceği en büyük değeri göstermektedir.

- 2) Herhangi bir bölgeye dahil edilmemiş ve parlaklığı eşik değerden küçük olan tüm pikseller için;
 - a. Piksel bölgeye dahil edilir.
 - b. Pikselin etrafında $C \times C$ boyutunda bir pencere içerisindeki tüm pikseller için 1) adımından başlayarak işlemler tekrarlanır.

6.2 DENEYLER

Bir önceki bölümde anlatılan sahneye rastgele desen gönderme yöntemine benzer olarak geliştirilen bu yöntemde de sahneye önce ışık desenleri yollanıp, arkasından da analiz edilmektedir. Bu iki yöntem daha sonra birleştirilip daha etkili bir şekilde de uygulanmıştır. Deneylerde Bölüm 4'te detaylıca anlatılan sistem düzeneği kullanılmıştır. Desenler Şekil 6.1 ve 6.2'de görüldüğü gibi parlak dikdörtgenler kullanılarak oluşturulmuş ve kaydırılarak sahneye gönderilmiştir. Deneylerde dikdörtgen boyutu 4×4 ve desen sayısı 7×7 olarak seçilmiştir. Her odak ayarı ve hareketli açıklık pozisyonunda elde edilen görüntüler daha sonra analiz işlemine sokulmuştur. Tam odaklanmış görüntüsünün analizi için kullanılan floodfill parametreleri $k_{Norm}=2.0$, $C=2$ ve $FPNT=20$; 24 farklı odak ayarı ve 62 farklı açıklık konumunda her desenin ayrı ayrı sahneye gönderilmesi ile elde edilen görüntülerin analizi sırasında kullanılan floodfill parametreleri $FPNT=10$, $FPNT_{max}=240$, $k_{Norm}=1.0$, $C=2$; uzaklık eşik değeri 4 piksel, ve pikselin renk yoğunluğu ile ilgili eşik değeri 128'dir. İki farklı sahne için bölütlerin büyüklüğü kullanılarak elde edilen sonuçlar Şekil 6.3a ve Şekil 6.5a'de görülmektedir. Ayrıca bu sonuçlara Bölüm 5.4'te anlatılan eğri uydurma yöntemi uygulanarak elde edilen sonuçlar da Şekil 6.3b ve Şekil 6.5b'de görülebilmektedir.

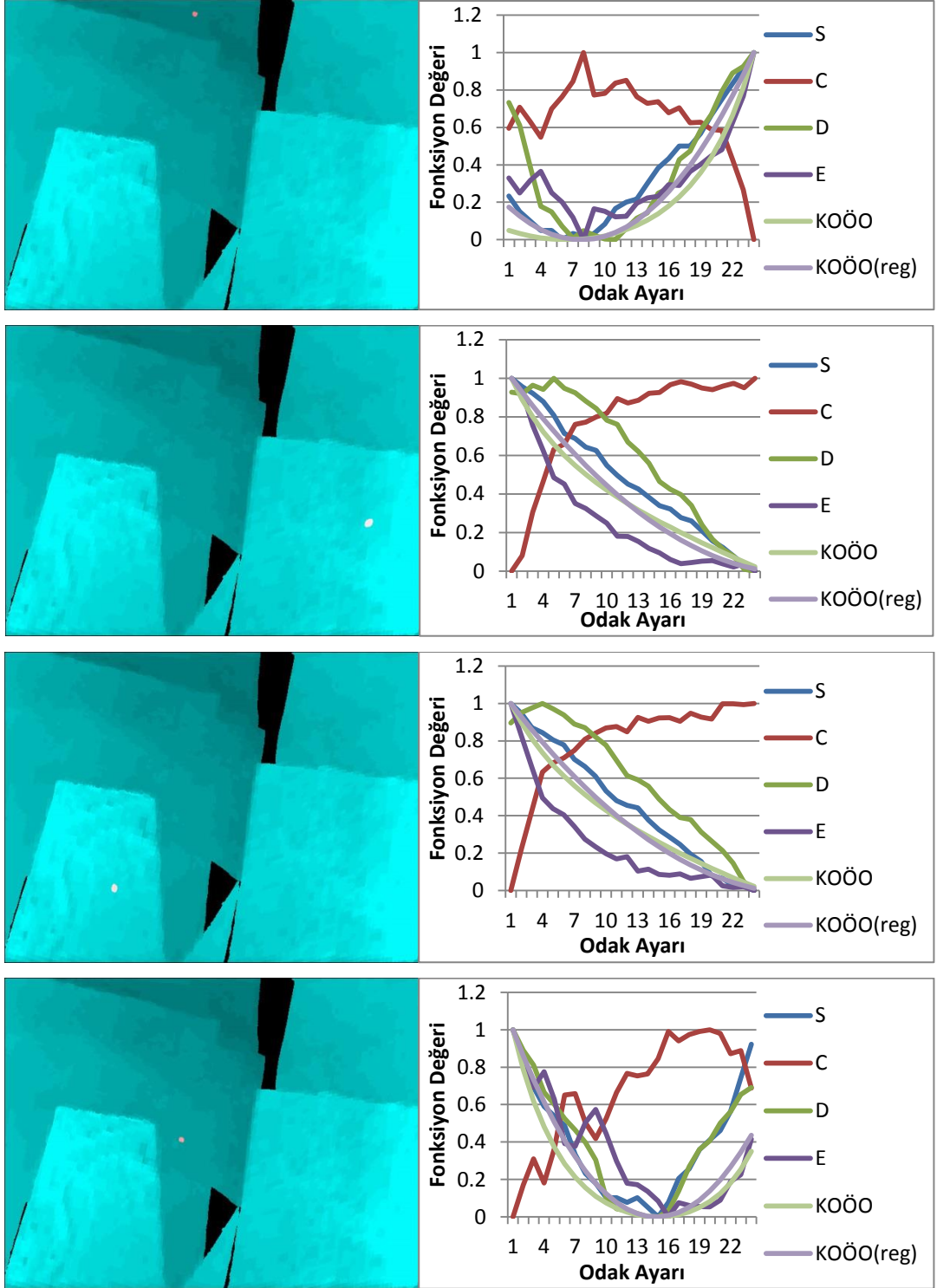


Şekil 6.3 Sahne bölütleme ve eğri uydurma deney sonuçları.

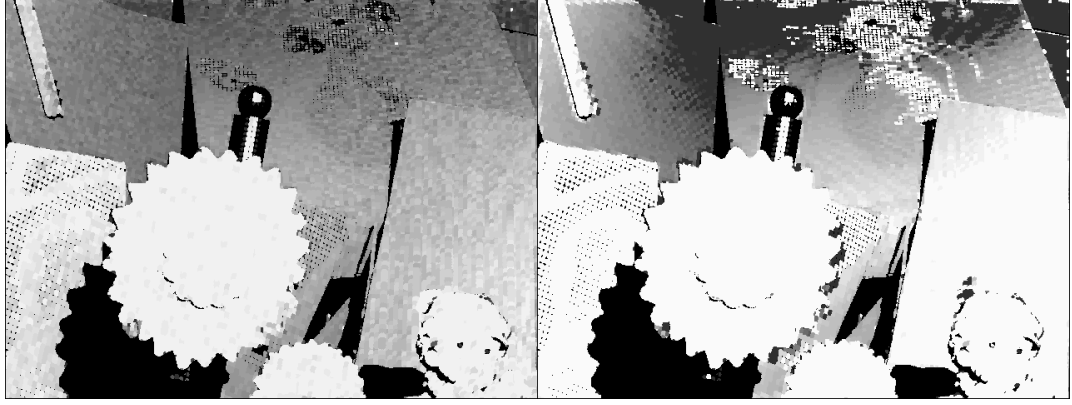
Görüldüğü üzere bölgelerin birbiriyle karışma olasılığı olmayan yerlerde (özellikle yüzey süreksizliğinin olmadığı bölgeler) hatalar daha az olmakla birlikte, hatalar sonuç üzerine rastgele dağılmış gibi görünmektedir. Oluşan bu hataları azaltabilmek için bir önceki bölümde anlatılan rastgele desen yönteminin bu yöntem ile birleştirilmesi düşünülmüştür. Her bir B bölgesine ait f odak ayarı için $KMOÖO_{son}(B, f)$ olarak elde edilen odak operatörü değeri (D), her odak ayarı için noktanın doğru eşleştirildiği tahmin edilen açıklık sayısı (C), her odak ayarı için en iyi eşleşme hatası (E) ve her odak ayarı için bölgedeki piksel sayısı (S) kullanılarak sonuçta Karışım Odak Ölçüt Operatörü değeri şu şekilde elde edilir:

$$KOÖO = \frac{S.D}{C} + \frac{S.E}{C} + \frac{D.E}{C^2} \quad (6.4)$$

Şekil 6.4'de sahnenin çeşitli bölgeleri için elde edilen grafikler görülmektedir. Şekillerdeki parlak alanlarda bölgenin tam odaklanılmış görüntüsünün analizi sonucunda elde edilen konumu, yanlarındaki grafiklerde ise bu bölge için yukarıda bahsedilen parametreler ve KOÖO değerlerinin odak ayarına göre değişimi görülebilmektedir.

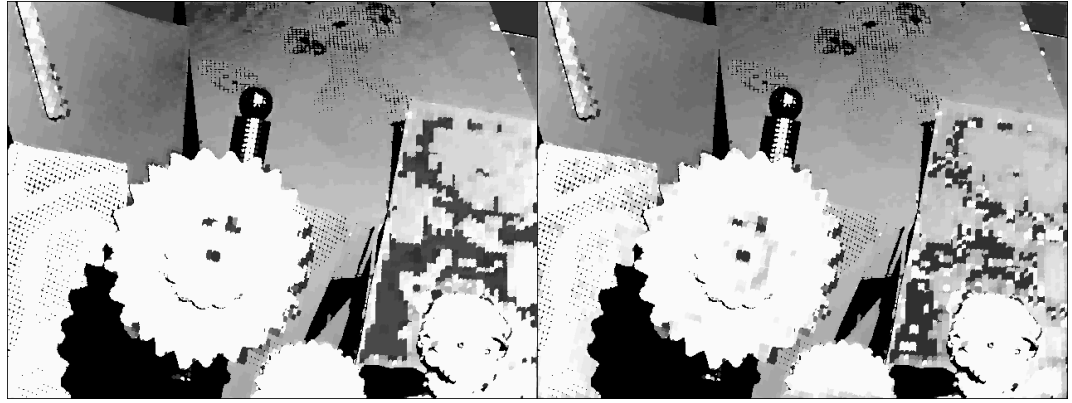


Şekil 6.4 Örnek sahne bölütleri ve çeşitli operatörlerin bu bölütlerdeki grafikleri.



(a)

(b)

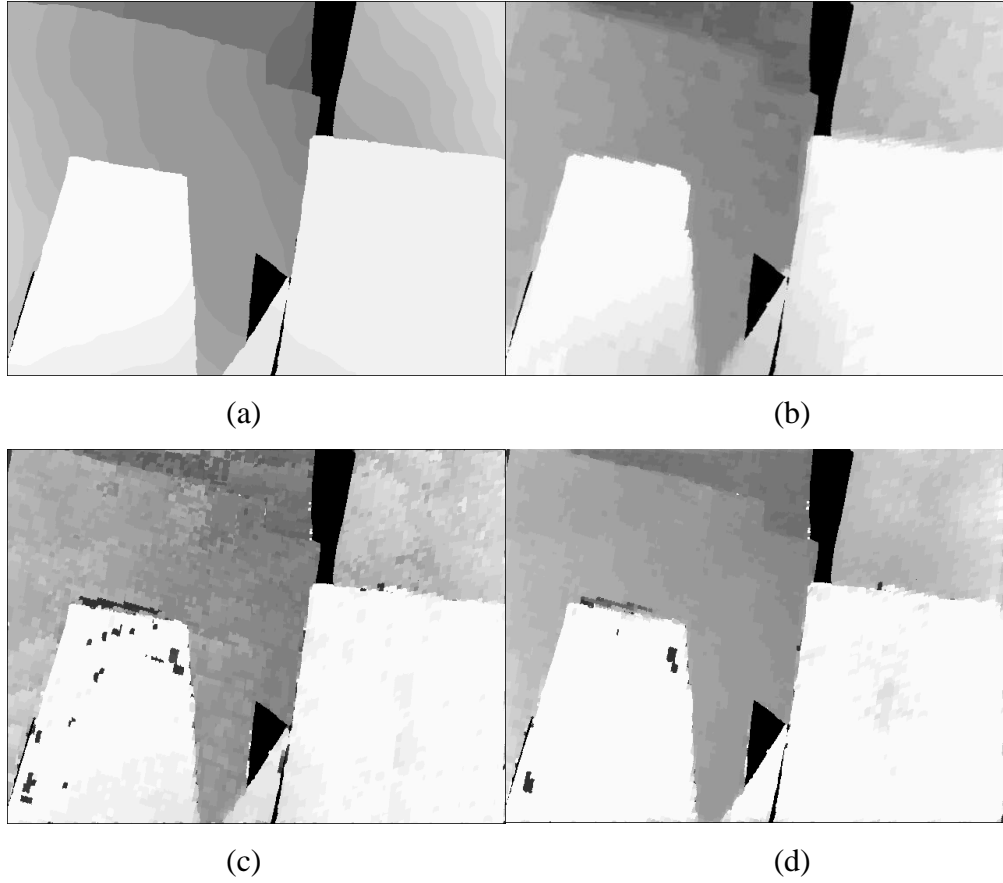


(c)

(d)

Şekil 6.5 Eğimli ve desenli sahne için Sahne Bölütleme, KOÖO ve eğri uydurma sonuçları. (a, b) Sahne Bölütleme sonuçları. (c,d) KOÖO sonuçları.

Elde edilen sonuçlar ve bu sonuçlara eğri uydurma işleminin uygulanma sonuçları şekildeki gibidir. Eğri uydurma yöntemi bu hataları ilk deney için azaltmış, ikinci deneyde artırmıştır. İkinci deneyde sahne üzerindeki cisimlerin renkleri ve renkli cisimlerin uzakta ve aynı zamanda eğimli bulunmasının, bu durumun oluşmasında en büyük etken olduğu tahmin edilmektedir.



Şekil 6.6 KOÖO ve eğri uydurma sonuçları. (a) Karşılaştırma için kullanılan referans derinlik haritası, (b) Ortalama DLT sonucu, (c) KOÖO sonucu, (d) KOÖO+Eğri Uydurma sonucu

Tablo 6.1 Sahne Bölütleme ve KOÖO deneyleri için hata oranları

Yöntem	Ortalama Hata Oranı (%)
DDLTL	4.34285
Sahne Bölütleme	5.60253
Sahne Bölütleme + Eğri Uydurma	3.83987
KOÖO	4.75733
KOÖO + Eğri Uydurma	3.12785

Yöntemin problemlerinden biri, değişik renkli bölgelerdeki renklerin ışığı farklı yansıtması nedeniyle farklı boyutlarda ve parlaklıklarda bölgeler oluşturması problemidir. Bu problemin açıklık kenarları ile de birleşmesi sonucu ortaya çok küçük bölgeler de çıkabilmekte ve bunların analizi sırasında bazı sıkıntılar

oluşabilmektedir (Şekil 6.5). Bu nedenle yöntemin bu tür sahnelerde kullanılması önerilmemektedir.

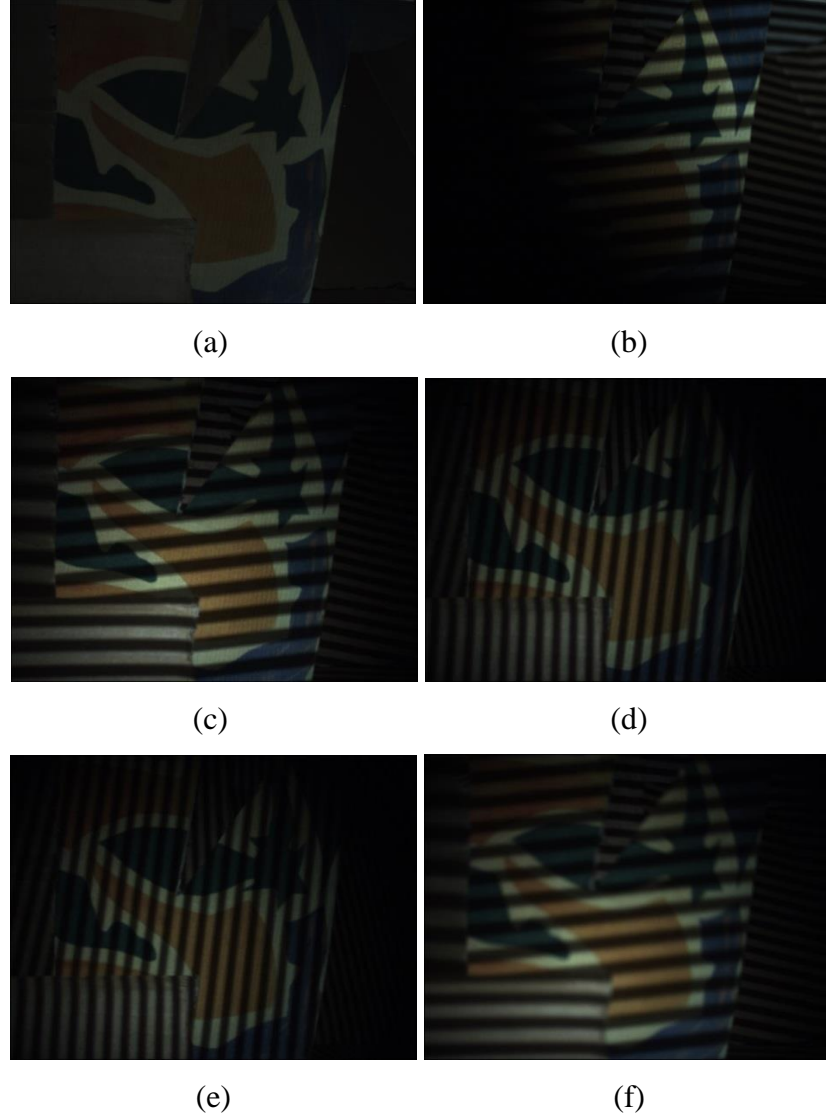
Bölüm 7'de anlatılan sahne kodlama yönteminden farklı olarak; parçalanmış bölgelerin tüm parçalarının yeterince büyük ve parlak, diğer dikdörtgen parlak bölgelere de yeterince uzak olması şartı, gönderilen tüm dikdörtgen ışık desenlerinin tüm dikdörtgen parlak bölgeleri için sağlanabildiği durumda; parçalanmış bölgeler birbirinden bağımsız ve ayrık iki bölüt olarak analiz edilerek oldukça iyi sonuçlar vermektedir.

Yöntemde kullanılan dikdörtgen ışık desenlerindeki tüm desenler sırayla sahneye gönderildiğinde, içlerindeki parlak dikdörtgenlerden herhangi ikisi arasındaki en küçük uzaklığın birkaç piksel ile sınırlanması gerekmektedir. Bunu sağlamak amacıyla sahneye özel desenler belirlenebileceği düşünülmektedir. Bu konuda birkaç yöntem denenmiş, fakat görüntü elde etme işlemleri uzun sürdüğü için daha sonra vazgeçilmiştir. Bu nedenle bu kontroller el ile yapılmış ve çakışan dikdörtgen olması durumunda desen kaydırma, dikdörtgen boyutlarını veya sayısını değiştirme gibi birkaç pratik yöntem ile istenene yakın bir desen sistemi elde edilebilmiştir.

Yöntemin çalışma süresi desen sayısı ve elde edilen bölüt sayısına bağlıdır. Toplam desen sayısı x yönünde C_x ve y yönünde C_y , farklı odak ayarı sayısı f , kullanılan hareketli açıklık pozisyonlarının sayısı m ise, toplam elde edilmesi gereken görüntü sayısı $(fm + 1)C_x C_y$ adettir. Analiz edilecek bölüt sayısı ise tamamen görüntü içerisindeki birbirinden ayrık parlak bölütlerin sayısı kadar olduğu için analiz işlemlerinin sayısının herhangi bir matematiksel ifadesi bulunmamaktadır. Bununla birlikte kaliteli bir sonuç elde edilmek isteniyor ise bölütler yeterince küçük olması gerektiğinden, oldukça fazla bölüt analizi yapılması gerekmektedir.

7. HAREKETLİ AÇIKLIKLA SAHNE KODLAMA

Sahne kodlama, bir projeksiyon cihazı yardımı ile çeşitli ışık desenleri yollanarak sahnenin sınırları belirli bölgelere ayrılmasıdır. Sahnenin farklı kameralardan elde edilmiş görüntülerinde bu bölgelerin yerleri çeşitli analiz işlemleri sonucunda elde edilebilmektedir. Sahnenin çeşitli şekillerde kodlanması için literatürde pek çok yöntem mevcuttur [8, 12, 24]. Hareketli açıklık sisteminde kullanılan [50]'da önerilen gri kodlama yöntemi Bölüm 2.3.2'de anlatılmıştır.



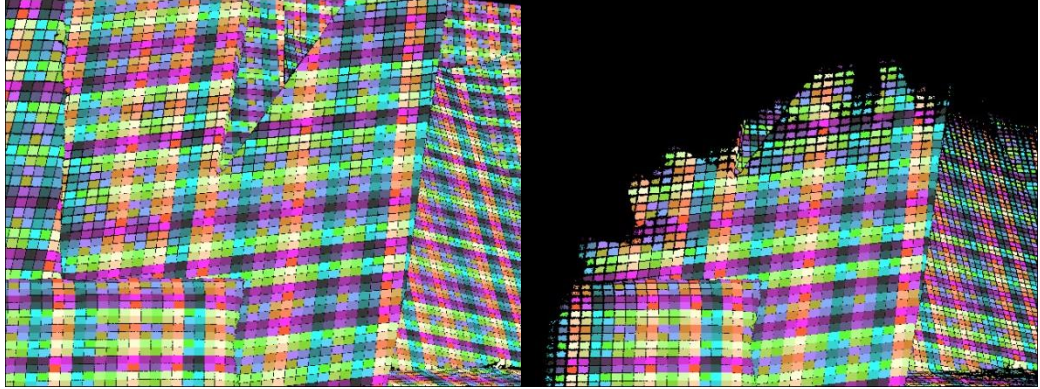
Şekil 7.1 Sahneye gri kodu ışık desenlerinin gönderilmesi sonucu oluşan görüntüler. (a) Tam odaklanılmış görüntüsü, (b, c, f) 6. Düşey gri kod deseninin 5. açıklık, 13. odak ayarı; 7. Açıklık, 13. odak ayarı; 7. açıklık, 29. odak ayarı için görüntüleri, (d, e) 7. Yatay gri kod deseninin 18. açıklık, 13. ve 0. odak ayarları için görüntüleri.

Hareketli açıklık kullanılarak elde edilen görüntülerde odaklanma kalitesi ile ters orantılı miktarda kayma oluşmaktadır. Bu kayma miktarının belirlenebilmesi için Scharstein-Szeliski[50] yöntemi uygulanması ve bunun için de sahneye gri kod ışık desenleri ve bu desenlerin terslerinin gönderilmesi gerekmektedir. Her desen için, tam odaklanılmış görüntüler ve her odak ayarında ve her açıklıktan görüntüler elde edildikten sonra, bu görüntüler birbirinden tamamen bağımsız olarak Bölüm 2.3.2’de detaylandırılmış işlemler ile analiz edilerek her ayar için sahne kodları elde edilmektedir. Elde edilen bölgelerin herbirinin birbirinden bağımsız olarak her odak ayarında ve açıklıkta buldukları konumlar kullanılarak çeşitli odak ölçüt operatörleri geliştirilmiştir. Bu operatörlerin en iyi sonuç verdiği odak ayarı her bölge için seçilerek en iyi odaklanılmış odak ayarı belirlenmiş ve bölgenin karşılık geldiği konumlar için kameraya olan uzaklık değeri hesaplanmıştır.

Scharstein-Szeliski[50] yöntemi çeşitli odak ve açıklık ayarları için kullanıldığında çeşitli problemler ortaya çıkabilmektedir. Bu problemlerden en önemlisi desen kenarlarında odak ayarından kaynaklanan bulanıklığın neden olabildiği yanlış kodlamalardır. Bu tür problemlerin çözümü için sırayla aşağıdaki işlemlerin uygulanması önerilmiştir:

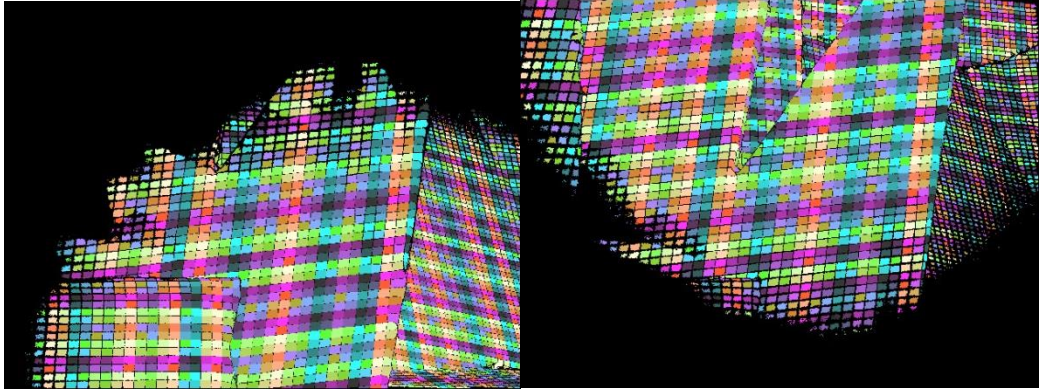
- I- Sahnenin U ve V kod haritasında ayrı ayrı $w_{m_1} x h_{m_1}$ boyutlarında az miktarda (m_1 adet) ortanca filtresi uygulanır. Ortanca filtresi uygulanırken bir kodun etrafındaki geçersiz kodlar ihmal edilmektedir.
- II- Yanlış kodların çok küçük alan kaplayanları yok edilir. Bunun için kod uzayında $w_e x h_e$ boyutlarında az miktarda (e adet) bölge küçültme işlemi peşpeşe uygulanır.
- III- Sahnenin U ve V kod haritasında ayrı ayrı $w_{m_2} x h_{m_2}$ boyutlarında m_2 adet ortanca filtresi uygulanarak elenmemiş bölgelerin tekrar orijinal boyutlarına yaklaşması sağlanmıştır. Ortanca filtresi uygulanırken bir kodun etrafındaki geçersiz kodlar ihmal edilmektedir. Bu kez ayrıca geçersiz olmuş bir kod üzerinde tekrar ortanca filtresi uygulanmamaktadır, bu sayede yok edilen kod bölgelerinin tekrar büyümesi engellenmiştir.

IV- Flood filtresi uygulanarak birbirine k pikselden yakın olan kod bölgelerinin ayrıştırılması sağlanmıştır.



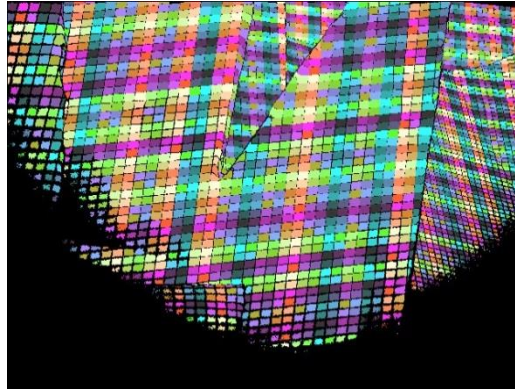
(a)

(b)



(c)

(d)



(e)

Şekil 7.2 Örnek sahnenin kodlanmış hali. (a) Tam odaklanılmış, (b, c) 0 no'lu açıklık için 0 ve 29 no'lu odak ayarlarında sahnenin kodlanması, (d, e) 9 no'lu açıklık için 0 ve 29 no'lu odak ayarlarında sahnenin kodlanması.

7.1 FLOOD FİLTRESİ

Yüzey süreksizliği nedeniyle, analiz sonucunda oluşan bölgelerin bir kısmı yakın nesne üzerinde, diğer bir kısmı da uzak nesne üzerinde oluşabilmektedir. Parçalanmış bölgelerden oluşan herhangi bir bölgede hangi parçasının kullanılıp, hangilerinin kullanılmayacağına karar verilmesi için uygulanması gereken işlemler aşağıdaki gibidir.

- 1) Bölge ayrıştırma işlemi uygulanır. Bu işlem uygulanırken birbirine k pikselden daha yakın olan işaretlenmiş pikseller birleştirilir ve bu şekilde ayrık B_i bölgeleri tanımlanır. Piksel sayısı 2'den az olan bölgeler bu aşamada otomatik olarak elenir.
- 2) Elde edilen n adet bölgenin herbiri için orta noktalar ve noktaların orta noktaya uzaklıkları ile ilgili şu matematiksel işlemler uygulanır:

$$C(i) = \sum_{(x,y) \in B_i} 1 \quad (7.1)$$

$$M_x(i) = \frac{\sum_{(x,y) \in B_i} x}{C(i)} \quad (7.2)$$

$$M_y(i) = \frac{\sum_{(x,y) \in B_i} y}{C(i)} \quad (7.3)$$

$$d(i) = \sum_{(x,y) \in B_i} \sqrt{(M_x(i) - x)^2 + (M_y(i) - y)^2} \quad (7.4)$$

$$P(i) = \frac{C^2(i)}{d(i)} \quad (7.5)$$

Burada B_i , i . bölgeyi; $C(i)$, bölgedeki toplam piksel sayısını; $M_x(i)$ ve $M_y(i)$, bölgenin orta noktasının sırasıyla x ve y koordinatlarını; $d(i)$, bölgedeki noktaların orta noktaya uzaklıklarını; $P(i)$, bölgenin puanını göstermektedir.

- 3) Sonuç olarak n adet bölge için hesaplanan puanlardan en yüksek puana sahip bölge seçilir.

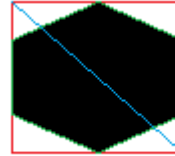
$$B_{son} = B_{\arg\max_i P(i)} \quad (7.6)$$

Şekil 7.2’de görüldüğü gibi elde edilmiş olan bölgeler tam olarak istenildiği gibi bir şekle sahip olamayabilmektedir. Özellikle zayıf yoğunluğa sahip renklerin çoğunlukta olduğu bölgeler, etrafındaki diğer bölgelere oranla küçük kalmaktadır. Aynı odak ayarında, farklı açıklıklar kullanılarak elde edilen bölgeler üstüste konularak, bölgenin tüm piksellerinin hareket alanını kapsayan büyük bir bölge elde edilebilmektedir. Bölgelerin değişik açıklıklardaki hareketleri birleştirilerek elde edilen bu büyük bölge odak kalitesi hesaplanırken bahsedilen problemin etkisini neredeyse yok ettiği için kullanışlı olmaktadır.

Denenmiş olan başlıca odak operatörleri şunlardır:

a) **Birleştirilmiş bölgeleri içine alan en küçük dikdörtgenin köşegen uzunluğu (BBBBKU):**

Birleştirilmiş bölgeyi içine alan en küçük dikdörtgen, bölgedeki tüm piksellerin tek tek kontrol edilmesi sonucunda bulunur. Bu dikdörtgenin genişliği w ve yüksekliği h ise, köşegen uzunluğu $\sqrt{w^2 + h^2}$ olarak elde edilebilir. Bu uzunluk aynı zamanda bir odak ölçüt operatörüdür.



Şekil 7.3 Birleştirilmiş bir bölge ve bu bölgeyi içine alan en küçük konveks çokgen, dikdörtgen ve köşegeninin sembolik gösterimi.

Şekil 7.3’te siyah bölge örnek bir birleştirilmiş kod bölgesi, etrafındaki kırmızı dikdörtgen birleştirilmiş bölgeleri içine alan en küçük dikdörtgen, mavi çizgi bu dikdörtgenin köşegenidir. Siyah bölgedeki piksellerin sayısı bölgenin alanı olarak, bölgenin çevresinde çizilmiş olan yeşil çizgilerin uzunluklarının toplamı da en küçük konveks çokgenin çevre uzunluğu olmaktadır.

b) Birleştirilmiş bölgelerin alanı (BBA):

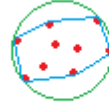
Birleştirilmiş bölgenin alanı olarak, birleştirilmiş bölgede bulunan toplam piksel sayısı kullanılmıştır.

c) Birleştirilmiş bölgeleri içine alan en küçük konveks çokgenin çevre uzunluğu (BBCHU):

Birleştirilmiş bölgenin tüm pikselleri en küçük konveks çokgen bulma algoritmasına yönlendirilir ve elde edilen kapalı eğrinin uzunluğu, (x_1, y_1) ve (x_2, y_2) bu eğri üzerindeki ardışık iki köşe olmak üzere $\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$ formülü ile elde edilen tüm uzunlukların toplamı kadardır.

d) Orta noktaları içine alan en küçük konveks çokgenin çevre uzunluğu (ONCHU):

Bölgelerin ayrı ayrı orta noktaları en küçük konveks çokgen bulma algoritmasına yönlendirilir ve elde edilen kapalı eğrinin uzunluğu bir önceki yöntemde anlatıldığı gibi bulunur.



Şekil 7.4 Bölgelerin orta nokta veya ortanca noktalarını içine alan en küçük konveks çokgen ve çemberin sembolik gösterimi.

Şekilde kırmızı noktaların herbiri, bölgenin farklı bir açıklıktaki kapladığı yerin orta (veya ortanca) noktası, yeşil çember bu noktaları içine alan en küçük çember ve noktaların etrafındaki mavi çizgilerden oluşan şekil noktaları içine alan en küçük konveks çokgendir.

e) Orta noktaları içine alan en küçük çemberin yarıçapı (ONBCR):

Bölgelerin ayrı ayrı orta noktalarının tümünü içeren en küçük çember, en küçük çember bulma algoritması yardımı ile bulunur ve bu çemberin yarıçapı odak ölçütü olarak kullanılabilir.

f) **Ortanca noktaları içine alan en küçük konveks çokgenin çevre uzunluğu (MNCHU):**

Bir nokta dizisinin ortanca noktası, o nokta dizisinin tüm noktalarının her boyut için ayrı birer sayı dizisi oluşturduğu varsayılarak bu sayı dizilerinin ayrı ayrı ortancalarının bulunması ve bulunan değer ortanca noktanın o boyuttaki koordinatı olarak kabul edilmesi ile elde edilen noktadır. Her açıklık için hesaplanan ortanca noktaları en küçük konveks çokgen bulma algoritmasına yönlendirilir ve elde edilen kapalı eğrinin uzunluğu, çokgen üzerindeki ardışık noktalar arasındaki uzaklıklar toplanarak bulunur.

g) **Ortanca noktaları içine alan en küçük çemberin yarıçapı (MNBCR):**

Bölgelerin ayrı ayrı ortanca noktalarının tümünü içeren en küçük çember, en küçük çember bulma algoritması yardımı ile bulunur ve bu çemberin yarıçapı odak ölçütü olarak kullanılabilir.

h) **Orta noktaların toplam hareket miktarı (ONTHM):**

Farklı açıklıklarda elde edilen bölgelerin orta noktalarının belirli bir sıra takip ederek arka arkaya birleştirilmesi ile elde edilen yolun uzunluğu bir odak ölçüsü olarak kullanılabilir. Bu hareket miktarının takip ettiği sıranın teorik olarak önemli olduğu düşünülebilse de pratik olarak çok önemli olmadığı söylenebilir. Şekilde kırmızı noktalar bölgelerin orta noktaları, mavi çizgiler bu açıklıkların arka arkaya geldikleri sırada orta noktanın hareketini gösteren çizgilerdir. Bu mavi çizgilerin uzunluklarının toplamı, odaklanma kalitesi arttıkça noktalar birbirine yaklaşacağından dolayı giderek küçülecektir.



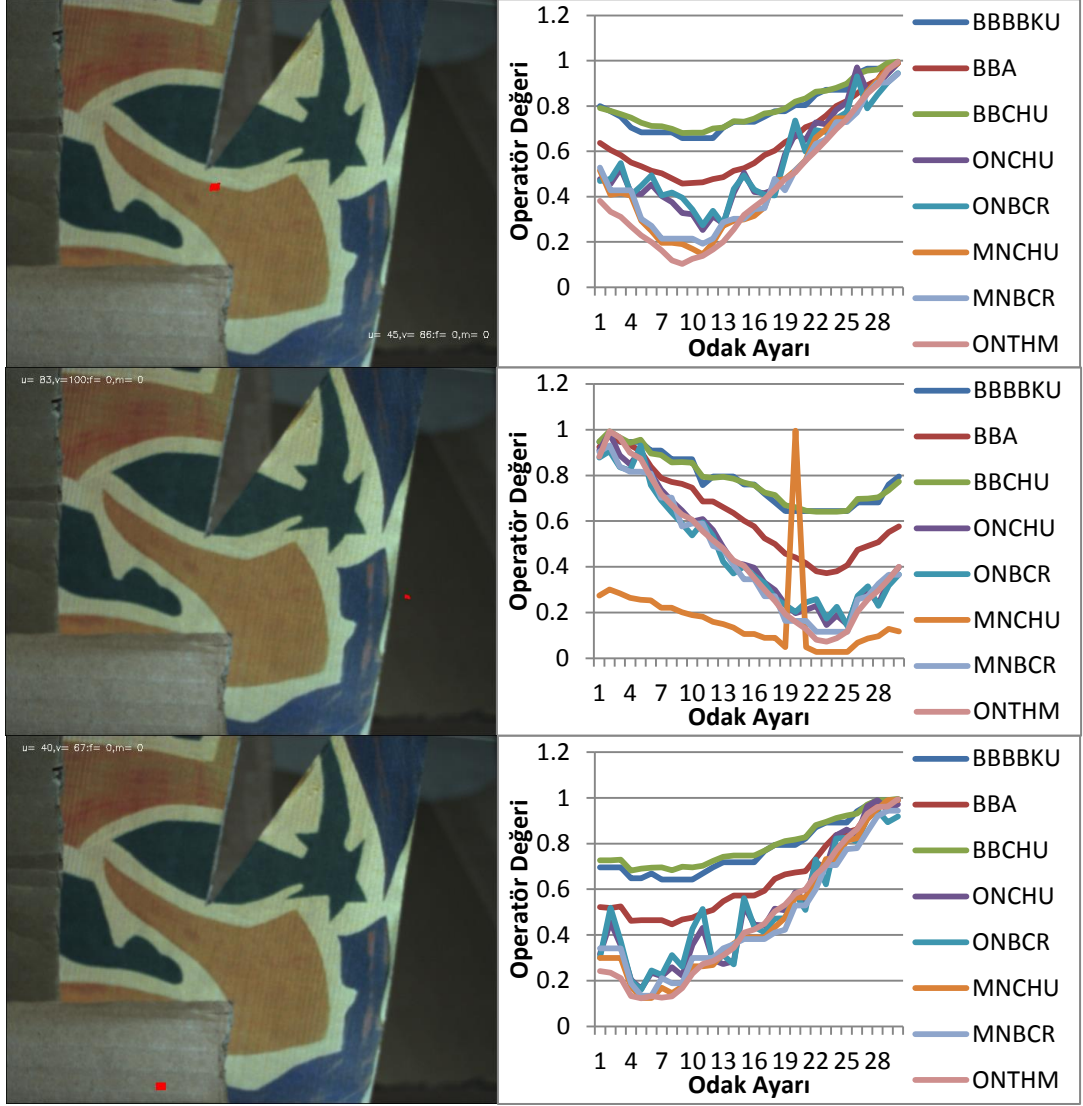
Şekil 7.5 Orta noktaların hareket miktarının sembolik gösterimi.

7.2 DENEYLER

Bölüm 4'te detaylı olarak anlatılan deney düzeneğindeki projeksiyon cihazının çözünürlüğü 1024x768 olduğundan dolayı, sahne en fazla $\log_2 1024 = 10$ bitlik gri kodlama ile kodlanabilmektedir. Kameranın tüm açıklığı kullanıldığında, iyi odaklanmış bölgelerde bu kodlama genellikle sorunsuz olabilmektedir. Kötü odaklanmış bölgelerde ise yer yer bozulmalar olabilmektedir. Bununla birlikte hareketli açıklık kullanılarak açıklığın daraltılmasıyla renk yoğunluğunun yetersizliğinin problemlere neden olabildiği gözlenmiştir. Bu nedenle 10 bitlik kodlama yerine 7 veya 8 bitlik kodlama tercih edilerek parlak olması gereken alanı genişletilmiş ve bölgelerin analiz işlemleri kolaylaştırılmıştır.

50ms, 100ms ve 150ms kamera açıklık süreleri kullanılarak 7 bitlik gri kodlama desenleri ve bu desenlerin tersleri sahneye yansıtılmıştır. Her desen için deney düzeneğindeki kamera ile tam odaklanmış görüntü, ve her odak ayarı ve hareketli açıklık konumu için ayrı ayrı görüntüler elde edilmiştir.

Tam odaklanmış görüntüler, ve her odak ayarı ve açıklık ayarında elde edilen görüntüler Scharstein-Szeliski [50] yöntemi ile analiz edilerek sahne kodları ayrı ayrı elde edilmiştir. Scharstein-Szeliski yönteminde kullanılan eşik değeri, tam odaklanılma ayarı ve diğer odak ve açıklık durumları için eşit ve 2 olarak belirlenmiştir. Tam odaklanılma ayarında kullanılan ilk ortanca filtresi sayısı $m_1 = 3$, ilk ortanca filtresi pencere boyutları 3x3, ikinci ortanca filtresi sayısı $m_2 = 3$, ikinci ortanca filtresi pencere boyutları 3x3, uygulanan bölge küçültme işlemlerinin sayısı $e = 2$, bölge küçültme penceresi boyutları 5x5 olarak belirlenmiştir. Diğer odak ayarları ve açıklıklarda ise bu parametreler sırasıyla $m_1 = 3$, $w_{m_1} = 3$, $h_{m_1} = 3$, $m_2 = 3$, $w_{m_2} = 3$, $h_{m_2} = 3$, $e = 4$, $w_e = 3$, $h_e = 3$ olarak belirlenmiştir. Flood filtresi parametresi sabit bırakılıp $k = 4$ olarak uygulanmıştır.



Şekil 7.6 Örnek bölgeler için operatörler tarafından üretilen grafikler.

Yukarıda açıklanmış olan 8 adet farklı odak ölçüsü, analiz işlemi sonucunda elde edilen bölgelerde ayrı ayrı uygulanmış ve her bölge için en iyi odaklanılmış görüntünün odak ayarı belirlenmeye çalışılmıştır. Şekilde bazı örnek bölgeler için yukarıdaki odak ölçüsü fonksiyonlarının grafikleri görülmektedir. Sol resimlerdeki kırmızı pikseller, bölgenin tam odaklanılmış görüntüsünden elde edilen konumudur. Sağda görülen grafiklerde ise bu bölgeye değişik odak ölçüt operatörlerinin uygulanma sonucunun odak ayarlarına göre değişimi görülebilmektedir.

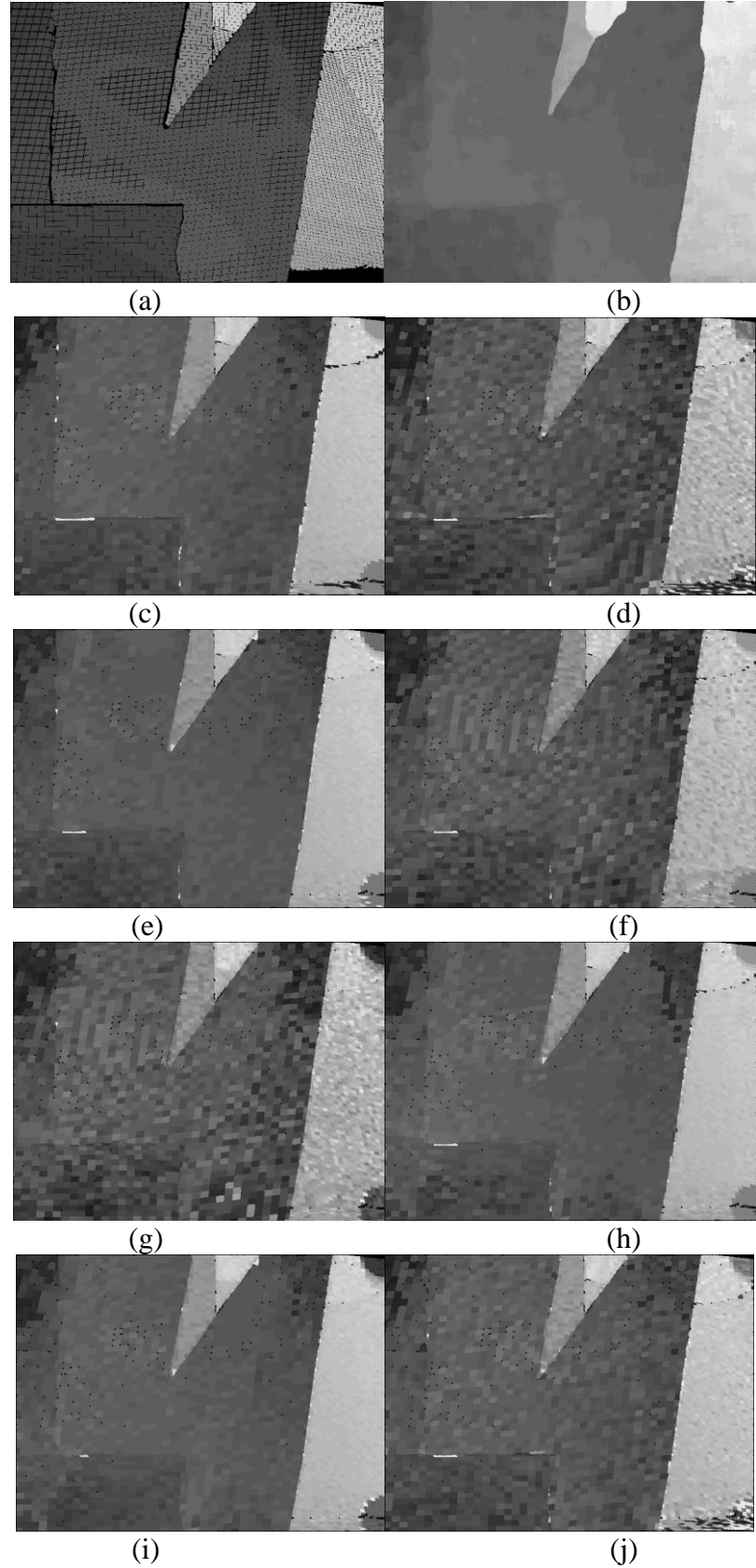
Derinlik haritasının elde edilmesi, her bölge için o bölgeye en iyi odaklanılmış odak ayarının belirlenmesi ile mümkündür. Dolayısı ile odak ölçüt operatörlerinin en iyi

sonuç ürettiği odak ayarları her bölge için ayrı ayrı belirlenerek derinlik haritaları elde edilmiştir. Bu derinlik haritaları Şekil 7.7’de görülmektedir.

Deney sonuçlarından bazılarında düzlemsel bölgelerde keskin hatalar görülmektedir. Bu hataların nedeni genellikle farklı odak ayarlarında elde edilmiş sahne görüntülerinin kodlanması sırasında bulanıklığın ve hareketli açıklığın ışığın geçtiği alanı daraltarak görüntüleri karartmasının neden olduğu yanlışlıklardır. Bu yanlışlıkların en temeli bazı bölgelerin parçalı veya yanlış yerlerde bulunabilmesidir. (Şekil 7.2) İyi odaklanılmış noktalarda çok daha az görülmekle birlikte, yanlış yerlerde veya parçalı oluşan bölgelerin orta noktaları yanlış yerlere kayabilmekte, bu da bu bölge için kötü sonuçlara neden olabilmektedir. Parçalı bölgeleri birleştirmek amacıyla ortanca ve flood filtreleri, yanlış yerlerde bulunan bölgelerin yok edilmesi için bölge küçültme gibi işlemler uygulanmaktadır. Bu işlemler sırasında bazı bölgeleri gereğinden fazla büyüyebilmekte, küçülebilmekte veya şekil değiştirebilmektedir. Sağ üst ve alt köşelerde yarım dairesel şekilde oluşan küçük hatalı bölgelerin sebebi ise tam olarak anlaşılamamıştır.

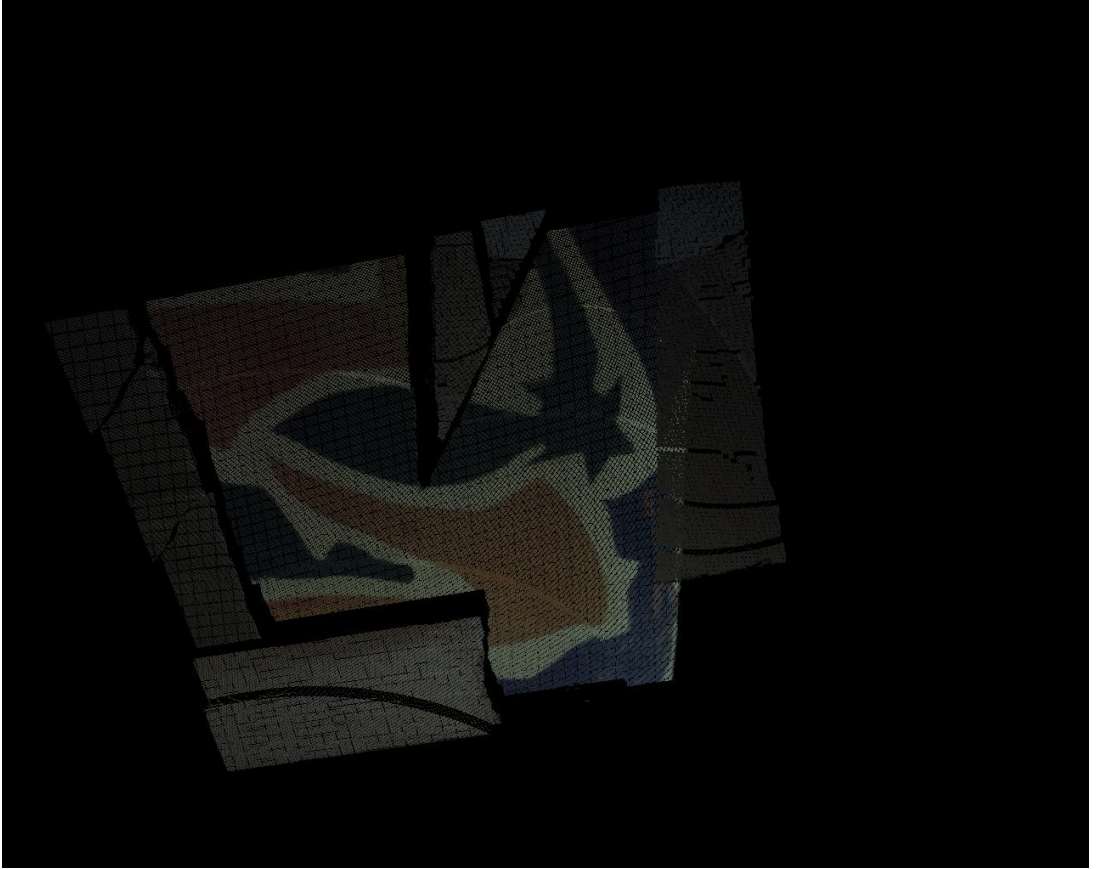
Tablo 7.1 Sahne Kodlama ve çeşitli operatörler için hata oranları

Yöntem	Ortalama Hata Oranı (%)
BBBBKU	5.55379
BBA	4.90783
BBCHU	5.75220
ONCHU	5.35892
ONBCR	5.33559
MNCHU	7.12701
MNBCR	5.49406
ONTHM	4.15990
DLT(adım sayısı=1)	6.77934
DLT(adım sayısı=2)	6.63818
DLT(adım sayısı=3)	6.72195



Şekil 7.7 Önerilen operatörler kullanılarak elde edilen deney sonuçları. (a) Referans derinlik haritası, (b) Adım sayısı=1 için DLT sonucu, (c) BBA, (d) BBBBKU, (e) ONTHM, (f) MNBCR, (g) MNCHU, (h) ONBCR, (i) ONCHU, (j) BBCHU

Yapılan deneylerde eğimi fazla olan sahne bölgelerinin sonuçlarının diğer bölgelere oranla daha kötü olduğu görülmüştür. Bunun nedeni eğimi fazla olan bölgelerin kameradaki görüntülerinin çok küçük olması ve bu nedenle bölgenin analizinde kullanılacak nokta sayısının azlığıdır. Bölgelerdeki nokta sayısının azlığı orta nokta bulunurken oluşan hatayı artırmakta, ortanca noktanın yanlış seçilme olasılığını artırmakta, en küçük konveks çokgende kenar sayısını azaltarak hesabın doğru olma olasılığını düşürmekte ve en küçük çember hesabında nokta sayısını azaltarak çemberin konumunu olumsuz etkilemektedir.



Şekil 7.8 Sahnenin gri kodlama sonucu elde edilen 3B yapısı.

Sahne kodlama yöntemlerindeki temel varsayım bölgelerin aynı focal düzlemde olduğu şeklindedir. Bu varsayım kamera düzlemine yaklaşık olarak paralel olan düzlemsel bölgeler için geçerli sayılabilir, fakat kamera düzlemi ile arasında yüksek eğim olan bir bölgedeki tüm noktalar aynı focal düzlemde olmamaktadır. Kullanılan bölgelerin hareketli açıklık kullanımı nedeniyle büyük olma zorunluluğundan dolayı bu varsayım da hataların artmasına neden olmuştur.

Yöntemde elde edilmesi gereken toplam görüntü sayısı $4(fm + 1)Ne$ adettir. Burada f , odak ayarı sayısını; m , hareketli açıklık sayısını; N , kodlamada kullanılan bit sayısını; e deneyde kullanılan farklı açıklık sürelerinin sayısını belirtmektedir. Elde edilen $w \times h$ boyutundaki görüntülerin analizi için toplam $4(fm + 1)whNe$ adet karşılaştırma işlemi ve arkasından elde edilen bölge sayısı kadar odak ölçüt operatörü her bölgeye ayrı ayrı uygulanmıştır.

8. HAREKETLİ AÇIKLIKLA ODAKTAN ŞEKİL

Hareketli açıklık sistemi kullanılan kameralar ile elde edilen görüntülerin kayma miktarının odak kalitesiyle orantılı olduğu Bölüm 4'te açıklanmıştır. Bu kayma miktarının bulunması için projeksiyon cihazı kullanılarak eşleştirme yapılabildiği de önceki bölümlerde anlatılmıştır. Bununla birlikte, projeksiyon cihazı kullanılmadan da eşleştirme yapılabildiği ve bununla ilgili literatürdeki çeşitli yöntemler Bölüm 2.3.1'de açıklanmıştır.

Kamera açıklığının değiştirilmesi sırasında sahnenin farklı noktalarının bulanıklık yarıçaplarının eşit olduğu varsayılmıştır. Sonuç olarak görüntülerin bulanıklık oranlarının ortalamasının odak ölçüt operatörü olarak kullanılabilmesi öngörülmüş ve bunun uygulaması olarak Açıklık Frekansları Toplamı Odak Ölçüt Operatörü (AFTOÖ) yöntemi geliştirilmiştir. Diğer taraftan, sahnenin en iyi odaklanılan bölgelerinin görüntülerinin, sahnenin tam odaklanılmış görüntüsüne benzemesi gerektiği göz önüne alınarak kayma miktarının odak ölçüsü olarak kullanılabilmesi özelliğinin gerçekleştirilmesi amacıyla Doğrudan Eşleştirmeli Odak Ölçüsü (DEOÖ) yöntemi geliştirilmiştir.

8.1 AÇIKLIK FREKANSLARI TOPLAMI ODAK ÖLÇÜT OPERATÖRÜ

DLT, UOÖ veya literatürdeki diğer herhangi bir klasik odak ölçüm operatörü kullanılarak, sahnenin her noktasının aynı odak ayarında farklı açıklıklar kullanılarak elde edilmiş olunan görüntülerinin bulanıklığı ölçülebilmektedir. Bu noktada önümüzdeki engellerden birisi şudur: Piksellerin frekansı aynı zamanda her açıklığın orta noktasının görüntüdeki karşılığına olan uzaklıkla da ters orantılıdır. Şekil 7.1(3a) ve Şekil 7.1(3b) incelendiğinde açıklıkların orta kısımlarına denk gelen görüntü bölgelerinde kayma miktarlarının daha az olduğu, dolayısıyla bulanıklığın daha az olduğu ve bu nedenle az sayıda açıklık kullanarak yapılacak bir frekans analizinin yanlış sonuç verebileceği anlaşılmaktadır. Dolayısıyla bir pikselin herhangi bir odak ayarı için gerçeğe en yakın frekans değerinin, tüm açıklıklardan elde edilen frekans analizi sonuçlarının ortalaması veya toplamı olması düşünülmüştür. Açıklık Frekansları Toplamı Odak Ölçüt Operatörü şu şekilde tanımlanır:

$$AFTOÖO(x, y) = \sum_{i=1}^{N_d} FM(x, y)[i] \quad (8.1)$$

Bu formülde $FM(x, y)[i]$, i . açıklık kullanılarak elde edilmiş olunan görüntünün (x, y) koordinatına bir odak ölçüm operatörü uygulamasının sonucu elde edilen sonuç ve N_d kullanılan toplam açıklık sayısıdır.

8.2 DOĞRUDAN EŞLEŞTİRMELİ ODAK ÖLÇÜSÜ

Sahnenin hareketli açıklık kullanılarak elde edilmiş bir görüntüsünün herhangi bir pikselinin, tam odaklanılmış görüntüsündeki konumundan ne kadar kaydığının anlaşılabilmesi için bu piksellerin eşleştirilmesine ihtiyaç vardır. Bu amaçla piksellerin benzerliğini ölçmek amacıyla geliştirilmiş Bölüm 2.3.1'de anlatılan eşleştirme fonksiyonları kullanılmaktadır.

Literatürdeki herhangi bir eşleşme fonksiyonu, tam odaklanılmış (I_f) ve hareketli açıklıklarla (I_i) elde edilmiş görüntülerde (x', y') koordinatındaki herhangi bir pikselin etrafındaki sırasıyla $w_1 x h_1$ ve daha büyük olan $w_2 x h_2$ boyutlu pencereler için uygulanarak bu noktanın en iyi eşleştiği nokta (x, y) ve hata oranı E elde edildikten sonra; sırası ile şu işlemler uygulanmalıdır:

- 1) Eşleşme hata oranı veya tam odaklanılmış görüntüsünde eşleştirilmesi istenen piksel yoğunluğu değeri aşağıdaki şartı sağlamıyorsa ilgili odak ayarındaki ilgili koordinat için bu açıklık görüntüsü elenir, diğer adımlara geçilmez.

$$E < T_e \quad (8.2)$$

$$I_f(x', y') > T_z \quad (8.3)$$

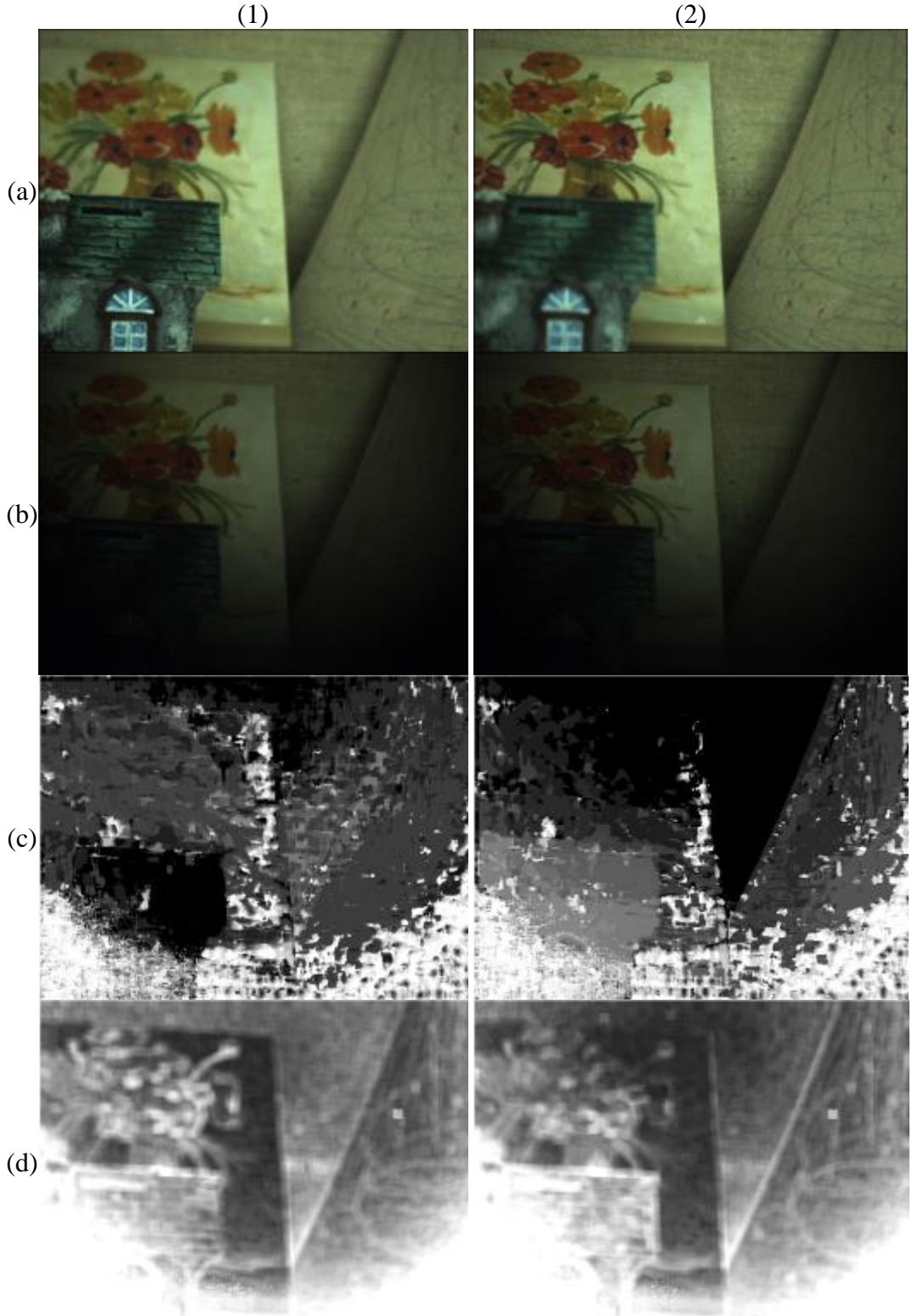
- 2) Noktanın efektif kayma miktarı aşağıdaki formül ile belirlenir.

$$d(I_i(x, y)) = \sqrt{(x - x')^2 + (y - y')^2} \quad (8.4)$$

- 3) 1) şartını sağlayan tüm açıklıklar için aşağıdaki formüller uygulanır:

$$c(x, y) = \sum_{i=1}^{N_d} 1 \quad (8.5)$$

$$TFM(x, y) = \sum_{i=1}^{N_d} d(I_i(x, y)) \quad (8.6)$$



Şekil 8.1 İki farklı odak ayarında elde edilmiş görüntülerde NEÇİ sonuçları. (1) 6 no'lu, (2) 29 no'lu odak ayarı kullanılarak elde edilmiş, (a) tüm açıklıktan, (b) 6 no'lu açıklıktan sahne görünümü, (c) Kayma miktarları, (d) Hata oranları. Parlak bölgeler değerin yüksek olduğuna veya mevcut olmadığına işaret etmektedir.

Doğrudan eşleştirmeli odak ölçüsü aşağıdaki gibidir:

$$DEOÖ(x, y) = \begin{cases} \infty, & c(x, y) < T_a \\ TFM(x, y), & c(x, y) \geq T_a \end{cases} \quad (8.7)$$

Bu formülde T_a , operatörün geçerli olabilmesi için tam odaklanmış görüntüsü ile belli bir hata eşik değerinin altında hata ile eşleşmiş minimum farklı açıklıklı görüntü sayısıdır.

Eşleştirme için en uygun olan yöntem, NEÇİ yöntemidir. Bu benzerlik ölçüsünde herhangi bir resim üzerindeki herhangi bir pikselin etrafındaki bir pencere içerisindeki tüm pikseller herhangi başka bir resim üzerindeki aynı pikselin etrafındaki aynı boyuttaki pencere içerisindeki tüm piksellerle karşılaştırılırken, öncelikle piksellerin ortalama değeri ve standart sapması kullanılmakta ve bulunan sonuç normalize edilmektedir. Bu eşleştirme yönteminin kullanılması ile farklı deliklerde yada deliğin farklı konumlarında oluşabilecek ışıklandırma farklarının, ayrıca delik kenarlarına yakın bölgelerde oluşabilecek hafif bükülme ve/veya kırılma etkilerinin azaltılması amaçlanmıştır. Diğer taraftan, özellikle kötü odaklanmış bölgelerde yapılan eşleştirmelerde pikselin tam odaklanmış pikseline benzerliği çok azdır; dolayısıyla hata oranı çok yüksek olmaktadır. Bu özellikten faydalanılarak, bir eşik değerinden daha fazla hatası olan bir eşleştirme kabul edilmemektedir.

8.3 DENEYLER

Bölüm 4'te anlatılan hareketli açıklık düzeneği kullanılarak görüntüler elde edilirken karanlık görüntülerin elenmesi gerekmektedir. Bunun nedeni; karanlık görüntülerde tüm renk değerleri düşük olması nedeniyle, eşleştirme veya frekans analizi için en düşük ve en yüksek renk değerleri arasındaki fark yeterince büyük olmaması ve bu nedenle renk oranlarında yanlışlıklar oluşmasıdır. Karanlık görüntülerin oluşmasının nedeni ise, kullanılan aparatta deliklerin orta bölgesinden ziyade kenar bölgelerinin veya hiç delik olmayan bir bölgenin kameranın önüne denk gelmesidir.

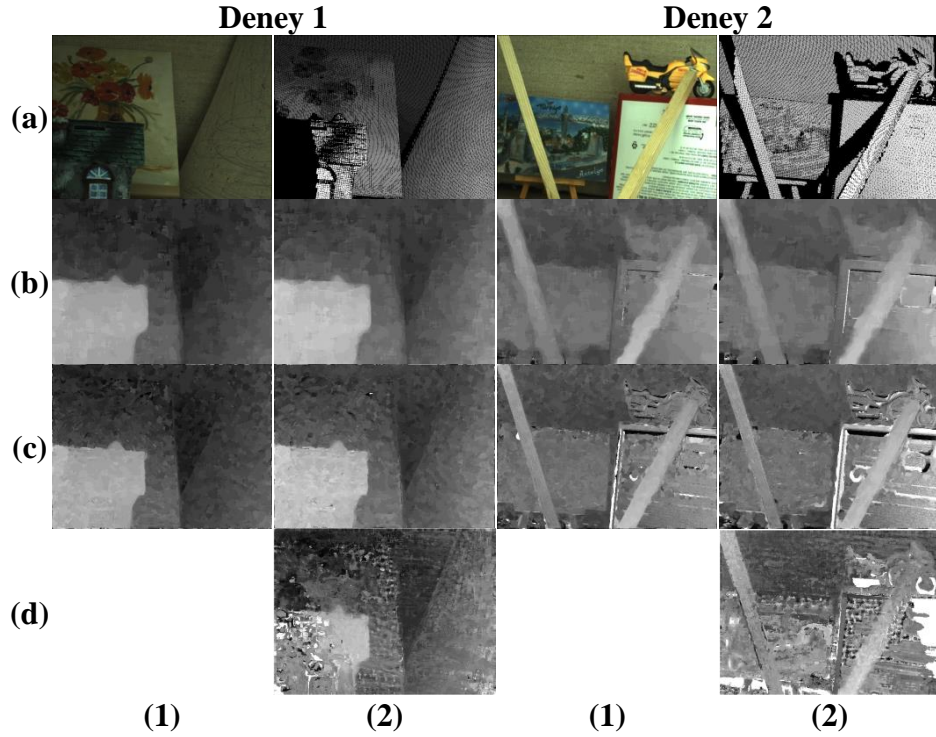
Karanlık görüntülerin ayırt edilebilmesi için, görüntü elde edilirken aparat motorunu döndürdükten hemen sonra bir görüntü alınarak karanlıklık testi yapılır. Karanlıklık testi, görüntünün tüm piksel değerlerinin en azından belirli bir yüzdesinin belirli bir değerden yüksek olmasını gerektirmektedir. Bu şartı sağlamayan bir aparat konumu, geçerli bir kamera açıklığı olarak kabul edilmeyerek ihmal edilmiştir.

Referans derinlik haritaları elde edilirken sırasıyla şu işlemler yapılmıştır:

- 1) Scharstein-Szeliski[50] yöntemi ile referans derinlik haritası bulunmuştur.
- 2) Görüntüler AFTOÖO + UOÖ, AFTOÖO + DLT yöntemleri ve klasik UOÖ, DLT ile ayrı ayrı 1, 2, 3 adım aralıkları kullanılarak analiz edilmiştir.
- 3) Scharstein-Szeliski yönteminde elde edilen her bölge için ayrı ayrı 2.adımda elde edilmiş tüm yöntemlerin sonuçlarının ortalaması alınarak elde edilen değer yazılmıştır.
- 4) Elde edilen derinlik haritasındaki hatalar elle giderilmiştir.

Deneyler sırasında bir pikselin karanlık olmama şartı, pikselin parlaklık değerinin 10'dan büyük olması olarak kabul edilmiştir. Bir aparat pozisyonunun elenmesi için, elde edilen test görüntüsünün en az %10'unun karanlık piksellerden oluşması gerektiği varsayılmıştır. Sonuçta ilk deney için 54, ikinci deney için 55 aparat pozisyonu seçilmiş, diğer pozisyonlar karanlık görüntü oluşturduğu için elenmiştir. Öte yandan, görüntünün azaltılabilmesi ve daha güvenilir görüntüler elde edilebilmesi için arka arkaya çekilen 3 görüntünün zamansal ortalaması yöntemi kullanılmıştır. Kullanılan farklı odak ayarı sayısı 30, Scharstein-Szeliski[50] yöntemi için kodlamada kullanılan bit sayısı 8, kullanılan kamera açıklık süreleri 50ms, 100ms ve 150ms, eşik değerler 5 ve 2'dir. Görüntü odak kalitesi ölçümü ve yöntemlerin kıyaslanabilmesi için DLT ve UOÖ yöntemleri kullanılmıştır. DLT ve UOÖ için pencere boyutu olarak 25, odak ölçütü eşik değeri olarak 5, adım sayısı olarak ise ayrı ayrı 1,2 ve 3 denenmiştir. UOÖ yönteminde γ_1 olarak 5, γ_2 olarak 12 kabul edilmiştir. DEOÖ eşleştirmesi için NEÇİ, her bir koordinatın etrafında tam odaklanılmış görüntüsünde 15 piksel büyüklüğündeki bir görüntü penceresi ile hareketli açıklıkla çekilmiş görüntülerin herbirinde 29 piksel büyüklüğündeki bir görüntü penceresi için kullanılmıştır. DEOÖ sıfır-eşik değeri 3, açıklık eşik değeri 3,

hata eşik değeri %0.5 kabul edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 8.3'de ve bu sonuçların hata oranları Tablo 8.1'de görülmektedir.



Şekil 8.2 AFTOÖO ve DEOÖ için deney sonuçları. (a1) Tam odaklanılmış görüntüsü (a2) Referans derinlik haritası (b) DLT (c) UOÖ (d) DEOÖ, (1) Tam açıklık (2) Hareketli açıklık

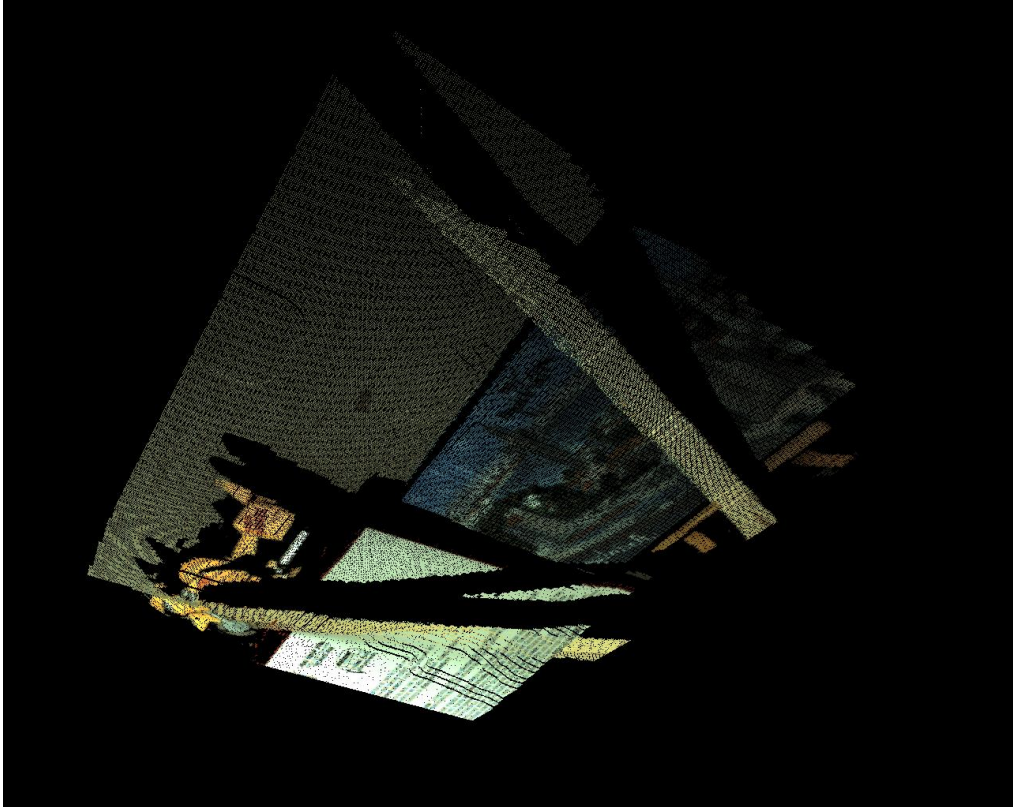
Tablo 8.1 Deneyler için hata oranları

Yöntem	Ort. HataOranı (Deney1)	Ort. Mutlak HataMiktarı (Deney1)	Ort. HataOranı (Deney2)	Ort. Mutlak HataMiktarı (Deney2)
AFTOÖO(DLT) (adım=1)	3.51%	1,05	2.84%	0,85
AFTOÖO(DLT) (adım=2)	3.93%	1,18	3.24%	0,97
AFTOÖO(DLT) (adım=3)	4.28%	1,28	3.42%	1,03
AFTOÖO(UOÖ) (adım=1)	3.64%	1,09	4.24%	1,27
AFTOÖO(UOÖ) (adım=2)	4.08%	1,22	5.00%	1,5
AFTOÖO(UOÖ) (adım=3)	4.48%	1,34	5.34%	1,6
DLT (adım=1)	3.78%	1,13	2.60%	0,78
DLT (adım=2)	3.59%	1,08	2.59%	0,78
DLT (adım=3)	3.49%	1,05	2.75%	0,82
UOÖ (adım=1)	3.68%	1,1	3.90%	1,17
UOÖ (adım=2)	3.54%	1,06	3.49%	1,05
UOÖ (adım=3)	3.47%	1,04	3.59%	1,08
DEOÖ	6.73%	2,02	8.48%	2,54

Deneylerin karşılaştırılması ve sonuçların elde edilmesi sırasında hata miktarı ve hata oranının belirlenmesi için; elde edilen derinlik haritasının referans derinlik haritasından farkının mutlak değerinin odak ayarı sayısına oranı alınır ve görüntü üzerindeki tüm piksellerde elde edilen bu hata miktarının ortalaması, ortalama hata oranı olarak kabul edilir.

Elde edilen deney sonuçları, yöntemin başarımının kullanılan odak ölçüt operatörüne ve çeşitli parametrelere göre değişkenlik gösterdiğini ifade etmektedir. Şekil 8.3'deki sonuçlara ve Tablo 8.1'deki hata oranlarına göre, hareketli açıklık kullanılmasının, kullanılan klasik odak ölçüt operatörünün başarımını artırabildiği anlaşılmaktadır.

Geliştirilen yöntemlerin sahne derinliğini bulmadaki duyarlılığının yöntemin kendisine ve aynı zamanda kullanılan odak ölçüt operatörüne veya eşleşme operatörüne de bağlı olduğu anlaşılmıştır. Bununla birlikte, kullanılan odak ölçüt operatörünün parametreleri, eşleşme operatörünün parametreleri, açıklık eşik değeri, sıfır eşik değeri gibi bir çok parametre de yöntemin duyarlılığını etkilemektedir.



Şekil 8.3 Deney sahnesinin elde edilen 3B yapısı.

Yöntemin problemi sahnenin hareketsiz olduğu varsayımına dayanma zorunluluğudur. Bu varsayımın zorunluluğunun nedeni, bir çok farklı açıklık(m) ve farklı odak ayarlarında(f) kamera ile k -zamansal ortalama da kullanılarak görüntü elde etme işleminin yaklaşık olarak $k(mf + 1)$ kez uygulanmasıdır. Bu işlemde sonra f adet odak ayarı ve m adet açıklık kullanılarak elde edilen tüm görüntülerde odak kalitesi ölçümü için odak ölçüt operatörü kullanılması gerekmektedir ve bu analiz işlemi de ayrıca uzun zaman alabilmektedir. Geliştirilen eşleştirmeli odak ölçüt operatöründe toplam uygulanması gereken eşleşme operatörü işlemlerinin sayısı; görüntü boyutları $W \times H$, eşleştirilen açıklık penceresi boyutları $w_1 \times h_1$ ve tam odaklanılmış analiz penceresi boyutları $w_2 \times h_2$ olmak üzere, $O((W - w_1)(H - h_1)(w_1 - w_2)(h_1 - h_2))$ düzeyindedir.

9. SONUÇ

Bu tezde hareketli açıklık kullanılan bir kameranın açıklığının yer değiştirmesine paralel olarak sahne görüntülerinde oluşan değişikliklerin çeşitli projeksiyon cihazı kullanılan ve kullanılmayan yöntemler ile analiz edilebilmesi için değişik odaktan şekil yöntemleri geliştirilmiş, bu yöntemler gerçek dünya uygulaması olarak başarılı bir şekilde gerçekleşmiş ve literatürdeki benzer yöntemlerle kıyaslanabilir sonuçlar elde edilmiştir.

Projeksiyon cihazı kullanmadan geliştirilen hareketli açıklık kullanan odaktan şekil yöntemlerinin avantajı herhangi bir klasik odak ölçüt operatörünü veya eşleşme operatörünü kullanabilmesidir. Bu sayede değişik sahneler için değişik odak ölçüt operatörü seçimi dahi yapılabileceği tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçların seçilen odak ölçüt operatörünün başarımının hareketli açıklık kullanılması halinde daha iyi olabildiği gösterilmiştir.

Projeksiyon cihazı kullanılan hareketli açıklıklı odaktan şekil yöntemlerinde; sahneye gönderilen ışık desenleri birbirinden farklı olmasına rağmen, DLT gibi frekans analizi yöntemlerinden çok daha doğru sonuçlar elde edilebildiği gösterilmiştir.

Sahne kodlamada kullanılan kodlama yöntemi, sahne bölütlemeye kullanılan bölütleme yönteminden daha sistemli olmasına rağmen; sahne bölütleme düz renkli bölgeler için genellikle daha iyi sonuçlar üretmiştir. Bunun nedeninin; kodlama yönteminde odak ayarından kaynaklanan görüntüdeki bozulmaların tespitinin eksikliği ve bunun sonucunda bulanık bölgelerin, iptal edilmek yerine sınırları yanlış belirlenen bölgeler olarak tanımlanması olduğu düşünülmektedir.

Geliştirilen yöntemlerde açıklıklar arasında, elde edilen görüntülerin çok karanlık olması durumu dışında herhangi bir ayırım yapılmamış; tüm açıklıklar her durumda eşit olarak değerlendirmeye alınmıştır. Bununla birlikte; açıklıklara ağırlık atama, dinamik programlama, yapay sinir ağları veya daha kompleks makine öğrenmesi yöntemleri uygulanarak daha da iyi sonuçlar elde edilebileceği tahmin edilmektedir.

Rastgele desen ve sahne bölütleme yöntemlerinde desen oluşturulurken sahnenin renklerinin dikkate alınmamasının problemlerin artmasına neden olduğu tahmin edilmektedir. Kullanılan desenin [35] yöntemindekine benzer şekilde optimize edilmesi durumunda daha doğru sonuçların elde edilmesinin mümkün olduğu düşünülmektedir. Bir başka yöntem; dinamik programlama türevi bir metodoloji izlenerek, sahneye ve/veya odak ayarına ve/veya kamera açıklığına göre değişen daha adaptif bir sahne deseni modeli geliştirilmesi olabilir.

Geliştirilen hareketli açıklık kamera sisteminin pratik olarak gerçekleştirilmesinde genel kısıtlardan biri, farklı odak ayarlarında görüntüler elde edilirken sahnede hareket olmamasıdır. Fiziksel hareketlerin yavaşlığı, ayrıca her odak ayarı ve her açıklık durumunda görüntü elde edilme zorunluluğu nedeniyle görüntü elde etme işlemi çok uzun sürebilmekte ve bunun hızlandırılması için ayrı bir çalışma yapılması gerektiği düşünülmektedir.

Hareketli açıklık fikrinin ileride daha da geliştirilerek bilgisayarla görme alanındaki farklı projelerde, sanayide, yada tıp, astronomi gibi farklı bilim dallarında kullanılmasının mümkün olduğuna inanılmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Abrams A., Miskell K., Pless R. (2013). *The Epipolar Constraint: Monocular Shape from Shadow Correspondence*. Proc. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 1407-1414, 2013
- [2] Ackerman J.D., Keller K., Fuchs H. (2002). *Surface reconstruction of abdominal organs using laparoscopic structured light for augmented reality*. Proc. SPIE 4661, Three-Dimensional Image Capture and Applications V, 39 (March 13, 2002); doi:10.1117/12.460179
- [3] Albitar I.C., Graebing P., Doignon C. (2007). *Robust Structured Light Coding for 3D Reconstruction Computer Vision*. Proc. IEEE Int'l Conf. Computer Vision, pp. 1-6 2007
- [4] Aydin T., Akgül Y.S. (2008). *A New Adaptive Focus Measure for Shape From Focus*. Proc. British Machine Vision Conference, pages 8.1-8.10. BMVA Press, September 2008. doi:10.5244/C.22.8.
- [5] Blake, A. and Zisserman, A. (1987) *Visual Reconstruction*. MIT Press. (1987)
- [6] Born, M. and Wolf, E. (1965). *Principles of Optics: Electromagnetic Theory of Propagation, Interference and Diffraction of Light*. Pergamon, NY, third edition.
- [7] Canas G.D., Vasilyev Y., Adato Y., Zickler T., Gortler S., Ben-Shahar O.B. (2009). *A Linear Formulation of Shape from Specular Flow*. In: ICCV (September 2009)
- [8] Caspi D., Kiryati N., and Shamir J. (1998). *Range imaging with adaptive color structured light*. IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. 20(5), 470–480 (May 1998).
- [9] Charfi, M., Nyeck, A., and Tosser, A. (1991). *Focusing criterion*. Electronics Letters, 27(14):1233 –1235.
- [10] Chen X., Yang Y.H. (2013). *Recovering Dense Stereo Depth Maps Using a Single Gaussian Blurred Structured Light Pattern*. cvv, pp.295-302, 2013 International Conference on Computer and Robot Vision, 2013.
- [11] Desjardins D., Payeur P. (2007). *Dense stereo range sensing with marching pseudo-random patterns*. In: Fourth Canadian Conference on Computer and Robot Vision (CRV '07) (IEEE Computer Society, 2007), pp. 216–226.
- [12] Fernandez S., Salvi J., Pribanic T. (2010). *Absolute phase mapping for one-shot dense pattern projection*. In: 2010 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW) San Francisco, Calif. (June 3–18, 2010).

- [13] Gee J.C., LeBriquer L., Barillot C., Haynor D.R., Bajcsy R. *Bayesian Approach to the Brain Image Matching Problem*. (1995) In: M.H. Loew, editor, *Medical Imaging 1995: Image Processing*, pp: 145-156, Bellingham, 1995. SPIE.
- [14] Green P., Sun W., Matusik W., Durand F. (2007) *Multi-aperture photography*. ACM SIGGRAPH 2007 papers, August 05-09, 2007, San Diego, California. doi:10.1145/1275808.1276462.
- [15] Grosky W., Tamburino L. (1990). *A unified approach to the linear camera calibration problem*. *Pattern Analysis and Machine Intelligence*, IEEE Transactions on, 12(7):663 –671.
- [16] Gupta M., Agrawal A., Veeraraghavan A., Narasimhan S.G. (2011). *Structured light 3D scanning in the presence of global illumination*. In Proc. IEEE CVPR, 2011.
- [17] Gupta M., Agrawal A., Veeraraghavan A., Narasimhan S.G. (2012). *A Practical Approach to 3D Scanning in the Presence of Interreflections, Subsurface Scattering and Defocus*. *International Journal of Computer Vision*, Vol 102, Issue 1-3, pp. 33-55. (2012)
- [18] Gustafsson M.G.L., Shao L., Carlton P.M., Wang C.J.R., Golubovskaya I.N., Cande W.Z., Agard D.A., Sedat J.V. (2008). *Three-Dimensional Resolution Doubling in Wide-Field Fluorescence Microscopy by Structured Illumination*. In: *Biophysical Journal*, Vol. 94, Issue 12, pp. 4957-4970. (15 June 2008)
- [19] Hasinoff S.W., Kutulakos K.N. *Confocal Stereo*. *International Journal of Computer Vision*, v.81, n.1, p.82-104, January 2009. doi:10.1007/s11263-008-0164-2.
- [20] Hata. S. (1992). *Shape Detection of Small Specular Surface using Color Stripe Lighting*. *Proceedings of International Conference on Pattern Recognition*, pp.554-557, 1992.
- [21] Helmlí, F.S., Scherer, S. (2001). *Adaptive shape from focus with an error estimation in light microscopy*. *Image and Signal Processing and Analysis*, pages 188–193, 2001.
- [22] Hermans C., Francken Y., Cuypers T., Bekaert P. (2009). *Depth from Encoded Sliding Projections*. *Proceedings of the 5th International Symposium on Advances in Visual Computing: Part I*, November 30-December 02, 2009, Las Vegas, Nevada. doi:10.1007/978-3-642-10331-5_78.
- [23] Horn, B. K. P. (1986). *Robot Vision*. (MIT Electrical Engineering and Computer Science) MIT Press. (1986)
- [24] Ishii I., Yamamoto K., Doi K., Tsuji T. (2007). *High-speed 3D image acquisition using coded structured light projection*. In: *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2007. IROS 2007 (IEEE, 2007)*, pp. 925–930.

- [25] Inokuchi S., Sato K., Matsuda F. (1984). *Range-imaging for 3-D object recognition*. In: International Conference on Pattern Recognition (International Association for Pattern Recognition, 1984), pp. 806–808.
- [26] Jacobs N., Bies B., Pless R. (2010). *Using Cloud Shadows to Infer Scene Structure and Camera Calibration*. In: IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), June 2010.
- [27] Kautsky, J., Flusser, J., Zitová, B., and Simberová, S. (2002). *A new wavelet based measure of image focus*. Pattern Recognition Letters, 23(14):1785 – 1794. (2002)
- [28] Keller K., Ackerman J. (2000). *Real-time Structured Light Depth Extraction*. Three-Dimensional Image Capture and Applications, volume 3958 of SPIE Proceedings, page 11-18. SPIE, (2000)
- [29] Koninckx T., Gool L.V. (2006). *Real-time range acquisition by adaptive structured light*. IEEE PAMI, 28(3):432-445, March 2006.
- [30] Kratz L., Nishino K. (2009). *Factorizing Scene Albedo and Depth from a Single Foggy Image*. In: Proc. IEEE International Conference on Computer Vision, 2009, pp. 1701-1708.
- [31] Krotkov, E. (1987). *Focusing*. Int. J. Comput. Vision, 1(3):223–237. (1987)
- [32] Levin A. (2010). *Analyzing depth from coded aperture sets*. Proceedings of the 11th European conference on Computer vision: Part I, September 05-11, 2010, Heraklion, Crete, Greece
- [33] Levin A., Fergus R., Durand F., Freeman W.T. (2007). *Image and Depth from a Conventional Camera with a Coded Aperture*. ACM Transactions on Graphics (TOG), v.26 n.3, July 2007. doi:10.1145/1276377.1276464
- [34] Lewis J.P. (1995). *Fast Template Matching*. Vision Interface 95, Canadian Image Processing and Pattern Recognition Society, Quebec City, Canada, May 15-19, 1995, p. 120-123.
- [35] Lim J. (2009). *Optimized projection pattern supplementing stereo systems*. In: Robotics and Automation, 2009. ICRA '09. IEEE International Conference on, May 2009, pp. 2823-2829.
- [36] Lipton A.J., Fujiyoshi H., Patil R.S. (1998). *Moving Target Classification and Tracking from Real-time Video*. IEEE Workshop on Applications of Computer Vision, Princeton NJ, October 1998, pages 8-14, 1998.
- [37] Liu B., Gould S., Koller D. (2010). *Single Image Depth Estimation From Predicted Semantic Labels*. in IEEE Conf. Comput. Vision Pattern Recognit., 2010, pp. 1253-1260.

- [38] Mahmood, M., Choi, T.-S. (2010). *Focus measure based on the energy of high-frequency components in the s transform*. Opt. Lett., 35(8):1272–1274.
- [39] Malik S., Choi T.S. (2009). *Comparison of Polymers: A New Application of Shape From Focus*. IEEE Trans. Syst. Man. Cybern. Part C: Applications and Reviews, Vol:39, No:2, pp.246-250 (2009)
- [40] Moghaddam B., Nastar C., Pentland A. (1996). *A Bayesian Similarity Measure for Direct Image Matching*. ICPR, 3:350-358, 1996.
- [41] Moon, T.K., Stirling W.C. (2000). *Mathematical Methods and Algorithms for Signal Processing*. Prentice Hall, 2000.
- [42] Nair H.N., Stewart C.V. *Robust focus ranging*. Computer Vision and Pattern Recognition, p.309–314, 1992.
- [43] Nayar, S. and Nakagawa, Y. *Shape from Focus*, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (1994), 16(8):824–831.
- [44] Niederoest M., Niederoest J., Šćucka J. (2003). *Shape From Focus: Fully Automated 3D Reconstruction and Visualization of Microscopic Objects*. ETH, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Institute of Geodesy and Photogrammetry (2003)
- [45] Payeur P., Desjardins D. (2009). *Structured light stereoscopic imaging with dynamic pseudo-random patterns*. In: Image Analysis and Recognition, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 5627/2009 (Springer, 2009), 687–696.
- [46] Posdamer J.L., Altschuler M.D. (1982). *Surface measurement by space-encoded projected beam systems*. Comput. Graph. Image Processing 18(1), 1–17 (1982).
- [47] Pratt W.K. (1978). *Digital Image Processing*. Wiley, New York, 1978.
- [48] Sagawa R., Ota Y., Yagi Y., Furukawa R., Asada N., Kawasaki H. (2009). *Dense 3D reconstruction method using a single pattern for fast moving object*. In: Proc. 2009 IEEE 12th International Conference on Computer Vision, ICCV. Kyoto: Spriger, Sep 2009, pp. 1779-1786.
- [49] Sayar M.S., Akgül Y.S. (2013). *Depth From Moving Apertures*. 2013 ISCIS, Paris, France, October 2013, pp. 189-197. doi:10.1007/978-3-319-01604-7_19
- [50] Scharstein D., Szeliski R. (2003). *High-accuracy stereo depth maps using structured light*. Computer Vision and Pattern Recognition, p.195-202, Wisconsin, June 2003.
- [51] Schechner Y.Y., Kiryati N. (2000). *Depth from defocus vs. stereo: How different really are they?* International Journal of Computer Vision, 39(2):141–162, 2000.

- [52] Subbarao M., T. and Nikzad A. (1993). *Focusing technique*. Image and Signal Processing and Analysis, 32(11):2824–2836.
- [53] Subbaro M., Surya G. (2004). *Depth from defocus: A spatial domain approach*. International Journal of Computer Vision, 13(3):271–294, December 1994.
- [54] Stefano L.D., Mattoccia S., Tombari F. (2005). *ZNCC-based template matching using bounded partial correlation*. Pattern Recognition Letters, v.26, n.14, p.2129–2134, 15 October 2005. doi:10.1016/j.patrec.2005.03.022.
- [55] Tenenbaum, J. M. (1971). *Accommodation in computer vision*. PhD thesis, Stanford, CA, USA.
- [56] Tian Y., Narasimhan S.G., Vannevel A.J. (2012). *Depth from Optical Turbulence*. CVPR, page 246-253. IEEE, (2012).
- [57] Tian, Y., Shieh, K., and Wildsoet, C. F. (2007). *Performance of focus measures in the presence of nondefocus aberrations*. J. Opt. Soc. Am. A, 24(12):B165–B173.
- [58] Watanabe M., Nayar S.K., Noguchi M. (1996). *Real-time computation of depth from defocus*. Proc. SPIE 2599, Three-Dimensional and Unconventional Imaging for Industrial Inspection and Metrology, 14 (January 19, 1996); doi:10.1117/12.230388.
- [59] Wen Y.S., Zhou S. (1994). *Complex Object Profilometry and its Application for Dentistry*. Proc. SPIE 2132, Clinical Applications of Modern Imaging Technology II, 484 (May 26, 1994); doi:10.1117/12.176592.
- [60] Wetzstein G., Roodnick D., Heidrich W., Raskar R. (2011). *Refractive Shape from Light Field Distortion*. In: IEEE ICCV, pages 1180-1186, 2011.
- [61] Xiong, Y., Shafer, S. A. (1994). *Variable window gabor filters and their use in focus and correspondence*. In: Proc. of IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, pages 668–671.
- [62] Yang Z., Xiong Z., Zhang Y., Wang J., Wu F. (2013). *Depth Acquisition from Density Modulated Binary Patterns*. Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2013 IEEE Conference on, 25-32.
- [63] Yun J., Choi T.S. (1999). *Accurate 3-D Shape Recovery using Curved Window Focus Measure*. IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), vol. 3, pp.910-914 (1999).
- [64] Zhang L., Nayar S. (2006). *Projection Defocus Analysis for Scene Capture and Image Display*. ACM SIGGRAPH 2006 Papers, July 30-August 03, 2006, Boston, Massachusetts. doi:10.1145/1179352.1141974.
- [65] Zhou C., Lin S., Nayar S. (2009). *Coded Aperture Pairs for Depth from Defocus*. Proc. IEEE 12th ICCV, pp.325-332. (2009).

ÖZGEÇMİŞ

1985 yılında İstanbul'da doğan Mahmut Salih SAYAR ilk, orta ve lise öğrenimini İstanbul'da tamamladı. 2009 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Kontrol Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. Ardından GYTE Bilgisayar Mühendisliğinde Yüksek Lisans eğitimine başladı. 2014 yılında Yüksek Lisans'tan mezun oldu. İTÜ ARI Teknokent bünyesindeki ODAKENT Altyapı ve Çevre Çözümleri Ar-Ge Ltd. Şti.'de uzman yazılımcı olarak çalışmalarını sürdürmektedir.

EK A

TERİMLER

İngilizce	Türkçe
- A -	
Adaptive Focus Measure all-focus aperture apparatus area	Uyarlanabilir Odak Ölçüsü tam odaklanılmış açıklık aparar alan
- B -	
blurriness bounding box	bulanıklık içine alan en küçük dikdörtgen
- C -	
camera calibration circumference code space coded aperture combined region component Computer Aided Design Computer Vision confusion diameter convex hull Cross Correlation curve fitting	kamera kalibrasyonu çevre kod uzayı kodlanmış açıklık birleştirilmiş bölge bileşen Bilgisayar Destekli Tasarım Bilgisayarla Görme bulanıklık çapı içine alan en küçük konveks çokgen Çapraz İlinti eğri uydurma
- D -	
dark depth depth map derivative diagonal disparity displacement distance Dynamic Programming	karanlık derinlik derinlik haritası türev köşegen fark değeri hareket miktarı, kayma uzaklık Dinamik Programlama
- E -	
edge edge bleeding erode error exposure time extension	kenar kenar yayılması bölge küçültme hata açıklık süresi uzantı
- F -	

focus focus measure focus quality frequency analysis	odak odak ölçütü odaklanma kalitesi frekans analizi
- G -	
gray code ground truth	gri kodlama referans
- H -	
high frequency component horizontal	yüksek frekanslı bileşen yatay
- I -	
illumination disparity image image plane image set intensity	ışıklandırma fark değeri görüntü görüntü düzlemi görüntü kümesi parlaklık, yoğunluk
- J -	
- K -	
- L -	
lens	mercek
- M -	
machine learning matching median filter median point midpoint minimum enclosing circle moving aperture	makine öğrenmesi eşleşme ortanca filtresi ortanca nokta orta nokta içine alan en küçük çember hareketli açıklık
- N -	
Neural Networks noise Normalized Cross Correlation Normalized Sum of Squared Differences	Yapay Sinir Ağları gürültü Normalize Edilmiş Çapraz İlinti Normalize Edilmiş Fark Kareleri Toplamı
- O -	
optical axis optical center	optik eksen optik merkez
- P -	
pattern pixel	desen piksel
- Q -	
- R -	
random pattern rectangular reference refraction region	rastgele desen dikdörtgensel referans kırılma bölge

resolution	çözünürlük
rotation matrix	döndürme matrisi
- S -	
scene	sahne
scene encoding	sahne kodlama
scene segmentation	sahne bölütleme
segment	bölüt
setting	ayar
shadow	gölge
Shape From Focus	Odaktan Şekil
shifting	kaydırma
similarity	benzerlik
slope	eğim
structured light pattern	yapılı ışık deseni
Sum of Absolute Differences	Mutlak Farkların Toplamı
Sum of Laplacians	Laplace Toplamı
Sum of Modified Laplacians	Değiştirilmiş Laplace Toplamı
Sum of Squared Differences	Fark Karelerinin Toplamı
- T -	
Template Matching	Şablon Eşleştirme
Temporal Averaging	Zamansal Ortalama
threshold	eşik değer
- U -	
unique code	eşsiz kod
- V -	
vertical	dikey
- W -	
window	pencere
- X -	
- Y -	
- Z -	
Zero Mean Sum of Absolute Differences	Sıfır Ortalamalı Mutlak Fark Toplamı

Türkçe	İngilizce
- A -	
açıklık	aperture
açıklık süresi	exposure time
alan	area
apararat	apparatus
ayar	setting
- B -	
benzerlik	similarity
bileşen	component
Bilgisayar Destekli Tasarım	Computer Aided Design
Bilgisayarla Görme	Computer Vision
birleştirilmiş bölge	combined region

bölge	region
bölge küçültme	erode
bölüt	segment
bulanıklık	blurriness
bulanıklık çapı	confusion diameter
- C -	
- Ç -	
Çapraz İlinti	Cross Correlation
çevre	circumference
çözünürlük	resolution
- D -	
Değiştirilmiş Laplace Toplamı	Sum of Modified Laplacians
derinlik	depth
derinlik haritası	depth map
desen	pattern
dikdörtgensel	rectangular
dikey	vertical
Dinamik Programlama	Dynamic Programming
döndürme matrisi	rotation matrix
- E -	
eğim	slope
eğri uydurma	curve fitting
eşik değeri	threshold
eşleşme	matching
eşsiz kod	unique code
- F -	
fark değeri	disparity
Fark Karelerinin Toplamı	Sum of Squared Differences
frekans analizi	frequency analysis
- G -	
gölge	shadow
görüntü	image
görüntü düzlemi	image plane
görüntü kümesi	image set
gürültü	noise
gri kodlama	gray code
- H -	
hareket miktarı	displacement
hareketli açıklık	moving aperture
hata	error
- I -	
ışıklandırma fark değeri	illumination disparity
- İ -	
içine alan en küçük çember	minimum enclosing circle
içine alan en küçük konveks çokgen	convex hull
içine alan en küçük dikdörtgen	bounding box
- J -	

- K -	
kamera kalibrasyonu	camera calibration
karanlık	dark
kaydırma	shifting
kayma	displacement
kenar	edge
kenar yayılması	edge bleeding
kırılma	refraction
kod uzayı	code space
kodlanmış açıklık	coded aperture
köşegen	diagonal
- L -	
Laplace Toplamı	Sum of Laplacians
- M -	
makine öğrenmesi	machine learning
ortanca filtresi	median filter
ortanca nokta	median point
mercek	lens
Mutlak Farkların Toplamı	Sum of Absolute Differences
- N -	
Normalize Edilmiş Çapraz İlinti	Normalized Cross Correlation
Normalize Edilmiş Fark Kareleri Toplamı	Normalized Sum of Squared Differences
- O -	
odak	focus
odak ölçütü	focus measure
odaklanma kalitesi	focus quality
Odaktan Şekil	Shape From Focus
optik eksen	optical axis
optik merkez	optical center
orta nokta	midpoint
- Ö -	
- P -	
parlaklık	intensity
pencere	window
piksel	pixel
- R -	
rastgele desen	random pattern
referans	ground truth, reference
- S -	
sahne	scene
sahne bölütleme	scene segmentation
sahne kodlama	scene encoding
Sıfır Ortalamalı Mutlak Fark Toplamı	Zero Mean Sum of Absolute Differences
- Ş -	
Şablon Eşleştirme	Template Matching
- T -	

tam odaklanılmış türev	all-focus derivative
- U -	
Uyarlanabilir Odak Ölçüsü uzaklık uzantı	Adaptive Focus Measure distance extension
- Ü -	
- V -	
- Y -	
Yapay Sinir Ağları yapılı ışık deseni yatay yoğunluk yüksek frekanslı bileşen	Neural Networks structured light pattern horizontal intensity high frequency component
- Z -	
Zamansal Ortalama	Temporal Averaging