



İSKENDERUN TEKNİK
ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK
LİSANS
TEZİ**

**İNTERPOLASYON TABANLI
YENİ BİR VIDEO
STABİLİZASYON YÖNTEMİ**

Semiha DERViŖOĐLU

**BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

MAYIS 2023





**İTERPOLASYON TABANLI YENİ BİR VIDEO STABİLİZASYON
YÖNTEMİ**

Semiha DERVİŞOĞLU

**YÜKSEK LİSANS
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

MAYIS 2023

Semiha DERVİŞOĞLU tarafından hazırlanan “İTERPOLASYON TABANLI YENİ BİR VİDEO STABİLİZASYON YÖNTEMİ” adlı tez çalışması aŐađıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile İskenderun Teknik Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet SARIGÜL
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Çukurova Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....
.....

İkinci Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Levent KARACAN
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....
.....

Başkan: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet SARIGÜL
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Çukurova Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....
.....

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Ezgi ZORARPACI
Havacılık Elektrik ve Elektronik Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....
.....

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Ahmet GÖKÇEN
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....
.....

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Emre KILINÇ
Bilgisayar Programcılığı, Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....
.....

Tez Savunma Tarihi: 4/05/2023

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

ETİK BEYAN

İskenderun Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülediğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu,
- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar video karesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

İmza

Semiha DERVİŞOĞLU

4/05/2023

İTERPOLASYON TABANLI YENİ BİR VİDEO STABİLİZASYON YÖNTEMİ (Yüksek Lisans Tezi)

Semiha DERVİŞOĞLU

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Mayıs 2023

ÖZET

Videoların günlük kullanımının artması ile birlikte video iyileştirme yöntemlerine olan ihtiyaç da artmıştır. Video çekimi esnasında özellikle el kameraları, araç kameraları, kask kameraları gibi kameranın sabit olmadığı durumlarda titreme, sallanma gibi istemsiz kamera hareketleri, videolarda bulanıklık ve bozulmalar yaratabilmektedir. Son yıllarda bu olumsuzlukları ortadan kaldırmak veya azaltmak için birçok video stabilizasyon yöntemi önerilmiştir. Ancak, yapılan çalışmalar belirli problemleri çözebilse de henüz istenilen düzeyde bir stabilizasyon başarısı elde edilememektedir. Özellikle kamera hareketi ile nesnelerin kendi hareketlerinin ayırt edilebilmesi zordur, bu da başarıyı büyük ölçüde etkilemektedir.

Bu tezde video çekiminde ortaya çıkabilecek istemsiz kamera hareketlerini azaltmak için iki farklı video stabilizasyon yaklaşımı öneriyoruz. Birinci yaklaşımda video kare interpolasyon yöntemlerinden yararlanarak optimizasyon tabanlı yeni bir video stabilizasyon yöntemi önerilmektedir. Bu yöntemde, bir video video kare interpolasyonu yöntemi üzerinden giriş stabil olmayan video video karelerini stabil video karelerine dönüştüren çarpıtma (warping) alanlarını optimizasyon yoluyla buluyoruz. Ayrıca, bu optimizasyonu gerçekleştirebilmek için yeni bir kayıp fonksiyonu tanımlıyoruz. Deneysel sonuçlar, önerilen video stabilizasyon yönteminin başarılı sonuçlar ürettiğini göstermektedir. Nicel olarak yöntemimiz, temel interpolasyona dayalı yöntemlere göre %17,65'e kadar daha başarılı stabilite skorları elde etmektedir. Ancak optimizasyon tabanlı bir yaklaşım kullanıldığı için video işlemede yavaş kalmaktadır.

Önerilen ikinci yaklaşımda mevcut interpolasyon tabanlı video stabilizasyon yöntemlerini iyileştirmek için video kareleri tahmin edilen derinlik haritaları üzerinden farklı katmanlara ayrıştırılıp ayrı ayrı stabilize edilmektedir. Bu yöntem özellikle özçekim videolarında rastladığımız ön plan ile arka plan nesnelere arasında derinlik farklarının fazla olduğu videolar için daha başarılı bir çözüm sunmaktadır. Önerilen yaklaşım güncel özçekim video stabilizasyon çalışmalarının kırpma, bozulma ve stabilite skorları ile rekabet edebilecek başarılı bir performans göstermiştir.

Anahtar Kelimeler : Video stabilizasyonu, interpolasyon yöntemleri, optimizasyon metotları, çarpıtma, özçekim video stabilizasyonu
Sayfa Adedi : 36
Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Mehmet SARIGÜL
İkinci Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Levent KARACAN

A NOVEL INTERPOLATION-BASED VIDEO STABILIZATION APPROACH
(M. Sc. Thesis)

Semiha DERVİŞOĞLU

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY
INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES

May 2023

ABSTRACT

With the increasing daily use of videos, the need for video enhancement methods has also increased. During video capture, involuntary camera movements such as shaking and trembling, especially in situations where the camera is not stable, such as handheld cameras, car cameras, and helmet cameras, can create blurring and distortions in videos. In recent years, many video stabilization methods have been proposed to eliminate or reduce these negative effects. However, while these studies can solve certain problems, the desired level of stabilization success has not yet been achieved. Especially, it is difficult to distinguish between camera motion and the movement of objects, which greatly affects performance.

In this thesis, we propose two different video stabilization approaches to reduce involuntary camera movements that may occur during video recording. In the first approach, we propose a new optimization-based video stabilization method that utilizes video frame interpolation methods. In this method, we find warping fields that convert input unstable video frames to stable video frames through a video frame interpolation method using an optimization approach. Additionally, we define a new loss function to perform this optimization. Experimental results show that the proposed video stabilization method produces successful results. Quantitatively, our method achieves up to 17.65% better stability scores compared to the basic interpolation-based method. However, since an optimization-based approach is used, it is slower in video processing.

In the second proposed approach, to improve existing interpolation-based video stabilization methods, video frames are decomposed into different layers based on estimated depth maps, and each layer is stabilized separately. This method provides a more successful solution, especially for videos with large depth differences between foreground and background objects, as commonly encountered in selfie videos. The proposed approach has shown successful performance that can compete with current selfie video stabilization studies in terms of cropping, distortion and stability scores.

Key Words : Video stabilization, interpolation methods, optimization methods, warping, selfie video stabilization

Page Number : 36

Supervisor : Asst. Prof. Dr. Mehmet SARIGÜL

Second Supervisor : Asst. Prof. Dr. Levent KARACAN

TEŞEKKÜR

Bu tez 120E447 numaralı TÜBİTAK projesi kapsamında desteklenmiştir. Bu proje kapsamında çalışmalarımıza destek olan ve lisansüstü eğitimi süresince bana burs imkanı sağlayan TÜBİTAK'a teşekkür ederim. Bu proje kapsamında bana çalışma fırsatı tanıyan ve yüksek lisans tezimde bana rehberlik yapan danışman hocalarım Dr. Öğr. Üyesi Mehmet SARIGÜL ve Dr. Öğr. Üyesi Levent KARACAN' a teşekkür ederim. Ayrıca bilimsel çalışmalarda bana her zaman destek olan anne ve babam ve ailemin her üyesine teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	viii
RESİMLERİN LİSTESİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. VIDEO STABİLİZASYON İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR.....	5
2.1. Video Kare İnterpolasyonu.....	6
2.2. CNN Tabanlı Video Stabilizasyon Yöntemleri	9
2.3. Optimizasyon Tabanlı Video Karesi Tahmini	10
2.2. Özçekim Video Stabilizasyon.....	12
3. YÖNTEM.....	14
3.1. Optimizasyon Tabanlı Video Stabilizasyonu	14
3.1. İnterpolasyon Tabanlı Özçekim (Selfie) Video Stabilizasyonu	18
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	26
4.1. Optimizasyon Tabanlı Video Stabilizasyonu	26
4.2. İnterpolasyon Tabanlı Özçekim (Selfie) Video Stabilizasyonu	27
KAYNAKLAR	30
EKLER	35

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. ABME, VFiformer ve DIFRINT stabilite skor tablosu.....	17
Çizelge 4.1. Video için ABME’i uyguladığımız iterasyon sayısı ve stabilite skorları ...	26
Çizelge 4.2. Seçtiğimiz sarsıntılı videonun yaptığımız akış optimizasyonu ve kullanılan kayıp fonksiyonları ile oluşan sonuçları	27
Çizelge 4.3. Temel alınan çalışma (selfie) ve kullanılan video kare interpolasyon tabanlı çalışmaların kırpma, bozulma değeri, stabilite skor karşılaştırması.....	28



RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Video stabilizasyonun temel prensibi.....	6
Resim 3.1. NUS veri setinden kullanılan videolar	17
Resim 3.2. Optimizasyon yöntemi genel akış tablosu	18
Resim 3.3. Özçekim stabilizasyon metod özeti. X (0): video karesinin ön plan X (1): video karesinin arka plan kısmı.....	18
Resim 3.4. Selfie veri setinden kullanılan video karelerinin katmanlara ayrılmış halleri ve hesaplanan maskeler	20
Resim 3.5. Stabilize edilmiş ön plan (yüz), maskeler ve birleştirilmiş stabil kareler	22
Resim 3.6. Ön plan (yüzler) katmanının karenin sınır bölgelerine çekilmesi.....	23
Resim 3.7. Yapılan çalışmaların görsel sonuçların karşılaştırması	25

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
	Norm
∞	Sonsuzluk
Σ	Sigma
Kısaltmalar	Açıklamalar
AVR	Avaraj (ortalama)
ABME	Asymmetric Bilateral Motion Estimation for Video Frame Interpolation
B	Boyutlu
CNN	Evrışimli sinir ağı (convolution neural network)
DIFRINT	Deep Iterative Frame Interpolation for Full-Frame Video Stabilization
DPT	Dense Prediction Transformers
FAST	Fast sift-the scale invariant feature transform
FILM	Frame Interpolation for Large Motion
İHA	İnsansız hava araçları
L	Loss
L1	L1 Norm (Manhattan Distance or Taxicab norm)
L2	L2 Norm (Euclidean norm)
MİN	Minimum
OIS	Optik Görüntü Sabitleyici
ORT	ORTALAMA
PWC-Net	CNNs for Optical Flow Using Pyramid, Warping, and Cost Volume
RGBD	Red Green Blue Depth

RIFE	Real-time intermediate flow estimation for video frame interpolation
ROT	Rotasyon
SIFT	Sift-the scale invariant feature transform
SURF	Speeded up robust features
SfM	Structure from Motion
VD	ve diğerleri
ViD	Video
VFIformer	Video Frame Interpolation with Transformer



1. GİRİŞ

Günlük yaşantımızın bir alışkanlığı haline gelmiş olan videolar, gerek el kamerası gerekse bir araca bağlı olacak şekilde konumlandırılan bir kamera ile alınan ardışık resimler bütünü olarak tanımlanmaktadır. Askeri alanda (insansız hava araçları, gece görüş kameraları), eğitim alanında (öğretici videolar, araştırmalar), sağlık alanında (endoskopi ve kolonoskopide hastalığın yerini ve büyüklüğünü tespit edebilmek için), film sektöründe sıklıkla kullanılmaktadır. Kameralar, arabaların, insansız hava araçları ya da insan kıyafetlerinin üzerine yerleştirilebilmektedir. Bu şekilde kullanılan kameralar çekim esnasında istemsiz hareketlere maruz kalırlar. Video stabilizasyon bu şekilde hareketli kamera ile çekilen videoların istenmeyen kamera hareketlerinden arındırılarak, yumuşak bir akışa sahip video haline getirilmesi işleminin adıdır. Kaliteli video çekimi için kameraların birçok yeteneğe sahip olması gerekir. Bu işlemi gerçekleştirmek için donanımsal çözümler mevcuttur. Optik Görüntü Sabitleyici (OIS), görüntüdeki hareketi algılayarak kamerayı buna göre ayarlayan bir donanım çözümdür. OIS, mikro elektromekanik sistem jiroskopu kullanarak hareket tespit eder ve kamerayı bağlantı için hareketli bir mekanizma kullanır. Örneğin, eğer çekim sırasında eliniz hafifçe sola hareket ederse, OIS sistemi bu hareket algıları ve kamerayı sağa doğru hafifçe kaydırır. Gimbal ise özellikle video kayıtlarında titremenin önüne geçmek için kullanılan bir donanım cihazıdır. Gimbal, bir döner mekanizma kullanarak kamerayı sabitler. Bu cihazlar, elde kullanım için tasarlandıkları gibi, İnsansız Hava Araçları (Drone) gibi ürünlerde de kullanırlar.

Ancak bahsettiğimiz bu donanımlar genellikle pahalıdır ve aşırı güç kullanabilirler. Ayrıca, kişinin üzerine yerleştirilen donanımın bazı bölümlerinin kişiye yeterli serbestlik alanını sağlamaması da bir sorun olabilir. Bu nedenle, bu tür donanımların kullanımı, maliyetleri, güç tüketimi ve tasarım gereksinimleri gibi faktörler göz önünde bulundurularak gelişen teknoloji ile daha uygun yapıya ve geliştirmeye sahip görüntü stabilizasyon çözümleri ortaya çıkmaktadır. Yukarıda örneklendirdiğimiz mekanik kamera stabilizasyon donanımları ile yapılabilen bu işlemin herhangi bir ek donanıma gereksinim duymadan bilgisayarlarla gerçekleştirilen biçimine dijital video stabilizasyonu adı verilir.

Dijital video stabilizasyon çalışmaları ek bir stabilizasyon donanımına ihtiyaç duyulmayan çalışmalardır. Bu alanda farklı stratejiler kullanan birçok farklı yöntem geliştirilmiştir. Video stabilizasyon işlemi için ilk strateji optik akışı kullanmaktır (Werlberger vd., 2011, Yu vd.,

2013, Liu vd., 2017). Geleneksel optik akış tabanlı yöntemler, akış tahminin zor olduğu durumlarda başarısız olurken, daha yeni derin sinir ağı içeren yöntemler ise bulanık çözümler üretebilmektedir (Ziwei Liu vd.,2017, Sun vd., 2018, Yu, vd., 2020). Bu stratejilerden bir diğeri video karelerinin (frame) ardışık olarak interpolasyonunun alınması ve hareketin yumuşatılması işlemidir. Bu strateji stabilizasyon işleminde kırpma olmadan, sahneler arası titreşimin azalmasını sağlamayabilmektedir. Ancak yinelemeli yapıları gereği oluşturulan resimlerin kalitesi iterasyon sayısı arttıkça düşmektedir. Bu stratejiyi kullanan yöntemin en önemli avantajları ise gözetimli eğitim için bir veri setine ihtiyacının olamamasıdır (Choi vd., 2020). Güncel interpolasyon yaklaşımları video karelerindeki mevcut alanlardan piksel değerlerini akıtıp video karelerini sentezlemeyi öğrenen derin ağ yapıları kullanmıştır. (Ali vd., 2020, Chen vd., 2021, Lee vd., 2021, Miao vd., 2018 Xu vd., 2018 Ziwei Liu vd., 2017) Videodaki kareleri sentezlerken piksel blokları zamansal olarak yakınlarındaki mevcut video karelerin bloklarına benzemektedir. Bu benzer bloklardan pikselleri kopyalamak, sıfırdan üretmekten daha kolay ve tutarlıdır. Ayrıca bu yöntemler, optik akış yöntemiyle benzerlik gösterse de interpolasyon işlemi bir ara işlem olarak kullanıldığından doğruluğu direkt sonuca etki etmez ve dolayısıyla optik akış gibi bir gözetim gerektirmez. Son zamanlarda video stabilizasyon işlemi için interpolasyon ve derin öğrenme tabanlı yaklaşımlar daha çok benimsenmektedir.

Bu çalışmalar incelenerek bu tezde video stabilizasyonu için iki yeni yaklaşım önerilmektedir. İlk çalışmada optimizasyon tabanlı yeni bir video stabilizasyon yöntemi önermekteyiz. Bu yöntemde başarılı video karesi interpolasyon yöntemlerinin (Park vd., 2021, Lu vd., 2022) video stabilizasyonu için kullanılmasını sağlayan bir optimizasyon stratejisi geliştiriyoruz. Bunun için öncelikle DIFIRINT yaklaşımında kullanılan stratejiyi kullanarak farklı video karesi yöntemlerinin video stabilizasyon başarımları incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Deney sonuçlarında interpolasyon sonucu oluşan ara karelerin özellikle video sarsıntılarının daha fazla olduğu yerlerde bulanıklıklar içerdiğini gözlemledik. Ayrıca interpolasyonun akış yumuşaması sağlansa bile görsel bozukluklara sebep olduğu tespit edilmiştir. Bu problemleri çözmek ve stabilize skorlarını iyileştirmek için optimizasyon tabanlı bir video stabilizasyon stratejisi geliştirdik. Geliştirdiğimiz optimizasyon stratejisinin video stabilizasyonundaki etkisini raporladık.

Bu tezde ele alınan ikinci çalışmada özçekim video stabilizasyonu için yeni bir yöntem öneriyoruz. Özçekim (Selfie) videoları, büyük oranda kullanılan video çeşitlerinden biridir

ve günümüzde popülerliği artarak devam etmektedir. Çekilen özçekim videolarda, denetleyici ve düzenleyici video stabilizasyon ekipman eksikliği sebebiyle el titremelerinden kaynaklanan sarsıntılar ve bulanıklıklar oluşmaktadır. Son zamanlarda video stabilizasyonu için Adobe Warp Stabilizer ve YouTube video stabilizatörü gibi ticari araçlar geliştirilmiştir. Fakat yapılan mevcut video stabilizasyon çalışmaları spesifik video tipi olan özçekim videolarında başarısızlıklar göstermektedir. Bunun sebebi özçekim videolarının diğer video türlerine göre video stabilizasyon problemlerinin farklı olmasıdır. Bu bilgiler ışığında özçekim video stabilizasyonu problemlerini alt başlıklar altında sıralayabiliriz. Bu problemlerin birincisi özçekim videolarında yüz ve vücut kısmının kameraya daha yakın olmasıdır (geniş oklüzyon). İkincisi çekilen özçekim videolarında güçlü sarsıntılı videolar ön-plan odaklı olup genellikle arka plan bulanıklığı oluşturmasıdır. Son olarak da ön plan hareketi ile arka plan hareket hızları farklılık göstermektedir.

Mevcut video stabilizasyon metotlarını incelediğimizde birçok sebep ile özçekim videolarında başarısız olduğunu gözlemledik (Choi vd., 2020). Bunlardan ilki genelde hem 2 boyutlu hem de 3 boyutlu video stabilizasyon çalışmalarında özellik-noktalarının (feature-point) izlenmesine bağlı yöntemleri kullanmasıdır. Özçekim videolarında büyük hareketlerde meydana gelen arka plan bulanıklığı ve ön plan odaklı olması sebebiyle özellik noktalarını izleyen metotlar fazlasıyla hata alanı oluşturmaktadır. Bu nedenle, özçekim videoları için başarısız sonuçlar elde edilmektedir. Bununla birlikte özellik izleyici metotların uzun özçekim videolarında kırılmaya neden olması yeni kareler sentezleyebilmek için özellik izleyici yöntemlerden kaçınmasına ve optik akış tabanlı yöntemler kullanılmasına sebep olmuştur (Yu vd. 2018). Optik akış tabanlı yöntemler nispeten başarılı olsa da özçekim videolarında kapatici nesne olan vücut ve yüz kısımların ön planda olması kapama sorunu ile karşı karşıya kalmasına sebep olmuştur. Son olarak genel video stabilizasyon çalışmaları karelerin tamamına aynı stabilizasyon işlemini uygulamaktadır. Özçekim videolarında ön plan ve arka plan hareketliliği farklı olduğundan bu istenen bir durum değildir. Tüm bu sebeplerle bu yöntemde video karelerini derinlik haritasına göre farklı katmanlara ayırarak bahsedilen dezavantajları elimine eden farklı bir video stabilizasyon yaklaşımı önerilmiştir. Ayrıca geliştirilen yöntemde güncel video kare interpolasyon metotları entegre edilebilmektedir.

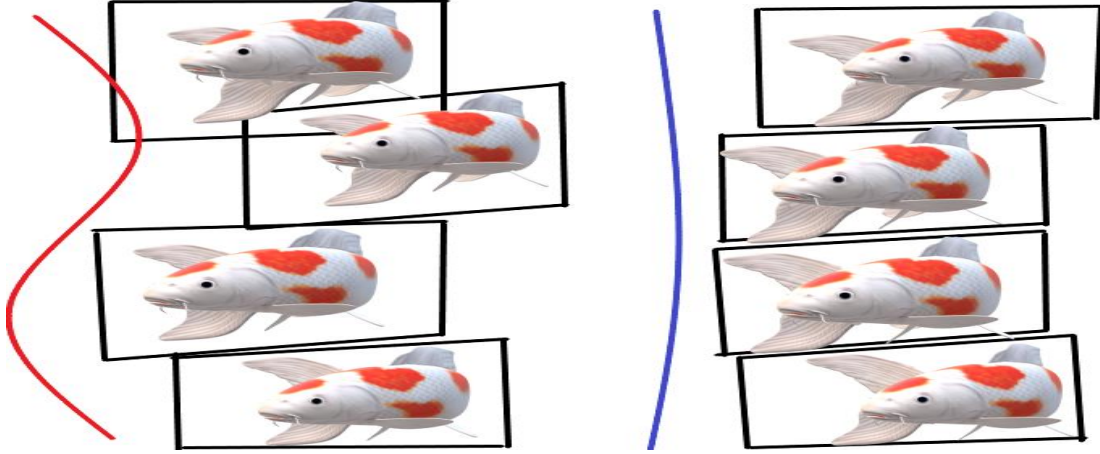
Özetle bu tezdeki katkıları şöyle sıralayabiliriz:

- Yeni bir optimizasyon tabanlı video stabilizasyon yöntemi öneriyoruz.
- Nesnelere arasındaki derinlik farklarının fazla olduğu özçekim videoları gibi videolar için interpolasyon tabanlı yeni bir video stabilizasyon yaklaşımı öneriyoruz.
- Önerdiğimiz video stabilizasyon yaklaşımları çeşitli video stabilizasyon metriklerinde mevcut yöntemlerle yarışır sonuçlar üretmektedir.
- Önerilen yöntemlerde kullanılan farklı adımların video stabilizasyona etkisini ayrıca nicel olarak inceliyoruz.



2. VIDEO STABİLİZASYON İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Dijital video stabilizasyon çalışmaları ek bir mekanik donanıma ihtiyaç duymayan yazılım tabanlı çalışmalardır. Videolardan alınan karelerin arasındaki benzerlik veya öznitelik çıkarımı ile hareketi tespit yaparak kamera yolunu düzelterek videoyu stabilize etmeye çalışırlar (Liu vd., 2009) (Resim 2.1 (Dervişoğlu vd., 2021)). Video kareleri arasındaki hareket tespiti yapmak için kullanılan yöntemler piksel ve blok eşleme tabanlı yöntemlerdir. Bu yöntemler kareler arası mesafe metriği ve benzerlik ölçümünü kullanır. Bu sayede karelerdeki her piksel veya blok için hareket tahmini gerçekleştirilir. Piksel tabanlı yaklaşımda her kamera noktası 3 renge sahip olduğundan 3 değer ile temsil edilir. Video kareleri arasında uzayda aynı noktayı gösteren piksel birçok farklı nedenle (ışığın değişmesi, gölgeler) renk değiştirebilir, bu nedenle pikselleri eşleştirmek zordur. Bu sorun görüntü kalitesi düşük video ortaya çıkarır. Bu yöntemlerde piksellere 2 boyutlu dönüşümler sıklıkla uygulanır (Niklaus vd., 2017). Piksel tabanlı çalışmaların devamı olan blok tabanlı eşlemeler ise piksel tabanlı yöntemlerin yarattığı olumsuzların etkisini azaltır ve iki sahne arasındaki yer değiştirmeler için blok pikseller kullanılır. Ayrıca aşırı eşlemeyi önlemek için eşleştirilecek bloktan sadece belirli mesafedeki blokları dikkate alır. Başka bir yöntem olan özellik-eşleştirme yöntemi sahnede anahtar noktaları belirlemeye çalışır. Yalnızca ilgili noktaların yer değiştirmeleri hesaplanır. Tüm videolar kare-kare işlenerek bu ilgili noktaların konumları seçilen özellikleri izlenerek yörüngeler belirlenir (Liu vd., 2011). SIFT yön bağımsız özellik çıkarımı yapar (Chiu vd. 2013, Rublee vd. 2011, Lowe, G. 2004). SURF yaklaşımı SIFT algoritmasının optimize edilmiş halidir (Rublee vd. 2011, Bay vd. 2006). Daha sonra FAST köşe algılayıcı kullanarak daha başarılı sonuçlar elde etmiştir (Chiu vd. 2013). Fakat özellik eşleştirme yöntemleri başarılı olsa da sahnede tekdüze yerlerde olması gerekenden az sayıda özellik çıkarımı yapılabilmesi gibi sınırlamaları vardır. Bu çalışmalar 2B, 2,5B, 3B olarak çalışılmış ancak öğrenme tabanlı olmayan çalışmalardır. Bu yaklaşımları temel alıp kullanan yöntemleri ve gelişimlerini alt başlıklar altında inceledik.



Resim 2.1. Video stabilizasyonun temel prensibi

2.1. Video Kare İnterpolasyonu

Video kare interpolasyonu, ardışık kareler arasında bulunan eksik bilgileri tahmin ederek yeni bir ara kare oluşturmayı hedefleyen bir tekniktir. Videolar kaydedilirken araçtaki sarsıntılar, el titremesi, video akışının hızlı olması gibi durumlarda eksik veya bozuk kareler oluşabilmektedir. Bu problemler video kare interpolasyonu ile çözülebilmektedir. Çünkü video kare interpolasyonu algoritmaları, mevcut karelerin içeriğine ve hareketine dayanarak eksik kareleri tahmin etmek için çeşitli yöntemler kullanır. Örneğin, hareket tahmini algoritmaları, bir karenin konumunu ve hareketini bir sonraki kareye ilişkin bilgilere göre tahmin edebilir. Ardından, bu tahminlere dayanarak yeni bir ara kare oluşturulur ve videonun akıcılığı artırılır.

İnterpolasyon kullanımı başlangıçta resim interpolasyonu olarak başlamıştır. Bununla ilgili yapılan çalışmada iki girdi görüntüsü alan, ara kare üreten çalışma frekans içeriğini korur ve doğal görünen animasyon dizisi üretir. Bunu A ve B (A'nın kaydırılmış şekli) giriş kareleri $x-t$ düzleminde tek bir tarama çizisi düşünürsek, başlangıçta A'dan pikseller kopyalanır ve bir noktada görüntü B'den kopyalanmaya başlar. Bu piksel P için interpolasyon yoludur. A ve B arasında düzgün bir görüntü elde edilir. (D. Mahajan vd. 2009). Bu resim interpolasyon yöntemleri geliştirilerek video kare interpolasyon çalışmalarına evrilmiştir.

Klasik video kare interpolasyon algoritmaları optik akış ve kare interpolasyonu içerir. Bu çalışmalarda kare interpolasyonunun kalitesi büyük ölçüde optik akışa bağlı olan çalışmalardır. Çalışma iki zamanlı giriş (t , $t+1$) kare arasındaki doğal görünen ara kareler ($t+1/2$) elde etmiştir. Optik akışın yayılımı doğrusal interpolasyon kullanarak yayılır. Ve bilinmeyen kare üretilir. Kayıp kareleri bulma, bozulan kareyi kısmen düzeltebilmektedir. Fakat restorasyon

yapılan kısımlarda optik akış bulunamaz. Bu kısım için interpolasyon teknikleri kullanılmıştır. Çalışmanın eksikli bu yönde olup farklı interpolasyon teknikleri kullanılarak geliştirilebilir (Werlberger, vd. 2011). Benzer bir çalışma optik akışa dayalı 3B bir yaklaşım önermiştir (Yu vd, 2013). Optik akış tahmin etmeden interpolasyona tabi tutan çalışmalar yapılmıştır. Hareketi tahmin eden faz tabanlı yöntem alternatif yöntemdir. İnterpolasyon için euler denklemi, faz-tabanlı bir yaklaşım kullanır. İnterpolasyonun yapılabilen hareket analizi ile sınırlanmasını rahatlatan bir yöntemdir. Optik akışa özgü optimizasyondan kaçınmıştır. Kare interpolasyonu ve yüksek çözünürlüklü yüksek kare hızlı videonun yeniden zamanlamasında başarılıdır. Fakat zor interpolasyon ayarlarında zayıftır (Meyer vd. 2015). Video kare interpolasyon adımları olan hareket tahmini ve piksel sentezini tek bir yerel evrişimli ağa birleştiren çalışmalar da mevcuttur.

Evrişim yoluyla piksel interpolasyonu yapan çalışmalar da mevcuttur. Formülasyon optik akış yerine piksel yamaları üzerinde evrişim yapılarak piksel interpolasyonu gerçekleştirilmiştir. Avantajları tıkanıklık ve bulanıklık ve ani parlaklık değişimini çözmesi ve yüksek kare interpolasyonu sağlamasıdır. Yüksek kare interpolasyonunu sağlar. Bu yöntem optik akış yöntemlerine göre daha esnektir. Fakat büyük hareketlerde etkili değildir (Niklaus vd., 2017). Yine aynı çalışma üzerine büyük hareketleri işlemek için büyük çekirdek gereklidir. Bu bellek talebi nedeni ile çekirdekleri bir karede tahmin edebilecek piksel sayısını sınırlar. Bu sorunu çözmek için kare interpolasyonunu eş zamanlı 1B çekirdek çiftlerini kullanarak giriş kareleri üzerinde yerel ayrılabilir evrişim olarak formüle edilir (Niklaus vd., 2017). Klasik optik akış tabanlı yöntemler akış tahmini zor olduğunda başarısız olmaktadır. Piksel değerlerini sanrı olarak gören daha yeni sinir ağı tabanlı yöntemler ise bulanık çözümler verir. Deep Voxel Flow olarak isimlendirilen yöntem 2 yaklaşımı birleştirmiştir. Mevcut olanlardan piksel değerleri akıtılarak video sentezlemeyi öğrenen bir ağ eğitmiştir. Bu yaklaşımın hem optik akışı hem de videoyu interpolasyon ve ekstrapolasyon için son CNN tekniklerini geliştirdiğini göstermiştir. Voksel akışına göre, hareket/voksel akışı tahminindeki yanlışlıklara uyum sağlamada hala sınırlıdır (Liu vd., 2017). Video kare interpolasyonun da bir diğer çözüm tıkanma problemini çözmek için çift yönlü akış tahmin edilir. Akış giriş karelerini çarpıtmak (warp) ve karıştırmak (blend) için kullanılır. İki çarpılmış karenin nasıl karıştırılacağına çözüm bulmuştur. Bu yöntem, yalnızca girdi karelerinin değil piksel bazında bağlamsal (contex) bilgileri de çarpıtan bir yaklaşımdır. Spesifik olarak bağlamsal bilgileri çıkarmak için önceden eğitilmiş sinir ağı kullanmıştır. Son olarak diğer yöntemlerden farklı olarak önceden çarpıtılmış kareleri ve bağlam haritalarını

interpolasyon edilen kareyi bağlama duyarlı bir şekilde üretmek için bir video kare sentezi ağına beslemiştir (Niklaus vd., 2018).

Son zamanlarda, bahsettiğimiz çalışmaların yöntemlerini iyileştirme stratejisi üzerine çalışmalar yapılmıştır. Niklaus ve ekibi video kare interpolasyon yöntemini geliştirebilmek için girdi karelerine ileri çarpıtma (forward warping) softmax splatting yapısını kullanarak yüksek kalitede ara kareler üretilmeye çalışılmıştır. Bu işlem, çerçeve arasındaki hareketleri ve geçişleri pürüzsüz bir şekilde yakalamayı amaçlamıştır (Niklaus vd., 2020). RIFE çalışmasında ise gerçek zamanlı video kare interpolasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu işlem için girdi kareleri arasındaki ara akışı hızlı tahmin edebilen IFNET sinir ağını kullanarak video kare interpolasyon işlemini gerçekleştirir (Huang vd., 2022). ABME yaklaşımı video karesi hareket karesi için asimetrik iki taraflı hareket tahminleri yaparak doğrusal olmayan hareket akışını yakalamayı hedefler. İlk olarak girdi karelerindeki simetrik hareket tahminleri ile ara kare bulur. İkinci adımda bu ara kare üzerinden girdi karelerine doğru asimetrik hareket tahmini gerçekleştirir. Daha sonra bu bilgileri girdi kareleri üzerine geriye doğru çarpıtma işlemini kullanarak ara kareyi bulmayı hedeflemiştir. Girdi karelerindeki hareket akışının asimetrik olan kısımlarında örneğin yüz profilinin etrafındaki piksellerde olumsuz etkileri gideren video kare interpolasyon çalışması olmuştur (Park vd., 2021). VFIfomer çalışması geleneksel optik akış ve derin sinir ağı kullanan çalışmaların aksine video karesi interpolasyonu için Transformer yapısını kullanmaktadır. Transformer yapısı video kareleri arasındaki uzun mesafe bağımlılıklarını yakalayabilme özelliğine sahip olduğundan oluşturulacak yeni kare interpolasyonu için kullanılmıştır (Lu vd., 2022). Geleneksel video karesi interpolasyon yöntemleri, düşük ve orta dereceli hareketler için iyi sonuçlar verirken, büyük hareketlerin olduğu durumlarda daha zorlanır. FILM büyük hareketlerin olduğu senaryolarda daha iyi kare interpolasyonu elde etmek için özel bir hareket öngörüsü mekanizması kullanılır. Bu mekanizma, hareketin büyüklüğünü ve yönünü daha iyi yakalayabilen bir algoritma ve modeli içerir. Mevcut karelerdeki hareket desenlerinin tahmin edilmesi ve analiz edilmesiyle eksik olan kareler interpolasyon ile oluşturulur. Bu sayede, büyük hareketlerin olduğu durumlarda daha doğal ve pürüzsüz bir video karesi akışı elde edilir (Reda vd., 2022).

2.2. CNN Tabanlı Video Stabilizasyon Yöntemleri

İlk zamanlarda, video stabilizasyon probleminde derin bir sinir ağına dayalı bir yöntem önerilmemesinin sebebi eğitim veri setinin olmaması ve modelleme zorluğudur. Daha

verimli ve tutarlı video stabilizasyonun yapılabilmesi için son zamanlarda öğrenme tabanlı çalışmalar da önerilmeye başlanmıştır. Wang vd. (2018) DeepStab adlı stabil/stabil olmayan veri setini oluşturmuş, Stabnet adlı siyam (ikili) bir evrişimli yapay sinir ağı ile bir çözüm önermiştir. Stabilizasyon problemine yeni bir formülasyon ile sanal bir kamera yolunu tahmin edip düzeltmek yerine her kararsız sahne için zaman çizgisi boyunca kademeli olarak dönüşüm parametrelerini öğrenmiş ve çevrimiçi bir biçimde sabit bir çıktı üretmiştir. Bu yaklaşım video stabilizasyonunda derin öğrenme yaklaşımında bir kırılma noktası olmuştur. Fakat homografi ile dönüşüm gerçekleştirdiği için yakın mesafe ve şiddetli sahnelerde yöntem başarısız olmaktadır. Xu vd. (2018) klasik stabilizasyon yerine, üretilen sabit kareler ve verilen her sabit olmayan kare için stabilizasyon dönüşümünü öğrenmek için yeni bir çevrimiçi derin öğrenme modeli önermiştir. Ağ, farklı katmanlara gömülü uzamsal transformatör ağlarına sahip üretken bir ağdan oluşmuştur. Uygun bir afin dönüşümü hesaplayarak gelen kararsız kare için kararlı bir kare oluşturulmuştur. Şiddetli sarsıntılar için sınırları vardır. Xu vd. (2019) sadece bir regresyon aracı olarak kullanılan bir evrişimli ağ ile (CNN) yeterli 2B modeli öğrenerek eğitim adımını ortadan kaldırmıştır. Fakat CNN hesaplama açısından zor bir yaklaşım olduğundan Choi (2019) kırpma etkisinden kurtulmak için video stabilizasyonunda önemli etkisi olan, görüntü interpolasyonuna odaklanan denetimsiz bir yaklaşım önermiştir. Ancak süreç stabilize edilirken bulanıklığa neden olmaktadır. Bu yöntem videonun iki ardışık sahnesini alır, bu sahnelerden biri üzerinden %30 oranında bir dönüşüm gerçekleştirir ve bu dönüşümü tahmin edecek şekilde bir ağ eğitilir. Bu ağın yardımıyla, 2 sahne alıp iteratif interpolasyon yöntemiyle ara sahneleri oluşturan ve stabilizasyon işlemini bu şekilde gerçekleştiren bir algoritma önermiştir. Liu, mevcut video sahnelerini arasında interpolasyon veya onları takip eden ekstrapolasyon yeni video karelerini sentezleme sorununu ele almıştır (Liu vd., 2017).

Daha verimli ve tutarlı video stabilizasyonun yapılabilmesi için son zamanlarda öğrenme tabanlı çalışmalar önerilmeye başlanmıştır. Liu ve arkadaşları video sentezi için voxel flow ile derin sinir ağı eğitmiştir (Liu vd., 2017). Bir başka yöntemde ile Yu, sadece bir regresyon aracı olarak kullanılan bir evrişimli ağ ile (CNN) yeterli 2B modeli öğrenerek eğitim adımını ortadan kaldırmıştır (Yu vd.,2019). Choi ve arkadaşları DIFRINT metodunda video stabilizasyonundaki engellerden biri olan kırpma etkisinden kurtulmak için, görüntü interpolasyonuna odaklanan denetimsiz bir yaklaşım önermiştir. Bu yöntem videonun iki ardışık sahnesini alır, bu sahnelerden biri üzerinden altıda bir oranında bir dönüşüm gerçekleştirir ve bu dönüşümü tahmin edecek şekilde bir ağ eğitilir. Bu ağın yardımıyla, 2

sahne alıp iteratif interpolasyon yöntemiyle ara sahneleri oluşturan ve stabilizasyon işlemini bu şekilde gerçekleştiren bir algoritma önermiştir (Choi,2020). Ancak süreç stabilize edilirken bulanıklığa neden olmaktadır. Choi ve arkadaşları CAIN yaklaşımında kanal dikkatli uç uca eklenebilir video kare interpolasyon ağı kullanmıştır (Choi, 2020). Optik akış yöntemini kullanmadan basit ve hesaplama maliyeti az olan bir yöntem önermiştir. Büyük hareketlerin ve nesnelerin video kapama içeren zorlu hareketlerin etkilerini azaltmaya çalışmıştır. Optik akış yerine, PixelShuffle (Shi vd. 2016) kullanılır. PixelShuffle, hareket ile ilgili bilgiyi kademeli olarak kanallara dağıtır. Hareketi yakalamak için bir kanal dikkatiyle birleştirilen bağlantılı kareler arasındaki varyasyonları yakalamak için dönüştürülmüş özellik haritasını oluşturur. Bu şekilde görünmeyen hareketleri geliştirir. Hareket tahmini olmadan yüksek kaliteli görüntüleri sentezleyen video kare interpolasyonu sağlamıştır. Ali ve ekibi, videodaki yerel ve küresel hareketleri algılamak için optik akış yerine, DIFRINT stratejisini kullanmıştır. DeepStap (Wang vd.) veri setindeki video çiftlerindeki perspektif tutarsızlık tespit edilmiştir. Bunun için benzer perspektife sahip fakat farklı hareketlere sahip eğitim video çiftleri oluşturulmuştur. Bu veri kümesi yardımıyla hareket körü video stabilize edilmeye çalışılmıştır. Eş-perspektife sahip videoları üretmek için denetimsiz ve genişletilebilir video kare interpolasyon tabanlı strateji sunmuştur. Eş perspektif veri kümesi yardımıyla ilk hareket körü derin video stabilizasyon ağı sunulmuştur (Ali vd., 2020).

2.3. Optimizasyon Tabanlı Video Kare Tahmini

Daha önce yapılan araştırmalara baktığımızda farklı optimizasyon yöntemlerinin video stabilizasyonunda kullanıldığını gözlemlemekteyiz. Dijital video stabilizasyon 3 adımda gerçekleştirilir. Bu adımlar hareket yolu tahmini, hareket yolu düzeltme ve stabil video üretmektir. Jia ve arkadaşları video stabilizasyonunun 3 temel konularından biri olan kamera hareketi yumuşatmayı ele almıştır. Manifold optimizasyonunu kullanarak diğer 2B affine modellere kıyasla daha iyi sonuçlar veren 3B dönel video stabilizasyon yöntemi geliştirilmiştir. Bilinen içsel matrisle sahip kameralar için kullanılan bu yöntem 3B kamera dönüşünü tahmin etmek için jiroskop kullanmaktadır. Çünkü bir videodaki istemeyen titreşimler kamera dönüşünden kaynaklı olduğundan öncelikli olarak titreşimleri elimine etmek istenmiştir. Onlar, 3B döndürme matrislerini bir bütün olarak ele almıştır. Bu matrislerin döndürmesini yumuşatmak için bunu bir regresyon (bir ve daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi ölçen analiz metodu) problemi olarak ele almış ve formüle etmişlerdir (Jia vd., 2013). Qu ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada istenmeyen kamera hareketlerini ortadan kaldırmak için L1ve L2 tabanlı optimizasyon kullanılmıştır. Sabitler, doğrusal,

parabol düzeltilmiş kamera yollarını (path) L1 kısıtlamalarıyla optimize etmiş ve en iyi düzeltilmiş kamara yolunu L2 normu kullanarak tespit etmişlerdir. Orijinal videodaki bilgileri de koruyabilmek için L1 norm ile yumuşatılmış uygun yol ile olan orijinal yola benzerliği L2 norm ile hesaplanır. Bu iki normun etkisi birer ağırlık parametresi ile kontrol edilir. Bu şekilde karma bir L1-L2 optimizasyonu sağlamıştır (Qu vd., 2013). Wang ve arkadaşları video stabilizasyonu için paralaks (gözlem konumu değiştiğinde daha uzak bir arka plana göre ön plandaki bir nesnenin görünen açısal konumundaki bir değişiktir.) sorununa çözüm üretmiştir. Bu yöntemde, her öznelik yörüngelerini Bezier eğrisi olarak ele almıştır. mekansal-zamansal optimizasyon probleminin içine bu indirgenmiş Bezier modelini entegre etmiştir. Bezier modeli Özelliğ yörüngeleri yumuşatma işlemini yaparken aynı zamanda optimizasyonda kullanılan değişken sayısını azaltmıştır. Bir sonraki aşama olan optimizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Optimize edilmiş her yörüngenin düzleştirilmiş özellikleri konumsal kısıtlamalar olarak kabul etmektedir. Daha sonra sırasıyla karelere içerik koruma metotlarıyla çarpıtma işlemi gerçekleştirir. Bu şekilde mekansal-zamansal optimizasyondan yararlanarak paralaks problemini çözmüştür (Wang vd., 2013). Zhao ve arkadaşları Wang'ın çalışmasını temel çalışma olarak almıştır. Öznelik yörüngelerini çıkarırken hem arka plan hem de ön plan yörüngeleri çıkarılmıştır. Her karedeki öznelik yörüngelerin dağılımına göre bir örgü (mesh) oluşturulur. Daha sonra iki aşamalı optimizasyon işlemi uygulanır. Örgünün üzerinde bulunan tüm üçgen ızgaralar için dönüşümler hesaplanır. Dönüşümler hesaplanırken optimizasyonda uygulanan kısıtlamalar ise her üçgen orijinal üçgenlere ve aynı zamanda komşu üçgenlere de benzemeli şeklindedir. Bu işlemde yakın olan iki kare üçgenleri daha benzer ve uzak olanların daha farklı olmasını sağlar. Bu yöntem mekansal-zamansal tutarlılığı da sağlamaktadır. Daha sonra çarpıtma işlemi gerçekleştirilmiştir. Öznelik yörüngelerinin Delaunay üçgenlemesine dayalı ayarlanabilir örgü yöntemiyle stabil görüntüler oluşturulmuştur. (Zhao vd., 2020). Yu ve arkadaşları video stabilizasyonu için bir CNN ağı önermişlerdir. Kullanılan bu CNN ağı optimizasyon amacıyla kullanılmıştır. Optimize edilmiş bir ağı, bu dışbükey olmayan yüksek boyutlu optimizasyon problemini pratik hale getirir. Bu şekilde, sağlam bir optik akışa dayalı bir stabilizasyon formülasyonunun doğrudan kullanılmasına izin verir. Optimize ağını her karedeki affine transformasyonu ve çarpıtma işini çözmek amacıyla kullanılmıştır. Fakat akış kullanıldığından dolayı hesaplama süresi fazladır (Yu, vd., 2019). Yao ve arkadaşları benzer bir yaklaşımla CNN tabanlı optimizasyon yapmışlardır. Fakat derinlik haritaları kullanarak ilk 3B CNN tabanlı video stabilizasyon yöntemi sunmuşlardır (Lee vd., 2021). Wu ve ekibi video tahmini problemini ele almaktadır. Bu gelecekteki kareleri tahmin esasına dayanan

ekstrapolasyon işlemidir. Wu, gelecekteki kareleri tahmin etme zorluğunu önceden ön-eğitilmiş bir ağ ve girişte vermiş olduğu karelerin akışının optimizasyonu ile sağlamıştır. Video kare interpolasyon tabanlı optimizasyon yapılmıştır. (Wu vd., 2022).

2.4. Özçekim Video Stabilizasyon

Genel olarak yukarıda bahsetmiş olduğumuz video stabilizasyon yöntemlerinde 2 boyutlu çalışmalar karelerdeki hareketi 2 boyutlu olarak hesaplar ve hareketi yumuşatma işlemi yapar. Daha sonra orijinal video karelerin üzerine yumuşatılmış hareket yolunu uygular. Genel olarak 3 boyutlu çalışmalar ise aralıklı video karelerini kullanarak video kare sentezi yöntemleriyle yeni 3 boyutlu kareleri oluşturmaya çalışır. Bazı 3 boyutlu çalışmalarda ise derinlik haritaları yardımıyla yapılır. Video stabilizasyonunda 2 boyutlu çalışmalara nispeten 3 boyutlu çalışmalar daha başarılı olmuştur. Fakat bu çalışmalar ideal ortamların dışında olan videolarında sarsıntı, kapama ve hareket bulanıklığı problemlerini tam olarak elimine etmemektedir. Bununla birlikte özçekim tip videolarına uyarlandığında ise 3 boyutlu çalışmaların derinlik haritası kullanılması da problemin çözümünü zorlaştırmaktadır. Bu sebep ile özçekim stabilizasyon çalışmaları videolarda yüz ve vücut kısmının daha fazla yer alması dolayısıyla yüz modeli ile çalışmalarını entegre etme yoluna girmişlerdir. Bu hususta özçekim video stabilizasyon konusunda yapılan bu çalışmaların ilkinde Yu ve arkadaşları yüz ve vücut bölümlerinin oluşturduğu kapama sorununu önlemek adına video karelerini iki ayrı bölümde incelemişlerdir. Ön plan ve arka plan olarak ayırdıkları karelerinin ön planına 3B yüz modelleme kullanarak uydurma işlemi yapılmıştır. Arka plan kısmı için ise optik akış metodu ile hareket izleme gerçekleştirilmiştir. Her iki bölümde çarpıtma ve transformasyon işlemleri yapılarak çalışma optimize edilmiştir. Fakat bu çalışmanın dezavantajı diğer kareleri kullanarak yapılan optik yöntem hesaplama olarak ek yük getirmektedir. Ayrıca yüz modelleme yöntemi kullanıldığından videoda yüz kısmını algılamadığı yerlerde doğrusal interpolasyon ile kareyi tahmin etmesi videoda akış olarak bozukluk olmasına sebep olmaktadır. Ve yine aynı sebep ile özçekim video stabilizasyon yöntemi gece çekilen videolarda da başarı göstermemektedir (Yu vd. 2018). Başka bir çalışma olan Steadiface, özçekim video stabilizasyon çalışması gibi optimizasyon tabanlı olmayan bir çalışma olduğundan gerçek zamanlı performans elde etmektedir. Fakat stabilizasyon işlemi gerçekleştirmek için yüz anahtar noktalarını ve jiroskop bilgisini kullanır. Global homografii tahmin eder. Fakat çevrimiçi olan bu çalışma homografi yönteminin kullanılması dönele deklanşörde oluşan bozulmalar gibi doğrusal olmayan local hareketleri

işleyemez (Shi vd. 2019). Steadiface benzer şekilde hızlı ve nispeten daha başarılı olan Yu ve arkadaşlarının yaptığı diğer bir çalışma ise gerçek zamanlı özçekim video çalışmasıdır. Her kare ön plan ve arka plan olarak ele alınır. Ön planda bulunan yüz köşe noktaları ve arka planda bulunan arka plan özellik noktaları belirlenerek aynı anda iki dallı ağa verilir. Her iki planda da stabilizasyon işlemi gerçekleştirilir. Diğer çalışmalardan farklı olarak optik akış, gelecek hareket bilgisi ve SfM (Structure from Motion) gibi ön işlem gerektiren yapılardan arınmak için ağ eğitilmiştir. Ağın hızlı olabilmesi için 2 boyutlu özellik izleme yöntemi kullanılmıştır. Fakat bu yöntem hızlı ve kapama sorununu çözmüş olsa da arka plan kısmında mavi gökyüzü, aşırı karanlık ortam, beyaz duvarlar gibi öznitelik bulundurmeyen kısımların bulunması halinde başarısız olmaktadır. (Yu vd.2021).



3. YÖNTEM

Bu tezde iki farklı video stabilizasyon yöntemi önerilmektedir. Bunların birincisi optimizasyon tabanlı video stabilizasyon çalışmasıdır. İkincisi ise özçekim videoları için geliştirilen interpolasyon tabanlı yeni bir stabilizasyon yaklaşımıdır.

3.1. Optimizasyon Tabanlı Video Stabilizasyonu

Son yıllarda video kare interpolasyonu (video frame interpolation) (VFI) problemi büyük ilgi çekmektedir. Video kare interpolasyonunda amaç verilen iki video karesi arasındaki zamansal kareleri tahmin etmektir. Temel olarak, hareket tabanlı VFI yöntemleri iki yönlü optik akışı kullanarak girdi karelerini ara karelere çarpıtma ilkesine dayanır. Video stabilizasyonu için video kare interpolasyonu yöntemi kullanma fikri ilk kez Choi vd. (DIFRINT) (Choi, 2020) tarafından önerilmiştir. Bu çalışmada ara karelerin yinelemeli interpolasyonu yapılarak her yineleme sonunda istenmeyen hareketlerin yumuşatılması hedeflenmiştir. Bu yaklaşım belli ölçülerde stabilizasyon sağlasa da bir video akışı boyunca aynı oranda interpolasyonun yinelemeli olarak uygulanması çeşitli problemlere yol açmaktadır. Örneğin hareketli nesnelerin etrafında istenmeyen hayalet (ghosting) etkileri gözlemlenmektedir. Bu problemlerin üstesinden gelmek için yakın zamanda önerilmiş optimizasyon tabanlı bir video kare tahmini (Wu vd., 2022) yönteminden esinlenerek optimizasyon tabanlı bir video stabilizasyon yöntemi geliştirdik. Bu yöntemde optimizasyon işlemi önceden eğitilmiş bir VFI yönteminin sonuçları üzerinden gerçekleştirilmektedir. Böylelikle eğitilen alana (domain) bağımlı öğrenme temelli yöntemlerin farklı alanlarda da çalışmasına da olanak sağlanmaktadır.

x_t , bir video akışında ($V = x_0, x_1, x_2, \dots, x_N$) t zamanındaki stabil olmayan bir kare görüntü olsun. Amacımız bu kare görüntü üzerinde videodaki akışı yumuşatacak dönüşüm işlemini gerçekleştirerek yeni hali \hat{x}_t 'yi elde etmektir. Bu amaç için bir ön-eğitilmiş VFI modeli G kullanılmakta ve optimizasyon süresince G 'nin parametrelerinde değişiklik yapılmamaktadır. Buna göre temel amaç fonksiyonumuz:

$$\hat{x}_t^* = \underset{\hat{x}_t}{\operatorname{argmin}} L(\hat{x}_{t-2}, \hat{x}_{t-1}, x_t, x_{t+1}) \quad (3.1.1)$$

şeklinde önceden stabilize edilmiş görüntü kareleriyle, stabilize edilecek görüntü karelerine bağımlı bir minimizasyon problemi olarak tanımlanmaktadır. Burada L toplam kayıp

fonksiyonunu temsil etmektedir ve iyi tanımlanmış dört kayıp fonksiyonundan oluşmaktadır:

$$L = \lambda_1 L_{VFI}(G(\hat{x}_{t-2}, \hat{x}_t), \hat{x}_{t-1}) + \lambda_2 L_{temp}(\hat{x}_{t-1}, \hat{x}_t) + \lambda_3 L_{int}(x_{int}, \hat{x}_t) + \lambda_4 L_{cons}(\hat{x}_t, x_t) \quad (3.1.2)$$

L_{VFI} kayıp fonksiyonu G kare interpolasyon modeli üzerinden \hat{x}_{t-2} , \hat{x}_{t-1} , \hat{x}_t ve x_{t+1} arasındaki ilişkiyi kısıtlamak için kullanılır. Optimizasyon işlemini kolaylaştırmak için girdi kare görüntüsü x_t ve tahmin edilen stabilize edilmiş \hat{x}_t arasındaki optik akış $f_{x_t \rightarrow \hat{x}_t}$ optimize edilmektedir. Bu optik akış kullanılarak x_t karesi çarpıtılarak (warping) \hat{x}_t elde edilmektedir:

$$\hat{x}_t = warp(x_t, f_{x_t \rightarrow \hat{x}_t}) \quad (3.1.3)$$

Bu durumda optimizasyon problemi yeniden aşağıda verildiği şekilde tanımlanabilir:

$$f_{x_t \rightarrow \hat{x}_t}^* = \arg \min_{f_{x_t \rightarrow \hat{x}_t}} L(\hat{x}_{t-2}, \hat{x}_{t-1}, \hat{x}_t, x_{t+1}) \quad (3.1.4)$$

İlgili optimizasyon adımları resim 3.2 de gösterilmektedir. Buna göre L_{VFI} kayıp fonksiyonu video kare interpolasyon modeli G 'ye bağlı olarak

$$L_{VFI} = |G(\hat{x}_{t-2}, warp(x_t, f_{x_t \rightarrow \hat{x}_t})) - \hat{x}_{t-1}| \quad (3.1.5)$$

Şeklinde tanımlanabilir. Video kareleri arasındaki zamansal tutarlılığı zorlamak için ayrıca bir zamansal kayıp fonksiyonu L_{temp} tanımlanmıştır:

$$L_{temp} = |warp(x_t, f_{x_t \rightarrow \hat{x}_t}) - \hat{x}_{t-1}| \quad (3.1.6)$$

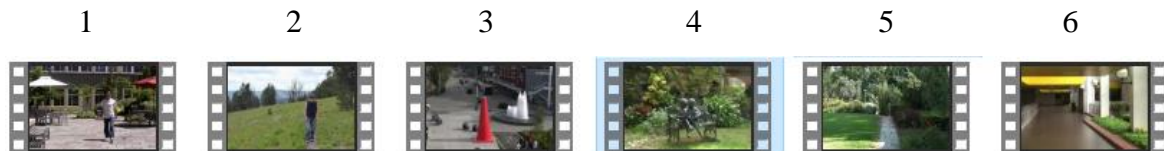
Bu kayıp fonksiyonu ile stabilize edilen görüntü karesinin kendisinden önceki görüntü karesinden ayrışması engellenir. Video stabilizasyonun daha sağlam olması için ayrıca gelecek görüntü karelerinin de dikkate alınmasını sağlamak için stabilize edilecek görüntü karesinden sonraki görüntü karesi de optimizasyona ek interpolasyon kayıp fonksiyonu L_{int} ile sağlanmaktadır:

$$L_{int} = |warp(x_t, f_{x_t \rightarrow \hat{x}_t}) - G(\hat{x}_{t-1}, x_{t+1})| \quad (3.1.7)$$

Son olarak optimize edilen optik akışın ileri ve geri hareketinin tutarlı olmasını sağlamak için tutarlılık kayıp fonksiyonu L_{cons} tanımlanmıştır. Bu kayıp fonksiyonu için önceden eğitilmiş bir optik akış tahmin modelinden faydalanılmıştır.

$$L_{cons} = |warp(x_t, f_{x_t \rightarrow \hat{x}_t}) - warp(\hat{x}_t, f_{\hat{x}_t \rightarrow x_t})| \quad (3.1.8)$$

, burada $f_{\hat{x}_t \rightarrow x_t} = F(\hat{x}_t, x_t)$ önceden eğitilmiş bir optik akış modeli F ile elde edilmektedir. Bu çalışmada farklı VFI yöntemi olarak ABME (Park vd., 2021) ve VFIfomer (Lu vd., 2022) kullanılarak başarımları değerlendirilmektedir. Optik akış tahmin modeli olarak da PWC-Net'i (Sun, 2018) kullanılmaktadır. Kayıp fonksiyonların ağırlıkları $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ ve λ_4 sırasıyla 100,100,1,1 olarak belirlenmiştir. Optimizasyon işlemi Adam optimizer kullanılarak 0.001 öğrenme oranıyla 3000 iterasyon gerçekleştirilmektedir. Önerilen optimizasyon tabanlı yönteminin başarımlarını değerlendirmek için deneyler gerçekleştirilmiş ve video kare interpolasyonuna dayalı yöntemlerle kıyaslanmıştır. Çalışmamızın başlangıç aşamasında ABME ve VFIfomer ile elde edilen sonuçların stabilite skorlarını elde ettik. (Choi, 2020, Park, 2021, Lu, 2022). Resim 3.1 de NUS veri setinden (Liu, 2013) alınan test ettiğimiz videolar ve çizelge 3.1 de o videolara ilişkin kare sayısı, kırpma oranı, bozulma değeri, stabilite skor değerlerini vermekteyiz (Liu, 2013). Sarsıntı ve kare sayıları farklı olan videoların DIFRINT yaklaşımına benzer olarak 3 iterasyon olarak incelemekteyiz. Çizelge 3.1. de ABME, VFIfomer interpolasyon tabanlı yaklaşımlarını 3 iterasyon kullanarak deneyler yapıp DIFRINT sonuçları ile karşılaştırıyoruz. ABME ve VFIfomer stabilite skorları birbirine yakın sonuçlanmaktadır. Elde edilen sonuçlar birbirine çok yakın çıkmak ile birlikte temel aldığımız iterasyon tabanlı DIFRINT yaklaşımı hala daha iyi stabilite skoru elinde bulundurmaktadır (Liu, 2013).



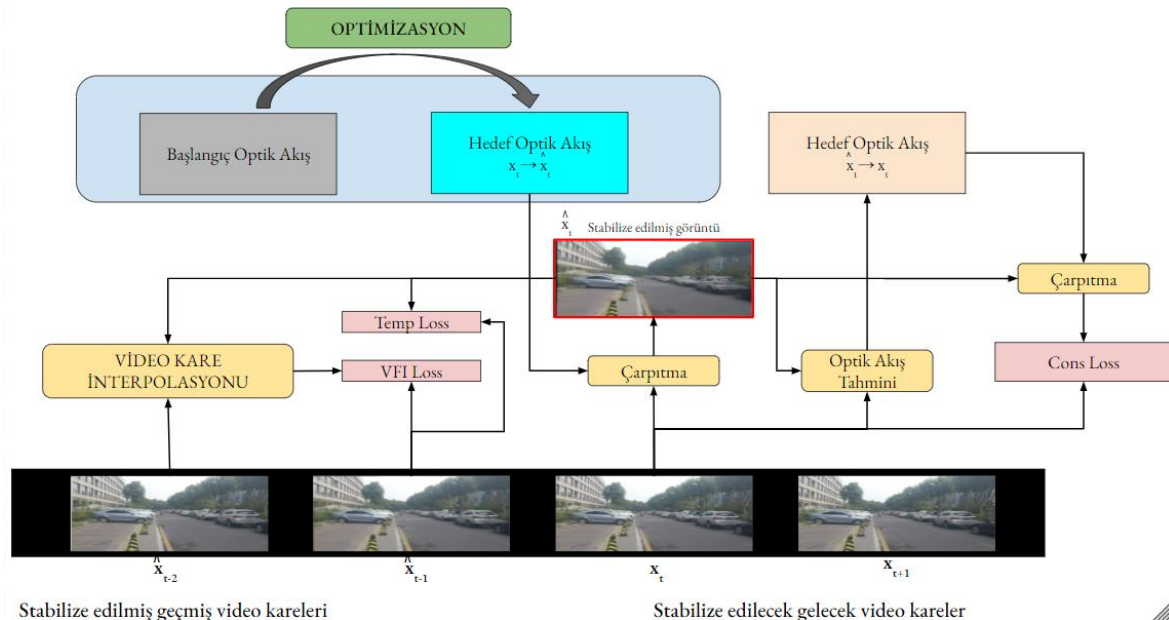
Resim 3.1 NUS veri setinden kullanılan videolar

Çizelge 3.1 elde ettiğimiz sonuçlar neticesinde yukarıda açıkladığımız interpolasyon karelerinin arasındaki akış için optimizasyon yöntemi geliştirmeye yönlendirdi. Detayları

yukarıda verilen geliştirdiğimiz optimizasyon tabanlı yöntem ile temel model olarak ele aldığımız DIFRINT modelinden daha iyi stabilite skorları ürettik. Çalışmamız için yaptığımız deneysel adımlar bölüm 4.1 de açıklanmaktadır.

Çizelge 3.1. ABME, VFİformer ve DIFRINT stabilite skor tablosu

3 İTERASYONLU ABME SONUÇLARI				3 İTERASYONLU VFI FORMER SONUÇLARI			DIFRINT SONUÇLARI		
Video no/ frame sayısı	Kırpma oranı (ort.)	Bozulma değeri	Stabilite skoru (ort.)	Kırpma oranı (ortalama)	Bozulma değeri	Stabilite skoru (ortalama)	Kırpma oranı (ort.)	Bozulma değeri	Stabilite skoru (ort.)
1/246	1,0000	0,9956	0,8258	1,0000	0,9950	0,8273	1,0000	0,9900	0,8900
2/431	1,0000	0,9926	0,7765	1,0000	0,9916	0,7847	1,0000	0,9700	0,9300
3/446	0,9999	0,9902	0,6245	1,0000	0,9897	0,6230	1,0000	0,9800	0,9200
4/387	1,0000	0,9919	0,7306	1,0000	0,9921	0,7300	1,0000	0,9700	0,8700
5/627	1,0000	0,9753	0,6765	1,0000	0,9735	0,6682	1,0000	0,9600	0,9000
6/877	0,9999	0,9916	0,8345	0,9999	0,9909	0,8290	1,0000	0,9800	0,9000

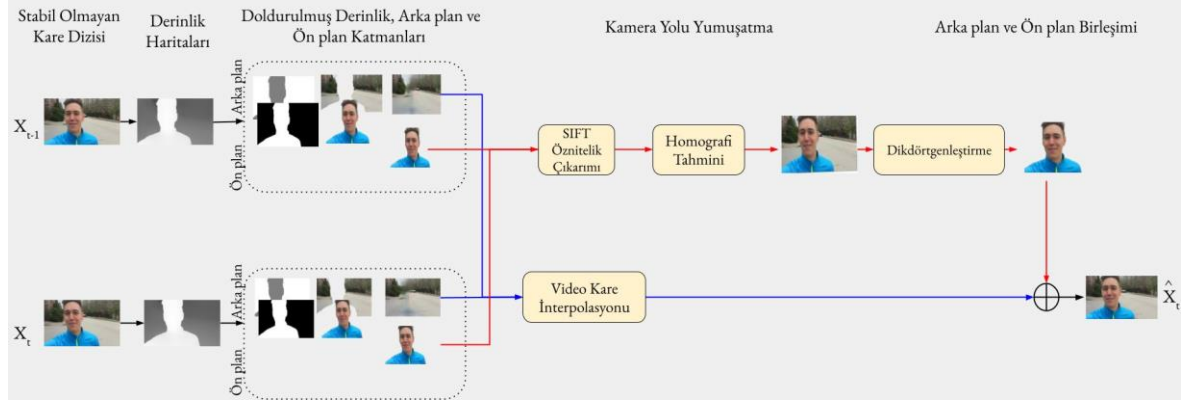


Resim 3.2 Optimizasyon yöntemi genel akış tablosu

3.2. İnterpolasyon Tabanlı Özçekim (Selfie) Video Stabilizasyonu

Özçekim video stabilizasyonu, özellikle akıllı telefonların ön kameraları ile çekilen

videolarda sallanmayı azaltmak için kullanılan bir yöntemdir. Bu tezde interpolasyon kullanarak özçekim videolarını stabilize eden yeni bir yöntem öneriyoruz.



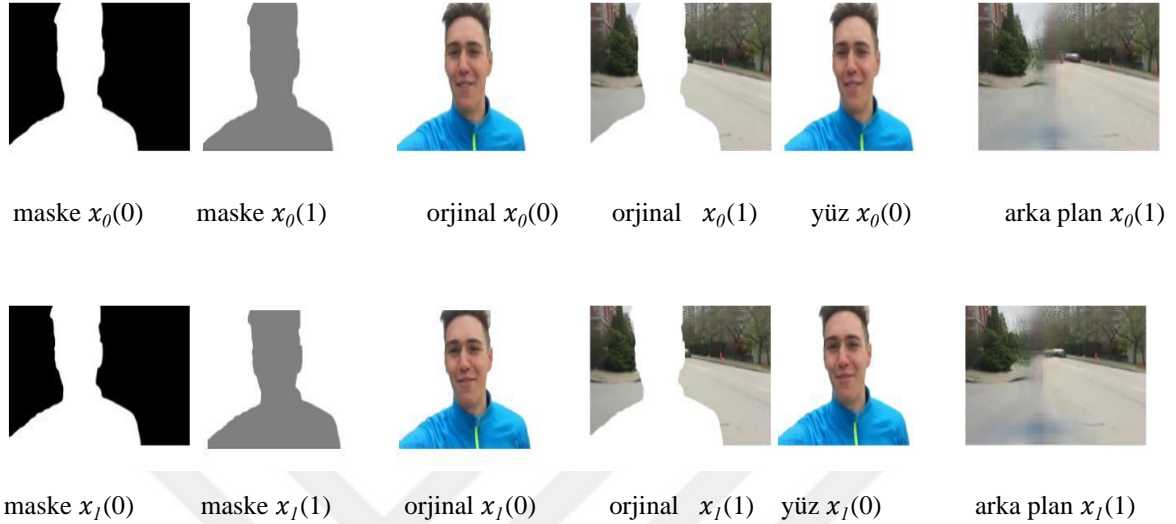
Resim 3.3 Önerilen özçekim stabilizasyon metod yaklaşımı. $X(0)$: Video karesinin ön plan kısmı, $X(1)$: Video karesinin arka plan kısmı

Özçekim stabilizasyon stratejimizi genel bir bakış ile Resim 3.3 için adım adım açıklayalım. Elimizde $x_0, x_1, x_2, \dots, x_t$ stabil olmayan karelerine sahip bir video olduğunu varsayalım. Bizim amacımız bu kareler üzerinden stabil olan $\hat{x}_0, \hat{x}_1, \hat{x}_2, \dots, \hat{x}_t$ karelerini üretmektir. Bu işlem için 6 adımlı bir strateji öneriyoruz.

Stratejimizin adımları basit haliyle şu şekilde verilebilir;

1. Her bir kare için DPT modeli ile derinlik tahmini yapılır ve kare ön plan (0) ve arka plan (1) olarak iki katmana ayrılır (Ranftl vd. 2021).
2. Ön planın ayrılması dolayısıyla arka planda kalan boş kısım RGBD iç boyama (inpainting) (Wang vd., 2022) yöntemi ile doldurulur. Böylece elimizde ön plan ve tam bir kare halinde arka plan bulunur.
3. Ön plan kareleri SIFT özellik çıkarımı algoritması kullanılarak üretilen özniteliklerin, hareketli ortalama filtresi (Hansun vd., 2013) kullanılarak düzeltilmesi ile daha yumuşak bir akışa sahip hale getirilir.
4. Ön plan karelerinin bu düzeltme işlemi sonrasında özellikle köşelerde piksel kaybına sahip olduğu durumlar saptanmıştır. Bu nedenle bu adımda DeepRectangling yöntemi (Nie vd., 2022) ile ön plan kareleri yeniden orijinal kare boyutuna gelecek şekilde esnetilir. Bu adımla birlikte ön plan kareleri düzeltilmiş olur.
5. Arka plan kareleri için ardışık olan karelerin interpolasyonları alınarak bir hareket yumuşatma işlemi gerçekleştirilir. Bu işlem iteratif olarak tekrar edilir.
6. Son olarak düzeltilmiş ön plan (0) ve arka plan (1) kareleri maskeler kullanılarak

birleştirilir ve nihai sonuç videosu oluşturulur.



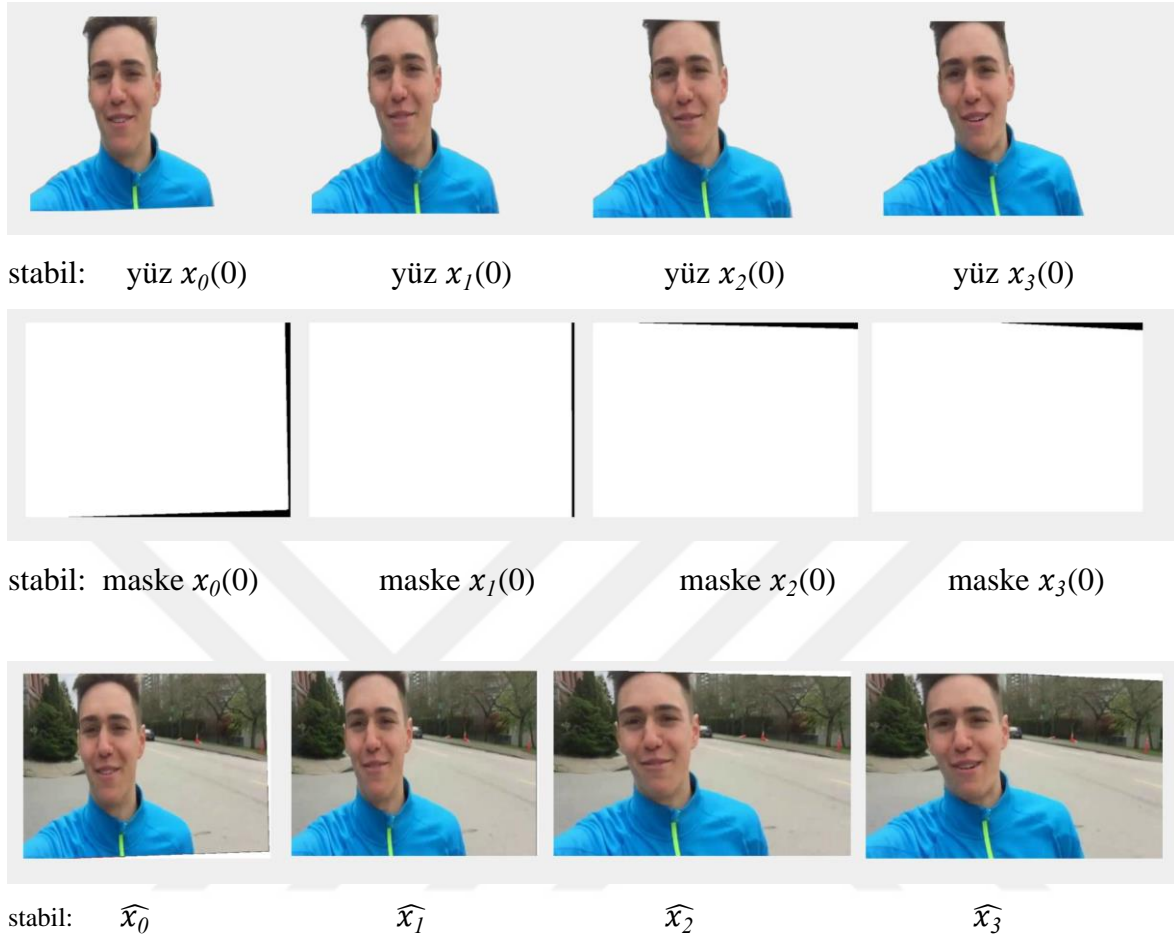
Resim 3.4 Selfie veri setinden kullanılan video karelerinin katmanlara ayrılmış halleri ve hesaplanan maskeler

Adımların detaylı bir biçimde nasıl uygulandığına değinelim. Özçekim videolarında düzenleme yapabilmek için ilk olarak katmanlara ayırma işlemini başarımlı kanıtlanmış DPT modeli ile derinlik tahmini üzerinden gerçekleştirdik. "Dense Prediction Transformers" (DPT) olarak adlandırılan model, görsel alanlarda yoğun tahminler yapmak için tasarlanmıştır. DPT, girdi görüntülerini bir dizi küçük parçaya böler ve her biri için tahminler yapar. Bu küçük parçaların tahminleri daha sonra bir araya getirilir ve sonuçta tam bir görüntü için tahminler üretilir. Bu, resimlerin katmanlara ayrılması ile benzerlik gösterir, çünkü her katman, farklı özellikleri temsil eder ve bu özellikler daha sonra birleştirilerek tam bir resim elde edilir (Ranftl vd. 2021). DPT ile ilk olarak tüm görseller ön plan ve arka plan olarak iki kareye ayrılır. Bu sayede özçekim videolarındaki yüz ve vücut kısımlarının ön planda olması nedeniyle oluşan kapama (oklüzyon) sebebiyle hareket tahmininin zorlaşması ve meydana gelen akışsal bozulmalar gibi problemler ortadan kaldırılır. Ayrıca özçekim videolarındaki arka plan ve ön plan hareketliliği farklı olduğundan dolayı video stabilize ederken ayrı ayrı işlemenin daha faydalı olacağı düşünülmüştür (Yu vd. 2018). Resim 3.4 görüldüğü gibi videonun her karesi DPT kullanılarak iki katmana ayrılmıştır. Örnek olarak ayrılmış ardışık iki kare Resim 3.4'de görülebilir.

Katmanlara ayırma işlemi tamamlandıktan sonra arka plan kısmında ön kısmın ayrılması ile birlikte resim 3.4 de orijinal $x_0(1)$ ve orijinal $x_1(1)$ görüldüğü gibi boşluklar oluşmuştur. Bu boşluğun diğer piksellere uyumlu bir biçimde doldurulabilmesi için 3B olarak piksellerin renklendirilmesine olanak tanıyan RGBD (Red Green Blue Depth) iç boyama işlemi uygulanır.

Özçekim videolarına ait problemlerinin biri de bu videoların ön plana odaklı olmasıdır. Yüzeylerin ön plan kısmı, diğer alanlara göre daha öne çıkan ve dikkat çeken kısımlardır. Bu nedenle, bu bölgelerin daha pürüzsüz ve estetik bir görünüme sahip olması istenir. Yüzeylerin ön plan kısmında genellikle el titremesi ve sarsıntılardan kaynaklanan pürüzlü alanlar, yüzey hataları kusurlar oluşabilir. Ön plan (yüzler) kısmında yumuşatma işlemi, bu kusurları gidermek ve yüzeyin daha pürüzsüz görünmesini sağlamak için kullanılır. Biz de bu sebep ile daha önce katmanlara ayırdığımız karelerdeki ön plan ve maske katmanlarını işleyerek daha stabil yüz ve maskeler elde etmeye çalıştık. Bunu yapmak için öncelikle SIFT algoritması, önce bir görüntüyü küçük ölçeklerde farklı açılarda tarayarak, görüntünün ölçeğine duyarlı (scale-invariant) özellikleri belirler. Bu özellikler, görüntüdeki çeşitli özelliklerin (örneğin kenarlar, köşeler, tepecikler vb.) konum, yön ve büyüklük bilgilerini içerir. SIFT (Scale-Invariant Feature Transform), video stabilizasyonunda, video görüntüsündeki hareketli nesnelerin özelliklerini takip ederek, görüntüdeki istenmeyen titreşimleri azaltmak veya ortadan kaldırmak için kullanılabilir. SIFT algoritması, videodaki her kareyi işleyerek, her karedeki nesnelerin özelliklerini takip edebilir. Bu özellikler, bir sonraki kareye geçildiğinde, nesnelerin konumundaki değişiklikleri belirleyebilir ve bu değişiklikleri hesaplayarak, videodaki istenmeyen titreşimleri azaltabilir veya ortadan kaldırabilir. Bizde SIFT özellik çıkarım algoritmasını video stabilizasyon stratejimizde resim 3.4 katmanlara ayırdığımız görsellerin ön planı olan yüzlere uygulayarak daha net, sabit ve izlemesi daha kolay bilgiler elde ettik. Bununla birlikte video stabilizasyonu için hareketli ortalama filtresi kullandık. Hareketli ortalama filtresi her bir kareyi belirli bir zaman aralığındaki önceki ve sonraki karelerin ortalaması olarak hesaplar. Bu sayede, videodaki titreşimleri azaltarak daha stabil bir görüntü elde etmek mümkün olabilir.

Ancak, hareketli ortalama filtresi, videodaki hareketlerin kaybolmasına veya bulanıklığa neden olabilir. Bu nedenle, stabilizasyon işlemi için yalnızca ön plan yüzler kısmı için uyguladık. (Resim 3.5)



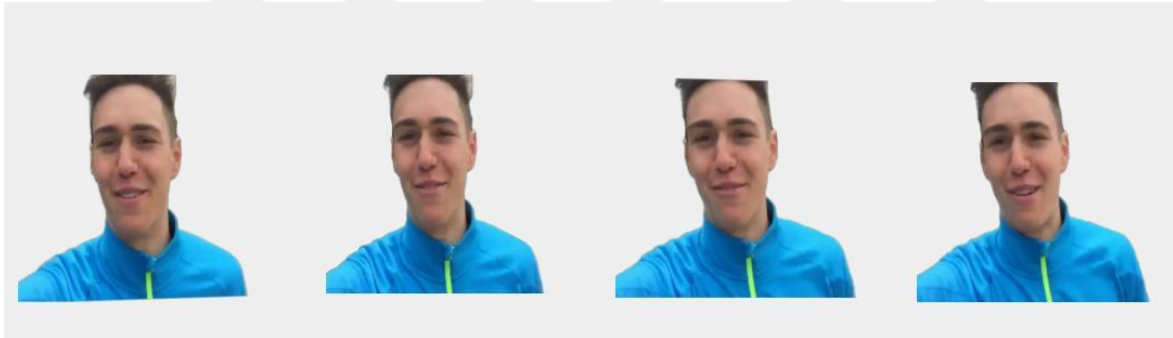
Resim 3.5 Stabilize edilmiş ön plan (yüz), maskeler ve birleştirilmiş stabil kareler

Ön plan (yüz) kısımlarındaki kenarda oluşan kısımları elimine etme için oluşturduğumuz stabil yüzler ve maskeler ile karelere dönüştürdüğümüzde ($\widehat{x}_0, \widehat{x}_1, \widehat{x}_2, \dots, \widehat{x}_t$) orjinalinden daha stabil video elde edilmektedir. Fakat oluşan karelerde eksik bölgeler ve köşelerden ayrı oluşan yüz ve vücut kısımları oluşmaktadır (Resim 3.5). Biz de bu problemi çözebilecek yöntemleri inceledik.

Bir sonraki adım oluşan stabil karelerin düzensiz sınır çizgilerini elimine edip özçekim videolarının ön plan katmanını oluşturan vücut ve yüz kısımlarını olabildiğince doğal görünümü koruyacak şekilde kareye yerleştirmek olacaktır. DeepRectangle (Nie vd., 2022), birleştirme işlemi sırasında görüntülerin sınır kutularının (bounding box) belirlenmesi için kullanılan bir nesne tespiti yöntemidir. Bu yöntem, derin öğrenme teknikleri kullanarak nesnelere algılamak için bir yapay sinir ağı eğitir ve görüntülerdeki nesnelere konumlarını sınır kutularıyla belirler.

Görüntülerin birleştirilmesi sırasında, DeepRectangle yöntemi kullanılarak her görüntüdeki nesnelerin sınır kutuları belirlenir. Bu sınır kutuları daha sonra birleştirme işlemi için kullanılır. Örneğin, iki görüntü birleştirilirken, DeepRectangle yöntemi kullanılarak her iki görüntüdeki nesnelerin sınır kutuları belirlenir ve bu sınır kutuları birleştirme işlemi için kullanılır. Bu sayede, nesnelerin birbirleriyle çakışması önlenir ve görüntülerin doğru bir şekilde birleştirilmesi sağlanır (Nie vd., 2022).

DeepRectangle yöntemi, birleştirme işleminde kullanılan diğer yöntemlere göre daha doğru sonuçlar verir. Çünkü bu yöntem, nesnelerin tam konumlarını belirlemek için derin öğrenme tekniklerini kullanır ve bu sayede nesnelerin birbirleriyle çakışması veya eksik kalması gibi sorunlar önlenir. Biz de yukarıda bahsettiğimiz sebeple ile özçekim video stabilizasyonunda da benzer problemlerle karşılaştığımızdan dolayı yüzlerin köşeye çekilmesi ($\widehat{x}_0(0)$, $\widehat{x}_1(0)$, $\widehat{x}_2(0)$, $\widehat{x}_3(0)$...) ve daha doğru video kare sınırlarının oluşturulması için DeepRectangle yöntemini kullandık. (Resim 3.6)



stabil: $\widehat{x}_0(0)$

$\widehat{x}_1(0)$

$\widehat{x}_2(0)$

$\widehat{x}_3(0)$

Resim 3.6 Ön plan (yüzler) katmanının karenin sınır bölgelerine çekilmesi

Özçekim videolarındaki stabilizasyon çalışmamızın kilit noktası ve son aşaması kare interpolasyon kısmıdır. Video karesi interpolasyonu, bir video akışındaki eksik veya kayıp kareleri oluşturmak için kullanılan bir yöntemdir. Video akışında her saniyede 24-30 kare bulunur ve bu kareler arasında geçişler sürekli bir şekilde gerçekleşir. Ancak bazen, video kaydı sırasında kareler eksik veya kayıp olabilir. Bu durumda, interpolasyon yöntemi, eksik veya kayıp kareleri tahmin eder ve oluşturur.

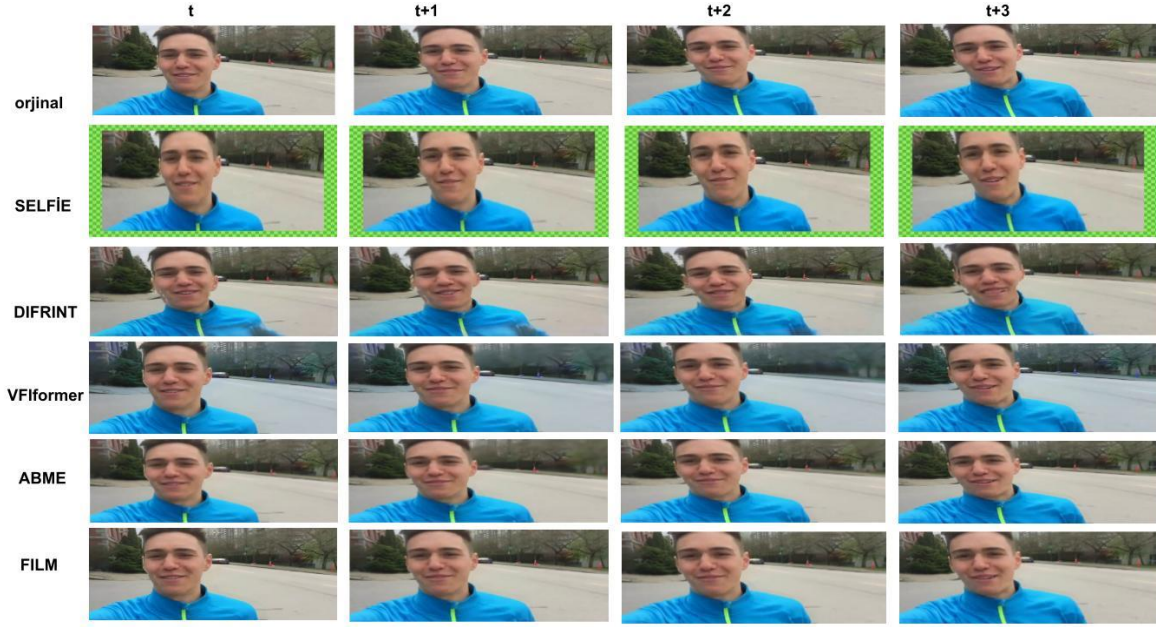
Video karesi interpolasyonunun birkaç yararı şunlardır:

Daha düzgün hareket: Eksik veya kayıp kareler nedeniyle, video akışındaki hareketler kesik kesik ve sıçramalı olabilir. İnterpolasyon yöntemi, eksik kareleri tahmin ederek daha düzgün ve akıcı bir hareket elde etmeye yardımcı olur.

Daha yüksek çözünürlük: Video kaydı sırasında çözünürlük sınırlı olabilir. İnterpolasyon yöntemi, eksik kareleri tahmin ederek daha yüksek bir çözünürlük elde etmeye yardımcı olabilir.

Daha az gürültü: Eksik kareler nedeniyle, video akışında gürültüler oluşabilir. İnterpolasyon yöntemi, eksik kareleri tahmin ederek daha az gürültülü bir video akışı oluşturmaya yardımcı olur.

Bizde tüm bu bilgiler ışığında özçekim video stabilizasyonu için ayırdığımız katmanların arka plan kısmı için kare interpolasyon yaklaşımlarının faydalı olabileceğini düşündük. Daha önceden ilk aşamada oluşturduğumuz arka planlar için son dönemlerde geliştirilmiş olan ABME, VFIfomer, FILM çalışmaları üzerinden deneyler yaptık. Her bir çalışma ile oluşturduğumuz arka plan ara karelerini daha önce daha stabil ve doğal görüntüler elde ettiğimiz (Resim 3.6) yüzler (ön plan) kısmı ile video akışı doğru olacak biçimde birleştirme işlemini gerçekleştiriyoruz. Selfie veri seti üzerinde yaptığımız bu çalışmalarda aldığımız sonuçlar diğer güncel özçekim stabilizasyon çalışmalarının kırpma (cropping), bozulma (distortion) ve stabilite skor sonuçlarıyla rekabetçi sonuçlar aldığımız gözlemledik (Çizelge 4.3). Ayrıca resim 3.7’de kıyasladığımız yöntemler ve farklı interpolasyon yöntemleri ile kendi stratejimizin görsel sonuçlarını gösteriyoruz. Bu görselde selfie çalışmasının tam kare bir çalışma olmadığı görülmektedir. DIFRINT çalışması ise özçekim videolarında kafa kısımlarında bozulmalar yaratmaktadır. Kendi stratejimize uyguladığımız VFIfomer ABME ve FILM çalışmaları ise görsel olarak daha iyi sonuçlar üretmektedir.



Resim 3.7 Yapılan çalışmaların görsel sonuçların karşılaştırması

4. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

4.1. Optimizasyon Tabanlı Video Stabilizasyon İçin Sonuçlar

Bu kısımda önerdiğimiz optimizasyon tabanlı video stabilizasyon yaklaşımının sonuçlarını raporluyoruz. İlk olarak çizelge 4.1 sarsıntılı bir video için iteratif interpolasyon tabanlı yöntemle her iterasyon sayısına için stabilite skorları verdik. Daha sonra aynı video için çizelge 4.2 de stabil olmayan kare ile ABME interpolasyonundan elde ettiğimiz akış optimizasyonumuza eklediğimiz kayıp fonksiyonlarını ve stabilite gelişim sonuçlarımızı raporladık. İlk deneyde 4000 iterasyon ve MSE (Mean squared error) kayıp fonksiyonunu kullandığımız ABME aralıklarla elde edilmiş interpolasyon karelerine zorladık. Sonuçlar tatmin edici olması için ikinci deneyimizde L_{cons} kayıp fonksiyonu kullanıp 3000 iterasyon ile denedik. Ek olarak o an oluşturduğumuz kare ile optimize ettiğimiz akışımızı L_{cons} ile zorladık. Sonuçlarımızda görüntülerin kalitesinin dolayısıyla bozulma değeri ve stabilize skorumuzun arttığını gözlemledik. Üçüncü deneyde ek olarak oluşturduğumuz o an ki kareleri bir önce ürettiğimiz kareye olan benzerliğine zorlayan L_{temp} 'u kullandık. Dört, beş ve altı da yaptığımız deneylerde ise yeni oluşturduğumuz kısıtlamanın toplam kayıp fonksiyonuna olan etkisini verdiğimiz katsayılarla inceledik. Yedinci deneyde ise o an akışı optimize ederek oluşturduğumuz kare ile 2 adım önce oluşturduğumuz karenin interpolasyon sonucunu bir adım önce oluşturduğumuz kareye benzemesini L_{VFI} ile sağladık. Son deneyimizde de etkisini farklı katsayıları ile ölçümledik. Yaptığımız bu çalışmada çizelge 4.2 de oluşan stabilite skorlarını ve deney sekizde temel modeli geçtiğimizi raporladık.

Çizelge 4.1. Video için ABME'i uyguladığımız iterasyon sayısı ve stabilite skorları

İTERASYON NO	KIRPMA ORANI (ORTALAMA)	BOZULMA DEĞERİ	STABİLİTE SKOR (ORT)
1	1	0,98	0,57
2	1	0,98	0,62
3	1	0,98	0,66

Çizelge 4.2 seçtiğimiz sarsıntılı videonun yaptığımız akış optimizasyonu ve kullanılan kayıp fonksiyonları ile oluşan sonuçları

TEST NO	KIRPMA ORANI (ORT.)	BOZULMA DEĞERİ	STABİLİTE SKOR (ORT.)	SONUÇLAR
1	1	0,96	0,41	Mse kayıp fonksiyonu
2	1	0,98	0,51	L_{int} ve L_{cons}
3	1	0,94	0,55	L_{int} ve L_{cons} ve L_{temp}
4	0,99	0,97	0,44	L_{int} ve L_{cons} ve L_{temp} *05
5	1	0,91	0,58	L_{int} ve L_{cons} ve L_{temp} *10
6	0,99	0,02	0,63	L_{int} ve L_{cons} ve L_{temp} *100
7	1	0,95	0,59	L_{int} ve L_{cons} ve L_{temp} *100, L_{VFI} *50
8	1	0,96	0,78	L_{int} ve L_{cons} ve L_{temp} *100, L_{VFI} *100

Son on yılda gelişen ve gelişmeye devam eden video stabilizasyon konusunda optimizasyonun etkisini ele aldık. Yapılan çalışmalardan farklı ve yeni bir yöntem önerdik. Kullandığımız yöntemin adım adım gelişimini inceledik. İterasyon tabanlı yapılan çalışmaların aksine interpolasyon tabanlı çalışmaların video stabilizasyonda çalışmasında iterasyona ihtiyaç duymadan yapılmasını amaçladık. Bu motivasyon ışığında yaptığımız çalışmada interpolasyon kullanarak ara kareleri bulan yaklaşımı optimize ederek videonun stabilite skorlarını arttırdığını raporladık. Çalışmamızda temel model olarak alınan interpolasyon kullanan iterasyon çalışmasının sonuçlarını da geçmekteyiz. Sonuç alma süresi zaman almaktadır. Fakat video kare interpolasyonunu gerçek-zamanlı yapan çalışmaları incelemekteyiz. Bu sebeple optimize süresini kısaltma üzerine çalışmalarımız geliştirilebilir.

4.2. İnterpolasyon Tabanlı Özçekim (Selfie) Video Stabilizasyonu İçin Sonuçlar

Bu çalışmamızda video stabilizasyon probleminin spesifik bir durumu olan özçekim video stabilizasyon konusu üzerine çalıştık. Bu strateji de kilit noktası olan interpolasyon tabanlı yaklaşımlarının özçekim videoları üzerinde etkisini inceledik. Farklı bir strateji ile kırpma olmadan özçekim karelerini işlemeyi hedef aldık. Video kare interpolasyon çalışmalarının özçekim video stabilizasyonuna etkisini gözlemledik. Temel olarak ele aldığımız Selfie çalışması stabilizasyon işlemi gerçekleştirirken tam video karesini işlememesi sebebi ile video karelerinin kenarlarından kırpmaya sebep olmaktadır. Aynı zaman gelecek video

karelerini işlenirken kayıplar meydana gelmektedir. Dolayısıyla stabilite skorlarının düşmesine sebep olmaktadır. Genel video tipleri için yapılan temel aldığımız DIFRINT yönteminde ise tam kare verileri işlemesine rağmen özçekim videolarının kapama probleminin olması, ön plan ve arka plan hareket hızlarının farklı olması sebebiyle video karelerinde görüntüde bozulmalar ve stabilite skorlarında başarısız sonuçlar göstermiştir. Bu tezde uyguladığımız strateji ile kırılma olmadan ve aynı zamanda özçekim videolarının sebep olduğu kapama problemini elimine eden özçekim video stabilizasyonu gerçekleştirdik. Selfie çalışmasının dezavantajlarını ortadan kaldırmak için arka plan kısmına uygulanan video kare interpolasyon teknikleri (ABME, VFIfomer, FILM) ile tam kare olarak ele alınan videolarda başarılı sonuçlar elde ettik. Bununla birlikte derinlik haritalarını kullanarak katmanlara ayırdığımız ön planlar için hareketli ortalama filtreleme algoritması ve arka plan için uygulanan video kare interpolasyon teknikleri (ABME, VFIfomer, FILM) ile temel aldığımız Selfie çalışmasını stabilite skorlarını geçen başarılı sonuçlar elde ettik. Ayrıca DIFRINT çalışmasına nazaran bozulma değerlerinde iyileşme ve stabilite skorlarında artan skorlar elde ettik. Aldığımız deney sonuçları yaptığımız özçekim video stabilizasyonunda uyguladığımız interpolasyon tabanlı stratejinin Selfie video veri seti üzerinde (Yu, 2018) başarılı ve diğer güncel çalışmalarla yakın sonuçlar vermiştir. (Çizelge 4.3, Selfie video veri seti (Yu, 2018))

Çizelge 4.3 Temel alınan çalışma Selfie ve kullanılan kare interpolasyon tabanlı çalışmaların Selfie video veri seti üzerinde kırılma, bozulma değeri, stabilite skor karşılaştırması

YÖNTEM	KIRPMA ORANI	BOZULMA DEĞERİ	STABİLİTE SKOR
Selfie (Yu, 2018)	0,97	0,89	0,82
Difrint (Choi,2020)	1	0,77	0,87
ABME	1	0,83	0,85
VFIfomer	1	0,81	0,86
FILM	1	0,86	0,87

5. SONUÇ

Literatürde bulunan mevcut 2B video stabilizasyon yöntemleri uzak ve yakın nesneler arasında bilinmeyen boşluklar yaratmaktadır. Bu yöntemler perspektif görüntüden dolayı yetersiz kalmaktadır. 3B bilgilerin stabilizasyon işlemine dahil edilmesi video stabilizasyon işleminde daha iyi sonuçlar üretmesi beklenmektedir. Fakat sarsıntıların fazla olduğu video karelerinde bulanıklaşma problemi de halen devam etmektedir.

Video stabilizasyon tıkanma, hareketin doğru tahmini, kare sentezleme alanlarında eksik yönleri bulunmaktadır. Bu sebeple son yirmi yılda hızla gelişmiştir. Halen yukarıda bahsedilen video stabilizasyonda bulunan problemlerin tam olarak çözülememiş olması gelecek zamanlar yöntemin popülerliğinin olacağına kanıtı niteliğindedir. Bu sebeple video stabilizasyon yöntemi problemini ele aldık ve ilk çalışma olan optimizasyon-tabanlı farklı bir yaklaşımla çözmeye çalıştık.

Optimizasyon tabanlı video stabilizasyonu çalışmamız uygun stabil video yolunu oluşturmak için optik akış tabanlı bir yaklaşım kullanır. Bu şekilde ardışık kareler arasında olan optik akışı optimize eder. Bu optimize işleminde interpolasyon tabanlı oluşturulmuş ara karelerden faydalanılmıştır. Bu şekilde yaptığımız çalışmadaki kazanımlarımız önceki çalışmalardaki iterasyon kullanımının ortadan kaldırılması ve oluşturulan video karelerinin kırpma olmadan stabil haline getirilmesidir. Fakat çalışmamız süre açısından limiti olan bir çalışmadır. Bunun elimine edilmesi hususunda geliştirilmeye açık bir çalışmadır.

Bu tezde interpolasyon tabanlı bir özçekim video stabilizasyonu yaklaşımı da önerilmiştir. Bu yaklaşım tüm video karesini tek parça işleyen popüler video stabilizasyonu çalışmalarının aksine görüntüyü derinliği dikkate alarak ön plan ve arka plan diye ayırır ve öne ve arkaya farklı stabilizasyon işlemleri uygular. Stabilize edilen ön plan ve arka plan sonrasında birleştirilir ve nihai sonuç üretilir. İnterpolasyon tabanlı özçekim video stabilizasyon stratejimizin sonuçlarını diğer güncel video stabilizasyon ve özçekim video çalışmaları ile karşılaştırılmıştır. Aldığımız sonuçlar stratejimizin güncel özçekim video stabilizasyonu ile rekabet edecek düzeyde olduğunu göstermiştir. Bununla beraber yeni bir kare interpolasyon çalışması ya da ön plan kısmında kullandığımız yöntem dışında optik akış kullanılması gibi fikirlerle geliştirilmeye açıktır. Ayrıca stabilizasyon için kullandığımız hareketli ortalama filtresi yerine farklı yaklaşımlar da kullanılabilir. Sonuç olarak bu tezde iki farklı video stabilizasyon yaklaşımı ile literatüre katkı sunulmuştur.

KAYNAKLAR

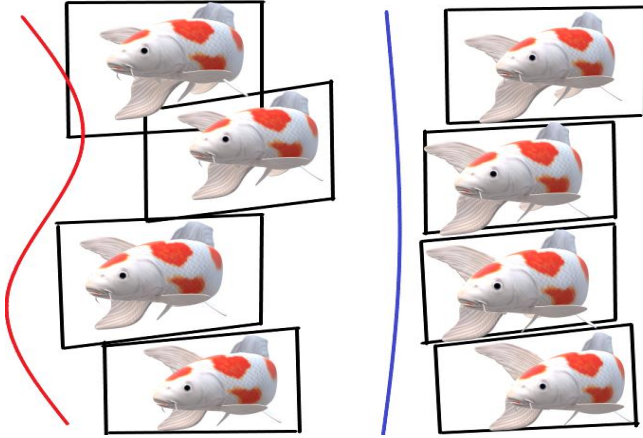
- Ali, M. K., Yu, S., & Kim, T. H. (2020). Learning Deep Video Stabilization without Optical Flow. arXiv preprint arXiv:2011.09697.
- Bay, H., Tuytelaars, T., & Van Gool, L. (2006, May). Surf: Speeded up robust features. In European conference on computer vision (pp. 404-417). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Chen, Y. T., Tseng, K. W., Lee, Y. C., Chen, C. Y., & Hung, Y. P. (2021, September). PixStabNet: Fast Multi-Scale Deep Online Video Stabilization with Pixel-Based Warping. In 2021 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP) (pp. 1929-1933). IEEE.
- Choi, J., & Kweon, I. S. (2020). Deep iterative frame interpolation for full-frame video stabilization. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 39(1), 1-9.
- Chiu, L. C., Chang, T. S., Chen, J. Y., & Chang, N. Y. C. (2013). Fast SIFT design for real-time visual feature extraction. *IEEE Transactions on Image Processing*, 22(8), 3158-3167.
- Dervişoğlu, S., Sarigül, M., & Karacan, L. (2021). Interpolation-Based Smart Video Stabilization. *Akıllı Sistemler ve Uygulamaları Dergisi*, 4(2), 153-156.
- Guilluy, W., Oudre, L., & Beghdadi, A. (2020). Video stabilization: Overview, challenges and perspectives. *Signal Processing: Image Communication*, 116015.
- Hansun, S. (2013, November). A new approach of moving average method in time series analysis. In *2013 conference on new media studies (CoNMedia)* (pp. 1-4). IEEE.
- Hore, A., & Ziou, D. (2010, August). Image quality metrics: PSNR vs. SSIM. In 2010 20th international conference on pattern recognition (pp. 2366-2369). IEEE.
- Huang, Z., Zhang, T., Heng, W., Shi, B., & Zhou, S. (2022). Real-time intermediate flow estimation for video frame interpolation. In *European Conference on Computer Vision* (pp. 624-642). Springer, Cham.
- Jia, C., & Evans, B. L. (2013, May). 3D rotational video stabilization using manifold optimization. In 2013 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (pp. 2493-2497). IEEE.
- Jiyang Yu and Ravi Ramamoorthi.(2019) Robust video stabilization by optimization in CNN weight.In *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR, Long Beach, CA, USA, June 16-20, 2019*, pages 3800–3808.
- Lee, Y. C., Tseng, K. W., Chen, Y. T., Chen, C. C., Chen, C. S., & Hung, Y. P. (2021). 3D Video Stabilization with Depth Estimation by CNN-based Optimization. In *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 10621-10630)..
- Liu, S., Yuan, L., Tan, P., & Sun, J. (2013). Bundled camera paths for video stabilization.

- ACM Transactions on Graphics (TOG), 32(4), 1-10.
- Liu, S., Tan, P., Yuan, L., Sun, J., & Zeng, B. (2016, October). Meshflow: Minimum latency online video stabilization. In European Conference on Computer Vision (pp. 800-815). Springer, Cham.
- Liu, F., Gleicher, M., Wang, J., Jin, H., & Agarwala, A. (2011). Subspace video stabilization. ACM Transactions on Graphics (TOG), 30(1), 1-10.
- Liu, F., Gleicher, M., Jin, H., & Agarwala, A. (2009). Content-preserving warps for 3D video stabilization. ACM Transactions on Graphics (ToG), 28(3), 1-9.
- Liu, Z., Yeh, R. A., Tang, X., Liu, Y., & Agarwala, A. (2017). Video frame synthesis using deep voxel flow. In Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision (pp. 4463-4471).
- Lu, L., Wu, R., Lin, H., Lu, J., & Jia, J. (2022). Video Frame Interpolation with Transformer. In Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (pp. 3532-3542).
- Lowe, G. (2004). Sift-the scale invariant feature transform. Int. J, 2(91-110), 2.
- Mahajan, D., Huang, F. C., Matusik, W., Ramamoorthi, R., & Belhumeur, P. (2009). Moving gradients: a path-based method for plausible image interpolation. ACM Transactions on Graphics (TOG), 28(3), 1-11.
- Mehmet Sarıgül, & Levent KARACAN (2020) Classifying stable and unstable videos with deep convolutional networks Akıllı Sistemler ve Uygulamaları Dergisi, Cilt: 3, Sayı: 2, Sayfa 90-92,
- Meyer, S., Wang, O., Zimmer, H., Grosse, M., & Sorkine-Hornung, A. (2015). Phase-based frame interpolation for video. In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition (pp. 1410-1418).
- Miao Wang, Guo-Ye Yang, Jin-Kun Lin, Song-Hai Zhang, Ariel Shamir, Shao-Ping Lu, and 990 Shi-Min Hu. (2018) Deep online video stabilization with multi-grid warping transformation learning.
- Nie, L., Lin, C., Liao, K., Liu, S., & Zhao, Y. (2022). Deep Rectangling for Image Stitching: A Learning Baseline. In *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 5740-5748).
- Niklaus, S., & Liu, F. (2020). Softmax splatting for video frame interpolation. In Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (pp. 5437-5446).
- Niklaus, S., Mai, L., & Liu, F. (2017). Video frame interpolation via adaptive convolution. In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (pp. 670-679).

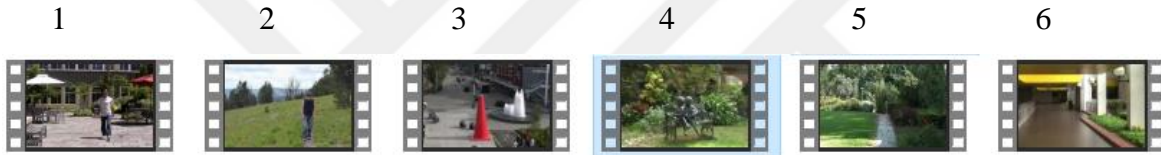
- Niklaus, S., Mai, L., & Liu, F. (2017). Video frame interpolation via adaptive separable convolution. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision* (pp. 261-270).
- Niklaus, S., & Liu, F. (2018). Context-aware synthesis for video frame interpolation. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 1701-1710).
- Park, J., Lee, C., & Kim, C. S. (2021). Asymmetric bilateral motion estimation for video frame interpolation. In *Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision* (pp. 14539-14548).
- Qu, H., & Song, L. (2013, September). Video stabilization with L1–L2 optimization. In *2013 IEEE International Conference on Image Processing* (pp. 29-33). IEEE.
- Ranftl, R., Bochkovskiy, A., & Koltun, V. (2021). Vision transformers for dense prediction. In *Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision* (pp. 12179-12188).
- Reda, F., Kontkanen, J., Tabellion, E., Sun, D., Pantofaru, C., & Curless, B. (2022, November). Film: Frame interpolation for large motion. In *Computer Vision–ECCV 2022: 17th European Conference, Tel Aviv, Israel, October 23–27, 2022, Proceedings, Part VII* (pp. 250-266). Cham: Springer Nature Switzerland.
- Rublee, E., Rabaud, V., Konolige, K., & Bradski, G. (2011, November). ORB: An efficient alternative to SIFT or SURF. In *2011 International conference on computer vision* (pp. 2564-2571). Ieee.
- Shi, F., Tsai, S. F., Wang, Y., & Liang, C. K. (2019, September). Steadiface: Real-time face-centric stabilization on mobile phones. In *2019 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)* (pp. 4599-4603). IEEE.
- Sun, D., Yang, X., Liu, M. Y., & Kautz, J. (2018). Pwc-net: Cnns for optical flow using pyramid, warping, and cost volume. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 8934-8943).
- Wang, Y. S., Liu, F., Hsu, P. S., & Lee, T. Y. (2013). Spatially and temporally optimized video stabilization. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, 19(8), 1354-1361.
- Wang, Q., Li, Z., Salesin, D., Snavely, N., Curless, B., & Kontkanen, J. (2022). 3D moments from near-duplicate photos. In *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 3906-3915).
- Werlberger, M., Pock, T., Unger, M., & Bischof, H. (2011, July). Optical flow guided TV-L 1 video interpolation and restoration. In *International Workshop on Energy Minimization Methods in Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 273-286). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Wu, Y., Wen, Q., & Chen, Q. (2022). Optimizing Video Prediction via Video Frame

- Interpolation. In Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (pp. 17814-17823).
- Xu, S. Z., Hu, J., Wang, M., Mu, T. J., & Hu, S. M. (2018, October). Deep video stabilization using adversarial networks. In Computer Graphics Forum (Vol. 37, No. 7, pp. 267-276).
- Yu, Z., Li, H., Wang, Z., Hu, Z., & Chen, C. W. (2013). Multi-level video frame interpolation: Exploiting the interaction among different levels. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 23(7), 1235-1248.
- Yu, J., & Ramamoorthi, R. (2020). Learning video stabilization using optical flow. In Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (pp. 8159-8167).
- Yu, J., & Ramamoorthi, R. (2019). Robust video stabilization by optimization in cnn weight space. In Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (pp. 3800-3808).
- Yu, J., Ramamoorthi, R., Cheng, K., Sarkis, M., & Bi, N. (2021). Real-time selfie video stabilization. In Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (pp. 12036-12044).
- Yu, J., & Ramamoorthi, R. (2018). Selfie video stabilization. In Proceedings of the European Conference on Computer Vision (ECCV) (pp. 551-566).
- Zhao, M., & Ling, Q. (2020). Adaptively meshed video stabilization. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 31(9), 3504-3517.

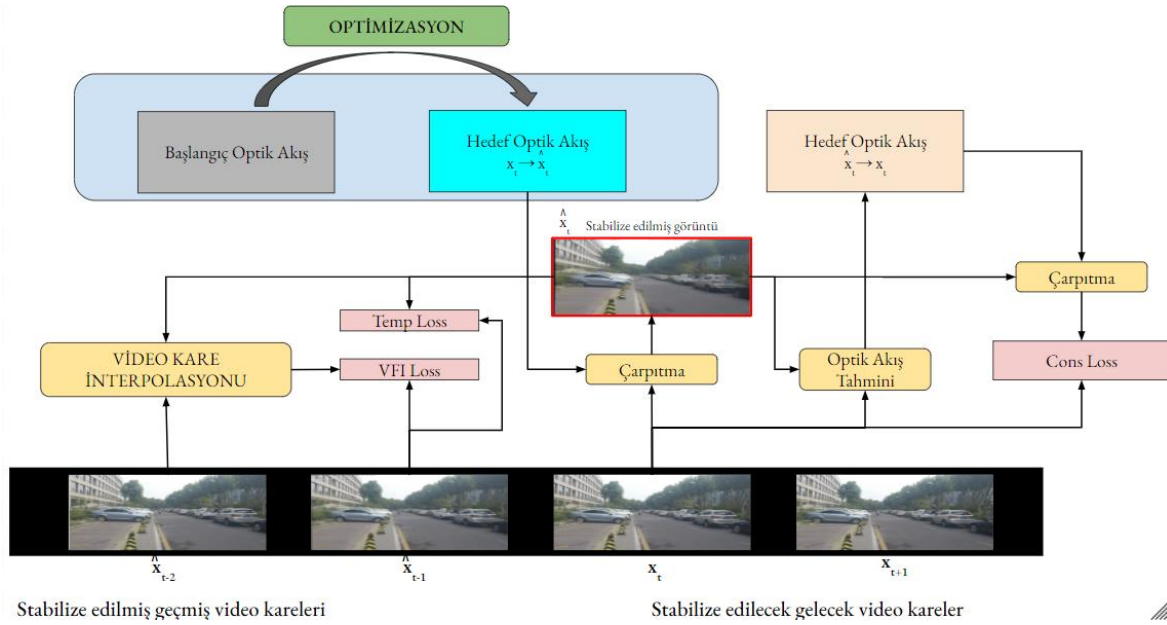
EKLER



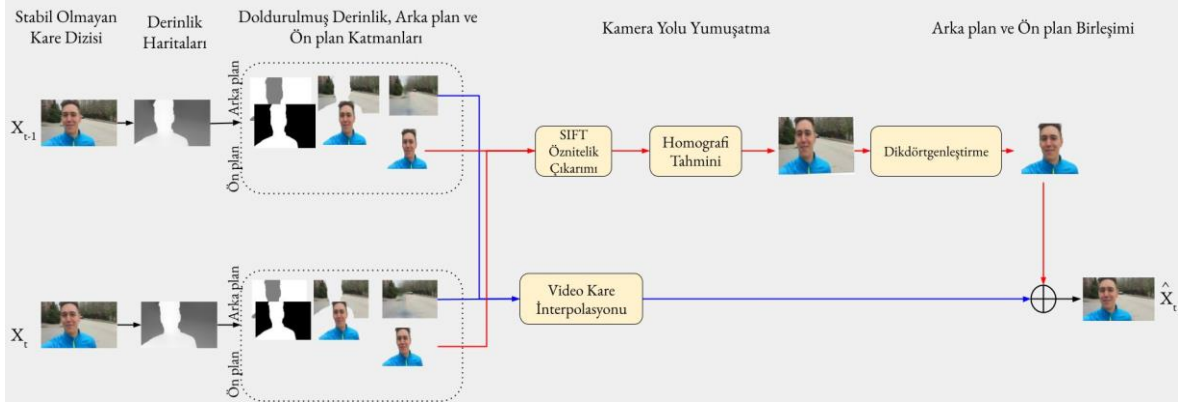
Resim 2.1. Video stabilizasyon temel prensibi



Resim 3.1 Nus veri setinden kullanılan videolar



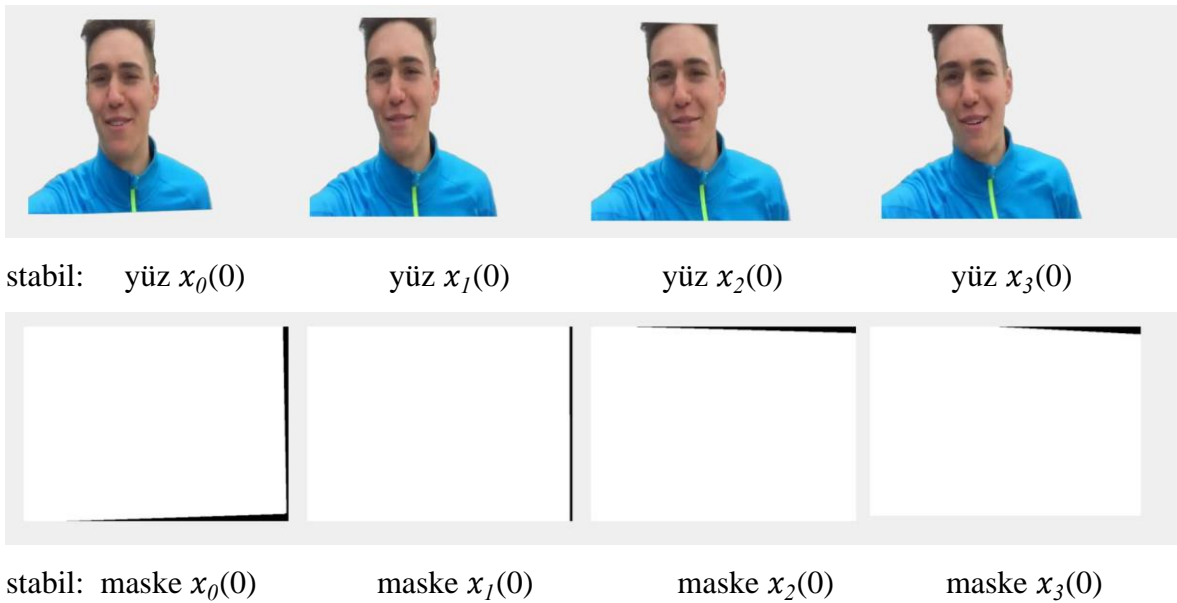
Resim 3.2 Optimizasyon yöntemi genel akış tablosu

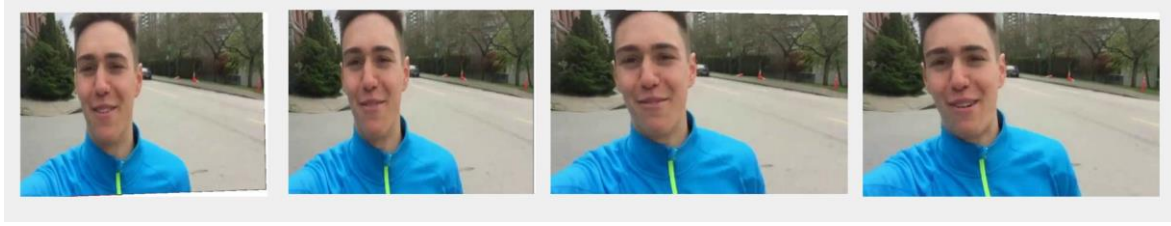


Resim 3.3 Özçekim stabilizasyon metod özeti. $X(0)$:video karesinin ön plan kısmı
 $X(1)$:video karesinin arka plan kısım



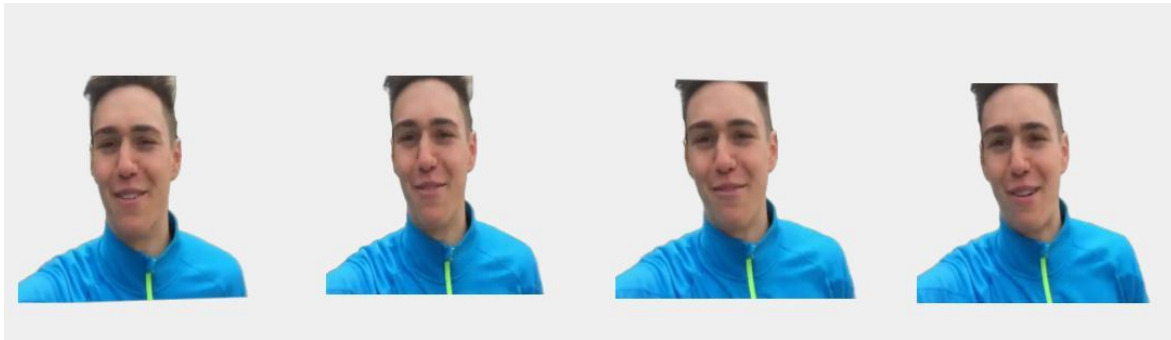
Resim 3.4 Selfie veri setinden kullanılan video karelerinin katmanlara ayrılmış halleri ve hesaplanan maskeler





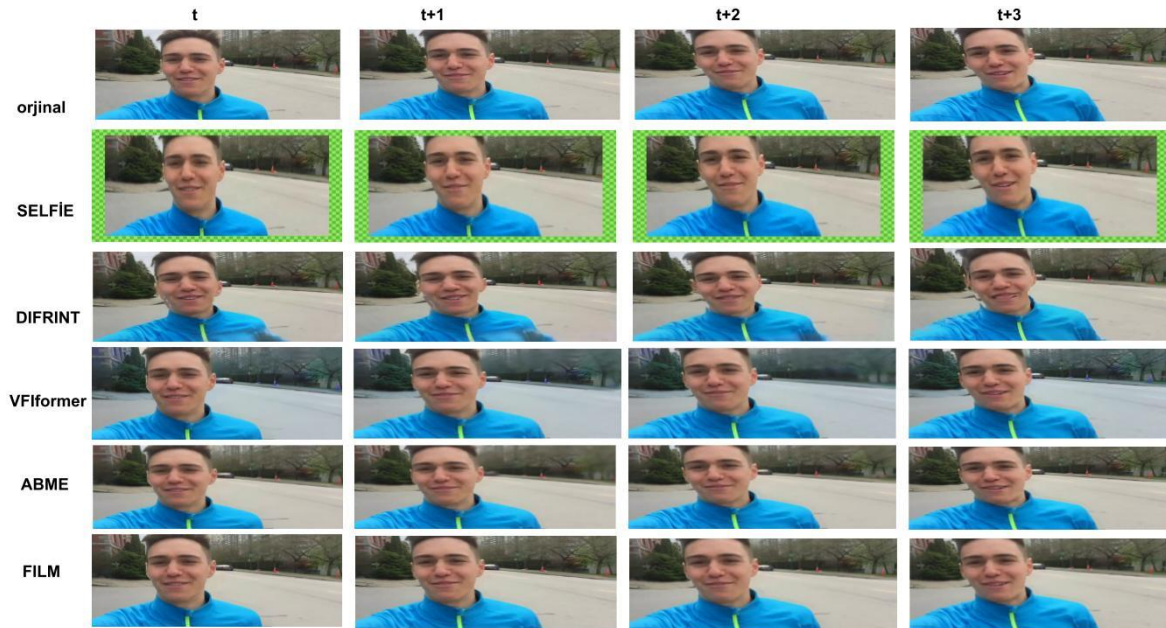
stabil: \hat{x}_0 \hat{x}_1 \hat{x}_2 \hat{x}_3

Resim 3.5 Stabilize edilmiş ön plan(yüz) , maskeler ve birleştirilmiş stabil kareler



stabil: $\hat{x}_0(0)$ $\hat{x}_1(0)$ $\hat{x}_2(0)$ $\hat{x}_3(0)$

Resim 3.6 Ön plan (yüzler) katmanının karenin sınır bölgelerine çekilmesi



Resim 3.7 Yapılan çalışmaların görsel sonuçların karşılaştırması

DİZİN

A

ABME · 8,16,17,24-26,28

B

C

Ç

Çizelgelerin Listesi · 8

D

DIFRINT · 9,10,14,16,24,25,28
Deep Rectangle· 22,23

E

F

FILM · 8,24,25,28

G

Giriş · 1

H

İ

İterasyon tabanlı · 16,27

K

Kaynaklar· 30
Kırpma oranı · 16,17,26,27

L

Lint · 15,16,27
Lcons · 15,16,26,27
Ltemp · 15,26,27
LVFI · 15,26,27

N

O

Ö

Özçekim Video Stabilizasyon·
3,12,13,18,24,27-29
Özgeçmiş · 34

P

paralaks · 11

R

Resimlerin Listesi· 9

S

Stabilite skor· 2,16,17,24,26-28
Sonuç ve tartışma · 26

Ş

T

U

V

VFIformer ·8,16,24,25,28



TEKNOVERSİTE



teknoversite **AYRICALIĞINDASINIZ**

İSTE

