

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

VİDEOLARDA DEVİNİM VE İVME BÜYÜTME YÖNTEMLERİ



YÜKSEK LİSANS TEZİ

Reyhan GÜRLEYEN

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Biyomedikal Mühendisliği Programı

AĞUSTOS 2020

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

VİDEOLARDA DEVİNİM VE İVME BÜYÜTME YÖNTEMLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Reyhan GÜRLEYEN

504171411

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Biyomedikal Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Tayfun AKGÜL

AĞUSTOS 2020

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 504171411 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Reyhan GÜRLEYEN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “VİDEOLARDA DEVİNİM VE İVME BÜYÜTME YÖNTEMLERİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Tayfun AKGÜL**

Istanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Sedef KENT PINAR**

Istanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Bahattin KARAGÖZOĞLU

Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi

Teslim Tarihi : **15 Haziran 2020**

Savunma Tarihi : **7 Ağustos 2020**





Desteğini hiçbir zaman esirgemeyen aileme,



ÖNSÖZ

Bu tezin gerçekleşmesinde büyük pay sahibi olan, değerli bilgi ve tavsiyelerini hiçbir zaman esirgemeyen ve bana göstermiş olduğu hoşgörü ve sabırdan dolayı değerli tez danışmanım Prof. Dr. Tayfun Akgül'e şükranlarımı sunuyorum.

Desteklerini ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Bahattin Karagözoğlu'na ve meslektaşlarıma, bugünlere gelmemde büyük emekleri olan aileme ve dostlarıma teşekkür ederim..

Ağustos 2020

Reyhan Gürleyen
(Araştırma Görevlisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ŞEKİL LİSTESİ	xv
ÖZET	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Tez Aşamaları	4
2. VIDEO DEVİNİM BÜYÜTME YÖNTEMLERİ	7
2.1 Lagrange Temelli Yaklaşım	7
2.2 Euler Temelli Yaklaşım	9
2.2.1 Uzamsal-zamansal video işleme	10
2.2.2 Uzamsal ayrıştırma yöntemleri	10
2.2.2.1 Gauss ve Laplace piramitleri	12
2.2.2.2 Karmaşık yönlendirilebilir piramitler	15
2.2.3 Zamansal işleme - Doğrusal devinim büyütme	18
2.2.4 Süzgeç Seçimi	21
2.2.5 Kısıtlar	21
2.3 Faz Tabanlı Video Devinim Büyütme	23
2.3.1 Zamansal işleme - Faz tabanlı video devinim büyütme	23
2.3.2 Kısıtlar	26
2.3.3 Gürültü azaltma	27
2.3.3.1 Gürültüye karşı hassasiyetin irdelenmesi	28
2.4 Video İvme Büyütme	30
2.4.1 İvme büyütme	33
2.4.1.1 Zamansal İvme Süzgeci	34
2.4.1.2 VİB yöntemi ile renk büyütmenin sınanması	34
2.4.2 Faz Tabanlı İvme Büyütme	36
2.4.2.1 FİB yöntemi ile devinim büyütmenin sınanması	38

3.	BÖLÜNMÜŞ İZGE İŞLEME İLE DEVİNİM BÜYÜTME ÖNERİSİ	41
	
3.1	Bölünmüş İzge İşleme.....	42
3.2	Süzgeçleme İşlemlerinin Karşılaştırması.....	44
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	49
	KAYNAKLAR	51
	EKLER	57
	ÖZGEÇMİŞ	63



KISALTMALAR

DDB	: Doğrusal Devinim Büyütme
FDB	: Faz Tabanlı Devinim Büyütme
VİB	: Video İvme Büyütme
DVB	: Dinamik Video Büyütme
FİB	: Faz Tabanlı İvme Büyütme
Bİİ	: Bölünmüş İzge İşleme
1B	: 1 boyutlu
2B	: 2 boyutlu
YBİ	: Yapısal Benzerlik İndeksi
PSNR	: Peak Signal to Noise Ratio (En Büyük İşaret Gürültü Oranı)
MSE	: Mean Square Error (Ortalama Karesel Hata)
HFD	: Hızlı Fourier Dönüşümü
THFD	: Ters Hızlı Fourier Dönüşümü



SEMBOLLER

t	: Zaman
δ	: Yer değiştirme fonksiyonu
ω	: Frekans
x	: Konum
I	: Piksel yoğunluk değeri
α	: Bütme katsayısı
$B(x, t)$: Bant geçiren süzgeç
$C(x, t)$: Zamansal ivme süzgeci



ŞEKİL LİSTESİ

- Şekil 1.1:** Devinim büyütme yöntemlerinin tarihsel akış diyagramı. 5
- Şekil 2.1:** Lagrange temelli yaklaşımın işlem basamakları [18]..... 8
- Şekil 2.2:** DDB yöntemi ile nabız atım esnasında yüzdeki renk değişiminin görselleştirilmesi. 9
- Şekil 2.3:** Doğrusal devinim büyütme yöntemine genel bakış. 1
- Şekil 2.4:** Bir görüntünün 0. seviyeden 4. seviyeye çok ölçekli piramit gösterimi. .. 12
- Şekil 2.5:** Bir görüntünün $N=3$ seviyeli (a) Gauss piramitleri G_0, G_1, G_2, G_3 ve (b) Laplace piramitleri L_0, L_1, L_2, L_3 14
- Şekil 2.6:** Tek aşamalı yönlendirilebilir piramidin idealize edilmiş gösterimidir. Gölge bölgeler ise tek bir alt bandın izgesel alanına denk gelmektedir. 15
- Şekil 2.7:** Yönlendirilebilir piramidin radyal bölümü için sistem diyagramı. Mavi kutu içindekiler süzgeçlere, kırmızı kutu içindeki '2D' ve '2U' iki alt örnekleme ve iki üst örnekleme karşılık gelmektedir. 16
- Şekil 2.8:** Tek aşamalı karmaşık yönlendirilebilir piramit örneği. Asıl görüntü, yüksek geçiren süzgeç (H_0) ve süzgeçlenmiş görüntü (Gerçel kısım), 2 yönelimde bant geçiren süzgeçler (B_0, B_1) ve süzgeçlenmiş görüntüler, alçak geçiren süzgeç (L_1) ve iki alt örnekleme alınan alçak geçiren görüntü gösterilmektedir..... 17
- Şekil 2.9:** Zamansal süzgeçleme uzamsal öteleme ile gösterilebilmektedir [10]. Bu örnekte düşük frekanslı ve nispeten küçük yer değiştirmeye sahip kosinüs sinyalinin devinimi %100 büyütülmüştür. 20
- Şekil 2.10:** İdeal bant geçiren süzgeç genlik cevabı. 21
- Şekil 2.11:** Bir sinüzoidin farklı büyütme katsayıları ile öteleme hareketinin incelenmesi. Burada, (a) gerçek büyütme; (b) DDB yöntemi ile büyütme; (c) FDB yöntemi ile büyütmedir. 24

- Şekil 2.12:** FDB yöntemine genel bakış: Karmaşık yönlendirilebilir piramit uygulanır (kırmızı çerçeve); herbir konumda, yönelimde ve ölçekte bulunan fazlar, bağımsız bir şekilde zamansal süzgeçlemeye tabi tutulur (mavi çerçeve); isteğe bağlı olarak sinyal gürültü oranını arttırmak için genlik ağırlıklı uzamsal yumuşatma işlemi uygulanır (sarı çerçeve); süzgeçlenmiş uzamsal faz değerler bir büyütme faktörü ile çarpılarak asıl faza eklenir ve çıkış video dizini elde etmek için geri çatılır (yeşil çerçeve). 25
- Şekil 2.13:** Gürültülü V1 video dizini. Burada, (a) giriş çerçevesi ve kırmızı çizgi ile uzamsal-zamansal dilim; (b) (a)'da belirtilen kırmızı çizgi ile V1 video dizini; (c) V1 video dizininin bir büyütme katsayısıyla büyütülmüş kesin referans dizini; (d) DDB yöntemi ile büyütme sonucu; (e) FDB yöntemi ile büyütme sonucu..... 28
- Şekil 2.14:** DDB (mavi) ve FDB (turuncu) yöntemlerinin kesin referans dizinine göre her bir çerçevedeki PSNR değerleri. 29
- Şekil 2.15:** DDB (mavi) ve FDB (turuncu) yöntemlerinin kesin referans çerçeve dizilerine göre YBI değerleri..... 30
- Şekil 2.16:** DDB ve VİB yöntemleri ile 1B bir sinyalin kuvvetlendirilmesi [28]. Burada, büyük öteleme hareketi içerisinde küçük sapmalara sahip $I(x,t)$ sinyalinin üç farklı zamanda $\{t-1, t, t+1\}$ örnekleri (sırasıyla turkuvaz, siyah, mavi çizgiler); (a) süzgeçlenmiş sinyal $B(x,t)$ (sarı çizgi) ve bu sinyalin bir büyütme katsayısı α ile çarpılıp ham sinyale eklenerek büyütülmüş sinyal (kırmızı çizgi); (b) zamansal süzgeç sonucu $C(x,t)$ (sarı çizgi) ve bu sinyalin bir büyütme katsayısı α ile çarpılıp ham sinyale eklenerek büyütülmüş sinyal (kırmızı çizgi) gösterilmektedir. (a)'da tüm hareketler büyütülürken (b)'de sadece küçük sapmalar büyütülmüştür... 32
- Şekil 2.17:** Sol üst köşeden sağ alt bölüme giderken yoğunluğu değişen bir dairenin video dizininden dört farklı çerçeve..... 35
- Şekil 2.18:** Referans çerçevesi ve yoğunluk değişimini incelemek üzere belirtilmiş beyaz nokta sol üstte gösterilmiştir. Burada, beyaz noktanın referans video dizini için zamana göre yoğunluk değişimi mavi çizgi; aynı noktaya ait kesin referans dizininin yoğunluk değişimi kırmızı çizgi; VİB yöntemi

uygulanmış çıkış video dizininin yoğunluk değişimi sarı çizgi ile gösterilmektedir.....	36
Şekil 2.19: V2 referans video dizininden üç farklı zaman dilimindeki üç çerçeve... 38	
Şekil 2.20: Kontrollü deney oluşturularak FİB yönteminin sınanması.	39
Şekil 3.1: Çalışmanın akış şeması.	41
Şekil 3.2: Bölünmüş İzge İşleme yönteminin blok diyagramı.	42
Şekil 3.3: 0-5 Hz aralığında bulunan Gauss bant geçiren süzgeçler.....	43
Şekil 3.4: Devinim büyütme çalışması için hazırlanan bilek videosunda nabız bölgesinden yoğunluk değerlerinin ortalaması alınmıştır.	45
Şekil 3.5: (a) V1 referans çerçevesi; (b) referans dizini yoğunluk/zaman grafiği; (c) kesin referans dizini yoğunluk/zaman grafiği; (d) Bİİ ile süzgeçleme sonucu elde edilen video dizininin yoğunluk/zaman grafiği; (e) IIR bant geçiren süzgeç sonucu elde edilen video dizininin yoğunluk/zaman grafiği gösterilmektedir.....	46
Şekil 3.6: Bant geçiren süzgeç ve Bİİ sonuçlarının YBİ grafiği.....	45
Şekil 3.7: Bant geçiren süzgeç ve Bİİ sonuçlarının PSNR grafiği.	47
Şekil B.0.1: RGB renk uzayı ve renk küpü.	60
Şekil B.0.2: RGB renk küpü ile birlikte YUV renk modeli	61



VİDEOLARDA DEVİNİM VE İVME BÜYÜTME YÖNTEMLERİ

ÖZET

İnsan gözü, çevresinde meydana gelen çok küçük devinimleri anlamada ve yorumlamada yetersiz kalmaktadır. Video devinim büyütme ise algılanması zor veya imkansız hareketlerin uygun bir yöntemle büyütülüp videolarda gözle görülür hale getirilmesi işlemidir. Bir büyüteç görevi gören bu yöntemler; inşaat mühendisliğinde bina salınımları ve köprü titreşimlerini saptamada, suç biliminde yüz ifadelerini tanıma ve insan canlılık testinde; yapay zeka alanında kullanılan dokunma sensörlerinin hassasiyetini arttırmada ve sağlık hizmetleri alanında nabız tespiti, sesötesi (ultrasound) görüntülerinde küçük sapmaların algılanıp büyütülmesi veya insan vücut sıcaklığı belirleme gibi envai çeşit çalışmalarda kullanılmaktadır. Ayrıca saniyede 1 000 ile 20 000 arasında görüntü karesi alan yüksek hızlı kameraların gelişmesi ile birlikte herhangi bir nesneden ses geriçatımı da yapılabilir hale gelmiştir. Video çerçeveleri kullanılarak ses basıncının bir nesnede meydana getirdiği titreşimlerin büyütülmesi ile gerçekleştirilen bu çalışmalar görsel mikrofon olarak da adlandırılmaktadır.

Videolarda algılanamayan sinyalleri ortaya çıkarmak ve büyütme için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu çalışmada ise temel video devinim büyütme yöntemleri ayrıntılarıyla açıklanmış ve karşılaştırmaları yapılmıştır. Devinim büyütmenin yanı sıra ivme büyütme yöntemleri de ayrıntılarıyla özetlenmiş ve başarımları kontrollü deneyler yardımıyla sınanmıştır.

En bilinen ve sıkça kullanılan Euler temelli yaklaşım (Doğrusal devinim büyütme), video çerçevelerini hem uzamsal hem de zamansal alanda işleme tabi tutarak küçük devinim ve titreşimlerin büyütülüp videoya geri gömülmesi temeline dayanmaktadır. Bu yaklaşımda uzamsal alanda görüntü ayrıştırma, zamansal alanda ise süzgeçleme işlemi yapılmaktadır. Tez çalışmasında ise zamansal alanda süzgeçleme için alternatif sinyal işleme yöntemi Bölünmüş İzge İşleme kullanılmıştır.

Radar ve sesötesi gibi sinyal işleme alanlarında uygulanan ve sinyal-gürültü oranını arttıran Bölünmüş İzge İşleme yöntemi, doğrusal devinim büyütme yönteminin zamansal işleme katmanında başarıyla kullanılmıştır. Önerilen yöntem ve doğrusal devinim büyütme yöntemi, büyütme işlemi için kayda alınan nabız videosu ve kontrollü deney üzerinde uygulanmıştır. Değerlendirme yöntemlerinden yapısal benzerlik indeksi ile en büyük işaret gürültü oranı üzerinden sonuçlar karşılaştırılmış ve iyileştirmeler gösterilmiştir.



MOTION AND ACCELERATION MAGNIFICATION METHODS IN VIDEOS

SUMMARY

Human eye is inadequate in understanding and interpreting the subtle changes occurring around it. Video motion magnification is the process of making these changes, which are difficult or impossible to perceive, to be enlarged by a suitable method and made visible in videos. The techniques acting as a magnifying glasses have been using in many areas such as detecting oscillations of buildings and vibrations of bridges in civil engineering; testing human viability and recognition of facial expressions in crime science; increasing sensibility of touch sensors in the field of artificial intelligence; magnifying small fluctuations in ultrasound images, the detection of respiratory rate from video frames, enlarging little variances on human wrist stemming from pumping blood to body. In addition, with the development of high speed cameras that take between 1 000 and 20 000 frames per second, sound reconstruction from any object could be done by using video frames. These studies which are performed by magnifying vibrations caused by the sound pressure on an object by using video frames are also named as a visual microphone.

Various methods have been developed to reveal and magnify undetectable signals in videos. In this study, basic video motion magnification methods were explained and compared at length. In addition to motion magnification, acceleration magnification methods are summarized in details and their performances have been examined with the help of controlled experiments.

The most known and widely used Eulerian approximation (Linear motion magnification) is based on the ground of magnification of small motion and vibrations by means of embedding them back into the video by processing video frames both in spatial and temporal space. In this approach, two separate operations are carried out as spatial decomposing and temporal processing, respectively. In this thesis, an alternative signal processing method called Split spectrum processing is used for filtering in temporal field.

Split spectrum processing method, which is used to increase the signal-to-noise ratio of returning signals in radar and ultrasound, is successfully employed on the temporal processing layer of linear motion magnification technique. The proposed method and linear motion magnification method have been applied on the recorded pulse video and a controlled experiment, for amplification. The results were compared on the structural similarity index and peak signal to noise ratio and improvements were shown.



1. GİRİŞ

İnsan gözü, çevresinde meydana gelen çok küçük değişimleri anlamada ve yorumlamada sınırlı bir güce sahiptir. Bu devinimlerin büyüklüğü ve frekansı belirli bir eşik değerinin üzerinde ise insan gözü tarafından algılanabilir hale gelmektedir. Bununla birlikte eşik değerinin altında meydana gelen düşük genliğe sahip devinimler büyük önem arz edebilmektedir. Son zamanlarda görüntü işleme yöntemlerinde meydana gelen gelişmelerle birlikte video çerçeveleri üzerinde yapılan işlemler, insan gözü tarafından algılanamayan küçük titreşimleri büyüterek algılanabilir hale getirmektedir. Bir büyüteç görevi gören bu yöntemler; inşaat mühendisliğinde bina salınımları ve köprü titreşimlerini saptamada [1], [2], suç biliminde yüz ifadelerini tanıma ve insan canlılık testinde [3],[4], yapay zeka alanında kullanılan dokunma sensörlerinin hassasiyetini arttırmada [5] ve sağlık hizmetleri alanında ise sesötesi (*ultrasound*) görüntülerinde meydana gelen küçük sapmaları büyütme [6], video görüntülerinden solunum hızı tespiti [7],[8], insan el bileğinde vücuda kan pompalanmasından kaynaklı meydana gelen çok küçük sapmaların büyütülmesi - nabız tespiti [9], [10] veya insan kafa hareketlerinden nabızın algılanması [11], insan gözünün sabit bir noktaya bakışında bile iriste meydana gelen çok küçük titreşimleri büyütme [12] gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır.

Video çerçeveleri kullanılarak gerçekleştirilen video devinim büyütme yöntemleri, düşük genlikli devinimleri büyütmesinin yanısıra renk büyütme işlemlerinde de kullanılmaktadır. İnsan vücudunda kan dolaşımından dolayı yüzde meydana gelen renk değişiminin büyütülmesi [10],[13] veya insan vücut sıcaklığının ölçülmesi [14] gibi çalışmalarda kullanılmaktadır. Ayrıca saniyede 1 000 ile 20 000 arasında görüntü karesi alan yüksek hızlı kameraların gelişmesi ile birlikte video çerçeveleri kullanılarak herhangi bir nesneden ses geriçatımı da yapılabilmektedir [15], [16]. Video çerçeveleri kullanılarak ses basıncının bir nesnede meydana getirdiği titreşimlerin büyütülmesi ile gerçekleştirilen bu çalışmalar *görsel mikrofon* olarak da adlandırılmaktadır [17].

Video hareket analizi yapan birçok çalışma gerçekleştirilmiştir, fakat bu çalışmalar sadece insan gözü ile ayırt edilebilen büyük devinimler üzerine odaklanmıştır [18], [19],[20],[21]. Videolarda algılanamayan sinyalleri de ortaya çıkarmak ve büyütme için alternatif yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler, *Lagrange temelli yaklaşım (Lagrange Approximation)* ve *Euler temelli yaklaşım (Eulerian Approximation)* olarak iki temel sınıfa ayrılmaktadır. Ayrıca Euler temelli yaklaşım *Doğrusal Devinim Büyütme (DDB)* olarak da adlandırılmaktadır.

Videolardan devinim bilgisinin tahmin edilip gözle görülebilir hale getirildiği, ilk ve etkili video büyütme yöntemi *Devinim Büyütme (Motion Magnification)* çalışmasında geliştirilen Lagrange temelli yaklaşımdır [22]. Optik akış yöntemine dayanan bu yaklaşımda, devinimin meydana geldiği piksel bölgeleri tahmin edilir ve büyütülmek istenen bölgeler konum, renk ve devinim karakteristiklerine göre sınıflandırılarak bu bölgelerden zamana bağlı hareket yörüngeleri oluşturulur. Kullanıcıdan hangi devinim bölgeleri, ne kadar büyütülecekleri bilgisi alınır ve video çerçeveleri bu bilgiler ışığında tekrar oluşturulur.

Lagrange temelli yaklaşım sadece devinim büyütme odaklandığından her bir pikselin konum ve hızlarının izlenerek devinim tahmini, bölge seçimi ve görüntü boyama gibi ilave yöntemlerin kullanılması gerekmektedir ve bu da karmaşıklığı arttırmaktadır [10], [22]. Lagrange temelli yaklaşıma alternatif, sabit noktalardaki piksel değerlerinin zamana bağlı değişimlerini analiz eden ve bundan dolayı ek yöntemlere ihtiyaç duymayan Euler temelli yaklaşım önerilmiştir [10]. Literatürde, kabul edilebilir bir ışık ortamında sabit kamera ile bir insan bileğinin video kaydının alınarak kalp atımının bilekte meydana getirdiği titreşimin veya uyuyan bir bebeğin soluk alıp vermesinden kaynaklı göğsünde meydana gelen küçük hareketlerin DDB ile ilave yöntemler kullanılmadan büyütülmesi gösterilmiştir. Ayrıca videolarda meydana gelen devinimlerin yanısıra zamana bağlı renk değişimlerinin büyütülmesinde de etkili bir yöntem olmuştur.

DDB yönteminde sırasıyla uzamsal ayrıştırma ve zamansal işleme olarak iki ayrı işlem yapılmaktadır. Uzamsal ayrıştırma, piksellerin gruplar halinde birleştirilerek alt ölçeklemesinin yapıldığı görüntü piramitleri ile sağlanmaktadır. Bu işlem ile birlikte gereksiz ayrıntılar ortadan kaldırılarak sinyal-gürültü oranını artırılır [23]. Gauss, Laplace, Riesz ve Karmaşık yönlendirilebilir görüntü piramitleri gibi çeşitli uzamsal ayrıştırma teknikleri bulunmaktadır. DDB yönteminde video çerçeveleri, Laplace

görüntü piramitleri ile uzamsal alanda ayrıştırmaya tabi tutulmuştur. Ardından video çerçevelerindeki zamana bağlı değişimlerin meydana geldiği piksel değerleri üzerinde süzgeçleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Süzgeçleme ile incelenen frekans aralığındaki sapmalar ortaya çıkarılır; sonrasında devinimler ve eğer var ise gürültüler de bir büyütme faktörü ile çarpılarak büyütülür. Bu durum DDB yönteminin gürültüye karşı oldukça hassas olduğunu göstermektedir. Bu problemin önüne geçmek için için alternatif *Faz Tabanlı Video Devinim Büyütme (FDB)* yöntemi önerilmiştir [24].

Euler temelli yaklaşımdan faydalanarak geliştirilen FDB yönteminde hareket bilgisi, zamana bağlı değişen sabit noktalardaki faz değerlerinin analiz edilmesi ile elde edilmektedir. Faz değerlerine ulaşmak için ise görüntü piramitlerinin karmaşık yapıda yönlendirilmesiyle oluşturulan daha ileri bir ayrıştırma yöntemi kullanılmıştır [24], [25]. DDB yönteminde olduğu gibi sırasıyla süzgeçleme, bir büyütme faktörü ile çarpma işlemlerine tabi tutulur ve büyütülmüş video dizini yeniden oluşturulur. Bu yöntem, gürültüye olan hassasiyeti düşürmesine karşın hesaplama süresinde bir artış meydana getirir [26]. Hilbert dönüşümünün 2 boyutlu ($2B$) genelleştirilmiş bir formülü olan Riesz görüntü piramitleri kullanılarak geliştirilen bir başka video büyütme yöntemi hesaplama süresini düşürmüştür [26],[27]. Diğer çalışmalarda olduğu gibi bu yöntemde de büyütme faktörü ile devinim büyütülerek video çerçeveleri geri çatılır.

Devinim büyütme yöntemlerinde büyük ve küçük devinim olmak üzere iki devinim türünden bahsedilmektedir. Genelde bir nesnenin sabit bir düzlemde hareket etmesine veya kamera hareketine büyük devinim; nesnenin o düzlem üzerinde meydana getirdiği titreşimlere de küçük devinim ya da sapmaları denilmektedir. Önceki çalışmalarda [10], [24], [26], iki hareketin varlığında sadece kamera ve nesnelerin meydana getirdiği büyük devinimler ve bu devinimlerin bozulmaları büyütülmektedir. Dolayısıyla küçük sapmaların ortaya çıkarılıp büyütülmesinde etkili olunamamıştır. Bu sorunun önüne geçmek için optik akış tekniğini kullanan *Dinamik Video Büyütme (DVB, Dynamic Video Magnification)* yöntemi önerilmiştir [12]. DVB yönteminin daha büyük büyütme faktörü ile sadece ilgili bölgedeki küçük devinimleri büyüttüğü ve gürültüleri de büyük oranda azalttığı belirtilmiştir. İlave yöntemler kullanan DVB yöntemine alternatif, Euler temelli yaklaşım esas alınarak gerçekleştirilmiş *Video İvme Büyütme (VİB, Video Acceleration Magnification)* yöntemi önerilmiştir [28]. Küçük değişikliklerin sapması ile büyük hareketlerin arasındaki farka dayanan VİB yöntemi, sadece sabit bir düzlemdeki büyük devinimlerde gürbüz sonuçlar vermektedir. Örnek

vermek gerekirse, pürüzsüz bir yüzeyde, sağa ya da sola hareket ettirilen bir şişenin içinde dalgalanan suyun titreşimi veya bir nesnenin yine sabit bir düzlemdeki hareketi içerisinde meydana gelen sapmalar VİB yöntemi ile etkili bir şekilde büyütülebilmektedir. VİB yöntemi sadece sabit olan büyük hareketlerde etkin çalışırken DVB yöntemi ise ilgili bölge seçimi gibi ilave yöntemler kullanmaktadır. Dolayısıyla her iki yönteme alternatif, genlik tabanlı süzgeçleme kullanılarak iyileştirilmiş DDB yöntemi önerilmiştir [29]. Genlik tabanlı süzgeçleme ile küçük değişikliklerin ve büyük hareketlerin genlik karakteristikleri incelenerek sabit veya sabit olmayan büyük hareketler ortadan kaldırılır ve sadece küçük sapmalar büyütülür.

Yukarıda anlatılan yöntemlerde devinimli nesnelere üzerinde işlem yapıldığında bulanıklaşma veya bozukluklar meydana gelebilmektedir. Bu sorunların üstesinden gelebilmek için FDB yöntemi esas alınarak *Çok ölçekli uyarlanabilir video ivme büyütme* yöntemi geliştirilmiştir [30]. Bu işlem ile birlikte elde edilen farklı alt ölçeklerde bulunan piramit görüntüleri sırasıyla süzgeçleme işlemine tabi tutulur ve her bir ölçek uyarlamalı büyütme faktörleri ile çarpılır. Böylelikle, bulanıklaşmanın ve gürültünün önüne geçildiği belirtilmiştir. Şekil 1.1’de yukarıda bahsi geçen yöntemlerin kolayca izlenebilmesi için tarihsel akış diyagramı bulunmaktadır.

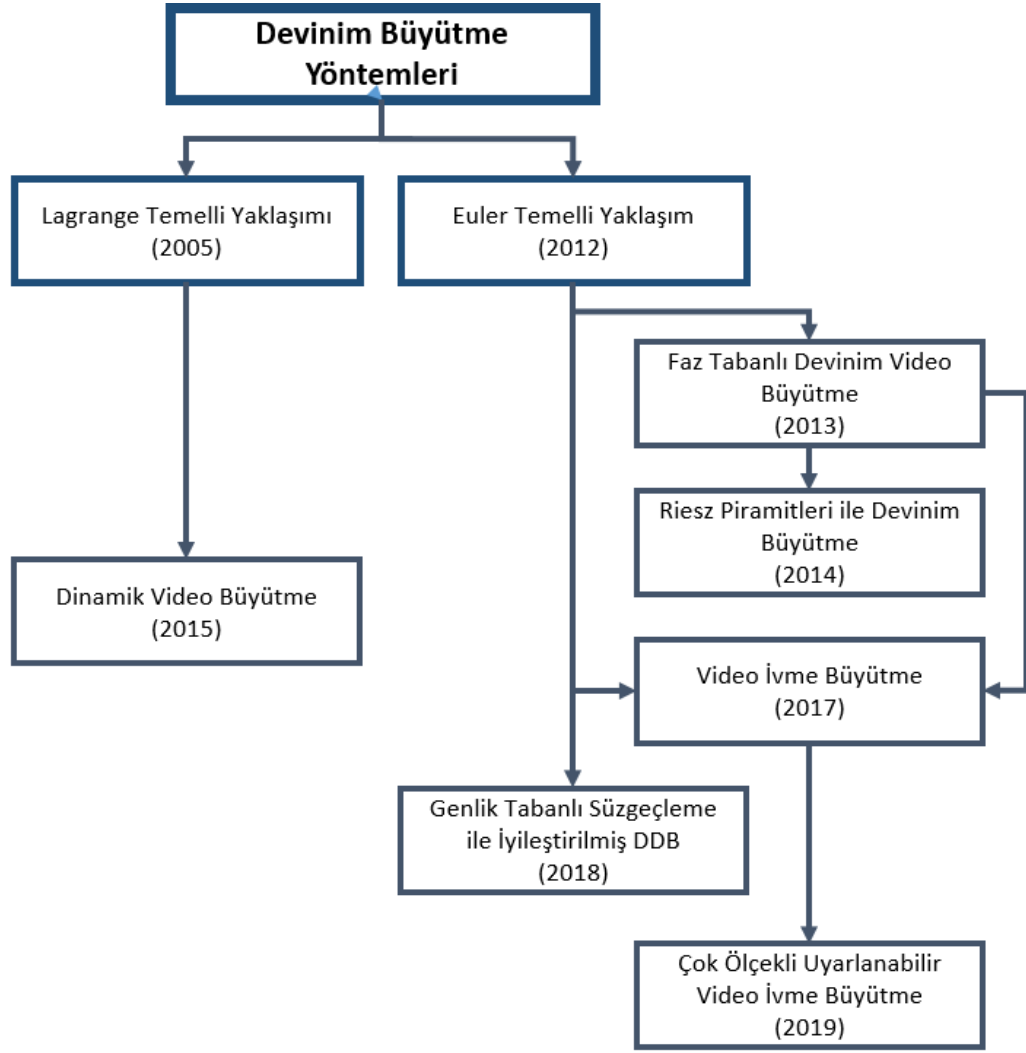
Bu tez çalışmasında sırasıyla Lagrange temelli yaklaşıma değinilmiş ve DDB, FDB ve VİB yöntemleri incelenip özetlenmiştir. DDB yönteminin süzgeçleme aşamasında *Bölünmüş izge işleme* adını verdiğimiz yeni bir yöntem önerilmiştir ve yöntemin başarımı gerçek ve kontrollü üretilmiş video üzerinden gösterilmiştir.

1.1 Tez Aşamaları

Bölüm 2’de tez çalışmasının faydalandığı DDB, FDB ve VİB yöntemlerinin sistem modelleri açıklanmış, ayrıca bu modellerde yer alan süreçler ve temel kavramlar ayrıntılarıyla birlikte izah edilmiştir.

Bölüm 3’de ise DDB yönteminde kullanılan süzgeçleme için alternatif Bölünmüş izge işleme yöntemi ayrıntılarıyla açıklanmış ve hem gerçek video hem de kontrollü deney üzerinden başarımı gösterilmiştir.

Son bölümde ise gelecekteki çalışmalar belirtilerek tez çalışması sonuçlandırılmıştır.



Şekil 1.1: Devinim büyütme yöntemlerinin tarihsel akış diyagramı.



2. VIDEO DEVİNİM BÜYÜTME YÖNTEMLERİ

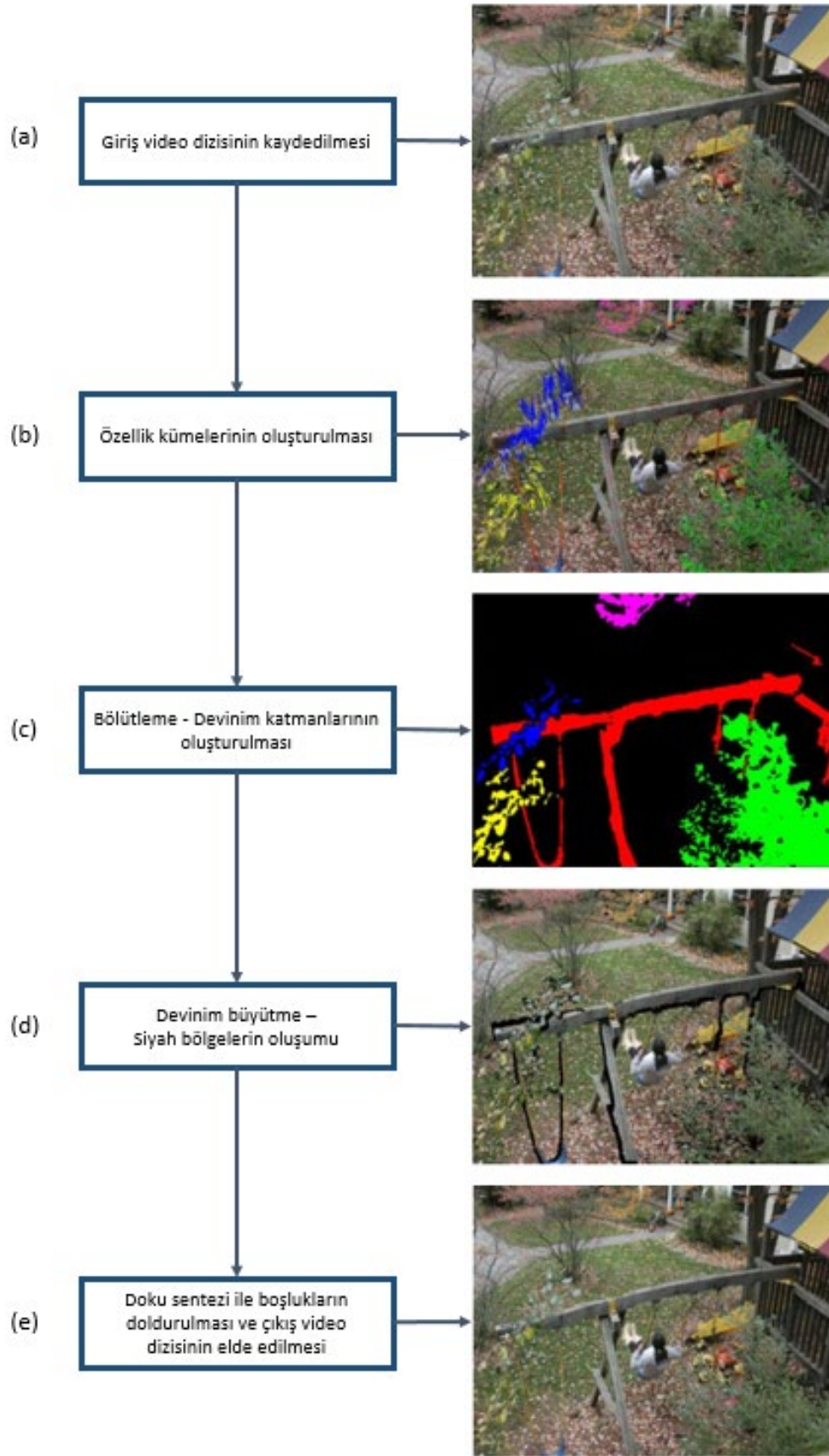
Video büyütme, görüntü dizilerindeki küçük sapmaları büyütme ve görselleştirme işlemidir. Mevcut teknikler iki ana başlıkta sınıflandırılmaktadır: *Lagrange temelli yaklaşım* ve *Euler temelli yaklaşım*. Hareket tahminine dayalı Lagrange temelli yaklaşım, giriş video dizininin devinimlerini analiz eder; bir kullanıcının büyütülecek piksel kümesini ve bu kümenin hareketlerinin ne kadar büyütüleceğini belirlemesini sağlar. Euler temelli yaklaşım ise hareket tahmini yapmayı her bir video çerçevesinin zamanla değişen piksel değerleri üzerinde inceleme ve büyütme işlemi gerçekleştirmektedir [10].

Lagrange temelli yaklaşım Bölüm 2.1’de ve Euler temelli yaklaşımlar da sırasıyla Bölüm 2.2, 2.3 ve 2.4’de ayrıntılarıyla özetlenmiştir.

2.1 Lagrange Temelli Yaklaşım

Video devinim büyütme algoritmalarının ilk ve en temel yöntemi Lagrange temelli yaklaşımdır. Görsel devinim için bir mikroskop gibi davranan bu teknik optik akış yönteminden faydalanmaktadır. Optik akış kavramı, bir nesnenin şeklini algılamak, nesnelerin birbiri arasındaki mesafesini ve devinimini anlamak için Amerikalı bir psikolog tarafından ortaya konmuştur [31]. Bu yöntemin kolay gerçekleştirilebilir olması ve basitçe anlaşılabilmesi dolayısıyla video sıkıştırma, nesnelerin hareket vektörlerinin bulunması ve benzeri uygulamalarda sıkça kullanılmıştır [32]. Dolayısıyla devinim büyütme çalışmaları da başlangıçta bu yaklaşım çevresinde üretilmiştir.

Lagrange temelli yaklaşım, çok küçük devinimlerin algılanması için her bir video karesindeki pikselleri; konum, renk ve devinim karakteristiklerine göre eşleştirilip kümeleyerek hareket yörüngeleri oluşturur ve bu şekilde bir nesnenin devinimini tahmin ederek analizini yapar [22] [28]. Şekil 2.1’de bir videonun görüntü kareleri üzerinden hareket büyütme işleminin aşamaları sırasıyla gösterilmiştir.



Şekil 2.1: Lagrange temelli yaklaşımın işlem basamakları [18].

Lagrange temelli yaklaşımda kamera hareketinden kaynaklı gürültü oluşturabilecek devinimlerin varlığında giriş görüntülerinin kalitesi büyük önem arz etmektedir. Dolayısıyla giriş video dizininin kamera sarsıntılarında bağımsız, durağan sahne görüntülerinden oluştuğu varsayılır (Şekil 2.1.a). Elde edilen video çerçevelerindeki pikseller; konum, renk ve devinim gibi niteliklere göre sınıflandırılarak özellik kümeleri oluşturulur (Şekil 2.1.b). Böylece ilgilenilen nesnelerin hareketleri, arka plandan veya ilintisiz devinimlerden bağımsız büyütülebilmektedir. Daha sonra özellik kümeleri bölütlenerek büyütülmek istenen nesnelerin bulunduğu devinim katmanları oluşturulur (Şekil 2.1.c). Kullanıcı büyütme işlemini yapacağı devinim katmanını ve büyütme sabitini belirler. Devinim büyütme, seçilmiş katmanın belirlenen büyütme sabiti ile çarpılmasıyla elde edilir (Şekil 2.1.d). Devinim büyütme işleminden sonra seçilen katmanın çevresinde siyah bölgeler (*boşluk*) meydana gelebilmektedir. Sonuçta, bu bölgeler doku sentezi yöntemlerinden biri ile doldurulur ve büyütülmüş video dizini elde edilir (Şekil 2.1.e).

2.2 Euler Temelli Yaklaşım

“Doğrusal devinim büyütme” diye de adlandırılan Euler temelli yaklaşım, devinim kestirimi yapmaktan ziyade, sabit kamera yardımıyla çekilen video dizinlerinde zamansal piksel yoğunluk değişikliklerini arttırarak hareketi büyütmektedir [10]. Dolayısıyla sadece devinim değil, renk büyütme işlemi için de etkindir. Şekil 2.2’de insan yüzünde zamana bağlı meydana gelen renk değişimlerinin DDB yöntemi ile



Şekil 2.2: DDB yöntemi ile nabız atım esnasında yüzdeki renk değişiminin görselleştirilmesi.

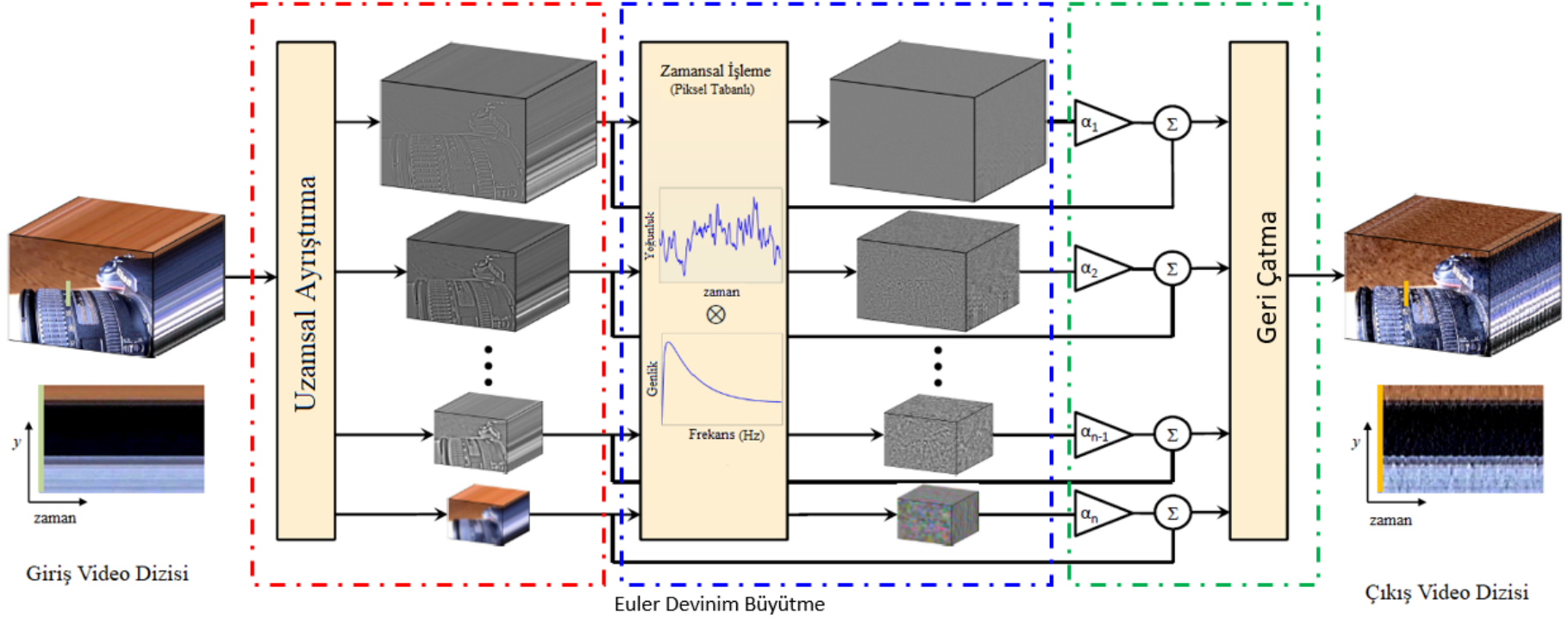
büyütülmesi gösterilmiştir; burada farklı zaman dilimlerinden (a) dört çerçeve asıl videodan ve (b) dört çerçeve de renk büyütülmesi sonucu elde edilen videodan alınmıştır. Şekil 2.2.c’de ise zamana göre dikey tarama çizgisi, giriş video dizininde algılanamayan değişikliği büyütülmüş video dizininde daha belirgin bir şekilde göstermektedir.

2.2.1 Uzamsal-zamansal video işleme

DDB yöntemi, sırasıyla uzamsal ayrıştırma, zamansal işleme ve kuvvetlendirme işlemlerinden meydana gelmektedir. Uzamsal ayrıştırma ile görüntülerin iki alt örnekleme yapılarak sinyal/gürültü oranı artırılmakta ve bu işlem, görüntü piramitleri ile gerçekleştirilmektedir [33], [34]. Bu yöntemde özellikle Laplace piramitleri kullanılmıştır. Bir sonraki bölümde uzamsal ayrıştırma yöntemleri başlığı altında görüntü piramitleri ayrıntılarıyla açıklanmaktadır. Zamansal işleme bölümünde uzamsal ayrıştırmaya tabi tutulan her bir video çerçevesine zamansal alanda süzgeçleme yapılır. Video dizini boyunca her bir pikselin yoğunluk değerine karşılık gelen zaman serilerinin ilgili frekans bantları ortaya çıkarılır. Bunu gerçekleştirmek için de standart bir yöntem bant geçiren süzgeç kullanılır ve tüm uzamsal seviyelere aynı süzgeç uygulanır. İşlemin devamında süzgeçlenen sinyal bir α büyütme katsayısı ile çarpılır ve asıl sinyale eklenir. Sonuçta, ayrıştırmaya tabi tutulan ve işlem gören görüntüler büyütülmüş çıkış videosu elde etmek için geri çatılır. Şekil 2.3’de DDB yöntemine ait blok diyagram gösterilmektedir: uzamsal ayrıştırma kırmızı; zamansal işleme mavi; kuvvetlendirme ve geri çatma işlemleri ise yeşil çerçeve içerisinde belirtilmiştir.

2.2.2 Uzamsal ayrıştırma yöntemleri

Günümüzde görüntü kalitesinin artırılması ve istenmeyen gürültülerin ortadan kaldırılması için bir dizi sayısal görüntü işleme yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden birisi de görüntü ayrıştırmadır. Görüntüleri ve videoları iyileştirmesinin yanı sıra bu görüntülerden gelen bilgilerin kalitesini de arttıran bir yöntemdir [33].

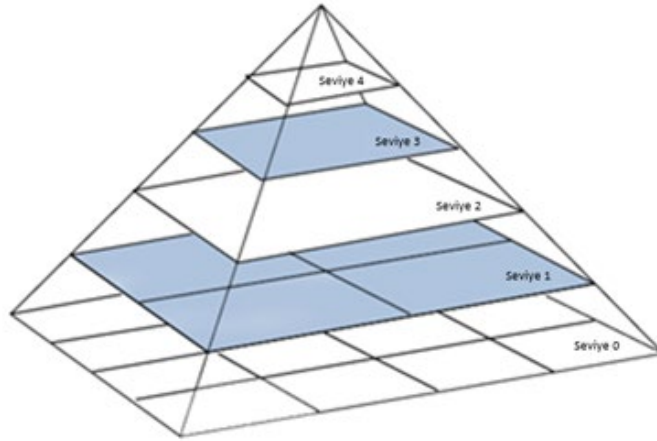


Şekil 2.3: Doğrusal devinim büyütme yöntemine genel bakış. Uzamsal ayrıştırma (kırmızı çerçeve); zamansal işleme (mavi çerçeve); kuvvetlendirme ve geri çatma (yeşil çerçeve) bölümleri gösterilmektedir.

Görüntülerin uzamsal ayrıştırma işlemleri görüntü piramitleri ile mümkündür. Görüntülerin ölçekli bir şekilde temsil edilmesi üzerine tasarlanmış ve görüntüleri işlemeyi kolaylaştıran çoklu çözünürlüklü bir veri yapısıdır [23][35]. Şekil 2.4’de de bir görüntüye ait piramit yapısı gösterilmektedir.

Bir videoda meydana gelen düşük uzamsal genlikteki renk değişimlerinin ve hareketlerin algılanması insanın görme duyusu için zor veya imkansızdır. Dolayısıyla küçük değişiklikleri ve önemli bilgileri ortaya çıkaran görüntü piramitlerine video büyütme yöntemlerinde öncelik verilmektedir. Ayrıca bu işlemle birlikte görüntülerdeki gereksiz ve rahatsız edici ayrıntılar bastırılabilir veya tamamen ortadan kaldırılabilir [35].

Aşağıda video büyütme yöntemlerinde sıkça kullanılan Gauss, Laplace ve karmaşık yönlendirilebilir piramitler sırasıyla özetlenecektir.



Şekil 2.4: Bir görüntünün 0. seviyeden 4. seviyeye çok ölçekli piramit gösterimi.

2.2.2.1 Gauss ve Laplace piramitleri

Gauss ve Laplace piramitleri birbirleriyle ilintili yöntemlerdir. Dolayısıyla, bu ikili bu alt bölümde birlikte özetlenecektir.

Gauss piramitleri görüntü işleme alanında en yaygın kullanılan tekniklerden birisidir. Bir görüntünün küçük sayısal örnekleri kullanılarak farklı algoritmalar ile büyük ölçekli ve kalitesi artırılmış sayısal görüntülerin oluşturulması anlamına gelen doku sentezinde özellikle tercih edilmektedir.

Gauss piramitlerini elde etmek için öncelikle asıl görüntü Gauss çekirdeği ile evriştirilir ve sonrasında alt ölçeklemesi yapılır. Böylelikle alçak geçiren süzgeç özelliği gösteren Gauss çekirdeği $w(m,n)$ ile yumuşatılır ve ölçeklenerek daha küçük bir görüntü elde edilir. Bu işlem

$$G_l(i,j) = \sum_{m=1} \sum_{n=1} w(m,n)G_{l-1}(\rho i + m, \rho j + n) \quad (2.1)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada, N seviye piramitlerine ayrıştırılan l -inci seviyedeki bir görüntü G_l 'dir ve $0 \leq l < N$ arasındadır. Örneğin, i ve j piksel konumlarına asıl görüntü G_0 , piramidin en alt seviyesidir. Her bir tekrarlama için m satır ve n sütundan oluşan Gauss ağırlık fonksiyonu $w(m,n)$, G_l üzerinde döndürülerek bulanıklaştırılır ve bir ρ katsayısı ile alt örnekleme yapılır. Genellikle $\rho = 2$ ile alt örnekleme yapılır. Literatürde, denklem 2.1'e indirgeme denklemi denilmektedir ve $G_l = IND[G_{l-1}]$ şeklinde ifade edilir [23].

$\rho = 2$ ile alt örnekleme yapılan G_l , tam tersi üst örnekleme ile yeniden yapılandırılabilir. G_l 'nin k defa genişletilmesiyle

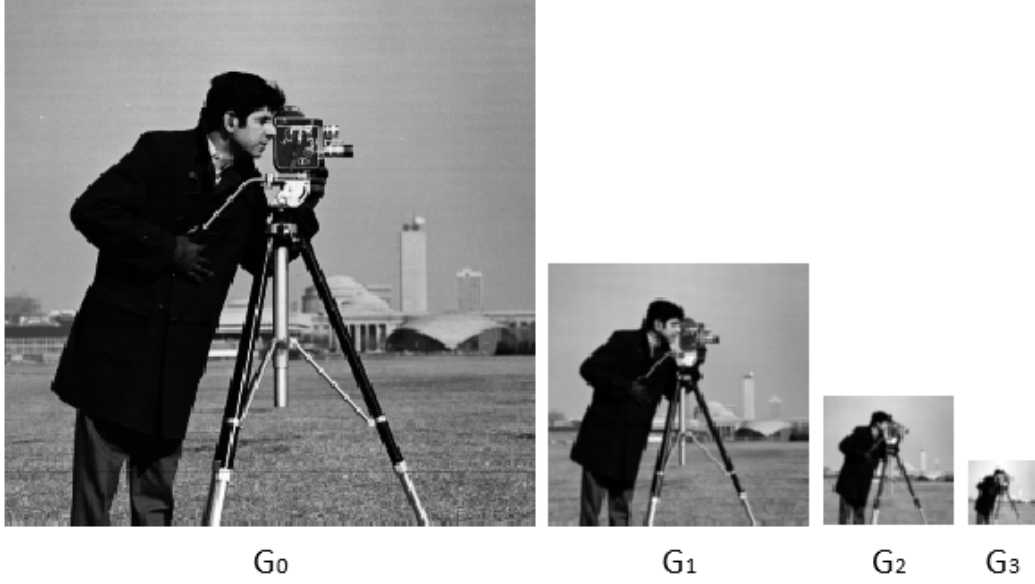
$$G_{l,k}(i,j) = 4 \sum_m \sum_n G_{l,k-1}\left(\frac{2i+m}{2}, \frac{2j+n}{2}\right) \quad (2.2)$$

elde edilir ve $k = 1$ için $G_{l,0} = G_l$ olur. Aynı zamanda genişletme operasyonu da denilen bu denklem, $G_{l,k} = GEN[G_{l+1}]$ şeklinde de ifade edilir [23]. Şekil 2.5.a'da bir görüntünün G_0 'dan G_3 'e $N=3$ seviyeli Gauss piramitleri gösterilmektedir.

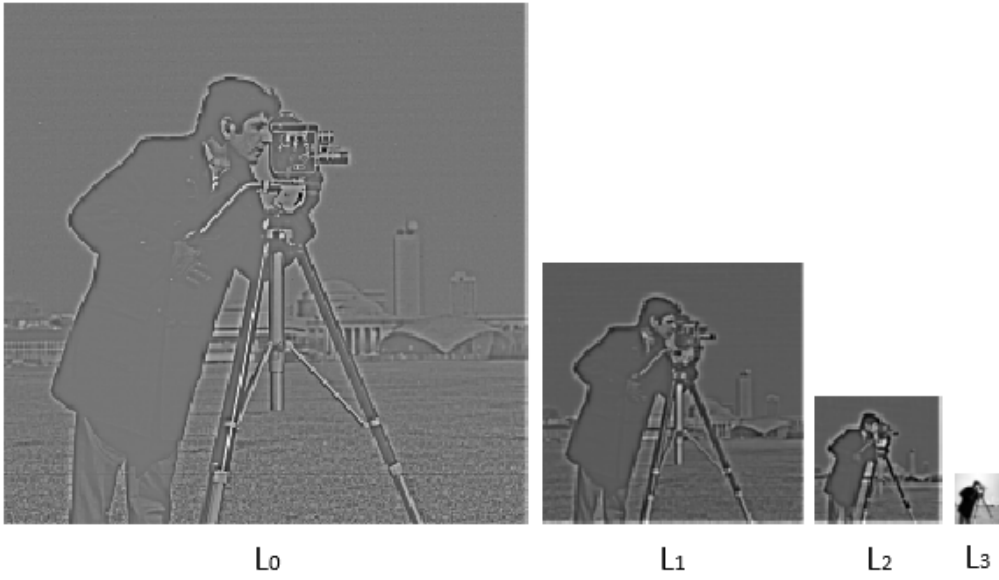
Laplace piramitleri ise Gauss piramitleri kullanılarak elde edilmektedir. Bant geçiren süzgeç özelliği gösteren bu piramitler, nesne kenarları gibi önem arz eden görüntü özelliklerini iyileştirmekte ve ortaya çıkarmakta kullanılmaktadır [23] [36]. L_l , l -inci seviyede bulunan Laplace piramit görüntüsü, aynı seviyeden Gauss piramit görüntüsünden G_l bir üst seviyede $l+1$ ve üst örnekleme yapılmış Gauss piramit görüntüsünün $GEN[G_{l+1}]$ çıkarılmasıyla elde edilir:

$$L_l = G_l - GEN[G_{l+1}] \quad (2.3)$$

Böylece Gauss piramitleri bir dizi alçak geçiren süzgeç grubu iken, Laplace piramitleri bant geçiren süzgeç grubu şeklinde tanımlanmaktadır [23][37]. Şekil 2.5.b'de bir görüntünün L_0 'dan L_3 'e $N=3$ seviyeli Laplace piramitleri gösterilmiştir.



(a)



(b)

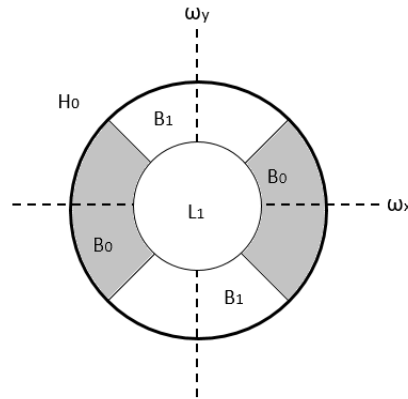
Şekil 2.5: Bir görüntünün $N=3$ seviyeli (a) Gauss piramitleri G_0, G_1, G_2, G_3 ve (b) Laplace piramitleri L_0, L_1, L_2, L_3

2.2.2.2 Karmaşık yönlendirilebilir piramitler

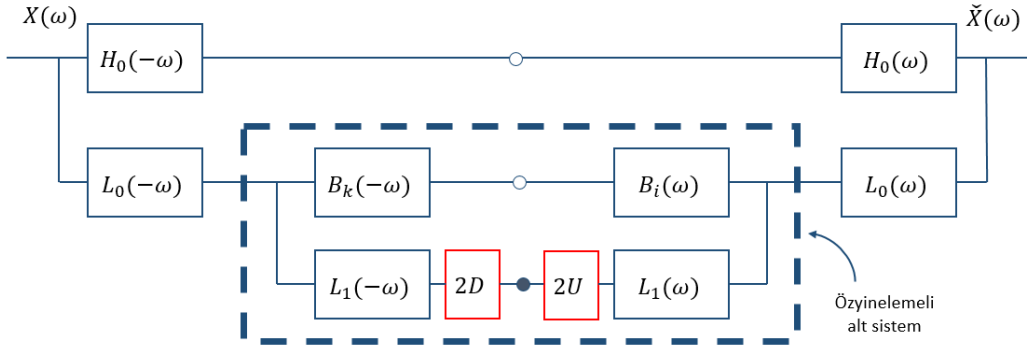
Karmaşık yönlendirilebilir piramitler, görüntü işleme uygulamalarında doğrusal, çok ölçekli ve çok yönlü özellikleri ile kullanışlı bir görüntü ayrıştırma tekniğidir. Laplace piramitlerin yönelimsel (*Orientalional*) bir modeli şeklinde düşünülebilir ancak piramidin her bir seviyesinde Laplace süzgeç yerine yönlendirilebilir (*steerable*) süzgeç bankası kullanılmaktadır [38].

Görüntü ayrıştırma işlemi, genlik ve faz bilgisini almak ve görüntülerin yönelimini tahmin etmek için frekans alanında tanımlanmıştır [39]. Ayrıştırma işleminde bir görüntü, ölçek ve yönelimde alt bantlara bölünmektedir. Dönüşüm, evrişim ve alt örnekleme işlemleri ile özyinelemeli bir şekilde hesaplanmaktadır.

Ayrıştırma işleminin kolay anlaşılabilmesi için Şekil 2.6'da gösterilen, frekans eksenleri $-\pi \leq \omega \leq \pi$ arasındaki tek aşamalı yönlendirilebilir piramit üzerinden açıklanacaktır. $H_0(\vec{\omega})$, yönsüz yüksek geçiren süzgece ve $L_1(\vec{\omega})$, alçak geçiren süzgece karşılık gelmektedir. $B_k(\vec{\omega})$, ($k = 0, 1, \dots, n$) olmak üzere bant geçiren yönlendirilmiş süzgeçleri ve $n+1$ ise toplam süzgeç sayısını göstermektedir. Şekil 2.6'da, tek aşamalı ayrıştırmada $n=1$ için $\{B_k(\vec{\omega})\}$, ($k = 0, 1$) toplamda iki yönlendirilmiş süzgeç bulunmaktadır. Şekil 2.6'da gösterilen tek aşamalı yönlendirilebilir piramidin sistem diyagramı Şekil 2.7'de gösterilmektedir. Diyagramın özyinelemeli bölümü kesik çizgili kutuda bulunan alt sisteme karşılık gelmektedir. Bu alt sistem bir görüntüyü alçak geçiren ve yüksek geçiren şeklinde iki kısma ayırmaktadır. Özyineleme, her bir alt ölçeklemede alçak geçiren görüntüye yönlendirilmiş süzgeçlerin uygulanmasıyla gerçekleştirilir.



Şekil 2.6: Tek aşamalı yönlendirilebilir piramidin idealize edilmiş gösterimidir. Gölge bölgeler ise tek bir alt bantın izgesel alanına denk gelmektedir.



Şekil 2.7: Yönlendirilebilir piramidin radyal bölümü için sistem diyagramı. Mavi kutu içindekiler süzgeçlere, kırmızı kutu içindeki ‘2D’ ve ‘2U’ iki alt örnekleme ve iki üst örnekleme karşılık gelmektedir.

Ayrıştırma işlemini gerçekleştiren süzgeçler, açısız ve radyal iki bileşenden meydana gelmektedir. Radyal bölümü için sistem diyagramı Şekil 2.7’de verilmiştir. $X(\omega)$ orijinal görüntüdür ve $\check{X}(\omega)$ frekans alanında yeniden yapılandırılmış görüntü

$$\check{X}(\vec{\omega}) = \left\{ |H_0(\vec{\omega})|^2 + |L_0(\vec{\omega})|^2 \left(|L_1(\vec{\omega})|^2 + \sum_{k=0}^n |B(\vec{\omega})|^2 \right) \right\} X(\vec{\omega}) \quad (2.4)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Açısız bileşen bölümündeki bant geçiren süzgeçler k tane kutupsal alt bantlara ayrılmaktadır; $B(\vec{\omega}) = \sqrt{\sum_{k=0}^n |B_k(\vec{\omega})|^2}$ yönlendirilebilir süzgeç, $\theta = \tan^{-1}(\omega_y/\omega_x)$ ve $\theta_k = \frac{\pi k}{n+1}$

$$|B_k(\vec{\omega})| = B(\vec{\omega}) [-j \cos(\theta - \theta_k)]^n \quad (2.5)$$

şeklinde ifade edilmektedir [25], [40]. Diyagramda bulunan süzgeçler, hem ayrıştırmanın özyineleme hem de alt örnekleme bölümünde örtüşmeden (*aliasing*) kaçınmak için aşağıdaki gibi kısıtlamalara tabidir:

1. Örtüşme olmaması için bant aralığı

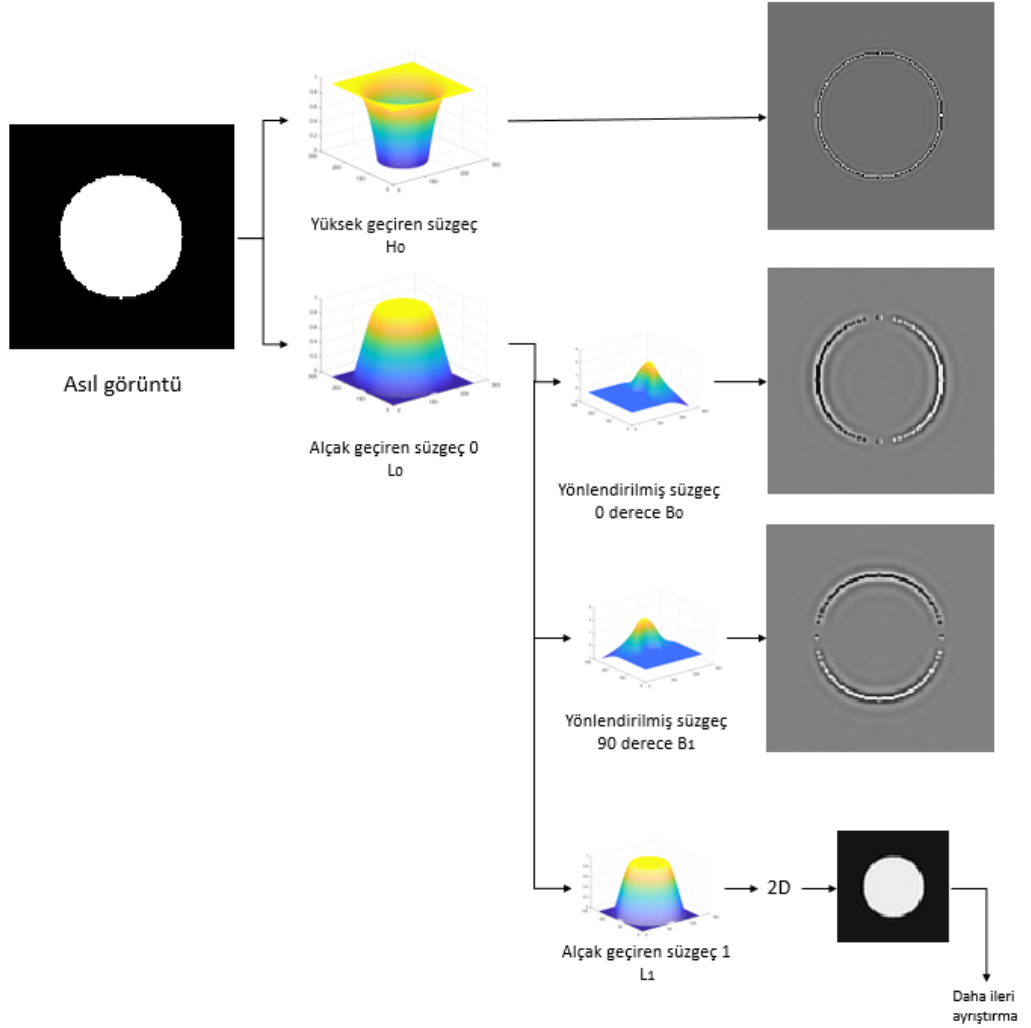
$$L_1(\vec{\omega}) = 0, \quad |\vec{\omega}| > \frac{\pi}{2} \quad (2.6)$$

şeklinde sınırlandırılmıştır.

2. Sistemin genlik yanıtı ise

$$|H_0(\vec{\omega})|^2 + |L_0(\vec{\omega})|^2 \left[|L_1(\vec{\omega})|^2 + \sum_{k=0}^n |B_k(\vec{\omega})|^2 \right] = 1 \quad (2.7)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Şekil 2.8’de bir alt ölçekleme ve $n=1$ ile yönlendirilebilir piramit ayrıştırmasına tabi tutulan bir disk görüntüsünün frekans alanındaki reel kısım görüntüleri gösterilmektedir.



Şekil 2.8: Tek aşamalı karmaşık yönlendirilebilir piramit örneği. Asıl görüntü, yüksek geçiren süzgeç (H_0) ve süzgeçlenmiş görüntü (Gerçek kısım), 2 yönlimde bant geçiren süzgeçler (B_0 , B_1) ve süzgeçlenmiş görüntüler, alçak geçiren süzgeç (L_1) ve iki alt örnekleme alınan alçak geçiren görüntü gösterilmektedir.

2.2.3 Zamansal işleme - Doğrusal devinim büyütme

Zamansal işleme ve devinim büyütme arasındaki ilişkiyi açıklamak için öteleme hareketinde bulunan 1 boyutlu (1B) sinyal $f(x)$ ele alınacaktır. Bu analiz ise doğrudan 2B görüntü matrisine uyarlanabilir. Öncelikle $f(x)$ fonksiyonunun zamana göre hareket eden bir parçacık (x°) olduğu varsayalım:

$$f(x(t)) = x^\circ \quad (2.8)$$

Hareket halindeki x° parçacığının x eksenindeki konumuna göre değişmesi beklenmektedir ve parçacığın başlangıcı \check{x} sabit bir nokta kabul edilerek noktanın etrafında bulunan yakın komşularında bir değişme, yani hızlarında artma ya da azalma durumu incelenir. Söz konusu değişimi göstermek için ise gevşeme terimi μ kullanılır ve bu terimin değerinin çok küçük olduğu varsayılır [41]. Dolayısıyla $x(t)$ fonksiyonu

$$x(t) = \check{x} + \mu(t), \quad |\mu(t)| \ll 1 \quad (2.9)$$

şeklinde ifade edilir. Bu değişimin zamana göre türevi alındığında ise, \check{x} sabit noktasındaki değişimin sıfır olduğu göz önüne alınarak, sadece μ gevşeme değeri elde edilir:

$$x^\circ(t) = \frac{d(\check{x} + \mu(t))}{dt} = \mu^\circ \quad (2.10)$$

2.8 ve 2.10 denklemleri birleştirildiğinde

$$f(x) = x^\circ = \mu^\circ = f(\check{x} + \mu(t)) \quad (2.11)$$

şeklindeki fonksiyona ulaşılır. Bu fonksiyona, $f(\check{x}) = 0$ sabit noktası etrafında Taylor serisi uygulanır:

$$f(\check{x} + \mu(t)) = f(\check{x}) + \mu f'(\check{x}) + \frac{1}{2!} \mu^2 f''(\check{x}) + \frac{1}{3!} \mu^3 f'''(\check{x}) + \dots \quad (2.12)$$

Taylor açılımı ile ilk iki terimden sonraki ifadelerin sıfıra çok yakın olduğu varsayılır ve ihmal edilirse

$$f(\tilde{x} + \mu(t)) \approx f(\tilde{x}) + \mu f'(\tilde{x}) \quad (2.13)$$

yaklaşıklaşmasına ulaşılır. Böylelikle açılımın ilk iki terimi kullanılarak gevşeme değerine bağlı yakınsak fonksiyon elde edilir.

Görüntüde x konumunda ve t zamanında bulunan bir pikselin yoğunluk değeri için de benzer bir fonksiyon yazılabilir:

$$I(x, t) = f(\tilde{x} + \mu(t)) \quad (2.14)$$

Söz konusu gevşeme değeri μ yerine görüntüde belirli bir noktadaki piksel yoğunluk değerinin zamana göre konumundaki değişimini gösteren yer değiştirme fonksiyonu δ ve $\tilde{x} = x$ yazılır:

$$I(x, t) = f(x + \delta(t)) \quad (2.15)$$

ve bu denkleme $I(x, 0) = f(x)$ noktasındaki Taylor serisinin birinci dereceden yaklaşılması denklem 2.13'deki gibi tanımlandığında

$$I(x, t) = f(x + \delta(t)) \approx f(x) + \delta(t)f'(x) \quad (2.16)$$

şeklinde yer değiştirme fonksiyonuna bağlı bir denklem elde edilir. Doğrusal devinim büyütmede amaç, yer değiştirme fonksiyonunun bir büyütme katsayısı α ile daha belirgin hale getirilmesidir:

$$\hat{I}(x, t) = f(x + (1 + \alpha)\delta(t)) \quad (2.17)$$

Birinci dereceden Taylor açılımı büyütülmüş sinyal için de geçerlidir ve

$$\hat{I}(x, t) \approx f(x) + (1 + \alpha)\delta(t)f'(x) \quad (2.18)$$

şeklindeki amaç denkleminde yaklaşık bir fonksiyon elde edilir. Bununla birlikte video çerçevelerinde frekansı bilinen sapmaların ortaya çıkarılması için yer değiştirmenin zamansal bant geçiren süzgecin geçiş bandında olduğu varsayılır

$$B(x, t) = \delta(t) \frac{df(x)}{dx} \quad (2.19)$$

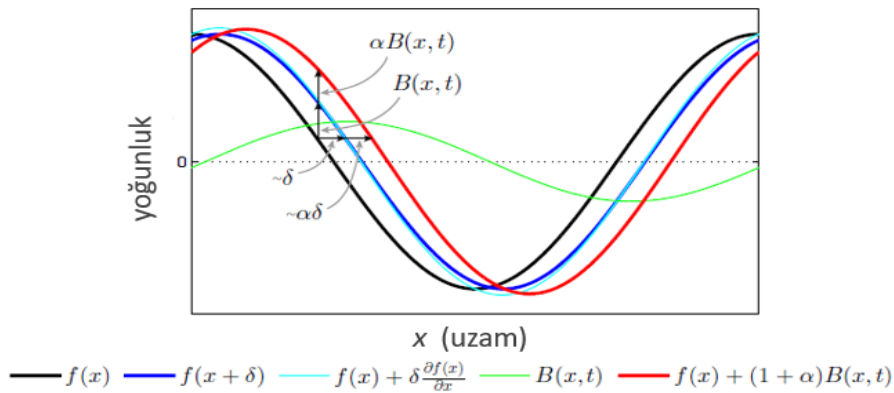
şeklindeki bant geçiren süzgeç denklemi elde edilir. Büyütme işlemini gerçekleştirmek için süzgeçlenerek ortaya çıkarılan ilgili frekans aralığındaki devinim, bir α katsayısı ile çarpılarak asıl sinyale eklenir:

$$\hat{I}(x, t) \approx I(x, t) + \alpha B(x, t) \approx f(x) + \delta(t)f'(x) + \alpha\delta(t)f'(x) \quad (2.20)$$

2.18 ve 2.20 denklemleri birleştirilirse amaç denklemi 2.17'ye ulaşılır:

$$\hat{I}(x, t) \approx f(x) + (1 + \alpha)\delta(t)f'(x) \approx f(x + (1 + \alpha)\delta(t)) \quad (2.21)$$

Sonuçta, t zamanında ve x noktasındaki bir pikselin uzamsal yer değiştirmesi $\delta(t)$, $(1 + \alpha)$ kadar yükseltilmiştir. Zamansal süzgeçleme işlemi, uzamsal ötelemeyle karşılık gelebilmektedir ve bu işlem Şekil 2.9'da tek bir sinüzoid için gösterilmektedir. Düşük frekanslı ve nispeten küçük yer değiştirmeye sahip kosinüs sinyaline Taylor serisi açılımı, $t + 1$ kadar ötelenmiş sinyal için iyi bir yaklaşım yapmaktadır. Giriş sinyali, t zamanında $I(x, t) = f(x)$ siyah çizgi ile ve $t+1$ zamanında $I(x, t + 1) = f(x + \delta)$ mavi çizgi ile gösterilmektedir. Turkuaz çizgi ise $I(x, t + 1)$ sinyalinin x etrafındaki Taylor serisi açılımı göstermektedir ve ötelenmiş sinyale oldukça yakınsaktır. Yeşil çizgi ile belirtilen bant geçiren süzgeç sonucu $B(x, t)$, $\alpha = 1$ alınarak büyütülmüş ve asıl sinyale $f(x)$ eklenmiştir. Kırmızı çizgi devinimi %100 büyütülen $f(x) + (1 + \alpha)B(x, t)$ sinyali göstermektedir.

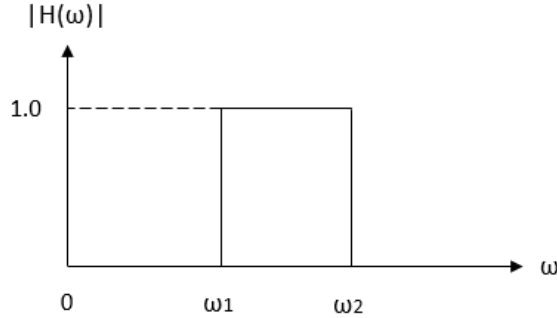


Şekil 2.9: Zamansal süzgeçleme uzamsal öteleme ile gösterilebilmektedir [10]. Bu örnekte düşük frekanslı ve nispeten küçük yer değiştirmeye sahip kosinüs sinyalinin devinimi %100 büyütülmüştür.

2.2.4 Süzgeç Seçimi

Euler devinim büyütme yönteminde sinyali ilgili frekans bandında tutmak için farklı bant geçiren süzgeçler tercih edilmektedir. Süzgeç türü genellikle uygulamadan uygulamaya değişir. Devinim büyütme için geniş geçirme bandına sahip süzgeç seçilmekteyken, renk kuvvetlendirme için gürültüyü bastıran dar aralıklı geçirme bandına sahip süzgeç kullanılmaktadır.

Literatürde verilen bir örnek ile açıklamak gerekirse, Şekil 2.2’de kalp atışına bağlı yüzde meydana gelen renk değişimini daha belirgin hale getirmek için keskin eğimli, alçak kesim frekansı 0.8 Hz ve yüksek kesim frekansı 1 Hz olan ideal bant geçiren süzgeç kullanılmıştır [10]. Matematiksel ifade ile ideal alçak geçiren süzgeç, frekans alanında sinyalin ideal bir fonksiyon ile süzgeçleniyormuş gibi düşünülmesidir (Dikdörtgen bir fonksiyon ile çarpma şeklinde gerçekleştirilebilir) ve bu da sinyalin zaman alanında *sinc* fonksiyonu ile evrişiminin alınmasına tekabül etmektedir [42]. İdeal bant geçiren bir süzgecin genlik cevabı Şekil 2.10’da gösterilmektedir.



Şekil 2.10: İdeal bant geçiren süzgeç genlik cevabı.

Hem renk hem de hareket büyütme için düşük dereceli sonsuz dürtü yanıtı (*IIR*, *Infinite Impulse Response*) veya Butterworth süzgeç kullanılmaktadır [10]. Doğrusal faz özelliğine ihtiyaç duyulmadığı ve genlik cevabının önemli rol oynadığı uygulamalarda ise genellikle *IIR* süzgeçler tercih edilmektedir [43].

2.2.5 Kısıtlar

Bölüm 2.2.3’de belirtilen kabuller pürüzsüz görüntüler ve küçük devinimler için gürbüz sonuçlar vermektedir. Yüksek frekanslara sahip -hızlı değişimlerin meydana geldiği- görüntülerde Taylor serisinin birinci dereceden yaklaşılması $(1 + \alpha)\delta(t)$,

büyütme katsayısını α ve yer değiştirmeleri δ gereğinden fazla kuvvetlendirdiğinde hatalı sonuçlar verebilmektedir.

DDB yönteminde yüksek frekanslardaki büyük kuvvetlendirme katsayılarının ve büyük devinimlerin etkileri yine bir sinüzoid üzerinden gösterilecektir. Uzamsal frekansın ω bir fonksiyonu şeklinde gözlemlenen devinim $\delta(t)$ göz önüne alınarak büyütme katsayısının α üst sınırı belirlenecektir. İşlenmiş sinyalin $\tilde{I}(x, t)$, denklem 2.17'deki amaç denkleminde yakınsaması beklenir:

$$\tilde{I}(x, t) \approx \hat{I}(x, t) \Rightarrow f(x) + (1 + \alpha)\delta(t) \frac{df(x)}{dx} \approx f(x + (1 + \alpha)\delta(t)) \quad (2.22)$$

Uzamsal frekansı ω , $\beta = 1 + \alpha$ ve $f(x) = \cos(\omega x)$ şeklinde bir kosinüs fonksiyonu tanımlanır ve denklem 2.22'de yerine yazılır:

$$\cos(\omega x) - \beta\omega\delta(t) \sin(\omega x) \approx \cos(\omega x + \beta\omega\delta(t)) \quad (2.23)$$

Eşitliğin sağ tarafındaki kosinüs fonksiyonunun açılımı yazıldığında

$$\begin{aligned} \cos(\omega x) - \beta\omega\delta(t) \sin(\omega x) \\ = \cos(\omega x) \cos(\beta\omega\delta(t)) - \sin(\omega x) \sin(\beta\omega\delta(t)) \end{aligned} \quad (2.24)$$

şeklindeki yeni ifade elde edilir. Bu eşitliğin sağlanması için $\cos(\beta\omega\delta(t)) \approx 1$ ve $\sin(\beta\omega\delta(t)) \approx \beta\omega\delta(t)$ koşullarını sağlaması gerekmektedir. $\beta\omega\delta(t) \leq \frac{\pi}{4}$ olduğu takdirde küçük açı yaklaşımlarının %10'unu içinde tutmuş olacaktır (Sinüs terimi için $\sin\left(\frac{\pi}{4}\right) = 0.9\frac{\pi}{4}$ şeklinde elde edilir). Böylelikle hareket eden sinyalin uzamsal dalgaboyu $\lambda = \frac{2\pi}{\omega}$ açısından büyütme katsayısının bir kısıtı elde edilir:

$$(1 + \alpha)\delta(t) < \frac{\lambda}{8} \quad (2.25)$$

Elde edilen bu ifadeyle birlikte bir videonun devinimi $\delta(t)$ ve video karesinin uzamsal dalgaboyu λ değerleri kullanılarak en büyük kuvvetlendirme değeri için bir eşik değeri belirlenmiştir. Bu sınır değerin aşılması, büyütme yönteminin uygulandığı video karelerinde bozulmalar meydana getirerek istenmeyen gürültülere yol açabilmektedir [10], [44].

2.3 Faz Tabanlı Video Devinim Büyütme

DDB yöntemi küçük devinimleri zamanda ve uzamda işleyerek düşük hesaplama maliyeti ile etkin bir şekilde büyütse de, uzamsal frekansların yüksek olduğu durumlarda küçük büyütme katsayısını desteklemektedir (2.27). Ayrıca piksel yoğunluk değerleri üzerinde işlem yaptığı için devinimleri büyütürken, eğer var ise, gürültüleri de kuvvetlendirmektedir [28]. Faz tabanlı yaklaşım ise düşük uzamsal frekanslarda yüksek büyütme katsayısını desteklerken gürültü hassasiyetini de azaltmaktadır [24]. Bu yaklaşıma ait blok diyagram Şekil 2.12’de gösterilmektedir. Öncelikle giriş video dizini karmaşık yönlendirilebilir piramitler tarafından çoklu ölçeklerine ayrıştırılır ve genlik-faz değerleri elde edilir (kırmızı çerçeve) [38], [45]; her bir alt banta zamansal bant geçiren süzgeç uygulanır (mavi çerçeve); süzgeçlenen faz değerleri, büyütme faktörü ile kuvvetlendirilir; ve asıl fazın üstüne eklenerek çıkış video dizini elde etmek için geri çatılır (yeşil çerçeve).

2.3.1 Zamansal İşleme - Faz tabanlı video devinim büyütme

FDB yöntemi, karmaşık yönlendirilebilir piramitleri kullanarak elde edilen faz değişimleri ile görüntülerdeki yerel hareketlerin ölçülmesini ve değiştirilmesini sağlamıştır. Bu yöntemin daha anlaşılır kılınması ve faz değişimleri ile devinim büyütme arasındaki ilişkiyi açıklamak için zaman içinde öteleme hareketine sahip 1B sinyal $f(x + \delta(t))$ incelenecektir. FDB yöntemindeki amaç DDB yöntemindeki olduğu gibi, yer değiştirme fonksiyonunu $\delta(t)$ bir büyütme faktörü α ile çarparak sentez fonksiyonu $f(x + (1 + \alpha)\delta(t))$ elde etmektir.

Yer değiştirmeyi barındıran fonksiyon $f(x + \delta(t))$ Fourier serisi açılarak karmaşık sinüzoidlerin toplamı şeklinde yazılabilir:

$$f(x + \delta(t)) = \sum_{-\infty}^{\infty} A_{\omega} e^{i\omega(x+\delta(t))} \quad (2.26)$$

A_{ω} Fourier serisi katsayılarıdır ve her bir bant tek bir frekansa ω karşılık düştüğünden x konumunda, t zamanında ve ω frekans bandında bulunan karmaşık sinüzoid $S_{\omega}(x, t)$

$$S_{\omega}(x, t) = A_{\omega} e^{i\omega(x+\delta(t))} \quad (2.27)$$

şeklinde ifade edilmektedir ve fazı $\omega(x + \delta(t))$ devinim bilgisini barındırmaktadır. Devinimde değişiklik meydana getirmek için Şekil 2.9'da gösterildiği gibi fazda öteleme hareketiyle gerçekleştirilebilmektedir [24], [26]. DDB yöntemindeki gibi, ilgili frekans bantlarındaki devinimleri elde etmek için faz $\omega(x + \delta(t))$, zamansal süzgeçlemeye tabi tutulur. Türetimi basitleştirmek için zamansal süzgecin sadece DA bileşeni ωx ortadan kaldırılarak

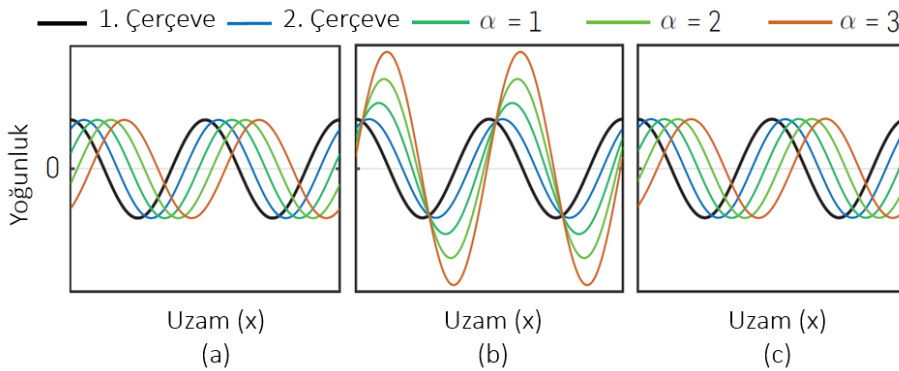
$$B_\omega(x, t) = \omega\delta(t) \quad (2.28)$$

eşitliği elde edilir. Sonrasında süzgeçlenmiş faz $B_\omega(x, t)$, büyütme katsayısı α ile çarpılarak

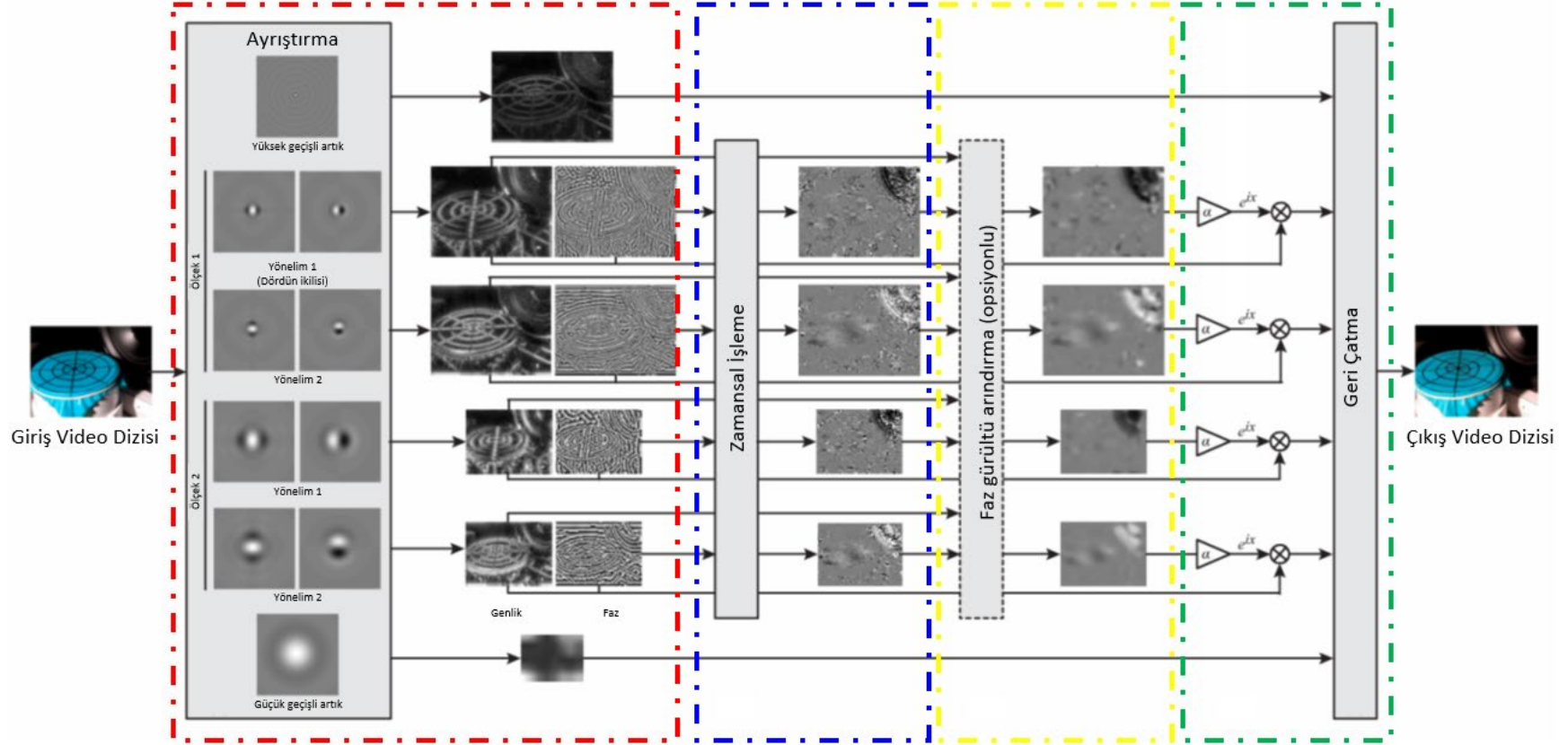
$$\hat{S}_\omega(x, t) = S_\omega(x, t) e^{i\alpha B_\omega} = A_\omega e^{i\omega(x+(1+\alpha)\delta(t))} \quad (2.29)$$

şeklindeki hareketi büyütülmüş alt bant elde edilir. Çıkış bandı $\hat{S}_\omega(x, t)$, denklem 2.27'deki karmaşık sinüzoidin fazının $(1 + \alpha)$ kadar ötelenmiş halidir. Sonuçta, çıkış video dizini elde etmek için ötelenmiş alt bantlar geri çatılır [24], [26].

DDB yöntemi yüksek büyütme katsayılarında gürbüz sonuçlar vermezken, FDB yöntemi gerçek büyütme değerleri ile örtüşen sonuçlar vermektedir. Bu durumu gözlemleyebilmek için bir sinüzoidin hareketinin farklı büyütme katsayılarıyla hem DDB hem de FDB yöntemi ile kuvvetlendirilmesi Şekil 2.11'de gösterilmiştir.



Şekil 2.11: Bir sinüzoidin farklı büyütme katsayıları ile öteleme hareketinin incelenmesi. Burada, (a) gerçek büyütme; (b) DDB yöntemi ile büyütme; (c) FDB yöntemi ile büyütmedir.



Şekil 2.12: FDB yöntemine genel bakış: Karmaşık yönlendirilebilir piramit uygulanır (kırmızı çerçeve); her bir konumda, yönelimde ve ölçekte bulunan fazlar, bağımsız bir şekilde zamansal süzgeçlemeye tabi tutulur (mavi çerçeve); isteğe bağlı olarak sinyal gürültü oranını arttırmak için genlik ağırlıklı uzamsal yumuşatma işlemi uygulanır (sarı çerçeve); süzgeçlenmiş uzamsal faz değerler bir büyütme faktörü ile çarpılarak asıl faza eklenir ve çıkış video dizini elde etmek için geri çatılır (yeşil çerçeve).

2.3.2 Kısıtlar

Yönlendirilebilir piramidin her bir ölçeğinde ve yönelimindeki yerel faz değerleri belirli kısıtlamalara tabidir. Şöyle ki, bir görüntünün özelliği bir diğer görüntüye faz kayması yardımıyla aktarıldığında her bir piramit seviyesi artık özellikleri taşıyamayacağı uzamsal bir sınır ile karşılaşmaktadır [24]. Örnek vermek gerekirse, bu özelliğin yaklaşık modelini oluşturma amacıyla zaman ekseninde öteleme hareketi gerçekleştiren tek bir dürtü ele alınmıştır. Dürtünün faz kayması, Gauss pencere fonksiyonu ile modüle edilmiş transfer fonksiyonu $e^{-2\pi(\omega_x - \omega_0)^2 \sigma^2}$ olan Gabor süzgeç ile gerçekleştirilir. ω_0 süzgeç için belirlenen frekansı ve $\frac{1}{\sqrt{2\sigma}}$ Gauss pencerenin frekans alanındaki bant genişliğini ifade etmektedir. Ters Fourier dönüşümü alınarak uzamsal alanda dürtü cevabı

$$S_\omega(x, 0) = e^{-x^2/(2\sigma)^2} e^{2\pi i \omega_0 x} \quad (2.30)$$

şeklinde Gauss zarfı ile pencerelenmiş karmaşık bir sinüzoid elde edilir. t zamanında $\delta(t)$ ile ötelenmiş bir dürtü fonksiyonun cevabı ise

$$S_\omega(x, t) = e^{-(x-\delta(t))^2/(2\sigma)^2} e^{2\pi i \omega_0 (x-\delta(t))} \quad (2.31)$$

şeklinde elde edilmektedir. Burada Gauss zarfının fazın ötelenmesine dair bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Faz, zamansal süzgeçlemeye tabi tutulur ve türetimi basitleştirmek için sadece DA bileşen $2\pi\omega_0 x$ ortadan kaldırılır:

$$B_\omega(x, t) = 2\pi\omega_0 \delta(t) \quad (2.32)$$

Daha sonra faz büyütme katsayısı α ile çarpılır:

$$\widetilde{B}_\omega(x, t) = 2\pi\omega_0 \alpha \delta(t) \quad (2.33)$$

Böylelikle ötelenmiş faz farkı elde edilir. Büyütülmüş ötelemeyi $\alpha\delta(t)$, gerçek ötelenmiş sinyale en iyi yaklaşacak şekilde sınırlandırmak gerekmektedir. Bunun için Gauss pencerenin standart sapması σ bir sınır değer olarak kullanılabilir [24]

$$\alpha\delta(t) < \sigma \quad (2.34)$$

Gauss zarfı ile pencerelenmiş sinüs sinyalinin yaklaşık bir periyodu $4\sigma \approx \frac{1}{\omega_0}$ olmak üzere $\alpha\delta(t) < \sigma = \frac{1}{4\omega_0}$ sınır değeri elde edilir. Bu denklem uzamsal dalgaboyuna $\lambda = \frac{1}{\omega_0}$, eşitlenerek

$$\alpha\delta(t) < \frac{\lambda}{4} \quad (2.35)$$

şeklinde önemli bir kısıt elde edilir. Bu kısıt ile düşük uzamsal frekanslı devinimler, yüksek uzamsal frekanslı devinimlere göre daha fazla büyütülebilmektedir ve ayrıca DDB yöntemi için denklem 2.25'de belirtilen sınır değerden daha büyüktür.

2.3.3 Gürültü azaltma

DDB yönteminde büyütme faktörü arttıkça gürültü kuvvetlendirilirken FDB yönteminde ötelenmektedir. Dolayısıyla FDB yöntemi, DDB yöntemine göre daha etkin gürültü niteliğine sahiptir. Bir örnek ile açıklanacak olursa, belirli bir ölçek ve yönelim bandında bulunan bir görüntünün yoğunluk değeri $I + \sigma_n n$ şeklinde tanımlandığında ω bandında bulunan karmaşık sinuzoid S_ω gürültü eklenmiş hali

$$S_\omega(x, t) = e^{i\omega(x+\delta(t))} + \sigma_n N_\omega(x, t) \quad (2.36)$$

şeklinde elde edilir. Burada $N_\omega(x, t)$ gürültü terimidir. σ_n gürültünün varyansıdır ve ham sinyalden çok küçük olduğu varsayılır. Daha sonra fazın zamansal süzgeçlenmesi ile denklem 2.28'deki benzer işlem (DA bileşeni ωx ortadan kaldırılır) ile $\omega\delta(t)$ fonksiyonu elde edilir ve bir büyütme katsayısı α ile çarpılır. Hareketin büyütülmesi için $S_\omega(x, t)$, $e^{i\omega\alpha\delta(t)}$ ile ötelenir:

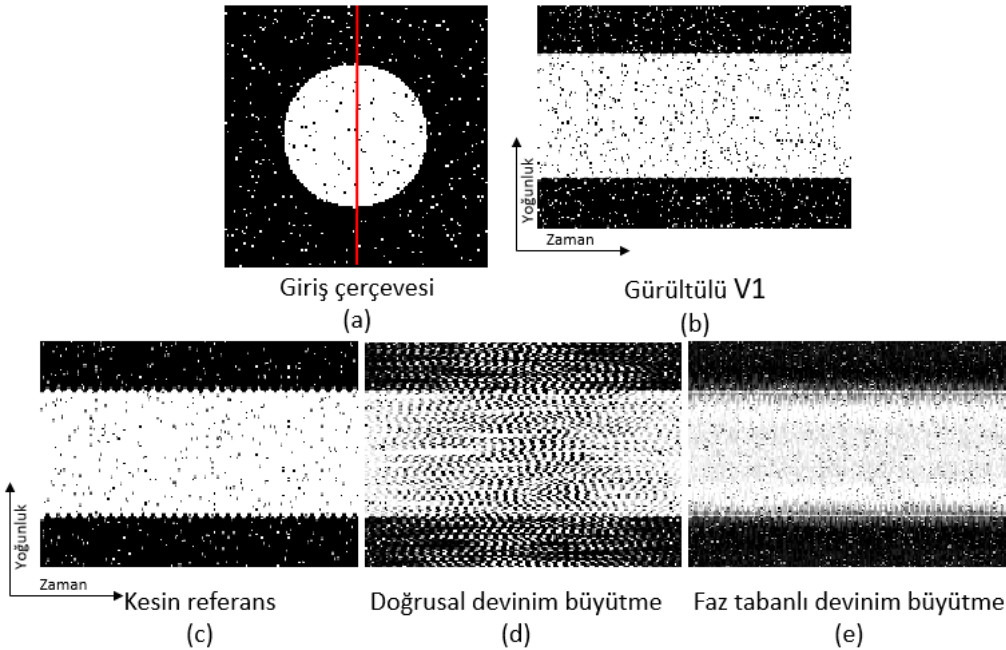
$$\hat{S}_\omega(x, t) = e^{i\omega(x+(1+\alpha)\delta(t))} + \sigma_n e^{i\omega\alpha\delta(t)} N_\omega(x, t) \quad (2.37)$$

Açıktır ki, gürültü etkisi sadece fazda kayma olarak görülmektedir. Bunun aksine DDB yönteminde gürültü, α büyütme katsayısı ile doğrudan çarpılarak büyütülmektedir

[10]. Dolayısıyla FDB yönteminde genlik daha az etkilendiği için gürültüye karşı hassasiyet azaltılmaktadır.

2.3.3.1 Gürültüye karşı hassasiyetin irdelenmesi

Bu tez çalışmasında FDB yöntemi ile DDB yönteminin gürültüye karşı hassasiyetleri kontrollü deney üretilerek karşılaştırılmıştır. Kontrollü deney için öncelikle beyaz daire içeren bir referans çerçevesi oluşturulmuştur. Gürültünün DDB ve FDB yöntemleri üzerindeki etkisini görebilmek için referans çerçevesine yoğunluğu 0.05 olan Tuz-Biber gürültüsü eklenmiştir ve gürültülü referans çerçevesi de Şekil 2.13.a'da gösterilmiştir. Çerçeveler için kırmızı çizgi ile uzamsal-zamansal dilim belirtilmiştir. Yerel bir hareket $d_j = A \sin(2\pi \frac{f}{f_s} j)$, $A=0.25$ piksel, $f=5$ döngü/çerçeve ve $f_s=30$ çerçeve/saniye olacak şekilde seçilmiştir. Burada (A, f) sırasıyla titreşimin genliği ve frekansdır. Her bir j çerçevesi, toplamda 180 çerçeve, dikey yönde hareket ettirilerek beyaz dairenin titreştiği gürültülü V1 video dizini oluşturulmuştur. Gürültülü V1 video dizininin her bir çerçeve için kırmızı çizgi ile belirtilen yoğunluk/zaman grafiği Şekil 2.13.b'de gösterilmiştir.

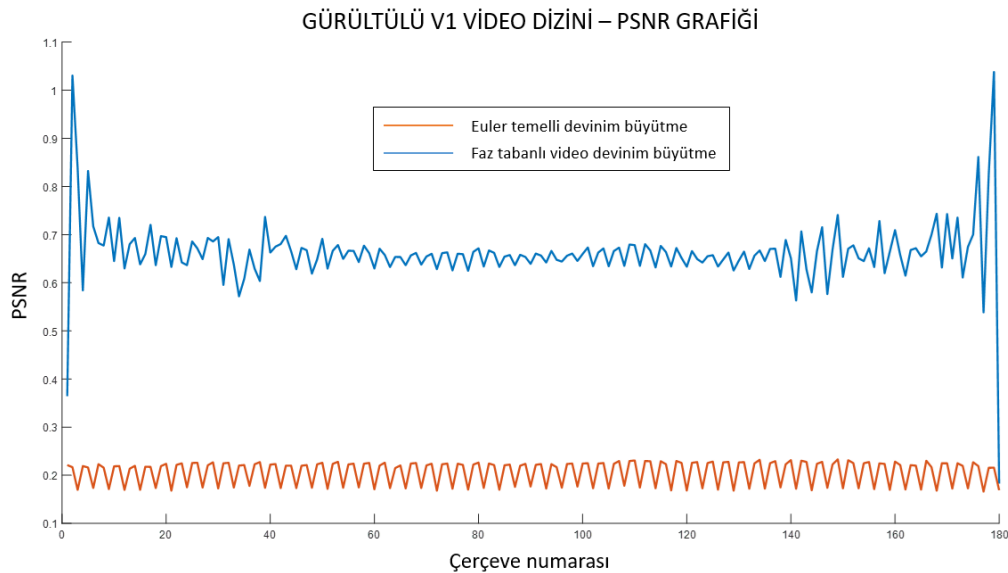


Şekil 2.13: Gürültülü V1 video dizini. Burada, (a) giriş çerçevesi ve kırmızı çizgi ile uzamsal-zamansal dilim; (b) (a)'da belirtilen kırmızı çizgi ile V1 video dizini; (c) V1 video dizininin bir büyütme katsayısıyla büyütülmüş kesin referans dizini; (d) DDB yöntemi ile büyütme sonucu; (e) FDB yöntemi ile büyütme sonucu.

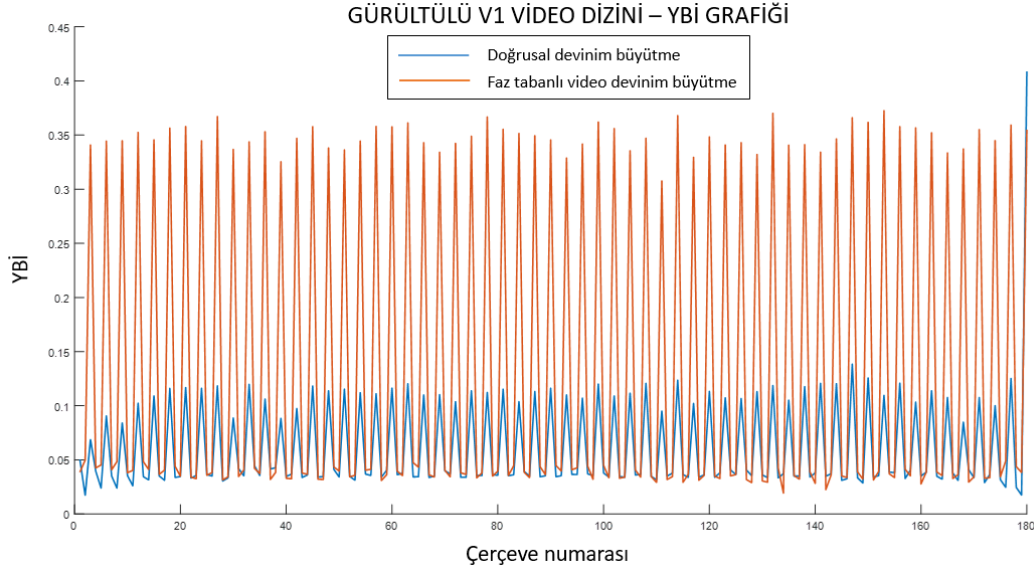
Her iki devinim büyütme yöntemini karşılaştırmak için kesin referans video dizini oluşturulmuştur. Bu dizin, gürültülü V1 video dizininde kullanılan yöntemden yararlanılarak türetilmiştir. Bir büyütme katsayısına α denk gelecek şekilde kesin referans dizini, beyaz dairenin hareketinin $d_j = A(\alpha + 1) \sin\left(2\pi \frac{f}{f_s} j\right)$ fonksiyonu ile büyütülerek üretilmiştir. Kesin referans dizininin yoğunluk/zaman grafiği ise Şekil 2.13.c’de gösterilmiştir. Burada büyütme katsayısı $\alpha = 5$ alınmıştır [12].

Gürültü eklenerek oluşturulmuş video dizini DDB yöntemi ile büyütülmüş yoğunluk/zaman grafiği Şekil 2.13.d’de, FDB yöntemi ile büyütülmüş video dizininin yoğunluk/zaman grafiği ise Şekil 2.13.e’de gösterilmiştir. Her iki grafiğe bakıldığında DDB yönteminin gürültüyü daha fazla arttırdığı ve FDB yönteminin kesin referansa daha yakın sonuç verdiği görülebilmektedir.

Bu iki yöntemin birbirlerine üstünlüklerini ortaya çıkarmak için kesin referans dizini temel alınarak imgeler birebir karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma işlemi için EK A’da özetlenen yapısal benzerlik indeksi (*YBİ*, *Structural Similarity Index*) ölçümü ve en büyük işaret gürültü oranı (*PSNR*, *Peak Signal to Noise Ratio*) yöntemlerinden yararlanılmıştır. *YBİ* iki görüntü arasındaki yapısal benzerliği hesaplayan bir kalite ölçüsü iken, *PSNR* gözlemcilerin bir görüntüye dair kalite algısına yaklaşımı şeklinde düşünülmektedir.



Şekil 2.14: DDB (mavi) ve FDB (turuncu) yöntemlerinin kesin referans dizinine göre her bir çerçevedeki PSNR değerleri.



Şekil 2.15: DDB (mavi) ve FDB (turuncu) yöntemlerinin kesin referans çerçeve dizilerine göre YBİ değerleri.

FDB yönteminin kesin referans temel alınarak elde edilmiş PSNR değerleri (Şekil 2.14) ve YBİ değerleri (Şekil 2.15) DDB yöntemine göre daha yüksek çıkmıştır. Sonuçta, FDB yönteminin DDB yöntemine göre gürültüye karşı hassasiyeti azalttığı görülmektedir.

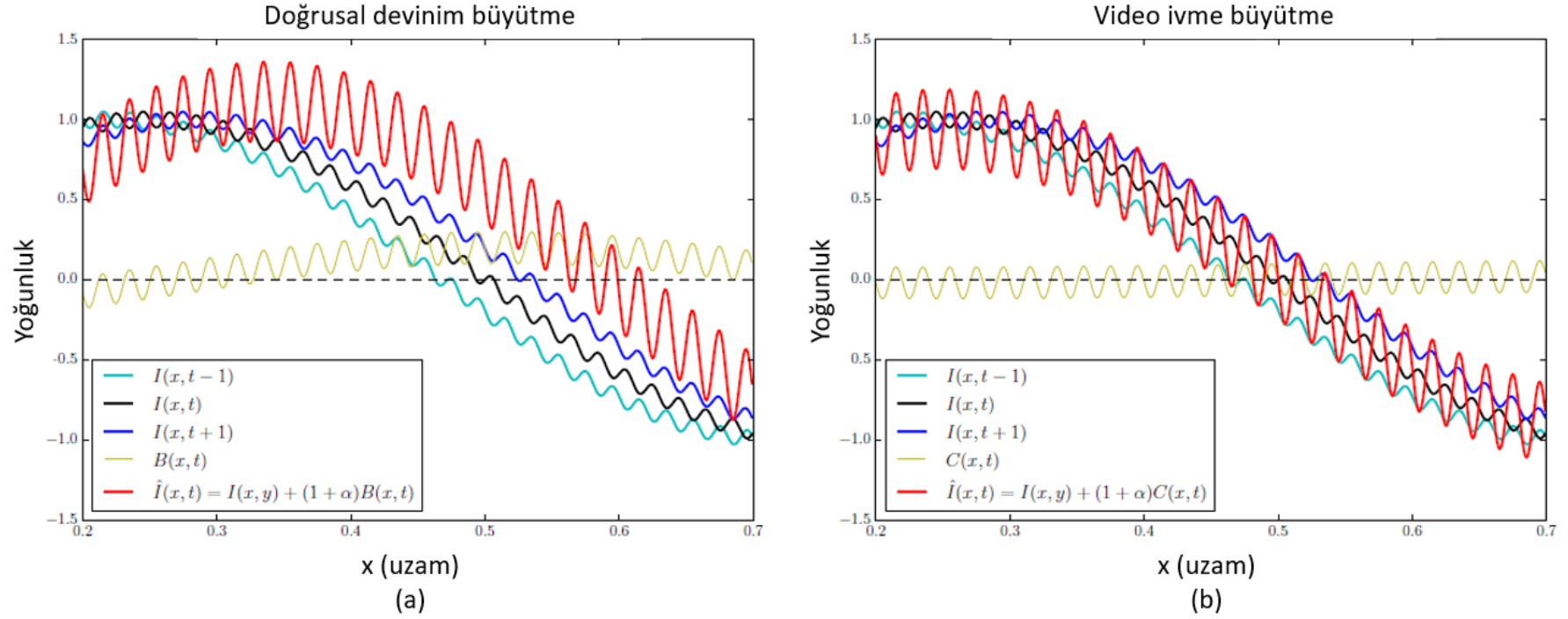
2.4 Video İvme Büyütme

VİB, Euler temelli yaklaşımdan yararlanan, büyük hareketler içinde meydana gelen küçük değişimleri yükselten, izleme ve bölge seçimi gerektirmeyen bir yöntemdir. DDB ve FDB yöntemleri, küçük ve büyük bütün değişimleri ölçmekte ve büyütmektedir. Bu yöntemlerde kullanılan süzgeçler $B(x, t)$ değişikliklerin büyüklüğünü ölçmekte ve bu değişikliklerin büyüklüğü veya küçüklüğü ile ilgili herhangi bir ayırım yapmamaktadır. VİB yönteminde ise zamansal ivme süzgeci $C(x, t)$ kullanılarak büyük devinimler içerisinde meydana gelen küçük sapmalar etkin bir şekilde büyütülebilmektedir.

VİB yöntemine genel bir bakış elde edilmesi amacı ile büyük öteleme hareketi içerisinde küçük sapmalara sahip 1B sinyalin $I(x, t)$ devinimi hem DDB yöntemi hem de VİB yöntemi ile büyütülmüş ve sonuçlar Şekil 2.16' da gösterilmiştir [28]. Siyah ile belirtilen $I(x, t)$ sinyalin iki zaman örneği $\{t - 1, t + 1\}$ turkuaz ve mavi çizgiler ile belirtilmiştir. DDB yöntemi ile süzgeçlenmiş ve devinimi büyütülmüş sinyal Şekil

2.16.a'da kırmızı çizgi ile gösterilmektedir. VİB yönteminde zamansal ivme süzgeci $C(x, t)$ kullanılarak devinimi büyütülmüş sinyal ise Şekil 2.16.b'de yine kırmızı çizgi ile belirtilmiştir. Her iki yöntem sonucu incelendiğinde doğrusal yöntemin kamera hareketi gibi büyük devinimlere daha duyarlı olduğu görülmektedir [28]. VİB yöntemi ise büyük öteleme hareketi sabitken küçük sapmaları kuvvetlendirmede daha etkindir. Dolayısıyla VİB yöntemiyle devinimli nesnelere meydana gelen küçük sapmaların veya hareketli kamera ile çekilmiş sahnelerdeki değişimlerin büyütülmesi mümkün hale gelmiştir.

Bu bölümde, sırasıyla DDB ve FDB yöntemlerinden yararlanılarak elde edilmiş VİB yöntemleri ayrıntılarıyla özetlenecektir. İlk yöntem, DDB yönteminden yola çıkarak elde edilmiş ivme büyütme yöntemidir ve genellikle renk büyütme işlemlerinde tercih edilmektedir. Diğer yöntem ise FDB yönteminden yararlanılarak ortaya konmuş *Faz tabanlı ivme büyütme (FİB)* yöntemidir ve bu yöntem de genellikle devinim büyütme işlemlerinde kullanılmaktadır [28].



Şekil 2.16: DDB ve VİB yöntemleri ile 1B bir sinyalin kuvvetlendirilmesi [28]. Burada, büyük öteleme hareketi içerisinde küçük sapmalara sahip $I(x,t)$ sinyalinin üç farklı zamanda $\{t-I, t, t+I\}$ örnekleri (sırasıyla turkuaz, siyah, mavi çizgiler); (a) süzgeçlenmiş sinyal $B(x,t)$ (sarı çizgi) ve bu sinyalin bir büyütme katsayısı α ile çarpılıp ham sinyale eklenerek büyütülmüş sinyal (kırmızı çizgi); (b) zamansal süzgeç sonucu $C(x,t)$ (sarı çizgi) ve bu sinyalin bir büyütme katsayısı α ile çarpılıp ham sinyale eklenerek büyütülmüş sinyal (kırmızı çizgi) gösterilmektedir. (a)'da tüm hareketler büyütülürken (b)'de sadece küçük sapmalar büyütülmüştür.

2.4.1 İvme büyütme

Bu yöntemde zamansal değişimlerin büyütülmesinden ziyade değişimin sapması kuvvetlendirilmektedir. Örneğin, bir nesne bir yönde hareket ettiğinde o yönde meydana gelen her küçük sapma bu teknikle büyütülmektedir. Bu yöntemde küçük değişimleri barındıran büyük nesne hareketlerinin zamansal ölçekte sabit olduğu varsayılmakta ve bu sabit hareket göz ardı edilmektedir. Böylece doğrusal devinimlerin değil, ivmelerin büyütüldüğü gözlemlenmektedir [28].

DDB yönteminde olduğu gibi 1B sinyal üzerinden ivme büyütme algoritması incelenecektir. Amaç diğer devinim büyütme yöntemlerine benzer şekilde x konumunda, t zamanında bulunan ve yer değiştirme δ fonksiyonuna sahip 1B giriş sinyalinin $I(x, t) = f(x + \delta(t))$ bir büyütme katsayısı β ile büyütülmesidir:

$$\hat{I}(x, t) = f(x + (1 + \beta)\delta(t)) \quad (2.38)$$

Büyütülmüş sinyalin x civarında Taylor serisinin ikinci dereceden yaklaşılması alındığında:

$$\hat{I}(x, t) \approx f(x) + (1 + \beta)\delta(t) \frac{\partial f(x)}{\partial x} + (1 + \beta)^2 \delta(t)^2 \frac{1}{2} \frac{\partial^2 f(x)}{\partial x^2} \quad (2.39)$$

denklemini elde edilir ve $(1 + \beta)^2 \delta(t)^2 \frac{1}{2} \frac{\partial^2 f(x)}{\partial x^2} \ll 1$ olduğu varsayıldığında:

$$\hat{I}(x, t)_{\text{doğrusal}} \approx f(x) + (1 + \beta)\delta(t) \frac{\partial f(x)}{\partial x} \quad (2.40)$$

şeklindeki doğrusal ifadeye ulaşılır. Bu yöntemde amaç, büyütülmüş sinyalin ikinci dereceden değişimlere göre yeniden yapılandırılmasıdır. Bir başka ifadeyle sinyalin doğrusal olmayan kısmını yani ivmesini elde etmektir. Denklem 2.39'dan denklem 2.40 çıkarıldığında:

$$\hat{I}(x, t) - \hat{I}(x, t)_{\text{doğrusal}} \approx (1 + \beta)^2 \delta(t)^2 \frac{1}{2} \frac{\partial^2 f(x)}{\partial x^2} \quad (2.41)$$

Şeklindeki fark ifadesi elde edilir. Denklemden basitliği sağlamak için $(1 + \beta)^2 = \alpha$ ve $\alpha > 0$ alınabilir. Ortaya çıkarılmak istenen devinimin frekansının zamansal ivme süzgecinin $C(x, t)$ geçiş bandında olduğu varsayılır:

$$C(x, t) = \delta(t)^2 \frac{1}{2} \frac{\partial^2 f(x)}{\partial x^2} \quad (2.42)$$

Elde edilen ikinci dereceden $C(x, t)$ süzgeci bir büyütme katsayısı α ile çarpılır ve ham sinyalin üzerine eklenir:

$$\hat{I}(x, t) = I(x, t) + \alpha C(x, t) \quad (2.43)$$

Sonuçta, doğrusal olmayan devinimin -ikinci dereceden değişikliklerin veya ivmenin- büyütülmesi işlemi gerçekleştirilir [28], [30].

2.4.1.1 Zamansal İvme Süzgeci

İvme, $I(x, t)$ sinyalinin ikinci dereceden türevi şeklinde tanımlanmaktadır ve bu işlem için Laplace süzgeç kullanılmaktadır. Laplace, Gauss süzgecin ikinci dereceden türevi olup yumuşatılmış bir sinyalin ikinci dereceden türevinin alınmasına denk düşer. Doğrudan türev alınması ile gürültünün artması meydana gelse bile bu işlemle belirtilen sorun ortadan kaldırılmaktadır. Laplace ile bir sinyalin ikinci dereceden türevi arasındaki ilişki

$$\frac{\partial^2 I(x, t)}{\partial x^2} \otimes G_\sigma(t) = \frac{\partial^2 G_\sigma(t)}{\partial x^2} \otimes I(x, t) \quad (2.44)$$

şeklinde ifade edilmektedir [28]. Burada, \otimes evrişim işlemi, $G_\sigma(t)$ varyansı σ^2 olan Gauss süzgeç ve onun Laplace'ı $\frac{\partial^2 G_\sigma(t)}{\partial x^2}$ 'dır.

2.4.1.2 VİB yöntemi ile renk büyütmenin sınanması

Bu tez çalışmasında VİB yöntemini incelemek ve sonuçları değerlendirmek için kontrollü deneyler oluşturulmuştur. Bu yöntem, renk büyütme işleminde gürbüz sonuçlar vermektedir. Dolayısıyla devinimli ve yoğunluk değeri zamana göre değişen bir daireye ait referans video dizini üretilmiştir.

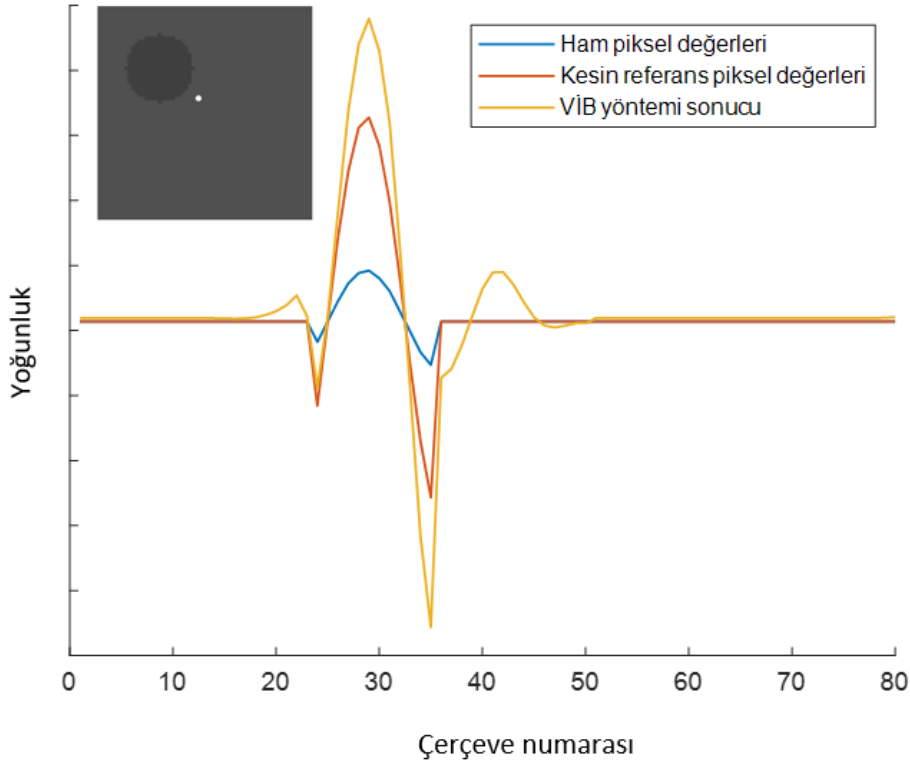
Yoğunluğu belirli bir frekansta değişen ve sol üst köşeden sağ alt köşeye hareket eden bir daireye ait dört farklı zamandaki video çerçeveleri Şekil 2.17’de gösterilmektedir. Dairenin yarıçapı 10 piksel ve devinimi 1 piksel/çerçeve şeklinde ayarlanmıştır. Yoğunluk değişimleri sinüs dalgası şeklinde tasarlanmış ve en büyük yoğunluk değişimi 20’dir. Yoğunluk frekansı ise 2 çerçeve/saniye ve çerçeve hızı 30 çerçeve/saniye’dir. Üretilen referans dizinini doğrulamak için kesin referans dizini oluşturulmuştur. Bu dizinde ise yoğunluk değişimi 4 kat artırılarak en büyük yoğunluk değişimi 80’e çıkarılmıştır. Böylelikle kesin referans dizisi temel alınarak VİB yönteminin renk büyütme başarımı sınanabilmiştir.



Şekil 2.17: Sol üst köşeden sağ alt bölüme giderken yoğunluğu değişen bir dairenin video dizininden dört farklı çerçeve

Renk büyütme işleminde uzamsal ayrıştırma için Gauss piramitlerden yararlanır. Uzamsal olarak ayrıştırılan her bir çerçeve zamansal ivme süzgecinden geçtikten sonra denklem 2.43’deki gibi belirlenen büyütme katsayısı çarpılır ve asıl görüntülere eklenir.

Renk büyütmenin etkinliğini gözlemlemek için Şekil 2.17’de sol köşede gösterilen beyaz noktaya göre yoğunluk değişimi gözlemlenmiştir. Referans video dizinindeki beyaz noktanın yoğunluk değişimi Şekil 2.18’de mavi çizgi ile gösterilmiştir. Yoğunluk değişiminde VİB yöntemi (sarı çizgi), kesin referans video dizinine (kırmızı çizgi) benzer bir büyüme gerçekleştirmiştir. Gerçeklenen bu kontrollü deney ile birlikte Euler temelli yaklaşım esas alınarak ortaya konmuş VİB yönteminin renk büyütmede başarımı sınanmıştır.



Şekil 2.18: Referans çerçevesi ve yoğunluk değişimini incelemek üzere belirtilmiş beyaz nokta sol üstte gösterilmiştir. Burada, beyaz noktanın referans video dizini için zamana göre yoğunluk değişimi mavi çizgi; aynı noktaya ait kesin referans dizininin yoğunluk değişimi kırmızı çizgi; VİB yöntemi uygulanmış çıkış video dizininin yoğunluk değişimi sarı çizgi ile gösterilmektedir.

2.4.2 Faz Tabanlı İvme Büyütme

FİB yönteminde devinimi kuvvetlendirmek için zaman içindeki piksel yoğunluk değerleri yerine görüntülerin faz bilgisi kullanılmıştır. VİB yöntemindeki gibi doğrusal olmayan devinimleri algılamak için ikinci dereceden türev, faz değerlerine uygulanarak ivme büyütme işlemi gerçekleştirilmiştir.

FİB yönteminde devinim büyütme işlemi, FDB yöntemindeki gibi faz kayması şeklinde tanımlanabilmektedir. Bir örnekle açıklamak gerekirse, t zamanında ve $\delta(t)$ yer değiştirmeye sahip $f(x)$ giriş sinyali, tüm ω frekanslarda Fourier serisi ile ayrıştırılarak sinüzoidlerin toplamı $f(x + \delta(t)) = \sum_{-\infty}^{\infty} A_{\omega} e^{i\omega(x+\delta(t))}$ şeklinde ifade edilebilmektedir (2.26). $\delta(t)$ yer değiştirme fonksiyonu, ω frekansındaki faz bilgisi $\phi_{\omega} = \omega(x + \delta(t))$ içinde tanımlanmaktadır.

Bir videonun uzamsal alandaki zamana bağılı faz değerleri yer değiştirmeyi barındırmaktadır. Bu bilgi ile birlikte frekans alanında devinim büyütme yapılabilmektedir. Dolayısıyla faz bilgisini elde etmek için bir görüntüyü çoklu frekans bantlarına ve yönelimlere ayırıştıran karmaşık yönlendirilebilir piramit kullanılmaktadır. Kullanılan bu piramit, çeşitli bantlarda ω ve yönelimlerde θ bulunan süzgeçler $\psi_{\omega,\theta}$ içermektedir. 2B bir görüntünün yerel faz bilgisi $\phi_{\omega,\theta}$

$$(I(x, y) \otimes \psi_{\omega,\theta})(x, y) = A_{\omega,\theta}(x, y)e^{i\phi_{\omega,\theta}(x, y)} \quad (2.45)$$

şeklinde elde edilmektedir. Burada, \otimes evrişim işlemini, ω bandında ve θ yönelimine sahip $A_{\omega,\theta}(x, y)$ genlik değerini ifade etmektedir. Elde edilen faz, zamansal Laplace süzgeç ile süzgeçlenir:

$$C(\phi_{\omega,\theta}(x, y, t) = \phi_{\omega,\theta}(x, y, t) \otimes \frac{\partial^2 G_\sigma(x, y, t)}{\partial t^2} \quad (2.46)$$

$C(\cdot)$, zamansal süzgeci temsil etmektedir. Süzgeçleme sonucu elde edilen ivme değerleri bir α büyütme faktörü ile çarpılır ve ham faz değerlerinin üzerine eklenir:

$$\hat{\phi}_{\omega,\theta}(x, y, t) = \phi_{\omega,\theta}(x, y, t) + \alpha C_\sigma(\phi_{\omega,\theta}(x, y, t)) \quad (2.47)$$

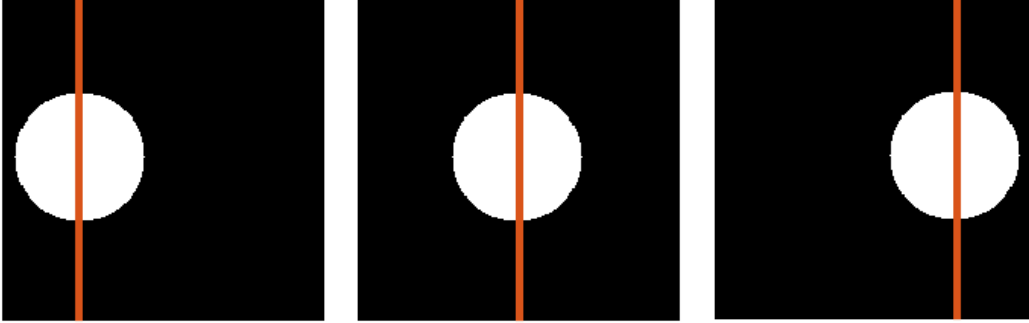
Sonuçta, fazda kayma meydana getirilerek devinim büyütme işlemi gerçekleştirilir [28], [30].

$[-\pi, \pi]$ arasında tanımlı olan faz değerlerinin süzgeçlenmesi veya bir büyütme katsayısı ile çarpılması aralık belirsizliğine neden olabilmektedir. Bu sorunun önüne geçmek için faz değerlerini daha geniş aralıkta sürekli tutacak faz açma (*phase unwrapping*) işlemi uygulanmıştır [46]. Faz açma işleminden sonra süzgeçleme ve büyütme işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Söz konusu büyütme işlemlerinin hepsi ayrıntıları EK B’de açıklanan YUV renk uzayında gerçekleşmiştir. RGB renk uzayındaki video çerçeveleri YUV renk uzayına dönüştürülerek işleme tabi tutulmuştur. Y parlaklık, U ve V kanalları ise renk bilgisini içermektedir. Parlaklık bilgisi R, G ve B kanallarının ağırlıklı toplamı ile elde edilmektedir ve sadece bu kanal üzerinde büyütme işlemleri gerçekleştirilmiştir [47].

2.4.2.1 FİB yöntemi ile devinim büyütmenin sınanması

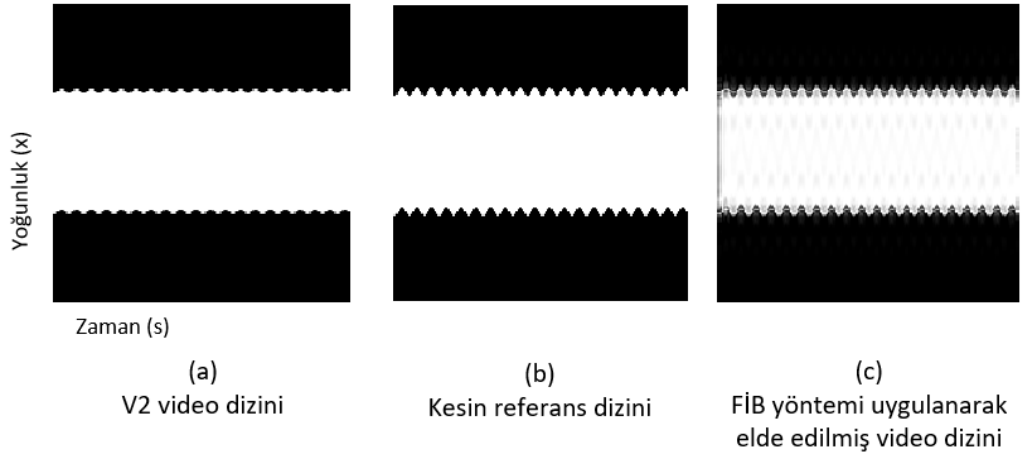
Bu tez çalışmasında FİB yöntemi de, kontrollü deney oluşturularak sınanmıştır.



Şekil 2.19: V2 referans video dizininden üç farklı zaman dilimindeki üç çerçeve.

Kontrollü deney için, beyaz daire içeren referans çerçevesi oluşturulmuştur. Soldan sağa doğru sabit hareket ettirilen beyaz dairenin aynı zamanda o yönde küçük sapmalar yapması sağlanmıştır. Bir diğer deyişle büyük devinim içerisinde küçük sapmaların olduğu video dizini oluşturulmuştur. Oluşturulan dizinin üç farklı zaman diliminde üç çerçevesi Şekil 2.19'da sunulmuş ve her çerçevede turuncu çizgi ile uzamsal-zamansal dilim belirtilmiştir. Bu çizgi, uzamsal dilimde her bir çerçeve için bir piksel kaydırılarak oluşturulmuştur. Yatayda her bir çerçevede bir piksel öteleme hareketi ile sabit büyük devinim meydana getirilmiştir. Beyaz dairenin sabit hareketi içerisinde meydana gelecek yerel bir hareket ise örneğin, $d_j = A \sin(2\pi \frac{f}{f_s} j)$, $A=1$ piksel, $f=2$ döngü/çerçeve ve $f_s=20$ çerçeve/saniye olacak şekilde seçilmiştir. Burada (A, f) sırasıyla titreşimin genliği ve frekansdır. Her bir j çerçevesi, toplamda 180 çerçeve, ile yatayda $f=1$ Hz ile dikeyde $f=2$ Hz hareket eden V2 video dizini oluşturulmuştur. V2 video dizini için yoğunluk/zaman grafiği Şekil 2.20.a'da gösterilmiştir. Buradaki amaç başta da belirtildiği gibi büyük hareketler içerisindeki küçük sapmaları gözle görülür hale getirmektir. Yöntemin çalışılabilirliğini sınamak için V2 video dizininde kullanılan yöntemden yararlanılarak kesin referans video dizini de oluşturulmuştur. Bir büyütme katsayısına α denk gelecek şekilde türetilen kesin referans dizini, $d_j = A(\alpha+1) \sin(2\pi \frac{f}{f_s} j)$ fonksiyonu ile beyaz dairenin dikeyde hareketinin kuvvetlendirilmesiyle üretilmiştir. Kesin referans video dizini için yoğunluk/zaman grafiği Şekil 2.20.b'de gösterilmiştir. Burada büyütme katsayısı $\alpha = 3$ alınmıştır ve

dikeyde meydana gelen 2 Hz frekansına sahip titreşimde herhangi bir değişiklik yapılmamıştır.



Şekil 2.20: Kontrollü deney oluşturularak FİB yönteminin sınanması.

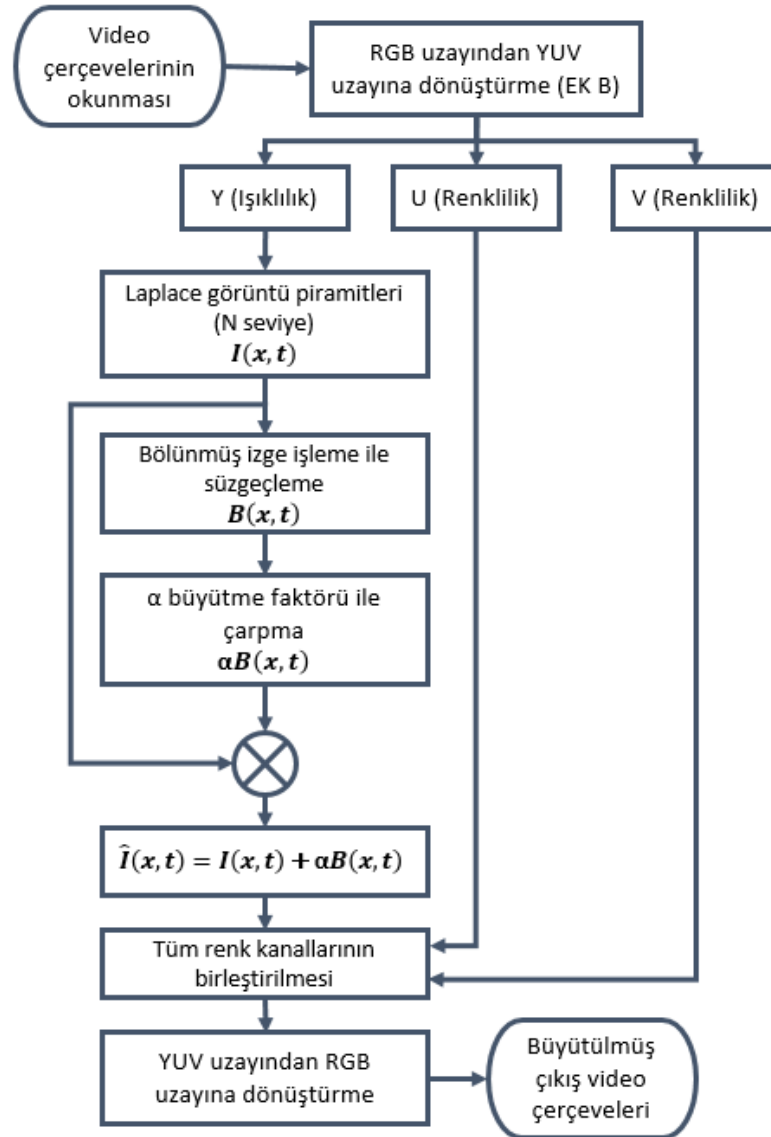
FİB yönteminin V2 video dizinine uygulanmasıyla Şekil 2.20.c'de gösterilen yoğunluk/zaman grafiği elde edilmiştir. Kesin referans dizini ile FİB yöntemi sonucunun yoğunluk/zaman grafikleri birbirlerine yüksek benzerlik göstermektedir. Gerçeklenen kontrollü deney ile FİB yönteminin başarımı sınanmıştır. Ayrıca burada dikkat edilmesi gereken nokta ise üretilen büyük devrimin sabit olmasıdır, aksi takdirde FİB yönteminin etkinliği azalmaktadır.



3. BÖLÜNMÜŞ İZGE İŞLEME İLE DEVİNİM BÜYÜTME ÖNERİSİ

Bu tez çalışması, DDB yönteminde zamansal işleme bölümünde kullanılan süzgeçler yerine alternatif bir süzgeçleme yöntemi önermektedir ve çalışmanın akış şeması Şekil 3.1’de gösterilmektedir.

Öncelikle video çerçeveleri RGB renk uzayından YUV renk uzayına dönüştürülür ve sadece Y kanalı üzerinden işlemler gerçekleştirilir. Çerçevelerin her biri Laplace piramitlerine ayrıştırılır. Daha sonra ayrıştırılan piramit görüntülerine DDB yönteminde kullanılan IIR süzgeç yerine Bölünmüş İzge İşleme (*Bİİ*, *Split Spectrum Processing*) ile süzgeçleme yapılır ve bir büyütme faktörü α ile çarpılır. Elde edilen süzgeçlenmiş ve büyütülmüş görüntüler, ham piramit görüntüler ile toplanır. YUV



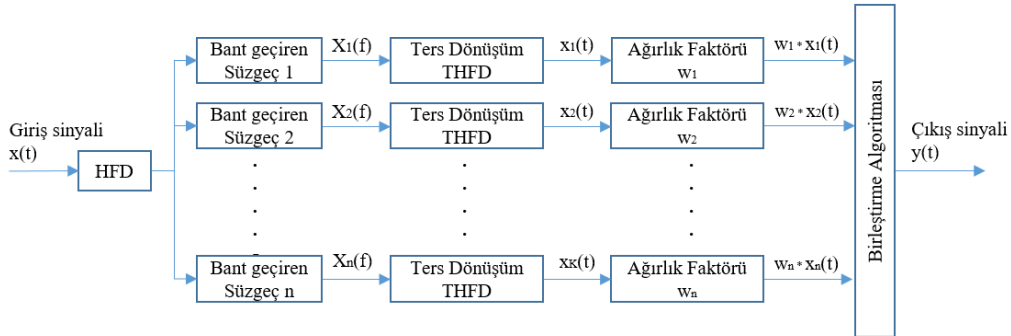
Şekil 3.1: Çalışmanın akış şeması.

renk uzayında bulunan işlem görmüş piramit görüntüleri birleştirilir ve RGB renk uzayına dönüştürülerek büyütülmüş çıkış video dizini elde edilir.

Bİİ yöntemi bir sonraki bölümde ayrıntılarıyla birlikte açıklanmıştır. Daha sonra IIR süzgeç ve Bİİ ile süzgeçleme sonuçları, hem devinim büyütme çalışması için hazırlanan bilek videosu [10] üzerinde hem de kontrollü sınaama yapılarak karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar sonucu önerilen süzgeçleme yönteminin daha gürbüz sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

3.1 Bölünmüş İzge İşleme

Bİİ algoritmaları, öncelikle radar sinyallerinde frekans çevikliğini arttırmak için kullanılmıştır [48]. Ayrıca sinyal-gürültü oranını arttırıcı etkisinden dolayı ultrason sinyal işleme, malzemelerin tahribatsız testi gibi alanlarda da uygulanmıştır [49], [50]. Bİİ'ye ait blok diyagram Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2: Bölünmüş İzge İşleme yönteminin blok diyagramı.

Genellikle Bİİ, işlenecek sinyallerin farklı frekans merkezlerinde bulunan bant geçiren süzgeçlerden geçirilerek birden fazla frekans alt bantlarına ayrıştırılması yöntemidir. Bİİ yöntemine ait blok diyagram Şekil 3.2'de verilmiştir. Burada, alt bantlarına ayrıştırılan sinyal, zaman alanında bir ağırlık faktörü ile çarpılarak doğrusal olmayan birleştirme algoritmaları ile yeniden yapılandırılır.

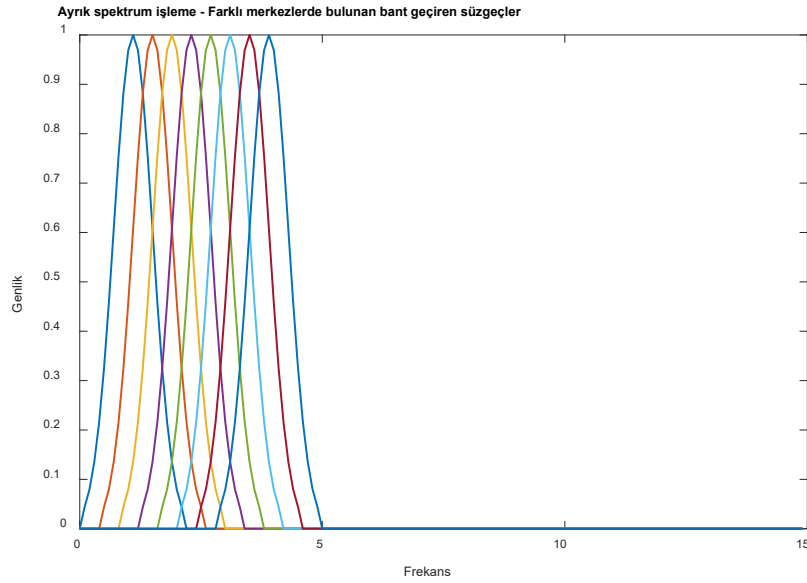
Öncelikle $x(t)$ giriş sinyali HFD (*Hızlı Fourier Dönüşüm*) ile frekans alanına dönüştürülür ve istenen frekans aralığında bulunan bir grup bant geçiren süzgeç ile süzgeçlenir. Süzgeçleme işlemi için genellikle Gauss süzgeç kullanılmaktadır. Ortalaması m ve varyansı σ^2 olan Gauss süzgeç

$$G_k(f) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left(-\frac{(f-m)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (3.1)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Örneğin, farklı ortalamalara ve sabit bir varyansa sahip Gauss süzgeçler Şekil 3.3'de gösterilmiştir. Bu süzgeçler, izgeyi, üst üste binen birçok banda bölmektedir. Böylelikle asıl sinyalin frekans bileşenlerinde kayıp meydana gelmemektedir. Süzgeç bankasından gelen bu çıktılar, $X_k(f)$ ($k = 1, 2, 3 \dots, K$), daha sonra ters Fourier dönüşümü ile zaman alanına dönüştürülür ve bir ağırlık faktörü w ile çarpılarak normalleştirilir. Normalleştirilen sinyaller, doğrusal olmayan birleştirme algoritmalarından biri ile işleme tabi tutulur ve çıktı sinyali $y(t)$ elde edilir. Bu çalışmada birleştirme algoritması

$$y(t) = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K w_k * x_k(t) \quad (3.2)$$

şeklinde ifade edilen ortalama alma kullanılmıştır.



Şekil 3.3: 0-5 Hz aralığında bulunan Gauss bant geçiren süzgeçler

Diğer birleştirme algoritmalarından en küçükleme

$$y(t) = \min(w_k * x_k(t)) \quad (3.3)$$

en büyükleme

$$y(t) = \max(w_k * x_k(t)) \quad (3.4)$$

ve polarite eşikleme

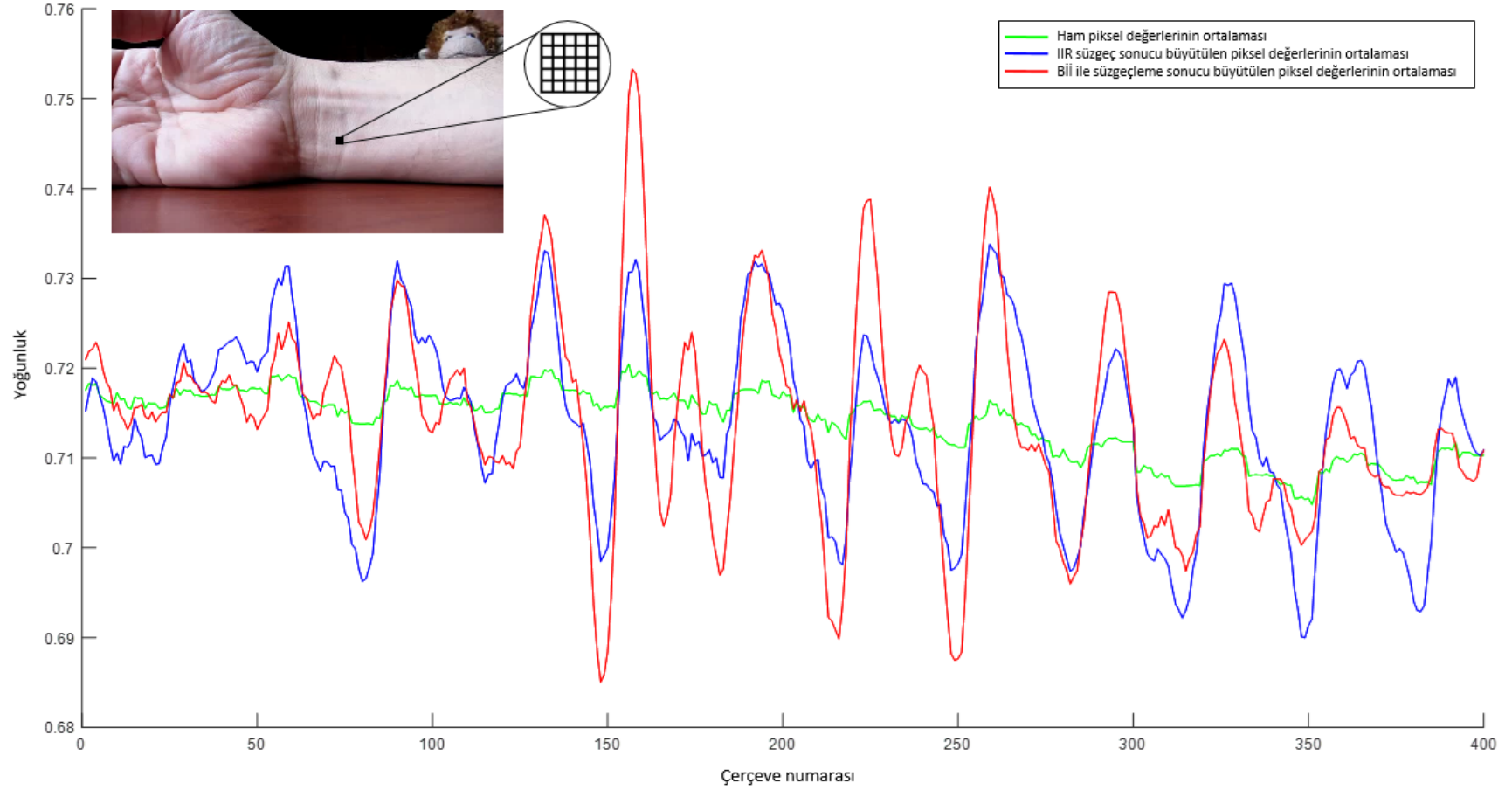
$$y(t) = \begin{cases} |w_k * x_k(t)| & \left\{ \begin{array}{l} \text{eğer } w_k * x_k(t) > 0 \quad \forall_k \\ \text{eğer } w_k * x_k(t) < 0 \quad \forall_k \end{array} \right. \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (3.5)$$

şeklinde tanımlanmaktadır.

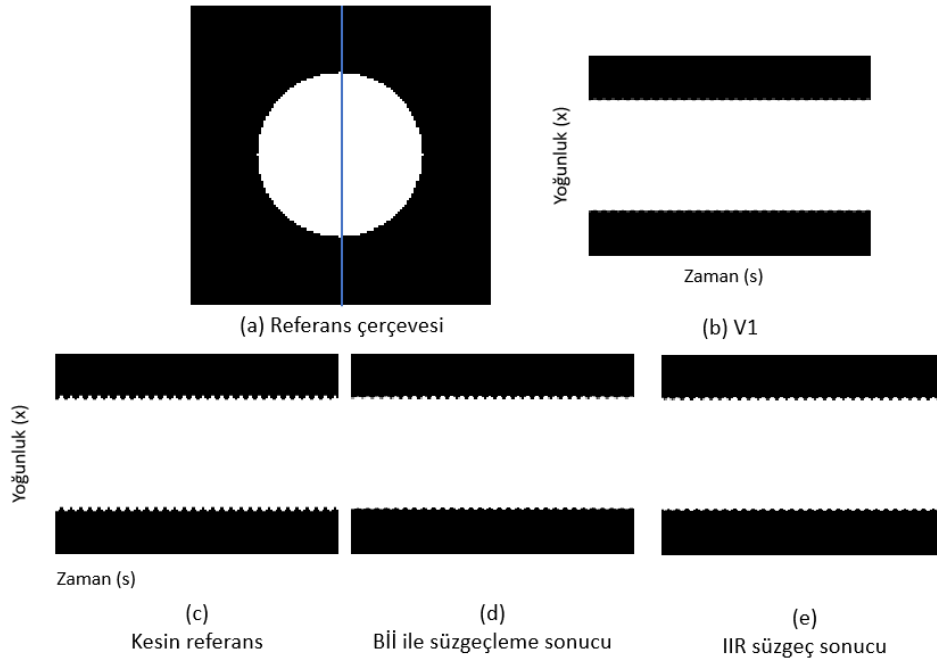
3.2 Süzgeçleme İşlemlerinin Karşılaştırması

Kanın atardamarlara pompalanması esnasında, uçtaki atardamarlarda kalp atışının hissedilmesine nabız denilmektedir. Nabız, insan vücudunda arterlerin cilde yakın geçtiği birçok bölgeden algılanabilmektedir; bilek, boyun, dizlerin arkası gibi [51]. Belirtilen bu sapmalar insan gözünün algılayamadığı frekansta ve genlikte meydana gelmektedir. İnsan bileğinde nabzın gözle görülür hale gelmesi için video büyütme yöntemlerinden yararlanılmıştır. Literatürde DDB yöntemi için sabit bir kamera ile çekilen bilek videosu [10] ve kontrollü oluşturulan video dizini üzerinde zamansal işleme bölümünde kullanılan IIR süzgeç ve önerdiğimiz Bİİ ile süzgeçleme yönteminin karşılaştırılması yapılmıştır.

Saniyede 30 çerçeve ve 352x640 çözünürlüğe sahip bilek videosuna ait bir çerçeve ve nabız atım bölgesi (sol üst) Şekil 3.4'de gösterilmiştir. Nabız atım bölgesinden alınan ham piksel değerleri yeşil çizgi ile belirtilmiştir. Bununla birlikte IIR süzgeç ile işlenmiş ve büyütülmüş piksel değerleri mavi çizgi ile Bİİ yöntemiyle süzgeçlemiş ve büyütülmüş piksel değerleri ise kırmızı çizgi ile gösterilmiştir. Sonuçta, Bİİ ile süzgeçlenen ve büyütülen nabız değerleri IIR süzgeç sonuçlarına nazaran daha belirgin olduğu görülmektedir.

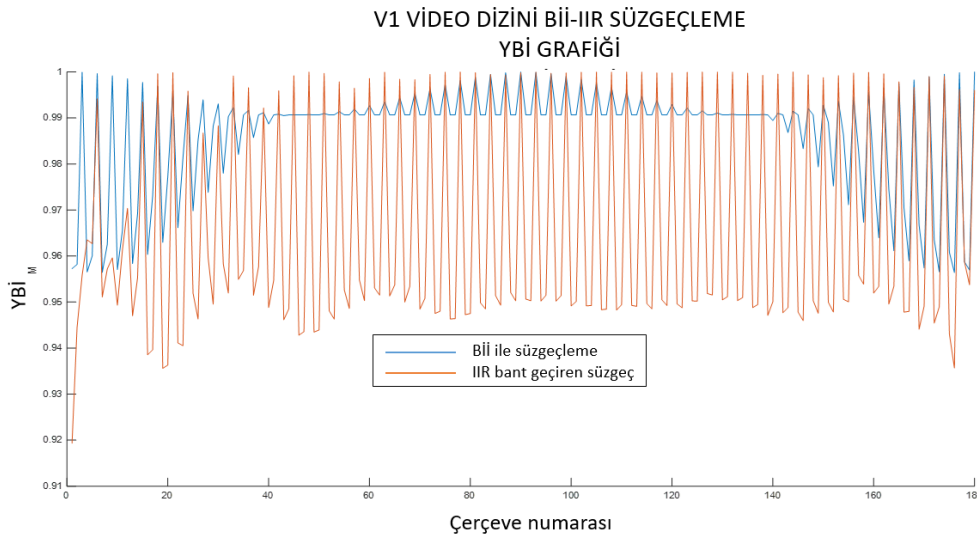


Şekil 3.4: Devnim büyütme çalışması için hazırlanan bilek videosunda nabız bölgesinden yoğunluk değerlerinin ortalaması alınmıştır.



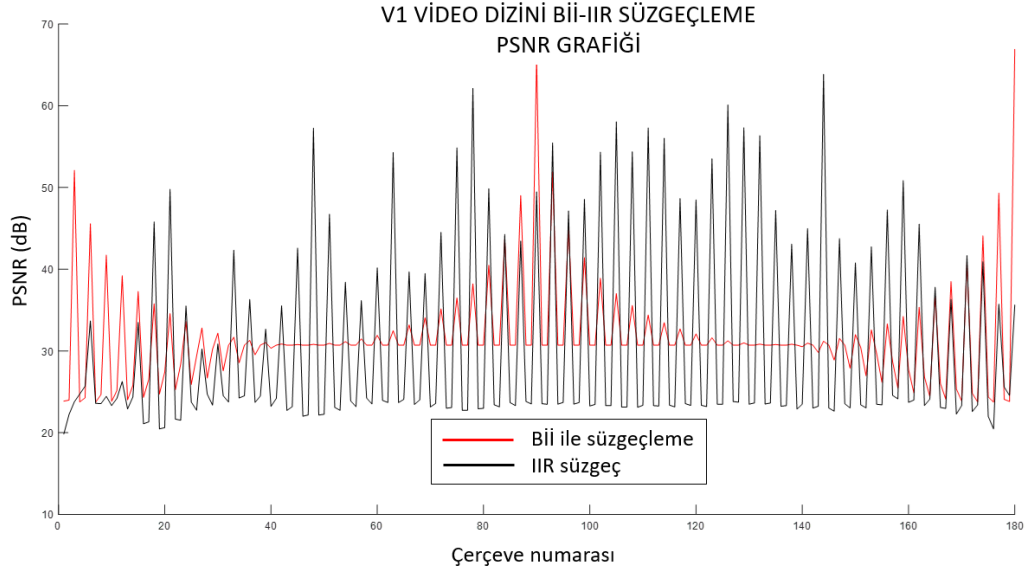
Şekil 3.5: (a) V1 referans çerçevesi; (b) referans dizini yoğunluk/zaman grafiği; (c) kesin referans dizini yoğunluk/zaman grafiği; (d) Bİİ ile süzgeçleme sonucu elde edilen video dizininin yoğunluk/zaman grafiği; (e) IIR bant geçiren süzgeç sonucu elde edilen video dizininin yoğunluk/zaman grafiği gösterilmektedir.

Bir diğer karşılaştırma ise Bölüm 2.3’de FDB ve DDB yöntemlerinin karşılaştırılmasında kullanılan V1 video dizini üzerinden yapılmıştır. V1 video dizinine ait bir çerçeve ve yoğunluk/zaman grafiği sırasıyla Şekil 3.5.a’da ve Şekil 3.5.b’de gösterilmiştir. Karşılaştırma işlemi için oluşturulan kesin referans dizininin yoğunluk/zaman grafiği ise Şekil 3.5.c’de sunulmuştur.



Şekil 3.6: Bant geçiren süzgeç ve Bİİ sonuçlarının YBİ grafiği

Bİİ ile süzgeçleme yapılarak gerçekleştirilen büyütme işleminin çıkış video dizinine ait zaman/yoğunluk grafiği Şekil 3.5.d’de ve IIR süzgeç kullanılarak büyütülmüş çıkış video dizininin zaman/yoğunluk grafiği 3.5.e’de gösterilmiştir. Bu iki video dizininin kesin referans dizinine göre karşılaştırmak için YBİ ve PSNR değerlendirme yöntemlerinden yararlanılmıştır.



Şekil 3.7: Bant geçiren süzgeç ve Bİİ sonuçlarının PSNR grafiği.

Her bir çerçeve için süzgeç sonuçlarının kesin referans video dizini ile benzerliklerinin hesaplandığı YBİ değerleri Şekil 3.6’da gösterilmektedir. Bİİ ile süzgeçleme sonucu elde edilen video dizininin kesin referans dizini ile benzerlik sonuçları, IIR bant geçiren süzgeç sonucu elde edilen video dizininden daha yüksek çıktığı görülmektedir.

PSNR sonuçları ise Şekil 3.7’de gösterilmektedir. Bİİ ile süzgeçleme sonucu elde edilen görüntülerin işaret-gürültü oranı değerleri (kırmızı çizgi) IIR süzgeç sonucu elde edilen görüntülerin değerlerinden (siyah çizgi) daha yüksek çıktığı görülmektedir. Bu iki karşılaştırma yönteminin sonuçlarına göre, Bİİ yöntemi ile süzgeçleme sonuçlarının diğer çalışmalarda kullanılan IIR süzgeçten daha gürbüz sonuçlar verdiği söylenebilir.



4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tez çalışmasında hareket büyütme yöntemlerinde kullanılan zamansal süzgeç için alternatif Bölünmüş izge işleme ile süzgeçleme yöntemi sunulmuştur. DDB yönteminin zamansal işleme bölümünde kullandığı IIR bant geçiren süzgeç ve Bİİ ile süzgeçleme hareket büyütme yönteminde kullanılan bilek videosu ve kontrollü oluşturulan video dizini üzerinde uygulanmıştır. Bilek videosunda nabız atım değerleri Bİİ ile süzgeçlemede daha gürbüz sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Kontrollü deney sonuçları ise YBİ ve PSNR değerlendirme yöntemleri ile önerilen yöntemin başarımı sınanmıştır.

Ayrıca Euler temelli yaklaşım esas alınarak ortaya konmuş temel devinim büyütme yöntemlerinden DDB ve FDB yöntemleri ayrıntılarıyla özetlenmiş ve karşılaştırmaları yapılmıştır. Devinim büyütmenin yanı sıra ivme büyütme yöntemleri VİB ve FİB, matematiksel ifadelerle açıklanmış ve başarımları kontrollü deneyler ile sınanmıştır.

Videolarda devinim ve renk büyütme yöntemleri sağlık hizmetlerinin çeşitli alanlarında kullanılmaya başlanmıştır. Gelecek araştırmalarda ise söz konusu yöntemlerin medikal cihazlarda kullanılması üzerine odaklanılacaktır.



KAYNAKLAR

- [1] **Yang, Y., Dorn, C., Mancini, T., Talken, Z., Kenyon, G., Farrar, C., & Mascareñas, D.** (2017). Blind identification of full-field vibration modes from video measurements with phase-based video motion magnification. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 85, 567-590.
- [2] **Terán, L., Ordóñez, C., García-Cortés, S., & Menéndez, A.** (2016, November). Detection and magnification of bridge displacements using video images. In *Optics and Measurement International Conference 2016* (Vol. 10151, p. 1015109). International Society for Optics and Photonics.
- [3] **Peng, W., Hong, X., Xu, Y., & Zhao, G.** (2019, May). A boost in revealing subtle facial expressions: A consolidated eulerian framework. In *2019 14th IEEE International Conference on Automatic Face & Gesture Recognition (FG 2019)* (pp. 1-5). IEEE.
- [4] **Ordóñez, C., Cabo, C., Menéndez, A., & Bello, A.** (2018). Detection of human vital signs in hazardous environments by means of video magnification. *PloS one*, 13(4).
- [5] **Zhu, Y., Hao, J., Yang, J., & Dong, E.** (2019, August). Subtle vibration sensing and dimension measurement with a bio-inspired optical tactile sensor. In *2019 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA)* (pp. 1248-1253). IEEE.
- [6] **Perrot, V., Salles, S., Vray, D., & Liebgott, H.** (2018). Video magnification applied in ultrasound. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 66(1), 283-288.
- [7] **Climent-Perez, P., Spinsante, S., Mihailidis, A., & Florez-Revuelta, F.** (2020). A review on video-based active and assisted living technologies for automated lifelogging. *Expert Systems with Applications*, 139, 112847.
- [8] **Alam, S., Singh, S. P., & Abeyratne, U.** (2017, July). Considerations of handheld respiratory rate estimation via a stabilized video magnification approach. In *2017 39th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)* (pp. 4293-4296). IEEE.

- [9] **Bennett, S. L., Goubran, R., & Knoefel, F.** (2016, May). Adaptive eulerian video magnification methods to extract heart rate from thermal video. *In 2016 IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications (MeMeA)* (pp. 1-5). IEEE.
- [10] **Wu, H. Y., Rubinstein, M., Shih, E., Guttag, J., Durand, F., & Freeman, W.** (2012). Eulerian video magnification for revealing subtle changes in the world. *ACM transactions on graphics (TOG)*, 31(4), 1-8.
- [11] **Balakrishnan, G., Durand, F., & Guttag, J.** (2013). Detecting pulse from head motions in video. *In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 3430-3437).
- [12] **Elgharib, M., Hefeeda, M., Durand, F., & Freeman, W. T.** (2015). Video magnification in presence of large motions. *In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 4119-4127).
- [13] **Stephen, I. D., Coetzee, V., Smith, M. L., & Perrett, D. I.** (2009). Skin blood perfusion and oxygenation colour affect perceived human health. *PloS one*, 4(4).
- [14] **Cheng, X., Yang, B., Olofsson, T., Liu, G., & Li, H.** (2017). A pilot study of online non-invasive measuring technology based on video magnification to determine skin temperature. *Building and Environment*, 121, 1-10.
- [15] **Akutsu, M., Oikawa, Y., & Yamasaki, Y.** (2013, June). Extract voice information using high-speed camera. *In Proceedings of Meetings on Acoustics ICA2013* (Vol. 19, No. 1, p. 055019). Acoustical Society of America.
- [16] **Davis, A., Rubinstein, M., Wadhwa, N., Mysore, G. J., Durand, F., & Freeman, W. T.** (2014). The visual microphone: Passive recovery of sound from video. *ACM Trans. Graph.* 33, 4, Article 79 (July 2014), 10 pages.
- [17] **Wadhwa, N., Wu, H. Y., Davis, A., Rubinstein, M., Shih, E., Mysore, G. J., Durand, F.** (2016). Eulerian video magnification and analysis. *Communications of the ACM*, 60(1), 87-95.
- [18] **Schödl, A., Szeliski, R., Salesin, D. H., & Essa, I.** (2000, July). Video textures. *In Proceedings of the 27th annual conference on Computer graphics and interactive techniques* (pp. 489-498).

- [19] **Brostow, G. J., & Essa, I. A.** (1999, September). Motion based decompositing of video. In *Proceedings of the Seventh IEEE International Conference on Computer Vision* (Vol. 1, pp. 8-13).
- [20] **Wang, J. Y., & Adelson, E. H.** (1994). Representing moving images with layers. *IEEE transactions on image processing*, 3(5), (pp 625-638).
- [21] **Gleicher, M.** (1998, July). Retargetting motion to new characters. In *Proceedings of the 25th annual conference on Computer graphics and interactive techniques* (pp. 33-42).
- [22] **Liu, C., Torralba, A., Freeman, W. T., Durand, F., & Adelson, E. H.** (2005). Motion magnification. *ACM transactions on graphics* (TOG), 24(3), 519-526.
- [23] **Adelson, E. H., Anderson, C. H., Bergen, J. R., Burt, P. J., & Ogden, J. M.** (1984). Pyramid methods in image processing. *RCA engineer*, 29(6), 33-41.
- [24] **Wadhwa, N., Rubinstein, M., Durand, F., & Freeman, W. T.** (2013). Phase-based video motion processing. *ACM Transactions on Graphics* (TOG), 32(4), (pp 1-10).
- [25] **Karasaridis, A., & Simoncelli, E.** (1996, May). A filter design technique for steerable pyramid image transforms. In *1996 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing Conference Proceedings* (Vol. 4, pp. 2387-2390). IEEE.
- [26] **Wadhwa, N., Rubinstein, M., Durand, F., & Freeman, W. T.** (2014, May). Riesz pyramids for fast phase-based video magnification. In *2014 IEEE International Conference on Computational Photography* (ICCP) (pp. 1-10). IEEE.
- [27] **Held, S., Storath, M., Massopust, P., & Forster, B.** (2009). Steerable wavelet frames based on the Riesz transform. *IEEE Transactions on Image Processing*, 19(3), (pp 653-667).
- [28] **Zhang, Y., Pinteá, S. L., & Van Gemert, J. C.** (2017). Video acceleration magnification. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 529-537).
- [29] **Wu, X., Yang, X., Jin, J., & Yang, Z.** (2018). Amplitude-based filtering for video magnification in presence of large motion. *Sensors*, 18(7), (pp 2312).

- [30] **Xue, B., Zheng, S., & Xue, W.** (2019). Multi-scale adaptive factors video acceleration magnification. *Signal Processing: Image Communication*, 71, (pp 36-44).
- [31] **J Gibson, J. J.** (1950). *The perception of the visual world*. Houghton Mifflin.
- [32] **Andrews, R. J., & Lovell, B. C.** (2003). Color optical flow. In *Proceedings of the 2003 Aprs Workshop On Digital Image Computing*, 135-139
- [33] **Saikumar, T., Venkatesh, S., & Uddin, M. A.** (2015). Comparison techniques of image fusion in image segmentation. *International Conference on Computer & Communication Technologie*
- [34] **Kalaivani, K., & Phamila, Y. A. V.** (2016). Analysis of image fusion techniques based on quality assessment metrics. *Indian Journal of Science and Technology*, 9(31), (pp 1-8).
- [35] **Lindeberg, T.** (1994). *Scale-space theory in computer vision*, kluwer, dordrecht. *Monograph 1994*.
- [36] **D. Mishra and B. Palkar** (2015). Image fusion techniques: A review. *International Journal of Computer Applications.*, 130(9). (pp 7–13).
- [37] **Z. Omar and T. Stathaki** (2015). Image fusion: An overview. *5th International Conference on Intelligent Systems, Modelling and Simulation*, (pp 306–310).
- [38] **Simoncelli, E. P., & Freeman, W. T.** (1995, October). The steerable pyramid: A flexible architecture for multi-scale derivative computation. In *Proceedings, International Conference on Image Processing* (Vol. 3, pp. 444-447), IEEE.
- [39] **Felsberg, M.** (2004, September). On the design of two-dimensional polar separable filters. In *2004 12th European Signal Processing Conference*, (pp. 417-420). IEEE.
- [40] **Liu, Z., Tsukada, K., Hanasaki, K., Ho, Y. K., & Dai, Y. P.** (2001). Image fusion by using steerable pyramid. *Pattern Recognition Letters*, 22(9), (pp 929-939).
- [41] **A. L. Garcia,** (2001). *Numerical methods for physics*. Prentice Hall Englewood Cliffs, NJ.

- [42] **Van Drongelen, W.** (2018). *Signal processing for neuroscientists*. Academic press. Ed. Academic Press.
- [43] **Storn, R.** (1996, May). Differential evolution design of an IIR-filter. In *Proceedings of IEEE international conference on evolutionary computation* (pp. 268-273).
- [44] **Wadhwa, N., Chen, J. G., Sellon, J. B., Wei, D., Rubinstein, M., Ghaffari, R., ... & Kang, S. H.** (2017). Motion microscopy for visualizing and quantifying small motions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(44), (pp 11639-11644).
- [45] **Simoncelli, E. P., Freeman, W. T., Adelson, E. H., & Heeger, D. J.** (1992). Shiftable multiscale transforms. In *IEEE transactions on Information Theory*, 38(2), (pp 587-607).
- [46] **Costantini, M.** (1998). A novel phase unwrapping method based on network programming. *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*, 36(3), (pp 813-821).
- [47] **Podpora, M., Korbas, G. P., & Kawala-Janik, A.** (2014, October). YUV vs RGB-choosing a color space for human-machine interaction. In *FedCSIS (Position Papers)* (pp. 29-34).
- [48] **Karaojiuzt, M., Bilgutay, N., Akgul, T., & Popovics, S.** (1998, October). Defect detection in concrete using split spectrum processing. In *1998 IEEE Ultrasonics Symposium. Proceedings (Cat. No. 98CH36102)* (Vol. 1, pp. 843-846). IEEE.
- [49] **Su, J., Xing, M., Wang, G., & Bao, Z.** (2010). High-speed multi-target detection with narrowband radar. *IET radar, sonar & navigation*, 4(4), 595-603.
- [50] **Pedram, S. K., Mudge, P., & Gan, T. H.** (2018). Enhancement of ultrasonic guided wave signals using a split-spectrum processing method. *Applied sciences*, 8(10), 1815.
- [51] **Majumder, S., Mondal, T., & Deen, M. J.** (2017). Wearable sensors for remote health monitoring. *Sensors*, 17(1), 130.
- [52] **Hore, A., & Ziou, D.** (2010, August). Image quality metrics: PSNR vs. SSIM.

In *2010 20th International Conference on Pattern Recognition* (pp. 2366-2369).

- [53] **Rehman, A., & Wang, Z.** (2011, September). SSIM-based non-local means image denoising. In *2011 18th IEEE International Conference on Image Processing* (pp. 217-220).
- [54] **Winkler, S., & Mohandas, P.** (2008). The evolution of video quality measurement: From PSNR to hybrid metrics. *IEEE transactions on Broadcasting*, 54(3), (pp 660-668).
- [55] **Krauskopf, J., Williams, D. R., & Heeley, D. W.** (1982). Cardinal directions of color space. *Vision research*, 22(9), (pp 1123-1131).
- [56] **Joblove, G. H., & Greenberg, D.** (1978, August). Color spaces for computer graphics. In *Proceedings of the 5th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, (pp. 20-25).

EKLER

EK A: Değerlendirme Yöntemleri

EK B: Renk Uzayları



EK A: Değerlendirme Yöntemleri

Bu bölümde imgelerin karşılaştırılması için iki farklı yöntemden yararlanılacaktır: Yapısal benzerlik indeksi ölçümü (*YBİ*, *Structural Similarity Index*) ve En büyük işaret gürültü oranı (*PSNR*, *Peak Signal to Noise Ratio*). Bu iki ölçüm yöntemi gri ölçekli (8-bit) görüntülere uygulanmaktadır. Bu iki ölçüm, boyutları $M \times N$ olan referans görüntü f ve giriş görüntüsü g üzerinden tanımlanmıştır.

A.1. Yapısal benzerlik indeksi ölçümü

YBİ, iki görüntü çerçevesi arasındaki yapısal benzerliği hesaplayan bir kalite ölçüsüdür [52], [53]. Korelasyon kaybı (s), parlaklık bozulması (l) ve kontrast bozulması (c) gibi üç faktörün kombinasyonu olarak tasarlanmıştır:

$$YBİ(f, g) = l(f, g) c(f, g) s(f, g) \quad (A.1)$$

şeklinde ifade edilir. Burada s , l ve c değerleri

$$\begin{aligned} l(f, g) &= \frac{2\mu_f\mu_g + C_1}{\mu_f^2 + \mu_g^2 + C_1} \\ c(f, g) &= \frac{2\sigma_f\sigma_g + C_2}{\sigma_f^2 + \sigma_g^2 + C_2} \\ s(f, g) &= \frac{\sigma_{fg} + C_3}{\sigma_f\sigma_g + C_3} \end{aligned} \quad (A.2)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. İlk terim (l), iki görüntünün ortalama parlaklığının (μ_f ve μ_g) yakınlığını ölçen parlaklık karşılaştırma fonksiyonudur. Bu fonksiyon, eğer $\mu_f = \mu_g$ ise maksimum 1 değerine sahip olmaktadır. İkinci terim (c), iki görüntünün kontrastının (μ_f ve μ_g) yakınlığını ölçen kontrast karşılaştırma fonksiyonudur. Kontrast ise standart sapma (σ_f ve σ_g) ile ölçülmektedir. Yine parlaklıkta olduğu gibi bu fonksiyon $\sigma_f = \sigma_g$ olduğu takdirde maksimum 1 değerini almaktadır. Son terim (s), f ve g görüntüleri arasındaki korelasyon katsayısını ölçen yapı karşılaştırma fonksiyonudur. Denklemdaki σ_{fg} ise f ve g görüntüleri arasındaki kovaryanstır. Yapısal benzerlik endeksinin pozitif değerleri $[0,1]$ 'dir. 0 değeri görüntüler arasında korelasyon olmadığı ve 1 değeri ise $f = g$ olduğu anlamına

gelmektedir. Denklem A.2’de bulunan C_1, C_2 ve C_3 pozitif sabitleri, belirsizlikten kaçınmak için kullanılmaktadır [52], [53].

A.2. En büyük işaret gürültü oranı

En büyük işaret gürültü oranı ve Ortalama karesel hata (*MSE, Mean Squared Error*) ile algılanabilir hata tahmini yapılarak görüntü kalitesi ölçülmektedir. PSNR, insan gözlemcilerinin bir görüntüye dair kalite algısına yaklaşım olarak düşünülmektedir [54]. Bunun sebebi ise piksel piksel karşılaştırma yapmasıdır. Matematiksel olarak PSNR sadece MSE’nin logaritmik bir temsili:

$$PSNR(f, g) = 10 \log_{10} \left(\frac{255^2}{MSE} \right) \quad (A.3)$$

olacak şekilde ifade edilmektedir. MSE ise referans görüntü ile giriş görüntüsünün piksel değerleri arasındaki ortalama kare farkını ölçmektedir:

$$MSE(f, g) = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (f_{ij} - g_{ij})^2 \quad (A.4)$$

Denklem A.3’e göre MSE değeri sıfıra yaklaşırsa PSNR değeri sonsuza yaklaşmaktadır. Bu durum ise yüksek PSNR değerinin daha yüksek bir görüntü kalitesi sağladığını göstermektedir. Aksi takdirde küçük PSNR değeri iki görüntü arasında yüksek nümerik farklılık olduğu anlamına gelmektedir.

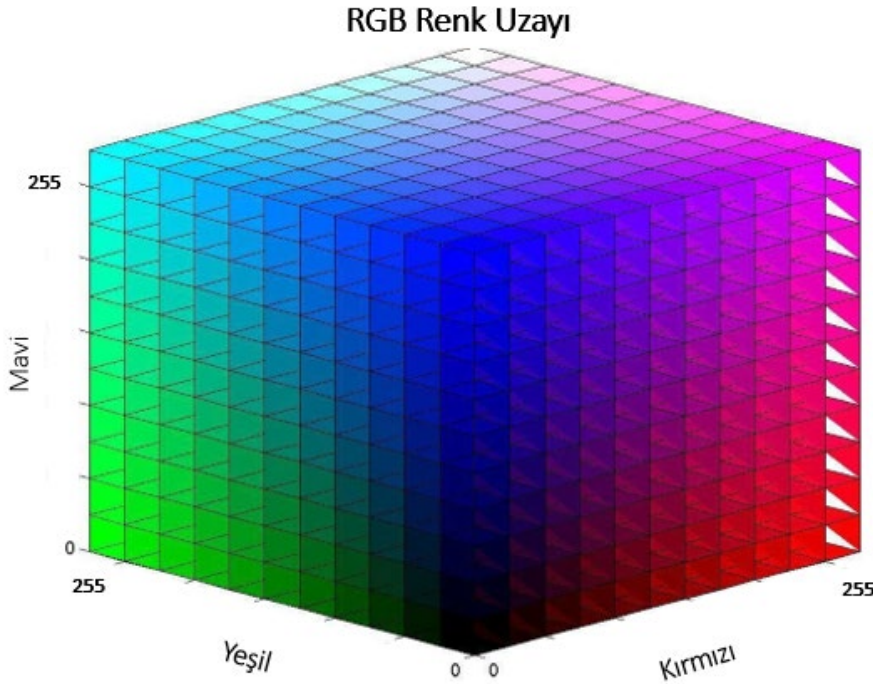
EK B: Renk Uzayları

Renk çeşitliliğinin artmasıyla renkleri gruplandırma ihtiyacı duyulmuştur. Dolayısıyla renkleri gruplandırmak ve standart hale getirmek için renk uzayı (color space) kavramı ortaya çıkmıştır [55]. Her renk uzayı, renk kümesini tanımlamak için kendine özgü bir yapıya sahiptir.

Devinim büyütmede kullanılan insan gözünün algısal yeteneklerine dayanan RGB ve YUV renk uzayları bu bölümde sırasıyla özetlenecektir.

B.1. RGB renk uzayı

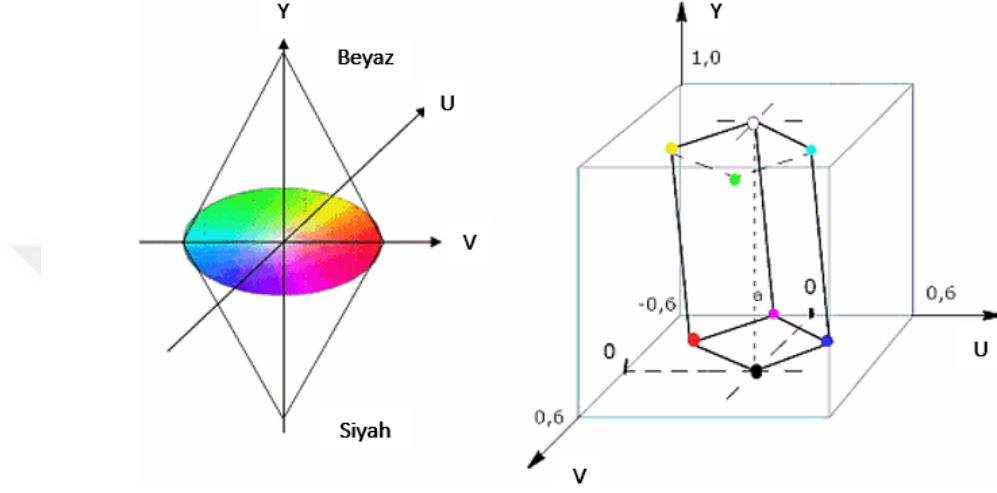
Farklı dalga boylarına tepki verebilen retinadaki koni hücrelerinin alım yeteneklerine dayanan RGB (red, green, blue), sayısal ortamda renkleri ifade etmek için sıkça kullanılan renk uzaylarından biridir. Red kırmızıyı (255, 0, 0), Green yeşili (0, 255, 0) ve Blue maviyi (0, 0, 255) ifade etmektedir. Bu uzayda renkler bir küp şeklinde tanımlanmaktadır ve bu tanımla birlikte üç değişkenli bir dizi (R, G, B) elde edilebilmektedir [56]. Herhangi bir renk, bu üç ana rengin bileşeni şeklinde üretilebilmektedir. Her bir renk bileşeni [0, 255] aralığında birer doğal sayı değeri olarak 2^{24} tane farklı renk oluşturabilmektedir. RGB renk uzayı ve renk küpü Şekil B.1'de gösterilmektedir.



Şekil B.0.1: RGB renk uzayı ve renk küpü.

B.2. YUV renk uzayı

İnsan gözünün retinasına benzer olduğu düşünülen YUV renk uzayında Y parlaklığı (luminance) temsil eden esas renk kanalıdır ve retinadaki çubuk hücreler gibi ışığın yoğunluğunu tanımlamaktadır [47]. U ve V kanalları ise renklilik bileşenleridir ve sırasıyla mavi ve kırmızı tabanlı renk bilgilerini taşımaktadırlar [47].



Şekil B.0.2: RGB renk küpü ile birlikte YUV renk modeli

YUV renk modelinin daha anlaşılır kılınması için RGB renk küpü ile birlikte Şekil B.2’de verilmiştir. Renk uzayları arasında dönüşüm yapılabilmektedir. RGB renk uzayından YUV renk uzayına dönüşüm

$$Y = 0.299R + 0.587 G + 0.114 B$$

$$U = 0.492(B - Y) = - 0.147R - 0.289G + 0.436B \quad (B.1)$$

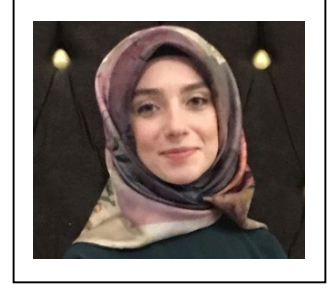
$$V = 0.877(R - Y) = + 0.615R - 0.515G - 0.100B$$

şeklindeki denklemlerle tanımlanmıştır [47].

Tez çalışmasında RGB renk uzayında bulunan video çerçeveleri YUV renk uzayına dönüştürülmüş ve sadece Y parlaklık kanalı üzerinde işlemler gerçekleştirilmiştir.



ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Reyhan Gürleyen
Doğum Tarihi ve Yeri : 20.09.1993 Sarıyer/İstanbul
E-posta : reyhangrlyn@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2017, Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2017 yılından beri FSMVÜ’de araştırma görevlisi olarak çalışıyor.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR:

- Reyhan Gürleyen, Tayfun Akgül, “Bölünmüş İzge İşleme ile Devinim Büyütme”, EMO Bilimsel Dergi’sine mayıs ayında değerlendirilmek üzere gönderildi (incelemede).