



**TÜBİTAK-2209-A ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİ ARAŞTIRMA
PROJELERİ DESTEĞİ PROGRAMI**

ARAŞTIRMA ÖNERİSİ FORMU

2024 Yılı

1. Dönem Başvurusu

2209/A ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİ ARAŞTIRMA PROJELERİ DESTEĞİ PROGRAMI
ARAŞTIRMA ÖNERİSİ FORMU

A. GENEL BİLGİLER

Başvuru Sahibinin Adı Soyadı: Hatice KARATAŞ
Araştırma Önerisinin Başlığı: Yüksek Frekanslı Titreşimlere Dayanıklı, Hafif, Gerçek Zamanlı Video Stabilizasyon Algoritması
Danışmanın Adı Soyadı: İbrahim Furkan İNCE, Dr. Öğretim Üyesi
Araştırmanın Yürütüleceği Kurum/Kuruluş: İstinye Üniversitesi

ÖZET

Bu proje, yüksek frekanslı titreşimlerin yaygın olduğu ortamlarda kullanılmak üzere geliştirilmiş, gerçek zamanlı bir video stabilizasyon yöntemi sunmaktadır. Önerilen yöntem, özellikle benzin motorlarının yakınında oluşan yüksek frekanslı titreşimlere karşı dayanıklıdır. Çalışmada, video karelerinin ilk giren ilk çıkar (FIFO) yapısına sahip bir kuyrukta toplanması ve seçilen referans kare ile minimum hata oranına göre en iyi eşleşen "ayna" karenin gösterilmesi sağlanmaktadır. Bu yöntem, geleneksel optik ve dijital sabitleme yöntemlerinden daha düşük hesaplama maliyetine sahiptir ve gömülü sistemlerde uygulanabilir. Ayrıca, bu teknik sayesinde hızlı hareketli görüntülerde nesne tanıma ve takip performansında belirgin bir iyileşme sağlanmaktadır. Proje sonucunda, yüksek titreşimli ortamlarda dahi etkili sonuçlar veren ve taşınabilir cihazlarda çalışabilecek bir stabilizasyon sistemi geliştirilmesi amaçlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Gerçek zamanlı, video stabilizasyonu, yüksek frekans

1. ÖZGÜN DEĞER

1.1. Konunun Önemi, Araştırma Önerisinin Özgün Değeri ve Araştırma Sorusu/Hipotezi

Görüntü sabitleme [1-3], deklanşörü çevirirken kamera titremesinin veya hızlı hareket eden nesnelerin neden olduğu görüntü dizilerindeki hareketi azaltmak için kullanılan bir bilgisayarla görme alanıdır. Bu titremeler, video dizilerinde arzu edilenden daha az görsel efektlere yol açan dış faktörlerin neden olduğu anomalilerdir. Operatörün kamerayı yanlış kullanması, hızlı hareket eden spor kameraları, düz olmayan yüzeylerde hareket eden araçlara veya robotlara monte edilmiş kameralar veya sadece motor titreşimi hareket anomalilerinin bazı nedenleridir.

(1) optik görüntü sabitleme (OIS) ve (2) dijital görüntü sabitleme (DIS) olarak kategorize edilen iki sabitleme tekniği vardır. OIS sistemleri, lens-barrel- shift mekanizması gibi Opto mekatronik cihazlar kullanarak optik yolu manipüle ederek görüntü dizilerindeki hareketi azaltır [4, 5]. Ses bobini aktüatörleri kullanan sensör kaydırmalı OIS sensörleri [6, 7] ve multi-DOF gimbal kontrol sistemlerine sahip elde taşınan OIS sistemleri [8, 9] literatürde önerilmiştir. Son dijital kameralar, video çekimi sırasındaki dalgalanmaları gidermek için OIS stabilizasyon işlevlerine sahiptir. Ancak bu tür geleneksel sistemler, lens kaydırma veya sensör kaydırma mekanizmalarının fiziksel sınırlamaları nedeniyle rastgele ortaya çıkan yüksek frekanslı titremeleri ve hızlı görünen hareketi azaltmakta zorluk çekmektedir. Dahası, modern makine öğrenimi algoritmaları bu tür ortamlardaki aşırı yüksek titreşimler nedeniyle görüntü sınıflandırma veya nesne tespitinde sorun yaşamaktadır.

Önerilen birçok video stabilizasyon metodolojisi, beklenen kullanım alanlarına bağlı olarak ya görüntü işleme tabanlı ya da makine öğrenimi tabanlıdır.

Görüntü işleme tabanlı yöntemler genellikle Kalman filtresi tabanlı tahmin [10], ayrık Fourier dönüşümü (DFT) filtreleme [11] veya optik akış tahmini [12] içerir. Bu yöntemler çeşitli uygulamalarda düşük maliyetli video stabilizasyon algoritmaları olarak kullanılmıştır. Ancak bu uygulamaların çoğu, ilgili süreçteki ağır hesaplama nedeniyle görüntülerde gözlemlenen büyük ve hızlı hareket değişikliklerini azaltma konusunda sınırlı yeteneklere sahiptir [13].

Derin öğrenme tabanlı yaklaşımlar genel olarak 3D dönüşüm, 2D dönüşüm ve optik akış destekli metodolojiler olarak sınıflandırılır. [14]'de Liu ve arkadaşları, kamera konumlarının ve özellik izlerinin 3B bir uzayda yeniden yapılandırıldığı ve bu özelliklerin konumlarının yumuşatılmış kamera konumlarıyla birlikte yansıtıldığı bir 3B yaklaşım önermektedir.

3D yaklaşımlarla ilgili bir sorun, hareketli nesneler de dahil olmak üzere dinamik sahneleri işleyememeleridir. 2D dönüşümler video stabilizasyon yöntemlerinde kullanılan en yaygın yöntemlerdir. Bu yöntemler öne çıkan özellikleri izler ve hareket yolu boyunca yörüngelerini sabitler. Sonuçlar genellikle yukarı ölçeklendirilir ve orijinal video çözünürlüğünü korumak için sınırların etrafında kırılır. Matsushita ve diğerleri [15] orijinal kareleri çarpıtmak için basit bir 2B dönüşüm mekanizması kullanırken, Liu ve diğerleri [16] bir Eigen-trajectory smoothing önermektedir.

Hem 2D hem de 3D yöntemlerin özellik izlerine dayandığı ve ardışık framerlerdeki nesnelerin bağımsız hareketleri arasındaki ilişkiyi dikkate almadığı düşünüldüğünde, Liu ve diğerleri [17] video stabilizasyon alanında optik akışın olası uygulamalarını araştırmıştır. Onların yaklaşımı, stabilizasyonda kareler arası hareket tahmininin öneminin anlaşılmasına yardımcı olmaktadır.

Tanıtilan yöntemler gelecekteki araştırma noktalarının önünü açarken, ağır hesaplama maliyeti nedeniyle gerçek zamanlı uygulamaları neredeyse imkansızdır. Bunların çoğu sahneye özgüdür ve genelleştirilemez. Video stabilizasyon sisteminin hesaplama açısından hafif olması ve Raspberry Pi veya Nvidia Jetson gibi daha küçük cihazlara kolayca uygulanabilir olması gerekir.

Önerilen yöntemde, video kareleri bir kuyruk yapısına alınarak ardışık kareler arasında ortalama karesel hata analizi yapılmakta ve en düşük hata oranına sahip kare referans olarak alınmaktadır. Bu teknik, kamera titremesi veya çevresel titreşimlerin neden olduğu görüntü bozulmalarını minimize ederken, hızlı çalışan ve düşük işlem gücüne sahip cihazlarda dahi çalışabilmektedir. Özellikle, nesne tanıma gibi yüksek doğruluk gerektiren görevlerde, yüksek frekanslı titreşimlerin olumsuz etkileri ortadan kaldırılarak algılama performansı artırılmaktadır. Deneyler, son teknoloji ürünü bir nesne izleme derin öğrenme modeli olan YOLO4 [18] kullanıldığında, önerilen yöntemin çok yüksek frame titreşimine sahip küçük balıkçı teknelerinde kullanıldığında nesne algılama oranını önemli ölçüde artırdığını göstermektedir. Bu ve bunun gibi, gözetim sistemleri, dronelar ve mobil cihazlarda etkin bir şekilde kullanılabilir bir teknoloji sunulmaktadır. Literatürde, genellikle derin öğrenme tabanlı veya pahalı optik sistemlere dayalı stabilizasyon teknikleri yer almaktadır; bu çalışma ise daha hafif ve geniş bir uygulama alanına sahip olan, yüksek titreşim frekanslarına karşı dayanıklı, yenilikçi bir çözüm sunmaktadır.

1.2. Amaç ve Hedefler

Projenin temel amacı, yüksek frekanslı titreşimlerin yoğun olduğu ortamlarda kullanılabilir, gerçek zamanlı bir video stabilizasyon algoritması geliştirmektir. Hedefler arasında, düşük hesaplama maliyeti ile çalışabilen bir stabilizasyon algoritması oluşturmak ve gömülü cihazlarda uygulanabilir bir yapı sağlamak bulunmaktadır. Proje kapsamında, video kareleri arasında en düşük ortalama karesel hata oranını baz alarak görüntü sabitleme yapılacak ve hızlı çevre koşullarına uyum sağlayabilecek bir stabilizasyon performansı elde edilecektir. Bu kapsamda, yöntem hem laboratuvar koşullarında hem de saha testlerinde gerçek verilerle değerlendirilecektir. Ayrıca, gömülü sistemlerin sınırlı işlem gücü göz önünde bulundurularak, algoritmanın verimliliğini artıracak optimizasyon çalışmaları yapılacaktır. Proje tamamlandığında, özellikle güvenlik sistemleri ve drone uygulamalarında kullanıma uygun, dayanıklı ve taşınabilir bir stabilizasyon sistemi oluşturulması beklenmektedir.

2. YÖNTEM

Önerilen video stabilizasyon yöntemi, yüksek frekanslı titreşimlerin görüntü üzerindeki olumsuz etkilerini en aza indirmek için iki aşamalı bir algoritma kullanmaktadır. Bu yöntem, video karelerinin belirli bir kuyruk yapısına alınması ve burada referans kare ile en iyi eşleşen kare seçiminin yapılması prensibine dayanmaktadır. İlk olarak, video kareleri ardışık olarak iki kuyruk yapısına yığılır. Bu kuyruklardan birincisi görüntülemenin yapılacağı orijinal çözünürlükteki kareleri tutarken, ikincisi hesaplamaların daha hızlı yapılabilmesi için %5 oranında yeniden boyutlandırılmış kareleri içerir. Bu yapı, yüksek çözünürlüklü videoların hızlı işlenmesini sağlayarak, özellikle gömülü cihazlar gibi sınırlı işlem gücüne sahip ortamlarda verimliliği artırır. Kuyruk dolana kadar, her yeni kare bu iki kuyruğa yığılmaya devam eder. Resized edilen kuyrukta 2. aşamada, başlangıç karesi referans kare olarak alınır, kuyruk dolduktan sonra algoritma, kuyruk yapısının ikinci yarısında bulunan kareler arasında referans kareye en yakın olanı belirlemek için minimum ortalama kare hatasını (MSE) hesaplar (Yapısal benzerlik indeksi (SSIM) gibi metrikler de kullanılabilir).

2209/A ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİ ARAŞTIRMA PROJELERİ DESTEĞİ PROGRAMI ARAŞTIRMA ÖNERİSİ FORMU

En basit versiyonu ile bulunan bu karenin orijinal kuyruktaki karşılığının ekrana verilmesi ve yeni referans değer olarak güncellenmesi kayda değer bir stabilizasyon sağlar. Ama gerçek zamanda gecikme ve netliğin bozulması gibi durumları minimize etmek için algoritmanın geliştirilmesi üzerine çalışılmaya devam edilmektedir.

Üzerine çalışılan başka bir algorithmada kuyruğun ilk yarısındaki en düşük hata oranına sahip kare, referans kare olarak atanır. İkinci aşamada, bu referans kareye karşılık gelen "yansıtma" görüntüsü, kuyruğun ikinci yarısında bulunarak bu karenin indeks numarası, tam boyutlu kuyruktaki orijinal çözünürlükteki karelerle eşleştirilir ve sonuç olarak bu kare ekrana yansıtılır. Bu sayede, algoritma sadece düşük frekanslı titreşimleri değil, aynı zamanda yüksek frekanslı bozulmaları da etkili bir şekilde ortadan kaldırmaktadır. Yüksek frekanslı salınımların olduğu durumlarda daha küçük kuyruk boyutları kullanılarak hızlı hareketlerdeki bozulmalar minimize edilirken, daha büyük kuyruk boyutları ile düşük frekanslı hareketler daha verimli şekilde düzeltilir.

Bir başka önerilen yöntemin temel fikri, düşük frekanslı ve yüksek frekanslı titreşimlerin belirli bir zaman diliminde belirli bir frekans değişim oranına sahip olmasına dayanır. Sinyallerin periyodik analizini gerçekleştirmek için, sinyalin belirli bir zaman aralığında bir döngü yaptığı varsayılır. Belirli bir zaman aralığında sinyal, periyodun ilk yarısında bir yönde en yüksek tepe noktalarından birini yapar ve periyodun ikinci yarısında ters yönde başka bir en derin çukur noktasını yapar. Bu olgu göz önünde bulundurulduğunda, bir önceki referans kare ile minimum ortalama karesel hata miktarı (en derin dalga) veya maksimum korelasyon oranı (en yüksek dalga) ile bir sonraki stabilize kareyi tahmin ederek sık değişen titreşimleri yenmek mümkündür. Bu nedenle, sinyallerin zaman serisi analizi gereklidir. Tahmin edilen stabilize edilmiş kare, her karede bir önceki referans kare ile en düşük ortalama karesel hataya veya en yüksek korelasyon oranına sahip karenin konumunu yansıtarak görüntülenecektir. Bu işlem, periyodun ikinci yarısında bir sonraki stabilize video karesinin konumunu tahmin etmek için periyodun ilk yarısında yapılacaktır. Bir sonraki stabilize kare görüntülendikten sonra, referans kare bu belirli kare ile güncellenecektir.

Bir başka yöntem de makine öğrenmesindeki erken durdurma (early stopping) özelliğinden esinlenilmiştir. Referans kareye en çok benzeyen karenin bulunmasında tüm karelerin hesaplanmasına gerek olmadığı fikrine dayanır. Makine öğrenmesindeki gibi bir sabır (patience) değişkeni vardır ve bu değer kadar MSE metriğinde iyileşme gerçekleşmemesi durumunda minimum hataya sahip kare ekrana yansıtılır ve referans karesi olarak güncellenir. Bu kontrol edilmesi gereken kare sayısını önemli ölçüde azaltacağından gecikme problemine çözüm getirir. Gecikme problemine getirilebilecek diğer çözümler şu şekildedir:

Optimizasyon ve Paralel İşlem: Algoritmanın hızını artırmak için işlemci kaynaklarını daha verimli kullanmak önemlidir. Gömülü sistemlerde paralel işlem yapabilen mimariler kullanılabilir, böylece video kareleri aynı anda işlenebilir.

Kuyruk Boyutu Ayarları: Kuyruk boyutunun çevresel frekanslara göre dinamik olarak ayarlanması önerilebilir. Düşük frekanslı hareketlerde daha büyük kuyruk boyutları kullanılırken, yüksek frekanslı titreşimler için küçük kuyruk boyutları tercih edilerek işlem süresi kısaltılabilir.

Veri Ön İşleme: Yüksek çözünürlüklü videoların işlenmesi, veri boyutunu küçültmek için çözünürlük düşürme teknikleriyle optimize edilebilir. Bu sayede, video karelerinin işlenme süresi kısaltılabilir.

Çözünürlüğü düşürmenin getirebileceği bir sorun da, video stabilizasyonu sırasında görüntü kalitesinin azalmasıdır. Stabilizasyon için yapılan işlemler, özellikle yeniden boyutlandırma ve düşük çözünürlüklü kareler üzerinde hesaplama yapma adımlarında, görüntünün netliğinde kayıplara yol açabilir. Bu durum, özellikle detayların önemli olduğu videolarda kalite düşüşü yaşanmasına neden olur.

Çözünürlük Uyarlamalı İşleme: Videonun sadece sabit bölgelerinde (örneğin arka planda ya da hareketin az olduğu kısımlarda) düşük çözünürlükte işlemler yapılabilirken, detayların önemli olduğu bölümlerde daha yüksek çözünürlük kullanılabilir. Bu sayede görüntü kalitesi korunurken, işlem süresi de optimize edilir.

Hibrid Kuyruk Yapısı: Düşük çözünürlüklü karelerin yanı sıra belirli periyotlarla tam çözünürlüklü karelerin de analiz edilmesi önerilebilir. Bu hibrid yapı, her aşamada çözünürlük kaybını azaltarak daha doğru referans karelerin seçilmesine olanak tanır.

3 PROJE YÖNETİMİ

3.1 İş- Zaman Çizelgesi

İŞ-ZAMAN ÇİZELGESİ (*)

İP No	İş Paketlerinin Adı ve Hedefleri	Kim Tarafından Gerçekleştirileceği	Zaman Aralığı (...-.. Ay)	Başarı Ölçütü ve Projenin Başarısına Katkısı
1	Literatür Taraması ve Gereksinim Analizi Hedef: İlgili stabilizasyon tekniklerinin incelenmesi ve proje gereksinimlerinin belirlenmesi.		1-2 ay	Başarı Ölçütü: Literatürden elde edilen tekniklerin ve gereksinimlerin detaylı bir raporda sunulması. Katkı: Temel hedeflerin belirlenmesi ve en uygun yöntemlerin seçilmesi.
2	Yöntem Tasarımı ve Kuyruk Yapısı Geliştirilmesi Hedef: Çift aşamalı kuyruk yapısının ve algoritma temelini oluşturulması.		3-4 ay	Başarı Ölçütü: Kuyruk yapısının doğru çalışması ve algoritmanın temel işlemleri gerçekleştirmesi. Katkı: Algoritmanın iskeletinin oluşturulması ve sistemin verimli çalışmaya başlaması.
3	Algoritma Geliştirme ve İlk Testler Hedef: MSE ve SSIM metrikleri kullanılarak referans kare seçim mekanizmasının geliştirilmesi.		5-6 ay	Başarı Ölçütü: Algoritmanın başarıyla çalışması ve temel testleri geçmesi. Katkı: Kararlılık ve doğruluğun sağlanması, ilk test sonuçlarının analiz edilmesi.
4	Yöntemin Optimizasyonu ve Gömülü Cihazlara Uyarlama Hedef: Algoritmanın hız ve performans açısından optimize edilmesi, gömülü sistemlerde çalışabilir hale getirilmesi.		7-8 ay	Başarı Ölçütü: Optimize edilmiş algoritmanın gömülü cihazlarda başarılı sonuçlar vermesi. Katkı: Algoritmanın kullanım alanının genişletilmesi ve gerçek zamanlı performansının artırılması.
5	Sonuçların Analizi ve Raporlama Hedef: Tüm sonuçların analiz edilmesi, final değerlendirme ve raporlama.		9-10 ay	Başarı Ölçütü: Performans sonuçlarının başarıyla analiz edilmesi ve proje raporunun tamamlanması. Katkı: Proje çıktılarının doğrulanması ve nihai sunum/dosya halinde paylaşılması.

(*) Çizelgedeki satırlar ve sütunlar gerektiği kadar genişletilebilir ve çoğaltılabilir.

2209/A ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİ ARAŞTIRMA PROJELERİ DESTEĞİ PROGRAMI
ARAŞTIRMA ÖNERİSİ FORMU

3.2 Risk Yönetimi

RİSK YÖNETİMİ TABLOSU*

İP No	En Önemli Riskler	Risk Yönetimi (B Planı)
1	Risk bulunmamaktadır.	

(*) Tablodaki satırlar gerektiği kadar genişletilebilir ve çoğaltılabilir.

1.1. Araştırma Olanakları

ARAŞTIRMA OLANAKLARI TABLOSU (*)

Kuruluştaki Bulunan Altyapı/Ekipman Türü, Modeli (Laboratuvar, Araç, Makine-Teçhizat, vb.)	Projede Kullanım Amacı
Bilgisayarı	Video işleme ve algoritma geliştirme
Java veya Python tabanlı görüntü işleme yazılımları	Algoritmanın geliştirilmesi ve sonuçların analizi

(*) Tablodaki satırlar gerektiği kadar genişletilebilir ve çoğaltılabilir.

4. YAYGIN ETKİ

ARAŞTIRMA ÖNERİSİNDEN BEKLENEN YAYGIN ETKİ TABLOSU

Yaygın Etki Türleri	Önerilen Araştırmadan Beklenen Çıktı, Sonuç ve Etkiler
Bilimsel/Akademik (Makale, Bildiri, Kitap Bölümü, Kitap)	Makale, bildiri ve tez çalışmaları ile literatüre katkı sağlanması; video stabilizasyon teknikleri hakkında yeni araştırma fırsatlarının oluşması.
Ekonomik/Ticari/Sosyal (Ürün, Prototip, Patent, Faydalı Model, Üretim İzni, Çeşit Tescili, Spin-off/Start-up Şirket, Görsel/İşitsel Arşiv, Envanter/Veri Tabanı/Belgeleme Üretimi, Telif Konu Olan Eser, Medyada Yer Alma, Fuar, Proje Pazarı, Çalıştay, Eğitim vb. Bilimsel Etkinlik, Proje Sonuçlarını Kullanacak Kurum/Kuruluş, vb. diğer yaygın etkiler)	Endüstride ve özellikle güvenlik ve gözetim alanında kullanılabilir, yüksek frekanslı titreşimlere karşı dayanıklı bir stabilizasyon yazılımı geliştirilmesi.
Araştırmacı Yetiştirilmesi ve Yeni Proje(ler) Oluşturma (Yüksek Lisans/Doktora Tezi, Ulusal/Uluslararası Yeni Proje)	Projede görev alacak üniversite öğrencilerinin video stabilizasyonu ve görüntü işleme teknikleri üzerine bilgi ve deneyim kazanması; yüksek lisans/doktora tezleri ile eğitim katkısı.

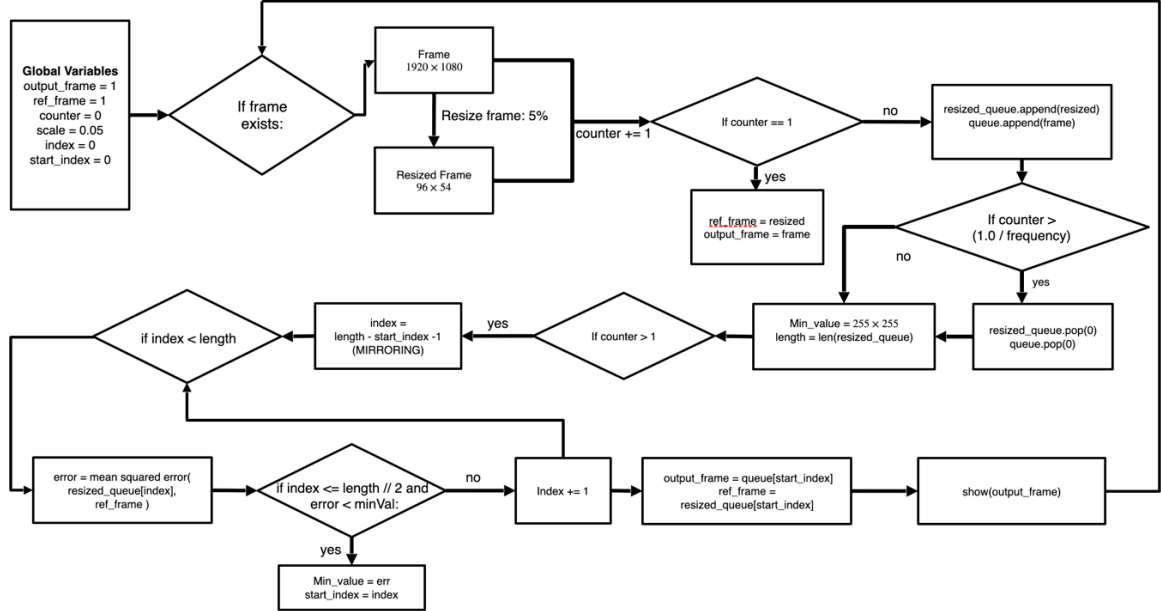
5. BÜTÇE TALEP ÇİZELGESİ

Bütçe Türü	Talep Edilen Bütçe Miktarı (TL)	Talep Gerekçesi
Makina/Teçhizat (Demirbaş)	1650+1450	Raspberry Pi 3, Raspberry Pi Kamera 2 Video stabilizasyon algoritmasının video girişlerini kaydedip analiz edebilmek, gömülü sistemlerde çalışabilirliğini test etmek ve geliştirmek için gerekli
TOPLAM	3100	

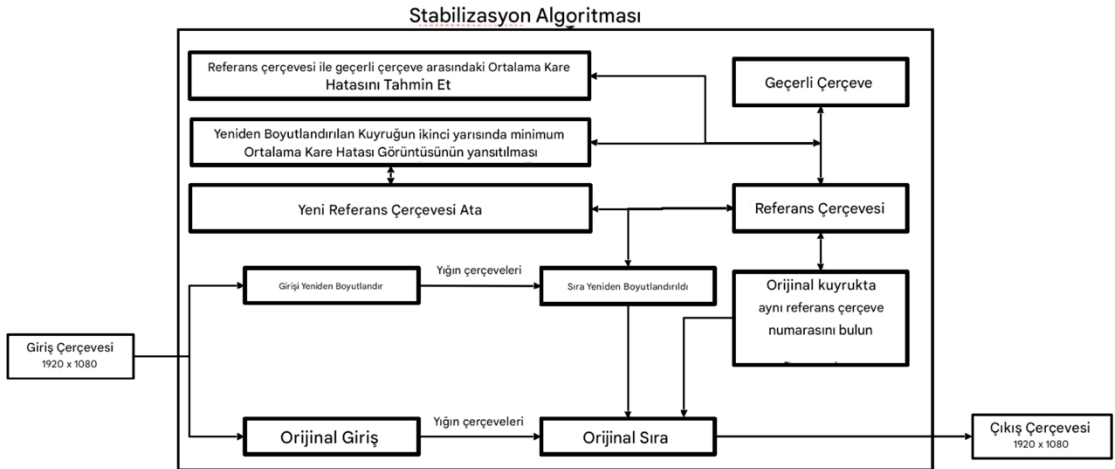
6. BELİRTMEK İSTEDİĞİNİZ DİĞER KONULAR

Sadece araştırma önerisinin değerlendirilmesine katkı sağlayabilecek bilgi/veri (grafik, tablo, vb.) eklenebilir.

Stabilization Flowchart



Stabilizasyon Algoritması Blok Diyagramı



7. EKLER

EK-1: KAYNAKLAR

- [1] J. Yang, D. Schonfeld, and M. Mohammed, "Robust video stabilization based on particle filter tracking of projected camera motion," IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, vol. 19, no. 7, pp. 945-954, 2009.
- [2] J. Xu, H.W. Chang, S. Yang, and D. Wang, "Fast feature-based video stabilization without accumulative global motion estimation," in IEEE Transactions on Consumer Electronics," vol. 58, no. 3, pp. 993-999, 2012.
- [3] W. Scott, and R. Sergio, "Introduction to image stabilization," SPIE Press, Bellingham, 2006. DOI <https://doi.org/10.1117/3.685011>.
- [4] H. Kusaka, Y. Tsuchida, and T. Shimohata, "Control technology for optical image stabilization," SMPTE Motion Imaging Journal, vol. 111, pp. 509-615, 2012.

2209/A ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİ ARAŞTIRMA PROJELERİ DESTEĞİ PROGRAMI
ARAŞTIRMA ÖNERİSİ FORMU

- [5] B Cardani, "Optical image stabilization for digital cameras," IEEE Control Systems, vol. 21, pp. 21-22, 2006.
- [6] C.W. Chiu, P.C.P. Chao, and D.Y. Wu, "Optimal design of magnetically actuated optical image stabilizer mechanism for cameras in mobile phones via genetic algorithm," IEEE Transactions on Magnetics, vol. 43, pp. 2582-2584, 2007.
- [7] J. Moon, and S. Jung, "Implementation of an image stabilization system for a small digital camera," IEEE Transactions on Consumer Electronics, vol. 54, pp. 206-212, 2008.
- [8] B. Ekstrand, "Equations of motion for a two-axes gimbal system," IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, vol. 37, pp. 1083-1091, 2001.
- [9] C.D. Walrath, "Adaptive bearing friction compensation based on recent knowledge of dynamic friction," Automatica, vol. 20, pp. 717-727, 1984.
- [10] S. Erturk, "Real-time digital image stabilization using Kalman filters," Journal of Real-Time Image Processing, vol. 8, vol. 4, pp. 317-328, 2002.
- [11] S. Erturk, and T.J. Dennis, "Image sequence stabilization based on DFT filtering," IEEE Proceedings- Vision, Image and Signal Processing, vol. 147, no. 2, pp. 95-102, 2000.
- [12] J.Chang, W. Hu, M. Cheng, and B. Chang, "Digital image translational and rotational motion stabilization using optical flow technique," IEEE Transactions on Consumer Electronics, vol. 48: pp. 108-115, 2002.
- [13] W. Yang, Z. Zhang, Y. Zhang, X. Lu, and Z. Shi, "Real-time digital image stabilization based on regional field image gray projection," Journal of Systems Engineering and Electronics, vol. 27, no. 1, pp. 224-231, 2016.
- [14] F. Liu, M. Gleicher, H. Jin, and A. Agarwala, "Content-preserving warps for 3D video stabilization," ACM Transactions on Graphics, vol. 28, no. 3, pp. 1-9, 2009.
- [15] Y. Matsushita, E. Ofek, W. Ge, X. Tang, H.Y. Shum, "Full-frame video stabilization with motion inpainting," IEEE Transactions on pattern analysis and Machine Intelligence, vol. 28, no. 7, pp. 1150-1163, 2006.
- [16] S. Liu, L. Yuan, P. Tan, and J. Sun, "Bundled camera paths for video stabilization," ACM Transactions on Graphics, vol. 32, no. 4, pp. 1-10, 2013.
- [17] S. Liu, P. Tan, L. Yuan, J. Sun, and B. Zeng, "Meshflow: Minimum latency online video stabilization," European Conference on Computer Vision, pp. 800-815, 2016.
- [18] A. Bochovski, C.Y. Wang, and H-Y. M. Liao, "YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection," arXiv:2004.10934v1, 2020.