

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**AYRIKSI HAREKET VEKTÖRÜ AYIKLAMA ALGORİTMASIYLA GERÇEK
ZAMANLI GLOBAL HAREKET KESTİRİMİ**

Burak YILDIRIM

ELEKTRİK- ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ANKARA
2014**

Her hakkı saklıdır

TEZ ONAYI

Burak YILDIRIM tarafından hazırlanan “**Ayrıksı Hareket Vektörü Ayıklama Algoritmasıyla Gerçek Zamanlı Global Hareket Kestirimi**” adlı tez çalışması 21.07.2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Ankara Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Hakkı Alparslan ILGIN

Jüri Üyeleri :

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Baran USLU
Atılım Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Yrd. Doç. Dr. Gökhan SOYSAL
Ankara Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Yrd. Doç. Dr. Hakkı Alparslan ILGIN
Ankara Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. İbrahim DEMİR
Enstitü Müdürü

ETİK

Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

21.07.2014

Burak YILDIRIM

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

AYRIKSI HAREKET VEKTÖRÜ AYIKLAMA ALGORİTMASIYLA GERÇEK ZAMANLI GLOBAL HAREKET KESTİRİMİ

Burak YILDIRIM

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Hakkı Alparslan ILGIN

Global Hareket Kestirimi (GHK), günümüzde video işleme alanında en çok kullanılan araçlardan biridir. GHK, piksel temelli ve hareket vektörlerine (HV) dayalı sıkıştırılmış bölge temelli olarak iki şekilde yapılır. Konvansiyonel piksel temelli GHK'nin hesaplama karmaşıklığı açısından dezavantajlı olmasından dolayı, pek çok araştırma sıkıştırılmış bölge üzerinde yapılmaktadır. Bununla birlikte, GHK için ayrık eleman (outlier) olarak nitelendirilen gürültü ve önplan etkileri sıkıştırılmış bölgedeki GHK için engel oluşturur. Bu çalışmada, HV'lere dayalı verimli ve doğru bir GHK yapabilmek için yeni bir hareket vektörü benzeşmezlik ölçümüyle ayrık HV elemanlarının ayıklanması önerilmektedir. Deneysel çalışmalarda, en yeni HV-temelli yöntemlerle kıyaslama yapılmış ve işlem yükünün oldukça az ve doğruluk değerlerinin en güncel çalışmalara yakın veya daha iyi olduğu gözlenmiştir.

Temmuz 2014, 95 sayfa

Anahtar Kelimeler: Hareket Vektörleri, Global Hareket Kestirimi, Ayrık ayıklama

ABSTRACT

Master Thesis

MOTION VECTOR OUTLIER REJECTION ALGORITHM FOR REAL TIME GLOBAL MOTION ESTIMATION

Burak YILDIRIM

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electrical and Electronics Engineering

Advisor: Asst. Prof. Dr. Hakkı Alparslan ILGIN

Global Motion Estimation (GME) is one of the most important tools in video processing field. GME is mainly performed with pixel or motion vector (MV) based approaches, which are also called pixel or compressed domain methods, respectively. Due to the fact those based on the pixels have high computational cost, most researches are oriented to the MV based methods. On the other hand, in MV based GME, there are many existing outliers, which are as a result of noise and foreground objects, and obstacle for GME. In this study, a new motion vector dissimilarity measure is proposed to remove MV outliers to provide fast and accurate MV based GME. In experimental results, it is shown that proposed method is fairly successive in terms of both accuracy and complexity compared to the state of the art methods.

July 2014, 95 pages

Key Words: Motion Vectors, Global Motion Estimation, Outlier Rejection

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının başlangıcından itibaren çalışmalarında beni yönlendiren ve destek olan danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Hakkı Alparslan ILGIN (Ankara Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü) hocama, yapmış olduğumuz çalışmayı uluslararası bilimsel bir konferansta sunmak için maddi destek aldığım TÜBİTAK’a, çalışmama maddi ve manevi olarak her türlü destek veren eşim Gülay YILDIRIM’a, sevgili aileme, abim Murat YILDIRIM’a, çalışmalarında bana şevk veren İzzet ALŞAN ve Soner AKSOY’a, son olarak dünyaya yeni gelen biricik oğlum Tarık YILDIRIM ve sevgili yeğenim İNCİ YILDIRIM’a teşekkürlerimi sunarım.

Burak YILDIRIM

Ankara, Temmuz 2014

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI

ETİK.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iv
KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	3
2.1 GHK ve Kullanılan Yöntemler	3
2.2 Öznitelik Tabanlı Yöntemler	4
2.2.1 Temel özellikler	4
2.2.2 Kamera hareket parametrelerinin çıkarımı.....	4
2.3 Kamera Hareketi ve İzdüşümsel (Projective) Dönüşüm	12
2.3.1 İzdüşüm uzayı.....	12
2.4 İzdüşümsel Dönüşüm ve Kamera Modellemesi.....	16
2.4.1 Gerçek sahne konumunun kamera koordinatlarına dönüşümü	17
2.4.2 Kamera koordinatının görüntü düzlemine aktarılması	20
2.4.3 3B gerçek sahne koordinatının türdeş koordinatlar yoluyla görüntü düzlemine aktarılması	23
2.4.4 İzdüşümsel dönüşüm ve uygulama alanları.....	24
2.5 Öznitelik Tabanlı Olmayan Yöntemler.....	27
2.5.1 2B hareket bilgilerinin elde edilmesi	28
2.6 Global Hareket Modelleri.....	32
2.6.1 Piksel bölgesinde GHK	35
2.6.2 HV temelli GHK.....	38
2.6.2.1 HV alanında ayrık eleman etkisi.....	39
2.6.2.2 Newton-gradyant azalma algoritması	41
2.6.3 HV temelli GHK’de ayrık eleman tespiti ve kullanılan yöntemler	51

2.6.3.1 Rasgele örneklem uylası (Random sample consensus, RANSAC)	53
2.6.3.2 M tahminleyici ile en küçük kareler yöntemi (LSS-ME)	54
2.6.3.3 HV-Filtreleme (FLT) Yöntemi.....	57
2.6.3.4 Ayıksı Ayıklama Kaskatı (CAS-GD)	60
2.6.3.5 Tensör Oylama (TV)	62
2.6.3.6 GD ve GHK.....	67
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	68
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	70
4.1 HV Benzeşim Ölçümü.....	70
4.2 HV Benzeşmezlik Ölçümü (MD).....	71
4.3 Deneysel Bulgular	74
5. SONUÇ.....	90
KAYNAKLAR	91
ÖZGEÇMİŞ.....	95

KISALTMALAR DİZİNİ

2B	2 Boyutlu
3B	3 Boyutlu
AVC	Advanced Video Coding (Gelişmiş Video Kodlama)
CAS	Cascade (Ayrık Ayıklama Kaskatı)
CIF	Common Intermediate Format(Genel Ara Biçim)
DPCM	Discrete Pulse Code Modulation (Ayrımsal Darbe Kodu Modülasyonu)
FHV	Fark Hareket Vektörü
GHV	Global Hareket Vektörü
FLT	Filtreleme
GD	Gradient Descent (Gradyant Azalma)
GHK	Global Hareket Kestirimi
GHV	Global Hareket Vektörleri
HV	Hareket Vektörleri
IEC	International Electrotechnical Commission (Uluslararası Elektroteknik Komisyonu)
ISO	International Organization for Standardization (Uluslararası Standartlar Teşkilatı)
LMedS	Least Median of Squares (En Küçük Medyan Kareleri)
LSS	Least Square Solution (En Küçük Kareler Yöntemi)
MD	Motion Dissimilarity (Hareket Benzeşmezliği)
ME	M-Estimator (M Tahminleyicisi)
MFTD	Minimum Fark Toplam Değeri
MPEG	Motion Picture Expert Group (Hareketli Resim Uzmanlar Grubu)
RANSAC	Random Sample Consensus (Rasgele Örneklem Uyulaşımı)
TV	Tensor Voting (Tensör Oylama)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Çizgi doğrultusunda gerçekleşen “Açıklık problemi”	5
Şekil 2.2 Köşe noktasında yer alan görüntü parçası	5
Şekil 2.3.a.b. İlgi konusu noktalar ve bu noktaların önceki çerçevedeki uyuşumları	6
Şekil 2.4 Bir çerçeve için tespit edilen ilgi konusu noktalar	7
Şekil 2.5 Öznitelik tabanlı yöntemlerde kamera hareket çıkarımı akış diyagramı	8
Şekil 2.6 Öznitelik noktalarının uyuşumunun tespit edilmesi	10
Şekil 2.7 Mevcut çerçevedeki öznitelik noktaları ve sonraki çerçevedeki uyuşumları	12
Şekil 2.8 İzdüşüm uzayında yer alan noktaların Öklid düzlemiyle ilişkisi	13
Şekil 2.9 İzdüşümsel düzlem ve Öklid düzlemi arasındaki ilişki	14
Şekil 2.10 İzdüşümsel uzayda türdeş koordinatların Öklid düzlemine yansıtılması	15
Şekil 2.11 İdeal iğne delikli kamera modeli	17
Şekil 2.12 İzdüşümsel dönüşümün grafiksel gösterimi	18
Şekil 2.13 Kamera koordinatında dönme eksenleri	19
Şekil 2.14 Kamera koordinatı cinsinden ifade edilen sahne koordinatının görüntü düzlemine aktarılması	21
Şekil 2.15 Cisim konumunun görüntü düzlemine aktarılması	22
Şekil 2.16 İki düzlemin izdüşümsel dönüşümle birbirine haritalanması	25
Şekil 2.17.a.b. İki görüntü arasındaki nokta uyuşumlarının bulunması	26
Şekil 2.18 Kamera dönüşüm parametreleri ile dönen kamera hareketinin tespit edilmesi ve şekil 2.17.a ve şekil 2.17.b görüntülerinin birleştirilmesi	26
Şekil 2.19 Bir video kodlama sisteminde alıcı-verici yapısı	29
Şekil 2.20.a. Giriş çerçevesi (F_t), b. Giriş çerçevesi içinde yer alan her bloğa (16x16) ait HV’ler	30
Şekil 2.21 Referans çerçevedeki arama alanı	31
Şekil 2.22 Blok eşlemeye dayalı hareket kestirimi	32
Şekil 2.23 Global hareket modelleri a. Öteleme b. İlgin c. Geometrik d. İzdüşümsel	34
Şekil 2.24.a. Foreman dizisinde 9. çerçeveye ait HV’ler, b. Hareket dengelemesinden sonra elde edilen artık çerçeve	39
Şekil 2.25 Tek değişkenli bir fonksiyona gradyant azalma algoritmasının uygulanması	41
Şekil 2.26 Newton algoritması	49
Şekil 2.27 HV temelli GHK gösterimi	51
Şekil 2.28.a. Ayırksız HV tespiti için ilk sınama durumu, b. Ayırksız HV tespiti için ikinci sınama durumu	59
Şekil 2.29 Ayırksız ayıklama kaskatı akış diyagramı	60
Şekil 2.30 Merkezi bloğa ait HV’nin çeşitli komşuluklarında yer alan ve her fitrede ayrı olarak kullanılan komşuluk HV’leri a. 8-komşuluk, b. Diyagonal komşuluk, c. Üçgensel komşuluk	61
Şekil 2.31 Bir elipsoidin öz sistemle ifade edilmesi	63
Şekil 2.32. a. Yönelimli Torus, b. Yönelimli olmayan yüzey	64
Şekil 2.33 Üçüncü boyutlu ve ikinci dereceden simetrik tensör	64
Şekil 2.34 2B tensör ayrışımı	65

Şekil 2.35 2 boyutlu çubuk geometrisi.....	66
Şekil 4.1 Hareket tanımlayıcılarının oluşturulması a. Orijinal Görüntü, b. Optik akış vektörleri (sarı), c. Optik akış vektörlerinin x ve y bileşenlerine ayrılması (F_x , F_y), d. 4 farklı kanal oluşturabilmek için her bir vektörün yarım dalga doğrultulması (F_{x+} , F_{y+} F_{x-} , F_{y-})	71
Şekil 4.2 Hareket benzeşim-hareket benzeşmezliği ölçümünün ön plan için kıyaslanması a. Ön planı içeren HV alanı, b. MD ile ayrıkı tespiti, c. Hareket benzeşim ölçümü ile ayrıkı tespiti, d. Ön planı içeren HV alanı, e. MD ile ayrıkı tespiti, f. Hareket benzeşim ölçümü ile ayrıkı tespiti, g. Ayrıkıları içeren HV alanı, h. MD ile ayrıkı tespiti, i. Hareket benzeşim ölçümüyle ayrıkı tespiti.....	75
Şekil 4.3 Benzeşmezlik ölçümü için farklı komşuluklar a. Üçgensel, b. Diyagonal, c.8 komşuluk.....	79
Şekil 4.4 Sentezlenen HV alanında eklenen gürültülerle yapılan SNR karşılaştırması a. GM2 $\sigma = 0.7$, b. GM2 $\sigma = 3.0$, c.GM4 $\sigma = 0.7$, d.GM4 $\sigma = 3.0$ ($N=8$).....	81
Şekil 4.5 a. İzdüşümsel model için sentezlenen HV alanı, b. HV alanına $\sigma=1.5$ eklenerek elde edilen gürültülü HV alanı, c. CAS_GD yöntemine göre $\sigma=1.5$ için tespit edilen ayrıkı HV'ler (kırmızı vektörler), d. MD_GD yöntemine göre $\sigma=1.5$ için tespit edilen ayrıkı HV'ler (kırmızı vektörler).....	82
Şekil 4.6 Mobile Dizisi için PSNR-Çerçeve Numarası değerleri	86
Şekil 4.7 a.d.g Referans çerçeve, b. Dengelenmiş çerçeve (MD_GD), c. Artıklık Çerçevesi (MD_GD), e. Dengelenmiş çerçeve (GD), f. Artıklık çerçevesi (GD), h. Dengelenmiş çerçeve (FLT_GD), i. Artıklık Çerçevesi (FLT_GD)	87
Şekil 4.8 Coastguard dizisi için ayrıkı HV'lere ait sarı bloklar a. 3. Çerçeve, b. 83.çerçeve ($N=8$).....	89

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Farklı parametrik global hareket modelleri.....	33
Çizelge 2.2 Gradyant azalma algoritmasına göre fonksiyonun minimum olduğu değerin bulunması	43
Çizelge 2.3 Newton algoritmasına göre fonksiyonun minimum olduğu değerin bulunması	44
Çizelge 4.1 Global hareket test modelleri	77
Çizelge 4.2 Gürültü eklenmiş HV alanındaki SNR değerleri (dB) ($N=8$).....	78
Çizelge 4.3 MD_GD'nin üçgensel ve diyagonal komşuluklar için SNR değerleri.....	79
Çizelge 4.4 Ortalama İterasyon Sayısı ($N=3, N=4$ ve $N=8$ için).....	80
Çizelge 4.5 Gerçek test dizileriyle GHD sonucu elde edilen ortalama PSNR değerleri (dB)	83
Çizelge 4.6 Tüm HV-GME yöntemleri için PSNR değerleri	84
Çizelge 4.7 Üçgensel ve diyagonal komşuluklar için PSNR değerleri ($N=3, N=4$)	85
Çizelge 4.8 Tüm HV-GHK yöntemleri için ortalama işlem zamanları (ms) ($N=8$).....	85
Çizelge 4.9 Gerçek video dizileri için (4.5) eşitliğine göre SNR değerleri	88

1. GİRİŞ

Video dizilerinin çoğunda kamera ve nesne hareketleri birlikte yer alır. Genel olarak katı hareketin (3 boyutlu (3B) cisimlerin şekli ve büyüklüğü bozulmadan yaptığı hareket) yer almadığı video dizilerinde nesne hareketini tanımlamak oldukça zorken, kamera hareketi birkaç parametre ile tanımlanabilmektedir (Farin 2005). GHK de, video dizilerinde kamera hareketinin tespit edilebilmesi için kamera hareketinin modellenmesi ile birlikte model parametrelerinin kestirimi olarak tanımlanmaktadır.

GHK, temel olarak öznitelik tabanlı (feature based) ya da öznitelik tabanlı olmayan (featureless) yöntemlerle iki şekilde yapılmakta, bu yöntemler için de uzaysal ya da zamansal veriler kullanılmaktadır (Guerreiro ve Aguiar 2006). Öznitelik tabanlı temelli yöntemlerde görüntüler arasındaki uyumlar (correspondances) tespit edilerek kamera hareketi çıkarılırken öznitelik tabanlı olmayan yöntemlerde video verileriyle (örneğin piksel) doğrudan kamera hareketinin çıkarımı yapılmaktadır. Öznitelik tabanlı yöntemlerdeki uyum çıkarımı oldukça zor ve insan müdahalesini gerektirir. Öznitelik tabanlı olmayan yöntemler için bu tip bir sınırlama olmamakla birlikte, kamera hareketini çıkarabilmek amacıyla doğrusal olmayan karmaşık optimizasyon algoritmaları kullanılmaktadır. Bu yöntemler de kendi içinde doğrudan ya da dolaylı yöntemler halinde iki kısma ayrılmakta, bunlardan dolaysız yöntemler gerçek zamanlı uygulamalar için oldukça elverişli olmalarıyla ön plana çıkmaktadırlar.

Videolarda kamera hareketinin tespit edilmesi için kullanılan GHK arkaplan modelleme, hareketli nesne bölütlemesi, sahne analizi, nesne temelli kodlama, MPEG-7 video tanımlayıcıları gibi pek çok alanda kullanılmaktadır. Literatürde, GHK için konvansiyonel piksel temelli çalışmalar iyi performans vermekle birlikte, gerçek zamanlı-uygulamalar için fazla işlem yükü nedeniyle araştırmaların çoğu sıkıştırılmış bölgede, bit dizilerinden çekilen aralıklı-örneklenmiş HV'ler ile yapılmıştır. Ancak video dizilerinde çeşitli nedenlerden dolayı yanlış bir şekilde oluşmuş veya önplanı temsil eden HV'ler bulunmaktadır. Bu vektörler GHK'nin başarımı için engel oluşturur. Bununla birlikte GHK için kamera hareketini olumsuz yönde etkileyen ön plan ve gürültü etkileri çeşitli algoritmalarla ilk aşamada atıldıktan sonra geriye kalan verilerle

ikinci aşamada GHK'nin yapılması GHK performansını oldukça artırmaktadır. Bu sebeplerle HV'lere dayalı sıkıştırılmış bölgede bit dizilerinden çok az işlem yüküne sahip bir dekodlama işlemi sonucu elde edilen HV'ler kullanılarak yapılan GHK oldukça verimli olmakta ve bu sayede gerçek zamanlı video iletişim uygulamaları için elverişli konuma geçmektedirler.

Tez çalışmasının 2 numaralı “Kuramsal Temeller” bölümünde GHK’de kullanılan öznitelik tabanlı-öznitelik tabanlı olmayan yöntemlerden kısaca bahsedilmiştir. Aynı zamanda bu bölümde, GHK’de çok önemli bir yer tutan izdüşümsel dönüşüm açıklanmış ve uygulama alanlarına değinilmiştir. Bunun yanısıra global hareket modelleri ile öznitelik tabanlı olmayan yöntemler kapsamında piksel ve HV temelli GHK algoritmaları açıklanmıştır. 3 numaralı “Materyal ve Yöntem” bölümünde tez çalışması için uygulanan teknikler ve kullanılan araçlardan bahsedilmiştir. 4 Numaralı “Bulgular ve Tartışma” bölümünde ise sıkıştırılmış bölgede ve öznitelik tabanlı olmayan yöntemler kapsamında HV'lere dayalı olarak yapılan GHK açıklanmıştır. Bu bölümde yapılan çalışma; yeni bir ayrık HV ayıklama algoritması geliştirilmesi ve geriye kalan verilerle etkin ve doğru bir GHK yapmak üzere iki aşamada detaylandırılmıştır. Deneysel çalışma kapsamında ise başarımlar oranları sentetik HV alanlarıyla ve gerçek video dizileriyle test edilmiş, mevcut yöntemlerden en iyi performans verenlerle kıyaslama yapılarak sonuçlar ortaya çıkarılmıştır. Çalışma sonucunda ise GHK performansının yüksek bir doğruluk/karmaşıklık ile en iyi yöntemlere oldukça yakın veya daha fazla olduğu gözlenmiştir. Sonuçlar bölümünde ise yapılan çalışmada önerilen ayrık HV ayıklama algoritmasının ön plana çıkan özellikleri vurgulanmış ve müteakip aşamalarda tez çıktısının kullanılabileceği alanlara yönelik öneriler sunulmuştur.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1 GHK ve Kullanılan Yöntemler

Video dizileri genel olarak iki tip hareket içerir: Sahnedeki görülebilir nesnelerin hareketi ve hareketli kameranın neden olduğu hareket. Hareketli nesneler, eklemlili veya bozulmaya sahip bir harekete sahip olmaları nedeniyle hareket modellemelerinin yapabilmesi oldukça zordur. Bu hareketlere su dalgaları, patlamalar, trafik ışıkları veya sahnede meydana gelebilecek anlık değişimler örnek olarak verilebilir. Diğer taraftan hareketli kameralar için kamera dönme (rotasyon) açıları veya odak uzaklığı gibi bilinen parametreler yardımıyla sınırlı da olsa modelleme yapılabilmektedir. Ancak bu noktada en büyük problem, video dizisindeki belirgin kamera hareketini ortaya çıkarabilecek parametrelerin bulunmasıdır (Farin 2005).

GHK, video dizilerindeki kamera hareketinin çıkarılabilmesi amacıyla modellenmesi ve model parametrelerinin kestirimidir (Su ve Sun 2004). Bu kestirim işlemi birbirinden farklı çeşitli kamera hareket parametrelerinin (skalar katsayılar) yer aldığı iki denklemlili doğrusal-doğrusal olmayan fonksiyonlar kullanılarak yapılmaktadır. GHK de bu fonksiyon parametrelerinin bir dizi işlemle kestirim edilmesidir. Video dizilerinde blok temelli eşlemeye dayalı yöntemlerde hareket kestirimi sonucu elde edilen HV'ler girdi olarak kullanılır ve bu vektörlerle GHK yapılması sonucu Global Hareket vektörleri (GHV) elde edilir. Bunun yanında piksel temelli yöntemlerde piksellere ait parlaklık değerleri doğrudan kullanılarak kamera hareket parametrelerinin kestirimi yapılmaktadır. Bu sayede global hareketin çıkarılmasıyla bilgisayarla görü alanında video dizilerindeki hareket bilgisine dair pek çok analiz yapılabilmesine imkan sağlanmaktadır.

GHK, temel olarak öznitelik tabanlı ya da öznitelik tabanlı olmayan yöntemlerle iki şekilde yapılmaktadır. Öznitelik tabanlı yöntemler, gerçek zamanlı uygulamalar için elverişsiz olmalarından dolayı tez çalışması kapsamında ayrıntıya girilmeden açıklanmıştır. Bunun yerine, öznitelik tabanlı olmayan (doğrudan) yöntemler tez çalışmasında detaylarıyla analiz edilmiştir.

2.2 Öznitelik Tabanlı Yöntemler

2.2.1 Temel özellikler

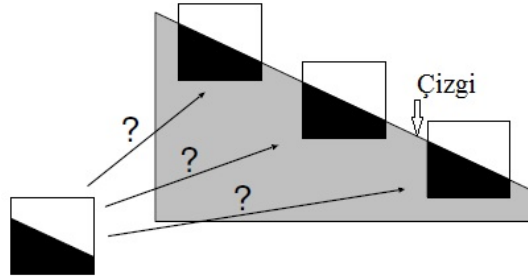
Öznitelik tabanlı yöntemler kamera hareketinin çıkarılabilmesi amacıyla sık olarak kullanılmaktadır. Bu tip yöntemlerde her bir giriş çerçevesi için öznitelik çıkarımı yapılmakta ve daha sonra çerçeveler arasındaki öznitelik uyuşumu bulunmaktadır. Öznitelik uyuşum noktaları tespit edildikten sonra, uyuşum noktalarına en uygun hareket parametreleri elde edilmekte ve bu yolla kamera hareketinin çıkarımı yapılmaktadır (Farin 2005).

Öznitelik tabanlı yöntemler, öznitelik tabanlı olmayan yöntemlerdeki görüntü verilerinin doğrudan kullanılması yerine (HV) öznitelik nokta konumlarının uyuşumuna odaklandıklarından öznitelik tabanlı olmayan yöntemlere kıyasla, aydınlatma ve gürültü etkilerinden daha az etkilenmektedirler. Bunun yanısıra, görüntüler arasında fiziksel olarak büyük hareketleri tespit etmeye daha çok imkan sağlanmaktadır. Ancak yine de öznitelik tabanlı olmayan yöntemlere nazaran global hareket çıkarımının başarımının daha kötü olduğu söylenebilir (Farin 2005). Ek olarak bu tip yöntemlerde işlem yükü oldukça fazladır (Shi ve Tomasi 1999). Bu nedenle literatürdeki yöntemler hibrit algoritmalar (öznitelik tabanlı – öznitelik tabanlı olmayan) üzerine daha çok odaklanmıştır. Ancak, gerçek zamanlı uygulamalar söz konusu olduğunda öznitelik tabanlı olmayan yöntemler performans/işlem yükünün daha iyi olması nedeniyle daha avantajlıdır.

2.2.2 Kamera hareket parametrelerinin çıkarımı

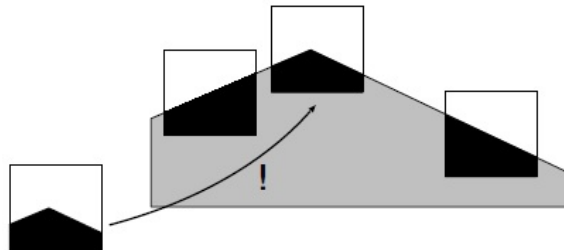
Öznitelik tabanlı yöntemler, görüntüler arasındaki öznitelik noktalarının uyuşumundan yararlanırlar. Bu uyuşum sonucunda aslında HV'ler elde edilir ve bu aşamadan önce temel olarak yapılması gereken HV'leri çıkarabilmek için öznitelik noktalarını doğru bir şekilde tespit etmektir. Ancak HV'leri bulabilmek için görüntüdeki öznitelik noktalarının güvenilir bir şekilde bulunabilmesi oldukça zordur. Örneğin şekil 2.1'deki

kare içerisinde bir görüntü parçasının kenar noktasında olduğu görülmektedir. Bu görüntü parçasının, daha büyük bir görüntü üzerinde veya diğer çerçevelerdeki doğru konumunu tespit edebilmek oldukça zordur. Ek olarak görüntü parçası aynı çizgi üzerine bir biçimli (uniform) renk dağılımına sahipse konumlandırma tespitinin yapılabilmesi neredeyse imkansız hale gelir. Bu durum literatürde “açıklık (aperture) problemi” olarak ifade edilir. Öznitelik noktalarının tespiti aslında görüntülerdeki uyuşum çıkarımından önceki doğru noktaların bulunması olarak da ifade edilebilir (Farin 2005).



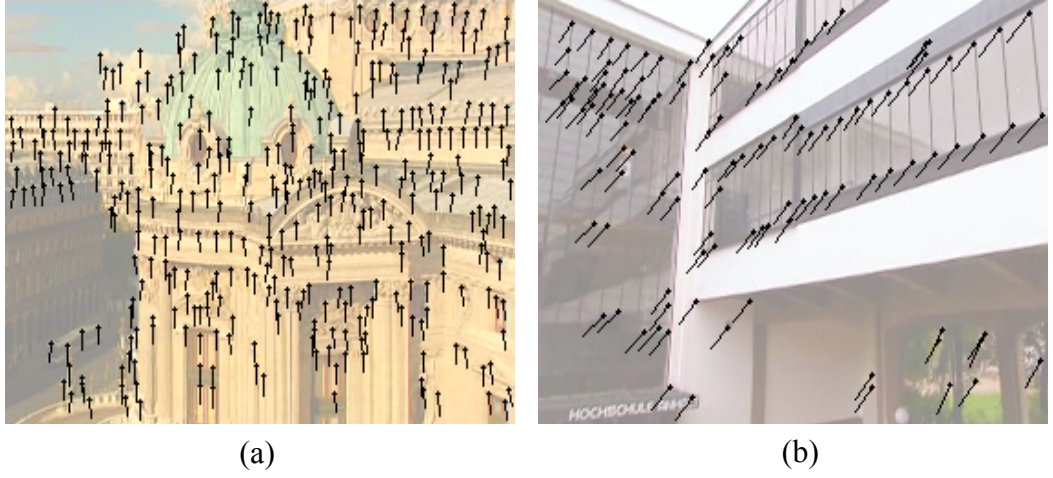
Şekil 2.1 Çizgi doğrultusunda gerçekleşen “Açıklık problemi” (Farin 2005)

Şekil 2.1’de gösterilen görüntü parçasının konum noktaları çizgi doğrultusunda yönlendirilmiş bir şekilde taranarak en uygun konum noktası bulunmaya çalışılır. Şekil 2.2’de ise görüntü parçasının dokusal (texture) yapısı her iki yönde de (x ve y yönleri) değişim gösterir ve özgün bir biçime sahip olmasından dolayı konumlandırılabilmesi daha kolaydır (Farin 2005).



Şekil 2.2 Köşe noktasında yer alan görüntü parçası (Farin 2005)

Şekil 2.1’de gösterilen görüntü parçasının doğru bir şekilde konumlandırma zorluğundan dolayı öznitelik tabanlı yöntemlerde az sayıda ve hareket bilgisini güvenilir bir şekilde verebilecek bir grup ilgi konusu nokta (interest point) kullanılmaktadır. Bu noktalar yardımıyla görüntüdeki doğru hareket bilgisinin elde edilmesi kolaylaşır. Bu noktalar ve bir önceki çerçevedeki uyuşumları şekil 2.3.a,b’de görülmektedir. İlgi konusu nokta öznitelik tabanlı nokta ile aynı anlamda kullanılır (Farin 2005).

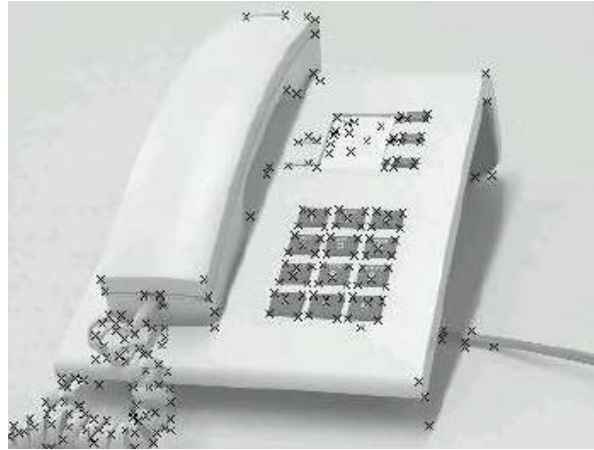


Şekil 2.3.a.b. İlgi konusu noktalar ve bu noktaların önceki çerçevedeki uyuşumları (Farin 2005)

İlgi konusu noktaların tespit edilmesinden sonra bu noktalar arasındaki uyuşumun çıkarılması gerekmektedir. Ancak buradaki problem, şekil 2.1’de görüldüğü gibi görüntü unsurlarının tekrarlayıcı bir yapı gösterdiği çerçevelerde ilgi konusu iki nokta arasındaki uyuşum tespitinin oldukça zorlaşmasıdır. Bunu engellemek için çeşitli algoritmalar kullanılmaktadır. Öznitelik tabanlı yöntemler aşağıda sırasıyla listelenen 3 süreçten oluşmaktadır. Bu süreçlerde kullanılan algoritmalar, öznitelik tabanlı noktaların sahip olduğu uzaysal verilerle (piksel, doku vb.) yapılır:

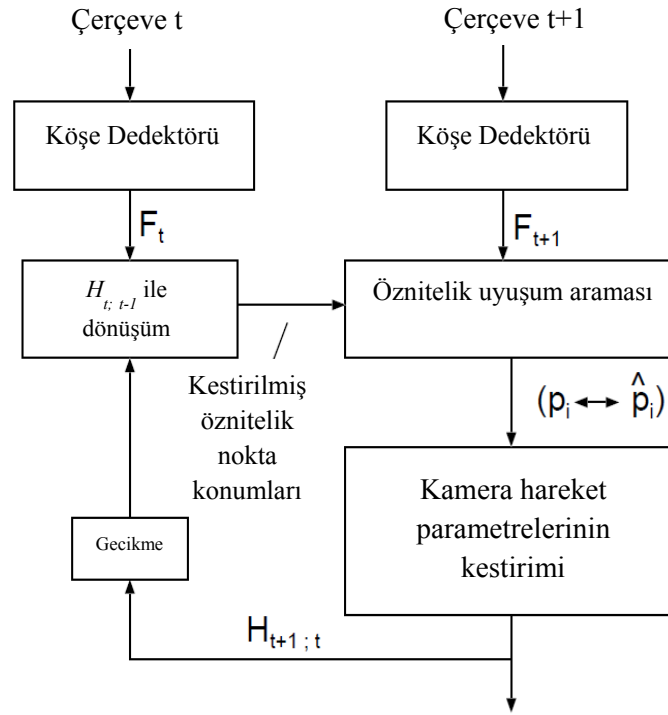
- a. İlgi konusu nokta tespiti
- b. İlgi konusu iki nokta arasında uyuşumun bulunması
- c. Global hareket model parametrelerinin kestirimi (Farin ve With 2007).

GHK'nin ilk aşamasında ilgi konusu nokta tespiti için Shi-Tomasi, Harris, Moravec, and SUSAN gibi çeşitli dedektörler kullanılmaktadır (Farin 2005). Bu dedektörler yardımıyla konumsal olarak yerinden sapmayan niteliksel noktalar tespit edilir. Bunun anlamı şekil 2.2'de gösterilen ilgi konusu noktanın diğer çerçevede de aynı özellik göstermesi anlamına gelir. Örneğin bir çerçevede seçilen her bir ilgi konusu noktanın, bir sonraki çerçevede uyumu mevcut ve uyum gösteren ilgi konusu iki nokta arasında yer değiştirme hatası ne kadar az ise ilgi konusu noktalar o kadar başarılı tespit edilmiş demektir. Ayrıca bu noktalar, daha önceden de ifade edildiği gibi bir çerçeve içerisinde uzaysal olarak benzersiz olmalıdır. Şekil 2.4'te orijinal görüntü ve bu görüntüye ait tespit edilen ilgi konusu noktalar x işaretiyle gösterilmektedir. Şekil 2.4'te görüldüğü gibi ilgi konusu noktalar uzaysal olarak benzersiz (unique) bir özelliğe sahiptir. Bu noktalar genel olarak "köşe noktaları" olarak da ifade edilirler (Farin 2005).



Şekil 2.4 Bir çerçeve için tespit edilen ilgi konusu noktalar (Farin ve With 2007)

Öznitelik tabanlı yöntemlerin blok diyagramı şekil 2.5'te görülmektedir. Bu tip yöntemlerde ilk aşamada mevcut ve sonraki çerçeve için ilgi konusu noktalar (F_t, F_{t+1}) çeşitli detektörlerle tespit edilir. Bu dedektörler, görüntü içerisinde yer alan piksel değerlerinin çeşitli yönlerde oldukça değişim gösterdiği özgün noktaları tespit etmektedirler (Farin ve With 2007). Örneğin, telefon ahizesinin köşe noktalarının özgün bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Ahizenin diğer noktaları ise benzer özellik taşıdığından dolayı ilgi konusu dışı nokta olarak kabul edilirler.



Şekil 2.5 Öznitelik tabanlı yöntemlerde kamera hareket çıkarımı akış diyagramı (Farin 2005)

Öznitelik noktalarının tespit edilmesinde kullanılan dedektörlerin başarımları oranı tekrarlanabilirlik ve doğruluk olarak ifade edilebilir. R_e , öznitelik noktalarına ait uyuşum sayısı, F_t ve F_{t+1} sırasıyla mevcut ve sonraki çerçeve içindeki öznitelik nokta sayıları olmak üzere;

$$\text{Tekrarlanabilirlik} = \frac{R_e}{\min(F_t, F_{t+1})} \quad (2.1)$$

$$\text{Doğruluk} = \frac{1}{|R|} \sum_{p_i \leftrightarrow \hat{p}_i \in R} d(\hat{p}_i, H^* \cdot p_i) \quad (2.2)$$

olarak ifade edilir. Yukarıdaki (2.1) eşitliğiyle uyuşum sayısı, minimum öznitelik noktasıyla normalize edilmektedir. Bunun anlamı, mevcut veya sonraki çerçeveye ait tespit edilen minimum öznitelik nokta sayısının her birinin uyuşumu mevcut ise tekrarlanabilirlik değeri maksimum olan 1'e ulaşmaktadır. Doğruluk değeri için; mevcut çerçevede tespit edilen ilgi konusu noktanın (p_i) yine mevcut çerçeveye ait H türdeş olmayan dönüşüm ile yansıtmı ($H^* \cdot p_i$) sonucu sonraki çerçevedeki tahmini

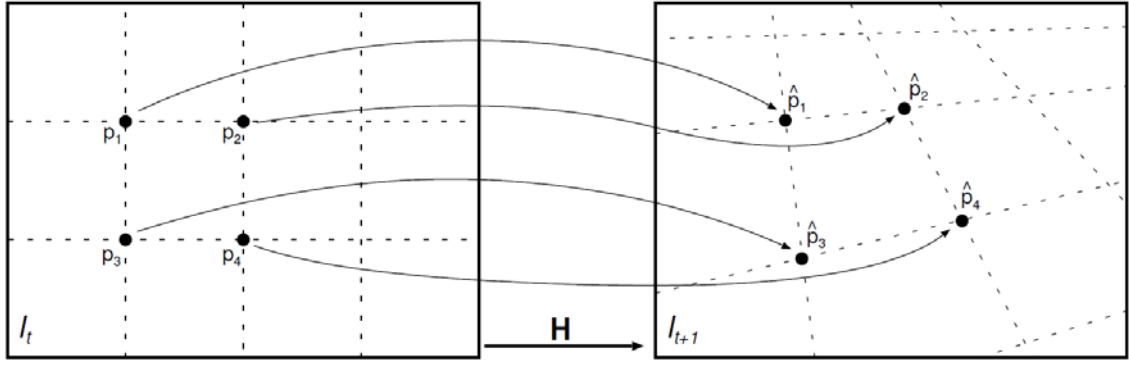
öznitelik konumu elde edilir. $p_i \leftrightarrow \hat{p}_k \in R$ 'nin anlamı $(p_i \in F_t)$ ile $(\hat{p}_k \in F_{t+1})$ 'nin uyuşum sağlayan noktalar olmasıdır. Bu kestirim konumu ile sonraki çerçevedeki öznitelik noktası $\hat{p}_k$ arasındaki uzaklık yer değiştirme hatasını vermektedir. Bu değer ne kadar düşükse doğruluk değeri o kadar yüksek anlamına gelmektedir (Farin 2005).

İlgi konusu noktaların tespit edilmesinden sonra her iki çerçevede yer alan ilgi konusu noktaların eşleştirilmesi (uyuşumu) gerekmektedir. Bu da çeşitli algoritmalarla yapılmaktadır. Örneğin fast greedy algoritması, bir öznitelik noktasının ideal uyuşumunu ölçmek için kullanılabilir (Farin 2005). Bu amaçla mevcut çerçevede seçilen herhangi bir öznitelik noktası p_i ile sonraki çerçevede tespit edilen öznitelik noktası $\hat{p}_k$ merkez kabul edilerek x eksenini boyunca $-n, +n$ ve y eksenini boyunca $-m, +m$ noktaları arasında kabul edilen bir pencere için piksel değerlerinin farkı alınır ve bu fark değerleri toplanır. Belirli bir eşik değerinden (d_{max}) daha az minimum fark toplamı değerini (MFTD) veren iki öznitelik noktası uyuşum noktaları (correspondances) olarak kabul edilir. Bu durum şekil 2.6'da görülmektedir. Eşik değeri aynı zamanda mevcut çerçevedeki öznitelik noktası için arama mesafesi (menzili) olarak da kullanılmaktadır (Farin 2005).

noktasının doğru bir şekilde kestiriminin yapılmasıdır. Bu sayede sonraki çerçevede yer alan ilgi konusu nokta ile kestirimi yapılmış ilgi konusu nokta arasında MFTD değerinin daha küçük olması ile uyum sağlayacak noktalar daha az arama alanına sahip bir eşik değeri ile sınırlanmakta ve bu sayede uyum sağlayan nokta sayısı daha az sayıya yakınsamaktadır (Farin 2005).

$$\begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_1\hat{x}_1 & -y_1\hat{x}_1 \\ 0 & 0 & 1 & x_1 & y_1 & 1 & -x_1\hat{y}_1 & -y_1\hat{y}_1 \\ x_2 & y_2 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_2\hat{x}_2 & -y_2\hat{x}_2 \\ 0 & 0 & 0 & x_2 & y_2 & 1 & -x_2\hat{y}_2 & -y_2\hat{y}_2 \\ x_3 & y_3 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_3\hat{x}_3 & -y_3\hat{x}_3 \\ 0 & 0 & 0 & x_3 & y_3 & 1 & -x_3\hat{y}_3 & -y_3\hat{y}_3 \\ x_4 & y_4 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_4\hat{x}_4 & -y_4\hat{x}_4 \\ 0 & 0 & 0 & x_4 & y_4 & 1 & -x_4\hat{y}_4 & -y_4\hat{y}_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_{00} \\ h_{01} \\ h_{02} \\ h_{10} \\ h_{11} \\ h_{12} \\ h_{20} \\ h_{21} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{x}_1 \\ \hat{y}_1 \\ \hat{x}_2 \\ \hat{y}_2 \\ \hat{x}_3 \\ \hat{y}_3 \\ \hat{x}_4 \\ \hat{y}_4 \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

(2.3) eşitliğindeki hareket parametrelerini içeren H matrisi $H=[h_{00},...,h_{21}]^T$ aslında mevcut çerçevedeki kamera hareket parametrelerini içermektedir. Aynı zamanda mevcut çerçevedeki öznitelik noktasının sonraki çerçevedeki uyum gösteren öznitelik noktasını kestirebilmek için kullanılmaktadır. Bu nedenle bu parametreyi içeren matris H^* notasyonu ile gösterilmiştir. (2.3) eşitliği 8 parametrelilik izdüşümsel dönüşüm kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu dönüşüm için de en az 4 öznitelik noktasına ihtiyaç duyulmuştur. (x_n, y_n) noktaları ise öznitelik nokta konumlarını ifade etmektedir. (2.3) eşitliğinin grafiksel gösterimi şekil 2.7’de gösterilmektedir.



Şekil 2.7 Mevcut çerçevedeki öznitelik noktaları ve sonraki çerçevedeki uyumları (Farin 2005)

2.3 Kamera Hareketi ve İzdüşümsel (Projective) Dönüşüm

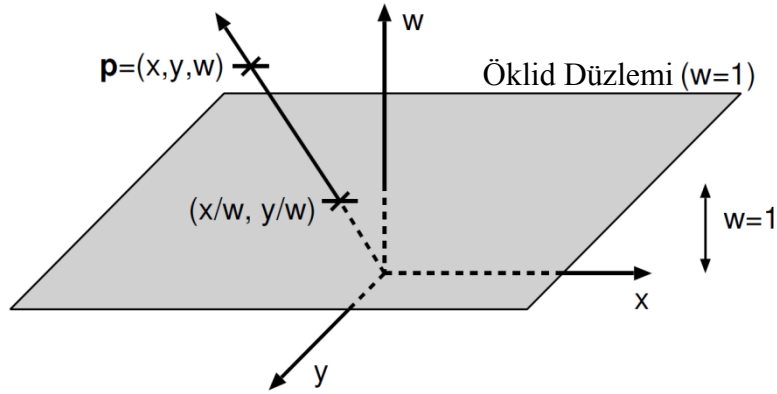
Video dizilerinde kamera hareketini kestirebilmek için 3B nesneler arasındaki ilişki ve bunların 2 boyuta (2B) indirgenmesi çok büyük önem taşır. Bunu gerçekleştirebilmek ve değişik tipte kamera hareketlerini tanımlayabilmek amacıyla çeşitli geometrik modellere ihtiyaç duyulmaktadır. İzdüşümsel geometri de kamera hareketini tanımlayabilmek için en çok kullanılan geometrik modellerden biridir. Bu model, nesne hareketi ve görüntü dönüşümlerinin matematiksel olarak modellenmesinde sıklıkla kullanılır (Farin 2005). İzdüşümsel dönüşüm kamera hareketini modellemek için kullanıldığından detaylarıyla ve dönüşümün öznitelik tabanlı yöntemler kapsamında kullanılması sebebiyle bu kısımda teorik yönüyle açıklanmıştır. Tez çalışması kapsamındaki GHK'deki izdüşümsel ve diğer parametrik dönüşümler tezin kuramsal temelinde çok önemli bir yer tutması sebebiyle detaylı bir şekilde 2.4 kısmında açıklanacaktır.

2.3.1 İzdüşüm uzayı

Temel geometri bilinen Öklid uzayıyla açıklanır. n boyutlu bir Öklid uzayı E^n , n uzunluğundaki vektörlerden oluşur. Kamera hareketinin modellenmesinde Öklid uzayının bir takım dezavantajları vardır. Bunlardan ilki Öklid uzayında sonsuza dair herhangi bir verinin sağlanamaması, ikincisi de paralel çizgi kesişimlerinin Öklid

uzayında tanımlanamamasıdır. Ek olarak, nesne hareketlerini tanımlarken kullanılan izdüşümsel dönüşümün yapılması Öklid uzayında oldukça zordur. Örneğin, çok basit hareket tipleri için farklı formülasyonlar gerekmekte, öteleme hareketi için vektör ekleme işlemi uygulanırken, dönme hareketi için vektörlerin çarpımı, izdüşümsel noktaların düzlem üzerine yansıtılması içinse bölme işlemi uygulanmaktadır. Katı hareketin tüm çeşitlerini ve izdüşümsel geometriyi tanımlayabilmek amacıyla yeni bir uzay kullanır: İzdüşüm uzayı P^n (Farin 2005).

n boyutlu E^n Öklid uzayında, her nokta $(x_1, x_2, \dots, x_n)^T$, n uzunluğundaki bir vektörle tanımlanır. Bu noktaların her bir bileşeni ise bir koordinat eksenini boyunca konumu ifade eder. İzdüşüm uzayı P^n 'de ise her nokta $n+1$ uzunluğundaki vektörle ifade edilir. Bu tip bir yapıda; E^n uzayındaki her nokta $(x_1, x_2, \dots, x_n)^T$, $w \neq 0$ serbest ölçekleme faktörüyle P^n uzayındaki $(wx_1, wx_2, \dots, wx_n, w)^T$ noktalarına karşılık gelmekte ve aslında E^n , P^n uzayının tek biçimli alt uzayı olmaktadır (Farin 2005).



Şekil 2.8 İzdüşüm uzayında yer alan noktaların Öklid düzlemiyle ilişkisi (Farin 2005)

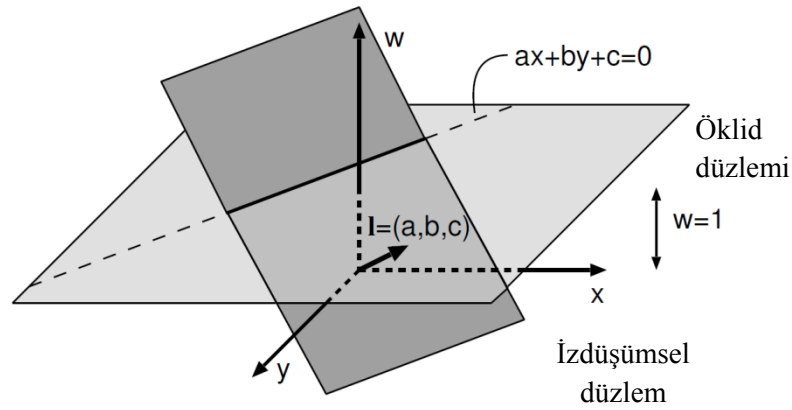
Öklid uzayı E^n , P^n uzayına kanoniksel enjeksiyon yöntemiyle aktarılabilir. $E^n \rightarrow (x_1, x_2, \dots, x_n)^T \rightarrow (x_1, x_2, \dots, x_n, 1)^T \in P^n$ olarak temsil edilebilir. Bu dönüşüm sonucu elde edilen koordinatlara türdeş (homogenous) koordinatlar adı verilmektedir. Bu koordinatların önemli bir avantajı ölçekleme ile değişmez olmalarıdır. Şekil 2.8'den görüldüğü gibi p noktasının Öklid düzlemindeki $(x/w, y/w)$ koordinatının izdüşüm

uzayındaki koordinat noktası (x,y,w) olarak ifade edilir. p noktası (x,y,w) ; Öklid düzleminde, her $\lambda \neq 0$ için $(\lambda x, \lambda y, \lambda w)$ ile aynı koordinata karşılık gelmesinden dolayı (x,y,w) ile $(\lambda x, \lambda y, \lambda w)$ türdeş koordinat olarak adlandırılır (Farin 2005).

İzdüşümsel dönüşümde iki düzlem ve bunlar arasındaki ilişki oldukça önemlidir. Bunlardan ilki izdüşümsel düzlem, diğeri ise Öklid düzlemdir. Şekil 2.9'a dikkat edilirse $w=1$ 'in yer aldığı Öklid düzlemi ve merkez ile (a,b,c) noktası arasındaki normal vektörüne (I) dik olan izdüşümsel düzlem görülmektedir. Bu düzlemin $w=1$ olan Öklid düzlemini kestiği noktalar ise Öklid düzleminde tanımlanır. Normal vektörü, çizgi (line) olarak da ifade edilir. Şekil 2.9'da görüldüğü gibi I çizgisinin Öklid uzayında kestiği noktalar $ax+by+c=0$ denklemini doğrulayan noktalardır. Bu noktada; çizgi $I=[a,b,c]$; p noktası ise $p=[x,y,w]^T$ olarak ifade edilirse;

$$I^T \cdot p = 0 \quad (2.4)$$

Matris eşitliği elde edilir.



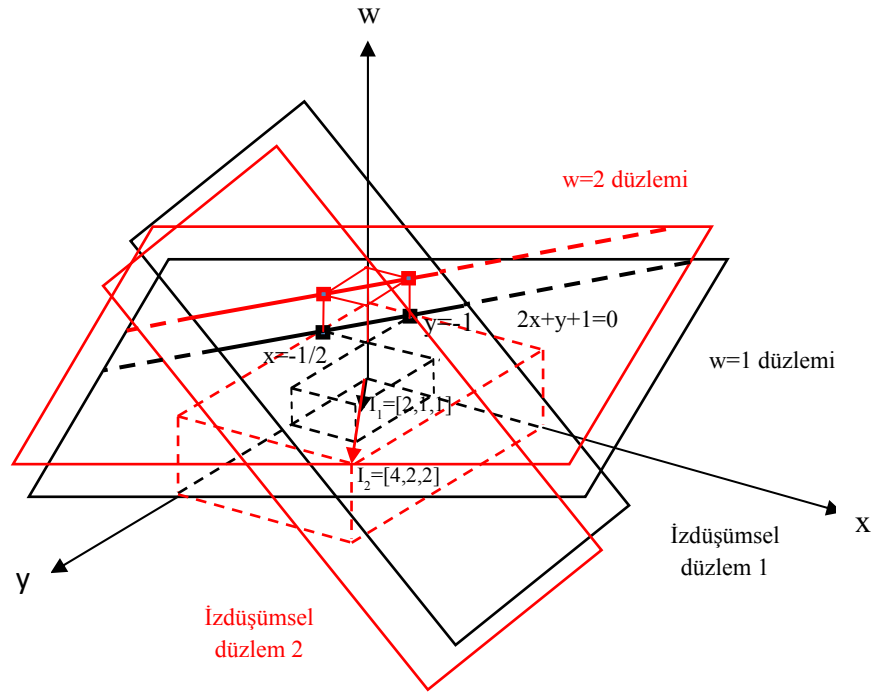
Şekil 2.9 İzdüşümsel düzlem ve Öklid düzlemi arasındaki ilişki (Farin 2005)

Öklid düzleminin en önemli dezavantajlarından biri daha önce ifade edildiği gibi sonsuza ait verinin sağlanamamasıdır. Ancak izdüşümsel düzlem yardımıyla bu problem çözülebilir. İzdüşüm uzayına ait (x,y,w) koordinatları Öklid uzayına $w=0$ için

yansıtılabilir. Bu noktada; Öklid uzayındaki yansıtım koordinatı $(x/w, y/w)$ olacağından $w=0$ için Öklid uzayındaki bu noktalar sonsuzu ifade etmektedirler. $w \rightarrow 0, \frac{x}{w} = \infty$

Dolayısıyla izdüşümsel düzlemde merkez ile noktalar (a,b,c) arasında yer alan çizgiler $w=1$ olan Öklid düzlemine paralel olmakta, çizgilerin belirttiği noktalar da sonsuzda Öklid düzlemini ideal olarak kesmektedirler.

İzdüşümsel düzlemde yer alan koordinatların ölçekleme faktörü çarpılması sonucu elde edilen koordinatların Öklid düzlemindeki yansıtımları aynıdır. Bunun ispatı ise şekil 2.10'da görülmektedir. $(2,1,1)$ koordinatının $w=2$ ölçekleme faktörü ile çarpılması sonucu I_1 nokta konumu aynı doğrultuda hareket etmektedir. Dolayısı ile I_2 izdüşümsel noktanın $(4,2,2)$ Öklid düzlemindeki koordinatı aynı kalmaktadır.



Şekil 2.10 İzdüşümsel uzayda türdeş koordinatların Öklid düzlemine yansıtılması

2.4 İzdüşümsel Dönüşüm ve Kamera Modellemesi

İzdüşümsel dönüşüm kamera hareketinin modellenmesinde kullanılan en iyi yöntemlerden biridir. Bu dönüşüm önceden açıklandığı gibi “türdeş koordinatlar” yardımıyla kamera hareketini geometrik olarak modellemek için kullanılır. İzdüşümsel dönüşüm 3B dünyanın görüntü düzlemindeki 2 boyutlu (2B) koordinat sistemine aktarılması için kullanılır (Zhang 1998). Bu dönüşüm 3B ve 2B’nin karşılıklı dönüşümü için kullanılmakta ve sırasıyla aşağıdaki iki adımla birlikte uygulanmaktadır:

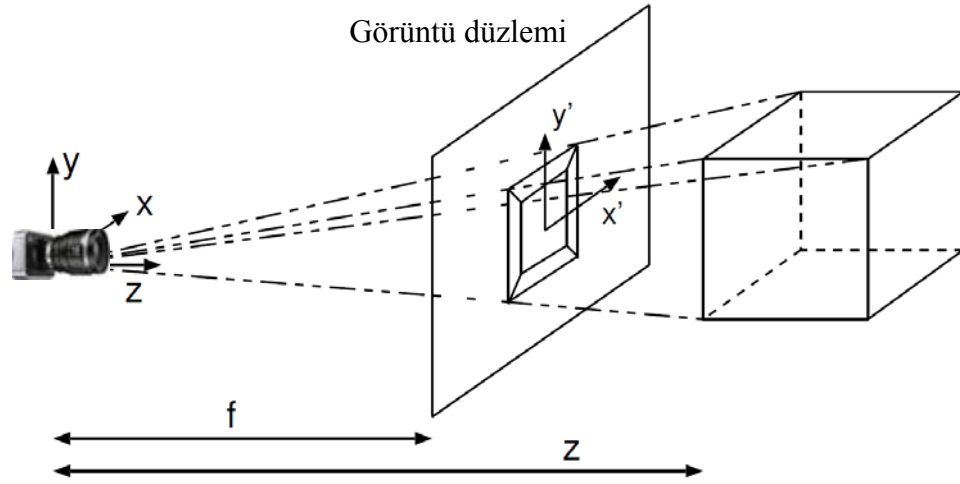
- a. 3B Sahne koordinatlarının kamera koordinatlarına dönüşümü
- b. Kamera koordinatlarının görüntü düzlemine izdüşümsel dönüşüm ile yansıtılması (Neumann 2007).

İzdüşümsel dönüşümün ikincil bir uygulaması ise kamera hareketinin tespittir. Bu tespit ise video çerçevelerine ait hareket bilgisi (HV’ler) kullanılarak yapılmaktadır. Bunun anlamı ise kamera hareketinin, video çerçevelerine ait nesne ve arka plana hareket bilgisinin eklenmesi (HV’ler) şeklinde ifade edilmesidir. Yani, kamera hareketi ile sahnedeki tüm unsurlara bir hareket bilgisi eklemekte ve her öznitelik (arka ve ön plan) hareket ediyormuş gibi düşünülmektedir. Bu hareket bilgileri öznitelik tabanlı yöntemlerde uyum gösteren ilgi konusu noktaların farkı sonucu oluşan veya öznitelik tabanlı olmayan yöntemlerde çeşitli kestirim yöntemlerine dayalı elde edilen HV’lerdir. Bu sayede bu hareket bilgileri ve sahne koordinatları bir arada işlenerek kamera hareket parametrelerinin kestirimi yapılır.

İzdüşümsel dönüşüm fazla sayıda dönüşüm parametreleri içerir. Bu sayede pek çok tip hareketi modellemek için bu dönüşüm kullanılabilir. Ancak parametre katsayılarının alabileceği değerlere göre bu dönüşüm diğer alt dönüşüm matrisleri şeklinde (öteleme, ilgin vb.) de ifade edilebilir. Tezin ilerleyen bölümlerinde bu dönüşüm hareket parametrelerinin kestirimi için ayrıntılarıyla açıklanacağından 3B gerçek dünya koordinatlarının 2B görüntü düzlemine aktarılmasında kullanılan izdüşümsel dönüşüm açıklanmıştır.

2.4.1 Gerçek sahne konumunun kamera koordinatlarına dönüşümü

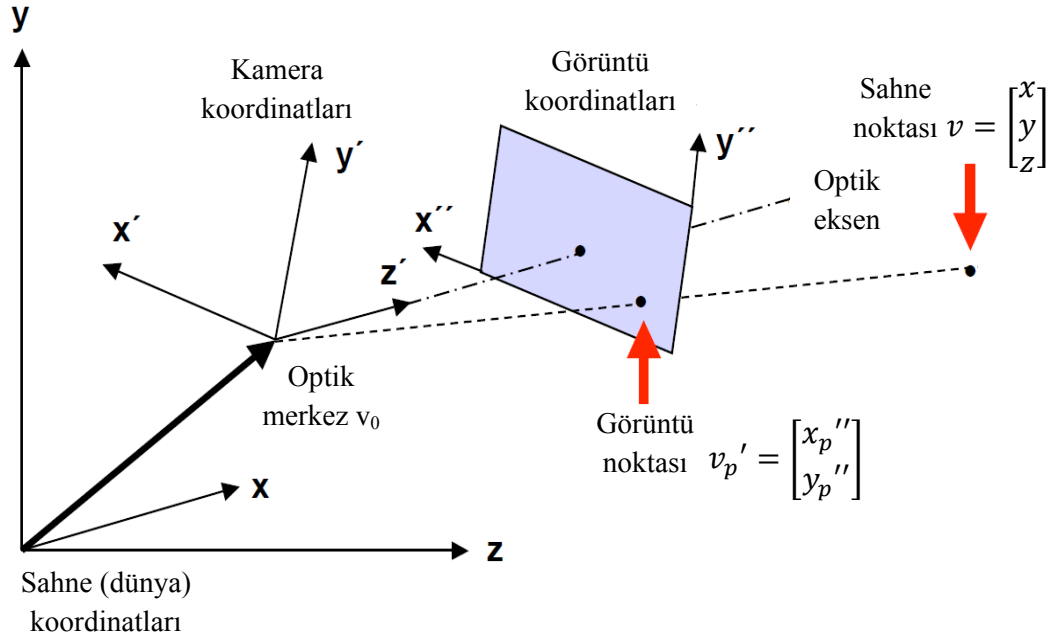
3B dünyada cisimlerin gerçek konumlarının görüntü düzlemine aktarılmasında uygulanan adımlar açıklanmadan önce izdüşümsel dönüşümde kullanılan kamera modelinin iyi anlaşılması gerekir. 3B sahnelerin görüntü düzlemine aktarılmasında iğne delikli kamera (pinhole) modeli kullanılır. Bu kamera tipi gerçek kameralara oldukça benzediği için kamera modellerinde kullanılmaktadır. Gözün çalışma prensibinden farkı ise görüntü düzleminin retina işlevi görmesidir. Bilindiği üzere insanlarda görme cisimlerden yansıyan ışınların göz merceği ile ağ tabakaya düşürülmesi ve ters görüntünün beyne iletilerek düzeltilmesi ile gerçekleşir. İğne delikli kamera için şekil 2.11'den görüldüğü gibi kamera merkezinden cisimlerin köşe noktalarına giden yolların görüntü düzleminde kestiği noktaları, ilgili cismin koordinatları olarak temsil edilir. Gerçek kameralarda ise göze benzer şekilde bu görüntü düzlemi aslında kamera arkasıdır. İğne delikli kameralar için bu tip bir yaklaşım uygulanması işlem kolaylığı sağlamaktadır (Farin 2005).



Şekil 2.11 İdeal iğne delikli kamera modeli (Farin 2005)

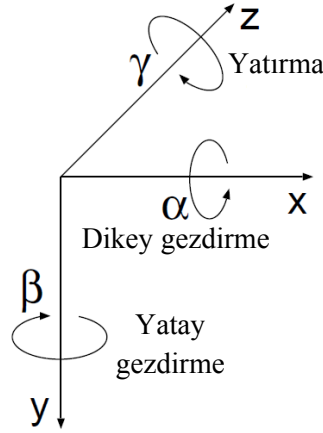
Şekil 2.11'den görüldüğü gibi görüntü düzleminde, 3B cismin köşe noktaları izdüşümsel yansıtım (perspective projection) işlemiyle görüntü düzlemine düşürülmektedir. Bu düzlem aynı zamanda retinal düzlem olarak da ifade edilir

(Faugeras 1993). İzdüşümsel dönüşüm için yukarıda ifade edilen 2 adımın grafiksel olarak gösterimi şekil 2.12’de görülmektedir.



Şekil 2.12 İzdüşümsel dönüşümün grafiksel gösterimi (Neumann 2007)

İzdüşümsel dönüşüm için kameranın optik merkez noktası $v_0 = [x_0, y_0, z_0]^T$, 3B dünyadaki sahne noktasının konumu $v = [x, y, z]^T$, kamera koordinatları cinsinden konumu $v' = [x_p', y_p', z_p']^T$, görüntü düzlemindeki koordinatları da $v'' = [x_p'', y_p'']^T$ olarak kabul edilsin. Dönüşüm işleminde 3B gerçek dünyadaki koordinatlar kameradan kaynaklanan öteleme ve dönme hareketleri ile birlikte yerel kamera koordinatları cinsinden ifade edilirler (Neumann 2007).



Şekil 2.13 Kamera koordinatında dönme eksenleri (Farin 2005)

$$v' = R (v - v_0) \quad (2.5)$$

R dönme matrisinin cismin gerçek sahne konumu ile kamera optik merkez arasındaki fark ile çarpılmasıyla gerçek sahne konumunun kamera koordinatlarına yansıtımı elde edilmektedir. (2.5) eşitliği kameranın gezdirme (panning) ve yatırma (tilting) hareketlerini ifade etmektedir. Gerçek dünyadaki 3B konumun kamera koordinatı cinsinden ifade edilmesinde gözlemcinin kamera merkezinde yer aldığı kabul edilir. Dolayısıyla ilk olarak iki koordinat sisteminin birbiriyle hizalaması yapılır. Bunun anlamı cisimlerin noktasal sahne konumlarının kamera hareketinden (nesne hareketi olarak da ifade edilebilir) kaynaklanan sebeplerle dönme ve öteleme matrisleri kullanılarak hesaplandıktan sonra kamera koordinatı cinsinden ifade edilmesidir.

$$R_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha \\ 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \quad R_y = \begin{bmatrix} \cos \beta & 0 & -\sin \beta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \beta & 0 & \cos \beta \end{bmatrix} \quad R_z = \begin{bmatrix} \cos \gamma & \sin \gamma & 0 \\ -\sin \gamma & \cos \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

Yukarıda gösterilen 3 matris (R_x , R_y , R_z) kamera koordinat düzlemindeki (dikey gezdirme, yatay gezdirme, yatırma) açısal sapmaları ifade etmektedir. Bu üç matrisin çarpımı sonucu dönme matrisi R elde edilir:

$$R=R_x.R_y.R_z \quad (2.7)$$

$$R=\begin{bmatrix} \cos \beta . \cos \gamma & \cos \beta . \sin \gamma & -\sin \beta \\ \sin \alpha . \sin \beta . \cos \gamma -\cos \alpha . \sin \gamma & \sin \alpha . \sin \beta . \sin \gamma +\cos \alpha . \cos \gamma & \sin \alpha . \cos \beta \\ \cos \alpha . \sin \beta . \cos \gamma +\sin \alpha . \sin \gamma & \cos \alpha . \sin \beta . \sin \gamma -\sin \alpha . \cos \gamma & \cos \alpha . \cos \beta \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

$$R=\begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

$$\begin{bmatrix} x_p' \\ y_p' \\ z_p' \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix}\begin{bmatrix} x-x_0 \\ y-y_0 \\ z-z_0 \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

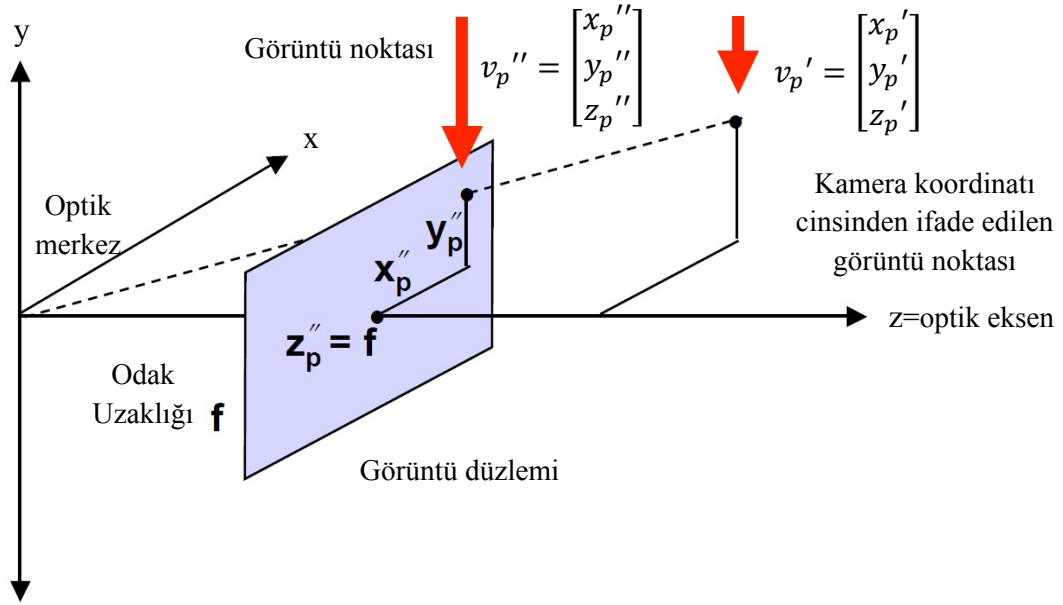
Yukarıda ifade edilen eşitlikler ile cismin gerçek sahnedeki konumu, kamera koordinatları cinsinden ifade edilmiştir. Bu amaçla gerçek sahne noktaları dönme ve öteleme parametrelerinden 3x3 dönme matrisi (R) ve 3x1 öteleme matrisi ile hesaplanarak yansıtılırlar. Bu iki matris kameranın dış (extrinsic) kamera parametrelerini oluşturur. Aslında yapılan bu işlem gerçek dünya koordinatı ile kameranın yerel koordinatının kameranın yapmış olduğu öteleme ve dönme hareketi ile birlikte hizalanmasından ibarettir.

2.4.2 Kamera koordinatının görüntü düzlemine aktarılması

İzduşümsel yansıtım işleminde dönüşüm eşitliği ile kamera koordinatı cinsinden ifade edilen 3B koordinatlar, bu aşamada görüntü düzlemine aktarılmaktadır. Kameranın merkezi ile görüntü düzlemi arasındaki uzaklık f (odak uzunluğu), gerçek sahnedeki koordinatlar da $v=[x,y,z]^T$ olarak ifade edilirse;

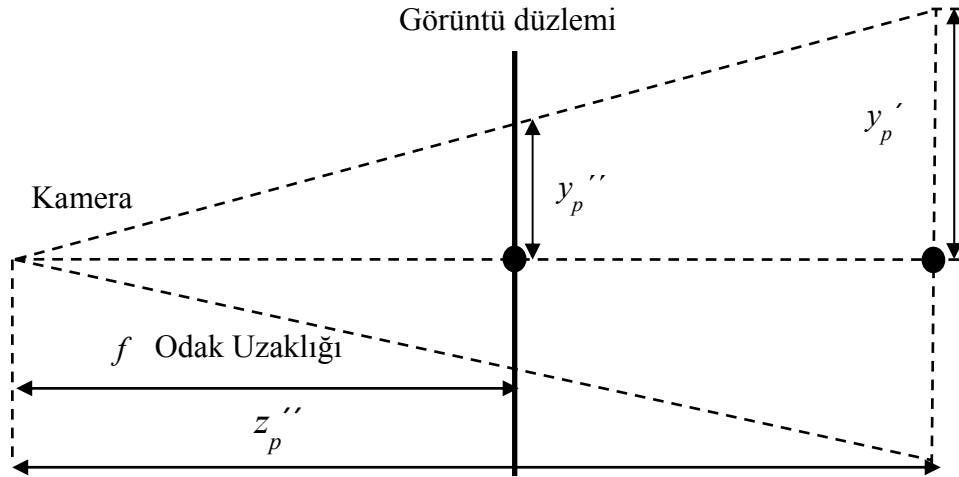
$$x_p = x \frac{f}{z} \quad x_p = x \frac{f}{z} \quad (2.11)$$

üçgen benzerliği eşitliği doğrudan kamera koordinatı dönüşümü yapılabilir.



Şekil 2.14 Kamera koordinatı cinsinden ifade edilen sahne koordinatının görüntü düzlemine aktarılması (Neumann 2007)

Kamera koordinat merkezi ile gerçek 3B dünyanın merkez koordinatı birbiri ile hizalandıktan sonra kamera koordinatları ile ifade edilen cisim konumunun görüntü düzlemine aktarılması gerekmektedir. Bu işlem ise oldukça basit bir üçgen benzerliği (2.11) eşitliği ile hesaplanır. Dikkat edilirse şekil 2.15 ile gösterilen görüntü düzlem koordinatları $v = [x, y, z]^T$, şekil 2.15'ten görüldüğü üzere görüntü düzleminde $v' = [x_p'', y_p'']^T$ olarak yansıtılmıştır. Cismin 3B dünyadaki gerçek konumu ise kamera koordinatı cinsinden ifade edildiği için cismin konumu $v' = [x_p', y_p', z_p']^T$ olarak ifade edilir.



Şekil 2.15 Cisim konumunun görüntü düzlemine aktarılması

Doğrudan üçgen benzerliği kullanılarak 3B cisim konumunun görüntü düzlemindeki yansıtımı (2.12) eşitliği ile ifade edilebilir: (Kamera koordinatı z_p' nin görüntü düzlemindeki yansıtımı doğrudan odak uzaklığıdır.)

$$\begin{aligned}
 x_p'' &= f/z_p' [\cos \beta \cos \gamma (x - x_0) + \cos \beta \sin \gamma (y - y_0) + \sin \beta (z - z_0)] \\
 y_p'' &= f/z_p' [(-\sin \alpha \sin \beta \cos \gamma - \cos \alpha \sin \gamma) (x - x_0) + \\
 &(-\sin \alpha \sin \beta \sin \gamma + \cos \alpha \cos \gamma) (y - y_0) + \sin \alpha \cos \beta (z - z_0)] \\
 z_p' &= (-\cos \alpha \sin \beta \cos \gamma + \sin \alpha \sin \gamma) (x - x_0) + \\
 &(-\cos \alpha \sin \beta \sin \gamma - \sin \alpha \cos \gamma) (y - y_0) + \cos \alpha \cos \beta (z - z_0)
 \end{aligned} \tag{2.12}$$

Kamera koordinatlarının görüntü düzlemine yansıtılmasından sonra yapılan son işlem görüntü düzleminde yer alan 2B koordinatların piksel koordinatlarına dönüşmesidir. Ancak piksel koordinatlarının kare olmaması, görüntü düzleminin eğik olması gibi problemler oluşabilir (Farin 2005). Bu problemleri engellemek için kamera iç parametrelerine yeni parametreler eklenir. Tez çalışması kapsamında ise konu bütünlüğünün bozulmaması açısından bu kısım dahil edilmemiştir.

2.4.3 3B gerçek sahne koordinatının türdeş koordinatlar yoluyla görüntü düzlemine aktarılması

İzdüşümsel dönüşümde türdeş koordinatlar yardımıyla 3B dünya koordinatları 2B görüntü düzlemine aktarılabilir. Bu işlem ise büyük matris dönüşümleri kullanılarak yapılır (Collins 2012). Bu dönüşüm ise, 4B notasyon kullanılarak yapılır. Bu sayede 3B doğrusal olmayan bir dönüşüm, 4B doğrusal dönüşüm cinsinden ifade edilerek 3B koordinat sistemi modellenir (Neumann 2007). Bu kısımda 2.4.2 bölümündeki 3B koordinatların görüntü düzlemine aktarılmasında türdeş koordinatlarından faydalanılmıştır. Bunu yapabilmek amacıyla dönme, öteleme, izdüşümsel yansıtım matrisleri bir arada işlenmektedir.

2.4.2 bölümünde açıklandığı gibi izdüşümsel dönüşümde kullanılan ölçekleme faktörü ile cisim koordinatları Öklid koordinatlarında (2B koordinat düzlemi, çalışma kapsamında görüntü düzlemi olarak da ifade edilmiştir) değişim göstermemektedir. Bunun ispatı ise şu şekilde açıklanabilir:

Türdeş koordinatlar 2B Öklid uzayında ölçekleme faktörü (w) ile değişim göstermez. Örneğin, kamera koordinatı cinsinden ifade edilen 3B koordinat (x,y,z) olarak kabul edilsin. Bu koordinat izdüşümsel düzlemde, 4 boyutlu (wx,wy,wz,w) koordinatı ile aynı noktaya karşılık gelmektedir. Buradan hareketle $v_p'=[x_p',y_p',z_p']^T$ kamera koordinatı cinsinden ifade edilmiş olsun. P matrisi izdüşüm yansıtım matrisi olarak kabul edilirse, türdeş koordinatlar yardımıyla görüntü düzlemindeki yansıtımları aşağıdaki dönüşümle elde edilebilir:

$$v_p'' = P \cdot v_p' \quad (2.13)$$

$$v_p'' = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1/f & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} wx_p' \\ wy_p' \\ wz_p' \\ w \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

Yukarıdaki eşitlikte $v_p'' = [wx_p', wy_p', wz_p', wz_p'/f]^T$ olarak elde edilir. Şekil 2.15'e dikkat edilirse ölçekleme faktörünün f/z_p' olduğu görülecektir. Buradan hareketle v_p'' koordinatı 3B ve $v_p'' = [x_p' f/z_p', y_p' f/z_p', f]^T$ olarak elde edilmiştir. Dikkat edilirse z_p'' nin dönüşüm sonucu odak uzaklığına (f) eşit olduğu görülmektedir.

Yukarıda ifade edilen dönüşüm 2.4.2 bölümünde ifade edilen 3B sahne koordinatlarının görüntü düzlemine aktarılmasında da kullanılabilir:

$$v_p'' = P.R.T. v_p' \quad (2.15)$$

$$v_p'' = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1/f & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & 0 \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & 0 \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -x_0 \\ 0 & 1 & 0 & -y_0 \\ 0 & 0 & 1 & -z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} wx \\ wy \\ wz \\ w \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

Sonuç olarak 3B $v=[x, y, z]^T$ koordinatı izdüşümsel düzlemde $v=[wx, wy, wz, w]^T$ koordinatına karşılık gelmekte ve bu türdeş koordinat yardımıyla görüntü düzlemine aktarılmaktadır. Bu dönüşümde kullanılan P matrisi iç kamera parametrelerini, R ve T matrisleri de dış kamera parametrelerini içermektedir.

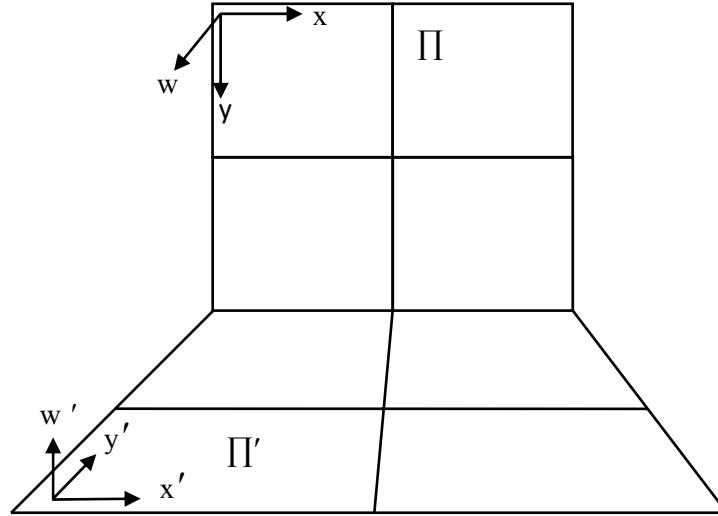
2.4.4 İzdüşümsel dönüşüm ve uygulama alanları

İzdüşümsel dönüşüm, daha önce ifade edildiği gibi türdeş koordinatlar arasındaki doğrusal bir dönüşümdür. Bu dönüşüm, 3B gerçek sahne koordinatlarının 2B görüntü düzlemine aktarılması, iki görüntü arasındaki dönüşüm parametrelerinin bilinmesiyle kamera hareket tiplerinin bulunması, görüntü tümleştirme vb. amaçlarla kullanılır. (2.17) eşitliği izdüşümsel dönüşüm parametrelerini içermektedir. Bu dönüşümde yer alan parametreler, kamera veya nesnenin dönme, öteleme (translational), ölçekleme (scaling) ve eğilme (skewing) hareketlerini içerirler (Farin 2005). Ancak bu kısımda

nesne veya kameranın görüntü düzleminde yaptığı iki boyutlu hareket göz önüne alınmıştır.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ w' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{00} & h_{01} & h_{02} \\ h_{10} & h_{11} & h_{12} \\ h_{20} & h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ w \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

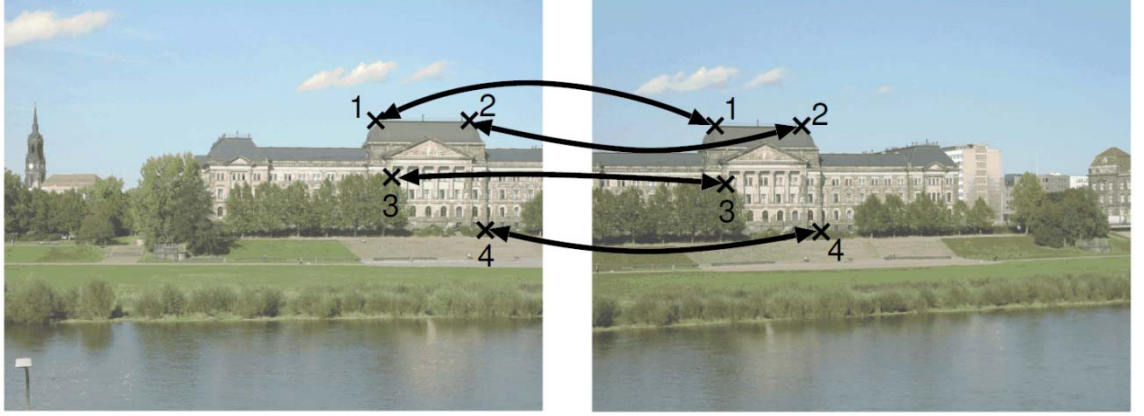
Şekil 2.16'da $[x,y,w]^T$ koordinatlarından oluşan Π düzlemi izdüşümsel dönüşümle $[x',y',w']$ koordinatlarından oluşan Π' düzlemine aktarılmıştır. İzdüşümsel dönüşüm işleminde, paralel olan çizgiler dönüşüm işleminden sonra paralel kalmazlar. Bu durum şekil 2.16'dan görülebilir. İlgin dönüşümde ise paralel çizgiler dönüşümden sonra paralellik özelliğini korurlar.



Şekil 2.16 İki düzlemin izdüşümsel dönüşümle birbirine haritalanması (Farin 2005'ten değiştirilerek alınmıştır.)

İlgin dönüşümü, aslında izdüşümsel dönüşümün bir alt sınıfıdır. Bu dönüşümün en büyük özelliği w koordinatının dönüşümden sonra aynı kalmasıdır. ($w=w'$) Bunun anlamı herhangi bir $[x,y,w]^T$ noktasının hareketi Öklid düzlemine paralel olan bir düzlemde gerçekleşmekte (şekil 2.9), bu sayede derinlik bilgisi de değişim

göstermemektedir (şekil 2.8). $w=w'$ şartını sağlayan $[h_{20}, h_{21}, h_{22}]$ parametreleri ise ilgin dönüşümde $[0,0,1]$ olmaktadır.

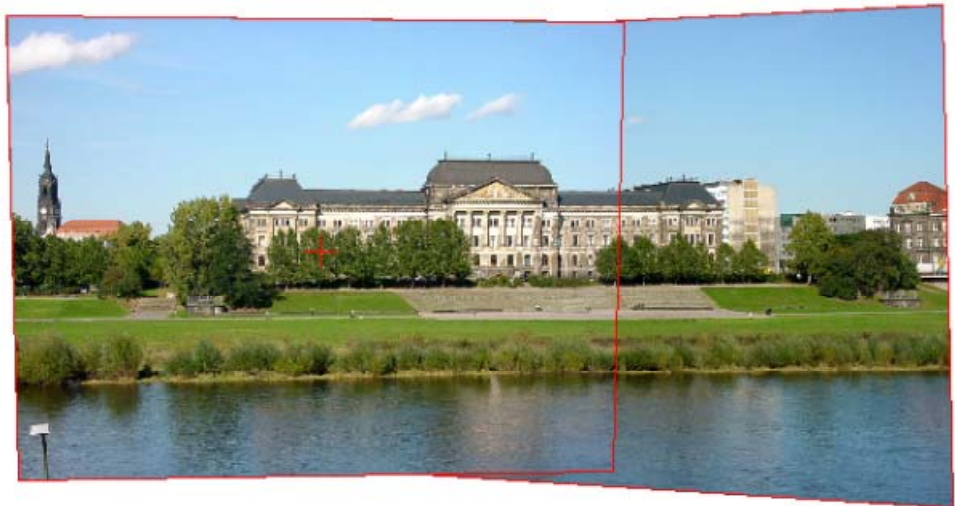


(a)

(b)

Şekil 2.17.a.b. İki görüntü arasındaki nokta uyuşumlarının bulunması (Farin 2005)

Şekil 2.17.a,b'de iki görüntü arasındaki uyuşum noktaları tespit edilmiştir. Kamera hareket parametreleri için uyuşum sağlayan nokta çifti minimum olarak 4 olduğunda dönüşüm parametreleri bulunabilmektedir. Bu sayede bu parametreler yardımıyla kameranın yapmış olduğu hareket tipi tespit edilebilir.



Şekil 2.18 Kamera dönüşüm parametreleri ile dönen kamera hareketinin tespit edilmesi ve şekil 2.17.a ve şekil 2.17.b görüntülerinin birleştirilmesi (Farin 2005)

Şekil 2.18’de ise izdüşümsel dönüşüm parametreleri ile yatay gezdirme kamera hareketi tespit edilmiştir. Bunun yanında bu dönüşüm parametreleri de şekil 2.17.a,b’de verilen iki görüntünün birleştirilmesi amacıyla kullanılmıştır.

2.5 Öznitelik Tabanlı Olmayan Yöntemler

GHK, öznitelik tabanlı yöntemlerde video çerçevelerindeki öznitelik noktalarının uyuşumu yerine çerçeve içinde yer alan görüntü verilerinin doğrudan kullanılması ile yapılmaktadır. Bu veriler çerçeveye özgü blok temelli eşleme ile elde edilen HV’ler veya piksellere ait parlaklık değerleridir. Öznitelik tabanlı yöntemler de kendi içinde doğrudan ya da dolaylı yöntemler olmak üzere ikiye ayrılır. Doğrudan yöntemler piksel temellidir ve bu tip yöntemlerde piksel bölgesinde kestirim sonucu oluşan hatalar minimize edilmeye çalışılır. Dolaylı yöntemler iki aşamadan oluşur. İlk aşamada ara çerçeveler için blok eşlemeye veya çeşitli kestirim yöntemlerine bağlı olarak edilen HV’ler ikinci aşamada GHK için kullanılırlar. GHK, öznitelik tabanlı olmayan yöntemler için izdüşümsel dönüşüm kullanılarak yapılabilmektedir. Ancak bu yöntemlerde 2B izdüşümsel dönüşüm söz konusudur.

Piksel temelli GHK’nin bir takım dezavantajları bulunmaktadır. Bunlar doğrusal olmayan izdüşümsel dönüşümde yapılan iterasyon ve kullanılan piksel sayısının fazla olmasıdır. Bunların sonucu olarak gerçek zamanlı video uygulamalarında kullanılabilmesi oldukça kısıtlanmaktadır. Ek olarak pikseller kullanılırken yerel hareketin tespit edilmesi de ayrı bir problem oluşturmaktadır (Qian 2012).

Haller vd. (2009) tarafından yapılan bir araştırmada piksel ve HV temelli GHK yöntemlerinin performansı karşılaştırılmıştır. Yapılan araştırma sonucu piksel değerli GHK başarımının HV temelli GHK’dan kısmen daha fazla olduğu, bununla birlikte işlem yükünün de oldukça fazla olduğu görülmüştür. Bu amaçla yine Haller vd. (2009) tarafından yapılan çalışmada piksel temelli GHK için daha basitleştirilmiş bir algoritma uygulanmış, bu sayede GHK performansı artırılmış ve işlem yükü azaltılmıştır.

Yukarıda sayılan nedenlerle GHK, HV'lere dayalı sıkıştırılmış bölgede daha yüksek performans vermektedir. Bunun temel nedeni ise GHK için kullanılan HV'lerin aralıklı olarak örneklenmesidir. Bu sayede GHK için girdi olabilecek veri sayısı azaltılmış olmaktadır. Ek olarak, yerel veya gürültüyü temsil eden hareketlerin bu vektörler yoluyla tespit edilmesi daha kolaydır. Bu sebeplerden dolayı tez çalışması kapsamında blok eşlemeye dayalı ve HV temelli GHK üzerine odaklanılmıştır.

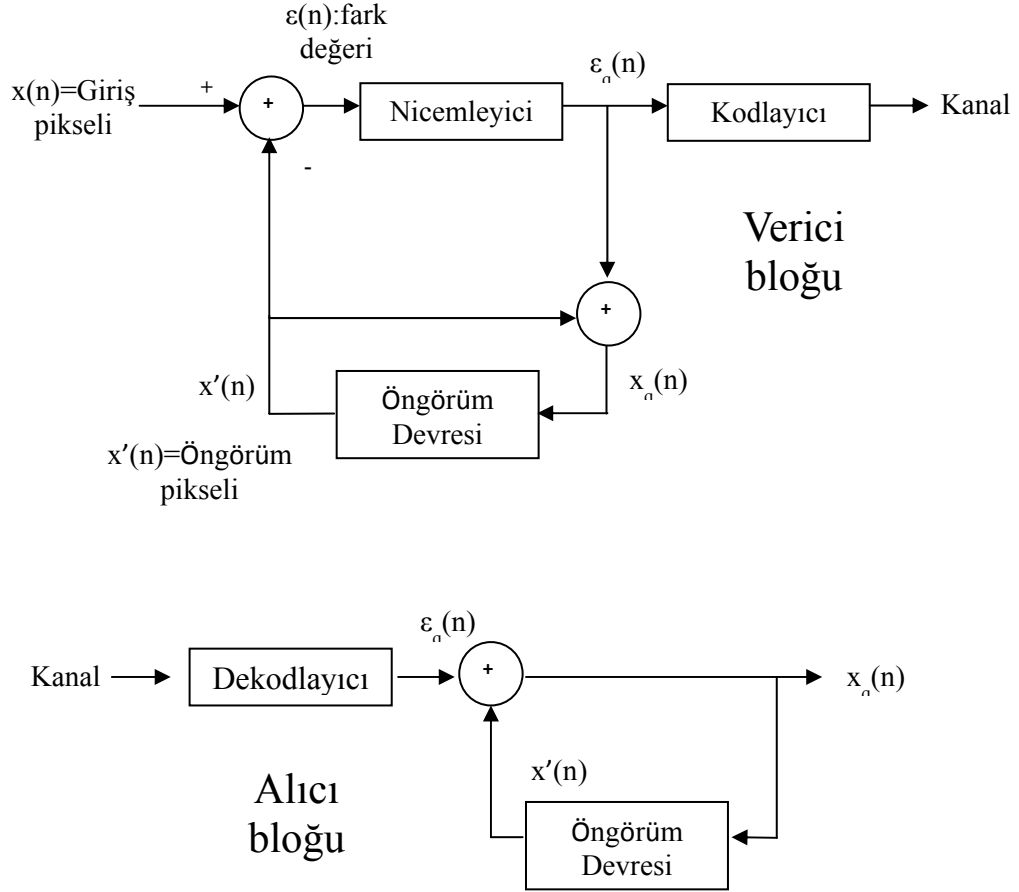
2.5.1 2B hareket bilgilerinin elde edilmesi

Kamera hareketinin modellenmesinde, kameranin yapmış olduğu dönme, öteleme, odak uzaklığı vb. parametreler kullanılır. Bu parametrelerin bilinmesiyle video çerçevesinde yer alan nesne hareketinin tespitine geçilebilir. Ancak bu durum oldukça sınırlıdır ve genellikle kamera ve nesne hareketi aynı çerçevede yer alır (Sorwar vd. 2003). Dolayısıyla bu hareket unsurları 2B görüntü düzlemine birlikte aktarılır. Bu nedenle yapılan çalışmalarda kamera hareketinin öncelikli olarak çıkarılması, daha sonra yapılacak nesne hareketinin tespit edilmesini oldukça kolaylaştırmaktadır.

Hareket bilgilerinin elde edilmesinde bazı algoritmalar kullanılır. Bu algoritmalar video çerçevelerindeki parlaklık unsurlarının zamansal korelasyonuna dayanmaktadır (Stiller ve Konrad 1999). GHK için kullanılan HV'lerin elde edilmesi blok temelli eşleme ile yapılır. Bunun anlamı GHK için kullanılacak HV'lerin elde edilebilmesi için birincil bir kestirim algoritmasının uygulanmasıdır.

Video dizilerinde hareket kestiriminin temeli **özellikle sıkıştırma** söz konusu olduğunda Ayrımsal Darbe Kodu Modülasyonu (Differential Pulse Code Modulation, DPCM) prensibine dayalıdır. Burada da piksellerin $x(n)$ uzaysal veya zamansal komşuluklarında yer alan diğer pikseller arasında karşılaştırma yapılarak elde edilen öngörüm değerleri arasındaki fark $(x(n)-x'(n)=\varepsilon(n))$ nicemlenerek alıcıya iletilir. Alıcı da aynı öngörümle ilgili gerçek pikseli elde etmeye çalışır (İlgın 2004). Öngörüm değerlerinin iletilmesindeki temel amaç da gönderilecek verinin boyutunun küçültülerek, iletim ortamını daha verimli kullanabilmektir.

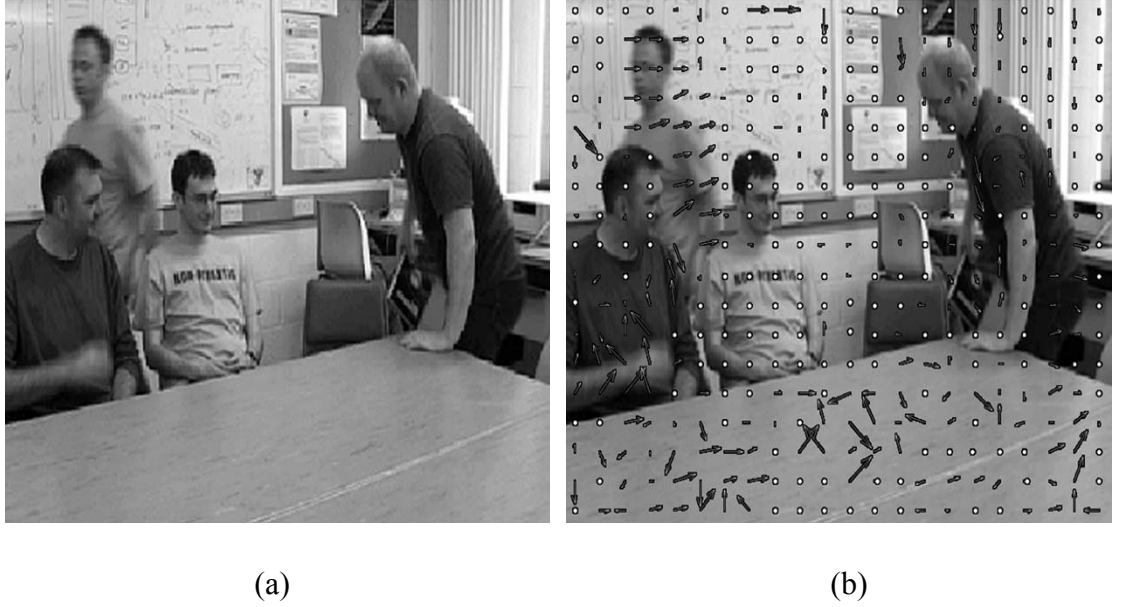
İşte blok temelli zamansal eşlemede komşuluklarda yer alan blok piksellerinin bulunması için yapılan işlem hareket kestirimidir ve bunun sonucunda HV'ler elde edilir. Bir video kodlama sistemindeki alıcı-verici yapısı şekil 2.19'da görülmektedir.



Şekil 2.19 Bir video kodlama sisteminde alıcı-verici yapısı (İlgın 2004)

Blok eşlemeye dayalı hareket kestirimi şekil 2.19'da görülmektedir. Bu kestirimde her blok nesne olarak görülür. Şekil 2.20'de görülen CIF (Common Intermediate Format) giriş çerçevesi için 16x16'lık bloklarla hareket kestirimi yapılmıştır. Bu yöntemlerde hareket, her bloğun yatay ve/veya düşey yönde yer değiştirmesi anlamına gelir. Her blok da belirli adımlarla kaydırılarak, kaydırıldığı yerdeki bir önceki çerçevede (F_{t-1}) yer alan blok ile karşılaştırılır. En büyük benzerliğin bulunduğu yerin kayma miktarı HV'leri verir (İlgın 2004). Kayma miktarı veya mutlak fark değerlerinin toplamı (MFDT), mevcut çerçevedeki $M \times N$ lik bloklar içinde yer alan tüm piksellerin parlaklık değerlerinin arama alanında yer alan; tam, yarım veya çeyrek piksel adım arama ile

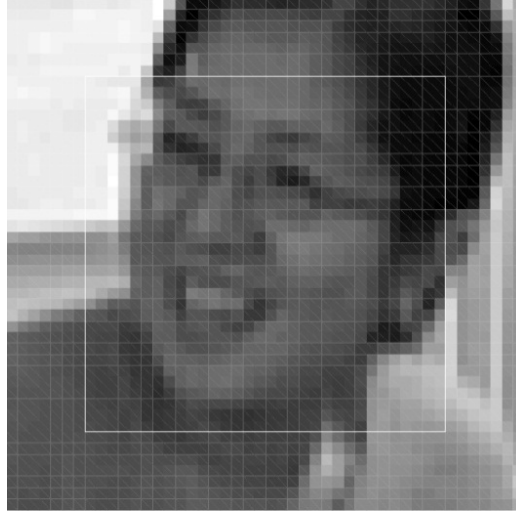
ulaşılan ve referans çerçeve de yer alan kaydırılmış blokların parlaklık değerleri farklarının toplamı olarak tanımlanır.



şekil 2.20.a. Giriş çerçevesi (F_t), b. Giriş çerçevesi içinde yer alan her bloğa (16x16) ait HV'ler (Richardson 2004)

$$MFDT = \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} |C_{ij} - R_{ij}| \quad (2.18)$$

(2.18) eşitliğinde her $M \times N$ 'lik blok için mevcut çerçeve de yer alan her piksellerin (C_{ij}) referans çerçeve deki $M \times N$ 'lik bloğa ait pikseller (R_{ij}) ile farkı alınarak toplanır. şekil 2.21'de mevcut çerçeve de yer alan beyaz blok 32x32'lik parlaklık piksellerinden oluşmaktadır. şekil 2.21'den görüldüğü gibi referans çerçeve de aynı konum da yer alan blok x ve y eksenlerinde (+7,-7) piksel hareket ettirilerek elde edilen bloklara ait pikseller ile mevcut çerçeve deki beyaz bloğa ait pikseller arasındaki parlaklık farkları bulunduktan sonra, bu farklar toplanarak MFDT elde edilir.

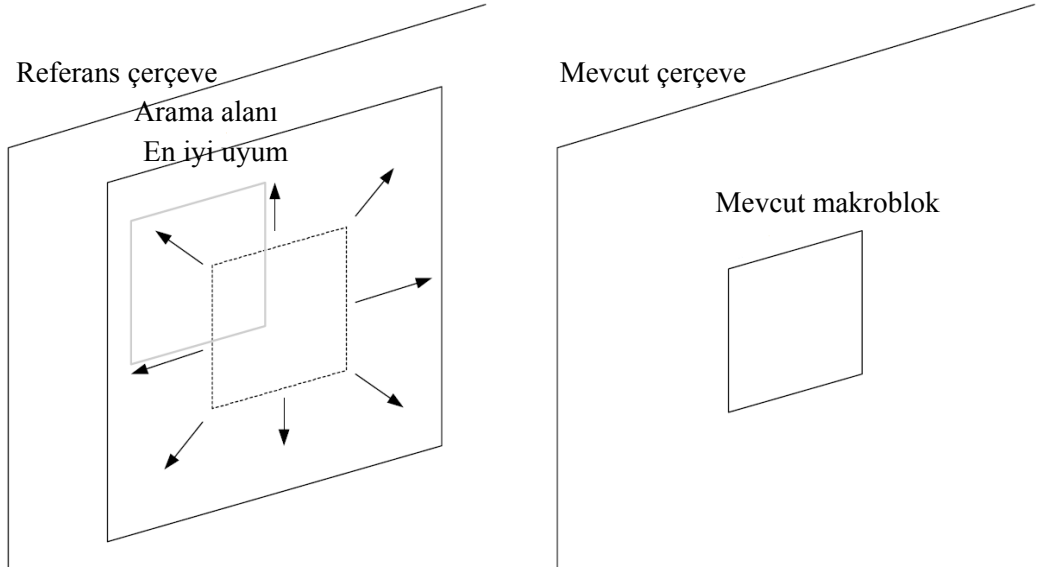


Şekil 2.21 Referans çerçevedeki arama alanı (Richardson 2004)

Blok eşleme sonucu minimum MFDT'yi veren referans blok ile mevcut blok arasındaki yer değiştirme miktarı sonucu HV'ler elde edilmektedir. Bu vektörler x ve y eksenlerindeki yer değiştirme miktarını verir. Blok eşlemeye dayalı algoritmaların tam kapsamlı arama, üç adım arama, 2 boyutlu logaritmik arama vb. gibi çeşitleri bulunmaktadır (Phadtare 2007). HV'lerin kestirimi blok eşlemeye dayalı algoritmalar yanında doğrudan pikseller kullanılarak da yapılabilir. Bunun sonucunda optik akış vektörleri elde edilir (Sun vd. 2003). Bunun yanında MPEG-4 standardında kullanılan nesneye dayalı hareket kestiriminde, video görüntüleri, bloklara ayrılmak yerine hareketli ön plan nesnelere ayrılmaktadır. Her bir nesnenin hareketi birbirinden bağımsız kestirilir (Tunç 2010). H.264/AVC (Advanced Video Coding) standardında ise değişken blok büyüklüklerine dayalı hareket kestirimi yapılmaktadır (Wiegand 2003). Blok eşlemeye dayalı algoritmalar az işlem yüküne sahip olduklarından tez çalışması kapsamında HV'lerin elde edilmesi için kullanılmıştır. Hareket kestiriminin temsili gösterimi ise şekil 2.22'de görülmektedir.

Haller vd. (2009) tarafından yapılan çalışmada GHK performansı, farklı hareket kestirim algoritmaları için kıyaslanmıştır. Bu kapsamda, optik akış vektörlerine dayalı GHK performansının blok temelli eşlemeye dayalı GHK performansından düşük olduğu gözlenmiştir. Blok eşlemeye dayalı algoritmalarda ise farklı tipteki eşlemeye dayalı (üç adım arama vb.) algoritmalar arasında GHK performansı açısından çok küçük farklar

olduğu gözlenmiştir. Ancak tam arama ve 4x4 blok eşleme'ye dayalı hareket kestirimi ile elde edilen HV'ler ile yapılan GHK'nin blok eşlemeye dayalı diğer hareket kestirim yöntemlerine kıyasla oldukça yüksek performans verdiği görülmüştür. En iyi GHK performansının ise H.264'te değişken blok büyüklüklerine dayalı hareket kestirimi ile elde edilen HV'lere dayalı olduğu gözlenmiştir.



Şekil 2.22 Blok eşlemeye dayalı hareket kestirimi (Richardson 2004)

2.6 Global Hareket Modelleri

Görüntü elde etme (Image acquisition) sistemleri, 3B gerçek dünyayı 2B görüntü düzlemine aktarmakta ve bir biçimli ızgara (grid) üzerinde $(x=(x,y)^T \in R^2)$ örnekleme yapmaktadır. Hareket ile bağlantılı olarak yansıtım işlemi sonucu, 2B düzlemde uzaysal olarak örneklenmiş hareket yolu (motion trajectory $(X(t),t)$) elde edilmektedir. Pratik uygulamalarda bu fonksiyon, parametrik dönüşümler şeklinde ifade edilir (Su vd. 2005).

Çeşitli 2B parametrik global hareket modelleri çizelge 2.1'de verilmektedir. Bu çizelgede yer alan parametrelerle global hareket farklı şekillerde tanımlanabilmektedir.

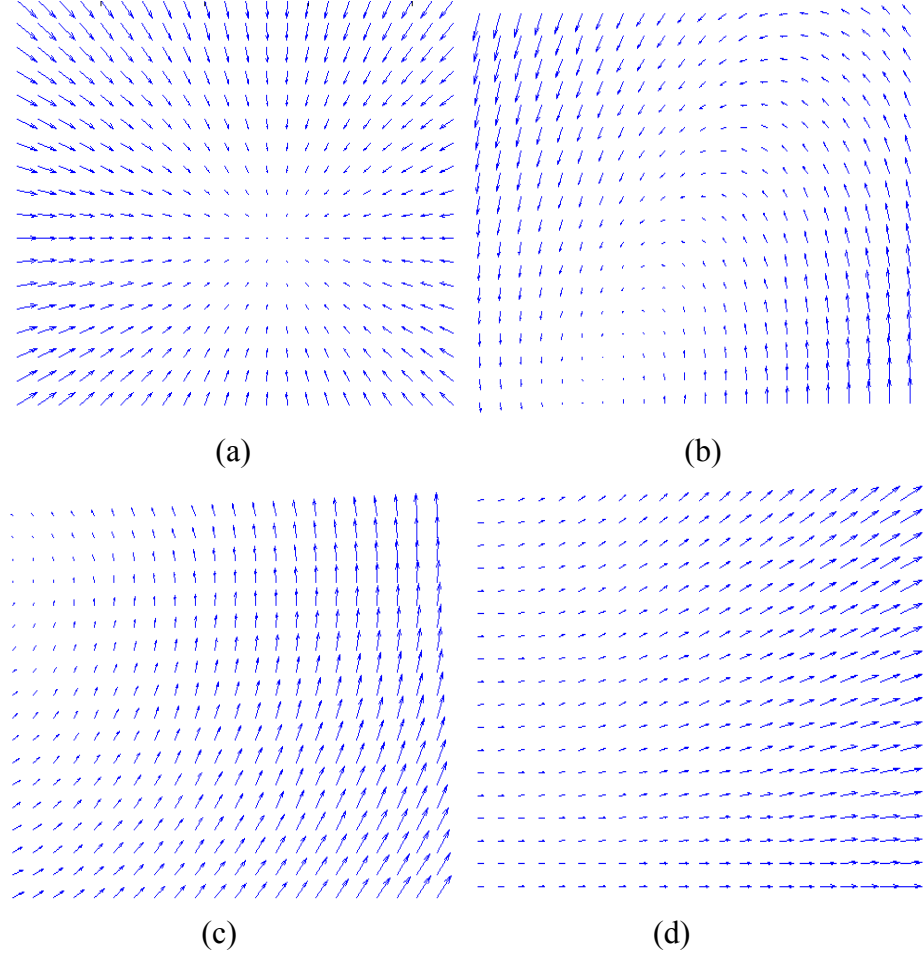
Bu hareket tipleri öteleme, geometrik, ilgin ve izdüşümsel hareketlerdir. Bunlar nesne hareketi olabileceği gibi, kamera hareketi de olabilir.

Çizelge 2.1 Farklı parametrik global hareket modelleri (Su vd. 2005)

Hareket Modeli	Parametre Sayısı/ Referans Noktalar (<i>Referans noktalar ile ortak noktalar aynı anlama gelmektedir</i>)	Dönüşüm
Öteleme M_2	2/1	$x' = x + c$ $y' = y + f$
Geometrik M_4	4/2	$x' = ax + by + c$ $y' = -bx + ay + f$
İlgün M_6	6/3	$x' = ax + by + c$ $y' = dx + ey + f$
İzdüşümsel M_8	8/4	$x' = \frac{ax + by + c}{px + qy + 1}$ $y' = \frac{dx + ey + f}{px + qy + 1}$

Nesne veya kamera hareketini temsil etmek için seçilen ortak nokta sayısına bağlı olarak hareket modeline karar verilebilir. Bu noktaların sayısı, kameranın hareket modelini kısıtlamaktadır. Örneğin hareket, sadece bir nokta çifti ile temsil ediliyorsa kullanılabilecek model, yalnızca öteleme hareketidir. Hareketin iki nokta çifti ile temsil edildiği geometrik modelde eş yönlü ölçekleme, öteleme ve dönme hareketleri yer alır. Kamera hareketini temsil etmek için üç tane ortak nokta çifti olduğu durumda ise ilgin model kullanılır (Tunç 2010). Bu modelde, paralel çizgiler dönüşümden sonra paralel kalmaktadır. Dört ya da daha fazla ortak nokta çifti ile izdüşümsel hareket temsil edilebilir. İzdüşümsel dönüşümle, 3B ilgin hareket de tanımlanabilir. Çizelge 2.1’de yer

alan hareket modelleri ve bu modeller kullanılarak elde hareket vektör alanları (Bir çerçevede yer alan tüm HV'lerin oluşturduğu alandır) şekil 2.23'de görülmektedir.



Şekil 2.23 Global hareket modelleri

a. Öteleme, b. İlgin, c. Geometrik, d. İzdüşümsel

Kamera hareketinde izdüşümsel dönüşüm diğer dönüşümlere nazaran en çok parametreye (8 parametre) sahiptir ve çalışmalarda genellikle bu model baz alınır. İlgin dönüşüm ise 6 parametre ile yapılır ve işlem yükü açısından oldukça avantajlı olması nedeniyle gerçek-zamanlı pek çok uygulamada kullanılmaktadır. Literatürde yapılan araştırmalarda H.264/AVC'te kullanılan ilgin modelin kameraya ait yatay (pan), dikey (tilt) ve yaklaşma (zoom) hareketlerinin tespit edilmesi açısından oldukça etkin olduğu görülmüştür.

İzdüşümsel model için model parametreleri $a = [a_0, a_1, \dots, a_7]$ olarak tanımlanırsa, global hareketin tespit edilmesi amacıyla bu parametrelerin kestirilmesi gerekir. (x, y) ve (x', y') sırasıyla mevcut ve referans çerçevedeki koordinatlar olarak ifade edilirse, izdüşümsel model dönüşümü aşağıdaki gibi yapılabilir:

$$x' = f_x(x, y | a) = \left(\frac{a_0x + a_1y + a_2}{a_6x + a_7y + 1} \right) \quad (2.19)$$

$$y' = f_y(x, y | a) = \left(\frac{a_3x + a_4y + a_5}{a_6x + a_7y + 1} \right) \quad (2.20)$$

Yukarıda yer alan izdüşümsel dönüşüm türdeş olmayan bir dönüşümdür. (2.17) eşitliğiyle ifade edilen izdüşümsel dönüşümün ise türdeş bir formülasyona sahip olduğu görülmektedir. Ek olarak, paydada yer alan $a_6 + a_7 + 1$ payda (denominator) faktöründen dolayı bu dönüşüm doğrusal olmayan bir fonksiyon haline gelmiştir. Bu sayede farklı tipte karmaşık hareketler modellenebilmektedir. $a_6 + a_7 + 1$ payda faktöründeki $a_8 = 1$ olarak düşünülebilir. Bu katsayı aslında normalizasyon katsayısıdır. Değeri ise ardışık çerçeveler arasındaki hareket söz konusu olduğundan 1 olarak alınmıştır. Ancak çerçeveler arasındaki zamansal uzaklığın fazla olduğu durumda bu katsayının 1 olarak alınması problem oluşturabilir. İzdüşümsel dönüşüm aynı zamanda ilgin dönüşümü kapsamaktadır. a_6 ve a_7 katsayılarının 0 olması durumunda izdüşümsel dönüşüm, ilgin dönüşüm haline gelmektedir (Farin 2005).

2.6.1 Piksel bölgesinde GHK

Piksel bölgesinde GHK piksel parlaklık değerleri ile yapılmaktadır (Alzoubi ve Pan 2007). Ancak kullanılan piksel sayısının oldukça fazla olması nedeniyle parametre değerlerinin kestirimi için oldukça zaman harcanır. Bu nedenle piksel bölgesinde yapılan çalışmalarda piramitten oluşan üç aşamalı bir model uygulanır. Bunlardan ilk aşamada üst seviye, ikincisinde orta seviye, üçüncüsünde ise temel seviye bulunur

(Anonymous 2001). İlk aşamada bloklar yerine tüm çerçeveye, tam piksel arama ile değiştirilmiş üç adım arama eşleme tekniği uygulanarak hareket parametrelerinin başlangıç değerleri belirlenir. Bu değerler belirlenirken öteleme hareketine yönelik parametre değerleri bulunur. Daha sonra yinelemeli bir işlemle parametre değerleri sürekli güncellenerek global hareket parametrelerinin kestirimi yapılır (Su vd. 2005). Bu model piksel bölgesinde “hiyerarşik GHK” olarak adlandırılmaktadır.

$$e_i = I'(x'_i, y'_i) - I(x_i, y_i) \quad (2.21)$$

$$E = \sum_i w_i [I'(x'_i, y'_i) - I(x_i, y_i)]^2 = \sum_i w_i e_i^2 \quad (2.22)$$

Piksel parlaklık değerleri kullanılarak yapılan GHK’de piksel çiftleri arasındaki ağırlıklandırılmış parlaklık farkı hata değerlerinin kareleri toplamı (2.22) eşitliğinden görüldüğü gibi minimize edilmeye çalışılır. Bunun anlamı, I mevcut çerçevesindeki (x_i, y_i) koordinatındaki piksel ile referans çerçeve I' ’de yer alan (x'_i, y'_i) koordinatındaki piksel arasındaki parlaklık farkının minimize edilmesidir. (x'_i, y'_i) koordinatına ulaşmak için de izdüşümsel dönüşüm kullanılır. Ancak (x'_i, y'_i) koordinatları tam piksel nokta koordinatlarına karşılık gelmeyebilir. Bu koordinattaki piksel parlaklık değerlerini bulabilmek için çift doğrusal aradeğerleme (bilinear interpolation) tekniği uygulanır. Bu teknikte izdüşümsel dönüşümle elde edilen ve tam piksel koordinatlarına karşılık gelmeyen noktaların parlaklık değerleri en yakın 4 tam piksel komşuluklarındaki piksellerin parlaklık değerleri kullanılarak ara değerlenir.

Piksel temelli GHK’de uygulanan adımlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. İlk aşamada ötelemeye ait global hareket parametreleri üç adım arama ile kestirim edilir ve ilklendirilir (Dufaux ve Konrad 2000).
2. Oldukça büyük bir eşik değeri T rasgele belirlenir (Su vd. 2005).
3. i . piksel konumu (x_i, y_i) için izdüşümsel dönüşümle referans çerçevedeki (x'_i, y'_i) konumu elde edilir. Buradan e_i hata değeri her piksel için hesaplanır. w_i ağırlık

değeri ise 1 veya 0 olabilir. Değeri ise i . pikselin ayrık olması durumunda 0, diğer durumlarda ise 1 olmaktadır. Ayrık eleman durumu tez çalışmasının 3.kısımında açıklanacaktır (Su vd. 2005).

4. İlk iterasyonda e_i hata değerlerinin histogramı çıkarılır. $|e_i| < T$ ise e_i 'nin hareket parametrelerine (a_k) göre kısmi türevi hesaplanır. Bu aşamada gradyant azalma (gradient descent) algoritması kullanılır. Bu algoritma tez çalışması kapsamında 2.6.2.2. kısımda açıklanmıştır. H hesyan matrisi h_{kl} elemanlarından, b gradyant vektörü ise b_k elemanlarından oluşur. Her pikselin H matrisi ve b gradyant vektörüne katkısı hesaplanır (Su vd. 2005).

$$h_{kl} = \sum_i \frac{\partial e_i}{\partial a_k} \frac{\partial e_i}{\partial a_l}, \quad b_k = -\sum_i e_i \frac{\partial e_i}{\partial a_k} \quad (2.23)$$

5. $\Delta a = H^{-1}b$ ile parametre değişimleri vektörü Δa hesaplanır (Su vd. 2005).
Son parametreler $a(t+1) = a(t) + \Delta a$ olarak güncellenir (Su vd. 2005).
6. Bu kısma ilk iterasyonda girilmişse, e_i hata değerlerinin histogramından en yüksek değer verenlerden %10'unu atacak şekilde yeni bir eşik değeri belirlenir (Su vd. 2005).
7. 3.,4. ve 5. adımlar (ilk iterasyondan sonra 6.kısım hariç) en çok 32 defa tekrarlanır. Ancak bu tekrarlama süreci, Δa değişim faktörü öteleme parametreleri için 0.001 ve diğer parametreler için de 0.00001 olduğu zaman durabilir (Su vd. 2005).
8. Global hareket parametreleri $a_6 = a_6 / 2$; $a_7 = a_7 / 2$; $a_2 = a_2 * 2$; $a_5 = a_5 * 2$ olarak güncellenir. Diğer parametreler ise aynı kalır ve sonraki aşamaya geçilir (Su vd. 2005).
9. Bir sonraki aşama için ikinci adıma geri dönülür. İkinci adımda eşik değeri yeniden belirlenir ve süreç son aşamaya kadar (temel seviye) devam eder.

2.6.2 HV temelli GHK

HV alanı (motion vector field) ile yapılan GHK iki aşamalı bir kestirim sürecinden oluşur. İlk aşamada uygulanan hareket kestirimi ile aralıklı örneklenmiş (blok temelli) HV'ler elde edilir. İkinci aşamada bu HV'ler GHK için girdi olarak kullanılır. Yapılan GHK'de girdi HV'ler ile parametreler yardımıyla elde edilen kestirilmiş HV'ler arasındaki uyum hataları bir dizi iterasyonla minimize edilir. Giriş çerçevesi bloklara ayrılmıştır ve her bloğu temsil eden bir HV vardır. Çerçeve içinde yer alan HV'ler HV alanını oluştururlar. Mevcut çerçevede i blok indisi, i . blok için (x_i, y_i) bloğun merkezi koordinatı, mevcut çerçevedeki i . bloğa ait hareket vektörü (HVx_i, HVy_i) olmak üzere; global hareket modeli a için fark vektörü;

$$\begin{aligned} (\Delta x_i, \Delta y_i) &= (x'_i - x_i, y'_i - y_i) \\ &= (f_x(x, y | a) - x_i, f_y(x, y | a) - y_i) \end{aligned} \quad (2.24)$$

olarak elde edilir. Çerçevede yer alan N blok için ($N \leq M$, M çerçevedeki toplam blok sayısı) fark kareleri toplamına göre HV'ler için toplam kareli hata değeri E aşağıdaki (2.25) ve (2.26) eşitliklerine göre hesaplanır:

$$\begin{aligned} ex_i &= HVx_i - x'_i + x_i \\ ey_i &= HVy_i - y'_i + y_i \end{aligned} \quad (2.25)$$

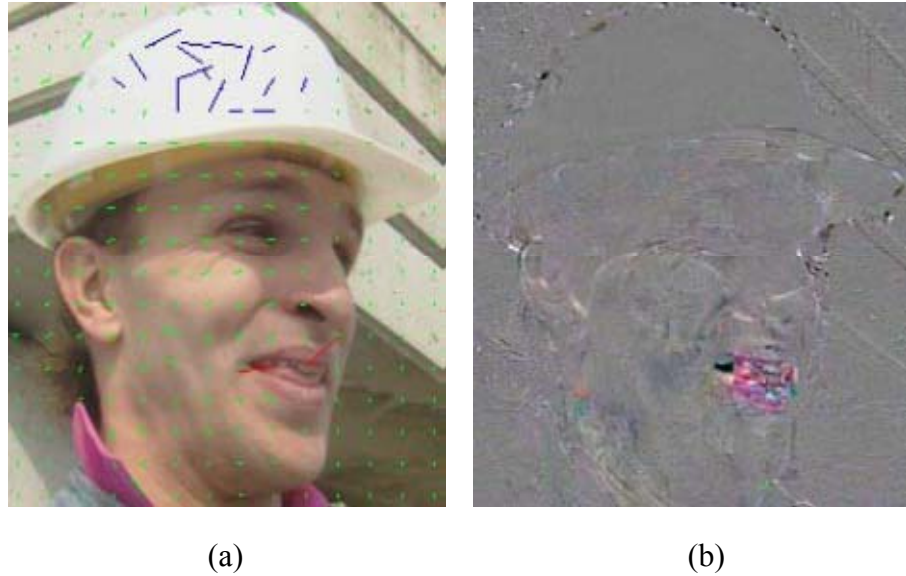
$$E = \sum_{i=1}^N ((HVx_i - (x'_i - x_i))^2 + (HVy_i - (y'_i - y_i))^2) \quad (2.26)$$

Yukarıdaki (2.26) eşitliğine göre toplam kareli hata değeri E minimize edilmeye çalışılır. HV alanı içinde ayrışsı eleman etkisinden dolayı toplam kareli hata eşitliği aşağıdaki gibi güncellenir:

$$E = \sum_{i=1}^N w_i (ex_i^2 + ey_i^2) \quad (2.27)$$

2.6.2.1 HV alanında ayrık eleman etkisi

HV temelli GHK’de ayrık elemanlar çok önemli bir yer tutmaktadır. Bu elemanlar GHK’den önce HV’lerin elde edilmesi için kullanılan blok temelli eşleme algoritmalarında yapılan hatalar sonucu rastgele oluşmuş gürültü etkileri veya video çerçevelerindeki ön plan unsurlarıdır. Tez çalışması kapsamında da yeni bir algoritma önerisi ile bu elemanlar tespit edildiğinden ayrık eleman unsurunun çok iyi anlaşılması gerekmektedir. HV temelli GHK’de HV alanında ayrık HV’ler olabildiği gibi global hareket ait olan HV’ler de bulunabilir. GHK’de kullanılan algoritmalar ve parametre kestiriminden önce bu elemanların atılması ve kalan HV’lerle GHK yapılması gerekmektedir. Bu sayede GHK’nin performansı artmakta, yakınsamış parametre değerlerine ulaşmak için yapılan iterasyon sayısı ve işlem yükü oldukça azalmaktadır.



Şekil 2.24.a.Foreman dizisinde 9.çerçeveye ait HV’ler, b.Hareket dengelemesinden sonra elde edilen artık çerçeve (Soldatov vd. 2006)

Blok eşleme algoritmalarındaki hatalar sonucu oluşan veya ön plan etkileri şeklindeki ayrık elemanlar şu şekilde sınıflandırılabilir:

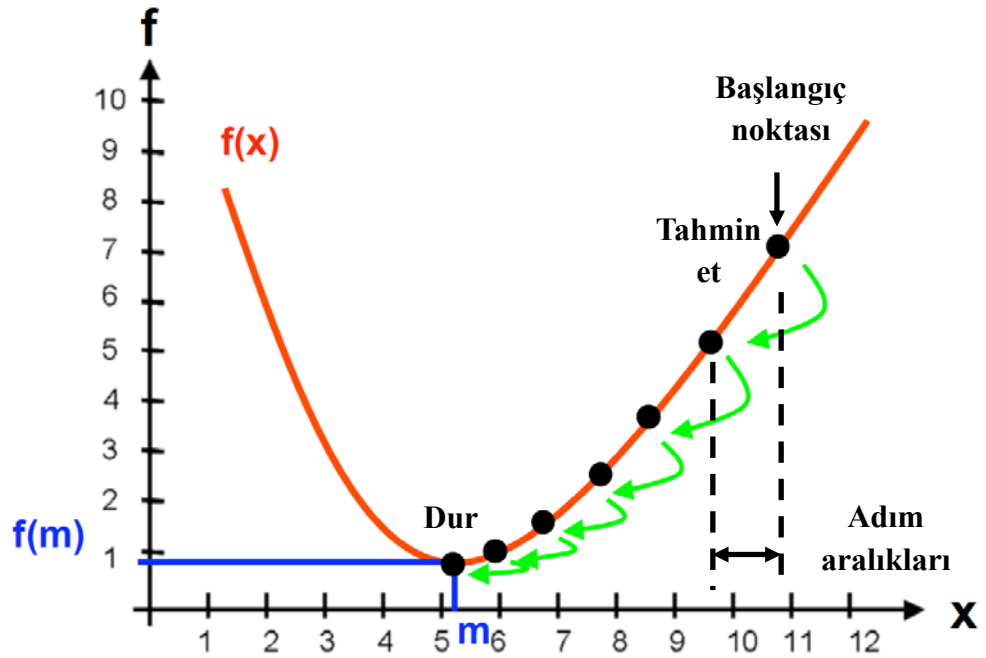
- Blok eşleme algoritmasında, mevcut çerçevedeki herhangi bir blok için mutlak fark değerlerinin toplamı (*MFDT*) yüksekse, bu blok ve HV'nin ayrıksı olma ihtimali oldukça yüksektir.
- Herhangi bir HV, komşu bloklara ait HV'lerden farklı ise hareketli bir nesneye dolayısıyla ön plana ait veya gürültülü bir HV olma ihtimali oldukça yüksektir.
- Bir video çerçevesinde ortaya aniden çıkan bir bloğa ait HV'nin yanlış eşleme sonucu oluşma, başka bir ifadeyle ayrıksı eleman olma ihtimali oldukça yüksektir.

Şekil 2.24'te HV alanında bazı ayrıksı vektörler olduğu görülmektedir. Foreman dizisinde dikkat edilirse ustabaşı'nın (foreman) dudak kısmı diğerlerinden farklıdır. Dudak kısmı ve çevresinde yer alan bloklar ise komşuluklarındaki diğer bloklara benzemez. Bu bloklar için eşleme sonucu *MFDT* değeri oldukça fazla çıkmış, bunun sonucunda da kırmızı ile gösterilen ayrıksı HV'ler ortaya çıkmıştır. İkinci olarak mavi ile gösterilen HV'lerin komşu vektörlerinden oldukça farklı olduğu görülmektedir. Bu vektörler özellikle hareketli nesnelerin köşe noktalarında veya video çerçevelerinde aniden ortaya çıkan bloklara eşleme algoritmaları sonucunda oluşmuş, komşu vektörlerine benzemeyen anlamsız HV'lerdir. Bu HV'ler şekil 2.24'te görülmektedir. Dikkat edilirse; ustabaşı kaskında yer alan blokların limunans (parlaklık) ve krominans (renk) bileşenlerinin türdeş bir dağılım gösterdiği görülmektedir. Bu yüzden uygulanan blok eşleme algoritması sonucu rasgele HV'ler oluşmuştur. Bunun diğer bir örneği ise, limunans ve krominans bileşenlerin türdeş dağılım gösterdiği blokların yine eşleme hatası sonucu sıfır veya sıfıra yakın bir şekilde oluşmuş HV'lerdir. Bu HV'ler de ayrıksı özellik göstermektedirler.

Tez çalışması kapsamında *Newton Raphson Gradyant Azalma* algoritması kullanıldığı için bu algoritmanın kuramsal temelini çok iyi bilinmesi gerekmektedir.

2.6.2.2 Newton-gradyant azalma algoritması

Gradyant azalma algoritmaları, optimizasyon algoritmaları arasında yer alır ve parametre kestirimlerinde sık olarak kullanılırlar. Bu tip algoritmalar bir fonksiyonun belirli adımlarla azalarak minimum olduğu noktaya erişmek için kullanılmaktadır. Temel olarak fonksiyonun yerel minimum noktasına, bu algoritmalarla adım adım erişilmeye çalışılır. Gradyantın negatif olması durumunda adımlarla fonksiyonun yerel minimum noktasına, pozitif olması durumunda ise fonksiyonun yerel maksimum noktasına ulaşılır.



Şekil 2.25 Tek değişkenli bir fonksiyona gradyant azalma algoritmasının uygulanması (Illingworth 1999)

Şekil 2.25'te tek değişkenli (x) bir fonksiyonun yerel minimum noktasını bulabilmek için gradyant azalma algoritması kullanılmıştır. Bu algoritma üç aşamalı bir süreçten oluşur. İlk aşamada rasgele bir başlangıç noktası belirlenir. Bu noktadan sonra adım aralıkları belirlenir. Bu aralıklar türev faktörü olarak da adlandırılmakta ve istenen noktaya ulaşmadaki hassasiyeti ifade etmektedir (Anderson 2009). Bu aralık

değerleriyle belirlenen hassasiyetle muhtemel noktalar tahmin edilir ve iterasyonlar sonucu istenen şart sağlanıyorsa fonksiyonu minimum yapan noktaya (m) erişilmiş olur.

Gradyant azalma algoritması için $f(x)$ fonksiyonu $f(x) = x^2 - 2x + 4$ olarak tanımlansın. Bu fonksiyonun birinci dereceden türev ile minimum olduğu nokta bulunabilir.

$$f(x) = x^2 - 2x + 4$$

$$\frac{df(x)}{dx} = 2x - 2 = 0, \quad x = 1 \quad (2.28)$$

Yukarıdaki denklemden $f(x)$ i minimum yapan nokta $x=1$ noktasıdır. Bu noktaya ulaşmak için fonksiyonun birinci dereceden türevi alınarak sıfıra eşitlenmiş, bu yolla yerel minimum noktasına ulaşılmıştır. Ancak, x için birinci dereceden türevin doğrudan bilinmediği durumlarda ikincil bir model baz alınır: Gradyant azalma

Gradyant azalma algoritmasına göre başlangıç değeri x_0 belirlenir. Türev faktörü ρ , $0 < \rho < 1$ olmak üzere (2.29)'daki eşitlikle x değeri belirli bir iterasyona bağlı olarak sürekli güncellenir.

$$x_{k+1} = x_k - \rho \cdot f'(x) = x_k - \rho \cdot \nabla f(x) \quad (2.29)$$

Bu azalma, başlangıç noktası olarak belirlenen bir x değerinden istenen minimum değere ulaşmak için yapılır. x değeri iterasyonlarla sürekli güncellenerek istenen değere ulaşılmaya çalışılır. Bu algoritmanın adımları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. İlk aşamada rasgele bir x değeri belirlenir. Bu değer $x=4$ olsun.
2. Adım aralığı belirlenir. $\rho = 1/4$ olarak kabul edilsin.
3. x_{k+1} hesaplanır.

4. Güncellenen x değerindeki değişimin belirli bir değerden küçük olup olmadığı sınılanır. Bu değişim $x_{k+1} - x_k = \Delta x_k$ olmak üzere $x_{k+1} - x_k = \Delta x_k \leq 0.0001$ olduğunda algoritma sonlanır. Değilse 3.adıma dönülür.

Yukarıdaki algoritma sonucu başlangıçta belirlenen bir x değeri ile $x=1$ 'e 16 iterasyonla ulaşılmıştır.

Çizelge 2.2 Gradyant azalma algoritmasına göre fonksiyonun minimum olduğu değerin bulunması

x değeri	İterasyon Sayısı
4,0000	1
2,5000	2
1,7500	3
1,3750	4
1,1875	5
1,0937	6
1,0469	7
1,0234	8
1,0117	9
1,0059	10
1,0029	11
1,0015	12
1,0007	13
1,0003	14
1,0001	15
1,0000	16

Çizelge 2.2'den görüldüğü gibi istenen x değerine ulaşmak için 16 iterasyon yapılmıştır. Ancak iterasyon sayısının fazla olması işlem yükünü de beraber getirecektir. Bu problemi çözebilmek için ikinci dereceden türev göz önüne alınır. Newton-Raphson yöntemi olarak da adlandırılan bu yöntemde (2.30) eşitliği ile birlikte adım değeri belirlenirken ikinci dereceden türev kullanılır.

$$x_{k+1} = x_k - \frac{f'(x)}{f''(x)} \quad (2.30)$$

Çizelge 2.3'ten görüldüğü gibi (2.30) eşitliğinin uygulanması sonucu istenen x değerine ulaşmak için sadece 2 iterasyon yapılmıştır.

Çizelge 2.3 Newton algoritmasına göre fonksiyonun minimum olduğu değerin bulunması

x değeri	İterasyon Sayısı
4,0000	1
1,0000	2
1,0000	3

Fonksiyonun parabol olmaması veya birden fazla bağımsız değişken içermesi durumunda minimum değere ulaşmak için farklı yöntemlerin uygulanması gerekebilir. Tez çalışması kapsamında; bu aşamaya kadar giriş düzeyinde bilgi verilmiştir.

Tez çalışması kapsamında “**temel olarak hedeflenen**” global hareket parametrelerinin $a = [a_0, a_1, \dots, a_7]$ kestirimidir. Bu kestirimde “*Gradyant Azalmalı Newton Raphson*” algoritması uygulanmıştır. Bu bağlamda, bu algoritmanın teorik yönüyle bilinmesinin oldukça faydalı olacağı düşünülerek matematiksel temellerine kadar inilmiştir.

Parametre kestirimi ile bir analogi kurmak gerekirse herhangi bir f fonksiyonunun birden fazla bağımsız değişkenden oluştuğu göz önüne alınsın. Aslında bu değişkenlerin global hareket parametreleri olduğu söylenebilir. Ek olarak birden fazla değişkene göre gradyant (kısmi türev) ise, tek değişkenli durumla aynıdır. Ancak çok değişkenli durumdaki birinci dereceden kısmi türevde ise n değişken için (2.32) eşitliğinden görüldüğü gibi n adet gradyant alınır (Kroo ve Martins 2006).

$$(f(x) | x^T = [x_1, x_2, \dots, x_n]) \quad (2.31)$$

$$\nabla f(x) = g(x) = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x_1} \\ \frac{\partial f}{\partial x_2} \\ \vdots \\ \frac{\partial f}{\partial x_n} \end{bmatrix} \quad (2.32)$$

n bağımsız değişkenden oluşan bir fonksiyonun bağımsız değişkenlere göre 1.dereceden kısmi türevinin alınması sonucu n elemana sahip gradyant vektörü $g(x)$ elde edilir. Bu vektörün ikinci dereceden gradyantı sonucu ise Hesyan matrisi elde edilir. Bu matris; n sayıdaki gradyant vektörü elemanlarının n elemanlı bağımsız değişkenlere göre tekrar kısmi türevlerinin alınması sonucu oluşur ve n^2 elemana sahiptir. Hesyan matrisi (2.33) eşitliğinde görülmektedir. (2.34) eşitliğindeki şartların sağlanması durumunda ise bu matris kareli simetrik özellik gösterir (Kroo ve Martins 2006).

$$\nabla^2 f(x) = H(x) = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 f}{\partial^2 x_1} & \dots & \frac{\partial^2 f}{\partial x_1 \partial x_n} \\ \vdots & \dots & \vdots \\ \frac{\partial^2 f}{\partial x_n \partial x_1} & \dots & \frac{\partial^2 f}{\partial^2 x_n} \end{bmatrix} \quad (2.33)$$

$$\left(\frac{\partial^2 f}{\partial x_i \partial x_j} \mid i \neq j \right), \left(\frac{\partial^2 f}{\partial x_i^2} \mid i = j \right)$$

$$\left(\frac{\partial^2 f}{\partial x_i \partial x_j} = \frac{\partial^2 f}{\partial x_j \partial x_i} \mid \frac{\partial f}{\partial x_i}, \frac{\partial f}{\partial x_j}, \frac{\partial^2 f}{\partial x_i \partial x_j} \text{ sürekli ve } \frac{\partial^2 f}{\partial x_i \partial x_j} \text{ mevcut ise} \right) \quad (2.34)$$

Bu aşamada; gradyant azalma algoritmasının teorik temelini oluşturan taylor serisi açılımının iyi bilinmesi gerekmektedir. Bilindiği gibi, taylor serisi bir f fonksiyon terimlerinin sabit noktadaki sonsuz sayıda türev değerlerinin toplamıdır. Her dereceden

türevli; gerçel ya da karmaşık f fonksiyonunun gerçel ya da karmaşık olmak üzere $(a-r, a+r)$ aralığındaki taylor serisi açılımı şu şekilde tanımlanabilir:

$$f(x) = f(a) + \frac{f'(a)}{1!}(x-a) + \frac{f''(a)}{2!}(x-a)^2 + \dots + \frac{f^n(a)}{n!}(x-a)^n + \dots \quad (2.35)$$

Yukarıdaki seri açılımı bir x noktasının herhangi bir komşuluk (Adım değeri olarak da kabul edilmektedir) açılımı şeklinde yeniden düzenlenebilir. Yukarıdaki (2.35) eşitliğinde x ve a yer değiştirirse;

$$f(a) = f(x) + \frac{f'(x)}{1!}(a-x) + \frac{f''(x)}{2!}(a-x)^2 + \dots + \frac{f^n(x)}{n!}(a-x)^n + \dots \quad (2.36)$$

elde edilir. (2.36) eşitliğinde $\square$ -x yerine ε yazılırsa;

$$f(x + \varepsilon) = f(x) + \frac{f'(x)}{1!}\varepsilon + \frac{f''(x)}{2!}\varepsilon^2 + \dots \quad (2.37)$$

elde edilir. Bu fonksiyon kareli (quadratic) özellik gösteriyorsa (2.38) eşitliğindeki gibi yeniden düzenlenebilir. Fonksiyonun kareli özellik göstermesi ikinci dereceden türevlenebilir olması anlamına gelmektedir. Diğer terimler ise bu aşamada göz önünde bulundurulmaz. Aynı zamanda kareli fonksiyon ikinci dereceden polinom şeklinde de ifade edilir.

$$f(x^* + \varepsilon p) = f(x^*) + \varepsilon p f'(x^*) + \frac{1}{2} \varepsilon^2 p^2 f''(x^*) \quad (2.38)$$

(2.38) eşitliğindeki $f''(x^*)$ ile $f''(x^* + \varepsilon p)$ aynı olduğundan (2.38) eşitliğinin en sağ kısmı $f''(x^*)$ olarak yazılmıştır. Ayrıca p yön faktörü, f fonksiyonunun birden fazla

değişken içermesi durumunda n elemanlı vektör olur. Daha önceki kısımlarda $f'(x) = g(x)$ ve $f''(x) = H(x)$ olarak ifade edilmişti. p 'nin vektör olması durumunda $p^2 = pp^T$ olarak kabul edilir. Bu durumda (2.38) eşitliği yeniden düzenlenirse;

$$f(x^* + \varepsilon p) = f(x^*) + \varepsilon p^T g(x^*) + \frac{1}{2} \varepsilon^2 p^T H(x^* + \varepsilon \theta p) p \quad (2.39)$$

(2.39) eşitliğindeki $1 \times n$ elemanlı p^T vektörü ile $n \times 1$ elemanlı $g(x^*)$ vektörünün çarpılması sonucu skalar bir değer elde edilmektedir. p yön vektörü istenen minimum değere ulaşabilmek için kullanılan yönü ifade etmekte ve rastgele seçilmektedir. θ değeri ise skalar bir değerdir ve $0 < \theta < 1$ olmak üzere adım değerini ölçeklemek için kullanılır. ε ise yine skalar bir değerdir ve taylor açılımının geçerli olduğu x^* 'in komşuluğunu ifade etmektedir. εp ise adım değeridir. (2.39) eşitliğinin sağında ise sırasıyla $1 \times n$ elemanlı p^T vektörü, $n \times n$ elemanlı H matrisi ve $n \times 1$ elemanlı p vektörünün çarpılmasıyla skalar bir değer elde edilmektedir. Ancak bu vektörler ve matrisler bir arada düşünüldüğünde ne anlama geldikleri biraz karışıklık oluşturabilir.

Bilindiği gibi gradyant azalma algoritmasında temel olarak hedeflenen yerel minimum noktası x^* 'e ulaşabilmektir. Seri açılım ise $x^* + \varepsilon$ komşuluk noktalarında geçerlidir. Yani $f(x^* + \varepsilon) \geq f(x^*)$ şartını sağlayan ve ε adım değeri ile belirlenen komşu noktalar mevcuttur. Buradan hareketle istenen yerel minimum noktasına erişmek için $f(x^* + \varepsilon p) \geq f(x^*)$ veya $f(x^* + \varepsilon) - f(x^*) \geq 0$ şartının sağlanması gereklidir. Temel varsayım ise $f(x^*)$ 'in yerel minimum noktası olmasıdır. Bu da (2.39) eşitliğindeki sağdan ikinci ve üçüncü terimlerin; bir başka ifadeyle birinci ve ikinci dereceli terimlerin 0 veya 0'dan büyük olması anlamına gelir. ε yön faktörü istenen değer minimum veya maksimum olmasına göre pozitif veya negatif olabilmektedir. Dolayısıyla yerel minimum noktası düşünüldüğünde $\varepsilon p^T g(x^*) \geq 0$ şartının kesin olarak sağlanması için $g(x^*)$ 'in tüm elemanları sıfıra eşit olmalıdır. İkinci dereceden terim için ise $H(x^* + \varepsilon \theta p)$ pozitif tanımlı matris veya yarı pozitif tanımlı matris (Bir matris (M) yarı pozitif tanımlı özellik gösteriyorsa; herhangi v vektörü için $v^T M v$ sonucunun kesin

olarak negatif olmaması anlamına gelmektedir. Sonucun hep pozitif olması durumunda ise pozitif tanımlı matris demektir) özelliği taşınmalıdır. Bunun yanında $H(x^*)$ en az yarı pozitif tanımlı matris özelliği göstermelidir.

Bu aşamada Newton algoritmasına kısaca göz atılacak olursa (2.40) eşitliği gibi ifade edilebilir:

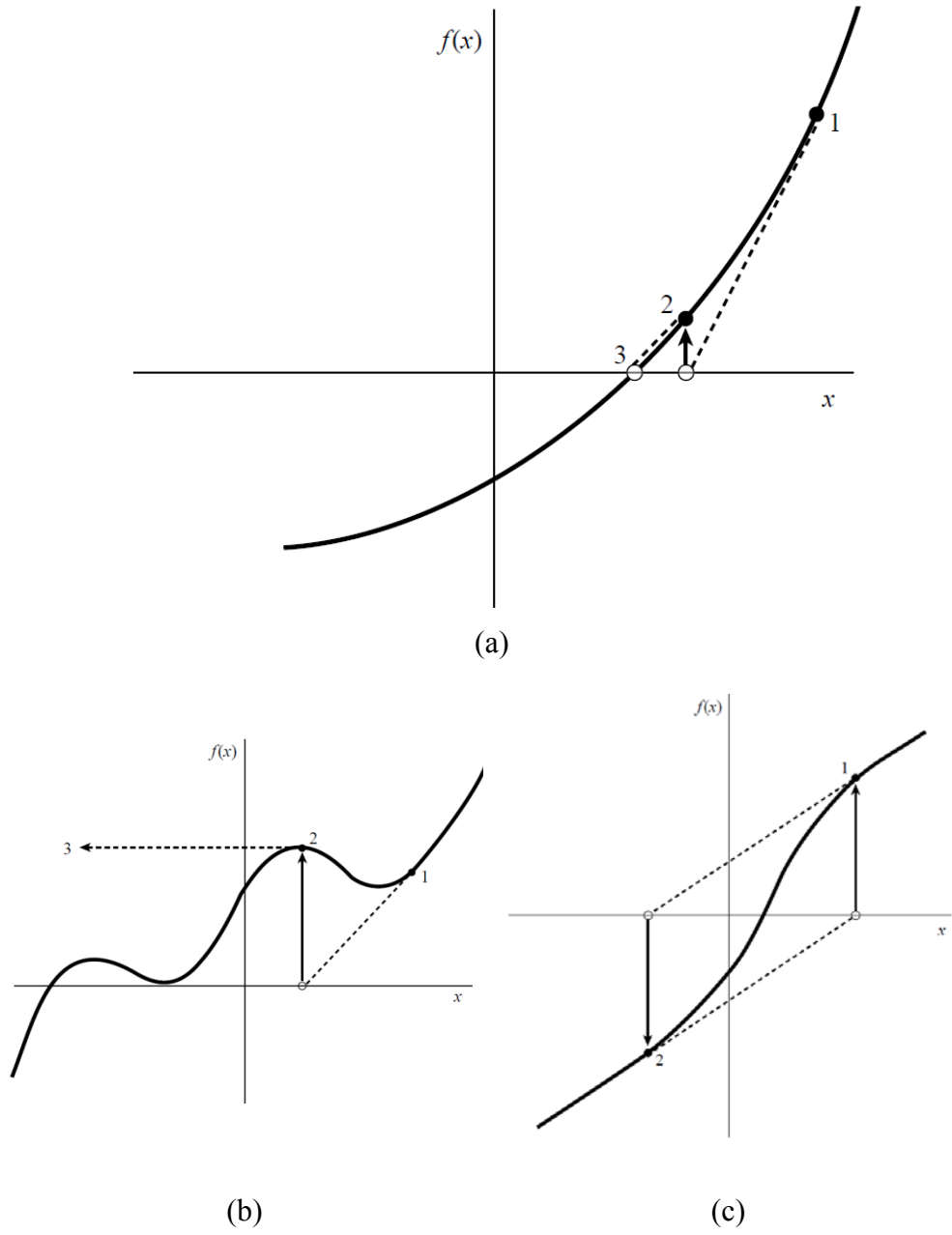
$$f(x_k + s_k) \approx f_k + g_k^T s_k + \frac{1}{2} s_k^T H_k s_k \quad (2.40)$$

(2.40) eşitliğinde s_k adım değeri ile f fonksiyonunun minimum yapan noktaya eriştiği varsayalım. $f(x_k + s_k)$ fonksiyonunun s_k adım değerine göre türevi alınıp sıfıra eşitlenirse;

$$0 \approx g_k + s_k^T H_k, \quad s_k = \varepsilon_k p_k \quad (2.41)$$

$$s_k = -H_k^{-1} g_k \quad (2.42)$$

ile fonksiyonu minimum yapan adım değeri s_k elde edilir. Şekil 2.26'da 1 noktası ile işaretlenen x_0 noktasından yerel minimum noktasına olan erişmek için kullanılan aşamalar görülmektedir. Şekil 2.26.a'dan görüldüğü gibi fonksiyona teğet olan doğrunun x ekseninde kestiği noktadan çıkılan ve x eksenine dik olan doğrunun fonksiyonu kestiği nokta üzerinde yine f fonksiyonuna teğet olan doğru çizilir ve x ekseninde kestiği nokta bulunur. Bu adımlar fonksiyonun minimum olduğu noktaya kadar devam eder.



Şekil 2.26 Newton algoritması (Press vd. 1988)

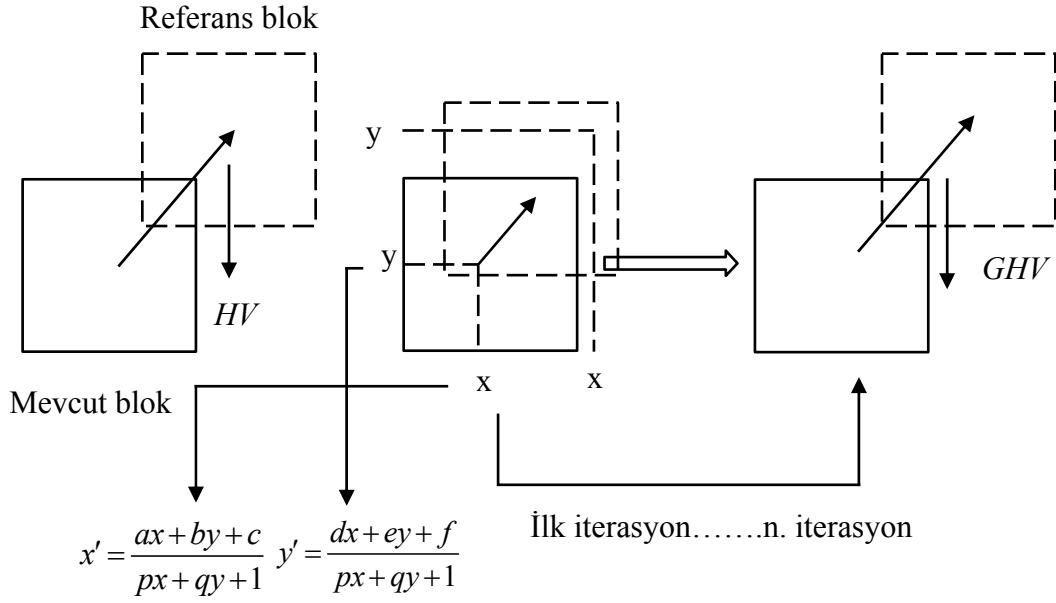
Ancak bu noktada Newton algoritmasının birtakım sakıncaları bulunmaktadır. Bunlardan ilki εp adım aralığında yerel maksimum ya da yerel maksimum noktalarının yer almasıdır. Şekil 2.26.b’de bu nokta yerel maksimum noktası olmuştur. Bu noktada f fonksiyonuna teğet olan doğrunun ne yazık ki x eksenini kesmesi imkansız hale gelir ve yerel minimum noktaya ulaşılamaz. Diğer bir durum ise yanlış olarak seçilen x_0

başlangıç noktası sonucu sürekli bir döngüye girilmesi ve aynı noktaya geri dönülmesidir.

Yukarıdaki problemleri çözebilmek için Newton-Raphson algoritması yeniden düzenlenebilir. Bu algoritma ile adım değeri yerine Newton yönünde çizgi-arama (line search) ile minimum noktaya erişilmeye çalışılır. Yeniden düzenlenmiş Newton algoritması olarak adlandırılan bu yöntemde parametre kestirimi için kullanılan aşamalar aşağıdaki şekildedir (Tez çalışması kapsamında da bu yöntem kullanılmıştır):

1. x_0 başlangıç noktası ve ε_g yakınsama parametresi (skalar) belirlenir.
2. $g(x_k) = \nabla f(x_k)$ hesaplanır. $\|g(x_k)\| \leq \varepsilon_g$ ise $g(x_k)$ parametreleri yakınsamış kabul edilir ve algoritma sonlanır. Değilse devam eder.
3. $H(x_k) = \nabla^2 f(x_k)$ ve yön faktörü $p_k = -H_k^{-1} g_k$ hesaplanır.
4. ε_k adım uzunluğu olarak kabul edilerek $f(x_k + \varepsilon_k p_k)$ minimize edilmeye çalışılır. (Başlangıçta $\varepsilon_k=1$ olarak kabul edilir.)
5. Mevcut nokta $x_{k+1} = x_k + \varepsilon_k p_k$ olarak güncellenir.

Blok temelli GHK görselleştirme olarak şekil 2.27’de görülmektedir. Girdi HV’nin global harekete bir başka deyişle arkaplana ait olması durumunda iterasyonlar sonucu kestirilmiş HV’ye (GHV) oldukça yakın olacağı görülecektir. GHV’ye ulaşmak için de parametrik dönüşümler kullanılmaktadır. Kestirilmiş HV ise şekilden görüldüğü gibi algoritmanın performansına göre girdi HV’ye yakınsamış olacak ve kestirimi hatası da minimize edilmiş olacaktır.



Şekil 2.27 HV temelli GHK gösterimi

2.6.3 HV temelli GHK’de ayrık eleman tespiti ve kullanılan yöntemler

Tez çalışması kapsamında bu aşamaya kadar genel olarak piksel ve HV temelli GHK hakkında detaylı bilgi verilmiştir. Bu kapsamda önerilen ayrık HV ayıklama algoritmasını müteakip GHK “*Newton Raphson Gradyant Azalma*” algoritması ile gerçekleştirildiğinden bu algoritma önceki bölümlerinde teorik temelleriyle detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Bu kısımda ise HV temelli GHK yöntemlerinden dünyada yapılan mevcut çalışmalardan en iyi performans veren altı farklı çalışma hakkında teorik bilgiler verilecektir.

Bilindiği gibi GHK, herhangi bir HV alanı içinde yer alan HV’lerin girdi olarak kullanılması ile gerçekleştirilmektedir. Bu bağlamda yapılan çalışmalarda blok temelli eşleme ile elde edilen HV’ler muhtelif GHK algoritmaları için kullanılmış, bunun sonucunda da global hareket parametreleri elde edilmiştir. Yapılan çalışmaların ortak çıkış noktası oldukça az işlem yükü; başka bir ifadeyle parametre değerlerine yakınsama için gerçekleştirilen iterasyon sayısının oldukça az, buna karşılık GHK performansının yüksek olmasıdır. Bu çalışmalardan bazılarında yalnızca ayrık eleman tespitine

odaklanılmış; bazılarında ise bütüncül bir yaklaşımla gerek ayrık sı tespiti, gerekse GHK aynı yöntem içinde kullanılmıştır.

HV temelli GHK’de aralıklı-örneklenmiş HV’ler ile yapılan GHK’nin birtakım avantajları bulunmaktadır. Bu avantajın en önemli olanı, sıkıştırılmış bölgede bit dizinden çok az bir dekodlamayla çekilen HV’ler ile gerçekleştirilen GHK’nin gerçek zamanlı uygulamalar için çok elverişli olmasıdır. Literatürdeki mevcut araştırmalarda, ayrık sı HV’lerin ayıklanması ve GHK için farklı yöntemler kullanılmıştır. Örneğin, GHK için Newton-Raphson Gradyant-Azalma (GD) yöntemine göre girdi HV alanının, bir dizi iterasyonla kestirimi yapılan hareket parametreleri yardımıyla elde edilen kestirilmiş-HV alanı ile uyumu kıyaslanmakta ve bunun sonucuna göre global hareket parametreleri çıkarılmaktadır (Su vd. 2005). “*Tensör Oylamalı Gradyant Azalma*” (TV_GD) yönteminde ise ayrık sı HV’lerin ayıklanması için Tensör Oylama işlemi uygulanmış, GHK için de GD yöntemi kullanılmıştır (Dinh ve Lee 2013).

Tensör Oylamalı Gradyant Azalma yönteminde (TV_GD), ayrık sı HV’lerin ayıklanması için girdi HV’ler, 2. derece tensörler ile kodlanmakta, daha sonra bu tensörler 2B olarak oylama işleminden geçirilerek HV alanı yumuşatılmaktadır. Girdi HV’leri ile yumuşatılmış HV’ler arasında faz kıyaslaması yapılarak ayrık sı HV’ler ayıklanmaktadır (Dinh ve Lee 2013). En başarılı yöntemlerden bir diğ erinde yapılan ve Ayrık sı Ayıklama Kaskatı (Outlier Rejection Cascade, CAS-GD) olarak adlandırılan bir çalışmada (CAS-GD), ayrık sı HV’lerin ayıklanması için üçlü filtre’den oluşan bir kaskat önerilmiştir. Girdi HV’lerin çeşitli komşuluğunda bulunan HV’ler ile her filtrede hem faz hem de genlik kıyaslaması yapılmıştır. Bu sayede HV alanındaki ayrık sılar yok edilmiştir. Bu yöntemde de GHK için yine GD algoritması kullanılmıştır (Chen ve Bajic 2010). Dante ve Brookes (2003) yaptıkları bir çalışmada ayrık sı HV ayıklanmasına yönelik yeni bir algoritma (FLT) geliştirmiştir. Bu algoritmaya göre girdi HV’leri ile bunların 8-komşuluğundaki HV’ler arasında yalnızca genlik kıyaslaması yapılarak ayrık sı HV’ler ayıklanmıştır. Smolic vd. (2000) tarafından yapılan diğ er bir çalışmada (LSS_ME) ise ayrık sı HV etkisinin azaltılması ve GHK için en küçük kareler yöntemiyle birlikte M-tahmin edicisi kullanılmıştır. En Küçük Medyan Kareleri yöntemine göre (LMedS) HV’lerin ön filtrelenmesi ve bir dizi işlemle kareli atıkların

medyan değerlerine göre ayırıksılar ayıklanmıştır (Gillepsie ve Nguyen 2004). Rasgele Örneklem Uylaşımı (RANSAC) yönteminde ise bir grup HV'nin birkaç iterasyonla GHK parametrelerini çıkarması sonucu global hareket tespiti yapılmıştır (Hartley vd. 2004).

2.6.3.1 Rasgele örneklem uylaşımı (Random sample consensus, RANSAC)

RANSAC algoritması parametre kestirimlerinde sık olarak kullanılır. Diğer kestirim algoritmalarından farkı ise ilklendirme koşullarında tüm veri setinin kullanılıp, sonraki iterasyonlarda ayırıksı elemanların atılması yerine rasgele seçilen küçük bir grup veri setinden başlanarak, istenen model şartlarını bozmaması durumunda bu küçük veri setinin genişletilmesi esasına dayanmaktadır (Fischler ve Boller 1981). Tez çalışması kapsamında ise bu algoritma en küçük kareler yöntemi ile birlikte kullanılmıştır. Blok eşleme sonucu elde edilen HV'ler veri setini oluşturur. Bu veri setlerinden seçilen küçük bir grup istenen şartların sağlanması durumunda genişletilmektedir. Bu algoritmada 2.6 bölümünde detaylı bir şekilde açıklanan ve referans çerçevede yer alan i . bloğa ait x'_i ve y'_i koordinatlarına ulaşmak amacıyla izdüşümsel dönüşüm kullanılmıştır. Bu sayede girdi HV'ler ve kestirim sonucundan elde edilen fark vektörü $(x'_i - x_i)$ arasındaki fark minimize edilmeye çalışılır.

Algoritma için uygulanan adımlar ise şu şekilde özetlenebilir:

1. Blok eşleme sonucu elde edilen HV'lerden rastgele M çift alınsın. (HVx_i, HVy_i) ($M \leq N$ | N :Çerçevedeki toplam blok sayısı)
2. M çift veri setiyle en küçük kareler yöntemine göre global hareket parametrelerinin çıkarımı yapılır. (2.6.3.2 kısmında açıklanmıştır. Global hareket parametrelerini kestirebilmek için en az 4 HV çifti kullanılması gerekmektedir.)
3. Global hareket parametrelerinin mevcut çerçevedeki her bloğa uygulanması sonucu elde edilen fark vektörü (global HV) ile ilgili bloğa ait girdi HV

arasındaki fark sonucu o bloğa ait hata değerin belirlenen eşik değeri ε 'den küçük olup olmadığı sınıanır. Eşitlik olarak;

$$d\left((HVx_i, HVy_i), (x'_i - x_i, y'_i - y_i)\right) < \varepsilon \quad (2.43)$$

şeklinde yazılabilir. (2.43) eşitliğindeki şart aslında iki nokta arasında hesaplanan Öklid uzaklığıdır ve (2.43) eşitliğinin doğru olması durumunda i . bloğa ait HV dahili (inlier) kabul edilir.

4. (2.43) eşitliğinde ε eşik değeriinden daha küçük HV sayısı hesaplanır. 1.adıma dönölür. 1-4. aşamalar k kez tekrarlanır. İterasyonlar arasından en yüksek HV sayısı veren dahili HV'ler nihai global parametrelerini kestirim etmek için kullanılırlar.
5. En küçük kareler yöntemine göre global hareket parametreleri çıkarılır.

Yukarıdaki algoritma Farrin (2005)'te yapılan bir çalışmadaki uygulanan RANSAC algoritmasının HV alanına uyarlanması şeklinde düzenlenmiştir.

2.6.3.2 M tahminleyici ile en küçük kareler yöntemi (LSS-ME)

MPEG-7 uygulamalarına yönelik olarak kamera hareket parametrelerinin çıkarımı için geliştirilen bu algoritmada en küçük kareler yöntemi M-tahminleyicisi ile birlikte kullanılmıştır. Bu yöntemde hareket dönüşüm modeli olarak basitleştirilmiş ilgin, bir başka ifadeyle çizelge 2.1'de verilmiş olan geometrik model seçilmiştir. Bu model için dönüşüm ise;

$$x' = \square x + by + c \quad (2.44)$$

$$y' = -bx + ay + d \quad (2.45)$$

olarak tanımlanır. Global hareket parametreleri $\square = [\square, b, c, d]^T$ olarak ifade edilsin. n . blok için GHV, geometrik dönüşüm sonucu elde edilen referans çerçevedeki (x', y') konumu ile mevcut çerçevedeki (x, y) konumu arasındaki fark vektörüdür. Bu vektör;

$$v^{(n)} = f(\varsigma) = \begin{pmatrix} v_x^{(n)} \\ v_y^{(n)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x'^{(n)} - x^{(n)} \\ y'^{(n)} - y^{(n)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} ax^{(n)} + by^{(n)} + c - x^{(n)} \\ -bx^{(n)} + ay^{(n)} + d - y^{(n)} \end{pmatrix} \quad (2.46)$$

eşitliği ile gösterilebilir. Algoritmanın ilk iterasyonunda global hareket parametrelerinin kestirimi için GHV $v^{(n)}$ yerine, girdi HV'ler kullanılır. $f(\square)$ ise global hareket fonksiyonunu ifade eder. (2.46) eşitliği, matris biçimine dönüştürülmek istenirse;

$$\begin{pmatrix} v_x^{(n)} + x^{(n)} \\ v_y^{(n)} + y^{(n)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x^{(n)} & y^{(n)} & 1 & 0 \\ y^{(n)} & -x^{(n)} & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot (a, b, c, d)^T \quad (2.47)$$

elde edilir. İlgili çerçevenin N sayıda bloktan oluştuğu varsayılınsın. Buna göre;

$$\begin{pmatrix} v_x^{(1)} + x^{(1)} \\ v_y^{(1)} + y^{(1)} \\ \vdots \\ v_x^{(N)} + x^{(N)} \\ v_y^{(N)} + y^{(N)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x^{(1)} & y^{(1)} & 1 & 0 \\ y^{(1)} & -x^{(1)} & 0 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x^{(N)} & y^{(N)} & 1 & 0 \\ y^{(N)} & -x^{(N)} & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot (a, b, c, d)^T \quad (2.48)$$

$$V = H \cdot \square \quad (2.49)$$

şeklinde matris biçimine dönüştürülebilir. Ancak burada bulunması gereken global hareket parametrelerini içeren $\square$ matrisidir. Bu amaçla (2.49) eşitliğinin her iki tarafı da H^T ile çarpılırsa;

$$H^T \cdot V = H^T \cdot H \cdot \square \quad (2.50)$$

elde edilir. Eşitliğin her iki tarafı yine $(H^T.H)^{-1}$ ile çarpılırsa;

$$\square = (H^T.H)^{-1} H^T V \quad (2.51)$$

olarak elde edilir. (2.51) eşitliği en küçük kareler çözümü olarak da ifade edilir. Dikkat edilirse bu yöntemde, ayrık HV'ler dahil olmak üzere tüm HV'ler GHK için kullanılmıştır. Bunun sonucunda GHK başarımı beklenilenden daha düşük çıkmıştır. Bu kapsamda ayrık HV etkisinin azaltılması için de en büyük olabilirlik (maximum likelihood) teorisinden türetilen M-tahminleyicisi yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemle göre her iterasyonda her bir HV için ağırlık faktörü hesaplanır. k . iterasyon sonucu elde edilen global hareket parametreleri $[\square(k), b(k), c(k), d(k)]^T$ olarak kabul edilsin. Bu parametrelerle elde edilen model vektörü yani GHV;

$$\omega^{(n)}(k) = \begin{pmatrix} a(k)x^{(n)} + b(k)y^{(n)} + c(k) - x^{(n)} \\ -b(k)x^{(n)} + a(k)y^{(n)} + d(k) - y^{(n)} \end{pmatrix} \quad (2.52)$$

olarak yazılabilir. Girdi HV $(v_x^{(n)}, v_y^{(n)})$ ile (2.52) eşitliğindeki GHV arasındaki fark sonucu parametre kestirim hatası elde edilir. Bu HV, ilk iterasyonda blok eşleme sonucu elde edilen girdi HV'lerdir. Daha sonraki iterasyonlarda ise GHV'ler kullanılır. n . blok için hata değeri;

$$\varepsilon^{(n)} = |v_x^n - \omega_x^n| + |v_y^n - \omega_y^n| \quad (2.53)$$

olarak hesaplanır. Çerçeveedeki tüm N vektörleri için ortalama hata değeri;

$$\mu_\varepsilon = \frac{1}{N} \sum_n \varepsilon^{(n)} \quad (2.54)$$

olarak hesaplanmaktadır. Bir sonraki iterasyonda ağırlık faktörü girdi HV'ye eklenir. Bu sayede bir sonraki iterasyonda kestirim hatası azaltılmış olur. Bu ağırlık faktörü her n . blok için;

$$w(\varepsilon^{(n)}) = \begin{cases} \left(1 - \left(\frac{\varepsilon^{(n)}}{c\mu_\varepsilon}\right)^2\right)^2 & \varepsilon^{(n)} < c\mu_\varepsilon \\ 0 & \varepsilon^{(n)} > c\mu_\varepsilon \end{cases} \quad (2.55)$$

dir. c ayarlama sabitidir. Algoritmanın hassasiyetini düzenlemek için kullanılmaktadır. Her HV için ağırlık faktörü bulunduktan sonra nihai global hareket parametreleri elde edilir.

$$\square = (H^T.W.H)^{-1} H^T.W.V \quad (2.56)$$

LSS-ME yönteminde yukarıdaki iterasyonlar parametre değerlerine yakınsayınca kadar devam etmektedir. Bu yöntemde M-tahminleyicisine rağmen GHK sonucunun çerçevede özellikle ön plan veya gürültü etkisinin bulunması durumunda biraz kötü çıktığı görülmüştür.

2.6.3.3 HV-Filtreleme (FLT) Yöntemi

Dante ve Brookes (2003), yaptıkları bir çalışmada hareketten 3B yapı çıkarmak amacıyla ayrık HV'lerin ayıklanmasına yönelik HV filtreleme (FLT) yöntemini önermişlerdir. Yöntemde GHK için kullanılan HV'ler kameranın konum, yönelim bilgileri ile odak uzaklığı değiştirilerek sentezlenmişlerdir. Sentezlenen bu HV'lere x ve y eksenlerinde rastgele gürültü eklenmiştir. Bu yöntemde merkezi bir bloğa ait HV, bloğun 8-komşuluğunda yer alan HV'ler ile genlik kıyaslamasına tabi tutulur. Bu yöntemde iki türlü kıyaslama söz konusudur. Kıyaslamalardan her ikisi de istenen şartları sağlıyorsa, merkezde yer alan bloğa ait HV ayrık olarak kabul edilir.

Kıyaslamalardan ilkinde merkezi bir bloğa ait HV; çapraz (diagonal), yatay ve dikey yönlerde yer alan bloklara ait HV'lerin ortalamaları ile genlik kıyaslamasına tabi tutulur. İlk yöntem için kullanılan algoritma aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Şekil 2.28.a'da görülen siyah renkli merkezi bloğun komşuluğunda yer alan ve kırmızı, sarı, yeşil ve kahverengi renkler ile gösterilen blok çiftlerine ait HV'lerin her blok çifti için ayrı ayrı ve merkezi bloktan bağımsız olmak üzere ortalamaları alınır. ($HV_{ort1}, HV_{ort2}, HV_{ort3}, HV_{ort4}$)
2. Merkezi bloğa ait HV'ye ait genlik değeri karesinin ($HV_{mer_x}^2 + HV_{mer_y}^2$) yüzde üç (%3) tolerans değeri hesaplanır. ($|HV_{tol}|^2 = |HV_{mer}|^2 \cdot (0.03)^2$)
3. Ortalama vektörlerinin ($HV_{ort1}, HV_{ort2}, HV_{ort3}, HV_{ort4}$) x ve y koordinat bileşenleri ile merkezi bloğa ait HV'nin x ve y bileşenleri arasındaki farkın genlik değerinin karesi hesaplanır. Bu kare değeri ile merkezi blok HV'sine ait genlik değerinin toleranslı karesi $|HV_{tol}|^2$ arasındaki fark FHV_k hesaplanır. Tüm bu işlemler (2.57) eşitliğinde görülmektedir.

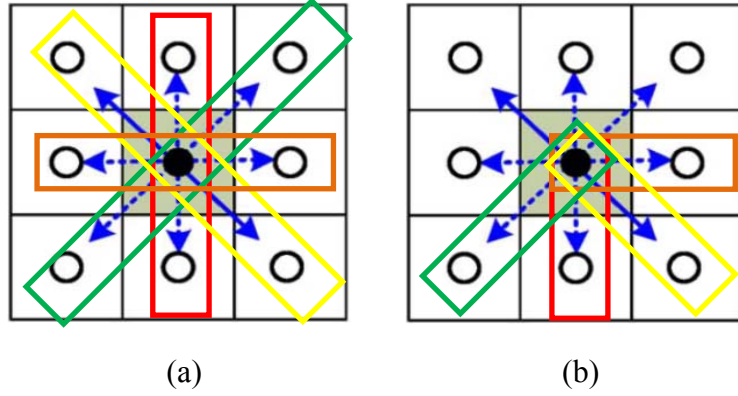
$$FHV_k = (|HV_{tol}|^2 - ((HV_{ortx_k} - HV_{mer_x})^2 + (HV_{orty_k} - HV_{mer_y})^2)),$$

$$k = 1, 2, 3, 4 \quad (2.57)$$

4. FHV_k değeri en fazla 1 eşleme için 0'dan büyükse ayrık olarak kabul edilir.

Yukarıdaki algoritma için bir örnek vermek gerekirse; merkezi bloğa ait HV (2,1) olarak kabul edilsin. Bu bloğun komşuluğunda yer alan herhangi bir blok çiftinin ortalaması ise (2.01, 1.02) olsun. $|HV_{mer}|^2$ değeri 5'tir. $|HV_{tol}|^2$ ise 0.0045 olarak hesaplanır. Ortalama vektörünün x ve y koordinat bileşenleri ile merkezi bloğa ait HV'nin x ve y koordinat bileşenleri arasındaki fark alınıp, bu farkın genlik değeri $(2-2.01)^2 + (1-1.02)^2 = 0.0005$ olarak elde edilir. Daha sonra fark değeri $FHV_k = 0.0045 - 0.0005 = 0.004$ olarak hesaplanır. Bunun anlamı 0'dan büyük olarak bulunan değerle merkezi bloğa ait HV'nin dahili olarak katkısı 1 eşleme için sağlanmış demektir. Bir sonraki eşleme sonucu da 4.adımdaki şartları sağlıyorsa merkezi HV artık ayrık

olmaktan çıkmış anlamına gelir. Yani merkezi bloğa ait HV'nin artık ayrıksı olabilmesi için diğer üç eşleme sonucu elde edilen FHV_k değerlerinin hepsinin 0'dan küçük olması gerekir.



Şekil 2.28. a. Ayrıksı HV tespiti için ilk sınama durumu, b. Ayrıksı HV tespiti için ikinci sınama durumu

İkinci sınama durumunda ise Şekil 2.28.b'de siyah ile gösterilen merkezi bloğa ait HV'nin; yeşil, kırmızı, sarı ve kahverengi renklerle gösterilen HV'lerle genlik kıyaslaması yapılmaktadır. Bu sınamada da; merkezi bloğa ait genlik değeri karesi ile yüzde sekiz (%8) tolerans değeri hesaplanır. $(|HV_{tol}|^2 = |HV_{mer}|^2 \cdot (0.08)^2)$ Bu değer ile yine bir önceki kıyaslamanın 3.adımına benzer şekilde komşu HV'lere ait x ve y bileşenleri ile merkezi HV'ye ait x ve y bileşenlerinin farklarının kareleri toplamının karesi alınır. Daha sonra fark değeri (2.58) eşitliği ile hesaplanır.

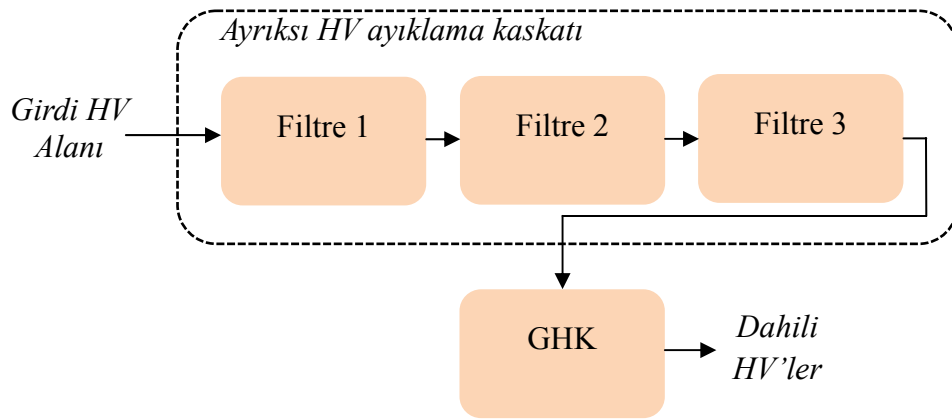
$$FHV_k = (|HV_{tol}|^2 - ((HV_{x_k} - HV_{mer_x})^2 + (HV_{y_k} - HV_{mer_y})^2)),$$

$$k = 1, 2, 3, 4 \quad (2.58)$$

Bu sınamada da merkezi bloğun ayrıksı olabilmesi için her 4 eşleşmede en fazla 2 eşleme sonucu elde edilen FHV_k nin 0'dan büyük olması gerekmektedir.

2.6.3.4 Ayırksı Ayıklama Kaskatı (CAS-GD)

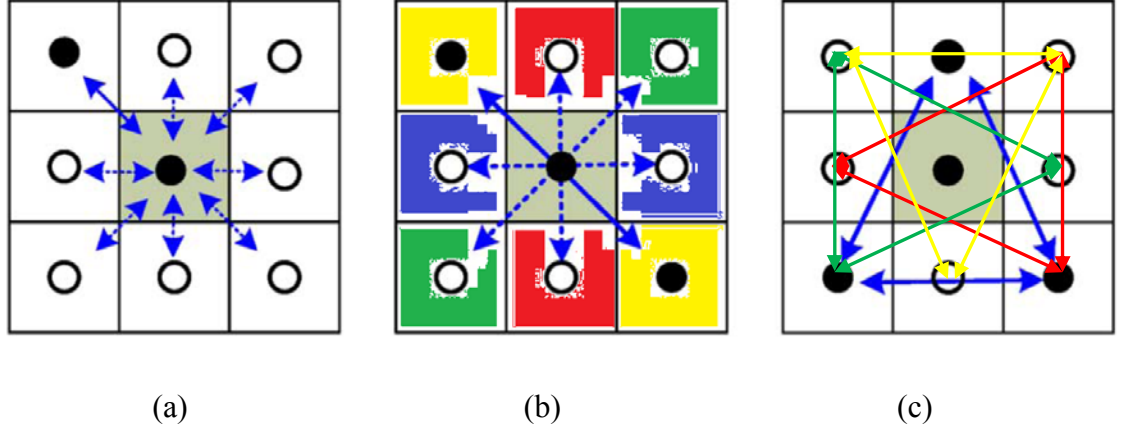
Chen ve Bajic (2010), yaptıkları bir çalışmada Ayırksı Ayıklama Kaskatı (CAS_GD) yöntemini önermişlerdir. Bu yöntemde, Viola ve Jones (2001) tarafından nesne tespiti için kullanılan bu yöntem, ayırksı HV ayıklama için uyarlanmıştır. Yapılan çalışmada GHK için performansının çok yüksek olması nedeniyle GD algoritması kullanılmıştır. Yöntemde ayırksı HV'lerin atılması için üçlü filtreden oluşan bir kaskat önerilmiştir. Akış diyagramı ise şekil 2.29'da görülmektedir:



Şekil 2.29 Ayırksı ayıklama kaskatı akış diyagramı (Chen ve Bajic (2010)'dan değiştirilerek alınmıştır)

Ayırksı ayıklama kaskatında girdi olarak kullanılan HV'lerin çeşitli komşuluklarında yer alan HV'ler ile genlik ve faz kıyaslaması yapılır. İlk filtre için tüm HV alanı girdi olarak kullanılır. Şekil 2.30.a'da görüldüğü gibi ilk filtrede merkezi bloğa ait HV'nin 8-komşuluğunda yer alan HV'ler ile genlik ve faz kıyaslaması yapılır. Bu kıyaslama sonucu elde edilen dahili HV'ler bir sonraki filtreye aktarılır. İkinci filtrede de merkezi bloğun komşuluğunda ve karşılıklı iki köşede yer alan 4 blok çiftinin (yeşil, sarı, mavi ve kırmızı) her blok için ayrı ayrı olmak üzere HV ortalaması alınır ve bu 4 ortalama HV'nin merkezi bloğa ait HV ile yine genlik ve faz kıyaslaması yapılır. Bu filtrede de ayırksı ayıklamadan sonra elde edilen dahili HV'ler üçüncü filtre için girdi olarak kullanılır. Bu filtrede de merkezi bloğa ait HV'nin üçgensel komşuluğunda yer alan HV'lerin ortalaması alınarak karşılaştırma yapılır. Her farklı renk grubu (sarı, yeşil, kırmızı ve mavi) 3'er adet HV içermekte ve bunlar da toplam 4 tane olmak üzere

merkezi bloğun etrafını çevrelemektedir. Her 3'lü HV'nin kendi içinde ortalaması alınır ve bu 4 ortalamalı HV'nin merkezi bloğa ait HV ile genlik ve faz kıyaslaması yapılır.



Şekil 2.30 Merkezi bloğa ait HV'nin çeşitli komşuluklarında yer alan ve her firmede ayrı olarak kullanılan komşuluk HV'leri

a. 8-komşuluk, b. Diyagonal komşuluk, c. Üçgensel komşuluk

Merkezi HV (HV_i), komşuluğunda yer alan bloklara ait HV veya ortalomalı HV (HV_k) olarak kabul edilsin. Genlik ve faz kıyaslaması (2.59) eşitliğine göre yapılır:

$$\begin{aligned} \|HV_i - HV_k\| / \|HV_i\| &< T_{mag}^j \\ |\varphi(HV_i) - \varphi(HV_k)| &< T_{ph}^j \end{aligned} \quad (2.59)$$

CAS_GD'de yapılan ayrık ayıklama algoritmasında yukarıdaki koşulların her firmede sağlanıp sağlanmadığı sınanır. İlk firmede en fazla 16 değer, ikinci ve üçüncü firmede ise en fazla 8 değer yukarıdaki koşulları sağlayabilir. Algoritmanın özeti ise şu şekildedir:

1. Çerçevadaki tüm HV'ler ilk filtreden geçirilir. Her blok için (2.59) eşitliğini sağlayan eşleme sayısı $N_i^{FiltreNo}$ tespit edilir.
2. Ağırlıklandırılmış eşleme sayısı bulunur. $WN_i^{FiltreNo} = W_i^{FiltreNo-1} \cdot N_i^{FiltreNo}$ İlk iterasyonda $W_i^{FiltreNo-1} = W_i^0 = 1$ dir.

3. $WN_{\max}^{FiltreNo} = \max_i WN_i^{FiltreNo}$ ve $W_i^{FiltreNo} = e^{-(WN_{\max}^{FiltreNo} - WN_i^{FiltreNo})}$ olarak bulunur. $W_i^{FiltreNo}$ merkezi bloğa ait HV'nin komşuluğunda ve çerçevede yer alan diğer HV'lere ne kadar yakın olduğunu göstermektedir.
4. Çerçevede yer alan $WN_i^{FiltreNo}$ azalarak sıralanır. Bu sıralamada en düşük ağırlıklandırılmış eşleme değeri verenlerden toplam dahili HV sayısının %11.2'si kadarı ayırksı kabul edilir.
5. $FiltreNo = FiltreNo + 1$ olarak artırılır. Son filtreden çıkan %88.2 oranındaki HV dahili olarak bir sonraki filtreye sokulur.
6. $T_{mag}^j = T_{mag}^j / 2$ ve $T_{ph}^j = T_{ph}^j / 2$ olarak güncellenir. Son filtre ise algoritma sonlanır. Değilse 2.adıma dönülür.

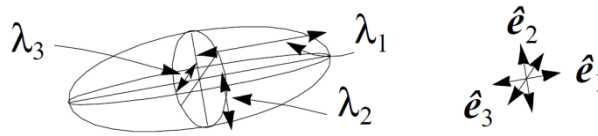
2.6.3.5 Tensör Oylama (TV)

Tensör Oylama (TV) algoritması, gürültülü 2B veya 3B girdi verilerinden yüzey, bölge, eğri veya kesişim özelliklerinin çıkarımı için kullanılmaktadır. Bu algoritma temel olarak iki adımdan oluşur. Bunlardan ilki tensör (tensörler, vektörler ve skaler büyüklükler ve diğer tensörler arasındaki doğrusal ilişkileri tanımlayan geometrik nesnelerdir) hesabı, ikincisi de doğrusal oylamadır. İlk aşamada her bir girdi verisi 2B veya 3B tensör olarak kodlanır. Bu girdi verisi, belirli bir komşuluğunda yer alan ve tensör olarak kodlanan diğer verilerle karşılaştırılır. Başka bir ifadeyle, girdi bir tensör verisi bilgilerini komşuluklarına yayar. Bu yayılım sonucu her bir komşuluk verisi için bir tensör oyu oluşur. Hesaplanan tensör oyları toplanır ve toplanmış tensör, ilgili girdi verisinin tensörü olarak kabul edilir. Böylece girdi tensörü, yeni bir tensöre kodlanmış olur. Kodlanmış bu tensörler, yerel olarak kıyaslamaya tabi tutularak öznetelik (eğri, bölge vb.) çıkarımı yapılır (Medioni vd. 2000).

Birinci dereceden diferansiyel geometri bilgisi ve tekilliğini birlikte elde edebilmek için ikinci dereceden tensörler kullanılır. Bu tensörlerde yön bilgisini veren özvektörler ve bunların belirginliğini ifade etmek için “çıkıntı”, başka bir ifadeyle özdeğerler kullanılır (Tang 1999). İkinci dereceden simetrik bir tensör S ile ifade edilmiş olsun. Bu tensör

grafiksel olarak 2B elips veya 3B elipsoid şeklinde ifade edilebilir. Bunun anlamı tensörün karesel olarak diagonal forma dönüştürülmesiyle öz vektörler $(\hat{e}_1, \hat{e}_2, \hat{e}_3)$ ve özdeğerlerin $(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3)$ elde edilmesidir. Sonuç olarak $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \lambda_3 \geq 0$ olmak üzere S tensörü (2.60) eşitliğindeki gibi modellenebilir:

$$S = \lambda_1 \hat{e}_1 \hat{e}_1^T + \lambda_2 \hat{e}_2 \hat{e}_2^T + \lambda_3 \hat{e}_3 \hat{e}_3^T \quad (2.60)$$

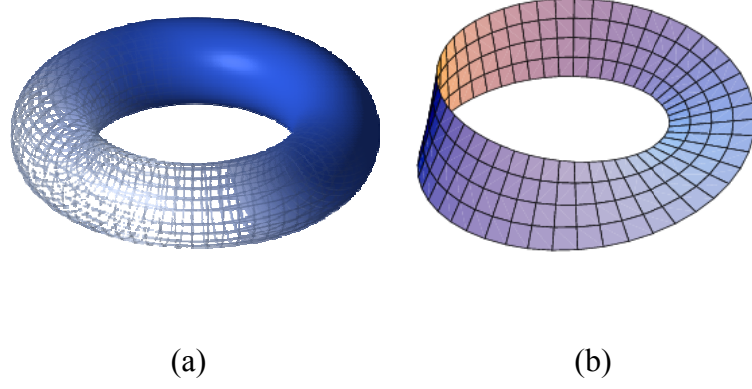


Şekil 2.31 Bir elipsoidin öz sistemle ifade edilmesi (Medioni vd. 2000)

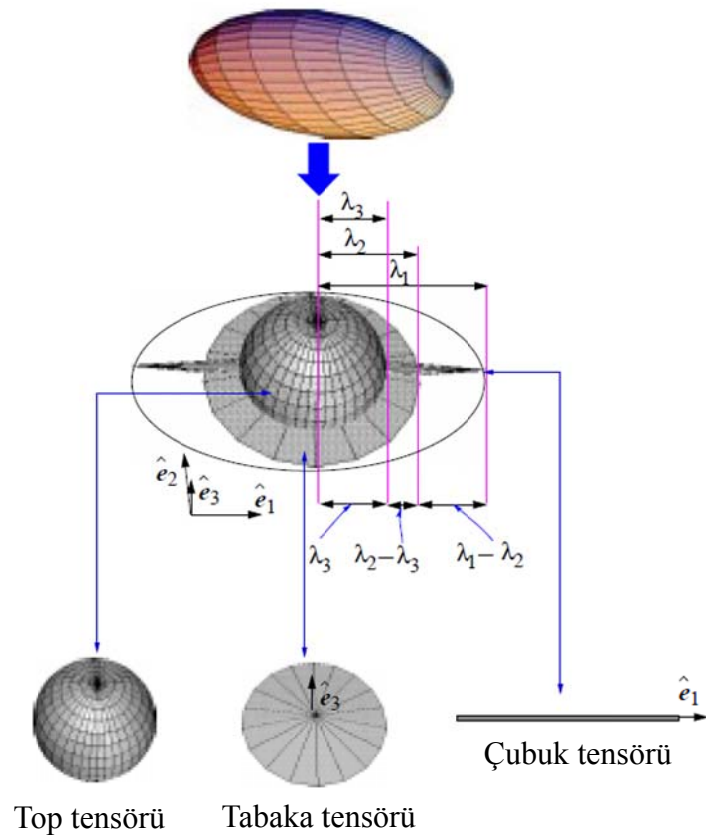
Şekil 2.31’de 3.dereceden bir tensör (elipsoid) görülmektedir. Bu tensörde özvektörler, elipsoidin veya elipsin ana yönlerini, öz değerler ise boyut ve şeklini ifade etmektedir. Özvektörler ortonormal temelde yapılırlar. Tensörler tekil yapıda olduklarından çubuk, top veya plaka olarak ifade edilebilirler. $(\hat{e}_1, \hat{e}_2, \hat{e}_3)$ öz vektörleri, tensörlerin yönelimini ifade ederken, bu yönelimlerin belirginliğini özdeğerler $(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3)$ belirlemektedir. Basit bir analogi ile ifade etmek gerekirse yalnızca $\hat{e}_1$ özvektörü ile çubuk, merkezden $\hat{e}_1$ ve $\hat{e}_2$ özvektörleri ile plaka, bu vektörlere de ek olarak $\hat{e}_3$ özvektörü eklendiğinde top yapısında tensörler oluşmakta ve bunlar da bir elipsoidin yapısını teşkil etmektedir.

Şekil 2.33’de 3 farklı tensör tipi görülmektedir. Tensör, öz vektör yönelimi $\hat{e}_1 \hat{e}_1^T$ ile ifade ediliyorsa çubuk, $\hat{e}_1 \hat{e}_1^T + \hat{e}_2 \hat{e}_2^T$ ile ifade ediliyorsa tabaka, $\hat{e}_1 \hat{e}_1^T + \hat{e}_2 \hat{e}_2^T + \hat{e}_3 \hat{e}_3^T$ ile ifade ediliyorsa top tensörü olarak ifade edilir. $\hat{e}_1$ yönü normal, $\hat{e}_3$ yönü ise teğet olarak adlandırılır. Yüzey yönelimi ise $\hat{e}_1$ ile gösterilir. Bu yönelimde bir yüzeye ait normal vektörünün süreklilik göstermesi söz konusudur. Şekil 2.32’de iki farklı yüzey tipi görülmektedir. Şekil 2.32.a’da torusa ait normal vektörü süreklilik gösterirken, Şekil

2.32.b’de ise bu vektörler süreklilik özelliği göstermez. Buradan hareketle torus yüzeyi yönelimli yüzey olarak ifade edilir.



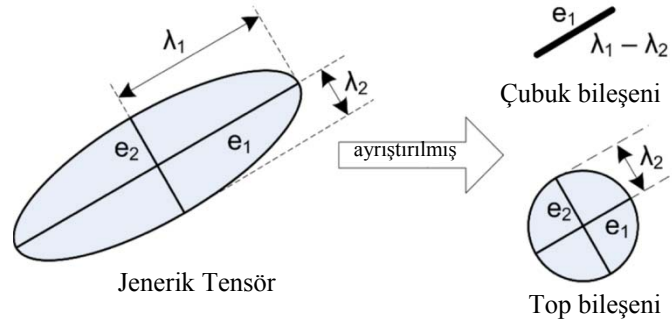
Şekil 2.32.a. Yönelimli Torus, b.Yönelimli olmayan yüzey



Şekil 2.33 Üçüncü boyutlu ve ikinci dereceden simetrik tensör (Tang 1999)

Tez çalışması kapsamında, GHK’de ayrık ayıklama için yapılan çalışmalardan en başarılı sonuç veren yöntemlerden Tensör Oylamalı Gradyant Azalma (TV_GD) algoritmasına kısaca değinilecektir. Yapılan çalışmada 2B HV’ler 2.dereceden tensörler ile kodlanmıştır. Bu tensörler yardımıyla her bir girdi HV’nin eğri, hacim veya kesişim gibi yapısal bir özelliğe sahip olup olmadığının tespiti yapılmakta, ayrıca gürültülü HV’ler de aynı zamanda ayıklanmaktadır.

TV yönteminde her bir girdi HV, ikinci dereceden ve 2B simetrik bir tensör ile kodlanmıştır. Boyut 2B olarak düşünüldüğünde top tensörü etkisiz kalmaktadır. Bu durumda tensör Şekil 2.34’te görüldüğü gibi karakterize edilerek ayrıştırılabilir.



Şekil 2.34 2B tensör ayrışımı (Dinh ve Lee 2013)

Şekil 2.34’te 2B jenerik tensör, çubuk ve top bileşenlerine ayrıştırılmıştır. Bu ayrışım (2.61) ve (2.62) eşitliklerindeki gibi karakterize edilebilir:

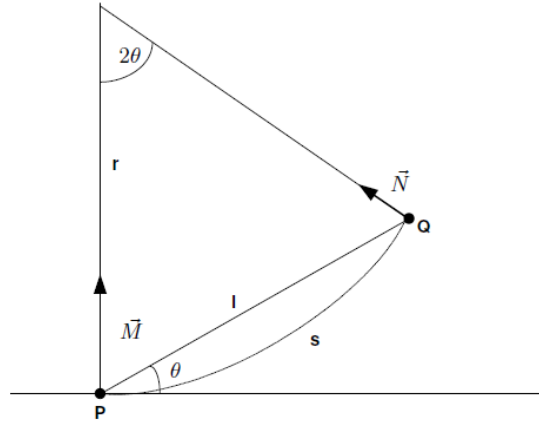
$$T = [\hat{e}_1 \ \hat{e}_2] \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 \\ 0 & \lambda_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{e}_1^T \\ \hat{e}_2^T \end{bmatrix} \quad (2.61)$$

$$T = (\lambda_1 - \lambda_2) \hat{e}_1 \hat{e}_1^T + \lambda_2 (\hat{e}_1 \hat{e}_1^T + \hat{e}_2 \hat{e}_2^T) \quad (2.62)$$

(2.62) eşitliğinde $\hat{e}_i$ öz vektörleri, λ_i katsayıları ise öz değerleri ifade etmektedir. $\hat{e}_1$ vektörü, TV yönteminde başlangıçta her girdi HV_i (HV_{x_i}, HV_{y_i}) ikinci dereceden tensör ile kodlanır. Bu kodlama (2.63) eşitliğinde görülmektedir:

$$T = \begin{bmatrix} (HV_{x_i})^2 & (HV_{x_i} * HV_{y_i}) \\ (HV_{x_i} * HV_{y_i}) & (HV_{y_i})^2 \end{bmatrix} \quad (2.63)$$

Her bir giriş vektörü başlangıçta kodlandıktan sonra, tensör oylama işlemi yapılır. Bu noktada bir benzetme yapılabilir: Şekil 2.32 ile gösterilen torus dış yüzeyi oylama işlemi için örnek verilebilir. Yüzeyden çıkılan ve yüzeye dik (normal) vektörlerin her biri aynı yüzeye ait olarak kabul edilir. Tensör kodlama işleminden sonra yapılan oylama da bu temele dayanır. Her bir tensör için komşuluğunda yer alan diğer belirteçlerle aynı yüzeye ait olarak varsayılarak oylama işlemine tabi tutulur ve bu oylar toplanarak girdi tensörü, yeni bir tensöre nihai olarak kodlanmış olur.



Şekil 2.35 2 boyutlu çubuk geometrisi (Guest 2004)

Şekil 2.35'te oylama çekirdeğinin temelini oluşturan Q ve P noktalarından geçebilecek muhtemel eğri görülmektedir. Bu eğri aslında yüzey olarak kabul edilebilir. Q noktasındaki oy, bu noktaya dik olan bir özvektöre sahip bir tensördür. Oylama sonucu

oluşan bu tensörler toplanarak toplam tensör elde edilir. Bu tensörün de her girdi HV için özvektör ve özdeğerlere ayrıştırılmasıyla nihai özvektörler elde edilir. Bu özvektörler ile giriş HV'leri faz kıyaslamasına tabi tutulur ve ayrık eleman çıkarımı yapılır. (2.64) eşitliğinde bu kıyaslama görülmektedir.

$$S_i = \left| \cos(MV_i, \hat{e}_{1,i}) \right| \quad (2.64)$$

Yukarıdaki eşitlikte girdi HV ile nihai özvektörü $\hat{e}_{1,i}$ görülmektedir. Bu iki vektör arasındaki faz kıyaslaması sonucu düşük S_i veren HV'ler ayrık olarak kabul edilirler.

2.6.3.6 GD ve GHK

GD algoritması, doğrudan ayrık ayıklama ve GHK için kullanılmaktadır. GD algoritmasında Hesyan matrisi ve gradyant vektörü, Kestirim hatası E 'nin model parametrelerine göre türevinin alınmasıyla hesaplanır. $\Delta \square = H_k^{-1} g_k$ eşitliğine göre model parametelerinin değişim değerlerine göre GHK parametreleri hesaplanır. Girdi HV'lerden en yüksek %30 hata değeri veren E 'ye sahip vektörler ayrık kabul edilir ve iterasyonlarla işlem sürekli güncellenir.

$$\begin{aligned} g_p &= -\frac{1}{2} \sum_{i=1}^M \frac{\partial (ex_i^2 + ey_i^2)}{\partial a_p} \\ &= -\sum_{i=1}^M ex_i \frac{\partial ex_i}{\partial a_p} - \sum_{i=1}^M ey_i \frac{\partial ey_i}{\partial a_p} \\ H_{pr} &= \frac{1}{2} \sum_{i=1}^M \frac{\partial^2 (ex_i^2 + ey_i^2)}{\partial a_p \partial a_r} \\ &= \sum_{i=1}^M \frac{\partial ex_i}{\partial a_p} \frac{\partial ex_i}{\partial a_r} + \sum_{i=1}^M \frac{\partial ey_i}{\partial a_p} \frac{\partial ey_i}{\partial a_r} \end{aligned} \quad (2.65)$$

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Tez Çalışmasında önerilen algoritma, GHK yapılabilmesi için ayrık HV'lerin ayıklanması ve kalan verilerle GHK yapılması şeklinde iki kısımdan oluşmaktadır. Ayrık ayıklama algoritmasının geliştirilmesi için Yeo vd. (2008) ve Efros vd. (2003) tarafından yapılan çalışmalarda algoritmalar farklı şekilde düzenlenmiştir. Çalışma kapsamında deneysel çalışmalar için iki farklı veri kullanılmıştır. Bunlardan ilki kamera hareketinin çıkarılabilmesi için sentezlenen GHV alanı, ikincisi de gerçek video test dizileridir. Tez çalışmasında aynı zamanda, literatürde mevcut olan ve gerek ayrık ayıklama gerekse GHK için en iyi performans veren 6 yöntem kıyaslama için kullanılmıştır. Tez çalışması kapsamında önerilen algoritma, diğer tüm yöntemlerle birlikte MATLAB ortamında yazılmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında kamera hareketinin modellenmesi yapılmıştır. Bu modelleme, mevcut çalışmalarda kamera hareketi için öteleme, ilgin, geometrik (izotropik) ve izdüşümsel olmak üzere sınıflandırılan ve akademik çalışmalarda en çok kullanılan 4 modelle yapılmıştır. Aslında bu modeller, kamera hareketinin çıkarılabilmesi için birbirinden farklı çeşitli kamera hareket parametrelerinin (skalar katsayılar) yer aldığı iki denklemlilik doğrusal-doğrusal olmayan fonksiyonlardır. Bu fonksiyonlar detaylarıyla 2.6 kısmında açıklanmıştır. Literatürde yapılan çalışmalarda yukarıdaki 4 model için en ideal olarak bilinen parametrelerle birbirinden farklı 4 GHV alanı sentezlenmiştir. Bu sentezleme bir video çerçevesinde 16x16'lık blokların bulunduğu ve her bir bloğa ait bir HV'nin yer aldığı varsayılarak yapılmıştır. Yani sentezlenen HV alanları bir video çerçevesine ait olan HV'ler gibi düşünülebilir. Bu kısım deneysel çalışmanın aynı zamanda ilk aşamasını oluşturmaktadır. Daha sonra ayrık ayıklama algoritmasının başarımı için sentezlenen GHV alanlarına birbirinden farklı 4 standart sapmadan oluşan Gauss gürültüsü eklenmiştir. Bu sayede HV'lere eklenen rasgele değerlerle hareket vektör alanları bozulmuştur. Bu noktada, önerilen ayrık HV ayıklama algoritmasıyla eklenen gürültü sonucunda fazla sapma gösteren ve modele ait olmayan HV'ler GHK'nin başarısını etkilememesi için ayıklanmıştır. Daha sonra kalan HV'lerle GHK yapılmıştır. Bu kestirim, Su vd. (2005)'de önerilen ve literatürde yer alan diğer çalışmalara göre çok iyi performans veren Newton-Raphson Gradyant Azalma algoritmasıyla yapılmıştır. GHK sonucu elde edilen kestirilmiş HV alanı ile en başta sentezlenen HV alanı arasında Su

vd. (2005)'de ifade edilen SNR kıyaslaması yapılarak önerilen algoritmanın ilk aşamasında başarımları ortaya çıkarılmıştır. Tez çalışmasının ikinci aşamasında ise önerilen algoritma gerçek test dizileri üzerinde uygulanmıştır. Bu amaçla gerçek test dizileri üzerinde 8x8'lik bloklar kullanılarak tam arama yapılmış ve HV'ler çıkarılmıştır. Daha sonra bu vektörler için ayrıştırmaya algoritması uygulanarak ön plan ve gürültü etkileri yok edilmiştir. Geriye kalan HV'lerle GHK yapılmıştır. Daha sonra Global Hareket Dengelemesi (GHD) yapılarak uygulanan yöntemin başarımları ortaya çıkarılmıştır.

Sonuç olarak tez çalışması kapsamında iki aşamada da başarımları sırasıyla SNR ve PSNR değerleri olarak, diğer tüm yöntemlerle kıyaslanacak şekilde tablo olarak verilmiş, ayrıca algoritmanın başarımları için çok önemli bir parametre olan yakınsama değerleri tespit edilmiş ve grafiksel olarak gösterimi yapılmıştır. Önerilen algoritma gerçek zamanlı olarak çalıştığından dolayı işlem zamanları da belirli bir donanım platformunda ölçülmüştür. Önerilen algoritma ile birlikte tüm yöntemler MATLAB'da uygulanmış ve Intel Core i7, 2.20 GHz işlemci hızı ve 8 GB RAM, Windows 7'de koşturulmuştur.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

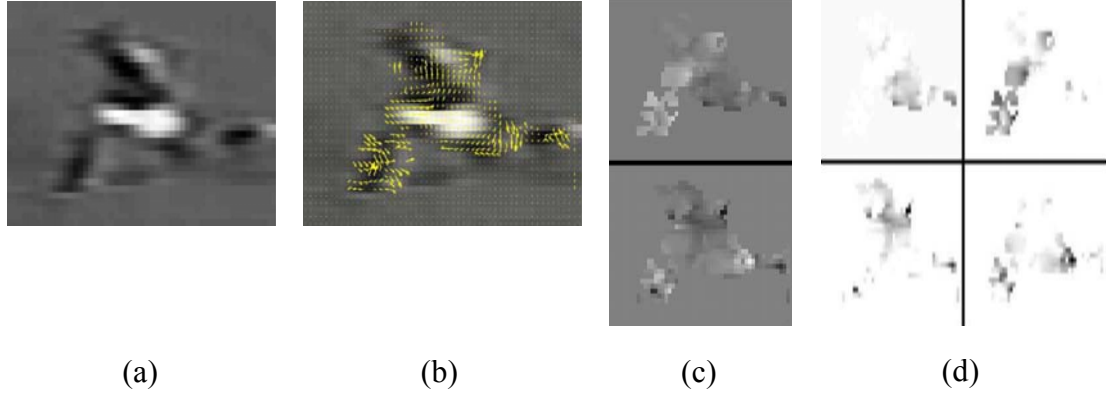
Tez çalışması kapsamında, bu kısımda önerilen ayıksı ayıklama algoritması açıklanacaktır. Bu algoritma, temel olarak video çerçevelerinde yer alan hareketin birbirine yakınlığını tespit etmek amacıyla “hareket benzeşim” ölçümü amacıyla kullanılmaktadır. Önerilen yöntemde ise bu algoritma ayıksı HV ayıklanması için “hareket benzeşmezlik” ölçümü olarak değiştirilmiş ve yeniden düzenlenmiştir.

4.1 HV Benzeşim Ölçümü

HV benzeşim ölçümü, çerçevelerde yer alan hareketin birbirine yakınlığını tespit etmek amacıyla kullanılmaktadır (Yeo vd. 2008, Efros vd. 2003). Her bir HV alanı negatif olmayan 4 kanala bölünür ve test ile sorgu çerçevesinde aynı konumda yer alan bloklara ait bölünen tüm vektörler birbiriyle kıyaslanarak çerçeveler arasında hareket benzeşim ölçümü yapılır (Yeo vd. 2008). H.264/AVC için girdi HV alanı ile global hareketi temsil eden alanın (GHV) birbirine yakınlığı bu yöntemle ölçülmüştür (Niu ve Liu 2009). “Hareket benzeşim” ölçümünde HV alanında yer alan vektörler yarım dalgalı negatif olmayan 4 kanala bölünmüştür. Yani bir girdi HV’sinde yer alan yatay ve dikey bileşenlerden (HV_x , HV_y) negatif olanları sıfıra eşitlenmiştir. Bu sayede iki HV arasındaki açı ya 0° ile 90° arasında olacak şekilde haritalanmıştır. Bu kanalları kullanarak iki HV arasındaki hareket benzeşimi, hareket tanımlayıcıları ile hesaplanır. Buna “Normalize Edilmemiş Negatif Olmayan Kanal Bağlaşımı (NCNC)” denir (Yeo vd. 2008).

Şekil 4.1.a,b’de sırasıyla orijinal çerçeve ve optik akış vektörleri (F_x , F_y) görülmektedir. Bu vektörler $F_x = F_x^+ - F_x^-$ and $F_y = F_y^+ - F_y^-$ olmak üzere 4 (F_x^+ , F_y^+ , F_x^- , F_y^-) farklı negatif olmayan kanala ayrılır. Bu kanallar daha sonra bulanıklaştırılır ve nihai uzaysal-zamansal hareket tanımlayıcılarına dönüştürülür. (Şekil 4.1.c,d) Bu tanımlayıcılar da normalize edilmiş bağlaşımla kıyaslanarak hareket benzerliği hesaplanır. Aşağıda yer alan (4.1) eşitliğinde iki HV arasındaki hareket benzerliği hesaplanmıştır. H.264/AVC ile sıkıştırılmış videodan çıkarılan HV’ler ile hareketli

nesnelerin kabaca tespiti yapılmıştır (Niu ve Liu 2009). Bu tespit videolara ait HV'ler ile GHV alanında yer alan HV'lerin ilgili algoritmanın iyileştirilerek kıyaslanması sonucunda gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.1 Hareket tanımlayıcılarının oluşturulması. (Yeo vd. 2008)

a. Orijinal Görüntü, b. Optik akış vektörleri (sarı), c. Optik akış vektörlerinin x ve y bileşenlerine ayrılması (F_x , F_y), d. 4 farklı kanal oluşturabilmek için her bir vektörün yarım dalga doğrultulması (F_{x+} , F_{y+} , F_{x-} , F_{y-})

HV benzeşim ölçümünün en büyük avantajı kıyaslanan HV'ler için hem genlik hem de faz farkının aynı formülasyonda hesaplanmasıdır.

4.2 HV Benzeşmezlik Ölçümü (MD)

Tez çalışması kapsamında ayrık HV ayıklanması için önerilen hareket benzeşmezliği (MD) algoritmasında hareket benzeşim ölçümünden farklı bir yaklaşımla yararlanılmıştır. Bu yöntemde HV'lerin aynı global hareket modeli içindeki uzaysal komşuluklarının benzerlik göstermesi sebebiyle HV alanındaki her HV'nin, uzaysal komşuluğundaki N adet HV ile faz ve genlik benzeşimi yeni bir formülasyon yoluyla hesaplanmıştır. Yeo vd. (2008)'de iki vektör arasındaki $(\vec{u}, \vec{v})$ hareket benzeşim ölçümü aşağıdaki gibi yapılmaktadır.

$$s(\vec{u}, \vec{v}) = \frac{(\langle \vec{u}, \vec{v} \rangle)_+}{\|\vec{u}\|, \|\vec{v}\|} \cdot \min \left(\frac{\|\vec{u}\|}{\|\vec{v}\|}, \frac{\|\vec{v}\|}{\|\vec{u}\|} \right)$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{\langle \vec{u}, \vec{v} \rangle_+}{\max \left(\|\vec{u}\|^2, \|\vec{v}\|^2 \right)}, \text{ eğer } \|\vec{u}\| > 0 \text{ ve } \|\vec{v}\| > 0 \\
&= 0, \text{ diğ}er
\end{aligned} \tag{4.1}$$

(4.1) eşitliğinde yer alan hareket benzeşim ölçümünde genlik ve faz ölçümü bir arada yapılmaktadır. Eşitliğin sadeleşmemiş üst kısmında HV'ler arasında sol taraf için faz benzeşimi, sağ taraf için de genlik benzeşimi yapılmaktadır. Blok-blok çiftleri için hesaplanan benzeşim değerleri toplanarak çerçevelerin birbirine hareket yakınlığı tespit edilmektedir.

Önerilen yöntemde, ayrık eleman tespiti için diğ}er yöntemlerden farklı bir yaklaşımda bulunulmuştur. Ayrık tespiti için, (4.1) eşitliğindeki MD türetilerek (4.2) eşitliği elde edilmiştir. Bu eşitlikte faz ve genlik benzeşmezliği birlikte hesaplanmıştır. Ancak bu ölçümler iki HV arasındaki genlik ve faz farklılıklarının birbirini dengelemesi amacıyla yapılmıştır. Yapılan ölçümde iki HV arasında doğrudan faz farkı $(\varphi)_+$ hesaplanmış, genlik içinse farklı bir yaklaşımda bulunularak iki HV'nin normlarının karesi birbirine oranlanmış ve faz farklarıyla doğrudan çarpılmışlardır. Bu sayede doğrudan faz farkından kaynaklanan kaba faz fark dağılımı yumuşatılmıştır. İki HV arasındaki benzeşmezlik ölçümünden sonra her bir benzeşmezlik toplanarak elde edilen toplam benzeşmezliğe göre ayrık HV'ler ayıklanmıştır. Önerilen yöntemde (i,j) blok merkezine ait giriş hareket vektörü $HV(i,j)$; uzaysal komşuluğunda yer alan HV'ler ise $HV(k,l)$ olarak kabul edilirse (i,j) merkezine ait HV'nin N komşuluğunda yer alan her HV için MD ölçümü $d(i, j | n, n = 1, \dots, N)$ aşağıdaki eşitlikle hesaplanır:

$$d(i, j | n) = \begin{cases} (4.3), \text{ eğer } \|HV(i, j)\| \neq 0 \text{ ve } \|HV(k, l)\| \neq 0 \\ 0, \text{ diğ}er \end{cases} \tag{4.2}$$

$$= \frac{\min \left(\|HV(i, j)\|^2, \|HV(k, l)\|^2 \right)}{\max \left(\|HV(i, j)\|^2, \|HV(k, l)\|^2 \right)} \cdot (\varphi)_+ (u)_+ = |u| \quad (4.3)$$

$$= \frac{\min \left(\|HV(i, j)\|^2, \|HV(k, l)\|^2 \right) \cos^{-1} \left(\frac{\langle HV(i, j), HV(k, l) \rangle}{\|HV(i, j)\| \|HV(k, l)\|} \right)}{\max \left(\|HV(i, j)\|^2, \|HV(k, l)\|^2 \right)}_+$$

$$dS(i, j) = \sum_n d(i, j \mid n \leq N) \quad (4.4)$$

(4.3) eşitliğine göre girdi HV alanında yer alan her HV'nin 8-komşuluğunda bulunan HV'ler ile MD ölçümü yapılarak, bu ölçüm değerleri toplanmıştır (4.4). Bunun sonucunda yüksek benzeşmezliğe sahip vektörler, model içinde yer alan komşuluklarıyla ve modele benzerlik göstermediği sonucuna varılarak ayırksı olarak tanımlanmışlardır. Eşitlikte, HV'lerin normlarının karelerinden; minimum olanı maksimum olanına oranlanarak iki HV arasında genlik değişimi rölatif olarak hesaplanmıştır. Bu değişim değeri de iki HV arasındaki faz farkıyla çarpılarak benzeşmezlik değeri hesaplanmıştır. HV'ler arasındaki doğrudan faz farkının hesaplanmasının sebebi mevcut yöntemlerdeki benzeşim ölçümlerinin özellikle küçük HV'ler için gürültüye karşı duyarlı olmasıdır. Bunun anlamı, küçük genlik değerine sahip HV'lerin ayırksı olması durumunun tespit edilmesinin zorlaşmasıdır. Aslında, bu yöntemde iki HV arasında faz farkı kıyaslama için daha baskın olarak görülmektedir. Bunun sonucunda küçük genlikli HV'ler için ayırksı eleman tespitine yönelik hassasiyet artırılmıştır. Yani çalışmada takip edilen metodoloji, özellikle türdeş bölgeler içeren veya düz dokusal (smooth texture) yapıya sahip çerçevelerde sıfır ya da sıfıra yakın bir şekilde oluşan ayırksı küçük HV'lerin bulunma sıklığının daha fazla olması üzerine kuruludur. Gerçek test dizileri ile yapılan deneysel çalışmalarda bu durum net bir şekilde görülmüş ve bu sayede başarı oranı artırılmıştır. Ancak bunun da bir ödünleşim prensibinden hareketle ayırksı büyük genlikli HV'lere karşı hassasiyeti bir

miktar azalttığı söylenebilir. Bu durum özellikle gerçek test dizilerinde ön planı temsil eden büyük genlikli HV'lerin mevcut olması durumunda ortaya çıkmaktadır.

MD ölçümünde kıyaslanan HV'ler için genlik değerlerinin aynı, faz farklarının sıfır olması durumunda genlik benzeşmezliği yaklaşık olarak maksimum (≈ 1) olmaktadır. Bu da ön plana ait HV'lerin ayrıksız olma ihtimaline katkısını artırmaktadır. Ek olarak, önerilen yöntemin yumuşak karar ile çalışması sayesinde ayrıksız HV'ler daha doğru bir sınama ile elde edilmektedir. (4.3) ile verilen eşitlikte doğrudan faz farkını hesaplamak yerine üst kısım skalar çarpım şeklinde yeniden düzenlenerek işlem yükü azaltılmıştır. Nguyen ve Lee (2013) ile Chen ve Bajic (2010) tarafından yapılan çalışmalarla daha adil bir kıyaslama yapabilmek amacıyla girdi HV alanında yer alan vektörlerden en yüksek dS 'e sahip olanların % 30'u ayrıksız HV olarak kabul edilmiştir. Önerilen yöntemin (MD) akış özeti aşağıdaki gibidir:

- HV alanı için tüm hareket vektörlerini girdi olarak al.
- Her HV'nin N komşuluğunda bulunan HV'ler ile benzeşim uzaklığını, $d(i,j)$, hesapla.
- Her HV için toplam benzeşim uzaklığı $dS(i,j)$ 'yi hesapla.
- HV alanında yer alan HV'ler arasından en yüksek dS verenlerin %30'unu ayrıksız olarak tanı.

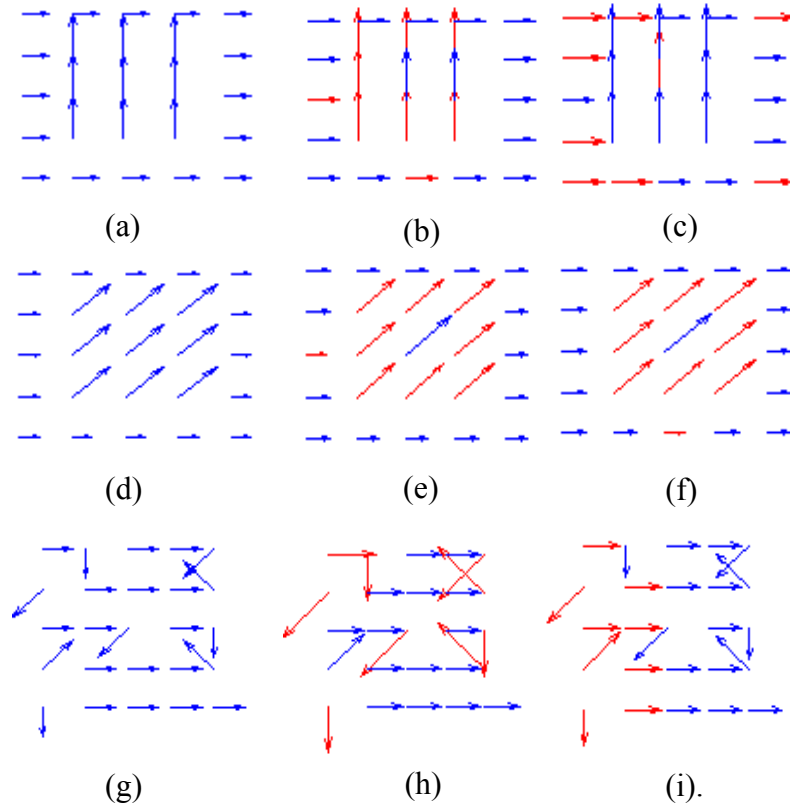
Ayrıksız ayıklama algoritmasından sonra geriye kalan dahili HV'ler GD algoritması ile kullanılarak GHK yapılmıştır.

4.3 Deneyisel Bulgular

Önerilen yöntemde GHK, yinelemeli bir yaklaşımla Gradyant-Azalma Newton-Raphson (GD) algoritması kullanılarak yapılmıştır. Bu yöntemde GHK, 2.6 bölümünde açıklanan kareli hata değerleriyle yapılan iterasyonlara dayalı birkaç işlemten sonra $\square$ modeli içerisinde yer alan ve sürekli güncellenen parametrelerin, belirlenen eşik

değerlerinden daha fazla değişim göstermemesi durumunda □ modeli için global hareket parametreleri olarak kabul edilmesine dayalıdır.

Deneysel çalışmaların ilk aşamasında sadece MD algoritmasının etkinliğini tespit edebilmek amacıyla; ayrıksı ve ön plan etkisi için 5x5'lik bloklar halinde önplanı ve ayrıkıları temsil eden HV alanları oluşturulmuş ve bu alanlarla GHK yapılmıştır. Bu kısımda yapılan çalışmada hareket benzeşim ölçümüyle MD ölçümü karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmada benzeşim ölçümü benzeşmezlik ölçümüne uygun bir şekilde adapte edilmiştir.



Şekil 4.2 Hareket benzeşim-hareket benzeşmezliği ölçümünün ön plan için kıyaslanması

a. Ön planı içeren HV alanı, b. MD ile ayrıksı tespiti, c. Hareket benzeşim ölçümü ile ayrıksı tespiti, d. Ön planı içeren HV alanı, e. MD ile ayrıksı tespiti, f. Hareket benzeşim ölçümü ile ayrıksı tespiti, g. Ayrıkıları içeren HV alanı, h. MD ile ayrıksı tespiti, i. Hareket benzeşim ölçümüyle ayrıksı tespiti.

Benzeşim ölçümünde Yeo vd. (2008) tarafından yapılan çalışmada yüksek benzeşime sahip HV'ler düşük MD ölçümüne, düşük benzeşime sahip HV'ler ise yüksek MD ölçümüne sahip olduğu kabul edilmiş ve düşük hareket benzeşimine sahip HV'ler ayrıksı olarak kabul edilmiştir. Hareket benzeşim ölçümünün ayrıksı tespiti için kullanılmasında ise 4.2 bölümündeki prosedür değiştirilmeden takip edilmiştir. Her HV'nin 8-komşuluğunda yer alan HV'ler ile benzeşim ölçümü yapılarak toplanmış ve ilgili HV'nin toplam benzeşim değeri olarak hesaplanmıştır.

Şekil 4.2'de ölçüm sonuçları kıyaslanmaktadır. Şekil 4.2.a'da HV alanındaki x eksenine dik ve ön planı temsil eden HV'ler görülmektedir. 25 girdi HV'sinin MD algoritması için en yüksek 9 MD ölçüm sonucu veren HV'ler ve hareket benzeşim ölçümü için en düşük 9 benzeşim sonucu veren HV'ler ayrıksı olarak kabul edilmiştir. Şekil 4.2.a'ya dikkat edilirse, özellikle faz farkının yüksek olduğu durumda MD algoritması 1 HV dışındaki tüm ayrıksıları tespit etmede çok iyi sonuç vermiş, hareket benzeşim ölçüm sonucunda ise sadece 1 HV ayrıksı olarak tespit edilmiştir. (Şekil 4.2.b,c) Benzer şekilde ön planın faz farkı açısından çok baskın olmadığı HV'ler için de ölçüm sonuçları MD ve hareket benzeşim ölçümü için oldukça yüksek çıkmıştır. (Şekil 4.2.e,f) Ayrıksı HV'ler için ise Şekil 4.2.g'deki sentezlenen HV'ler için MD algoritmasının 1 HV dışındaki tüm ayrıksıları tespit edebildiği görülmüştür. (Şekil 4.2.g,h,i)

Deneysel çalışmalarda, GHK için en genel model olan izdüşümsel model baz alınmıştır. Global hareket modelleri için, çizelge 4.1'de yer alan parametrelerle sentetik hareket vektör alanları elde edilmiştir. Hareket vektör alanları ise, CIF çözünürlüğünde 16x16'lık bloklar varsayılarak sentezlenmiştir. Örneğin, izdüşümsel model için (M4) sentezlenen HV alanı şekil 2.23.d'de görülmektedir. Diğer yöntemlerle kıyaslama yapabilmek için HV alanı içinde yer alan tüm HV'lere x ve y yönünde bağımsız 0 ortalamalı Gauss gürültüsü eklenmiştir. Performans kriteri, $\square$ modeli kullanılarak oluşturulan sentetik vektör alanı ile GHK yapılarak elde edilen $\hat{a}$ ile oluşturulan HV alanı arasındaki SNR (Sinyal/Gürültü Oranı) değeridir. Bu değer, Su vd. (2005) tarafından yapılan çalışmalarda aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$SNR(a, \hat{a}) = 10 * \log_{10} \left(\frac{\sum_{i=1}^N ((MVx_i(a))^2 + (MVy_i(a))^2)}{\sum_{i=1}^N ((MVx_i(a) - MVx_i(\hat{a}))^2 + (MVy_i(a) - MVy_i(\hat{a}))^2)} \right) \quad (4.5)$$

Eklenen gürültüler içinse standart sapmalar $\sigma=\{0.7,1.5,2.2,3.0\}$ olarak alınmıştır. Çizelge 4.1 de yer alan parametrelerle 2B hareket modelleri oluşturulmuştur. Daha önceden de ifade edildiği gibi parametre sayısı arttıkça daha karmaşık hareketler modellenebilmektedir.

Çizelge 4.1 Global hareket test modelleri

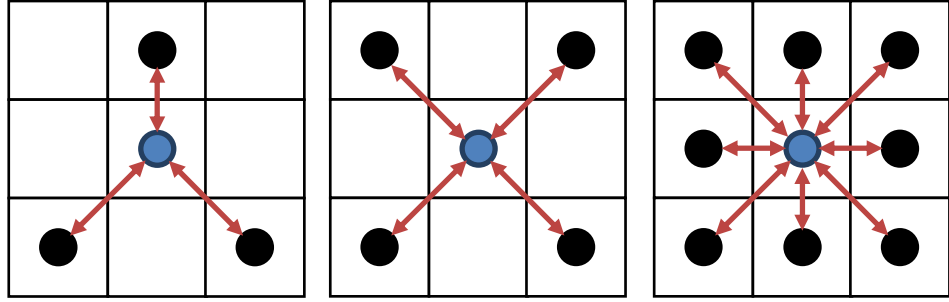
Model	Model Parametreleri
M1	$a = [0.95, 0, 10.4238, 0, 0.95, 5.7927, 0, 0]$
M2	$a = [0.9964, 0.0249, 1.0981, 0.0856, 0.9457, -7.2, 0, 0]$
M3	$a = [0.9964, -0.0249, 6.0981, 0.0249, 0.9964, , 2.5109, -2.7e-5, 1.9e-5];$
M4	$a = [1, 0, 4.4154, 0, 1, 0, -1, -1.13e - 4, 0]$

Deneyssel çalışmalarda, yukarıdaki 4 modelin tümü için önerilen yöntem kullanılarak ayrıksılar yok edilmiş ve GHK yapılmıştır. GHK, çizelge 4.1 kullanılarak 4 model için sentezlenen HV alanlarına 4 farklı standart sapmaya sahip gürültüler eklenerek yapılmıştır. SNR değerleri ve diğer yöntemlerle olan kıyaslamalar çizelge 4.2’de görülmektedir. Önerilen yöntemde yapılan çalışmada, diğer yöntemlerle aynı şartlarda kıyaslama yapabilmek için testlerde her model için 50 kez koşu yapılarak ortalama SNR değerleri hesaplanmıştır. MD_GD için girdi HV alanında yer alan HV’lerin ise Nguyen ve Lee (2013) ile Chen ve Bajic (2010) tarafından yapılan çalışmalarla adil bir kıyaslama için %30’u ayrıksı olarak kabul edilmiştir. TV_GD, CAS_GD, GD, RANSAC, LSS_ME ve FLT_GD olmak üzere mevcut yöntemlerden en güncel olan, 2.6.3.1 bölümünde açıklanan ve en iyi performans veren 6 yaklaşım kıyaslama için kullanılmıştır.

Çizelge 4.2 Gürültü eklenmiş HV alanındaki SNR değerleri (dB) ($N=8$)

Model	Algoritma	Eklenen Gürültünün Standart Sapmaları				Model	Algoritma	Eklenen Gürültünün Standart Sapmaları			
		$\sigma=0.7$	$\sigma=1.5$	$\sigma=2.2$	$\sigma=3.0$			$\sigma=0.7$	$\sigma=1.5$	$\sigma=2.2$	$\sigma=3.0$
M1	MD_GD	34.78	28.47	25.49	21.83	M3	MD_GD	34.42	26.97	23.64	21.09
	TV_GD	34.49	28.35	25.10	22.66		TV_GD	34.97	28.98	25.94	22.20
	CAS_GD	34.42	27.91	24.02	21.07		CAS_GD	34.32	26.66	23.02	20.66
	GD	31.49	25.15	21.92	19.45		GD	33.33	26.00	23.20	20.72
	RANSAC	30.67	22.12	20.05	16.70		RANSAC	33.33	23.77	21.87	18.41
	LSS_ME	33.98	27.45	24.08	20.18		LSS_ME	35.64	28.42	24.82	21.50
	FLT_GD	28.39	16.75	8.14	4.75		FLT_GD	31.01	17.86	11.84	6.23
M2	MD_GD	37.60	31.17	28.28	25.75	M4	MD_GD	36.64	29.98	26.23	23.23
	TV_GD	38.01	32.66	28.58	25.71		TV_GD	37.73	31.23	28.44	25.84
	CAS_GD	37.30	30.99	28.08	25.06		CAS_GD	37.02	29.97	25.98	22.94
	GD	35.38	29.11	26.34	23.73		GD	35.70	29.87	25.77	23.17
	RANSAC	33.93	25.75	23.92	20.45		RANSAC	36.53	26.57	24.25	21.06
	LSS_ME	37.63	30.98	27.50	24.49		LSS_ME	37.92	31.69	27.81	24.53
	FLT_GD	33.14	23.34	16.60	13.01		FLT_GD	34.42	23.78	16.58	14.12

Yukarıdaki çizelge'den görüldüğü gibi MD_GD, eklenen gürültüye rağmen yüksek SNR vermiştir. SNR kıyaslamalarında MD_GD'in yüksek performans veren CAS_GD ve TV_GD ile yakın olduğu gözlenmiştir. Tez çalışması kapsamında benzeşmezlik ölçümünde farklı bir komşuluk modeli de kurgulanmıştır. Bu kurguda üçgensel ve diyagonal komşuluklar kullanılarak da GHK performansları kıyaslanmıştır. Üçgensel komşuluk prensibine göre mavi daire ile gösterilen merkezi blokta yer alan HV, komşuluğunda yer alan ve siyah ile gösterilen blok içinde yer alan 3 HV ile benzeşmezlik ölçümüne tabi tutulmuştur. ($N=3$) Diyagonal komşuluk prensibine göre ise mavi daire ile gösterilen merkezi blokta yer alan HV, komşuluğunda yer alan ve siyah ile gösterilen blok içinde yer alan 4 HV ile benzeşmezlik ölçümüne tabi tutulmuştur. ($N=4$). Son kısımda ise 8-komşuluk prensibine göre 8 HV ile benzeşmezlik ölçümü yapılmıştır. ($N=8$)



Şekil 4.3 Benzeşmezlik ölçümü için farklı komşuluklar

a. Üçgensel, b. Diyagonal, c. 8-komşuluk

MD_GD'nin ortalama olarak M1 ve M2 modelleri için $N=8$ olmak üzere TV_GD haricindeki tüm yöntemlerden yüksek SNR verdiği görülmektedir. Çizelge 4.3'e dikkat edilecek olursa SNR performanslarında MD_GD'nin üçgensel ve diyagonal komşuluklarda özellikle gürültünün varyansının artması durumunda $\sigma=2.2$ ve $\sigma=3.0$ için yüksek performans verdiği gözlenmiştir. Ek olarak, farklı komşuluklar için genel olarak SNR değerlerinin 8-komşuluğa göre çok fazla farkı olmadığı da görülmüş, bunun yanında işlem yükü kısaltılmıştır.

Çizelge 4.3 MD_GD'nin üçgensel ve diyagonal komşuluklar için SNR değerleri

MD_GD	N	Eklenen Gürültünün Standart Sapmaları			
		$\sigma = 0.7$	$\sigma = 1.5$	$\sigma = 2.2$	$\sigma = 3.0$
M1	3	34.35	27.91	25.45	22.35
M2		38.08	31.21	28.00	26.14
M3		33.39	28.02	25.00	21.75
M4		36.71	30.55	27.39	24.47
M1	4	34.13	27.98	25.24	21.97
M2		38.03	31.49	28.45	25.53
M3		33.53	27.01	23.94	20.82
M4		36.91	30.87	26.88	23.89

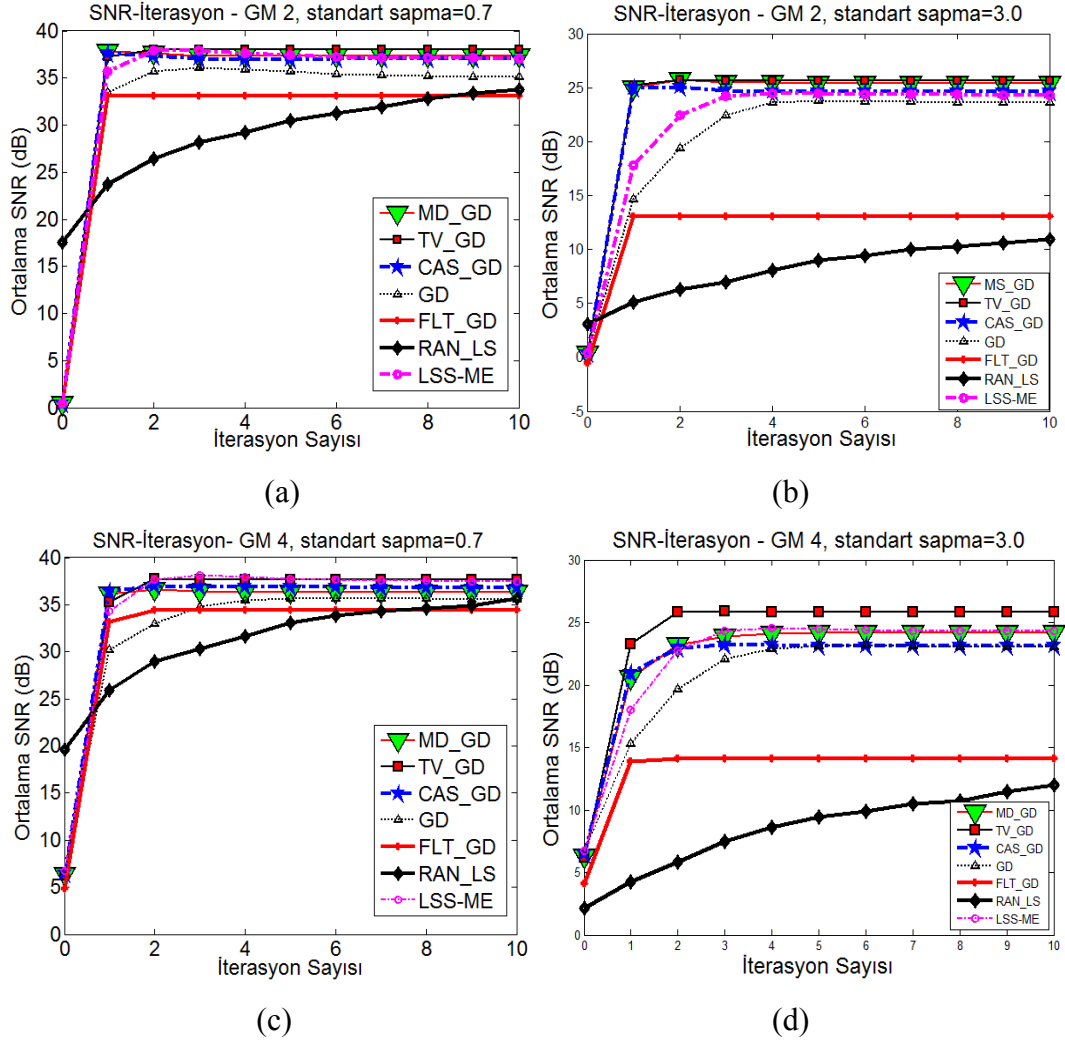
MD_GD'in; CAS_GD, GD, FLT_GD, ve RANSAC'a göre özellikle gürültünün varyansının artması durumundaki SNR düşüşleri daha az olmuştur. MD_GD; GD, RANSAC, LSS-ME'ye göre daha az iterasyonla parametre değerlerine yakınsamaktadır. FLT_GD, yöntemler içerisinde en düşük SNR vermektedir. Bunun temel sebebi, ilgili

yöntem içindeki çok fazla HV'nin ayrık olarak tanımlanmasıdır. Yukarıdaki SNR değerlerine ulaşabilmek için MD_GD, TV_GD, CAS_GD ve FLT_GD için 2 iterasyon, GD için 6, LSS_ME için 4 iterasyon yapılmıştır. RANSAC için yapılan iterasyon sayısı çizelge 4.3'te görülmektedir. RANSAC yöntemi diğerlerine nazaran yakınsama için çok fazla iterasyon yapmaktadır. Bunun temel sebebi de istenen SNR değerine ulaşabilmek için seçilen alt kümeye çok fazla iterasyon sonucu ancak ulaşılmasıdır. Sonuçlar için TV_GD yönteminde oylama aralığı (voting range) 50 olarak alınmıştır.

Çizelge 4.4 Ortalama İterasyon Sayısı ($N=3, N=4$ ve $N=8$ için)

Yöntemler	$\sigma = 0.7$	$\sigma = 1.5$	$\sigma = 2.2$	$\sigma = 3.0$
MD GD	2	2	2	2
TV GD	2	2	2	2
CAS GD	2	2	2	2
GD	6	6	6	6
RANSAC	14	132	500	500
LSS ME	4	4	4	4
FLT GD	2	2	2	2

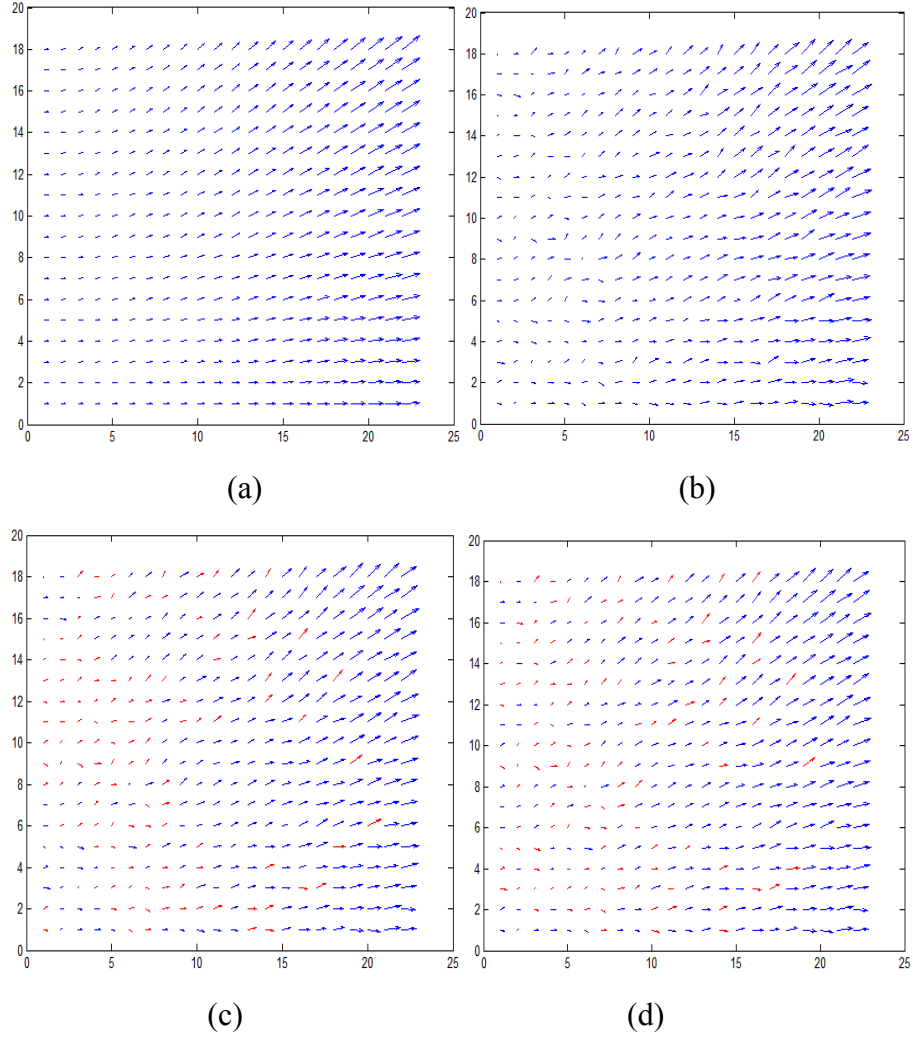
Diğer yöntemlerle yapılan kıyaslamaların SNR-iterasyon şeklindeki grafiksel gösterimi şekil 4.4'te görülmektedir. Bu gösterimde CAS_GD ile aynı format kullanılmıştır. Şekil 4.4'te M2 ve M4 için standart sapması $\sigma = \{0.7, 3.0\}$ olan gürültüler eklenmiştir. MD_GD, 2 iterasyonda yakınsama sağlamakta, gürültünün varyansı artırıldığında SNR değerlerinin çok bozulmadığı gözlenmektedir. MD_GD'in, TV_GD'ye göre daha yüksek performans verdiği gözlenmiştir.



Şekil 4.4 Sentezlenen HV alanında eklenen gürültülerle yapılan SNR karşılaştırması

a. GM2 $\sigma = 0.7$, b. GM2 $\sigma = 3.0$, c. GM4 $\sigma = 0.7$, d. GM4 $\sigma = 3.0$ ($N=8$)

Şekil 4.5'te MD_GD yöntemindeki ayrıksı HV'ler görülmektedir. Bu HV'ler kırmızı renk ile gösterilmiştir. Şekil 4.5'ten görüldüğü gibi önerilen algoritma ile daha küçük genliğe sahip ayrıksıların tespit oranı artmıştır. Dikkat edilirse kırmızı renkli vektörlerin yönelim olarak komşuluğunda yer alan HV'lerden farklı olduğu görülmektedir. Şekil 4.5.c,d'de CAS_GD ile MD_GD için benzer ayrıksıların tespit edildiği görülmektedir.



Şekil 4.5.a. İzdüşümsel model için sentezlenen HV alanı, b. HV alanına $\sigma=1.5$ eklenerek elde edilen gürültülü HV alanı, c. CAS_GD yöntemine göre $\sigma=1.5$ için tespit edilen ayrık HV'ler (kırmızı vektörler), d. MD_GD yöntemine göre $\sigma=1.5$ için tespit edilen ayrık HV'ler (kırmızı vektörler)

Bu noktada, sentetik HV alanlarına neden gürültü eklenerek performans ölçümü yapıldığı sorusu akla gelmektedir. Bilindiği üzere blok eşleme algoritmalarında 2.6.2.1 kısmında açıklanan hatalar sonucu ayrık HV'ler oluşabilmektedir. Dolayısıyla sadece kamera hareketini temsil eden HV alanına modelleme amacıyla gürültü eklenerek gerçek HV alanına yakınsama yapılmıştır.

Deneyisel çalışmalarda ikinci olarak HV-temelli GHK için önerilen yöntemin doğruluğunun hesaplanabilmesi amacıyla, gerçek test dizilerinden çekilen HV'ler ile

GHK yapılmıştır. Bunun için, gerçek video dizileri üzerinde çerçevelerdeki hareket bilgisini bulmak amacıyla tam kapsamlı arama (exhaustive search) yapılarak hareket kestirimi ile HV'ler çıkarılmış ve HV alanları elde edilmiştir. Çıkarılan HV'ler üzerinde her çerçeve için ayrık ayıklama ve GHK'den sonra GHD yapılmıştır. GHD, global HV kullanılarak Haller vd. (2009) tarafından yapılan çalışmada kullanılan yöntemle göre aktüel çerçevenin referans çerçeve üzerine çift doğrusal ara değerlendirme (bilinear interpolation) ile karşılaştırılmasıyla yapılmıştır. Daha açık bir ifadeyle, karşılaştırma yapılan çerçeve ile referans çerçeve birbirine ne kadar yakınsa GHK o kadar doğru yapılmış anlamına gelir. İki çerçeve arasındaki kıyaslama ise bilinen PSNR ile gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışma, çeşitli kamera hareketlerinin olduğu gerçek 9 video test dizisiyle yapılmıştır. Tam kapsamlı arama ise 8x8'lik bloklarla yapılmıştır. Çizelge 4.5-4.6'da sırasıyla PSNR değerleri ve ortalama işlem zamanları görülmektedir.

Çizelge 4.5 Gerçek test dizileriyle GHD sonucu elde edilen ortalama PSNR değerleri (dB)

Video Dizisi	MD.GD	TV.GD	CAS.GD	FLT.GD	GD	RAN.LS	LSS.ME
<i>Flower Garden</i>	23.73	24.45	24.03	22.92	24.86	23.87	24.35
<i>Stefan</i>	24.16	24.30	24.60	22.16	24.52	24.72	24.60
<i>City</i>	29.61	29.46	29.48	29.26	28.70	29.58	29.90
<i>Tempete</i>	27.49	27.91	27.83	24.98	26.51	27.84	27.66
<i>Waterfall</i>	34.94	34.85	34.86	24.25	34.71	35.49	34.69
<i>Mobile</i>	24.84	24.15	23.48	22.69	23.91	24.73	24.97
<i>Tennis</i>	21.84	21.77	21.74	20.01	21.84	21.82	21.85
<i>Foreman</i>	24.41	24.38	24.17	23.34	24.80	24.65	24.81
<i>Coastguard</i>	26.88	26.86	26.78	26.91	26.54	26.98	26.83
Ortalama	26.43	26.46	26.33	24.06	26.27	26.63	26.63

Çizelge 4.5'te yer alan veriler her bir gerçek test dizisi için hesaplanan PSNR değerlerinin ortalamasını ifade etmektedir. Her test dizisi için, belirli bir sayıda çerçevenin PSNR ortalaması alınmış, bunlar da dizi-ilişkili yöntem kısmına konulmuştur. Daha sonra 9 test dizisi için, bu ortalama PSNR değerlerinin de ortalaması alınmıştır. Bu sayede diğer yöntemlerle daha iyi bir kıyaslama yapılmasına imkan sağlanmıştır. Gerçek test dizileri için yapılan iterasyon sayısı ise MD_GD, TV_GD, CAS_GD ve FLT_GD için 1, GD için 6, LSS_ME için 4 olarak alınmıştır. TV_GD için oylama aralığı 30 olarak alınmıştır. LSS_ME'de, c parametresi 2'ye ayarlanmıştır. TV_GD

yönteminde ölçek faktörü $c = \frac{-16 \log(0.1) x (V_r - 1)}{\pi^2}$ olarak alınmıştır. Testler için, 2B oylama çekirdeği 90°'lik normal vektörü ve kesim açısı olarak $\alpha=45^\circ$ olarak ayarlanmıştır. TV_GD'de yeni tensörler kodlandıktan ve özvektörler ile özdeğerlere ayrıştırıldıktan sonra tüm özdeğerler için λ_1 ve λ_2 değerleri kullanılarak maksimum belirginlik değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra maksimum belirginliğin 1/3'ü oranında eşik değeri bulunmuştur. Bu eşik değerinden daha fazla belirginliğe sahip özvektörler, bu belirginliğe sahip veya yakın olan özvektör ile yeri değiştirilmiştir. Bu da HV alanını yumuşatmak için yapılmıştır. “Foreman” dizisi için kamera hareketi yaklaşık olarak 50. çerçeveden sonra başladığı için bu dizi için 300 çerçeve testlere dahil edilmiştir.

Çizelge 4.6 Tüm HV-GME yöntemleri için PSNR değerleri

Video Dizisi	MD.GD	TV.GD	CAS.GD	FLT.GD	GD	RAN.LS	LSS.ME
<i>Flower Garden</i>	32.2	39.6	28.1	25.5	32.3	98.6	118.8
<i>Stefan</i>	30.1	33.4	33.6	32.2	36.7	129.4	135.8
<i>City</i>	34.4	37.3	38.9	37.0	47.5	101.8	173.7
<i>Tempete</i>	35.8	38.2	38.2	29.5	36.9	91.9	175.9
<i>Waterfall</i>	39.2	44.8	37.9	27.9	43.1	76.0	179.0
<i>Mobile</i>	36.4	46.4	35.3	26.4	44.2	84.5	215.8
<i>Tennis</i>	30.6	35.4	30.5	16.4	38.6	84.4	146.2
<i>Foreman</i>	35.6	48.2	32.1	22.5	43.2	77.6	206.8
<i>Coastguard</i>	34.2	40.2	38.2	29.6	37.5	91.8	179.9
Ortalama	34.3	40.4	34.8	27.4	40.0	92.9	170.2

Çizelge 4.8’de ilgili yöntemler için hesaplanan toplam işlem zamanları kıyaslanmaktadır. Bu işlem zamanları, her çerçeve için ortalama değerler olup, tüm ayıklama, GHK ve GHD işlemlerini kapsamaktadır.

Çizelge 4.7’de ise üçgensel ve diyagonal komşuluklar da elde edilen PSNR değerleri görülmektedir. Çizelge’ye dikkat edilirse $N=3$ için en yüksek PSNR değerlerine ulaşılmıştır. Bu sonuç mevcut yöntemlerden en iyi PSNR performansı veren TV_GD’ye göre yaklaşık olarak 0.12 dB daha yüksek anlamına gelmektedir. Diyagonal komşuluk için de PSNR değerleri oldukça yüksek çıkmıştır. Dikkat edilirse, daha az komşuluk ile

yapılan benzeşmezlik ölçümü işlem yükünü kısaltması yanında (ki 26.40 ms ile en kısa süre olarak değerlendirilebilir) PSNR performansını artırmıştır.

Çizelge 4.7 Üçgensel ve diyagonal komşuluklar için PSNR değerleri ($N=3$, $N=4$)

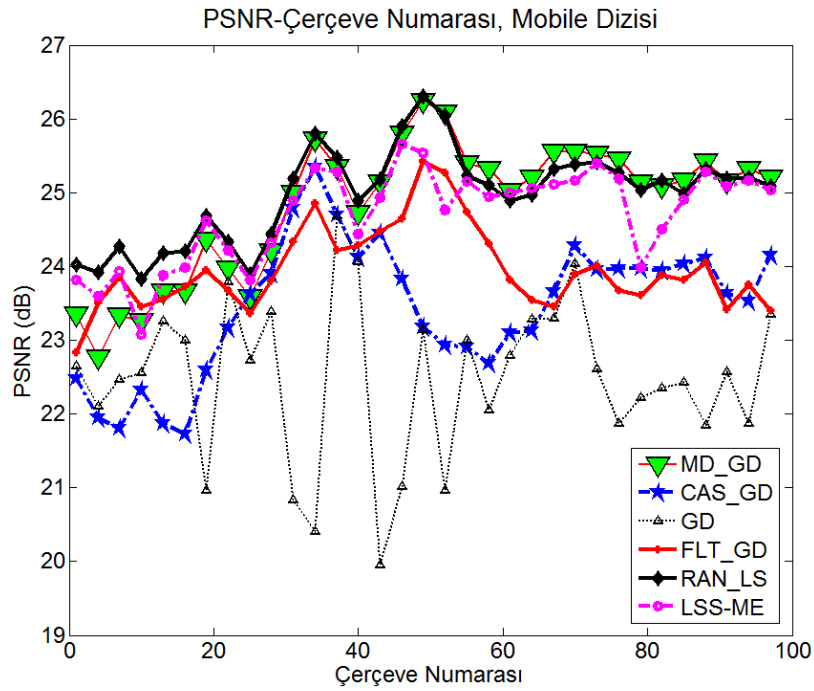
<i>Video Dizileri</i>	<i>PSNR</i>	<i>İşlem Zamanı</i>	<i>PSNR</i>	<i>İşlem Zamanı</i>
<i>Flower Garden</i>	23.96	25,02	23.88	25,40
<i>Stefan</i>	24.61	24,03	24.37	24,55
<i>City</i>	29.73	26,10	29.46	26,15
<i>Tempete</i>	27.68	27,70	27.63	28,12
<i>Waterfall</i>	34.91	29,06	34.93	30,01
<i>Mobile</i>	24.85	27,04	24.86	28,15
<i>Tennis</i>	22.10	25,01	22.12	26,30
<i>Foreman</i>	24.48	27,08	24.44	27,80
<i>Coastguard</i>	26.86	26,60	26.86	29,35
<i>Ortalama</i>	26.58	26,40	26.51	27,31

TV_GD yöntemi MD_GD'deki $N=8$ olmak üzere en iyi PSNR performansı göstermesine rağmen işlem zamanı tensör oylama nedeniyle her çerçeve için yaklaşık 1.2 sn (MATLAB da yaklaşık her çerçeve için 1.2 sn işlem zamanı hesaplanmıştır) civarında gerçekleşmiştir. Tüm yöntemler MATLAB'da uygulanmış ve Intel Core i7, 2.20 GHz işlemci ve 8 GB RAM'li, Windows 7 işletim sistemli bilgisayarda koşturulmuştur.

Çizelge 4.8 Tüm HV-GHK yöntemleri için ortalama işlem zamanları (ms) ($N=8$)

Video Dizisi	MD.GD	TV.GD	CAS.GD	FLT.GD	GD	RAN.LS	LSS.ME
<i>Flower Garden</i>	32.2	39.6	28.1	25.5	32.3	98.6	118.8
<i>Stefan</i>	30.1	33.4	33.6	32.2	36.7	129.4	135.8
<i>City</i>	34.4	37.3	38.9	37.0	47.5	101.8	173.7
<i>Tempete</i>	35.8	38.2	38.2	29.5	36.9	91.9	175.9
<i>Waterfall</i>	39.2	44.8	37.9	27.9	43.1	76.0	179.0
<i>Mobile</i>	36.4	46.4	35.3	26.4	44.2	84.5	215.8
<i>Tennis</i>	30.6	35.4	30.5	16.4	38.6	84.4	146.2
<i>Foreman</i>	35.6	48.2	32.1	22.5	43.2	77.6	206.8
<i>Coastguard</i>	34.2	40.2	38.2	29.6	37.5	91.8	179.9
<i>Ortalama</i>	34.3	40.4	34.8	27.4	40.0	92.9	170.2

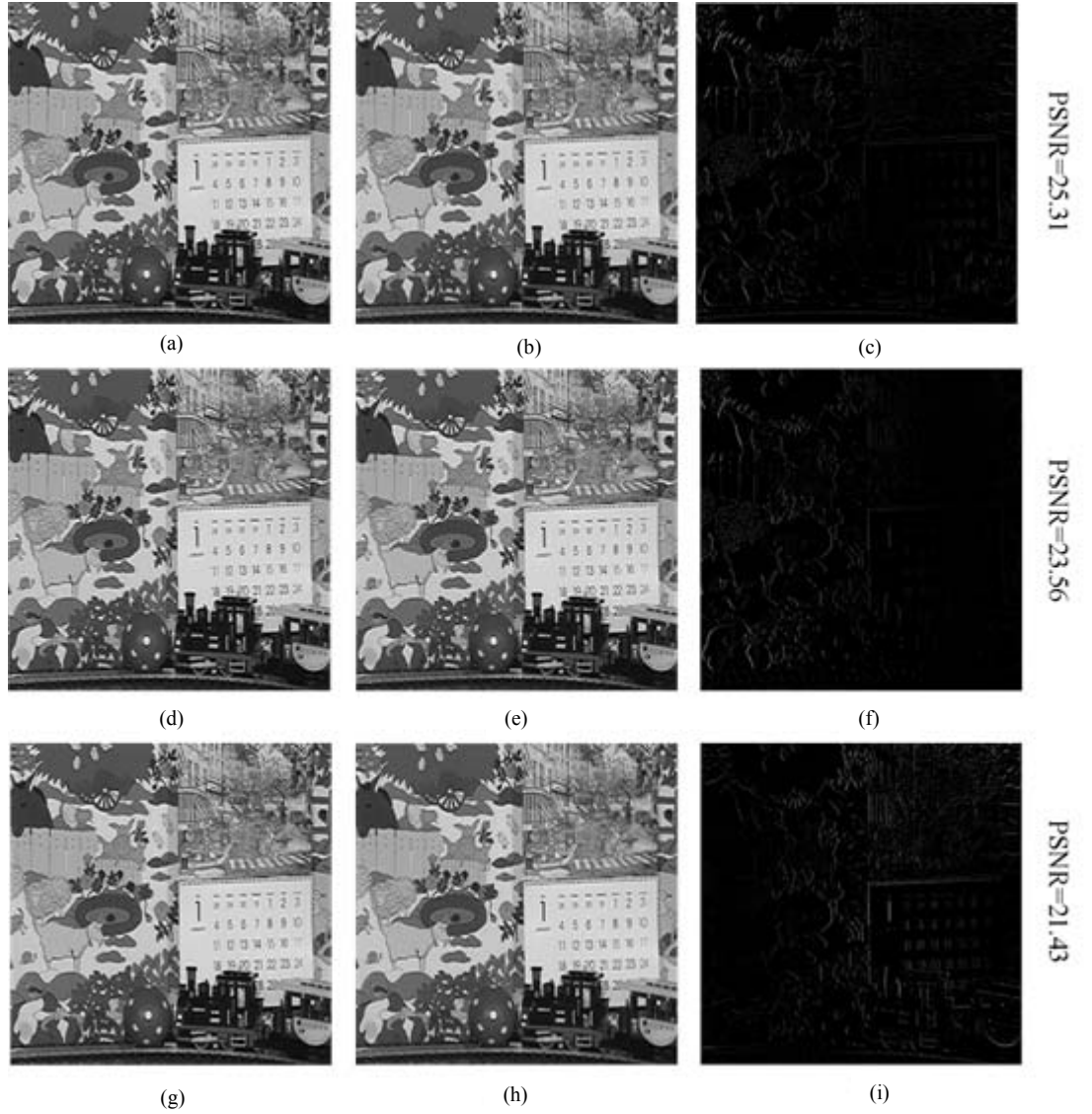
Çizelge 4.6-4.7’de yer alan veriler değerlendirildiğinde, MD_GD’nin TV_GD’ye göre PSNR değerlerinde $N=8$ için çok küçük bir düşüş (yaklaşık 0.03 dB) gözlenmiştir. Bunun temel sebebi de daha önceden ifade edildiği gibi yüksek genlikli HV’lerin ön plan etkisi için ayrık hassasiyetinin algoritmasının bir miktar azalmasıdır. Ancak sonuçların oldukça başarılı olduğu görülmektedir. TV_GD yöntemi RANSAC ve LSS_ME ile birlikte en yüksek PSNR değerlerini vermiştir. RANSAC ve LSS_ME ise iterasyon sayılarından dolayı çok fazla zaman harcamaktadır. MD_GD’nin en başarılı yöntemlerden CAS_GD ile PSNR ve işlem yükü açısından çok yakın sonuçlar verdiği görülmektedir. FLT_GD ise işlem yükü açısından en düşük zaman harcamasına sahip yöntem olsa da en düşük PSNR değerini vermektedir. Sonuçlara genel olarak bakılırsa MD_GD’nin TV_GD ‘den çok küçük bir farkla olsa da tüm yöntemler içinde en iyi doğruluk-karmaşıklık ödünleşimini verdiği görülmektedir.



Şekil 4.6 Mobile Dizisi için PSNR-Çerçeve Numarası değerleri

Şekil 4.6’da çerçeve numaralarına bağlı olarak elde edilen PSNR değerleri görülmektedir. Deneyler sonucunda, MD_GD ile elde edilen PSNR değerlerinin fazla sapma göstermediği görülmüştür. GD ise tek başına oldukça fazla sapma göstermiştir.

Deneysel çalışmalarda GHK başarımını görsel olarak ifade edebilmek amacıyla uygulanan diğer bir yöntemde ise GHD ile elde edilen dengelenmiş çerçeve, referans çerçeve ve artık çerçeve (referans çerçeve ve dengelenmiş çerçeve arasındaki fark.) gösterimi yapılmıştır. Bu amaçla “Coastguard” dizisinin 100.çerçevesi için Şekil 4.7’de MD_GD, GD ve FLT algoritmaları için referans çerçeveler, dengelenmiş çerçeveler ve artık çerçeveler görülmektedir.



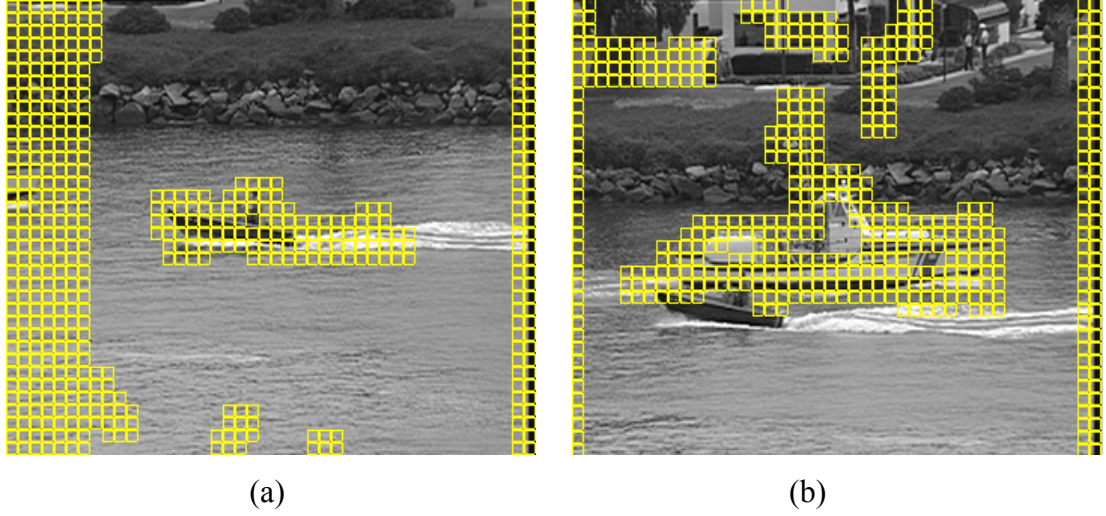
Şekil 4.7.a.d.g Referans çerçeve, b. Dengelenmiş çerçeve (MD_GD), c. Artıklık çerçevesi (MD_GD), e. Dengelenmiş çerçeve (GD), f. Artıklık çerçevesi (GD), h. Dengelenmiş çerçeve (FLT_GD), i. Artıklık çerçevesi (FLT_GD)

Şekil 4.7'ye dikkat edilecek olursa dengelenmiş çerçeveden hangi GHK algoritmasının başarımının iyi olduğu anlaşılamamaktadır. Ancak artıklık çerçevesine bakıldığında aradaki farklar daha belirgin olarak görülmektedir. MD_GD algoritması ile GD algoritması arasında yaklaşık olarak 2 dB'lik bir PSNR farkı olduğu görülmektedir. GD ile FLT_GD arasında yaklaşık 2 dB'lik bir fark bulunmaktadır. GHK performansında artıklık çerçeveleri daha net bir şekilde görülmüştür.

Çizelge 4.9 Gerçek video dizileri için (4.5) eşitliğine göre SNR değerleri

Video Dizisi	MD.GD	TV.GD	CAS.GD	FLT.GD	GD	RAN.LS	LSS.ME
<i>Flower Garden</i>	0.91	1.08	1.07	1.30	0.95	1.06	1.10
<i>Stefan</i>	0.91	1.03	0.70	-0.15	0.88	0.77	0.98
<i>City</i>	0.65	0.68	0.64	0.66	0.60	0.65	0.67
<i>Tempete</i>	0	0.05	-0.01	-0.4	0	0	0
<i>Waterfall</i>	0.24	0.22	0.26	-15	0.04	0.49	0.01
<i>Coastguard</i>	2.17	2.34	2.16	2.07	2.12	2.18	2.17
<i>Mobile</i>	0.04	0.06	0	0	0.02	0.04	0.05
Ortalama	0.7	0.9	0.69	-1.6	0.66	0.74	0.71

Çizelge 4.9'da ise (4.5) eşitliği kullanılarak SNR kıyaslaması yapılmıştır. Ancak dikkat edilirse buradaki SNR değerlerinin daha küçük olduğu görülecektir. Bunun temel sebebi de kestirilmiş parametre değerlerinin orijinal parametrelere göre oldukça uzak olması ve idealde gerçek kamera hareketini doğrudan temsil eden bir video çerçevesinin bulunma zorluğudur. Aynı zamanda konvansiyonel PSNR'daki paydaki 255² değerini burada daha küçük olan HV'lerin genlikleri almıştır. Bu nedenle SNR değerleri oldukça düşük çıkmıştır. Sonuç olarak MD_GD'nin TV_GD'den 0.2 dB daha düşük sonuç verdiği, diğer yöntemlere kıyasla oldukça yakın veya daha fazla olduğu görülmüştür.



Şekil 4.8 Coastguard dizisi için ayrıksı HV'lere ait sarı bloklar

a. 3. Çerçeve, b. 83.çerçeve ($N=8$)

Şekil 4.8'de Coastguard dizisindeki 3. ve 83. çerçeveler için tespit edilen ayrıksı HV'lere ait sarı renkli bloklar görülmektedir. Şekil 4.8'den görüldüğü gibi kameranın yatay hareketi esnasında özellikle çerçevenin sol kısmındaki kenar bölgesinde yeni bloklar ortaya çıkmış, sağ kısmındaki kenar bölgesindeki bloklar ise kaybolmuşlardır. Bunun yüzünden bu bloklar ayrıksı olarak tespit edilmiştir. Bunun temel sebebi ise bu kısımlarda yer alan blokların blok eşleme sonucu uyum sağlayacak eşleniklerinin bulunamamasıdır. Ek olarak, 3. çerçevedeki küçük tekne ön plan olduğu için ayrıksı olarak tespit edilmiştir. Yine 83. çerçeve için büyük yat ön plan olduğundan ayrıksı olarak tanımlanmıştır. Sonuç olarak önerilen algoritma ile doğruluk-karmaşıklık için oldukça iyi bir ödünleşim elde edilmiştir.

5. SONUÇ

Bu çalışmada, doğru bir Global Hareket Kestirimi için ayrıksı olarak nitelendirilen ön plan ve gürültü etkilerinin ayıklanmasına yönelik yeni bir yöntem sunulmuştur. Önerilen yöntem, sentetik ve gerçek dizilerden çekilen HV alanlarıyla test edilmiştir. Bu algoritma ile oldukça iyi bir GHK performansı elde edilmiş, bunun yanı sıra formülasyon yapısı sayesinde işlem yükü oldukça az bir sonuç ortaya çıkmıştır. Kullanılan algoritmanın, kamera hareket karakterizasyonu, MPEG-7 global hareket tanımlayıcıları gibi doğrudan uygulamalarda kullanımı mümkün olmakla birlikte hareketli nesne bölütleme-takip gibi yapılması muhtemel çalışmalarda başarımlarını oldukça artırabilmesi mümkündür. Bu doğrultuda bu algoritmanın yeni çalışmalara kapı açacağı değerlendirilmektedir. Ek olarak, matematiksel kurgusu birbirinden çok farklı algoritmaların başarımları da bu çalışma sayesinde ortaya çıkarılmıştır.

Önerilen algoritmanın en büyük avantajı genlik ve faz ölçümlerinin tek bir formülasyonda toplanmasıdır. Bu sayede işlem yükü oldukça azaltılmıştır. Genlik benzeşmezlik ölçümünde iki HV arasındaki genlik farkı ne kadar yüksekse, genlik ölçümü de o kadar düşük olmaktadır. Bu sayede faz ölçümü de normalize edilmiştir. Çalışmanın başlangıcında genlik ölçümünde tam tersi düşünülmüş, doğal olarak daha iyi olması beklenen sonuçlar (GHK performansı) oldukça kötü çıkmıştır. Bunun en büyük sebebi de daha önceden ifade edildiği faz ölçümünün kabaca dağılım göstermesidir. Genlik benzeşmezlik ölçümüyle de küçük genlikli ayrıksı HV'lerin tespit edilme oranı hem artırılmış, faz farkları da normalize edilmiştir.

Yapılan çalışmanın diğer bir avantajı da gerçek zamanlı iletişim uygulamalarında yer alabilecek bir kurguda olmasıdır. Çerçeve başına işlem yükünün milisaniyeler civarında olması, bu çalışmanın H.264 ve HEVC gibi en yeni video kodlama standartlarına adapte edilebilmesine imkan sağlayabilecektir.

KAYNAKLAR

- Alzoubi, H. and Pan, W.D. 2007. Efficient global motion estimation using fixed and random subsampling patterns. Proceedings: IEEE International Conference on Image Processing, Vol 1; p.477–480.
- Anderson, C. 2009. Gradient Descent. Colorado State University Department of Computer Science Lecture Notes, USA.
- Antoniou, A. and Wu, S.L. 2007. Practical Optimization Algorithms and Engineering Applications. Springer Science+Business Media LLC, 669 p., USA.
- Chen, Y.-M. and Bajic, I.V. 2010. Motion Vector Outlier Rejection Cascade for Global Motion Estimation. IEEE Signal Processing Letters, 17(2); 197-200.
- Collins, P. 2012. Lecture 12: Camera Projection (Extrinsics). Fall 2007 Lecture Notes, USA.
- Dante, A. and Brookes, M. 2003. Precise real-time outlier removal from motion vector fields for 3D reconstruction. Proceedings: IEEE International Conference on Image Processing, Vol 1, p.393-396.
- Dufaux, F. and Konrad, J. 2000. Efficient, robust, and fast global motion estimation for video coding. IEEE Transactions on Image Processing, 9(3); 497–501.
- Efros, A., Berg, A., Mori, G. and Malik, J. 2003. Recognizing action at a distance. Proceedings of the Ninth IEEE International Conference on Computer Vision, Vol 2, p.726–733.
- Farin, D. 2005. Automatic Video Segmentation Employing Object/Camera Modeling. Ph.D.Thesis. Technische Universiteit Eindhoven, Netherland.
- Farin, D. and With, P. 2007. Evaluation of a Feature-Based Global-Motion Estimation System Proceedings Visual Communications and Image Processing (VCIP), Vol 5960, (1331-1342).
- Faugeras, O. 1993. Three Dimensional Geometric Vision. A geometric viewpoint. The MIT Press Cambridge, 695 p., London
- Fischler, M. and Bolles, R. 1981. Random sample consensus: A paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography. Communications of the ACM, 24(6), p.381–395.
- Gillepsie, W.J. and Nguyen, D.T. 2004. Robust estimation of camera motion in MPEG domain. Proceedings: TENCON, Vol 1, p.395 – 398.
- Guerreiro, R. and Aguiar, P. 2006. Global Motion Estimation: Feature-Based, Featureless, or Both ?!. ICIAR, Vol 4141, p.721–730.

- Guest, I.W. 2004. Tensor Voting on Sparse Motion Vector Estimation. Fifteenth Annual Symposium of the Pattern Recognition, p.7-12; South Africa.
- Haller, M., Krutz, A. and Sikora, T. 2009. Evaluation of pixel-and motion vector-based global motion estimation for camera motion characterization. Proceedings of Workshop on Image Analysis for Multimedia Interactive Services, p.49-52.
- Hartley, M., Krutz, A. and Zisserman, A. 2004. Multiple view geometry in computer vision. Cambridge University Press, 646 p., England
- Ilgin, H.A. 2004. Sayısal Video İşaret İşleme. Ankara Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü Ders Notları. Ankara.
- Illingworth, J. 1999. Alexandre Bayen's lecture on Steepest Descent. Advanced Signal Processing: Lecture Slides, England.
- Anonymous. 2001. MPEG-4 Video Verification Model. ISO/IEC JTC1/SC29/WG11. version 18.0. N4350.
- Kroo, I. and Martins, J. 2006. Gradient-based Optimization. Research Consortium for Multidisciplinary System Design Workshop, USA.
- Medioni, G., Tang, C.K. and Lee, M.S. 2000. Tensor Voting: Theory and Applications. Proceedings of RFIA.
- Neumann, B. 2007. Perspective Projection Transformation. Multimedia Applications and Image Processing. Lecture Slides, Germany
- Nguyen, T. D. and Lee, G. 2013. Tensor voting based outlier removal for global motion estimation. International Journal of Innovative Computing, Information and Control. 9(1); 179-190.
- Phadtare, M. 2007. Motion Estimation Techniques in Video Processing. Electronic Engineering Times, p.1-4; India
- Press, W. H., Teukolsky, S.A., Vetterling, W. T. and Flannery, B.P. 1988. Numerical Recipes in C: The Art of Scientific Computing. Cambridge Univ. Press, 920 p., England
- Anonim. 2012. Video Compression. InTech, p.98, People's Republic of China.
- Richardson, I. 2004. H.264 and MPEG-4 Video Compression Video Coding for Next-generation Multimedia. John Wiley & Sons Ltd., 280 p., England.
- Shi, J. and Tomasi, C. 1994. Good features to track. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), p.593–600.

- Smolic, A., Hoeyneck, M. and Ohm, J.R. 2000. Proceedings: Low-complexity global motion estimation from P-frame motion vectors for MPEG-7 applications. IEEE International Conference on Image Processing, Vol 1, p.271-274.
- Soldatov, S., Strelnikov, K. and Vatolin, D. 2006. Low Complexity Global Motion Estimation from Block Motion Vectors. Spring Conference on Computer Graphics, p.1-8.
- Sorwar, G., Murshed, M. and Dooley, L. 2004. Fast Block-Based True Motion Estimation Using Distance Dependent Thresholds. Journal of Research and Practice in Information Technology, 36(3); 157-169.
- Stiller, C. and Konrad, J. 1999. Estimating motion in image sequences, a tutorial on modeling and computation of 2D motion. IEEE Signal Processing Magazine, 16; 70-91.
- Su, Y., Sun, M.-T. and Hsu, V. 2005. Global motion estimation from coarsely sampled motion vector field and the applications. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 15(2); 232-242.
- Sun, S., Haynor, S. and Kim, Y. 2003. Semiautomatic video object segmentation using V Snakes. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 13 (1); 75-82.
- Tang, C.K. 1999. Tensor voting in computer vision, visualization, and higher dimensional inferences. Master Thesis. University of Southern California, Computer Science Department, USA.
- Tunç, S. 2010. Şekil Eşlemeye Dayalı Nesne Takibi Yöntemi Kullanarak Video Kodlama. Yüksek Lisans Tezi. Ankara Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü. Ankara.
- Viola, P. and Jones, M. 2001. Rapid object detection using a boosted cascade of simple features. Proceedings: IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Vol 1, p.511-518.
- Wiegand, T., Sullivan, G.J., Bjontegaard, G. and Luthra, A. 2003. Overview of the H. 264/AVC video coding standard. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 13(1); 560–576.
- Wu,T.P., Jiaya, J. and Tang, C.K. 2009. A closed-form solution to tensor voting for robust parameter estimation via expectation maximization. Technical report, HKUST.
- Yeo, C., Ahammad, P., Ramchandran, K. and Sastry, S. 2008. High-speed action recognition and localization in compressed domain videos. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 18(8); 1006-1015.

Zhang, Z. 1998. Determining the epipolar geometry and its uncertainty: A review.
ZJVC, 27(2); 161-195.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Burak YILDIRIM
Doğum Yeri : ANKARA
Doğum Tarihi : 01/10/1987
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Rauf Denktaş Lisesi, (2004)
Lisans : Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektronik
Mühendisliği Bölümü, (2009)
Yüksek Lisans : Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik
Mühendisliği Anabilim Dalı, (2014)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2009-2012
Savunma Sanayii Müsteşarlığı, 2012-devam ediyor

Hakemli Dergiler

Yıldırım B. and İlgin H.A. 2013. Global Motion Estimation Using a New Motion
Vector Outlier Rejection Algorithm, Springer, 210; 507-515.