

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ*FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**STEREO GÖRÜNTÜLEMEDE RENK DEĞİŞMEZLERİ VE
AMPİRİK KİP AYRIŞIMI KULLANILARAK DERİNLİK
KESTİRİMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektronik ve Haberleşme Mühendisi Yılmaz ÜRGÜN

Anabilim Dalı: Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği

Danışman: Prof. Dr. Sarp Ertürk

KOCAELİ, 2009

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ*FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**STEREO GÖRÜNTÜLEMEDE RENK DEĞİŞMEZLERİ VE
AMPİRİK KİP AYRIŞIMI KULLANILARAK DERİNLİK
KESTİRİMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektronik ve Haberleşme Mühendisi Yılmaz ÜRGÜN

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 19.05.2009

Tezin Savunulduğu Tarih: 30.07.2009

Tez Danışmanı

**Prof. Dr.
Sarp ERTÜRK**


(.....)

Üye

**Doç. Dr
Cabir VURAL**


(.....)

Üye

**Doç. Dr
Oğuzhan URHAN**


(.....)

KOCAELİ, 2009

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Stereo görüntüleme bilgisayarla görü alanında çok büyük öneme sahiptir. 3 boyutlu görüntüleme sistemlerinin son yıllarda giderek yaygınlaşması bu konudaki çalışmalara ve araştırmalara ihtiyaç doğurmuştur. Özellikle ülkemizde bu konudaki araştırmaların ve başvurulacak kaynakların azlığı nedeniyle bu tez çalışmasının bu konuda çalışacak araştırmacılara faydalı olmasını diliyorum.

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca her koşulda yardımını esirgemeyen, beni içine düştüğüm her zorlukta yönlendiren ve bana hayal ettiğim çalışma ortamını sağlayan sevgili hocam Prof. Dr. Sarp Ertürk'e, kapılarını her çaldığımda yardımlarıyla karşılaştığım ve bana her türlü desteği sunan sevgili hocalarım: Yrd. Doç. Dr. M. Kemal Güllü ve Doç. Dr. Oğuzhan Urhan'a ve birlikte gece&gündüz çalıştığımız, yakın zamanda dünyanın en önemli araştırma laboratuvarlarından biri olacağına inandığım KULIS'in değerli çalışanlarına sonsuz teşekkürlerimi borç bilirim.

Ayrıca, tüm eğitim hayatım boyunca her zaman yanımda olan bana her türlü desteği sağlayan, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen sevgili aileme ve sevgili arkadaşlarıma da sonsuz teşekkürü borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ	vi
SİMGELER DİZİNİ	vii
KISALTMALAR	vii
ÖZET.....	viii
İNGİLİZCE ÖZET.....	ix
1. GİRİŞ	1
2. STEREO GÖRÜ SİSTEMİ.....	4
2.1. Perspektif Kamera	4
2.2. Stereo Görüntülemenin İki Genel Problemi	5
2.3. Basit Bir Stereo Sistemi.....	9
2.4. Epipolar Geometri [1].....	12
2.4.1. Temel matris (Essential matrix), E [1].....	15
2.4.2. Ana matris (Fundamental matrix), F [1].....	16
2.5. Stereo Sisteminin Parametreleri [1].....	18
2.6. Karşı Düşme Problemi [1].....	19
2.7. Stereo Görü Modeli	19
2.8. Stereo Eşleme Problemleri	21
3. STEREO EŞLEME	22
3.1. Stereo Eşlemede Kullanılan Yöntemlerin Sınıflandırılması [2].....	22
3.1.1. İlinti-Alan temelli yöntemler [1].....	25
3.1.1.1. Temel eşleme ölçütleri	27
3.1.1.2. Sağlamlama Teknikleri	30
3.1.1.2.1. İlinti sonucunun değeri.....	30
3.1.1.2.2. İlinti tepe noktasının şekli ve tekliği	30
3.1.1.2.3. Sol-Sağ tutarlılık denetlemesi	30
3.1.2. Özellik temelli yöntemler	32
3.1.3. Yöntemlerin değerlendirilmesi	34
3.2. Stereo Eşleme Konusunda Daha Önce Yapılmış Çalışmalara Genel Bakış:.....	35
4. STEREO EŞLEME YÖNTEMLERİNİN RENK DEĞİŞMEZLERİ VE AMPİRİK KİP AYRIŞIMI YÖNTEMİYLE ELDE EDİLEN STEREO İMGELERİNE UYGULANMASI.....	39
4.1. Azaltılmış sınır hatalı çoklu pencere kullanan ilinti temelli stereo eşleme yöntemi.....	40
4.2. Dinamik programlama temelli stereo eşleme yöntemi	47
4.3. Renk bölütleme temelli stereo eşleme yöntemi.....	51
4.4. Renk değişmezleri kullanarak stereo eşleme yöntemlerinin uygulanması.....	55
4.5. Ampirik Kip Ayrışımı (Empirical mode decomposition) kullanarak stereo eşleme yöntemlerinin uygulanması.....	67
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	73

KAYNAKLAR	75
KİŞİSEL YAYINLAR ve ESERLER.....	80
ÖZGEÇMİŞ	81

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1: Temel stereo eşleme geometrisi [2].....	1
Şekil 2.1: Perspektif Kamera [1].....	5
Şekil 2.2: Stereo'nun birinci problemi; sol ve sağ imgenin birbirine karşı gelen noktalarının bulunmasıdır [4].....	6
Şekil 2.3: (a) İkonos uydusundan farklı zamanlarda alınan görüntülerle stereo imge edilmesi (b) oluşturulmuş yeryüzünün 3 boyutlu modelleri. Renkler sıcaklaştıkça (kırmızılaştıkça) yükseklik artmaktadır. [5].....	7
Şekil 2.4: Stereo eşlemede sıklıkla kullanılan referans imgelerden birisi: sawtooth a) sol kameradan çekilerek elde edilen imge, b) sağ kameradan çekilerek elde edilen imge c) Sahnenin yer gerçeği (ground truth) haritası [4].....	8
Şekil 2.5: Basit bir stereo sistemi. 3 boyutlu geri çatma karşı gelme probleminin çözümüne bağlıdır (a). Derinlik karşı düşen noktaların stereo uzaklığından hareketle belirlenir (b). [6].....	11
Şekil 2.6: Derinlik ve stereo uzaklık (disparity) birbiriyle ters orantılıdır. [6].....	12
Şekil 2.7: Epipolar geometri [1].....	13
Şekil 2.8: Epipolar düzlem [3].....	15
Şekil 2.9: Genel stereo görü modeli [2].....	20
Şekil 3.1: Stereo imge eşleme yöntemleri [2].....	23
Şekil 3.2: Sol ve sağ imgelerdeki aynı noktalar epipolar çizgi üzerinden yapılan stereo eşleme ölçümüyle tespit edilmektedir. Burada ölçüm kıstası olarak SSD kullanılmıştır. [3].....	27
Şekil 3.3: Epipolar kısıtlanmış alan temelli eşleme.....	29
Şekil 3.4: İlinti tepe noktaları yaklaşık olarak aynı uzunluğa sahip olduğunda karşılaşılan belirsizlik [2].....	31
Şekil 3.5: Tutarlı eşlemeye karşı tutarsız eşleme. Soldaki eşleme tutarlı iken sağdaki eşleme tutarsızdır. [2].....	32
Şekil 4.1: Nesne sınırındaki ilinti penceresi [51].....	41
Şekil 4.2: Çoklu pencere düzenleşimi [51].....	42
Şekil 4.3: Standart ilinti temelli stereo eşleme yapılarak elde edilen stereo uzaklık haritası.....	44
Şekil 4.4: 5-pencere düzenleşimi kullanılarak stereo eşleme yapılarak elde edilen stereo uzaklık haritası.....	44
Şekil 4.5: Standart ilinti eşleme için kapanan bölgeler.....	45
Şekil 4.6: 5-pencere ilinti eşleme için kapanan bölgeler.....	45
Şekil 4.7: sol ve sağ kameradan çekilmiş “küp” imgeleri.....	46
Şekil 4.8: Standart ilinti eşleme yöntemiyle elde edilmiş stereo uzaklık haritası.....	46
Şekil 4.9: küp imgeleri için 5-pencere yöntemiyle elde edilen stereo uzaklık haritası.....	47
Şekil 4.10: Dinamik programlama eşlemesinin üç boyutlu eksenlerle gösterimi [52].....	48
Şekil 4.11: DP matrisini oluşturmayı gösteren basit bir örnek [52].....	50
Şekil 4.12: En küçük yolun bulunmasını gösteren basit bir örnek [52].....	50

Şekil 4.13: Küp stereo imgeleri için DP ile elde edilen sol stereo uzaklık haritası ...	51
Şekil 4.14: Tsukuba stereo imgeleri için DP ile elde edilen sol stereo uzaklık haritası	51
Şekil 4.15: Tsukuba stereo imgeleri için bölütleme temelli stereo eşleme ile elde edilen stereo uzaklık haritası (5-pencere ilinti yöntemi kullanılmıştır)	52
Şekil 4.16: Küp stereo imgeleri için bölütleme temelli stere eşleme ile elde edilen stereo uzaklık haritaları (5-pencere ilinti yöntemi kullanılmıştır)	53
Şekil 4.17: Tsukuba stereo imgeleri için bölütleme temelli stereo eşleme ile elde edilen stereo uzaklık haritası (dinamik programlama yöntemi kullanılmıştır)	53
Şekil 4.18: Küp stereo imgeleri için bölütleme temelli stere eşleme ile elde edilen stereo uzaklık haritaları (dinamik programlama yöntemi kullanılmıştır)	54
Şekil 4.19: tsukuba imgesi için ortalama kaydırma yöntemiyle bölütlenmiş imge ...	54
Şekil 4.20: küp imgesi için ortalama kaydırma yöntemiyle bölütlenmiş imge.....	55
Şekil 4.21: “tsukuba” stereo imgeleri için (a,b) I_1 , (c,d) I_2 , (e,f) I_3 renk değişmezleri kullanılarak elde edilen sol ve sağ stereo imgeleri.....	56
Şekil 4.22: “küp” stereo imgeleri için (a,b) I_1 , (c,d) I_2 , (e,f) I_3 renk değişmezleri kullanılarak elde edilen sol ve sağ stereo imgeleri.....	57
Şekil 4.23: “tsukuba” stereo imgeleri için (a,b) c_1 , (c,d) c_2 , (e,f) c_3 renk değişmezleri kullanılarak elde edilen sol ve sağ stereo imgeleri.....	58
Şekil 4.24: “küp” stereo imgeleri için (a,b) c_1 , (c,d) c_2 , (e,f) c_3 renk değişmezleri kullanılarak elde edilen sol ve sağ stereo imgeleri.....	59
Şekil 4.25: “tskuba” imgeleri için renk özü (a,b) ve doygunluk kanalları (c,d), “küp” imgeleri için renk özü (e,f) ve doygunluk kanalları (g,h)	60
Şekil 4.26: Tsukuba imgeleri için I_1 , I_2 , I_3 kullanarak 5-pencere (a,c,e) ve dinamik programlama(e,d,f) yöntemleri için elde edilen stereo uzaklık haritaları	62
Şekil 4.27: “Küp” imgeleri için I_1 , I_2 , I_3 kullanarak 5-pencere (a,c,e) ve dinamik programlama(e,d,f) yöntemleri için elde edilen stereo uzaklık haritaları	63
Şekil 4.28: Tsukuba imgeleri için c_1 , c_2 , c_3 kullanarak 5-pencere (a,c,e) ve dinamik programlama(e,d,f) yöntemleri için elde edilen stereo uzaklık haritaları	64
Şekil 4.29: “küp” stereo imgeleri için c_1 , c_2 , c_3 kullanarak 5-pencere (a,c,e) ve dinamik programlama(e,d,f) yöntemleri için elde edilen stereo uzaklık haritaları....	65
Şekil 4.30: “tskuba” imgeleri için H kanalı kullanarak 5-pencere (a), dinamik programlama (b), S kanalı kullanarak 5-pencere (c) dinamik programlama (d) yöntemleri kullanarak elde edilen stereo uzaklık haritaları. “küp” imgeleri için H kanalı kullanarak 5-pencere (e), dinamik programlama (f) S kanalı kullanarak 5-pencere (g) dinamik programlama (h) yöntemleri kullanarak elde edilen stereo uzaklık haritaları.....	66
Şekil 4.31: “tsukuba” stereo imgeleri için elde edilen IMF’ler. Sol imge için IMF–1(a) IMF–2(c) IMF–3(e) sağ imge için IMF–1(b)IMF–2(d) IMF–3(f)	69
Şekil 4.32 “küp” stereo imgeleri için elde edilen IMF’ler. Sol imge için IMF–1(a) IMF–2(c) IMF–3(e) sağ imge için IMF–1(b)IMF–2(d) IMF–3(f).....	70
Şekil 4.33: “tsukaba” stereo imgeleri için 5-pencere yöntemiyle, IMF-1 (a) IMF-1+IMF-2 (c) IMF-1+IMF-2+IMF-3 (e), dinamik programlama yöntemiyle, IMF-1 (b) IMF-1+IMF-2 (d) IMF-1+IMF-2+IMF-3 (f) kullanılarak elde edilen stereo uzaklık haritaları.....	71
Şekil 4.34: “küp” stereo imgeleri için 5-pencere yöntemiyle, IMF-1 (a) IMF-1+IMF-2 (c) IMF-1+IMF-2+IMF-3 (e), dinamik programlama yöntemiyle, IMF-1 (b) IMF-1+IMF-2 (d) IMF-1+IMF-2+IMF-3 (f) kullanılarak elde edilen stereo uzaklık haritaları	72

TABLolar DİZİNİ

Tablo 3.1: Stereo eşlemede kullanılan yöntemler	22
Tablo 3.2: Alan-ilinti temelli eşleme ölçütleri [7]	28

SİMGELER DİZİNİ

P	: Üç boyutlu düzlemdeki bir nokta
I_L	: Sol kameradan alınmış imge
I_R	: Sağ kameradan alınan imge
π	: İmge düzlemi ile ifade edilen izdüşümün merkezi veya odağı olan
O	: İzdüşüm merkezi
f	: Kameranın odak merkezi
B	: Stereo ana hat uzunluğunu
Z	: Derinlik
d	: Stereo uzaklık (disparity)
T	: Dayanak çizgisi
e	: Epipole
p	: Uzaydaki P noktasının kameradaki izdüşümü
E	: Temel matris
F	: Ana matris
R	: Ortalama karakök hatası

KISALTMALAR

AKA	: Ampirik kip ayrışımı
DP	: Dinamik Programlama
EMD	: Empirical mode decomposition
IMF	: Intrinsic mode function
SAD	: Mutlak farkların toplamı
ZSAD	: Mutlak farkların sıfır ortalama toplamı
SSD	: Kare farklarının toplamı
ZSSD	: Kare farkların sıfır ortalama toplamı
NCC	: Normalize edilmiş çapraz ilinti
ZNCC	: Sıfır ortalama normalize edilmiş çapraz ilinti

STEREO GÖRÜNTÜLEMEDE RENK DEĞİŞMEZLERİ VE AMPİRİK KİP AYRIŞIMI KULLANILARAK DERİNLİK KESTİRİMİ

Yılmaz ÜRGÜN

Anahtar Kelimeler: Bilgisayarla görü, stereo görüntüleme, stereo eşleme, epipolar geometri, 3-b görüntüleme, renk değişmezleri, ampirik kip ayrışımı, dinamik programlama, ortalama kaydırma bölütleme

Özet: 3 boyutlu görsel sunumun sağlanması için stereo görüntüleme sisteminden faydalanılmaktadır. Stereo görüntüleme sisteminde, insan görü sistemine benzer olarak birbirine kısa mesafeyle ve yatay düzlemde paralel olarak konumlandırılmış kameralardan alınan imgelerden, görüntü alınan sahnenin perspektif yani derinlik bilgisi çıkartılması amaçlanmaktadır. Elde edilen derinlik bilgisi ile sahnenin 3 boyutlu sunumu elde edilebilmektedir. Derinlik bilgisini elde edebilmek için sağ ve sol imgelerdeki imge noktalarının konum değişimini bulmak gerekmektedir. Konum değişikliği bulma işlemine stereo eşleme denmektedir ve stereo görüntülemenin en önemli konusudur. Bu konum değişikliği stereo geometrisine uydurulduğunda derinlik bilgisine ulaşılabilmektedir. 3 boyutlu görüntüleme konusunda son dönemlerde yapılan gelişmeler sayesinde bu konuya verilen önem daha da artmıştır. Bu tez çalışmasında stereo görüntü eşleme aşamasında renk değişmezleri ve ampirik kip ayrışımı yaklaşımlarının kullanılması incelenmiştir.

DEPTH ESTIMATION BY USING COLOR INVARIANTS AND EMPIRICAL MODE DECOMPOSITION IN STEREO VISION

Yılmaz ÜRGÜN

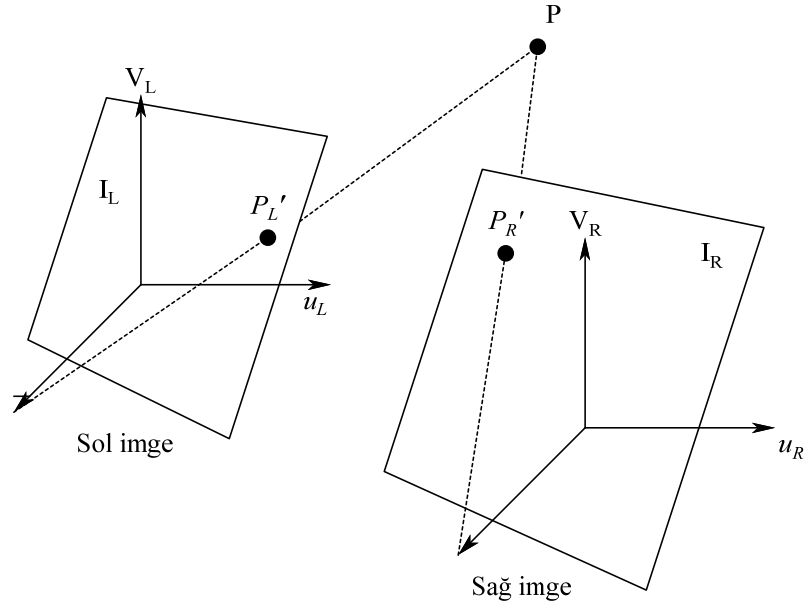
Keywords: Computer vision, stereo vision, stereo matching, epipolar geometry, 3-d vision, color invariants, empirical mode decomposition, dynamic programming, mean shift segmentation.

Abstract: Stereo vision is used in order to enable the 3-d visual presentation. In stereo vision system, two cameras horizontally located at a short distance are used to obtain perspective or depth information about the scene, similar to the human visual system. Thereby, it becomes possible to reconstruct the 3-d presentation of the scene. In order to get the depth information of the scene, the difference in the position of the same point has to be obtained for the left and right cameras. This process is called stereo matching and is the most important part of the stereo vision system. This position difference, or disparity, is used to construct the depth of the scene considering stereo geometry. In the last years, stereo vision has become more important with the developments of 3-d vision systems. In this thesis, color invariants and empirical mode decomposition approaches on stereo matching process has been analyzed.

1. GİRİŞ

Stereo görüntüleme en genel anlamda, iki farklı bakış noktasından kaydedilmiş imgelerden 3 boyutlu yapı ve sahne uzaklığı bilgisini elde etme yeteneğidir. Stereo görüntülemenin temelini ve problemlerini basit bir deney yolu ile açıklayabiliriz: Bir kol uzaklığında elimizin başparmağına sağ ve sol gözümüzü sırayla kapatıp bakıldığında her iki göz için de başparmağın konumu ve ilgili arka plan farklı görüntülere sahip olmaktadır. İki göz ile beraber bakıldığında ise beynimiz aracılığıyla gerçekte gördüğümüz görüntülerin 3 boyutlu sunumu oluşturulmaktadır. [1]

3 boyutlu verinin imgelerden elde edilmesi konusu bilgisayarla görü alanında çok önemli bir yere sahiptir. Bunu gerçekleştirmenin en kolay yolu stereo imgelerden faydalanmaktır. Bunun için, aynı sahneye ait farklı açılardan elde edilmiş imgelerden derinlik bilgisini elde etmek gerekmektedir. Şekil 1.1.'de temel stereo eşleme geometrisi gösterilmektedir.



Şekil 1.1: Temel stereo eşleme geometrisi [2]

Şekil 1.1' de sağ ve sol imge çifti I_L ve I_R gösterilmektedir. Eğer bir nesnenin P noktası her iki I_L ve I_R imgede de tanımlanmışsa, bu noktanın 3 boyutlu konumu optik üçgenleme (triangulation) ile hesap edilebilmektedir. Üçgenleme işlemi, odak uzaklığı ve optik merkez gibi kamera içi parametre bilgilerine ihtiyaç duymaktadır. Bunun yanında kameraların göreceli konumları ve yönleri gibi kamera dışı bilgilere de ihtiyaç vardır. Temel gereksinim, I_R içinde bir P noktasının bu imge içerisindeki izdüşümü olan P_R ile fiziksel olarak aynı P noktasına denk gelen, I_L içindeki P_L noktasını belirlemektir. Bu işlem, karşı düşme (karşılılık) problemi (correspondence problem) olarak da bilinmektedir.

Eğer her iki kameranın yöneltimi, P_L' ve P_R' noktaları bilinmekteyse P noktasının orijinal koordinatları (1.1)'de gösterilen denklem yoluyla bulunabilmektedir.

Doğrultulmuş imgeler için, derinlik haritası en genel ifade olarak aşağıdaki formülle gösterilmektedir.

$$z = \frac{Bf}{d} \quad (1.1)$$

Burada, z derinlik, B stereo ana hat uzunluğunu, f odak uzaklığını ve d stereo uzaklık ya da x-paralaks'ı göstermektedir. Stereo ana hattı, iki imge merkezi arasındaki uzaklığı; stereo uzaklık (disparity) ise ilgili stereo imge koordinatları arasındaki uzaklığı göstermektedir. Geri-çatılmış derinlik haritasında esasında 3 boyutlu yerine 2.5 boyutlu gösterime başvurulur, çünkü derinlik bilgisi sadece görünür yüzeyle ayırt edilmektedir. Görünür bölgeler arkasındaki hiçbir yüzeyin şekli hakkında bir bilgi sonucu çıkarılmaz. Stereo imgeler, ileride anlatılacak olan epipolar geometriye uygun modellenmesi durumunda ilgililik noktaları aynı y koordinatına sahip olacaktır. Stereo uzaklık haritası gri-seviyeli imge şeklinde gösterilmektedir. Burada her bir gri ton, karşı düşen noktaların yatay doğrultudaki farkını göstermektedir.

Stereo imgelerden 3 boyutlu sunumun oluşturulması için stereo görü modelindeki belirli aşamaların gerçekleştirilmesi gerekmektedir. 3 boyutlu sunumu ifade

edebilmek için doğrultulmuş kamera imgelerinden derinlik bilgisini elde etmek gerekmektedir. Derinlik bilgisi, sağ ve sol imgelerdeki karşı düşen noktaların bulunup stereo geometrisine uydurulmasıyla elde edilmektedir. Bu işlem ileriki konularda anlatılacak olan belirlenmiş kısıtlamalar dâhilinde yerine getirilmektedir.

Bu tez çalışmasında, 2. Bölümde stereo görü sistemi anlatılacak olup bu bölümde stereo geometrisi, basit bir stereo modeli, epipolar geometri, stereo eşleme gibi temel kavramlar anlatılacaktır. 3. Bölümde ise stereo eşleme algoritmalarına değinilip daha önce yapılmış yöntemler ve çalışmalar hakkında detaylı bilgiler verilecektir. 4. bölümde ise literatürde en iyi başarımları veren yöntemler incelenerek karar kılınan 3 yöntem kullanılarak renk değişmezleri ve ampirik kip ayrışımı yaklaşımlarının stereo eşleme aşamasında uygulanması incelenecektir.

2. STEREO GÖRÜ SİSTEMİ

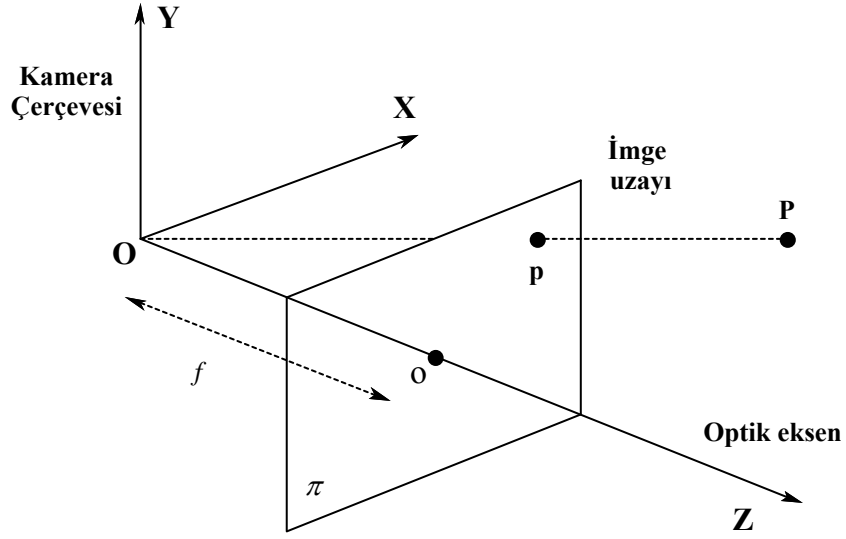
2.1 Perspektif Kamera

Kameraların en genel geometrik modeli perspektif ya da iğne deliği modelidir. Perspektif kamera modeli, Şekil 2.1'de gösterildiği gibi π ile ifade edilen imge düzlemine, O ile ifade edilen bir izdüşümün merkezi veya odağı olan bir 3-B noktasını içermektedir. π ile O arasındaki mesafe odak uzaklığıdır. O boyunca ve π düzlemine dikey olan doğrultu optik eksendir. Optik eksen ile π düzleminin kesişim noktasına ise ana nokta ya da imge merkezi adı verilir. Şekil 2.1' de gösterildiği gibi, P imgesinin p noktası, P ve O noktaları arasındaki düz çizginin π imge düzleminin kesişiminde yer almaktadır. O noktasının orijin olduğu ve π düzlemiyle Z ekseninin birbirine dikey olduğunu varsayarak ve $\mathbf{P} = [X, Y, Z]^T$ ve $\mathbf{p} = [x, y, z]^T$ olarak kabul ederek bir 3-B referans çerçeve düşünelim. Bu referans çerçeve kamera çerçevesi olarak adlandırılır ve bilgisayarla görü alanında temel bir öneme sahiptir. Kamera çerçevesinin temel bağıntılarını vermek gerekirse:

Kamera çerçevesinde:

$$x = f \frac{X}{Z} \quad (2.1)$$

$$y = f \frac{Y}{Z} \quad (2.2)$$



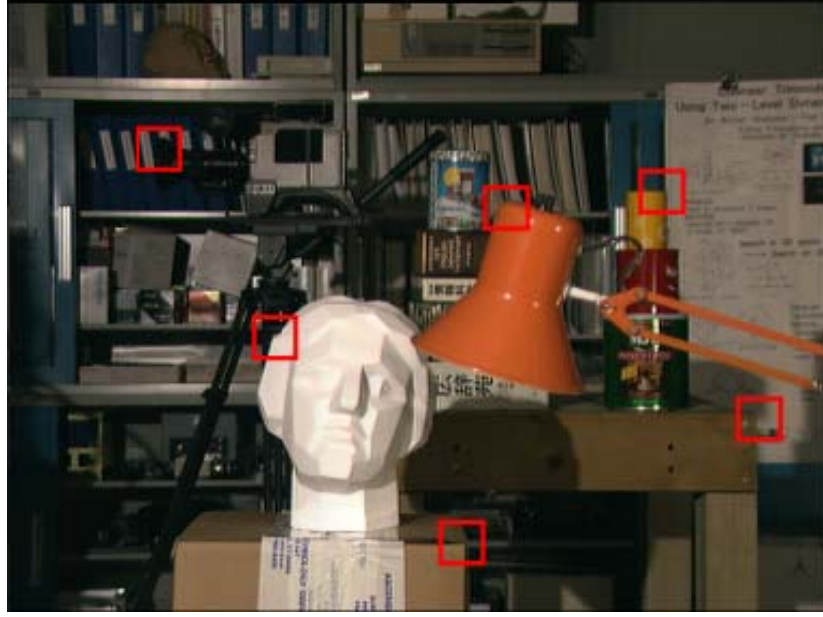
Şekil 2.1: Perspektif Kamera [1]

2.2 Stereo Görüntülemenin İki Genel Problemi

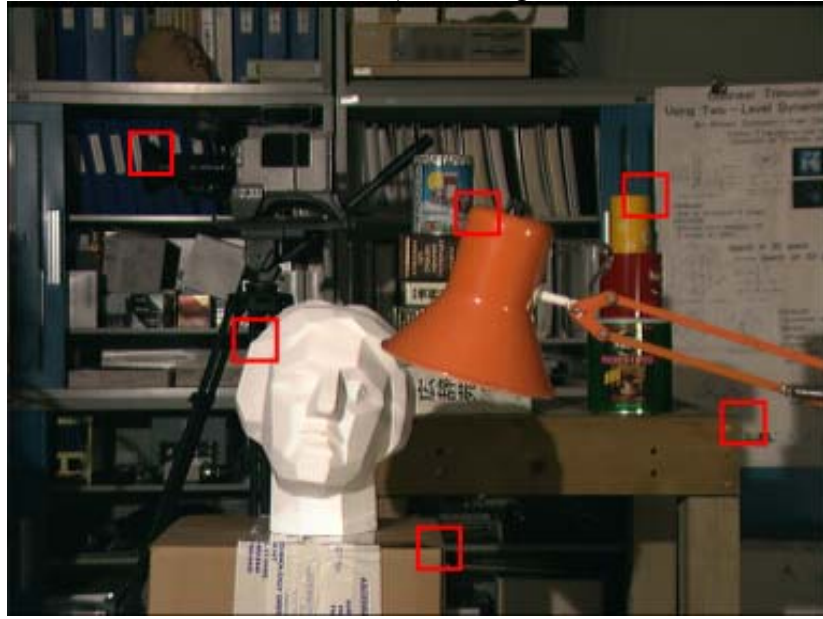
Hesapsal yönden bakarsak bir stereo sisteminin iki problemi çözmesi gerekmektedir. Bunlardan biri, karşı düşme (karşılıklık) olarak bilinen ve sol imgedeki bir bölgenin sağ imgede hangi bölgeye ya da noktaya karşı geldiğini bulma problemidir. Burada karşımıza ince bir zorluk çıkmaktadır, bakılan sahnenin bazı bölgeleri sadece bir göz ile görülebilmektedir. Bu nedenle stereo sisteminde hangi imge bölgelerinin eşlenmediğinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu durum Şekil 2.2’de gösterilmektedir.

İkinci problem, stereo sisteminin 3 boyutlu (3-D) geri-çatma problemini çözmesi olarak karşımıza çıkmaktadır. İnsanların dünyayı canlı bir şekilde 3 boyutlu olarak algılaması, beynimizin, gözümüzün retinal konumlarına düşen ve stereo uzaklık (disparity) olarak adlandırılan stereo görüntü çiftleri arasındaki farkı yorumlaması sayesinde gerçekleşmektedir. Eğer stereo sisteminin geometrisi bilinirse, stereo uzaklık, bakılan sahnenin 3 boyutlu haritasına dönüştürülebilmektedir (geri çatma).

Şekil 2.3(a)’da İkonos uydusundan yeryüzünün görüntüsü farklı zamanlarda kaydedilmektedir. Şekil 2.3(b)’de ise elde edilen bu imgelerle stereo eşleme kullanılarak oluşturulan yeryüzü yükseklik haritası gösterilmektedir.

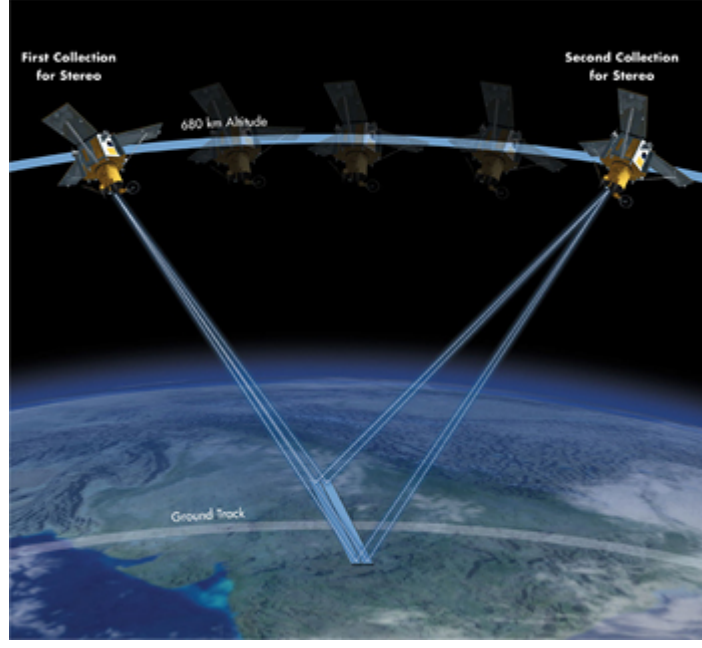


a) Sol imge

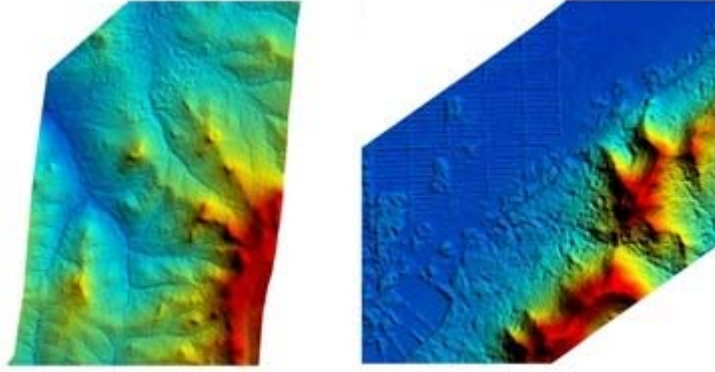


(b) Sağ imge

Şekil 2.2: Stereo'nun birinci problemi; sol ve sağ imgenin birbirine karşı gelen noktalarının bulunmasıdır [4].



(a)



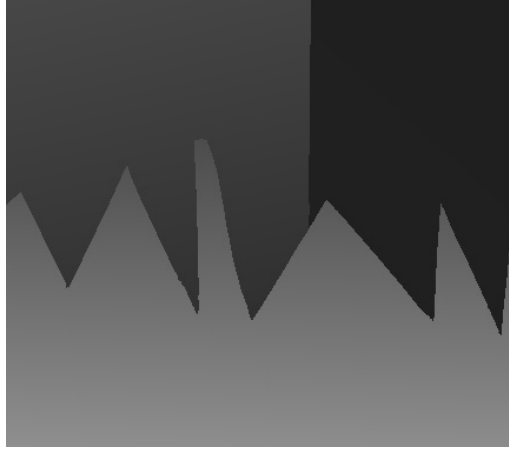
(b)

Şekil 2.3: (a) Ikonos uydusundan farklı zamanlarda alınan görüntülerle stereo imge edilmesi (b) oluşturulmuş yeryüzünün 3 boyutlu modelleri. Renkler sıcaklaştıkça (kırmızılaştıkça) yükseklik artmaktadır. [5]



a)

b)



c)

Şekil 2.4: Stereo eşlemede sıklıkla kullanılan referans imgelerden birisi: sawtooth a) sol kameradan çekilerek elde edilen imge, b) sağ kameradan çekilerek elde edilen imge c) Sahnenin yer gerçeği (ground truth) haritası [4]

Şekil 2.4(c)'deki derinlik haritası, 0–255 arası değerler almaktadır. Beyaza yakın parlaklık değeri bölgenin kameraya daha yakın olduğunu göstermektedir. Parlaklık değeri siyaha yaklaştıkça derinlik artmaktadır. Burada, derinlik, sahnedeki nesnelerin kameraya olan uzaklığını ifade etmektedir. Stereo eşleme sonucu elde edilen stereo uzaklık haritası ve stereo geometrisindeki parametreler kullanılarak derinlik haritasına ulaşılmaktadır.

2.3 Basit Bir Stereo Sistemi

Öncelikle, stereo sisteminin en basit modeline göz atmak gerekmektedir. Şekil 2.5’ de gösterilen çizimlerde iğne deliği modeli kullanılan iki adet kameradan oluşan stereo sisteminin üstten görünüşü gösterilmektedir. Sol ve sağ imge düzlemleri düzlemdeştirler ve I_l ve I_r isimleriyle betimlenmektedir. O_l ve O_r izdüşüm merkezleridir. Optik eksenler paraleldir ve bu nedenle sabitleşme noktası (fixation point) optik eksenlerin kesişim noktası olarak tanımlanmıştır ve kameralardan sonsuz uzaklıkta yer almaktadır.

Stereo sisteminin P ve Q noktalarının uzaydaki konumlarını belirlemek için üçgenleme yöntemi kullanılır. Bu yöntemde, izdüşüm merkezleri, P ve Q imge noktaları ve p_l, p_r, q_l, q_r noktaları kesiştirilerek bir üçgen oluşturulması amaçlanmaktadır. Üçgenleme önemli derecede karşı gelme probleminin çözümüne bağlıdır: eğer, (p_l, p_r) ve (q_l, q_r) karşı gelen noktalar olarak seçilirse, $O_l p_l - O_r p_r$ ve $O_l q_l - O_r q_r$ ışınlarını kesiştirdiğimizde oluşan imge noktaları P ve Q’ nun izdüşümü olmaktadır. Fakat, eğer (p_l, q_r) ve (q_l, p_r) noktaları karşı gelen noktalar olarak seçilirse üçgenleme P’ ve Q’ üzerinden yapılmalıdır. Bu noktada, karşı gelme probleminin çözülmüş olduğunu varsayıp geri çatma işlemine bakmak gerekmektedir. Yukarıda anlatılanlardan yola çıkılarak oluşturulan benzer üçgenler yardımıyla, tek bir P noktasının konumunu izdüşümleri olan (p_l, p_r) noktalarından yeniden oluşturulmasını incelemek gerekmektedir. T, O_l ve O_r izdüşüm merkezleri arasındaki uzaklık stereo sisteminin dayanak çizgisi olarak adlandırılmaktadır. x_l ve x_r ana noktaları olan c_l ve c_r ’ye göre p_l, p_r ’nin koordinatları, f ortak odak uzaklık ve Z’de dayanak çizgisi ve P noktası arasındaki uzaklık olarak varsayılırsa, (p_l, P, p_r) ve (O_l, P, O_r) benzer üçgenleri arasında bir denklem kurulursa,

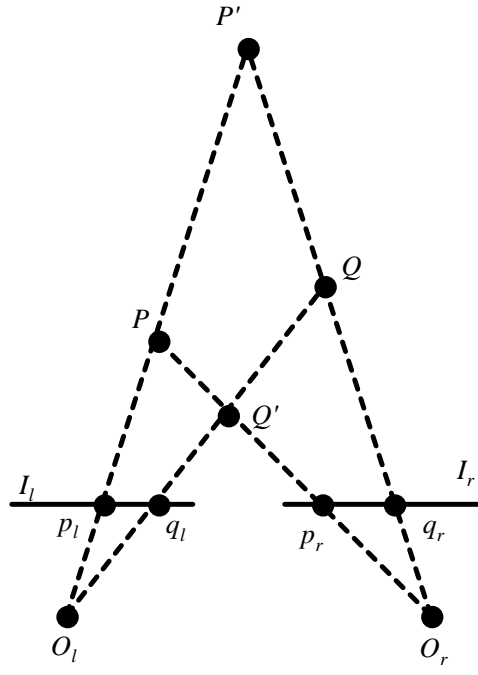
$$\frac{T + x_l - x_r}{Z - f} = \frac{T}{Z} \quad (2.3)$$

olmaktadır.

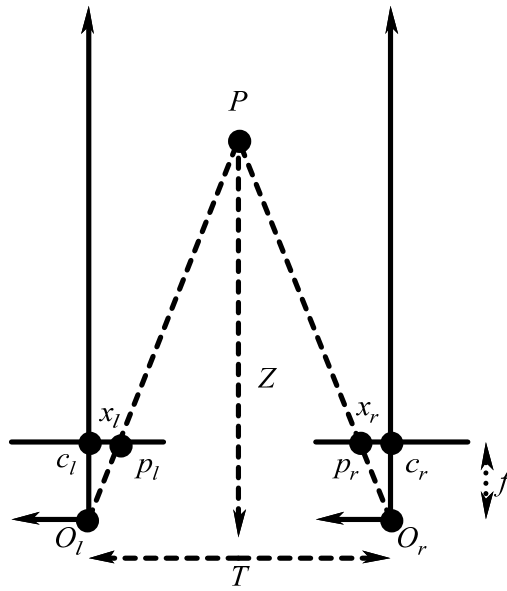
(2.3) çözüldüğünde,

$$Z = f \frac{T}{d} \quad (2.4)$$

elde edilmektedir Burada, $d = x_l - x_r$, iki imgedeki karşı düşen iki noktası arasındaki farkı, yani stereo uzaklığını (disparity) göstermektedir. Denklem (2.4)'de anlaşılacağı üzere derinlik, stereo uzaklıkla ters orantılıdır. Bu durumu dış dünyadaki hareket eden cisimlere bakarak anlayabiliriz. Örneğin, uzaktaki hareket eden nesnelere yakındaki nesnelere göre daha yavaş hareket ediyorlarmış gibi görünürler. Şekil 2.6' da gösterildiği gibi, kameraya yakın nesnenin her iki kamerada oluşturduğu stereo uzaklık en büyük değerdedir. Yani kameraya yakın bir nesnenin her iki kamerada konum değişikliği uzaktaki bir nesneye göre daha büyük olmaktadır. Aynı zamanda bu nesnenin kameralara olan uzaklığı azdır. Ayrıca bu sonuç bize stereo sistemi hakkında önemli bir kısıtlama bilgisi vermektedir: Hassas ve doğru derinlik bilgisi ancak yakın nesnelere için elde edilebilmektedir. [6]

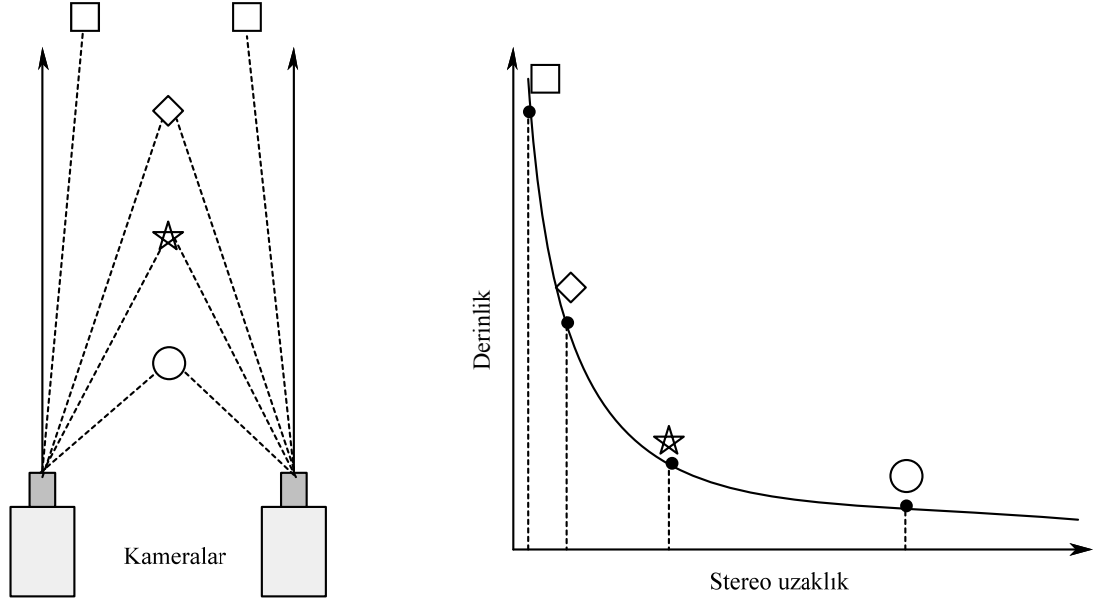


(a)



(b)

Şekil 2.5: Basit bir stereo sistemi. 3 boyutlu geri çatma karşı gelme probleminin çözümüne bağlıdır (a). Derinlik karşı düşen noktaların stereo uzaklığından hareketle belirlenir (b). [6]



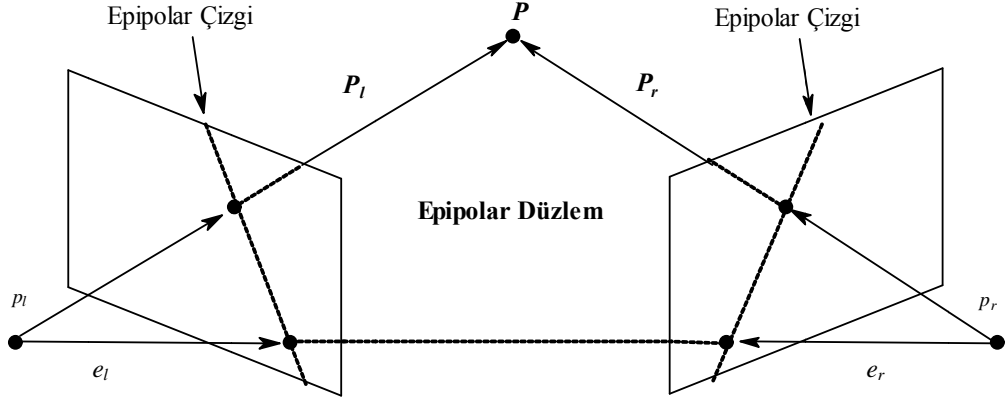
Şekil 2.6: Derinlik ve stereo uzaklık (disparity) birbiriyle ters orantılıdır. [6]

2.4 Epipolar Geometri [1]

İmge satırları üzerinden karşı düşen eleman aramasını gerçekleştirmek için hangi bilginin gerektiğini açıklamak amacıyla stereo eşlemenin temeli oluşturulan Epipolar geometri hakkında bilgi sahibi olmak önem taşımaktadır.

Epipolar geometri olarak da bilinen stereo geometrisi, Şekil 2,7’ de gösterilmektedir. Bu şekilde iğne deliği modeli kullanılan iki adet kamera, onların izdüşüm merkezleri, O_l ve O_r , ve imge uzayları π_l ve π_r gösterilmektedir. Odak uzaklıkları f_l ve f_r olarak ifade edilmiştir. Her bir kamera 3-B’ li referans çerçeve olarak tanımlanmıştır. Kameraların orijinleri izdüşüm merkezi ile Z-eksenleri ise optik eksenle çakışmaktadır. $\mathbf{P}_l = [X_l, Y_l, Z_l]^T$ ve $\mathbf{P}_r = [X_r, Y_r, Z_r]^T$ sol ve sağ referans çerçevelerin vektörleri, aynı 3-B’ lu P noktasını ifade etmektedir. $\mathbf{p}_l = [x_l, y_l, z_l]^T$ ve $\mathbf{p}_r = [x_r, y_r, z_r]^T$ vektörleri, P noktasının sağ ve sol referans çerçeveleri üzerindeki izdüşümlerini göstermektedir. Tüm imge noktaları için imgeye göre elimizde $z_l = f_l$ ve $z_r = f_r$ bulunmaktadır. Böylece, her bir imge uzayı için izdüşüm uzayı P^2 ‘nin alt

kümesi olarak düşünülebilir. Ayrıca imge noktaları, izdüşüm uzayı 'nin noktaları olarak düşünülebilir.



Şekil 2.7: Epipolar geometri [1]

Sağ ve sol kameraların imgeleri harici parametreler ile bağlantılıdır. Bu parametreler, 3-B'li uzayda sabit bir dönüşüm tanımlarlar ve öteleme vektörü; $T = (O_r - O_l)$ ve döndürme matrisi; R ile ifade edilmektedir. Uzaydaki P noktası için ve arasındaki ilişki aşağıdaki eşitlikteki gibi olmaktadır.

$$P_l = R(P_l - T) \quad (2.5)$$

Epipolar geometri isminin kullanılmasının sebebi, izdüşümün merkezine giden çizgideki noktaların imge düzlemiyle kesişen noktalara epipole denmesinden ileri gelmektedir. Sağ ve sol epipole e_l ve e_r ile gösterilmektedir. Sol epipole sağ kameranın izdüşüm merkezinin imgesidir, aynı durum sağ epipole için geçerlidir. Ayrıca dikkat etmemiz gereken bir nokta da, izdüşüm merkezine doğru giden bir çizgi herhangi bir imge düzlemine paralel ise, ilgili epipole o çizginin sonsuzdaki noktasındadır.

3-B'li uzayda bir nokta ve onun izdüşümü arasındaki ilişki, perspektif izdüşümün genel vektör biçimindeki denklemlerle açıklanabilir:

$$p_l = \frac{f_l}{Z_l} P_l \quad (2.6)$$

ve

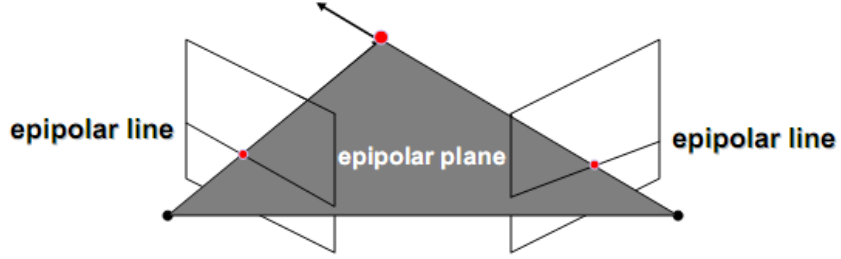
$$p_r = \frac{f_r}{Z_r} P_r \quad (2.7)$$

Epipolar geometrinin pratik önemini gösteren kavramlara değinmek gerekirse, P, O_l ve O_r noktalarının oluşturduğu düzleme epipolar düzlem ve bu düzlemin her bir imgeyi bir çizgi ile kesmesine epipolar çizgi denmektedir. P, O_l ve O_r üçlüsünü göz önüne aldığımızda; belirli Z_l için, P, O_l 'den O_r 'ye giden ışında herhangi bir yerde olabilir. Fakat bu ışının sağ imgedeki görüntüsü ilgili P_r noktası boyunca giden epipolar çizgidir. Dolayısıyla, doğru eşleme epipolar çizgi üzerinde bulunmalıdır. Bu önemli gerçek epipolar kısıtlama (koşul) olarak bilinmektedir. Bu ilişki, sol imgedeki noktalar ile sağ imgedeki çizgiler arasında bir eşleme kurmaktadır. Tam tersi durum da geçerlidir.

Böylece, sol imgedeki noktalar ve sağ imgenin epipolar çizgisi arasındaki eşlemeyi belirlersek, P_l için eşleme aramayı ilgili epipolar çizgi boyunca sınırlandırabiliriz. Sonuç olarak, karşılık gelme araması bir boyuta indirgenmiş duruma gelmektedir. Buna alternatif olarak, aynı bilgi karşı gelen epipolar çizgi üzerindeki eşlemenin aday olup olmadığını doğrulamak amacıyla da kullanılabilir. Bu özellik, örtüşme gibi sorunlarda yanlış eşlemeleri geri çekmede kullanılan genel bir yordamdır.

Özetle belirli bir stereo çifti kamerada, 3-B' li uzaydaki herhangi bir nokta P , kendisi ve iki kameranın izdüşüm merkezleri boyunca π_P düzlemini tanımlamaktadır. Bu π_P düzlemine epipolar düzlem, düzleminin imge düzlemlerini kestiği çizgiye eşlenik epipolar çizgi denmektedir. Bir kameranın, diğer kameradaki izdüşüm merkezindeki görüntüsüne epipole denmektedir. Epipoleler hariç, herhangi bir imge noktasından sadece bir epipolar çizgi geçebilir. Bir kameranın tüm epipolar çizgileri o kameranın epipolesinden geçmektedir. Karşı gelen noktalar eşlenik epipolar çizgiler üzerinden bulunmalıdır. Buna epipolar kısıtlama denmektedir.

Şekil 2.8’de Epipolar düzlem gösterilmektedir.



Şekil 2.8: Epipolar düzlem [3]

2.4.1 Temel matris (Essential matrix), E [1]

P noktası boyunca Epipolar düzlemin denklemi P_l , T ve $P_l - T$ vektörlerinin düzlemdeş koşulu altında aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$(P_l - T)^T T \times P_l = 0 \quad (2.8)$$

(2.5) denklemi kullanılarak;

$$(R^T P_r)^T T \times P_l = 0 \quad (2.8)$$

elde edilmektedir. Vektör çarpımı tam-rank (full-rank) matris ile çarpım şeklinde yazılabileceğinden;

$$T \times P_l = S P_l \quad (2.9)$$

elde edilmektedir. Burada,

$$S = \begin{bmatrix} 0 & -T_z & T_y \\ T_z & 0 & -T_x \\ -T_y & T_x & 0 \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

olduğundan, (2.8) şu hale gelir:

$$P_r^T E P_l = 0 \quad (2.10)$$

Burada,

$$E = R S \quad (2.11)$$

olup S 'nin rankı her zaman 2'dir. E matrisi temel matris olarak adlandırılır ve stereo sisteminin harici parametreleri ve epipolar kısıtlama arasında doğal bir bağlantı kurar. Ayrıca temel matristen harici parametreleri geri elde etmek mümkündür. Bu arada, (2.6) ve (2.7) $Z_r Z_l$ 'ye bölünerek (2.10) şu şekilde yazılabilmektedir:

$$p_r^T E p_l = 0 \quad (2.12)$$

Daha önceden de belirtildiği gibi sol ve sağ imgede yer alan p_l ve p_r imge noktaları sol ve sağ imge düzlemleri tarafından tanımlanan P^2 izdüşüm düzlemindeki noktalar olarak kabul edilmektedirler. Sonuç olarak, (2.12) 'deki $E p_l$ ' yi p_r ve e_r epipole'si boyunca giden sağ imge düzlemindeki izdüşüm çizgisi u_r olarak düşünebiliriz.

$$u_r = E p_l \quad (2.13)$$

(2.12) ve (2.13) 'dan anlaşılacağı üzere, temel matris, aradığımız noktalar ve epipolar çizgiler arasındaki eşlemleri sağlamaktadır.

2.4.2 Ana matris (Fundamental matrix), F [1]

Noktalar ve epipolar çizgiler arasındaki eşleme, stereo sistemi hakkında herhangi bir ön bilgi bulunmadan sadece karşı gelen noktalar yardımıyla elde edilebilmektedir. M_l ve M_r sol ve sağ kameranın dahili parametreleri olarak varsayalım. \bar{p}_l ve \bar{p}_r 'yi, p_l ve p_r kamera koordinatlarına göre piksel koordinatları olarak ele alalım. Böylece şu denklemleri elde ederiz[1]:

$$p_l = M_l^{-1} \bar{p}_l \quad (2.14)$$

ve

$$p_r = M_r^{-1} \bar{p}_r \quad (2.15)$$

(2.15) ve (2.14)' u (2.12) içinde yer değiştirirsek,

$$\bar{p}_r^T F \bar{p}_l = 0 \quad (2.16)$$

elde ederiz. Burada,

$$F = M_r^{-T} E M_l^{-1} \quad (2.17)$$

olmaktadır.

Burada, F ana matris (fundamental matrix) olarak adlandırılmaktadır. Temel ve ana matris (2.12) ve (2.16)'den görüldüğü gibi birbirine çok benzerdir. (2.12)'deki $E p_l$ ve (2.16)'deki $F \bar{p}_l$ izdüşümsel epipolar çizginin denklemi gibi düşünülebilir ve \bar{p}_l noktasına denk gelen \bar{u}_r 'nin denklemi aşağıdaki gibi yazılabilmektedir.

$$\bar{u}_r = F \bar{p}_l \quad (2.18)$$

(2.13) ile (2.18) arasındaki en büyük fark, yani temel ve ana matrisler arasındaki en büyük fark, ana matris piksel koordinatları cinsinden tanımlanmakta olup, *temel* matris ise kamera koordinatları cinsinden tanımlanmaktadır. Sonuç olarak, eğer ana matris (fundamental matrix) piksel koordinatındaki birkaç nokta eşeleme ile kestirebiliyorsa stereo sisteminin dahili ve harici parametre bilgilerine ihtiyaç olmadan epipolar geometri yeniden oluşturulabilmektedir. Bu durum bize doğrultma işlemi ile kurulan epipolar kısıtlamanın, noktalar ve ilgili epipolar çizgiler eşlemlendiği sürece, stereo parametreleri hakkında ön bilgi bulunmadan kurulabildiğini göstermektedir. Bu iki önemli matrisin matematiksel özelliklerini özetlemek istersek:

Kamera koordinatlarındaki her bir karşı gelen p_l ve p_r noktaları için, temel matris aşağıdaki denklemi sağlamaktadır.

$$p_r^T E p_l = 0 \quad (2.10)$$

Kamera koordinatlarındaki her bir karşı gelen \bar{p}_l ve \bar{p}_r noktaları için, ana matris aşağıdaki denklemi sağlamaktadır.

$$\bar{p}_r^T F \bar{p}_l = 0 \quad (2.16)$$

Her iki matris epipolar geometrinin tamamen geri çatılmasını sağlamaktadır. Eğer M_l ve M_r dahili parametrelerin matrisleri ise, temel ve ana matris arasındaki ilişki aşağıdaki gibi olmaktadır.

$$F = M_r^{-T} E M_l^{-1} \quad (2.17)$$

Temel matrisi başlıklar halinde tanımlamak gerekirse;

1. Sadece harici parametrelerdeki bilgiyi içinde kodlar. (2.11)
2. S 'in rankı 2 ise ve R tam rank ise (full rank) 2 rankına sahiptir
3. İki sıfır olmayan tekil değeri birbirine eşittir.

Ana matrisi başlıklar halinde tanımlamak gerekirse:

1. Dâhili ve harici parametreler üzerindeki bilgilerin her ikisini de kendi içinde kodlar.
2. T_l ve T_r tam rank'a sahipse ve E 2 rankına sahipse, rankı 2 'dir.

2.5 Stereo Sisteminin Parametreleri [1]

Derinlik bilgisi, odak uzaklığı f ve stereo dayanak çizgisi (baseline) T 'ye bağlıdır. Şekil 2.5'de gösterilen, ana noktalar (principal points) olan c_l ve c_r 'e ait x_l ve x_r koordinatları'na aittir. f , T , c_l ve c_r stereo sisteminin parametreleridir, ve bunların değerlerini bulmak stereo kalibrasyonu problemini oluşturmaktadır. Genel stereo sisteminde, çözülmesi gereken iki tip parametre vardır: dahili ve harici parametreler.

Dahili parametreler, her bir kameradaki bir imge noktasının kameradan piksel koordinatına dönüşüm eşlemlenmeyi tanımlar.

Harici parametreler: İki kameranın göreceli konum ve yönelimini tanımlar.

Dahili Parametreler kameranın ana(principal) noktalarının koordinatları ve piksel cinsinden odak uzaklığını içermektedir. Harici parametreler ise her iki kameranın birbirine göre referans çerçevesinin sabit dönüşümünü (döndürme ve öteleme) ifade ederler.

Çoğu durumda dahili ve harici parametreler bilinmediğinden dolayı, bu durumda geri-çatma genellikle kalibrasyon problemine dönmektedir. Bu durumda stereo sisteminin herhangi bir ön parametrik bilgi olmadan (kalibrasyonsuz stereo) üç boyutlu veriyi oluşturması beklenmektedir. Tam anlamıyla doğru bir 3-B' li geri-

çatma için, stereo sisteminin geometrisine göz atmak gerekmektedir. Stereo geometrisi aynı zamanda epipolar geometri olarak da adlandırılmaktadır.

2.6 Karşı Düşme Problemi [1]

Kamera parametrelerini ihmal ederek karşı düşme problemini tanımlamak gerekmektedir. İmge çiftlerinde karşı düşen noktaları bulan çoğu yöntem iki varsayımı kabul eder.

1. Çoğu sahne noktaları her iki bakış noktasından da görülebilir.
2. Karşı düşen imge bölgeleri benzerdir.

Sol imgedeki elemanı sağ imgedeki karşı düşen elemana karşılık arama yapmak iki karar işlemini kapsamaktadır:

- Hangi imge elemanı ile eşleme yapılacaktır
- Hangi benzerlik ölçütü kabul edilecektir

Stereo karşı düşme algoritmalarını en genel kapsamda iki sınıfa ayırmak mümkündür: ilinti (korelasyon) temelli ve özellik temelli yöntemler. İlinti-temelli yöntemler tüm imge noktalarına uygulanırken, özellik temelli yöntemler sadece imgede tespit edilen özellik noktaları arasındaki ilişkililiği kurmaya çalışırlar.

2.7 Stereo Görü Modeli

Şekil 2.7'de gösterilen stereo görüş modelindeki işlemleri kısaca açıklamak gerekirse:

Kamera Yönelimi: Kamera yönelimi doğrultma aşamasına giriş olarak aktarılır. İç yönelim ve dış yönelim olarak ikiye ayrılmaktadır. İç yönelimde kameranın dahili geometrik konfigürasyonu ele alınır. İç yönelimin parametreleri odak uzaklığı, ana noktanın (principal point) konumu, ve lens sisteminin bozunum (distorsiyon)

karakteristiğini içermektedir. Dış yöneltim, optik merkezin konumunu ve görüntüleme olayı esnasında optik eksenin yönünü içermektedir.

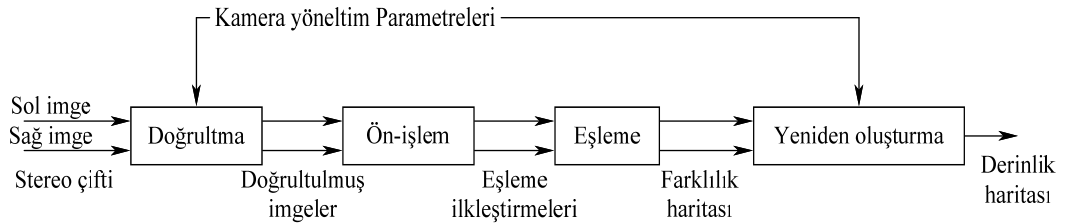
Doğrultma işlemi stereo imgeleri dönüştürerek. epipolar çizgilerin aynı yatay tarama çizgileri üzerinde kesişmesini sağlamaktadır. Bu işlem, eşleme algoritmalarının karmaşıklığını azaltmakta ve eşleme aramasını tek bir boyuta indirgeyerek hız bakımından artış sağlamaktadır. Şekil 2.9'dan görüldüğü üzere, imge doğrultmasında kamera yöneltim bilgisi kullanılmaktadır.

Ön-işlem, doğrultma işlemi dışında eşleme öncesi yer alan işlemleri kapsamaktadır. Genelde kullanılan ön-işlem uygulamaları şunlardır:

1. Dönüştürme: Piksel değerleri, iki boyutlu piksel dizileri, yine iki boyutla ifade edilen başka bir biçime dönüştürülür. Bunlara işaret temsili ve parametrik olmayan dönüşüm örnekleri verilebilir.
2. Özellik çıkartımı: Kenar gibi, eşlenecek özellikler imgelerden çıkarılır. Bu adım, özellik çıkartımı yöntemlerinde gerekmektedir.

Eşleme işlemi, stereo imge çiftindeki karşı düşen noktaların konumlandırma işlemlerini içermektedir. Bunu gerçekleştirmek için birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemler hakkında detaylı bilgi bölüm 3'de verilecektir.

Son aşama ise yeniden oluşturmadır. Burada, eşleme işlemi sonucunda elde edilen stereo uzaklık sonuçlarından ve kamera yöneltimi parametrelerinden derinlik haritaları elde edilmektedir. [2]



Şekil 2.9: Genel stereo görü modeli [2]

2.8 Stereo Eşleme Problemleri

Gerçek dünya sahnelerindeki eşleme algoritmalarında genel olarak karşılaşılan problemler; kapanma, tekrarlayan örüntüler, düz bölgeler, perspektif bozulumu, radyometrik bozulumu, aynasal yansıma ve gürültü olarak sıralanabilir.

Kapanma, bir sahnenin bir kısmı sadece bir imgede görünür diğer imgede görünmez ise ortaya çıkan bir sorundur.

Birbirini tekrar eden örüntüler, eşleme algoritmasını yanlış eşlemeyi seçmesine neden olabilir.

Düz bölgeler, eşleme için yeterli bilgiye sahip olunmadığı durumlarda karşılaşılan bir sorundur. Klasik örneğiyle özelliksiz duvarlara benzerler.

Perspektif bozulumu, nesnelerin şekli farklı bakış noktalarından bakıldığında değişiyorsa karşılaşılr.

Radyometrik bozulumu, stereo çiftlerindeki, piksel değerleri arasında bağıl konum sabitinde ya da bir imge diğer imgeye göre farklı bir kazanç etkeniyle çarpıldığında meydana gelen problemdir. Bu durum, kazanç, yanlılık ve gamma etkeni gibi kamera parametreleri arasındaki farklılıktan oluşmaktadır.

Aynasal yansıma, nesnenin yansıma özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Eşleme algoritmaları genellikle Lambertian yansıma modelini görüntüleme olayı sırasında varsayar (bir nesne ışığı tüm yönlere eşit olarak yansıtır). Bu nedenle, belirli bir nokta her zaman bakıldığı yön neresi olursa olsun aynı ışıklılık yoğunluğuna sahip olduğu varsayılır. Hâlbuki genellikle bu durum oluşmaz, aynasal yansıma olayı eşlemenin yanlış yapılmasına neden olmaktadır.

İmge elde etme ve sayısallaştırma aşamalarında oluşan gürültü, eşleme işlemini olumsuz yönde etkilemektedir.

3. STEREO EŞLEME

3.1 Stereo Eşlemede Kullanılan Yöntemlerin Sınıflandırılması [2]

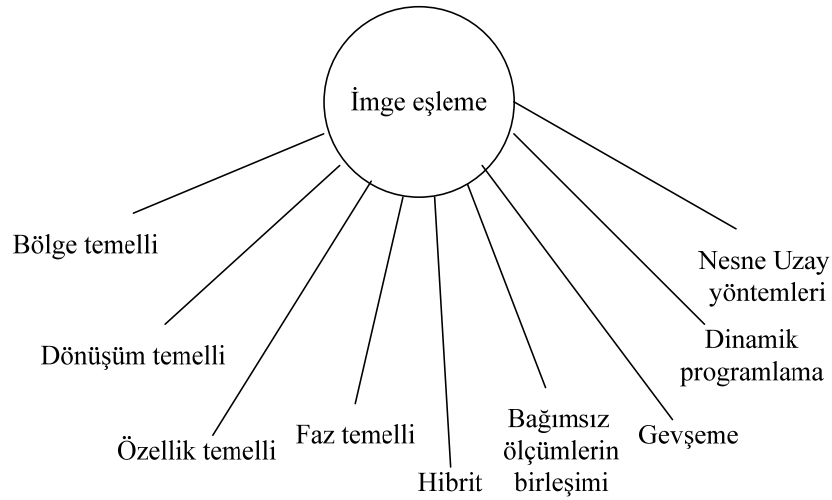
Stereo eşleme yöntemleri, bölge (ilinti), dönüşüm, özellik, hibrit, faz, gevşeme, dinamik programlama, nesne uzayı temelli olarak sınıflandırılmaktadır. Tablo 3.1’de Stereo eşlemede kullanılan yöntemlerin listesi verilmektedir [2]. Şekil 3.1’de stereo eşleme yöntemleri gösterilmektedir.

Tablo 3.1: Stereo eşlemede kullanılan yöntemler

Yöntem	Alt Başlıklar
Bölge-temelli	Basit eşleme ölçümleri: SAD, SSD ve NCC Eşlemelerin geçerliliği Hiyerarşik yöntemler Adaptif pencere yöntemleri Seyrek nokta eşleme Derinlik eşleme Simetrik çoklu pencere İnsansız yer araç uygulaması En küçük kareler yöntemi Çoklu ana hat yöntemleri
Dönüşüm-temelli	İşaret temsili Parametrik olmayan dönüşümler: Derece dönüşümü, sayım dönüşümü, derece permutasyonu
Özellik-temelli	Sıfır geçiş eşleme Kenar eşleme Yama eşleme İlişkili eşleme

Tablo 3.2: (Devamı) Stereo eşlemede kullanılan yöntemler

Hibrit (bölge ve özellik-temelli)	
Faz temelli	
Bağımsız ölçümleri birleştirme	
Gevşeme	Yardımcı algoritma Gevşeme etiketleme
Dinamik programlama	Viterbi algoritması Tarama çizgisi içi ve arası arama Farklılık uzay imgesi
Nesne uzayı	Nesne uzay modellerinin eşlenme ve yeniden oluşturulması



Şekil 3.1: Stereo imge eşleme yöntemleri [2]

Alan temelli yöntemlerde, piksel değerlerini içeren bölgelerin eşlemesi yapılır. Bu algoritmaların üstünlüğü basitlik ve uygulamaya ve donanımsal olarak gerçekleştirmeye uygun olmasında yatmaktadır. Ana dezavantajı perspektif bozuluma olan hassasiyetidir.

Dönüşüm Temelli Yöntemlerde, iki boyutlu piksel değerlerini taşıyan diziler, yine başka iki boyutlu dizilere dönüştürülürler. Daha sonra eşleme işlemi alan-temelli yöntemdeki aşamalar gerçekleştirilerek yerine getirilir.

Özellik-temelli yöntemler, kenar, verteksler ve dış hat gibi imge özelliklerini çıkartmaya dayanmaktadır. Bu özelliklerin temsili ya da gösterimi en iyi eşlemeyi bulmak için karşılaştırılır. Özellik temelli yöntemlerin üstünlükleri şöyle sıralanabilir:

- Bölge temelli yöntemlere nazaran daha hızlıdır çünkü sadece küçük piksel kümeleri kullanılır.
- Radyometrik bozulumlara karşı daha az hassastır.

Bununla beraber, özellik temelli yöntemler tipik olarak çok seyrek derinlik haritalarına neden olmasına rağmen, eşleme sadece özelliklerin bulunduğu imge konumlarında yer alır ve özelliklerin olmadığı bölgeler ara değerlendirme ile elde edilmelidir. Ayrıca, kenar özelliklerinin sadece bir imgede görülmesi durumunda kapanma ya da örtülme gibi problemlerin ortaya çıkması kenar temelli yöntemlerin yanlış eşleme yapmasına neden olmaktadır.

Hibrit yöntemler, hem bölge temelli hem de özellik temelli eşlemenin üstün yanlarını kullanan yöntemler bütünüdür. Özellik-temelli eşlemeler kenarların doğru bir şekilde bulunmasını sağlarken, bölge temelli eşlemeler ise daha çok derinlik bilgisine sahip derinlik haritalarının oluşmasını sağlamaktadır.

Faz temelli yöntemlerde, ön işlem olarak stereo imgelere yerel bant geçiren filtreler uygulanır. Stereo uzaklık, süzgeçlenmiş imgelerin faz farklarından hesaplanır. Ön süzgeçleme aşamasında Gabor süzgeci tercih edilir. Gabor fazının, ölçek karışıklığı ve yumuşak karşıtlık değişimlerinde daha gürbüz olduğu kanıtlanmıştır. Yerel faz temelli yöntemlerin genel üstünlüğü, stereo uzaklık kestirimlerinin, ilinti-temelli yöntemlerin alt-piksel ara değerlemesine ihtiyaç duymadan ve özellik temelli alt-piksel özellik tespitine gerek kalmadan, yarım piksel doğrulukta elde edilmesidir.

Gevşeme (Relaxation) algoritmaları, stereo eşlemede belirsizlikleri çözmek amacıyla uygulanır. Bu algoritmalarda, belirsizliği yok eden kısıtlamalar en uygun çözüm bulunana kadar yinelemeli olarak başlangıç çözüm kümesi elde edene kadar kullanılır.

Dinamik programlama, eşleme problemini iki boyutlu düzlemde en uygun yolu bulmayı formüle eden bir yöntemdir. Burada yatay ve dikey eksenler sağ ve sol imgenin tarama çizgilerini temsil etmektedir. İmgelerin doğrultulmuş olduğu varsayılmaktadır. Stereo eşleme problemlerinde genelde şu üç yöntem kullanılır; Viterbi algoritması, tarama çizgisi içi ve arası aramalar ve farklılık uzay imgesi.

Nesne Uzay teknikleri, eşleme algoritmaları farklılık haritasının belirlenmesi üzerinde yoğunlaşmıştır. Geleneksel stereo eşleme modeli 3-B'lu yeniden oluşturmayı yani derinlik haritası oluşturmayı eşleme tamamlandıktan sonra yerine getirilen son aşama varsayarak geliştirilmiştir. Buna karşıt olarak, nesne uzay teknikleri, eşleme işleminin bir parçası olarak 3-B'lu yeniden oluşturma nesne uzay tekniklerini kapsamaktadır.

3.1.1 İlinti-Alan temelli yöntemler [1]

İlinti-Alan temelli yöntemlerde, eşlenecek öğeler, imgenin eş dikdörtgen pencerelere bölünmesiyle elde edilen sabit boyutlu imge pencereleridir ve benzerlik ölçütü iki imge arasındaki ilintinin ölçülmesidir. Karşı düşen öğe, arama penceresi içindeki benzerlik ölçütünün maksimum olduğu anda imge pencereleri eş olarak kabul edilir.

Genel olarak algoritmanın özetini açıklamak gerekirse, giriş stereo imge çiftleri, I_l (sol) I_r (sağ) olarak kabul edilsin. p_l ve p_r sol ve sağ imgedeki piksel değerleridir. $2W + 1$ (piksel cinsinden) ilinti penceresi, $R(p_l)$ sağ imgedeki p_l arama penceresi ve $\psi(u, v)$ ise u, v olmak üzere iki piksel değerini ifade eden bir fonksiyondur.

Sol imgenin her pikseli için $p_l = [i, j]^T$,

1. Her değişim için $d = [d_1, d_2]^T \in R(p_l)$,

$$c(d) = \sum_{k=-W}^W \sum_{l=-W}^W \psi(I_l(i+k, j+l), I_r(i+k-d_1, j+l-d_2)); \quad (3.1)$$

2. p_l 'nin stereo uzaklığı $R(p_l)$ üzerindeki $c(d)$ 'i maksimum yapan

$\bar{d} = [\bar{d}_1, \bar{d}_2]^T$ vektörüdür.

$$\bar{d} = \arg \max_{d \in R} \{c(d)\} \quad (3.2)$$

Böylece çıkış, piksel cinsinden ifade edilen stereo uzaklık dizisi olacaktır. (stereo uzaklık haritası).

Genel kullanımdan ötürü $\psi = \psi(u, v)$ fonksiyonu

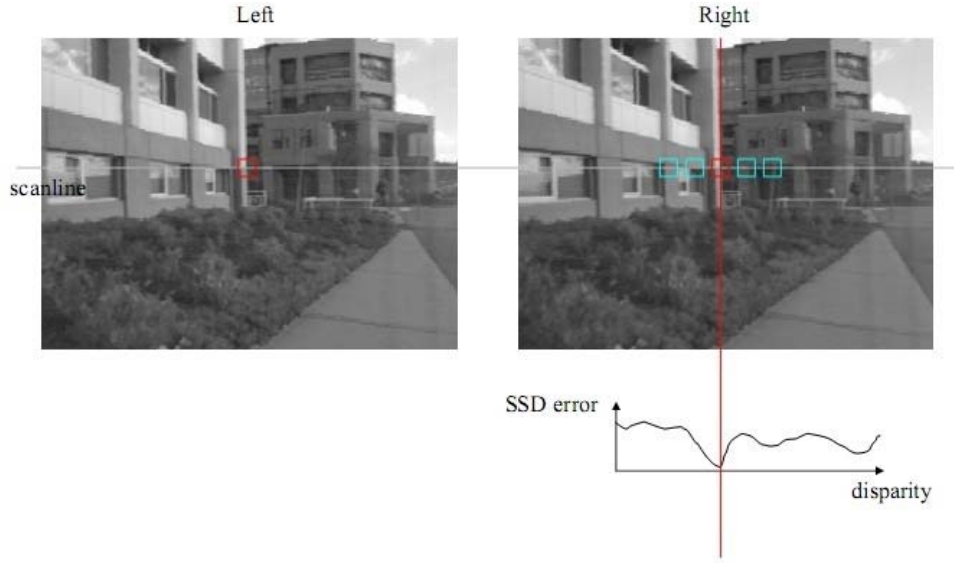
$$\psi(u, v) = uv \quad (3.3)$$

olarak ifade edilir ve sol imgedeki pencere ile sağ imgedeki arama bölgesi arasındaki çapraz-ilinti'yi temsil etmektedir.

$$\psi(u, v) = -(u - v)^2 \quad (3.4)$$

İfadesi, SSD (sum of squared error) olarak bilinen kare farkların toplamını veya blok eşlemeyi ifade etmektedir.

Algoritmanın uygulamasında W ve R 'yi nasıl seçileceğinin belirlenmesi gerekmektedir. $2W + 1$ pencere genişliği bağımsız bir parametredir. $R(p_l)$ arama bölgesinin başlangıç konumu ve boyutu, eğer kameralar dayanak çizgisinden (baseline) daha geniş bir mesafede ortak bir noktada sabitlenmişse, başlangıç konumu $p_r = [i, j]^T$ olarak seçilebilir. Yani, sağ imgedeki seçilen bir piksel ile sol imgedeki $p_l = [i, j]^T$ piksel aynı konumda bulunmaktadır. Epipolar geometri yardımıyla kameraların göreceli konumundan bağımsız olarak, bu arama işlemi tek boyuta indirgenmiş olacaktır. Şekil 3.2'de sol ve sağ imgedeki karşı düşen noktalar tek boyutta aranmaktadır.



Şekil 3.2: Sol ve sağ imgelerdeki aynı noktalar epipolar çizgi üzerinden yapılan stereo eşleme ölçümüyle tespit edilmektedir. Burada ölçüm kistası olarak SSD kullanılmıştır. [3]

Alan yada ilinti temelli yöntemlerin üstünlüğü sadeliğinde ve gerçekleştirmeye uygunluğunda yatmaktadır. Ana kusuru ise perspektif bozunumuna (perspective distortion) karşı hassas olmalarıdır.

3.1.1.1 Temel eşleme ölçütleri

Tek bir pikselin taşıdığı bilgi genelde eşleme yapmak için yetersizdir. Bu nedenle belirli boyutlu piksel komşulukları en uygun eşlemeyi aramak için karşılaştırılır. Eşleştirilecek nokta, noktalar penceresinin merkezi olmaktadır ve bu pencere diğer imgedeki aynı boyutlu bölgelerle karşılaştırılır. Eşleme ölçütleri iki benzer boyutlu piksel penceresi arasındaki benzerliği hesapsal ölçüm sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Tablo 3.2' de bazı temel ölçütler listelenmektedir. Buradaki tüm ölçümler karşılaştırma için dayanak olarak kare piksel pencereleri kullanmaktadır [2]. Tüm durumlarda, I_1 şablon pencereyi göstermekte, I_2 aday pencereyi ve $\sum_{(u,v) \in W}$ ise pencere üzerindeki toplamı göstermektedir. \bar{I}_1 ve \bar{I}_2 pencerenin ortalamasını göstermektedir.

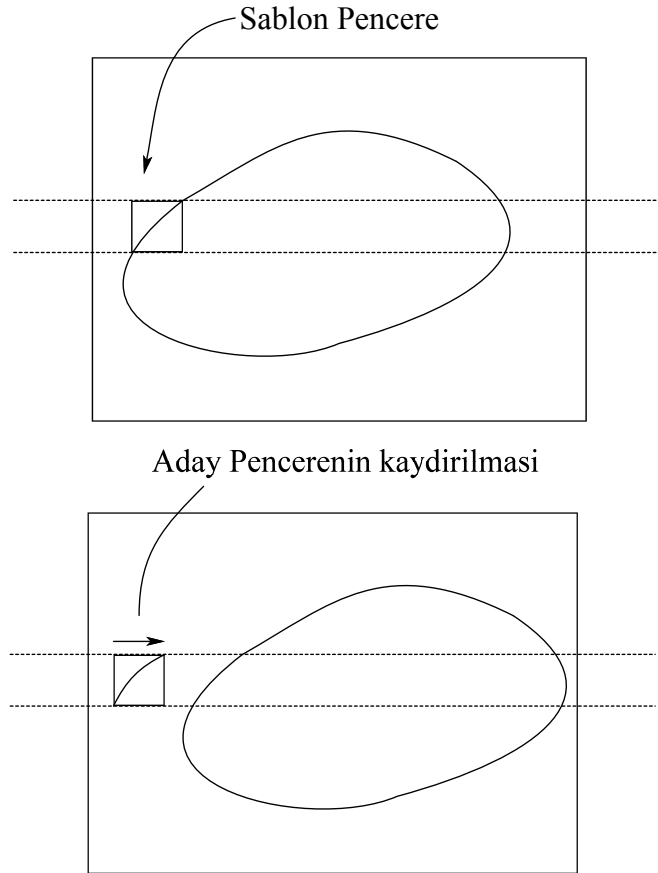
Tablo 3.3: Alan-ilinti temelli eşleme ölçütleri [7]

Teknik	Kısaltma	Formül
Mutlak farkların toplamı	<i>SAD</i>	$\sum_{(u,v) \in W} I_1(u, v) - I_2(x + u, y + v) $
Mutlak farkların sıfır ortalama toplamı	<i>ZSAD</i>	$\sum_{(u,v) \in W} (I_1(u, v) - \bar{I}_1) - (I_2(x + u, y + v) - \bar{I}_2) $
Kare farkların toplamı	<i>SSD</i>	$\sum_{(u,v) \in W} (I_1(u, v) - I_2(x + u, y + v))^2$
Kare farkların sıfır ortalama toplamı	<i>ZSSD</i>	$\sum_{(u,v) \in W} ((I_1(u, v) - \bar{I}_1) - (I_2(x + u, y + v) - \bar{I}_2))^2$
Normalize edilmiş çapraz ilinti	<i>NCC</i>	$\frac{\sum_{(u,v) \in W} I_1(u, v) \cdot (x + u, y + v)}{\sqrt{\sum_{(u,v) \in W} I_1^2(u, v) \cdot \sum_{(u,v) \in W} I_2^2(x + u, y + v)}}$
Sıfır ortalama normalize edilmiş çapraz ilinti	<i>ZNCC</i>	$\frac{\sum_{(u,v) \in W} (I_1(u, v) - \bar{I}_1) \cdot (I_2(x + u, y + v) - \bar{I}_2)}{\sqrt{\sum_{(u,v) \in W} (I_1(u, v) - \bar{I}_1)^2 \cdot \sum_{(u,v) \in W} (I_2(x + u, y + v) - \bar{I}_2)^2}}$

Mutlak farkların toplamı (SAD) ve kare farkların toplamı (SSD) sezgisel olarak en basit ve hesapsal olarak en az maliyetli olan ölçütlerdir. Bu iki teknik kullanıldığında aynı piksel değerlerine sahip bölgelerin hesapsal sonucu sıfır olmaktadır. Bununla birlikte, her iki imgedeki piksel ışıklılıklarında sabit bir bağıl konum (ofset) varsa bu ölçümler doğru sonuca varmak için yeterli olmayacaktır. Mutlak farkların sıfır ortalama toplamı (Zero mean sum of absolute difference - ZSAD) ve kare farkların sıfır ortalama toplamı (ZSSD), SSD ve SAD' in yetersiz kalması nedeniyle geliştirilmiştir. Burada her bir ışıklılık değerinden eşleme bölgesinin ortalaması çıkarılmaktadır. Ayrıca, ZSAD ve ZSSD' nin SAD ve SSD' ye göre geliştirilmiş başarımının yanında hesapsal işlem maliyeti de artmaktadır. [8] 'da ele alındığı gibi, Normalize edilmiş çapraz ilinti (NCC), kazanç faktöründen kaynaklanan soruna çözüm olması amacıyla geliştirilmiştir. Burada, her bir pencerenin ilinti katsayıları,

pencerelerin değişintilerine (varyans) bölünmektedir. Sıfır ortalama normalize edilmiş (ZNCC) ölçütü NCC' in bir uzantısı olup her bir piksel değerinden ortalama değeri çıkartarak bağıl konum (ofset) probleminin üstesinden gelmektedir. Gri tonlu imgeler için bu metrik -1'den +1 değerine kadar değişmektedir ve burada 1 değeri en uygun eşlemenin yapıldığını göstermektedir. Tüm alan-ilinti temelli yöntemler yüksek doku bilgisine sahip sahnelerde yüksek başarımler sergilerken doku bilgisinin olmadığı alanlarda kötü sonuçlar vermektedir.[2]

Epipolar geometri sayesinde eşleme için arama alanı azalmaktadır. Eşleme metriğinin değeri, ilk imgeden sabit şablon penceresi kullanarak ikinci imgedeki aday pencereyi epipolar çizgi üzerinde kaydırarak hesaplanmaktadır (Şekil 3.3). Kaydırmanın miktarı test stereo uzaklığı olmaktadır. Eşleme, ölçüm metriğine göre en uygun değere (kullanılan ölçüte göre maksimum yada minimum olması) denk gelen stereo uzaklık ile belirlenmektedir.



Şekil 3.3: Epipolar kısıtlanmış alan temelli eşleme

3.1.1.2 Sağlamlama Teknikleri

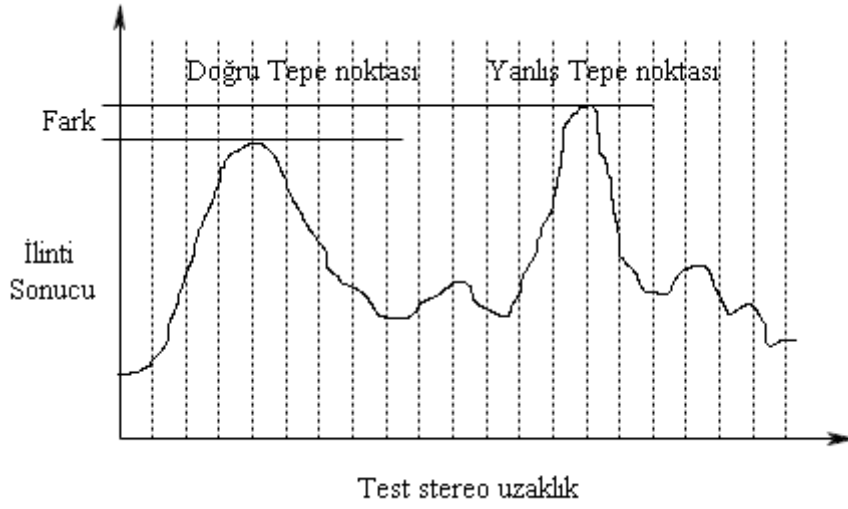
Doğru olmayan eşlemelerin tespitinde ve eşlemelere doğruluk değerleri atamak amacıyla birkaç teknik geliştirilmiştir. Aşağıda alan temelli yöntemlerin sağlamlamasında kullanılan yöntemler anlatılmaktadır.

3.1.1.2.1 İlinti sonucunun değeri

En temel güvenlik ölçütü, eşleme ölçütleri kullanılarak elde edilen sonuç değeridir. Sonuç mutlak bir eşikle kıyaslanacağı gibi öz-ilinti (autocorrelation) eşiği ile de kıyaslanabilmektedir. Eşleme sonuçları çok düşük (NCC temelli ölçütler kullanıldığında) yada çok yüksek olduğunda (SAD ve SSD temelli yöntemler kullanıldığında) güvenilirlik olarak ele alınabilmektedir. Bu yöntemin doğal kusuru eşik seçiminin pratikte zor olması ve genellikle gelişigüzel seçilmesidir.

3.1.1.2.2 İlinti tepe noktasının şekli ve tekliliği

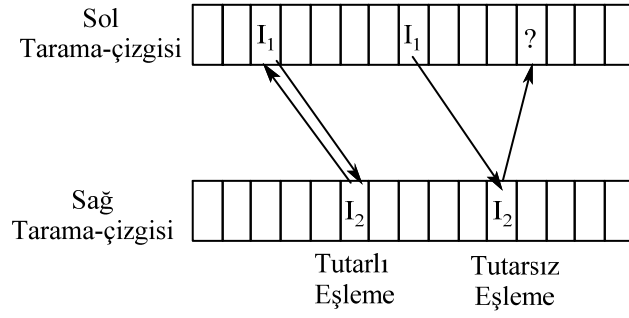
Epipolar çizgi üzerinde elde edilen her bir test stereo uzaklığı (disparity) için ilinti sonuçları Şekil 3.4'de gösterildiği gibi çizilebilir. Aynı uzunluktaki tepe noktalarının varlığı yanlış tepe noktasını seçme olasılığını arttırmaktadır. Böyle bir durumda, doğru tepe noktası doğru olmayana göre daha düşük bir değerde olabilir ve yanlış stereo uzaklığın seçilmesine neden olabilmektedir. Güvenirlik ölçütü, iki tepe noktası arasındaki yükseklik farkına göre seçilen stereo uzaklığa atanmaktadır. Buna ilaveten, ana tepe noktasının genişliği sonuçların daha hassas elde edilmesini sağlamaktadır. Bir tepe noktasının genişliği belirli bir en yüksek nokta ve her iki yanındaki nokta yardımıyla kestirilebilmektedir. Ana tepe noktasının dar olması daha doğru sonuçların alınmasını sağlamaktadır. Dar tepe noktalarından elde edilen stereo uzaklık değerleri yüksek güvenilirlik değerlerine sahip olmaktadır.



Şekil 3.4: İlinti tepe noktaları yaklaşık olarak aynı uzunluğa sahip olduğunda karşılaşılan belirsizlik [2]

3.1.1.2.3 Sol-Sağ tutarlılık denetlemesi

Bu sağlamlama tekniği iki imgenin rollerini değiştirerek eşlemeyi ikinci kez uygulamaya dayanmaktadır. Bu durum Şekil 3.5'de gösterilmektedir. Önce, I_1 merkezli şablon pencereyi kullanarak epipolar kısıtlamalı eşleme yerine getirilir ve sonuçta, I_1 için en uygun eşleme olan I_2 noktası bulunmaktadır. Eşleme bu sefer I_2 merkezli şablon pencereyi kullanarak gerçekleştirilir. Eğer bu eşleme yine I_1 orijinal noktasına denk geliyorsa eşlemenin tutarlılığı sağlanmış olmaktadır. Aksi takdirde eşleme tutarsız olarak işaretlenmektedir. Bu geçerlik sınavı kapanma sonucunda karşılaşılan geçersiz eşlemelerin saptanmasında kullanılmaktadır. Bu durum, kapanan alandaki piksellerin diğer imgedeki rastgele konumlarda yanlış eşleme yapılmasıyla oluşmaktadır. Bununla beraber, ikinci imgedeki bu konumlar, ilk imgedeki kapanan bölgelere eşlenmekten çok birinci imgedeki gerçek karşı düşen bölgelere eşlenmektedir. Bu geçerlik tekniği tekrar eden örüntülerde ise yanlış sonuçlar verebilmektedir.



Şekil 3.5: Tutarlı eşlemeye karşı tutarsız eşleme. Soldaki eşleme tutarlı iken sağdaki eşleme tutarsızdır. [2]

3.1.2 Özellik temelli yöntemler [1]

Özellik temelli yöntemler, karşı düşme aramalarını seyrek özelliklere indirgeyerek kısıtlamaktadır. İmge pencereleri yerine, özellik tanımlayıcılardan elde edilen sayısal ve sembolik özellik nitelikleri kullanılmaktadır. İlintisel ölçümler yerine, özellik tanımlayıcıları arasındaki mesafenin ölçümüne dayanan bir ölçüm tekniği kullanılmaktadır. Karşı düşen (ilgili) stereo öğeleri en küçük mesafeyi sağlayan benzer özellik çiftiyle belirlenmektedir.

Çoğu yöntem, her bir özellik için olası eşleme sayılarını uygun kısıtlamalar bularak azaltma eğiliminde çalışmaktadır. Bu kısıtlamalar,

- Geometrik kısıtlama (epipolar kısıtlamaya benzerdir)
- Analitik, teklik kısıtlaması (uniqueness constraint) (her bir özellik en fazla bir eşlemeye sahiptir), süreklilik kısıtlaması (stereo uzaklık (disparity) hemen hemen tüm imge boyunca sürekli değişkendir)

Karşı düşme algoritmalarına uygulanacak olan epipolar kısıtlamayı göz önünde bulundurarak, kısıtlanmamış yöntemler incelenmek istenirse,

Stereo 'da kullanılan imge özelliklerinin tipik örnekleri olarak: kenar noktaları, çizgiler ve köşeler (noktaların kenar çizgileri ile buluşması veya ışıklılık

örüntüleriyle biçimlenmiş köşeler). Örneğin, bir çizgi için özellik tanımlayıcısı aşağıdaki değerlere sahip olabilir:

- l uzunluğu
- o yönelimi
- $[x, y]^T$ orta noktasının koordinatları
- c , kenar çizgileri boyunca ortalama karşıtlık (contrast)

Bütün olası özellikler için, birçok karşı düşme algoritması vardır. Tüm koşullarda çalışan tek bir özellik mevcut değildir. Özellik tipinin dolayısıyla karşı düşme algoritmalarının seçimi birçok etkene bağlıdır. Bunlar; baktığımız nesnelerin çeşidi, ışıklılık yoğunluğunun koşulu ve ortalama imge karşıtlığı olarak söylenebilir.

Özellik tanımlayıcılar arasındaki benzerlik ölçütü olarak; tanımlardaki her bir özellikler arasındaki mesafenin ortalama ağırlığının tersi, S , kullanılmaktadır.

$$S = \frac{1}{\omega_0(l_l - l_r)^2 + \omega_1(\theta_l - \theta_r)^2 + \omega_2(m_l - m_r)^2 + \omega_3(c_l - c_r)^2} \quad (3.5)$$

Burada, $\omega_0, \dots, \omega_3$ ağırlıkları gösterirken, l ve r alt- indisleri sol ve sağ imgeyi temsil etmektedir. Ağırlıkların en iyi şekilde belirlenmesi bize en iyi eşleme sonucunu verecektir. Doğru olduğu kabul edilen kolay eşlemelerin alt kümesinden çeşitli ağırlıklar için çalışma noktası belirlenebilmektedir. Karmaşık ve ayrışık (heterojen) özellik tanımlayıcısı tasarlandığında, ağırlıkları belirlemek parametre kestiriminin zor bir problemi haline gelmektedir.

Özellik-temelli karşı düşme algoritmasının adımları aşağıda maddeler halinde verilmektedir.

Giriş, stereo imge çiftleri, I_l (sol) I_r (sağ) ve iki ilgili özellik tanımlayıcısı olarak kabul edilmektedir. $R(f_l)$, f_l 'e bağlı sağ imgedeki arama bölgesi, $\mathbf{d} = (f_l, f_r)$ ise iki karşı düşen f_l ve f_r 'in arasındaki stereo uzaklık olarak kabul edilmektedir. Sol imgedeki her bir f_l kümesi için:

1. f_l ve $R(f_l)$ 'deki her imge özelliği arasındaki benzerlik ölçütü hesaplanır.
2. Benzerlik ölçütünü en yüksek yapan f_r 'yi seçilir
3. f_l 'in karşı düşmesini ve stereo uzaklığını (özellik konumlarını temsil eden noktalar arasındaki yer değişim) kaydedilir.

Çıkış, özellik karşı düşmelerini gösteren bir liste ve bir stereo uzaklık haritasından oluşmaktadır.

3.1.3 Yöntemlerin değerlendirilmesi

Olası tüm koşullar için en-uygun (optimal) sonuçları veren kesin bir karşı düşme yöntemi yoktur. Bu nedenle yöntem seçerken, uygulama alanı, elimizde var olan donanım veya yazılım gereçleri gibi etkenleri göz önünde bulundurmamız gerekmektedir. Dolayısıyla birkaç genel önemli noktanın üzerinde durmak gerekmektedir.

İlinti temelli yöntemlerin gerçekleştirilmesi (ve hata ayıklanması) daha kolay olmakla birlikte sonuç olarak daha çok ve daha genel derinlik bilgisine sahip stereo uzaklık haritaları vermektedir. Elde edilen daha derinlikli stereo uzaklık haritalarından elde edilen bilgiler yüzeylerin geri-çatılmasında büyük katkı sağlamaktadır. İyi çalışmalar için daha doku bilgisine sahip imgelere ihtiyaç duymaktadırlar. Ayrıca perspektif etkisinden kaynaklanan uzak nesnelere küçük görünmesi etkileri ve ışık yöneliminden kaynaklanan değişimler nedeniyle farklı bakış açılarından çekilen imge çiftlerinin görüntülerinin eşlemede yetersiz kalmaktadır. Bununla birlikte, karşı düşmeyi belirginleştirmek amacıyla pikselden alt-piksele yapılan ara-değerleme (interpolation) ilinti-temelli yöntemlerin uygulanmasını zorlaştırmaktadır.

Özellik temelli yöntemler ise, sahne hakkında önsel (priori) bilgi edinebilindiğinde uygun olmaktadır. Bu duruma genel bir örnek vermek gerekirse, kapalı mekânlarda genellikle birçok düz çizgi vardır ve yüzeyler doku bilgisine sahip değildir. Özellik-temelli yöntemler ilinti-temelli yöntemlere göre daha hızlı çalışırlar,

fakat belirli algoritmaları kıyaslarken özellik tanımlayıcıları elde edilme maliyetini de dikkate almak gerekmektedir. Bu yöntemlerle elde edilen seyrek(sparse) stereo uzaklık haritaları (disparity), ilinti temelli yöntemlerin oluşturduğu stereo uzaklık haritalarına göre iyi sonuç vermeyebilmektedir. Fakat bazı uygulamalarda (görsel gezinim - visual navigating) istenen görevleri yerine getiren başarılı sonuçlar verebilmektedirler. Özellik temelli yöntemlerin bir başka üstünlüğü de aydınlatma değişimlerine ve parlak bölgelere karşı duyarlı değildirler.

Herhangi bir karşı düşme yönteminin başarımı örtüşme (occlusion) (diğer imgede karşılığı bulunmayan noktalar) ve sahte (spurious) eşleme (gürültü nedeniyle oluşturulan yanlış karşılılık-karşı gelme) gibi olumsuz etkilerden dolayı düşebilmektedir. Uygun kısıtlamalar her iki durumun yaptığı etkileri azaltabilir: bunlardan biri sol-sağ tutarlılık kısıtlaması (sadece soldan sağa ve sağdan sola yapılan eşlemelerle elde edilen karşı düşen çiftler kabul edilir), ve diğeri ise bir sonraki konuda anlatılacak olan epipolar kısıtlama'dır.

3.2 Stereo Eşleme Konusunda Daha Önce Yapılmış Çalışmalara Genel Bakış:

Daha önce de anlatıldığı gibi stereo görüntülemeye karşı düşme (karşılılık) problemi iki ya da daha fazla imge arasındaki noktaları, kenarları yada bölgeleri eşleme ile ilgilenmektedir. Eşlenen noktalar sahnedeki aynı noktanın yada bölgenin izdüşümüne denk gelmektedir. Eşleme aşamasında elde edilen stereo uzaklık haritaları sahne noktalarının üç boyutlu konumlarını belirli görüntü geometrisi oluşturulmasında kullanılmaktadır. [10]

Gürültü, aydınlatma değişimleri, kapanma ve perspektif bozunumu gibi nedenlerden dolayı iki imgedeki karşı düşen noktalar değişiklik gösterecektir. Bir imgedeki belirli özellik yada yerel bir pencere için, genellikle diğer imgede birçok aday eşleme bulunmaktadır. Genellikle doğru eşlemeyi elde etmek için ilave bilgilere ve kısıtlamalara ihtiyaç duyulmaktadır. Sıklıkla ve ortak olarak kullanılan kısıtlamalara örnek vermek gerekirse:

1. Epipolar kısıtlama: Bu kısıtlama altında, eşleme noktaları her iki imgenin ilgili epipolar çizgisi üzerinde bulunmalıdır. Epipolar doğrultulmuş imgeler için, eşlenecek noktaların stereo çiftinin aynı imge tarama çizgisi (aynı satır boyunca) üzerinde bulunmaları gerekmektedir.
2. Teklik kısıtlaması: Eşleme, iki imge arasında benzersiz olmalıdır.
3. Pürüzsüzlük (smoothness) kısıtlaması: Stereo uzaklık haritasındaki yerel bölgeleri kapanma ve stereo uzaklık(disparity) süreksizliğinden ayrı olarak pürüzsüz olabilir.
4. Sıralama yada monotonluk kısıtlaması: İmge çiftindeki bir imgenin epipolar çizgisi üzerindeki noktalar, karşı düşen noktalar diğer imgenin epipolar çizgisi üzerinde aynı sıra düzeninde bulunmalıdırlar. Çoğu stereo çalışması, doğrultulmuş imge çiftleri üzerinde çalıştığından, epipolar kısıtlamayı en baştan kabul etmektedir.

Eşleme yöntemleri, daha önce de anlatıldığı üzere genel olarak iki kola ayrılmaktadır: Bölge-ilinti temelli yöntemler ve özellik temelli yöntemler. Bu yöntemlerin kombinasyonundan oluşmuş yöntemler de mevcuttur. Alan- temelli yöntemler, yüzeyin pürüzsüz şekilde değiştiği hava imgelerinde ve diğer stereo imgelerinin doku bilgisine sahip olduğu imgelerde uygulanmıştır. [11]. Doğrudan derinlik haritaları elde etmeleri üstünlük olarak görülebilir fakat doku bilgisinin az olduğu ve derinlik süreksizliğinin olduğu bölgelerde kötü sonuçlar verebilmektedir [12]. Özellik temelli yaklaşımlar iki imge arasındaki bölge dokularındaki eşleme yerine daha soyut özelliklerin eşlemesi üzerinde durmaktadır [13, 14] . Özellik temelli yöntemler eşleme sonuçlarında daha kesin konumlandırma sağlamaktadır. İlinti-alan temelli yöntemlere göre daha güvenilirlerdir. Özelliklerin doğası gereği seyrek ve düzensiz dağılımları nedeniyle, eşleme sonuçları eğer sahnenin derinlik haritası isteniyorsa ara-değerleme işlemiyle artırılmalıdır. Eğer özellik temelli bir yöntem kullanılırsa, iki imge arasındaki özelliklerin tespit edilmesi için ayrıca bir işlem daha yapmak gerecektir. Dolayısıyla, hesapsal maliyetin artmasına neden olacaktır. Bu yöntemlerin dışında, piksel temelli [15], yayılma (diffuison) temelli [16], dalgacık-temelli [17], faz temelli [18] ve filtre temelli [19] yöntemler de geliştirilmiştir. Lotti ve Giraudon, imgeden çıkartılan kenar haritasıyla kısıtlanan uyarlamalı pencere boyutlu ilinti temelli algoritma kullanmıştır ve sonuçları

havacılık imgeleri üzerinde sunmuşlardır [20, 21]. Intille ve Bobbick [22] eşleme işleminin doğrudan içinde kapanan bölgelerin tespitini yapan bir stereo algoritması geliştirmişlerdir. Stereo uzaklık(disparity) uzayındaki imgede en iyi yolu bulmak için kapanma ve sıralama kısıtlamasına uyan dinamik programlama çözümü geliştirmişlerdir. Ayrıca zemin kontrol noktaları kullanarak kapanma maliyetine yol açan hassasiyetin yok olmasını amaçlamışlardır. Xiong ve diğerleri, alan-temelli ve özellik temelli yöntemleri bütünleştiren bir stereo eşleme yöntemi geliştirmiştir [23]. Wei ve diğerleri hiyerarşik Gauss temelli fonksiyon kullanarak ışıklılık ve gradyan temelli stereo eşleme yöntemi sunmuşlardır [24]. Fua [25] ara değerlemeyi takip eden ilinti temelli çok çözünürlüklü bir algoritma sunmuştur. Anandan [26] stereo imgelerinden derinlik hareket alanlarının belirlenmesi için hiyerarşik hesapsal çatı tanımlamıştır. Birkaç araştırmacı da stereo imgelerdeki epipolar tarama çizgileri boyunca eşleme problemini global olarak çözmek amacıyla dinamik programlamayı kullanmıştır. [27, 28, 29, 30, 31, 32]. Hızlı eşleme sergileyen yöntemler de geliştirilmiştir [33, 34, 35]. Sun, [36] kabataslaktan-hassasa doğru çapraz ilinti ve dinamik programlama kullanan hızlı bir eşleme yöntemi tanımlamıştır. Dinamik programlama, karşı düşen epipolar çizgiler üzerindeki ilinti katsayıları matrisine uygulanmaktadır. Yukarıda sayılan tüm yöntemler komşu epipolar çizgilerin sürekliliğini göz önünde bulundurmamışlardır. Ohta ve Kanade epipolar tarama çizgilerini eşlemek için önce dinamik programlama kullanmış ve kenar bilgilerini kullanarak çözümü geliştirmeye çalışmışlardır [37]. Cox ve diğerleri, tarama çizgileri arası (inter-scanline) kısıtlamayı dikkate alan dinamik programlama kullanan bir stereo eşleme yöntemi geliştirmiştir [38]. Bu yöntem küçük sayıda yenilemeye ihtiyaç duyar ve sadece global çözümleri yaklaşık olarak tahmin eder. Belhumeur stereo eşlemeye Bayesçi (Bayesian) bir yaklaşım getirmiştir [39]. 2 boyutlu gerçekleştirmesinde, ilk önce stereo uzaklık hakkında başlangıç kestirimi elde etmek için önce epipolar çizgiler boyunca dinamik programlama uyguladıktan sonra dikey pürüzsüzleştirme (vertical smoothing) için yenilemeli bir adım uygulamıştır.

Roy [40] ve Roy & Cox [41] N-kamera stereo karşı düşme problemini en büyük akış (maximum-flow) problemine dönüştürerek çözmeye çalışmışlardır. En büyük akışa bağlı en düşük kesim (minimum-cut) tüm imge için stereo uzaklık(disparity) yüzeyine denk gelmektedir. Preflow-push lift-to-front algoritması en büyük akış

hesaplanırken kullanılmaktadır. Roy ve Cox'un yönteminin ortalama hesapsal karmaşıklığı: $O((MN)^{1.2}D^{1.3})$ 'dır (M, N satır ve sütun sayısını, D ise derinlik çözünürlüğünü göstermektedir). Ishikawa ve Geiger ayrıca kapanmayı, süreksizliği ve epipolar etkileşimi modelleyen en büyük akış yaklaşımli stereo eşleme algoritması geliştirmişlerdir [42]. Chen ve Medioni [43] Ohta ve Kanade'nin yöntemine benzer olarak [44] yayılımlı tipte bir algoritma geliştirmişlerdir. Kullandıkları yöntemde en büyük olmayan baskılama (non-maxima suppression), tohum voksel (seed voxel) seçimi ve yüzey takibi yer almaktadır. Chen ve Medioni'nin çalışmasında hız konusunda bir belirtim yapılmamıştır. Yang ve Yuille üç boyutlu hacimde stereo uzaklık yüzeyini tespit etmek için doğrusal olmayan bir süzgeç önermişlerdir [45]. Önce 3B'li hacme, süzgeci uygulamış sonra da en büyük seçmeyi (maximum-picking) gerçekleştirmişlerdir. Zitnick ve Kanade stereo eşleme için hacimsel yenilemeli bir algoritma sunmuşlardır [46, 47]. Algoritma, önsel(likelihood) eşleme değerlerini komşu değerleri destekleyerek ve diğerlerini engelleyerek günceller. Sun'un çalışmasında stereo eşlemenin hızı da hesaba katılarak hızlı çalışan bir algoritma önermiştir [48]. Hızlı çapraz ilinti, dikdörtgensel alt bölgeleme (rectangular sub regioning - *RSR*) ve 3B maksimum yüzey tekniklerini kabataslak-hassas doğrultusunda hızlı ve doğru stereo eşleme algoritması önermiştir. Bunların dışında bölütleme temelli stereo eşleme yöntemleri de geliştirilmiştir. Bu yöntemlerde her bir piksele stereo uzaklık değeri yerine stereo uzaklık düzlemi her bir imge bölütüne atanmaktadır. Diğer yöntemlere göre nesnelere daha ayırt edilebilmektedir [49].

4. STEREO EŞLEME YÖNTEMLERİNİN RENK DEĞİŞMEZLERİ VE AMPİRİK KİP AYRIŞIMI YÖNTEMİYLE ELDE EDİLEN STEREO İMGELERİNE UYGULANMASI

Literatürdeki tüm stereo eşleme yöntemlerinin başarımları göz önünde bulundurularak ve stereo algoritmalarının başarımlarının değerlendirildiği [9] incelendiğinde 3 farklı stereo eşleme yönteminin iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Bu bölümde 3 farklı stereo eşlemesi ele alınacak olup bu yöntemlerin renk değişmezleri ve ampirik kip ayrışımıyla elde edilen stereo imgelerine uygulanması incelenecektir.

İlk yöntem, azaltılmış sınır hatası sunan gerçek zamanlı çoklu pencere algoritması kullanan ilinti-alan temelli bir yöntemdir [51]. Bu yöntemde ilinti temelli yöntemlerinin derinlik süreksizliğinin olduğu nesne sınırlarında oluşturduğu hatayı en aza indirmek amacıyla çoklu pencere arama stratejileri geliştirilmiştir.

İkinci yöntem ise, stereo imge çiftlerindeki epipolar olarak birbirine karşı düşen tarama çizgileri arasındaki eşlemeyi dinamik programlama yöntemiyle uygulamaya dayanmaktadır. Dinamik programlama, iki imgenin tarama çizgisi arasındaki maliyet fonksiyonunu minimum yapan optimizasyon yöntemidir. Genel olarak N-durumlu karar işlemini N tek-durumlu işlem olarak çözebilmektedir. Böylece hesapsal karmaşıklığı orijinal birleşimsel durumdan logaritmasına düşürmektedir. [37,38,52] 'daki dinamik programlama yöntemlerinden faydalanarak stereo uzaklık haritası oluşturulmuştur.

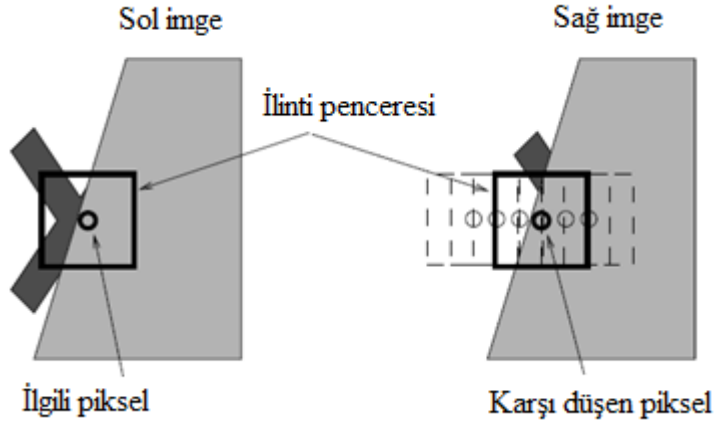
Üçüncü yöntem, renk bölütleme temelli stereo eşlemeye dayanmaktadır. Burada ortalama kaydırma bölütleme [53] kullanılarak referans imgedeki bölgeler bölütlenmektedir. Sağ ve sol imgeden elde edilen stereo uzaklık haritasındaki değerler bölütlenmiş imgedeki bölütlerin etiketlerine atanır böylece her pikselin bir stereo uzaklık değerine sahip olmasından öte her bir bölütün bir stereo uzaklık

düzlem değerine sahip olması amaçlanmıştır [49]. Bu yöntem özellikle stereo uzaklık haritasındaki nesne sınırlarını keskin bir şekilde belli ederek, stereo kapanma yada örtülme gibi sorunların üstesinden gelebilmektedir.

4.1 Azaltılmış sınır hatalı çoklu pencere kullanan ilinti temelli stereo eşleme yöntemi.

İlinti-alan yada bölge temelli yöntemlerle stereo uzaklık yada stereo derinlik haritasının çıkartılması 2. Bölümde ayrıntılı olarak anlatılmaktadır. İlinti temelli yöntemler stereo imge çiftindeki karşı düşen pikselleri bulmanın en kolay ve hızlı yoludur. En basit olarak stereo imge çiftlerindeki karşı düşen noktaları epipolar çizgi yani yatay düzlemde arama penceresiyle aramaya dayanmaktadır. İlinti temelli yöntemler, arama penceresi içerisindeki tüm piksellerin aynı derinliğe sahip olduğunu varsaydığından derinlik süreksizliğinin olduğu nesne sınırlarında derinlik haritasının bulanık olmasına ve nesne detaylarının arama penceresinin boyutuna bağlı olarak kaybolmasına neden olmaktadır. Küçük ilinti pencereleri bu problemi azaltırken, diğer taraftan gürültü etkisini artırarak doğru eşlemeyi azaltmaktadır. İlinti yöntemlerinin bu zaaflarına karşı olarak birçok çoklu arama pencere yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemler incelendiğinde içlerinden en iyi başarımı [51] vermektedir.

Nesne sınırındaki ilinti durumuna örnek olarak aşağıda gösterilen senaryoya göz atmak faydalı olacaktır. Stereo imge çiftinde arama sonucu elde edilen en büyük ilinti değerini sağlayan mesafe stereo uzaklığı ifade etmektedir. Büyük arama penceresi büyük bir alanın ortalamasını aldığından, eşleme sonucu oluşacak gürültüyü azaltmaktadır. Bununla beraber, ilinti penceresi derinlik süreksizliği üzerine kapladığında, pencerenin bir bölgesi sonucun gelişi güzel belirlenmesine neden olacaktır. Aşağıdaki şekilde pencerenin sol kısmı arka planı kapsamaktadır ve her iki imgede de bu bölgeler farklıdır. Sonuç olarak pencerenin bu kısmı hesaplamada hataya neden olacaktır. Sol imgedeki pencerenin sol kısmındaki nesne görüldüğü üzere sağ imgede ön plandaki nesne tarafından örtülmektedir. Örtülen bölge boyutu stereo uzaklığa ve ilinti penceresinin boyutuna bağlıdır.



Şekil 4.1: Nesne sınırındaki ilinti penceresi [51]

Bu sorunu çözmek amacıyla küçük arama pencereleri kullanılabilir çünkü küçük pencereler aynı uzantıdaki derinlik süreksizliğini kaplamazlar. Genellikle, ilinti arama penceresinin boyutu seçilirken, sabit derinliğin olduğu bölgelerde doğru sonuçlar vermesi ve derinliğin değiştiği bölgelerde hatalı sonuç vermesi arasındaki ödünleşim dikkate alınmaktadır.

[51]' da derinlik süreksizliğinde oluşan bu hataya karşı çoklu pencere yöntemi geliştirilmiştir. Yöntemdeki temel mantık, hatanın oluşmadığı pencere bölgelerini hesaplamada kullanmaya dayanmaktadır. Şekil 4.2.b 'deki çoklu pencere düzeninde merkezde bir küçük pencere (C_0) ve bu pencereyi çevreleyen ve birbiri üzerine örtüşen (C_{1_i}) 4 pencere yer almaktadır. Toplam ilinti değeri C , merkezdeki küçük pencere ve onu en iyi çevreleyen $C_{1_{i1}}$, $C_{1_{i2}}$ pencerelerini toplayarak elde edilir.

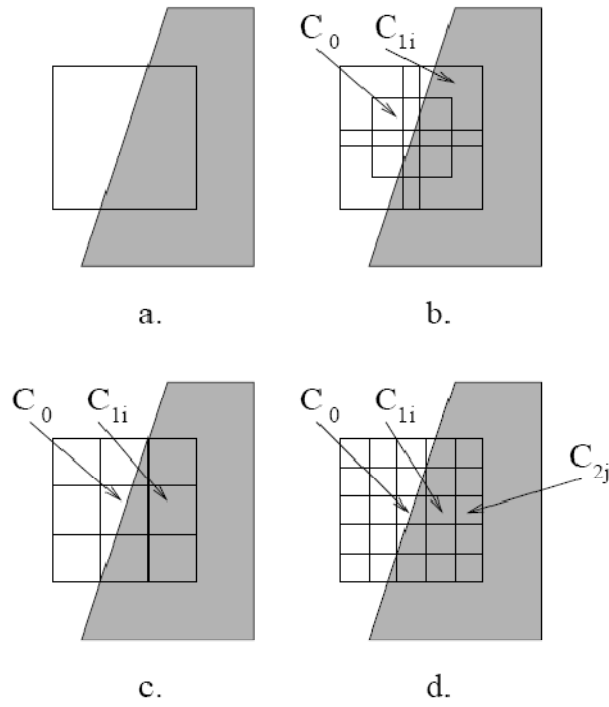
$$C = C_0 + C_{1_{i1}} + C_{1_{i2}} \quad (4.1)$$

Başka bir çoklu penceresi Şekil 4.2.c' de gösterilmektedir. Burada ise ilinti değeri en iyi 4 pencerenin seçilerek merkez pencereye eklenmesiyle hesaplanmaktadır.

$$C = C_0 + C_{1_{i1}} + C_{1_{i2}} + C_{1_{i3}} + C_{1_{i4}} \quad (4.2)$$

Diğer pencere düzenleşimi ise, şekil 4.2.c' de gösterildiği gibi ilinti değeri, 25 pencereden önce merkez pencereyi çevreleyen en iyi dört pencerenin ve en dış halkadaki en iyi sekiz pencerenin ve merkez pencerenin toplanmasıyla elde edilmektedir.

$$C = C_0 + C_{1i1} + \dots + C_{1i4} + C_{2k1} + \dots + C_{2k8} \quad (4.3)$$



Şekil 4.2: Çoklu pencere düzenleşimi [51]

Bu pencere düzenleşimleri sayesinde derinlik süreksizliğinin olduğu bölgelerde bulanık etkisi giderilmiş olacaktır, çünkü pencere düzenleşimleri stereo imge çiftindeki karşı düşen bölgelerdeki en uygun pencereleri otomatik olarak seçecektir.

Pencereler arasındaki ilinti değerini hesaplamada kullanılacak ölçütün belirlenmesi de gerekmektedir. Eğer eşlenecek imgeler, eşit aydınlatma, pozlama, bakış açısı gibi koşullarda çekilmiş ise ve hesapsal iş yükünü de dikkate alarak en iyi ilinti ölçütü

mutlak farkların toplamı (MFT- SAD) olarak belirlenmiştir. Pencere düzenleşimi olarak da hız ve başarımlar göz önüne alındığında 5-pencere düzenleşimi seçilmiştir.

5-pencere düzenleşim algoritmasını anlatmak faydalı olacaktır. Algoritmanın sözde-kodu aşağıda gösterilmektedir.

for k satırındaki tüm i pikseller **do**

for tüm d stereo uzaklığı **do**

$$c = c_{in}(i, k, d);$$

$$c_1 = c_{in}(i - w_x, k - w_y, d);$$

$$c_2 = c_{in}(i + w_x, k - w_y, d);$$

$$c_3 = c_{in}(i - w_x, k + w_y, d);$$

$$c_4 = c_{in}(i + w_x, k + w_y, d);$$

$c_{l1} = c_1, c_2, c_3, c_4$ 'in en küçük değere sahip olanı

$c_{l2} = c_1, c_2, c_3, c_4$ 'in en küçük ikinci değere sahip olanı

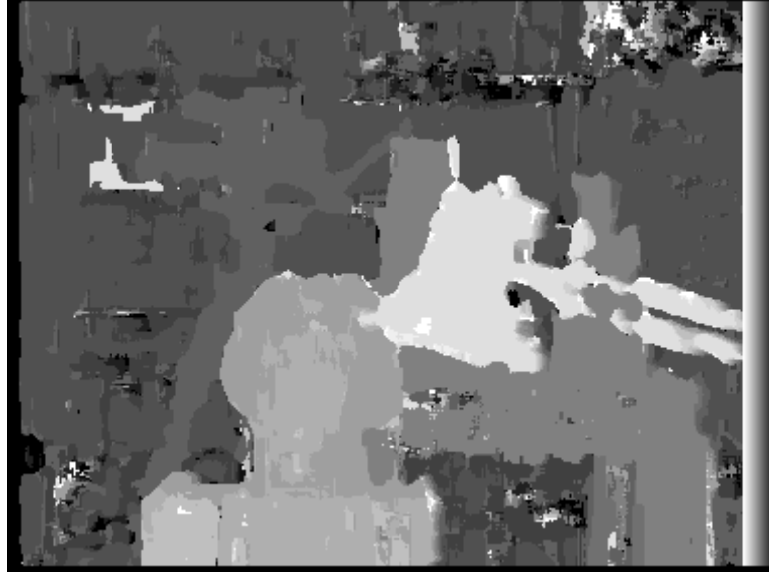
$$c_{out} = c + c_{l1} + c_{l2}$$

end

end

Burada, algoritma tüm stereo uzaklıktaki (*disparity*) k satırının tüm pikselleri için, ilinti değeri hesaplanır. İlinti değerleri her üç $k - w_y, k, k + w_y$ satırı için hesaplanır. Burada $2w_y + 1$ ilinti penceresinin boyutunu göstermektedir. $c_{in}(i, k, d)$, d stereo uzaklığında, k satırındaki imge sütunun ilinti değerini göstermektedir. Sonuç ise aynı söz dizimindeki $c_{out}(i, k, d)$ 'da saklanmaktadır.

Aşağıda “tsukuba” imgesi için standart ilinti ve 5-pencere düzenleşimi kullanılarak elde edilen stereo uzaklık haritaları verilmektedir.



Şekil 4.3: Standart ilinti temelli stereo eşleme yapılarak elde edilen stereo uzaklık haritası



Şekil 4.4: 5-pencere düzenleşimi kullanılarak stereo eşleme yapılarak elde edilen stereo uzaklık haritası

Yukarıdaki gösterilen stereo uzaklık haritalarına bakıldığında, 5-pencere ilinti yönteminin stereo uzaklık haritasındaki derinlik süreksizliğinin olduğu nesne sınırlarında daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Ayrıca haritada var olan genel

gürültü azalmaktadır. Her iki yöntemde de pencere boyutu olarak 7 piksel seçilmiştir. Maksimum stereo arama uzaklığı ise 16 piksel seçilmiştir.

Kapanan yada örtülen bölgeleri bulabilmek için sağ-sol tutarlılık denetimi yapılmıştır [33]. Burada önce referans imge olarak sağ imge seçilmiş ve sol imgeye göre sağ stereo uzaklık haritası oluşturulmuş daha sonra sol stereo uzaklık haritası ters işlemle oluşturulmuştur. 3. Bölümde anlatıldığı gibi tutarsız pikseller bulunmuştur.



Şekil 4.5: Standart ilinti eşleme için kapanan bölgeler



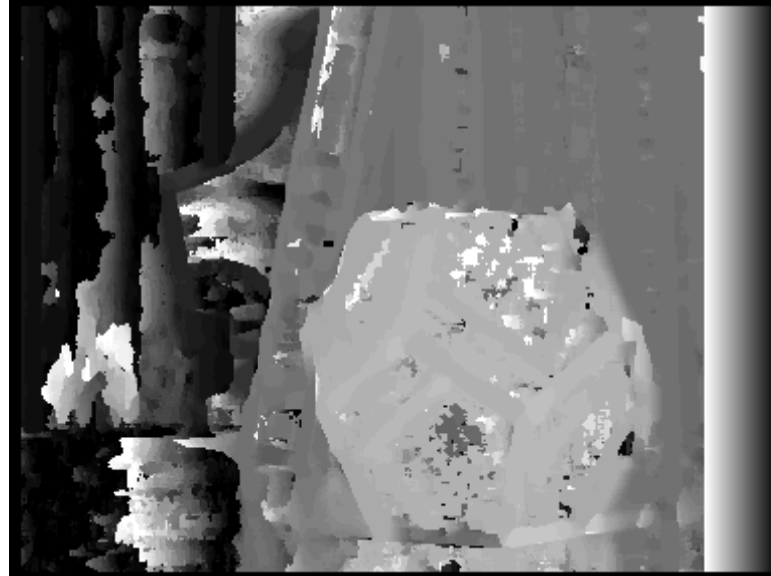
Şekil 4.6: 5-pencere ilinti eşleme için kapanan bölgeler

Yukarıdaki şekilden görüldüğü üzere 5-pencere yöntemi nesne sınırlarındaki kapanan yada örtülen bölgeleri daha iyi bulmaktadır. Kapanan bölgelerde tespit edilen pikseller kötü piksel olarak işaretlenir, o bölgelerdeki piksel değerlerine sağ veya sol derinlik haritasında en derin yani stereo uzaklığı en az olan piksel değeri atanmaktadır.

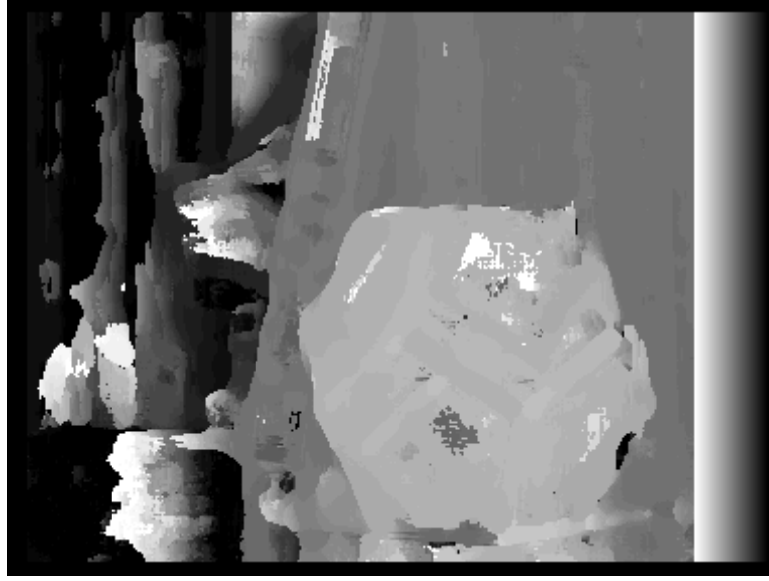
Ayrıca bu yöntem laboratuvar ortamında kaydettiğimiz “küp” imgeleri uygulanmıştır.



Şekil 4.7: sol ve sağ kameradan çekilmiş “küp” imgeleri



Şekil 4.8: Standart ilinti eşleme yöntemiyle elde edilmiş stereo uzaklık haritası

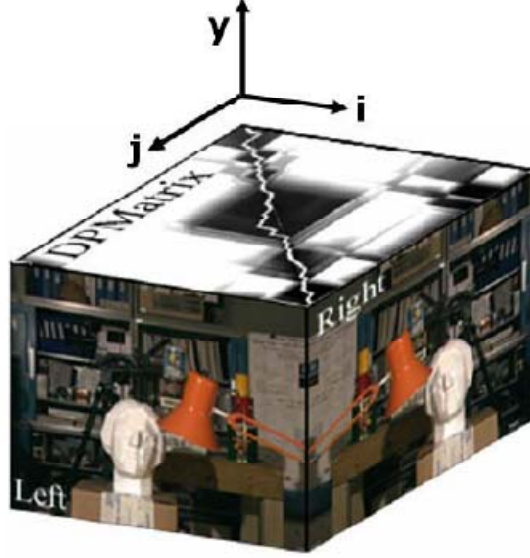


Şekil 4.9: küp imgeleri için 5-pencere yöntemiyle elde edilen stereo uzaklık haritası

4.2 Dinamik programlama temelli stereo eşleme yöntemi

Dinamik programlama içinde geçen programlama kelimesi matematiksel programlama anlamına gelip optimizasyon ile eş anlamlıdır. Dinamik programlama, karmaşık bir problemi alt problemlere bölerek özyinelemeli olarak çözmeyi amaçlamaktadır. Stereo imgelerinde dinamik programlama, global enerji küçültme amacıyla kullanılmaktadır. Global enerjiyi küçülten stereo uzaklık haritasını bulmaktadır. Bunu ise birbirinden bağımsız sağ ve sol tarama çizgilerindeki global en küçüğü arayarak gerçekleştirmektedir [9]. Bu yöntemler teklik ve sıralama yada monotonluk kısıtlaması dahilinde geliştirilmiştir [38]. Teklik kısıtlaması, sol imgedeki bir özelliğin sağ imgede bir özellikten daha çok özelle eşlenemeyeceğini varsayar. Sıralama kısıtlamasında, imge çiftindeki bir imgenin epipolar çizgisi üzerindeki noktalara karşı diğer imgedeki noktalar epipolar çizgisi üzerinde aynı sıra düzeninde bulunmalıdırlar. Dinamik programlama yöntemi iki aşamada gerçekleştirilmektedir. İlk aşamada dinamik programlama matrisi elde edilmektedir. Daha sonra ise, bu matristeki en iyi yol bulunarak stereo uzaklık yada derinlik haritası elde edilmektedir [37,38,52].

İlk aşamada matris elemanlarını elde etmek gerekmektedir. Bunun için sağ imgedeki imge satırıyla sol imgedeki imge satırı aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi i ve j düzlemine yerleştirilir. Y düzlemi ise imge satırlarını ifade etmektedir.



Şekil 4.10: Dinamik programlama eşlemesinin üç boyutlu eksenlerle gösterimi [52]

Satır genişliği n olduğunda i ve j o imge satırını 0 'dan $n - 1$ 'e kadar taramalıdır. Bu durumda DP matrisinin genişliği aynı zamanda $n \times n$ olmaktadır. DP matrisini oluşturmak için gerekli sözde kod aşağıda verilmektedir.

$$\text{Minimum} = \min (A[i - 1, j], A[i, j - 1], A[i - 1, j - 1])$$

$$\text{Renk_Sağ} = \text{Sağ_İmge}[i, y]$$

$$\text{Renk_Sol} = \text{Sol_İmge}[j, y]$$

$$A[i, j] = \text{Minimum} + \text{Fark}(\text{Renk_Sağ}, \text{Renk_Sol})$$

En başta matrisin $A[0,0]$ elemanı ve ilk satır ve sütunu sıfırla doldurulmalıdır. Daha sonra diğer elemanlar sol üst köşeden sağ alt köşeye kadar hesaplanarak doldurulur. Daha önce hesaplanan değerler bir sonraki değeri hesaplamak için hafızada saklanmalıdır. DP matrisi doldurulduğunda, en küçük maliyetin yolu DP matrisini $A[n - 1, n - 1]$ 'den başlayarak geriye doğru tarayarak hesaplanmaktadır. Bu işlem Dinamik programlamanın ikinci aşamasını oluşturmaktadır ve sözde kodu aşağıda verilmektedir.

Sol_Stereo_Uzaklık_Haritası $[i, y] = j - i$

Sağ_Stereo_Uzaklık_Haritası $[i, y] = i - j$

Yukarı = $A[i - 1, j]$

Sol = $A[i, j - 1]$

Yukarı_Sol = $A[i - 1, j - 1]$

Minimum = Min (Sol, Yukarı, Yukarı_Sol)

Case Minimum

Yukarı_Sol : $i = i - 1; j = j - 1;$

Sol : $j = j - 1;$

Sağ : $i = i - 1;$

end

Yol ile köşegen elemanı arasındaki yatay fark sol stereo uzaklık haritasını ve dikey fark ise sağ stereo uzaklık haritasını vermektedir. Seçilen yol her zaman **A** matrisindeki en küçük değeri Sol, Yukarı, Yukarı_Sol durumuna göre takip etmektedir. Belirsiz durumlarda karar her zaman Yukarı_Sol yönünde verilmektedir. Yukarıdaki sözde kod $i = n - 1$ ve $j = n - 1$ ile başlatılıp $i == 0$ ve $j == 0$ olana kadar tekrar eder. i ve j matrisin o anki yol konumunu gösterdiği gibi stereo uzaklık haritasındaki yatay konumu da göstermektedir. y değişkeni ise stereo uzaklık haritasındaki dikey konumu göstermektedir ve döngü içinde sabit kalmaktadır. Bu işlem her stereo imge çiftindeki satıra yani y düzlemindeki satıra uygulanarak stereo uzaklık haritası elde edilmektedir.

Dinamik programlamadaki aşamaların daha iyi anlaşılması için aşağıdaki şekillerde basit örnekler verilmektedir. Şekil 4.11'de DP matrisinin nasıl oluşturduğu basit bir örnekle gösterilmektedir. Burada, renk değerleri yerine STEREO ve STREOE ismindeki iki karakter dizisi eşlenmektedir. DP matrisinin doldurulma işlemi daha önce sözde kodun içinde gösterilen formül yoluyla gerçekleştirilir ($A[i, j - 1] = \min(A[i - 1, j], A[i, j - 1], A[i - 1, j - 1]) + \text{fark}(\text{sol}[i], \text{sağ}[j])$). Fark fonksiyonunu sadeleştirmek amacıyla sonuç değerler 0 ve 1 olarak verilmektedir. Eşit girişlerde fark fonksiyonu 0 sonucu vermekte (örneğin fark(T,T)) , farklı girişlerde ise 1

sonucunu vermektedir (örneğin fark(S,T)). Hesaplama başlamadan önce $A[0,0]$ değerine 0 atanmaktadır.

		Sağ					
		S	T	E	R	E	O
Sol	S	0	1	2	3	4	5
	T	1	0	1	2	2+1	...
	R	2	1	1	1+0	1+1	...
	E	3	2	1	1+1	1+0	...
	O	4	3	2	1+1	1+1	
	E	5	4	2+0	2+1	...	

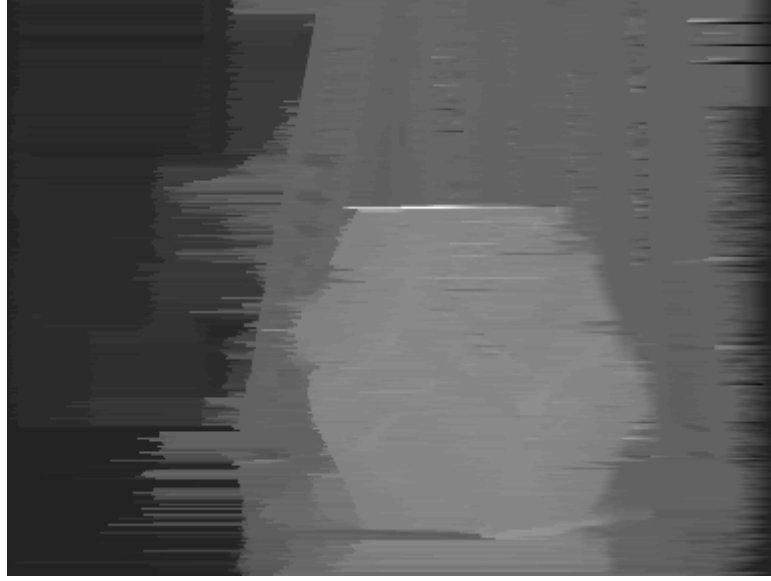
Şekil 4.11: DP matrisini oluşturmayı gösteren basit bir örnek [52]

DP matrisi içindeki en küçük yol, matrisin sağ alt köşesinden sol üst köşesine kadar en küçük değerleri geri takip ederek bulunmaktadır.

		Sağ					
		S	T	E	R	E	O
Sol	S	0	1	2	3	4	5
	T	1	0	1	2	3	4
	R	2	1	1	1	2	3
	E	3	2	1	2	1	2
	O	4	3	2	2	2	1
	E	5	4	2	3	2	2

Şekil 4.12: En küçük yolun bulunmasını gösteren basit bir örnek [52]

Aşağıda “tsukuba” ve “küp” imgeleri için DP ile elde edilen stereo uzaklık haritaları verilmektedir. Stereo uzaklık haritası yukarıda verilen algoritma uyarınca uygulanarak elde edilmiş algoritmaya ilave olarak renk farklılık değeri olan fark fonksiyonunun (fark(sol,sağ)) çıkış değeri gürültü giderimi sağlamak amacıyla ağırlıklandırma katsayı ile çarpılarak belirli bir değerle toplanmıştır.



Şekil 4.13: Küp stereo imgeleri için DP ile elde edilen sol stereo uzaklık haritası



Şekil 4.14: Tsukuba stereo imgeleri için DP ile elde edilen sol stereo uzaklık haritası

4.3 Renk bölütleme temelli stereo eşleme yöntemi

Bu yöntemde, öncelikli olarak eşlenecek olan referans imgesi ortalama kaydırma bölütleme [53] kullanılarak homojen bölgelere ayrılır. Stereo imge çifti ilinti temelli yada dinamik programlama tekniğiyle eşlenerek taslak stereo uzaklık haritası elde

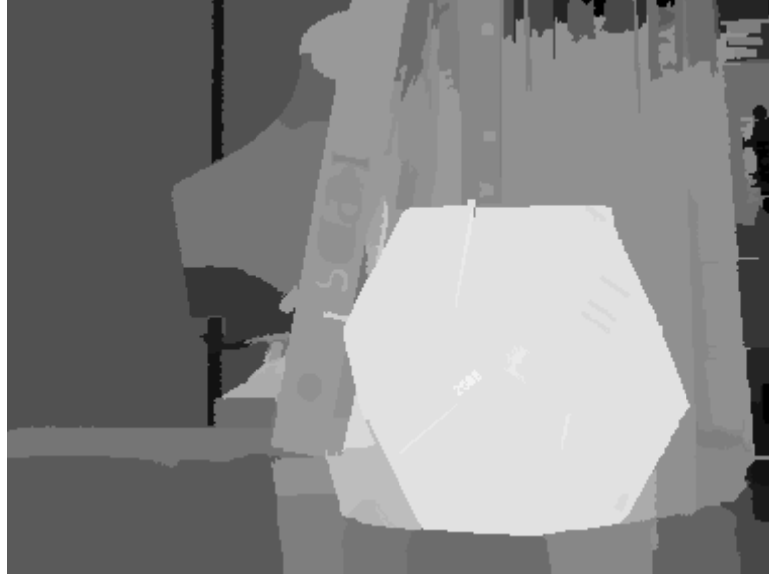
edilir. Bölütleme ile elde edilen bölütlenmiş imgenin bölüt etiketleri kullanılarak bölüt bölgelerine taslak stereo uzaklık haritasındaki stereo uzaklık değerlerinin ortalaması alınarak atanmaktadır. Her piksele stereo uzaklık atamasından öte her bölüte stereo uzaklık düzlemi atanmaktadır [49]. Böylece bölütlenen imge nesnelere daha doğru stereo uzaklık ya da derinlik değerlerine sahip olması gerçekleştirilir. Bu yöntem ile elde edilen stereo uzaklık haritaları özellikle nesnelere gerçek sınır ve boyutlarını göstermektedir.

Algoritma, bölütlenmiş homojen bölgelerdeki stereo uzaklık değerlerinin düzgün bir şekilde değiştiğini ve derinlik süreksizliğinin sadece bölge sınırlarında olduğunu varsaymaktadır. Aşırı bölütleme bu varsayıma pratikte yardımcı olduğundan tercih edilmektedir. Aslında, ortalama kaydırma yaklaşımı yüksek boyutlu özellik uzayının tanımlı yoğunluk fonksiyonu içinde en büyük gradyan yükselişinin aranmasına dayanmaktadır. Özellik uzayı, çözümleme süreci boyunca dikkate alınan uzamsal koordinatların ve ilişkili niteliklerin birleşimini içermektedir. Ortalama kaydırma yaklaşımının üstünlüğü, kenar bilgisinin iyi bir şekilde korunmasına dayanmaktadır.

Aşağıda bölütleme temelli stereo eşleme yöntemi kullanılarak elde edilen stereo uzaklık haritaları verilmektedir. Taslak stereo uzaklık haritalarını elde etmek amacıyla 5-pencere ilinti yöntemi ve dinamik programlama yöntemi kullanılmıştır.



Şekil 4.15: Tsukuba stereo imgeleri için bölütleme temelli stereo eşleme ile elde edilen stereo uzaklık haritası (5-pencere ilinti yöntemi kullanılmıştır)



Şekil 4.16: Küp stereo imgeleri için bölütleme temelli stere eşleme ile elde edilen stereo uzaklık haritaları (5-pencere ilinti yöntemi kullanılmıştır)



Şekil 4.17: Tsukuba stereo imgeleri için bölütleme temelli stere eşleme ile elde edilen stereo uzaklık haritası (dinamik programlama yöntemi kullanılmıştır)



Şekil 4.18: Küp stereo imgeleri için bölütleme temelli stere eşleme ile elde edilen stereo uzaklık haritaları (dinamik programlama yöntemi kullanılmıştır)



Şekil 4.19: tsukuba imgesi için ortalama kaydırma yöntemiyle bölütlenmiş imge



Şekil 4.20: küp imgesi için ortalama kaydırma yöntemiyle bölütlenmiş imge

4.4 Renk değişmezleri kullanarak stereo eşleme yöntemlerinin uygulanması

Renk değişmezleri çok renkli nesne tanımanın, bakış açısı, nesne geometrisi, aydınlatma yönü, aydınlatma yoğunluğu ve aydınlatmanın spektral güç yoğunluğuna göre değişmez olmasını sağlamak amacıyla geliştirilmiştir. [50]'da çeşitli renk dönüşüm modelleri tanımlanmıştır. Bu renk değişmezleri kullanılarak stereo imge çiftleri r, g, b, renk uzayından tek kanallı farklı bir renk uzayına dönüştürülmektedir.

İlk olarak I_1 , I_2 , I_3 olarak gösterilen bakış açısı, nesne geometrisi, aydınlatma gibi değişimlerden ve parlak bölgelerden etkilenmeyen renk değişmezleri kullanılmıştır.

$$I_1 = \frac{(R - G)^2}{(R - G)^2 + (R - B)^2 + (G - B)^2} \quad (4.1)$$

$$I_2 = \frac{(R - B)^2}{(R - G)^2 + (R - B)^2 + (G - B)^2} \quad (4.2)$$

$$I_3 = \frac{(G - B)^2}{(R - G)^2 + (R - B)^2 + (G - B)^2} \quad (4.3)$$

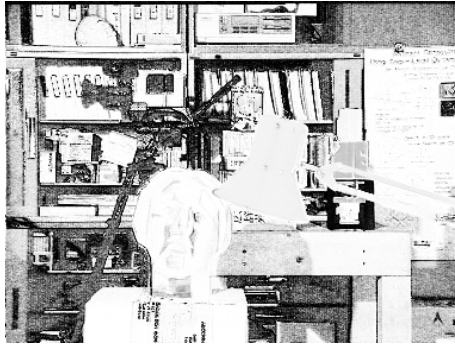
Şekil 4.21'de “tsukuba”, Şekil 4.22'de “küp” stereo imgelerine I_1 , I_2 , I_3 dönüşümleri uygulanarak elde edilen sol ve sağ imgeler gösterilmektedir.



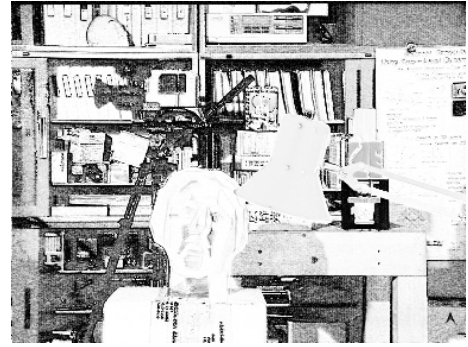
(a)



(b)



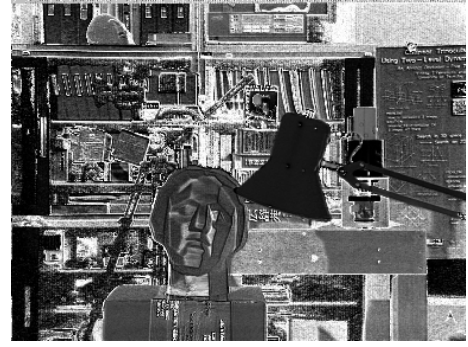
(c)



(d)



(e)



(f)

Şekil 4.21: “tsukuba” stereo imgeleri için (a,b) I_1 , (c,d) I_2 , (e,f) I_3 renk değişmezleri kullanılarak elde edilen sol ve sağ stereo imgeleri



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Şekil 4.22: “küp” stereo imgeleri için (a,b) I_1 , (c,d) I_2 , (e,f) I_3 renk değışmezleri kullanılarak elde edilen sol ve sağ stereo imgeleri

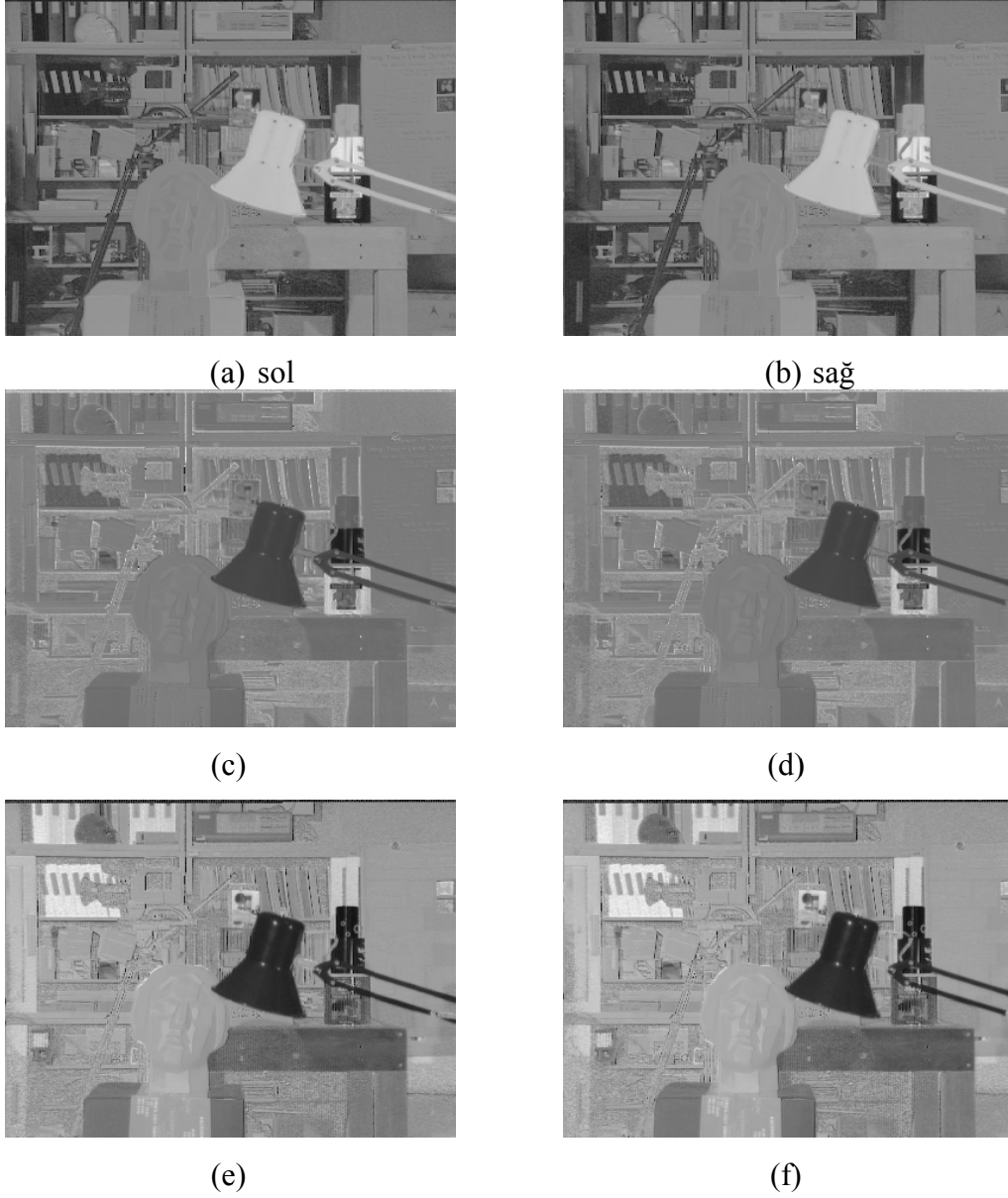
Genellikle, mat ve renksiz nesnelere için kullanılan ve bakış açısı, yüzey yönelimi, nesne geometrisi, aydınlatma yönü ve yoğunluğu değışimlerinden etkilenmeyen renk modeli c_1, c_2, c_3 ile gösterilmektedir.

$$c_1 = \arctan\left(\frac{R}{\max\{G, B\}}\right) \quad (4.4)$$

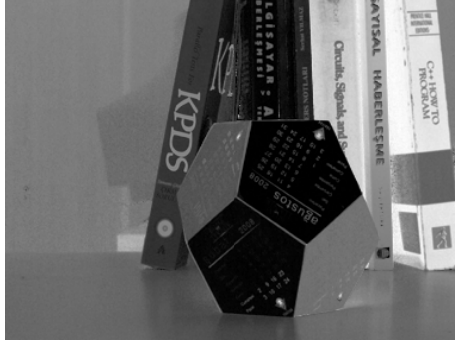
$$c_2 = \arctan\left(\frac{G}{\max\{R, B\}}\right) \quad (4.5)$$

$$c_3 = \arctan\left(\frac{B}{\max\{R, G\}}\right) \quad (4.6)$$

Şekil 4.23’de “tsukuba”, Şekil 4.24’de “küp” stereo imgelerine c_1 , c_2 , c_3 , dönüşümleri uygulanarak elde edilen sol ve sağ imgeler gösterilmektedir.



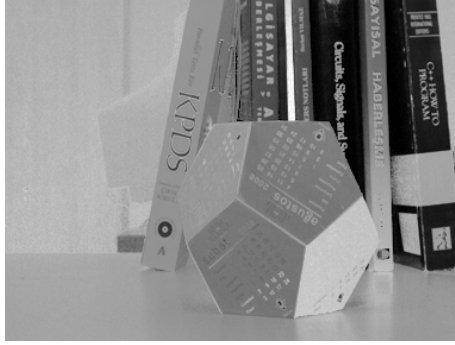
Şekil 4.23: “tsukuba” stereo imgeleri için (a,b) c_1 , (c,d) c_2 , (e,f) c_3 renk değışmezleri kullanılarak elde edilen sol ve sağ stereo imgeleri



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Şekil 4.24: “küp” stereo imgeleri için (a,b) c_1 , (c,d) c_2 , (e,f) c_3 renk değişmezleri kullanılarak elde edilen sol ve sağ stereo imgeleri

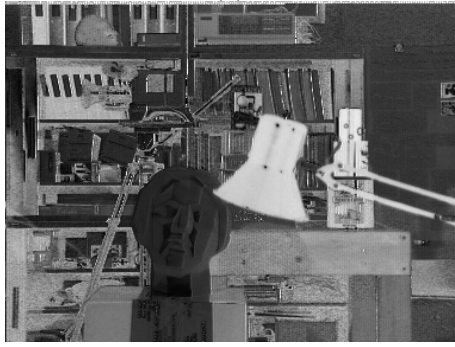
Ayrıca stereo imgeler, RGB uzayından HSV uzayına dönüştürülmüş burada, renk değişmezi olarak H, renk özü ve S, doygunluk kanalları kullanılmıştır.



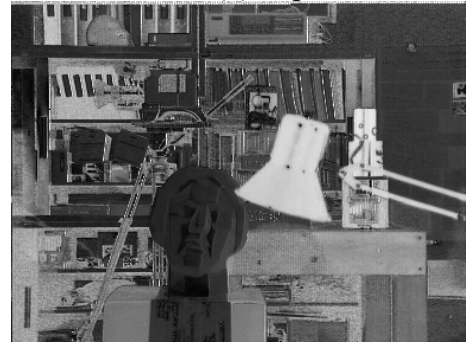
(a) sol



(b) sağ



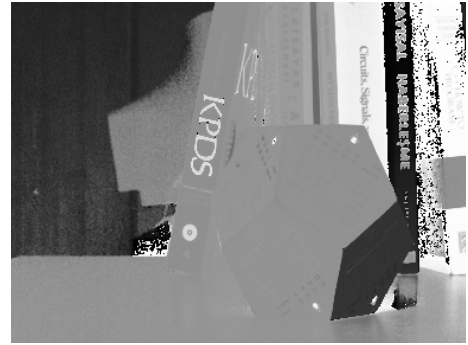
(c)



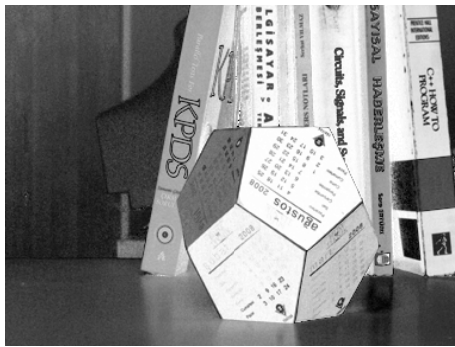
(d)



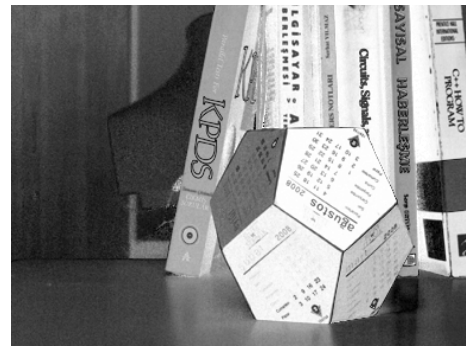
(e)



(f)



(g)



(h)

Şekil 4.25: “tsukuba” imgeleri için renk özü (a,b) ve doygunluk kanalları (c,d), “küp” imgeleri için renk özü (e,f) ve doygunluk kanalları (g,h)

Daha önce anlatılan stereo eşleme yöntemleri renk değişmezleri ile elde edilen imgelere uygulanmıştır. Yani önceki yöntemlere bir ön-işlem olarak renk değişmezleri uygulanmıştır.

Şekil 4.26'da "tsukuba" Şekil 4.27'de "küp" stereo imgeleri için I_1 , I_2 , I_3 renk değişmezleri kullanarak elde edilen stereo imgeler 5-pencere ve dinamik programlama stereo eşleme yöntemlerine uygulanarak elde edilen stereo uzaklık haritaları gösterilmiştir. Bu renk değişmezleri bazı nesnelere belirginleştirirken bazı bölgelerdeki detayları yok ettiğinden iyi sonuçlar vermemiştir.

Şekil 4.28'de "tsukuba" Şekil 4.29'da "küp" stereo imgeleri için c_1 , c_2 , c_3 renk değişmezleri kullanarak elde edilen stereo imgeler 5-pencere ve dinamik programlama stereo eşleme yöntemlerine uygulanarak elde edilen stereo uzaklık haritaları gösterilmiştir. Bu renk değişmezleri "tsukuba" imgesi için I_1 , I_2 , I_3 'e göre daha kötü sonuçlar verirken, küp imgesi için daha iyi sonuç vermiştir. Özellikle küp imgesi için c_2 dönüşümü dinamik programlama yönteminde masadaki bazı yansımaları önlemiştir. Genel olarak ise gürültülü renk dönüşümleri imgedeki detayları yok ettiğinden standart RGB imge eşlemeye göre kötü sonuçlar vermiştir.

Şekil 4.30'da H ve S kanalları kullanarak elde edilen stereo imgeler 5-pencere ve dinamik programlama stereo eşleme yöntemlerine uygulanarak elde edilen stereo uzaklık haritaları gösterilmektedir. S, yani doygunluk kanalı H, kanalına göre daha iyi sonuçlar vermektedir.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

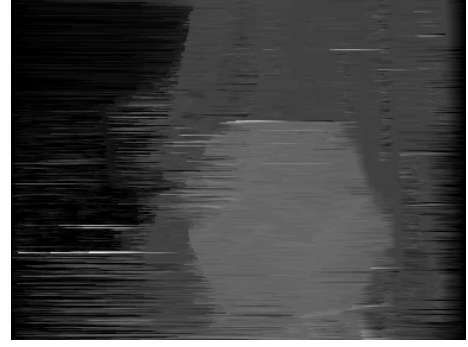


(f)

Şekil 4.26: “tsukuba” imgeleri için I_1 , I_2 , I_3 kullanarak 5-pencere (a,c,e) ve dinamik programlama(e,d,f) yöntemleri için elde edilen stereo uzaklık haritaları



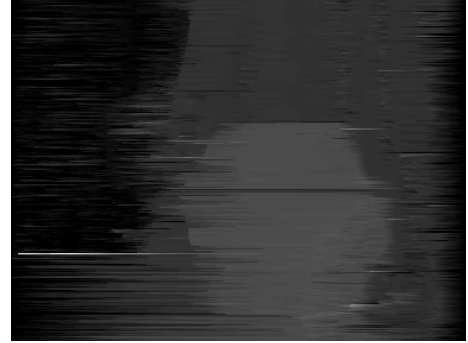
(a)



(b)



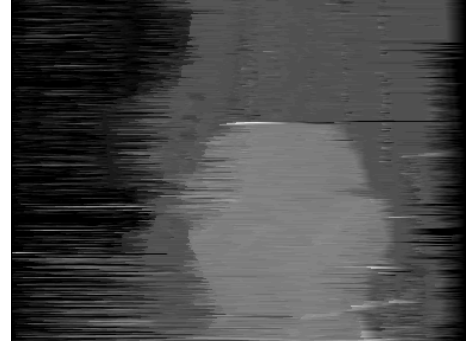
(c)



(d)

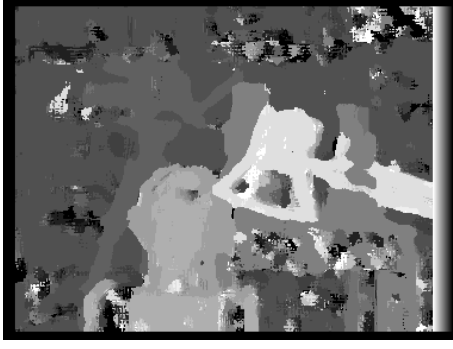


(e)

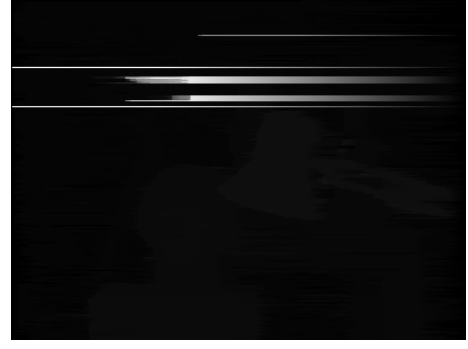


(f)

Şekil 4.27: “Küp” imgeleri için I_1 , I_2 , I_3 kullanarak 5-pencere (a,c,e) ve dinamik programlama(e,d,f) yöntemleri için elde edilen stereo uzaklık haritaları



(a)



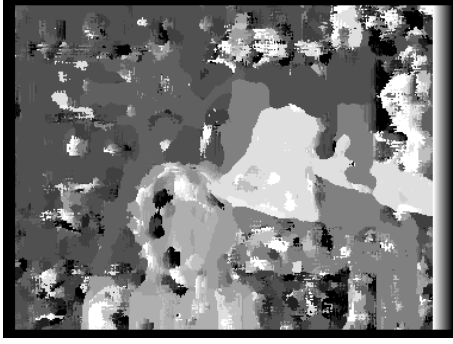
(b)



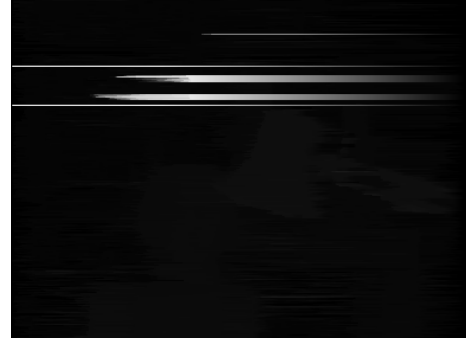
(c)



(d)

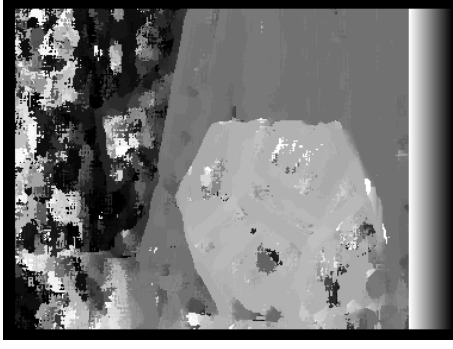


(e)

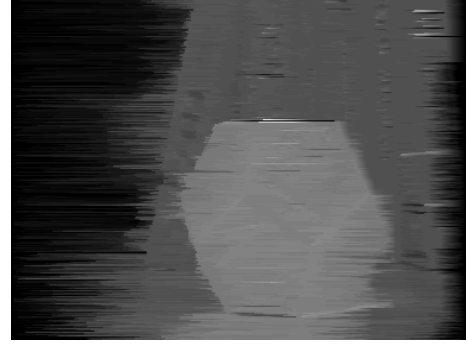


(f)

Şekil 4.28: Tsukuba imgeleri için c_1 , c_2 , c_3 kullanarak 5-pencere (a,c,e) ve dinamik programlama(e,d,f) yöntemleri için elde edilen stereo uzaklık haritaları



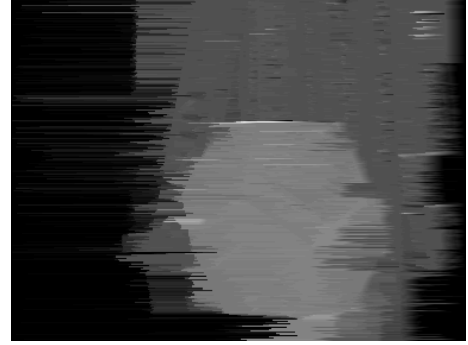
(a)



(b)



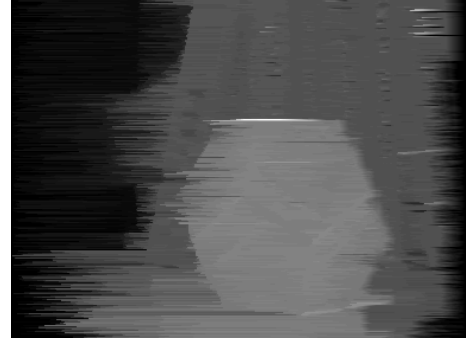
(c)



(d)



(e)



(f)

Şekil 4.29: “küp” stereo imgeleri için c_1 , c_2 , c_3 kullanarak 5-pencere (a,c,e) ve dinamik programlama(e,d,f) yöntemleri için elde edilen stereo uzaklık haritaları



(a)



(b)



(c)



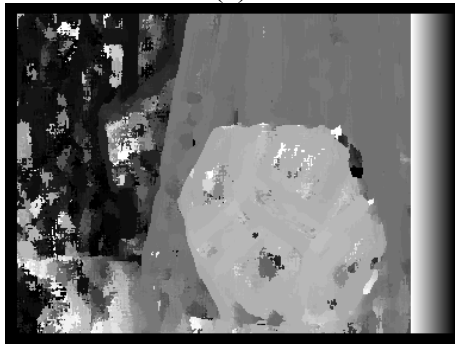
(d)



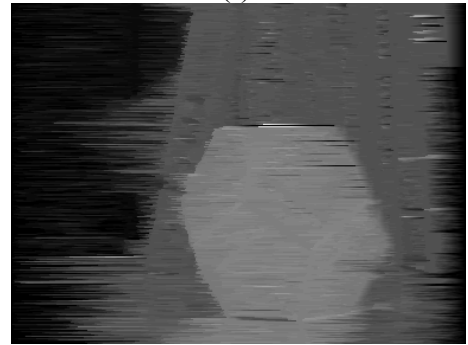
(e)



(f)



(g)



(h)

Şekil 4.30: “tskuba” imgeleri için H kanalı kullanarak 5-pencere (a), dinamik programlama (b), S kanalı kullanarak 5-pencere (c) dinamik programlama (d) yöntemleri kullanarak elde edilen stereo uzaklık haritaları. “küp” imgeleri için H kanalı kullanarak 5-pencere (e), dinamik programlama (f) S kanalı kullanarak 5-pencere (g) dinamik programlama (h) yöntemleri kullanarak elde edilen stereo uzaklık haritaları

Renk değişmezlerinin gürültülü sonuçlar vermesinden ve imgedeki detayları yok etmesinden dolayı bu yöntem stereo eşlemede istenen sonuçları verememiştir.

4.5 Ampirik Kip Ayrışımı (Empirical mode decomposition) kullanarak stereo eşleme yöntemlerinin uygulanması

Ampirik Kip Ayrışımı (AKA-EMD) uyarlamalı ve doğrusal olmayan işaret ayrıştırma yaklaşımıdır. Verinin durağan ve Fourier Dönüşümünde doğrusal olduğu varsayıldığında, AKA, ilgili veri hakkında herhangi bir kabulde bulunmaz ve veriyi içkin (intrinsic) kip fonksiyonlarına (IMF) ve bir rezidüye ayrıştırır. Literatürde, doğrusal ve durağan olmayan veriler için AKA'nın Fourier ve dalgacık dönüşümlerinden daha iyi sonuçlar verdiği gösterilmiştir [54]. AKA'da orijinal işaret tüm IMF'leri ve rezidünün eklenmesiyle kayıpsız bir şekilde geri oluşturulabilir. Tüm IMF'ler yaklaşık olarak birbirine diktir ve iki şartı sağlarlar [54]. İlk koşul, sıfır geçiş ve en uç (extreme) noktaların birbirine eşit sayıda veya aralarında en fazla bir fark bulunmaktadır. Diğer özellik ise, yerel maksimum ve yerel minimumun tanımladığı zarfların ortalama değerleri herhangi bir noktada sıfır olmaktadır.

Stereo imgelerini ayrıştırırken 2 boyutlu AKA kullanılmaktadır. İki boyutlu IMF'lerin eleme işlemi, verinin yani imgenin ($X(m, n)$) kendisinden başlar ($giriş_{lk}(m, n) = X(m, n)$). Burada, ilk indis ($l = 1, 2, \dots, L$) IMF sayısını, ikinci indis ($k = 1, 2, \dots, K$) ise yineleme sayısını göstermektedir. Eleme işlemi aşağıdaki başlıklar halinde özetlenebilir.

- 1- $giriş_{lk}$ 'in yerel minimum ve yerel maksimum noktaları bulunur.
- 2- Yerel maksimumun ara değerlendirilmesiyle üst zarf $e_{max}(m, n)$ yerel minimumun ara değerlendirilmesiyle de alt zarf $e_{min}(m, n)$ oluşturulur.
- 3- Alt ve üst zarfların ortalamaları hesaplanır ($ortalama_{lk}(m, n) = (e_{max}(m, n) + e_{min}(m, n))/2$).
- 4- Giriş işaretinden ortalama zarf değeri çıkarılır ($h_{lk}(m, n) = giriş_{lk}(m, n) - ortalama_{lk}(m, n)$).

5- Ortalama zarf işaretinin sonlandırma şartını sağlayıp sağlamadığı kontrol edilir. Sağlamıyorsa, 4. Adım sonrasında oluşturulan işaret giriş işareti $giriş_{l(k+1)}(m, n) = h_{lk}(m, n)$ olarak alınır ve süreç 1. adımdan yinelenir. Eğer durdurma şartı $k = K$ adımında sağlanıyorsa, o anki yinelemenin IMF'si 4. adımın son sonuçlarındaki gibi tanımlanır ($IMF_l(m, n) = h_{lK}(m, n)$).

6- Bir sonraki IMF 1. adımdan başlayarak, rezidü işaretinin (r) giriş işareti olarak kullanılmasıyla bulunmaktadır ($r_l(m, n) = giriş_{l1}(m, n) - IMF_l(m, n)$).

Bu eleme işlemi, rezidünün en uç noktaları kalmadığı zaman tamamlanmaktadır. [55]

Bu yöntemde, stereo imgeler ayrık kip ayrışımı kullanılarak IMF'lerine ayrıştırılmakta ve elde edilen IMF'lere stereo eşleme işlemi uygulanmaktadır. Şekil 4.31'de "tsukuba", Şekil 4.32'de "küp" stereo imgeleri için AKA kullanılarak 3 farklı IMF elde edilmiştir.



(a)



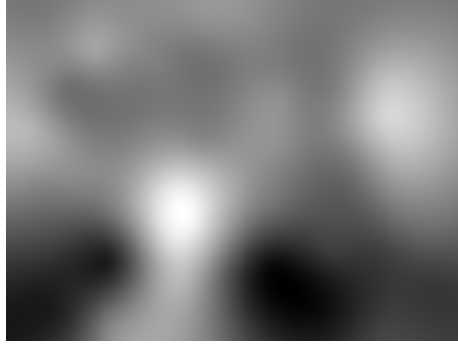
(b)



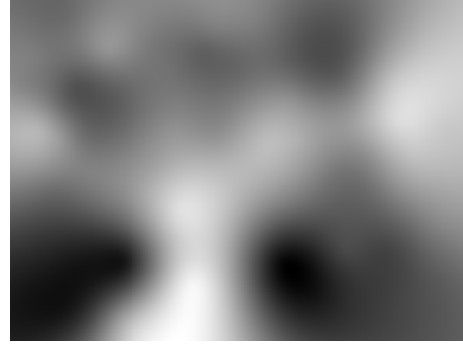
(c)



(d)



(e)



(f)

Şekil 4.31: “tsukuba” stereo imgeleri için elde edilen IMF’ler. Sol imge için IMF-1(a) IMF-2(c) IMF-3(e) sağ imge için IMF-1(b) IMF-2(d) IMF-3(f)



(a)



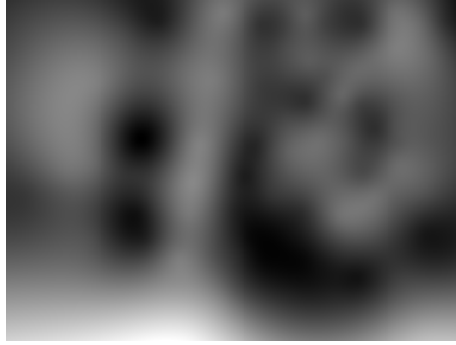
(b)



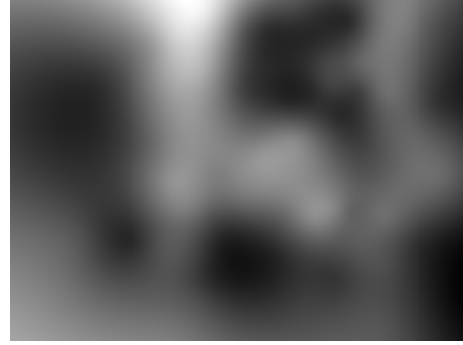
(c)



(d)



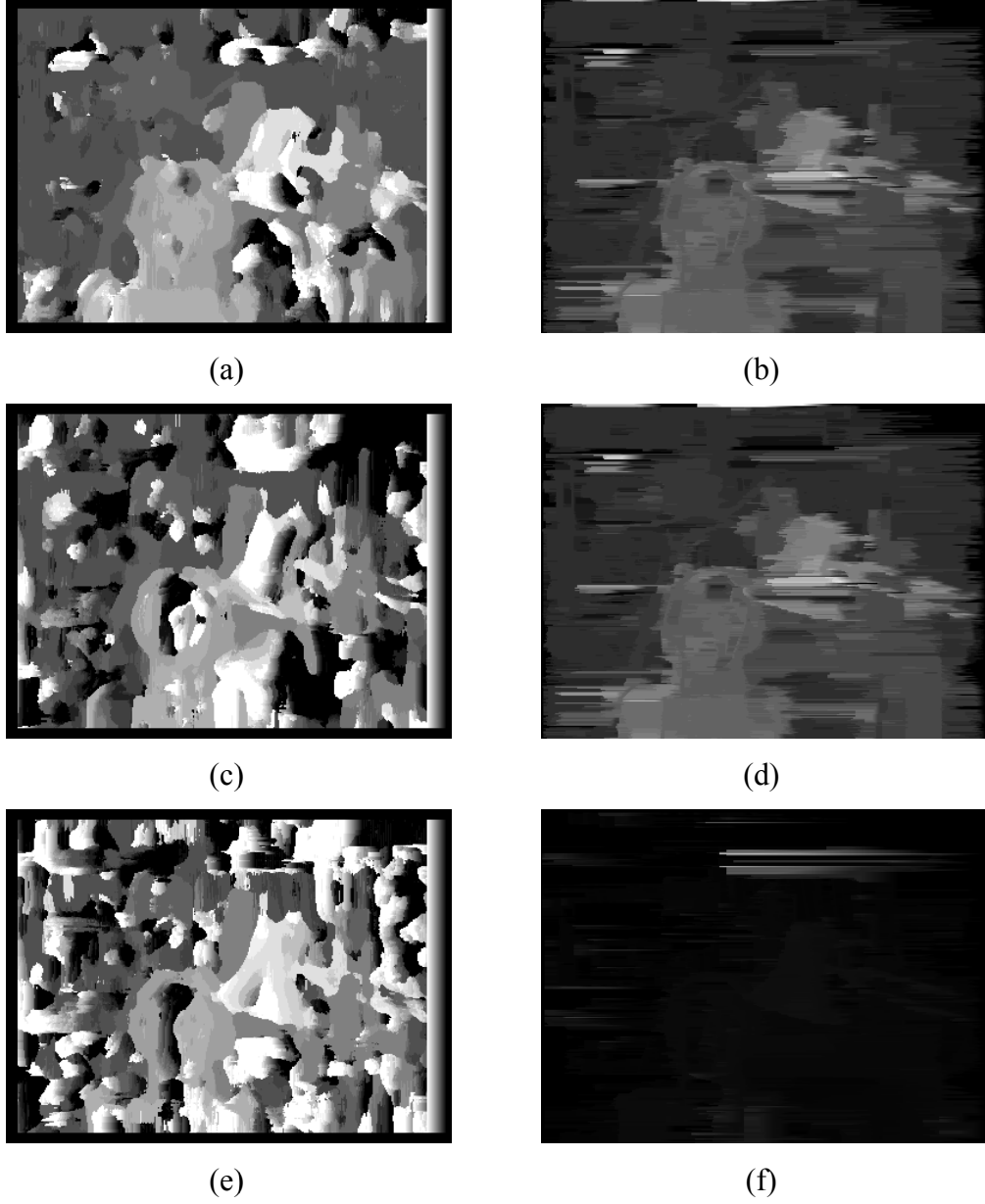
(e)



(f)

Şekil 4.32: “küp” stereo imgeleri için elde edilen IMF’ler. Sol imge için IMF-1(a) IMF-2(c) IMF-3(e) sağ imge için IMF-1(b) IMF-2(d) IMF-3(f)

Stereo eşleme işlemi elde edilen IMF-1’e, IMF-1+IMF-2 toplamına ve IMF-1+IMF-2+IMF-3 toplamına uygulanmıştır. Şekil 4.33’de “tsukuba”, Şekil 4.34’de “küp” stereo imgeleri için elde edilen stereo uzaklık haritaları gösterilmektedir. Bu yöntem, AKA işleminin sol ve sağ imge için farklı sonuçlar ortaya çıkarmasından dolayı iyi sonuçlar vermemiştir. Sol ve sağ imgeden elde edilen IMF’lerde çok fazla yerel farklılıklar olduğundan, eşleme işlemi istenmeyen ve yanlış sonuçlar vermiştir.



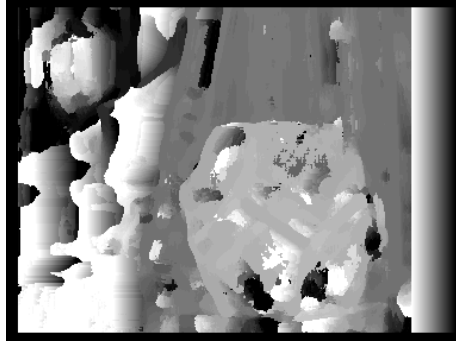
Şekil 4.33: “tsukaba” stereo imgeleri için 5-pencere yöntemiyle, IMF-1 (a) IMF-1+IMF-2 (c) IMF-1+IMF-2+IMF-3 (e), dinamik programlama yöntemiyle, IMF-1 (b) IMF-1+IMF-2 (d) IMF-1+IMF-2+IMF-3 (f) kullanılarak elde edilen stereo uzaklık haritaları



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Şekil 4.34: “küp” stereo imgeleri için 5-pencere yöntemiyle, IMF-1 (a) IMF-1+IMF-2 (c) IMF-1+IMF-2+IMF-3 (e), dinamik programlama yöntemiyle, IMF-1 (b) IMF-1+IMF-2 (d) IMF-1+IMF-2+IMF-3 (f) kullanılarak elde edilen stereo uzaklık haritaları

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında stereo görüntüleme sistemi kullanılarak 3 boyutlu görüntünün oluşturulması için gerekli sahne derinlik bilgisi çıkartımı amaçlanmaktadır. Sahnenin derinlik yada perspektif bilgisi her iki kameradan alınan imgelerdeki eş piksel noktalarının konum değişiminin stereo geometrisine uydurulmasıyla hesaplanmaktadır.

Stereo imge eşleme stereo görü modelinin en önemli kısmıdır. Stereo eşleme için birçok yöntem geliştirilmiş olup en genel anlamda alan-ilinti ve özellik temelli olarak sınıflandırılmaktadır. Tüm sahneler için geçerli bir yöntemden bahsedilmese de hangi stereo eşleme algoritmasının kullanılacağı sahnedeki doku, ışıklılık değişimi gibi etkenlere bağlı olmaktadır.

Stereo eşleme yöntemlerine ön-işlem olarak renk değişmezleri ve ampirik kip ayrışımı yaklaşımlarının uygulanması amaçlanmıştır. Öncelikle hangi stereo eşleme yöntemlerinin kullanılacağına karar vermek amacıyla, hemen hemen tüm stereo eşleme yöntemlerin kıyaslandığı referans çalışma incelenmiş buna göre en iyi başarımlar sağlandığı belirlenen üç yöntem seçilmiştir. İlk yöntem olarak çoklu pencere düzenleşimi kullanan ilinti temelli bir yöntem seçilmiştir. Bu yöntemle stereo uzaklık haritasındaki derinlik süreksizliğinin olduğu nesne sınırlarındaki hatalar büyük ölçüde azaltılmaktadır. İkinci yöntem olarak stereo imge çiftlerindeki satırların bağımsız olarak eşlenmesini sağlayan global enerji küçültme optimizasyon tekniği olan dinamik programlama temelli stereo eşleme yöntemi seçilmiştir. Bu yöntem ilinti-temelli yöntemlere göre stereo uzaklık haritasında, yatay çizgisel hatalar dışında sahnedeki nesnelerin gerçek boyutu hakkında daha doğru ve iyi sonuçlar vermektedir. Üçüncü yöntem olarak, bölütleme temelli stereo eşleme seçilmiş olup bu yöntem, stereo uzaklık haritasında nesnelerin gerçek boyutları hakkında en kesin bilgiyi vermektedir. Tüm bu stereo eşleme yöntemleri önce renk değişmezleri kullanılarak elde edilen stereo imgelerine uygulanmıştır. Renk değişmezleri gürültülü

sonuçlar verdiğinden ve donşm sonrası sahnedeki bazı bölgelerin detaylarını yok ettiğinden genel olarak iyi sonuçlar vermemiştir. Daha sonra, ampirik kip ayrışımı (AKA) kullanılarak elde edilen içkin kip fonksiyonları'na (IMF) stereo eşleme yöntemleri uygulanmıştır. AKA işlemi sonucu sol ve sağ imgelerin IMF'leri çok büyük farklılık gösterdiğinden bu yöntem de iyi sonuçlar verememiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Trucco, E., Verri, A. “Introductory techniques for 3-d computer vision” *Prentice Hall*, pages:140-150
- [2] Bennamoun, M., Mamic, G. J. “Object Recognition: Fundamentals and case studies”, *Springer, Advanced in Pattern Recognition*, sayfa:33-40, 2002.
- [3] Seitz, S. “Stereo vision presentation”, <http://www.cs.ubc.ca/~lowe/425/slides/6-Stereo.pdf>, (**Ziyaret Tarihi: 29 Mart 2009**).
- [4] “Middlebury University stereo image databases”, <http://vision.middlebury.edu/stereo/data/scenes2001/>, (**Ziyaret tarihi: 25 Nisan 2009**).
- [5] “Ikonos stereo images” <http://www.satimagingcorp.com/svc/ikonos-stereo-satellite-images.html>, (**Ziyaret Tarihi, 05 Mayıs 2009**).
- [6] Bradski, G., Kaehler A. “Learning OpenCV” *O’Reilly*, pages: 414-425
- [7] Aschwanden and Guggenbühl W. “Experimental results from a comparative study on correlation-type registration algorithms”. *In Förstner and Ruwiedel, editors, Robust Computer Vision*, pages 268-289. Wickman, 1993
- [8] Hannah, M. “Computer Matching of Areas in Stereo Images”, *PhD Thesis, Stanford University*, 1974
- [9] Scharstein, D., Szeliski, R. “A taxonomy and Evaluation of dense two-frame stereo correspondence algorithm”. *International Journal of Computer Vision*, volume 47, Issue 1-3 (April-June 2002), pages: 7-42,ISSN:0920-5691
- [10] Sun, C. (2002) “Fast stereo matching using rectangular subregioning and 3D Maximum-surface Techniques”, *International Journal of Computer Vision*, vol.47, no.1/2/3, sayfa: 99–117
- [11] O’neill, M. Ve Denos, M. (1996). “Automated system for coarse-to-fine pyramidal area correlation stereo matching” *Image and Vision computing*, 14(3):225-236
- [12] Cochran, S D. Ve Medioni, G. (1992). “3D Surface description from binocular stereo”. *IEEE Transactions and Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 14(10) 981-994

- [13] Medioni, G ve Nevatia, R. (1985). "Stereo by intra and inter scanline search using dynamic programming". *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, PAMI-7Ç139-154
- [14] Ayache, N. Ve Faverjon, B. (1985). "Fast stereo matching of edge segments using prediction and verification of hypotheses". *In Proceedings of Computer Vision and Pattern Recognition*, sayfalar: 662-664.
- [15] Birchfield, S. Ve Tomasi, C. (1999). "Depth discontinuities by pixel-to-pixel stereo". *International Journal of Computer Vision*, 35(3):269-293
- [16] Scharstein, D. ve Szeliski, R. (1998). "Stereo matching with nonlinear diffusion". *International Journal of Computer Vision*, 28(2):155-174
- [17] Kim, Y.-S., Lee, J.-J., ve Ha, Y.-H. (1997). "Stereo matching algorithm based on modified wavelet decomposition process". *Pattern Recognition*, 30(6):929-952
- [18] Porr, B., Cozzi, A., ve Wörgötter, F. (1998). "How to 'hear' visual disparities: real-time stereoscopic spatial depth analysis using temporal resonance.", *Biological Cybernetics*, 78(5): 329-336
- [19] Jones, D. G., ve Malik, J. (1992). "Computational framework for determining stereo correspondence from set of linear spatial filters." *Image and Vision Computing*, 10(10): 669-708
- [20] Lotti, J.-L. ve Giraudon, G. (1994a). "Adaptive window algorithm for aerial image stereo". *In Proceedings of International Conference on Pattern Recognition, volume A*, 701-703, Jerusalem, Israel. IEEE Compute society Press
- [21] Lotti, J.-L. ve Giraudon, G. (1994b). "Correlation algorithm with adaptive window for aerial image in stereo vision." *In European Symposium on Satellite Remote sensing (EUROPTO)*, sayfa: 2315-10, Rome, Italy
- [22] Intille, S. ve Bobbick, A. (1994). "Disparity-space images anf large occlusion stereo." *In Proceedings of European Conference on Computer Vision*, sayfa: 179-186, Stockholm, Sweden
- [23] Xiong, Y. Wang, D., ve Zhang, G (1996). "Integrated method of stereo matching for computer vision". *In Tescher, A. G., editor, SPIE Proc. Applications of Digital Image Processing XIX*, sayfa: 665-676, Denver, Colorado
- [24] Wei, G.-Q., Brauer, W., ve Hirzinger, G. (1998) "Intensity- and gradient based stereo matching using hierarchical Gaussian basis function", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 17(8):843-853.
- [25] Fua, P. (1993). "A paralel stereo algorithm that produce dense depth maps and preserves image features." *Machine Vision Applications*, 6(1):35-49

- [26] Anandan, P. (1989) "A computational framework and an algorithm for the measurement of visual motion." *International Journal of Computer Vision*, 2:283-310
- [27] Lloyd, S. A. (1985). "A dynamic programming algorithm for binocular stereo vision." *GEC Journal of Research*, 3(1):18-24
- [28] Gimmel'farb, G. L., Krot, V. M., ve Grigorenko, M. V. (1992). "Experiments with symmetrized intensity based dynamic programming algorithms for reconstructing digital terrain model." *International Journal of Imaging systems an Technology*, 4:7-21
- [29] Baldwin, R., Yamada, H., ve Yamamoto, K. (1990). "Disparity space and dynamic programming for automatic production of very dense range maps." *In Gruen, A., ve Baltsavias, E., editors, Close-range Photogrammetry Meets Machine vision, volume 1395*, sayfalar: 217-225, Zurich, Switzerland. SPIE.
- [30] Rojas, A., Calvo, A., Munoz, J. (1997). "A dense disparity map of stereo images", *Pattern Recognition Letters*, 18(4): 385-393
- [31] Bensrhair, A., Miche, P., Debrie, R. (1996). "Fast and automatic stereo vision matching algorithm based on dynamic programming method ." *Pattern Recognition Letters*, 17:457-466.
- [32] Geiger, D., Ladendorf, B., Yuille , A. (1995). "Occlusions And binocular stereo." *International Journal of Computer Vision*, 14:211-226
- [33] Fusiello, A. Roberto, V., Trucco, E. (1997). "Efficient stereo with multiple windowing." *In Proceedings of Computer Vision and Pattern Recognition*, sayfa: 858-863, Puerto Rico. IEEE Computer Society Press
- [34] Kolesnik, M. I. (1993). "Fast algorithm fort he stereo pair matching with parallel computation. *In Chetverikov, D. and Kropatsch, W.G., editors, 5th Internatioanl Conference on Computer Analysis of Images and Patterns*, sayfa: 533-537, Budapest, Hungary, Springer-Verlag
- [35] Banks, J., Bennammed, M., Corke, P. (1999). "Fast and robust stereo matching algorithms for mining automation ". *Digital Signal Processing*, 9-137:148
- [36] Sun, C. (1997). "A fast stereo matching method". *In Digital Image Computing: Techniques and Applications*, pages 95-100, Massey University, Auckland, New Zealand
- [37] Ohta, Y., Kanade, T. (1985). Stereo by intra- and inter-scanline search using dynamic programming. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and machine Intelligence*, PAMI-7:139-154

- [38] Cox, I., Hingorani, S., Rao, S., Maggs, B. (1996). "A maximum likelihood stereo algorithm". *Computer Vision and Image Understanding*, 63(3):542-567
- [39] Belhumeur, P. N. (1996). "A Bayesian approach to binocular stereopsis". *International Journal of Computer Vision*, 19(3):237-262
- [40] Roy, S. "Stereo without epipolar lines,: A maximum flow formulation". *International Journal of Computer Vision*, 34(2/3):147-161
- [41] Roy, S. ve COx, I.J. (1998). "A maximum flow formulation of the N-camera stereo correspondence problem". *In Proceedings of International Conference of Computer Vision*, pages 492-499, Bombay, India. IEEE
- [42] Ishikawa, H., Geiger, D. (1998). "Occlusions, discontinuities an epipolar lines in stereo". *In Proceedings of European Conference on Computer Vision*, sayfa: 232-248, Freiburg, Germany
- [43] Chen, Q., Medioni, G. (1998). "Building human face models from two images". *Multimedia Signal Processing*, sayfa: 117-122, Redonda Beach, CA
- [44] Ohta, Y., Kanade, T. (1985). "Stereo by intra- and inter-scanline search using dynamic programming". *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, PAMI-7:139-154
- [45] Yang, Y., Yuille, A.L. (1995). "Multi level enhancement and detection of stereo disparity surfaces". *Artificial Intelligence*, 78(1-2):121-145
- [46] Zitnick, C., Kanade, T. (1998). "A volumetric iterative approach to stereo matching and occlusion detection". *Technical Report CMU-RI-TR-98-30*, Robotics Institute, Carneige Mellon University
- [47] Zitnick, C., Kanade, T. (2000). "A cooperative algorithm for stereo matching and occlusion detection". *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 22(7):675-684
- [48] Sun, C. (2002) "Fast stereo matching using rectangular subregioning and 3D Maximum-surface Techniques", *International Journal of Computer Vision*, vol.47, no.1/2/3, sayfa: 99-117
- [49] Klaus, A., Sormann, M., Karner, K. "Segment-Based Stereo Matching Using Belief Propagation and a Self-Adapting Dissimilarity Measure," *Pattern Recognition, 2006. ICPR 2006. 18th International Conference on* , vol.3, no., pp.15-18, 0-0 0,2006
- [50] Gevers, T., Smeulders, A. W. M., "Color based object recognition", *Image Analysis and processing, Springer Berlin, ISSN 0302-9743*, pages:319-326, 2006

- [51] Hirschmüller, H., Innocent, P. R. Garibaldi, J. “Real time correlation-based stereo vision with reduced border Errors”, *International Journal of Computer Vision*, ISSN:0920-5691, pages: 229-246, 2004
- [52] Forstmann, S., Kanou, Y., Ohya, J., huering, S., Schimitt, A. “Real-Time Stereo using by dynamic programming”, *Computer Vision and Pattern Recognition Workshop*, pages: 29-29, 2004
- [53] Comaniciou, D., Meer, P. “Mean Shift: A robust approach toward feature analysis”, *IEEE:PAMI*, 24(5):603-619, May 2002
- [54] Huang, N. E. Shen, Z., Long, S.R., Wu, M.C., Shih, H.H., Zheng, Q., Yen, N-C., Tung, C.C., and Liu, H.H., “The Empirical Mode Decomposition and the Hilbert Spectrum for Nonlinear and Non- Stationary Time Series Analysis,” *Proc. R. Soc. London. A.*, vol. 454, 1998, pp. 903 995.
- [55] Demir, B., Ertürk S., "Empirical Mode Decomposition Pre-Process for Higher Accuracy Hyperspectral Image Classification ", *International Conference on Geosience and Remote Sensing Symposium*, Boston, Massachusetts, U.S.A, pp. II-939-II-941, 2008

KİŞİSEL YAYINLAR ve ESERLER

1. Y. Ürgün, O. Urhan, M.K. Güllü, S. Ertürk, "En Uygun Çekirdek ve Geliştirilmiş Faz Korelasyonu Kullanarak Ani Sahne Değişiminin Algılanması", **IEEE 15. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SİU'2007)**, Haziran 2007
2. Ateş Ç., Ürgün Y., Demir B., Urhan O. and Ertürk S., "Polyphase downsampling based multiple description image coding using optimal filtering with flexible redundancy insertion", **Proc. of IEEE Int. Conf. on Signals and Electronic Systems (ICSES)**, pp. 193-196, Poland, Sept. 2008.

ÖZGEÇMİŞ

1985 yılında Turhal'da doğdu. İlk, orta, lise eğitimini Kocaeli'de tamamladı. 2003 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü'nden 2007 yılında mezun oldu. 2007 yılından beri Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü'nde Yüksek Lisans'a devam etmektedir. Aynı zamanda Kocaeli Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği'nde ve Kocaeli Üniversitesi İşaret ve Görüntü İşleme Laboratuvarı'nda (KULİS) araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.