



**T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJESİ SONUÇ RAPORU**

**DENGELEME HALKALARI İLE GÖRÜNTÜ
KARARLILAŞTIRMASI**

PROJE YÖNETİCİSİ: DOÇ. DR. CİHAN KARAKUZU
PROJE NUMARASI: 2014-02.BİL.03-01
ARAŞTIRMACILAR: DOÇ. DR. METİN KESLER,
DOÇ. DR. UĞUR YÜZGEÇ
ÖĞR. GÖR. ALİ RIZA GÜN
ARŞ. GÖR. GÖKHAN UÇAR
ARŞ. GÖR. HAKAN ÜÇGÜN

BAŞLAMA TARİHİ: 02 MAYIS 2015
BİTİŞ TARİHİ: 02 KASIM 2016

BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
BİLECİK 2016

ABSTRACT

THE IMAGE STABILIZATION WITH GIMBALS

Image stabilization includes the methods and applications in order to remove the irregular vibrations, which are caused by unwanted camera movement or are occurred by film shooting from moving vehicles. To not lose the image frame in shooting with the camera in long term, the unwanted sudden movements are eliminated by image stabilization process. It is very important to take the image or video shots as clear, free flicker and high quality in the fields such as military, satellite, aviation, photography and cinema. To obtain a good image or video, the stabilization process of the cameras has to be made as well. Unbalanced stabilization procedures, leads to decrease in the quality of the images or obtained unwanted images.

Basically, image stabilization system consists of the motion estimation and the motion compensation system. In the motion estimation system, the global motion vector is calculated based on the previous frame for each image sequence. The block comparison method, fast Fourier transform based phase correlation method and feature comparison method are used in the motion estimation process. In the motion compensation system, the unwanted disturbances in the image are corrected by software using methods such as polynomial filtering, Kalman filter, fuzzy logic.

In this project, the image stabilization will be provided by two-way gimbal which is a hardware product, and the embedded systems. Nowadays, gimbals are more used in the military areas. Gimbals moves on one axis, two axes or three axes. The gimbals, used also academic studies, provide to obtain the image with non-flicker and clear, and do not require to be made the software stabilization on the image.

The being good quality of obtained image is very important to be able do the image processing work. In this study, unwanted noise/defects in the image which is taken from a camera mounted on a moving vehicle or is shot by a moving person will be corrected by the image stabilization with Gimbal system.

Keywords: Image Stabilization, Gimbal, Image Processing

ÖZET

DENGELEME HALKALARI İLE GÖRÜNTÜ KARARLILAŞTIRMASI

Görüntü kararlılığı, istenmeyen kamera hareketlerinin sebep olduğu veya hareket halindeki araçlardan yapılan çekimlerde meydana gelen düzensiz titreşimleri yok etmek amacıyla yapılan yöntem ve uygulamaları içermektedir. Uzun süreli yapılan çekimlerde, görüntü çerçevesini kaybetmemek için istenmeyen ani değişimli hareketler kararlılaştırma işlemi ile giderilmektedir. Görüntü veya video çekimlerinin net, titreşimsiz ve kaliteli olarak alınması askeri, uydu ve havacılık, fotoğrafçılık ve sinema gibi bir çok alanda çok önemlidir. Bu şekilde iyi bir görüntü/video elde etmek için çekim yapan kameraların kararlılaştırma işleminin iyi bir şekilde yapılmış olması gerekmektedir. Kararlılaştırma işlemlerinin dengesiz yapılması istenmeyen görüntülerin alınmasına, görüntülerin kalitesinin düşmesine neden olmaktadır.

Görüntü kararlılaştırma temel olarak hareket tahmin sistemi ve hareket düzeltme sisteminden oluşmaktadır. Hareket tahmin sisteminde, her görüntü dizini için küresel hareket vektörleri bir önceki çerçeveye göre hesaplanmaktadır. Hareket tahmin işlemlerinde öbek karşılaştırması, hızlı Fourier dönüşümü temelli faz korelasyonu ve özellik karşılaştırması gibi yöntemler kullanılmaktadır. Hareket düzeltme sistemlerinde ise polinom süzgeçleme, Kalman filtresi, bulanık mantık gibi yöntemlerden faydalanarak görüntüdeki istenmeyen bozukluklar yazılımsal olarak düzeltilmektedir.

Bu projede görüntü kararlılığı donanımsal bir ürün olan iki yönlü dengeleme halkası ve gömülü sistemler yardımıyla sağlanacaktır. Dengeleme halkaları, günümüzde daha çok askeri alanlarda kullanılmaktadır. Dengeleme halkaları tek, iki veya üç eksenli olarak hareket edebilmektedirler. Akademik çalışmalarda da kullanılan dengeleme halkaları, görüntünün titreşimsiz ve net bir şekilde alınmasına olanak sunmakta ve görüntü üzerinde yazılımsal kararlılaştırma yapılmasına lüzum bırakmamaktadır. Alınan görüntünün kalitesinin iyi olması görüntü işleme çalışması yapabilmek için çok önemlidir. Bu çalışma kapsamında, hareketli bir araç üzerine yerleştirilen kameradan alınan veya hareket halindeki bir kişinin çektiği görüntülerdeki istenmeyen gürültüler/bozukluklar dengeleme halkaları ile oluşturulacak bir sistemde görüntü kararlılaştırma işlemleri ile giderilmeye çalışılacaktır.

Anahtar sözcükler: Görüntü Kararlılaştırma, Dengeleme Halkaları, Görüntü İşleme

İÇİNDEKİLER

ABSTRACT	ii
ÖZET	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
TABLolar DİZİNİ	vi
1. GİRİŞ.....	7
2. I. ARA DÖNEMDE YAPILAN ÇALIŞMALAR	9
2.1 LİTERATÜR ÖZETİ	9
2.2 MALZEME TEMİNİ	14
2.3 SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	18
3. II. ARA DÖNEMDE YAPILAN ÇALIŞMALAR	19
3.1 GİMBAL DÜZENEĞİ VE ARAYÜZ İLE VERİ ALINMASI	19
3.2 PID KATSAYILARININ UYGUNLAŞTIRILMASI.....	21
3.2 SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	24
4. III. ARA DÖNEMDE YAPILAN ÇALIŞMALAR	25
4.1 DENGEME HALKASININ SİSTEM MODELLENMESİ	25
4.2 SİSTEM DENKLERİNİN OLUŞTURULMASI VE PID PARAMETRELERİNİN TESPİTİ	27
5.SONUÇ	30
6. BİLİMSEL ETKİNLİKLER.....	30
KAYNAKLAR	31
EK-1	33

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Görüntü kararlılaştırma yapılmış ve yapılmamış iki örnek görüntü [1,2].....	10
Şekil 2.2. Görüntü lens ve sensör kararlılaştırma [3]	10
Şekil 2.3. Üç eksenli dönüş yapabilen Gimbal yapısı [8].....	11
Şekil 2.4. İki eksenli Gimbal sisteminin donanımsal yapısı [25]	13
Şekil 2.6. Mevcut bulunan iki-eksenli ve üç-eksenli Gimbal Düzenekleri	15
Şekil 2.7. 2-eksenli gimbal demonte hali	15
Şekil 2.8. 2-eksenli gimbalin konum değişimlerine rağmen kamerayı sabit tutması	16
Şekil 2.9. WiGo arayüzü ile anlık görüntü aktarımı.....	17
Şekil 2.10. Android arayüzü kurulumu ve anlık görüntü aktarımı	17
Şekil 2.11. Çoklu cihazla bağlantı ve anlık görüntü aktarımı	18
Şekil 3.1. Gimbal düzeneği ve GoPro Hero4 kamerası.....	19
Şekil 3.2. Gimbal arayüzü	20
Şekil 3.3. Gimbal düzeneği üzerindeki sensörden alınan verilerin değişimi	20
Şekil 3.4. Gimbal düzeneği blok diyagramı	21
Şekil 3.5. PID katsayıları (Tablo 1) için ivme ve jiroskop veri sonuçları	22
Şekil 3.6. PID katsayıları (Tablo 2) için ivme ve jiroskop veri sonuçları	22
Şekil 3.7. Uygun olmayan PID katsayıları ile alınan alınan görüntü	23
Şekil 3.7. Uygun PID katsayıları ile alınan görüntü.....	24
Şekil 4.1. Dengeleme halkası modeli önden görünüm ve eksen görünümü [9]	25
Şekil 4.2. Dengeleme halkası sisteminin akış şeması.....	27
Şekil 4.3. Sensör konumu seçimi ve eksenlerin kalibrasyonu.....	28
Şekil 4.4. PID katsayılarının arayüzle ayarlanması sonucu Pitch ekseninin dengeye getirilmesi	28
Şekil 4.6. PID katsayılarının arayüzle ayarlanması sonucu tüm eksenlerin otonom olarak dengeye getirilmesi	29

TABLolar DİZİNİ

Tablo 3.1. PID Katsayıları	21
Tablo 3.2. PID Katsayıları	21

1. GİRİŞ

Günümüzde hızla gelişen yarıiletken elektroniği ve nanoteknolojik gelişmeler sayesinde askeri ve sivil amaçlı cihaz ve sistemlerle görüntüleme de gelişim göstermiştir. Bu görüntüleme teknolojilerine olan ihtiyaç da hızla artmaktadır. Burada yeni bir problem ortaya çıkmaktadır. Görüntüleme teknolojileri ne kadar gelişse de kullanım alanına göre görüntü kalitesinde aynı oranda iyileşme gözlemlenemeyebilmektedir. Bu durum hareketli kamerayla görüntü çekilmesi sırasında bariz bir şekilde gözlemlenmektedir. Böylece ortaya görüntü kararlılaştırma denilen ve hareketlilik sebebiyle görüntüyü bozan istenmeyen titreşimlerden arındırarak daha kaliteli görüntü elde edebilmek için yapılan yöntem ve uygulamalar geliştirilmelidir. Özellikle uzun süreli çekimlerde, görüntü çerçevesini kaybetmemek için istenmeyen ani değişimli hareketlerin olumsuz etkisi giderilmektedir. Görüntü veya video çekimlerinin net, titreşimsiz ve kaliteli olarak alınması askeri, uydu ve havacılık, fotoğrafçılık ve sinema gibi bir çok alanda çok önemlidir. Bu şekilde iyi bir görüntü veya video elde etmek için çekim yapan kameraların kararlılaştırma işleminin iyi bir şekilde yapılmış olması gerekmektedir. Kararlılaştırma işlemlerinin dengesiz yapılması istenmeyen görüntülerin alınmasına veya alınan görüntülerin kalitesinin düşmesine neden olmaktadır.

Bu konuda ilk olarak kapsamlı bir literatür taraması yapılarak elde edilen bulgulara göre kullanılması gerekli donanım ve yazılım gereksinimleri tespit edilmiştir. Yapılan çalışmadan kısaca bahsedecek olursak:

Görüntü kararlılaştırma temel olarak hareket tahmin sistemi ve hareket düzeltme sisteminden oluşmaktadır. Hareket tahmin sisteminde, her görüntü dizini için küresel hareket vektörleri bir önceki çerçeveye göre hesaplanmaktadır. Hareket tahmin işlemlerinde öbek karşılaştırması, hızlı Fourier dönüşümü temelli faz korelasyonu ve özellik karşılaştırması gibi yöntemler kullanılmaktadır. Hareket düzeltme sistemlerinde ise polinom süzgeçleme, Kalman filtresi, bulanık mantık gibi yöntemlerden faydalanarak görüntüdeki istenmeyen bozukluklar yazılımsal olarak düzeltilmektedir.

Donanımsal gereksinimlere değinecek olursak, ilk etapta görüntü kararlılığı donanımsal bir ürün olan iki yönlü dengeleme halkası ve gömülü sistemler yardımıyla sağlanacaktır. Dengeleme halkaları tek, iki veya üç eksenli olarak hareket edebilmektedirler.

Akademik çalışmalarda da kullanılan dengeleme halkaları, görüntünün titreşimsiz ve net bir şekilde alınmasına olanak sunmakta ve görüntü üzerinde yazılımsal kararlılaştırma yapılmasına lüzum bırakmamaktadır. Alman görüntünün kalitesinin iyi olması görüntü işleme çalışması yapabilmek için çok önemlidir. Her ne kadar ilk etapta görüntü kararlılaştırılması için iki eksenli (2-axis) dengeleme halkaları kullanımı dşnlmş olsa da literatür çalışmaları sonucu bu düzeneğin bazı koşullarda yetersiz kalabildiği tespit edilmiştir.

2. I. ARA DÖNEMDE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Literatür tarama çalışmaları bu dönem boyunca yapılmış olup bu çalışmalar sonucu alınması gerekli olan malzemeler belirlenmiştir. Projede ilk etapta gerekli malzemelerin tespiti ve malzemelerin alımı gerçekleştirilmiştir.

2.1 Literatür Özeti

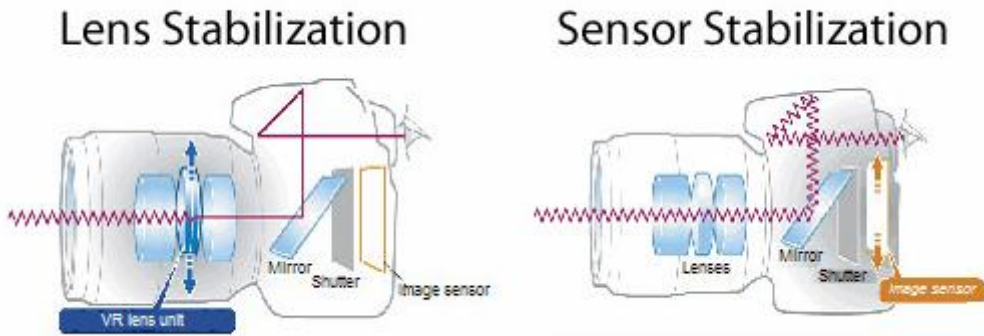
Görüntü kararlılaştırması, istenmeyen kamera hareketlerinin sebep olduğu veya hareket halindeki araçlardan yapılan çekimlerde meydana gelen düzensizlikleri yok etmek amacıyla yapılan yöntem ve uygulamaları içermektedir. Hareketli çekimlerde, görüntü çerçevesini kaybetmemek için el titremesi gibi istenmeyen ani değişimli görüntüler kararlılaştırma işlemi ile giderilmektedir. Görüntü veya video çekimlerinin net, titreşimsiz ve kaliteli olarak alınması askeri, uydu ve havacılık, fotoğrafçılık ve sinema gibi alanlarda çok önemlidir. Bu şekilde iyi bir görüntü veya video elde etmek için çekim yapan kameraların kararlılaştırma işleminin iyi bir şekilde yapılmış olması gerekmektedir. Kararlılaştırma işlemlerinin dengesiz yapılması istenmeyen görüntülerin alınmasına veya alınan görüntülerin kalitesinin düşmesine neden olmaktadır.

Kamera çekimlerinde, kamera hareketinden dolayı oluşan ve çerçevenin yer değişimi şeklinde gözlenen hareket (küresel hareket) ve çerçeve içindeki bir nesnenin hareketi (yerel hareket) olmak üzere iki çeşit hareket şekli gözlenmektedir. Görüntü kararlılaştırma temel olarak hareket tahmin sistemi ve hareket düzeltme sisteminden oluşmaktadır ve hareket tahmin sisteminde, her görüntü dizini için, küresel hareket vektörleri bir önceki çerçeveye göre hesaplanmaktadır. Hareket tahmin işlemlerinde öbek karşılaştırması, hızlı Fourier dönüşümü temelli evre ilişkisi (faz korelasyonu) ve özellik karşılaştırması gibi yöntemler kullanılmaktadır. Hareket düzeltme sistemlerinde ise polinom süzgeçleme, Kalman filtresi, bulanık mantık gibi yöntemlerden faydalanarak görüntüdeki istenmeyen bozukluklar yazılımsal olarak düzeltilmektedir. Şekil 2.1'de görüntü kararlılaştırma yapılmış ve yapılmamış iki görüntü örneği bir arada gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Görüntü kararlılaştırma yapılmış ve yapılmamış iki örnek görüntü [1,2]

Konica, Sony, Nikon, Canon gibi büyük firmalar görüntü kararlılaştırması için lens ve sensör kararlılaştırması şeklinde iki temel teknik kullanmaktadırlar. Şekil 2.2'de lens kararlılaştırması ve sensör kararlılaştırması gösterilmiştir. Lens kararlılaştırması kullanmanın üstünlükleri arasında optik olarak daha etkili olması, küçük ve hafif olması, düşük ışık koşullarında daha başarılı olması sayılabilir. Sakıncaları ise, lens kararlılaştırmasının pahalı olması, lensden geçen ışık oranını azaltması gibi nedenler söylenebilir. Sensör kararlılaştırması tüm lenslerde çalıştırılabilir, optik olarak lensden geçen ışık oranını etkilemez, daha küçük, daha hafif ve ucuz lenslerle çalışabilir. Düşük ışık koşullarında sensörlerin başarımı azaldığından sensör kararlılaştırması daha az başarılıdır.



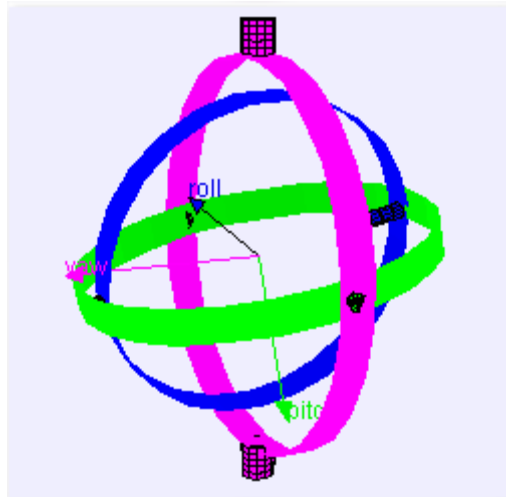
Şekil 2.2. Görüntü lens ve sensör kararlılaştırma [3]

Görüntü ve video kararlılaştırması üzerine literatürde bir çok çalışmaya rastlamak mümkündür. Crétual ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada deniz altında kullanılan tepe ve eğim kameralarının kararlılaştırmasında hareket kestirimi için RMR algoritması kullanılarak, görüntüdeki titreşimlerin giderilmesi için ise servo motorlar kullanılmıştır [4]. Juanjuan ve arkadaşları ise Kalman filtresi ve küresel hareket kestirimi temelli bir elektronik görüntü

kararlılaştırması önermişlerdir [5]. Ioannidis ve arkadaşları Hibert-Huang dönüşümü temelli bir sayısal görüntü kararlılaştırması yapmışlardır [6]. Ülkemizde de görüntü işleme ve görüntü kararlılaştırması üzerine çok değerli çalışmalara rastlanabilmektedir.

Bu proje kapsamında, görüntüdeki istenmeyen titreşim ve gürültüleri gidermek için kamera içinde olmayan, harici bir donanımsal ürün tasarlanacaktır. İki eksen boyunca kameranın hareketlerini dengeleyecek bir kontrol algoritmasına sahip gömülü bir sistem ile desteklenen iki servo motor tarafından görüntü kararlılaştırması sağlanması hedeflenmektedir. Şekil 2.3'de kullanılması düşünülen üç eksenli dengeleme halka sistemi (gimbal) gösterilmiştir. Gimbal, bir nesnenin tek eksen etrafında dönebilmesini sağlayan bir sistemdir. Üç adet gimbal seti birbirlerinin pivot eksenlerine dik olacak şekilde bindiğinde, en içte bulunan gimbal'a koyulmuş bir nesne dışta bulunan desteklerin dönüşünden bağımsız olarak dönebilmektedir. Örnek kullanım yerleri uçaklarda ve gemilerde bulunan pusulalar, jiroskoplar olarak sayılabilir. Hareket eden nesnenin içinde bulunan diğer nesnelere de yunuslama ve yalpalama hareketlerinden bağımsız olarak hareket etmek amacıyla gimbal sistemi kullanılmaktadır.

Gimbal sistemleri adını İtalyan matematikçi ve fizikçi olan Gerolamo Cardano'dan alarak "*Cardan suspension*" adını almıştır [7]. Fakat gimbal sistemleri Cardano tarafından icat edilmemiştir ve Cardano bu sistemi icat ettiğini de savunmamıştır. Mucidi tam olarak bilinmemekle birlikte antik zamanlardan bu yana kullanılmakta olan bir sistemdir.



Şekil 2.3. Üç eksenli dönüş yapabilen Gimbal yapısı [8]

Gimbal sistemleri ilk olarak Yunan mucit Filyon tarafından ortaya atılmıştır. Filyon, ortaya attığı bu buluşta sekiz tarafı bulunan ve üstteki herhangi bir yüze kalem batırıldığında içinde bulunan sıvıyı sızdırmayan bir mürekkep kabını anlatmıştır [9-12]. Mürekkep kabı içerisinde

bulunan sıvının dökülmemesinin sebebi ise merkezde bulunan mürekkep yuvasının bir takım eşit merkezli halka sistemi vasıtasıyla mürekkep kabının sabit kalmasıdır [9].

Filyon' un "Cardan Suspension" isimli tabirinin gerçek olup olmadığından sade "Pneumatica" adlı eserinin M.Ö. 9 yüzyıl da yazılmış olan Arapça tercümesinde bulunduğu için bu tabir üzerinde şüphe eden yazarlar bulunmaktadır [9]. "Pneumatica" adlı eserin Fransızca tercümesini yapmış olan Carra de Vaux ise modern alimler için bu eseri kaynak oluşturabilecek özgün bir eser olarak nitelendirmiştir [13-15]. Teknoloji tarihçisi olan George Sarton, "Pneumatica" adlı eserin Arapça tercümesinin aslına sadık kaldığını bildirmiş ve Filyon' un bu icadı yapmış olduğuna kanıt olarak göstermiştir [16].

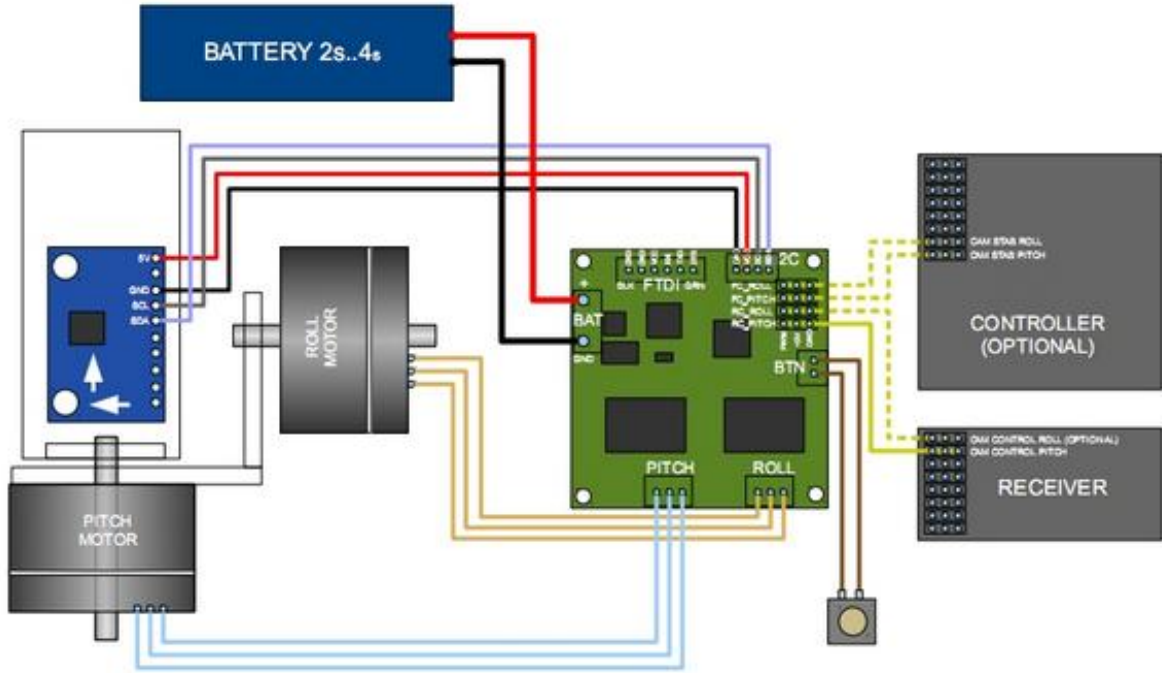
Augustus döneminde parlamış olan antik çağın yazarlarında olan Athenaeus Mechanicus "Küçük Maymun" ismini vermiş olduğu Gimbal sistemlerine benzeyen bir mekanizmanın askeri alanda kullanımından bahsetmiştir. Askeri mühendisler, denizlerden kıyı kasabalarına doğru saldırılar yaparken ticaret gemilerinin kancalarının kuşatma mekanizmalarını kaldırabilmek için kullanmışlardır. Fakat Athenaeus, deniz de alabora olmayı engellemek için, "Küçük Maymunu" ticaret gemilerinin orta bölgesine sabitlemek gerektiğine dikkat çekmiştir [17-20]. Antik çağlarda kullanımından sonra Gimbal sistemleri İslam dünyasında da bilinir hale gelmiştir. Batı Avrupada 9. yüzyılda "Mappae Cavicula" isimli bir kitapta yer alarak tekrar ortaya çıkmıştır. Fransız olan mucit Villard de Honnecourt ise ünlü taslaklar kitabında bir Gimbal setini resmetmiştir. Kuru pusulalar Ortaçağ ve endüstri devrimi arasında Gimbal sistemlerinin içinde kullanılmıştır.

Çin'deki Han Hanedanlığının hüküm sürdüğü zamanlarda (MÖ 201- MS 220) Ding Huan isimli bir mucit M.S. 180 yılında içinde Gimbal kullanılan bir buhardanlık icat etmiştir. Ayrıca Gimbal' in Çin de 2. yüzyıldan beri kullanılmış olduğu Sima Xiangru (MÖ 179-117) tarafından yazılmış olan eserlerde anlatılmaktadır. Lian Hanedanlığı hüküm sürdüğü zamanlarda (502-557) ise Gimbal sistemlerinin kapı ve pencerelerin menteşelerinde kullanıldığı bilinmektedir. İmparatoriçe Wu Zetian döneminde bir mucit içerisinde Gimbal sistemleri kullanılmış olan taşınabilir bir soba icat etmiş ve bu icadını İmparatoriçe' ye hediye etmiştir. Çin'deki Tang Hanedanlığının hüküm sürdüğü (618-907) zamanlardan bu yana halen gümüş işleme için kullanılan Gimbal sistemlerinin varlığını sürdürdüğü bilinmektedir [21].

Gemiler ve denizaltılarına uygulanan bu sistemlerde sabit bir şekilde durabilmek için en az üç adet Gimbal sisteminin bulunması gerekmektedir. Eylemsizlik ölçüm birimleri (IMU), üç

eksenli jiroskoplara sahiptirler ve üç boyutlu uzayda yapılan hareketleri algırlarlar [14]. Jiroskop, üç eksenli kontrol eden üç Gimbalde kontrol eden motorları ayarlayarak IMU sensörünü sabit bir şekilde tutar. Bu şekilde, bu üç Gimbalde bağlanmış olan dönüştürücüler, gemiyi yönlendirebilmek için gerekli olan yön bilgisine karar verirler. Bu sistemler benzer şekilde hava araçları içinde kullanılabilirler.

Uzay araçlarının itişisi sırasında roket motorlarının hareketlerinin değişmemesi için motorlar genellikle bir çift Gimbalin üstüne monte edilebilmektedir. Gimbal sistemleri fotoğrafçılık ve sinema sektöründe, küçük kamera lenslerinden büyük teleskoplara kadar bir çok yerde kullanılmaktadır. Taşınabilir olan fotoğraf ekipmanlarında tek eksenli Gimballer, kamera ve lenslerin dengeli bir şekilde hareket edebilmesi için kullanılmaktadır. Bu tarz işlemler genelde uzun ve ağır olan tele lenslerin kullanıldığı alanlarda veya vahşi yaşam fotoğrafçılığında kullanılır. Gimbal sistemi, lensi ağırlık merkezi etrafında hareket ettirip hızla giden nesnelere akıcı bir şekilde görüntülenebilmesini sağlamaktadır. Çok büyük boyutlardaki 2 yada 3 eksenli Gimbal sistemleri aynı zamanda, uydudan görüntü takibi için de kullanılabilir [22-23]. İki eksenli Gimbal sisteminde iki servo motor, sürücü kartı ve denetleyici, RF haberleşme modülü (opsiyonel) bulunmaktadır. Şekil 2.4'de iki eksenli bir Gimbal sisteminin yapısı gösterilmiştir. Kullanılan servoların kontrol yapılarında genellikle PID denetleyici yapıları kullanılmaktadır [24].



Şekil 2.4. İki eksenli Gimbal sisteminin donanımsal yapısı [25]

2.2 Malzeme Temini

Literatür tarama çalışmaları sonucu alınması gerekli olan malzemeler belirlenmiştir. Gerekli malzemelerin tespiti ve malzemelerin çoğunun yurtdışından temin edilmiş olmasından dolayı malzeme alımları uzun zaman almıştır. Bunlara ek olarak laboratuvarında mevcut bulunan muhtelif sarf malzemeleri, GoPro Hero3 kamera ve iki-eksenli gimbal çalışmalarda kullanılmaktadır. Alınan malzemeler Şekil 2.5’de görülmektedir:



Şekil 2.5. Alınan tüm malzemeler



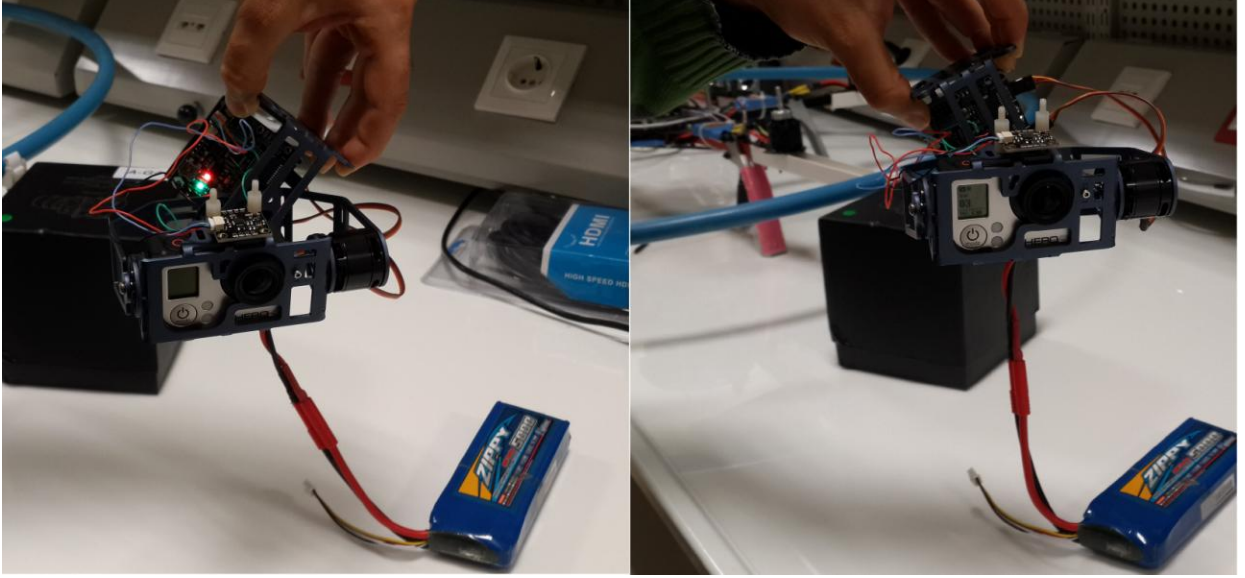
Şekil 2.6. Mevcut bulunan iki-eksenli ve üç-eksenli Gimbal Düzenekleri

Bu dönemki çalışmalarda öncelikli olarak demonte şekilde elimize ulaşan 2-eksenli gimbal düzeneği kurulmuştur. Gimbal düzeneğinin montajı yapılarak Gopro Hero3 kamera gimbal düzeneği üzerine monte edilmiş ve demo yazılımı yüklenmiştir.



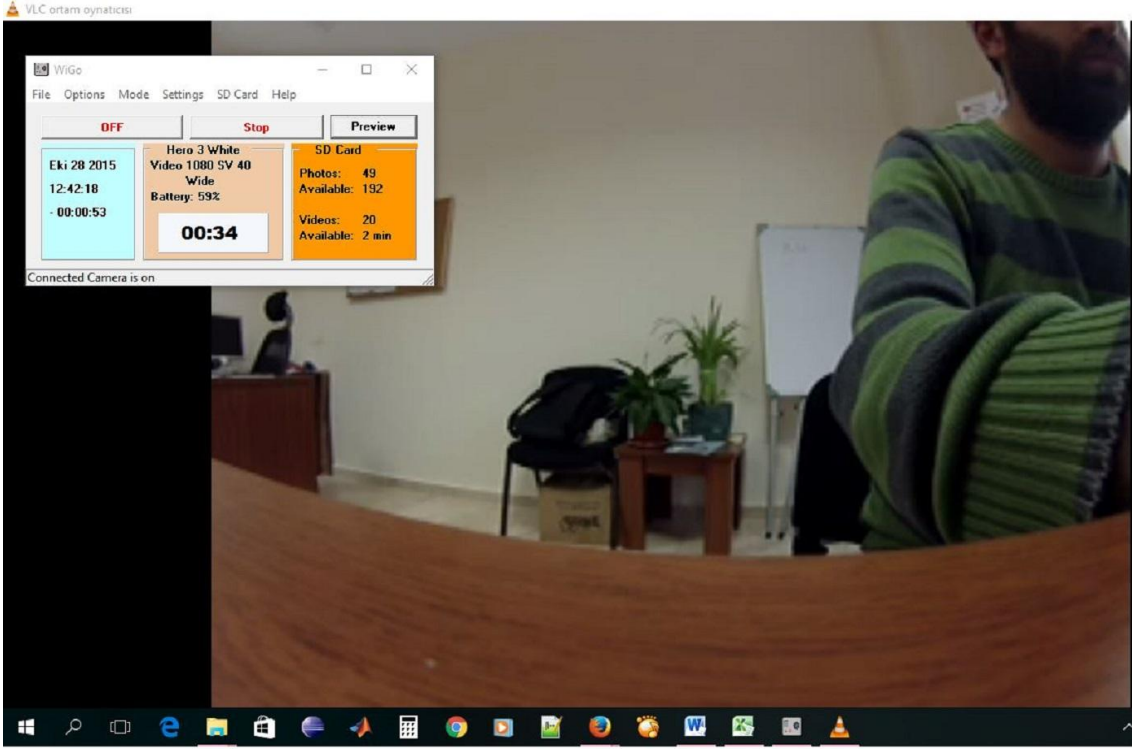
Şekil 2.7. 2-eksenli gimbal demonte hali

Daha sonra düzenek hareket ettirildiğinde kontrol kartı sayesinde gimbal düzeneğinin motorları otomatik olarak çalıştırılmıştır ve yapılan hareketler neticesindeki konum değişimi etkilerine ters etki oluşturularak kameranın eksenlere göre konumunun sabit kaldığı Şekil 2.8’ de görüldüğü gibi gözlemlenmiştir.



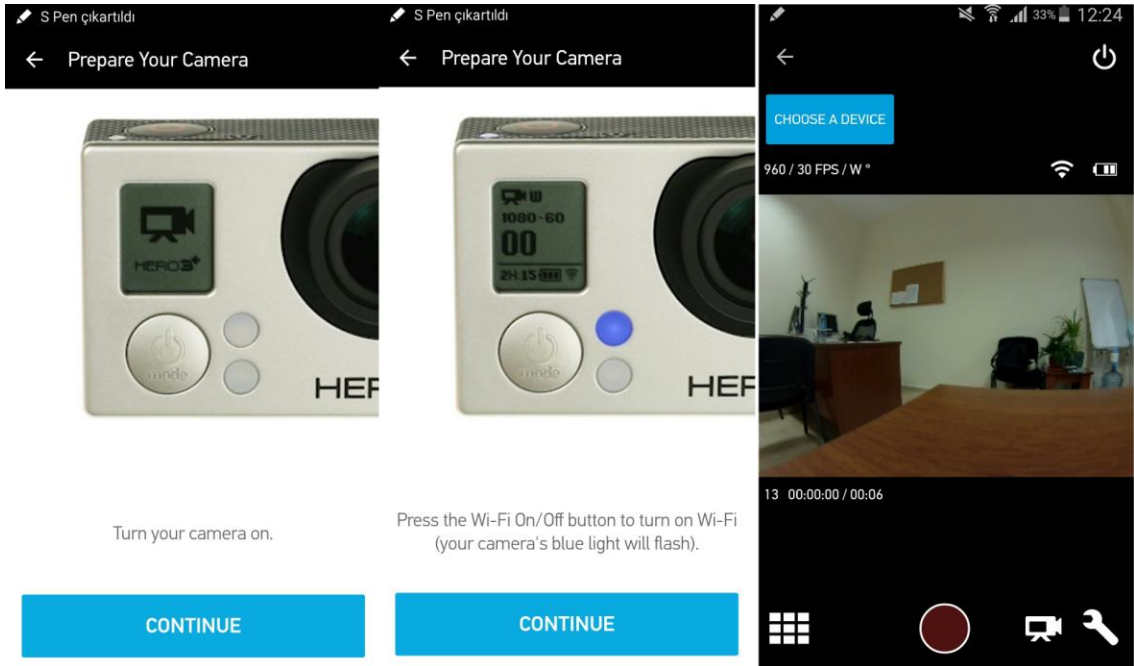
Şekil 2.8. 2-eksenli gimbalin konum değişimlerine rağmen kamerayı sabit tutması

Gimbal kurulduktan sonra kamera ile görüntü aktarımı işleminin opsiyonel olarak bilgisayar ve telefon vasıtasıyla yapılması sağlanmıştır. Gimbal üzerine takılan kamera sayesinde görüntü alınması ve aktarımı işlemleri gerçekleştirilebilmektedir. GoPro hero 3 üzerindeki kontrol tuşlarıyla gerekli konfigürasyon yapıldıktan sonra cihazın Wi-fi özelliği aktif hale getirilmiştir. Daha sonra Wi-fi ile haberleşebilen bilgisayar veya cep telefonu ile cihaz eşleştirme işlemi yapılmıştır. Kamera android ve ios işletim sistemli telefonların yanısıra bilgisayar vasıtasıyla da arayüz programları kullanılarak kontrol edilebilmekte ve anlık olarak görüntü aktarımı sağlanabilmektedir. Bilgisayar ile eşleştirme işlemi yapıldıktan sonra Şekil 2.9’da görüleceği gibi “WiGo” isimli arayüz programı sayesinde kamera özelliklerinin kontrolü ve anlık olarak çekilen görüntülerin izlenmesi mümkün olmaktadır.



Şekil 2.9. WiGo arayüzü ile anlık görüntü aktarımı

Aynı şekilde android yazılıma sahip cep telefonu ile eşleştirme işlemi yapıldıktan sonra arayüz programıyla kamera kontrol edilebilmekte, anlık görüntü aktarımı sağlanabilmektedir. Şekil 2.10'da Android arayüzü görülebilmektedir.



Şekil 2.10. Android arayüzü kurulumu ve anlık görüntü aktarımı

Aynı anda birden fazla cihazla anlık olarak görüntü aktarımı işlemini de gerçekleştirebiliriz. Bu durum Şekil 2.11’ de görülmektedir.



Şekil 2.11. Çoklu cihazla bağlantı ve anlık görüntü aktarımı

2.3 Sonuç ve Değerlendirme

Projenin mevcut uygulama planına göre birinci ara rapor dönemi bitimine kadar literatür taraması, sistemin modellenmesi ve denetim benzetim çalışmaları yapılması planlanmıştır. Ancak gerekli sarf malzemeleri ve malzeme temin edilmeden bu işlemlerin gerçekleştirilmesi yerine literatür taraması yapılması ve malzeme teminin daha uygun bir çalışma olacağı kanısına varılmıştır. Malzeme temini ve literatür taraması yapıldıktan sonra donanım gereksinimlerine uygun olarak sistem kurulumu yapılmıştır ve demo kodların yüklendiği kontrol kartlarıyla basit kontrolcü test işlemleri yapılmıştır.

3. II. ARA DÖNEMDE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bir önceki ara raporda proje kapsamında alınan malzemelere ek olarak eksik malzemeler alınmıştır. Açık kaynak kodlu gimbal ile mukayese edebilmek için profesyonel kullanım için tasarlanmış, açık kaynak kodlu olmayan gimbal temin edilmiş ve testler yapılmıştır. Üç eksenli gimbal (dengeleme halkaları) düzeneği için uygun PID katsayıları bulunarak, arayüz üzerinden sensör (jiroskop ve ivme ölçer) verilerinin alınması sağlanmıştır.

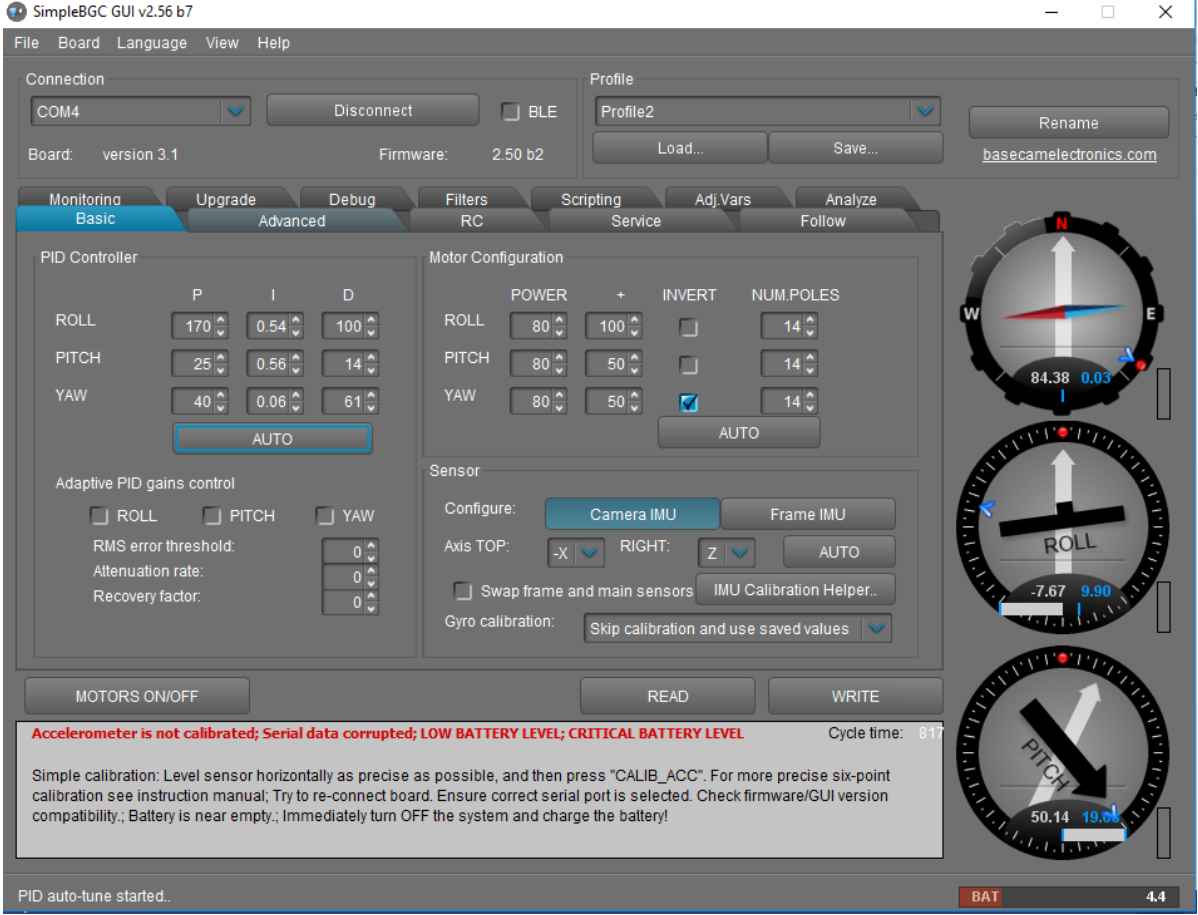
3.1 Gimbal Düzeneği ve Arayüz ile Veri Alınması

Gimbal ile görüntü alınması esnasındaki PID katsayıları arayüz yardımıyla incelenmesi ve optimum değerini bulunabilmesi için kurulan 3 eksenli gimbal düzeneği ve kamera kullanılan Şekil 3.1'de birlikte gösterilmiştir.



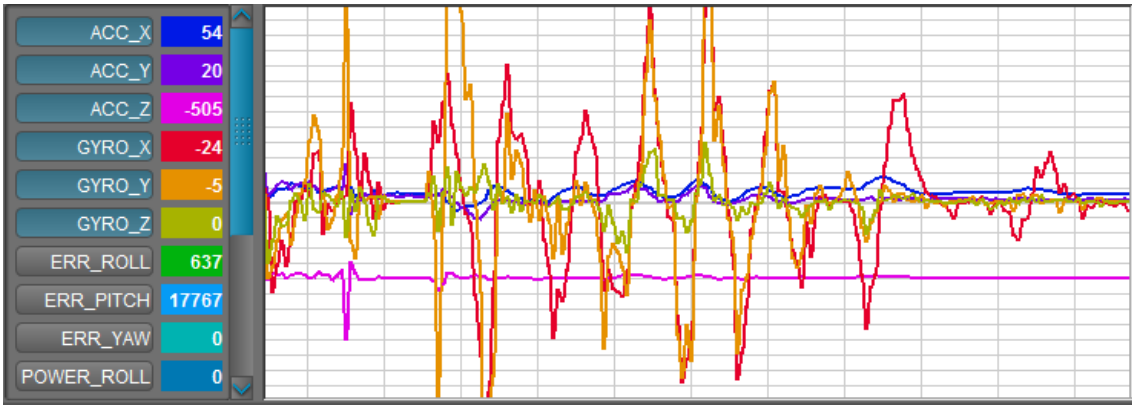
Şekil 3.1. Gimbal düzeneği ve GoPro Hero4 kamerası

Şekil 3.2'de gimbal düzeneğine ait arayüz ekran görüntüsü verilmiştir. Bu arayüz yardımıyla ilk önce gimbal üzerindeki İMU sensörünü kalibrasyonu yapılmıştır. Bu kalibrasyon iki kısımdan oluşmaktadır: Kamera İMU kalibrasyonu ve Gimbal düzenek İMU kalibrasyonu. Aynı zamanda 3 eksen kontrolü için kullanılan klasik PID denetleyici parametreleri arayüz üzerinden ayarlanabilmektedir. Gimbal düzeneğinin çalışabilmesi için Li-Po 3S 11.1V 30C 5100mAh lik harici bir batarya kullanılmıştır.



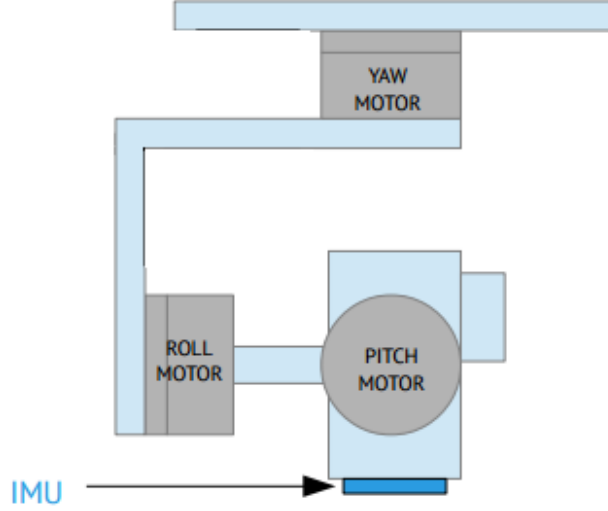
Şekil 3.2. Gimbal arayüzü

Gimbal düzeneği üzerindeki IMU kartı ivme ve jiroskop sensörü içermekte olup bu sensörler yardımıyla X, Y, ve Z eksenlerindeki açı ve ivme değişimleri alınarak PID denetleyici girişlerine verilmektedir. Şekil 3.3'de her iki sensörden alınan veriler gösterilmektedir.



Şekil 3.3. Gimbal düzeneği üzerindeki sensörden alınan verilerin değişimi

Gimbal düzeneğinin basit bir blok diyagramı Şekil 4'de gösterilmiştir. Düzenek üzerinde 3 adet DC motor bulunmaktadır. Her eksen için 3 motor kullanılarak, yalpalama, yunuslama ve dönme hareketleri gerçekleştirilmektedir.



Şekil 3.4. Gimbal düzeneği blok diyagramı

3.2 PID Katsayılarının Uygunlaştırılması

Kullanılan arayüz sayesinde PID katsayıları dinamik olarak güncellenebilmektedir. Bu sayede deneysel metod kullanılarak katsayılarla ilgili birtakım denemeler yapılmıştır. Denemeler sonucu P,I ve D değerlerinin hangi değer aralıklarında olması gerektiği ile ilgili birtakım sonuçlar elde edilmiştir.

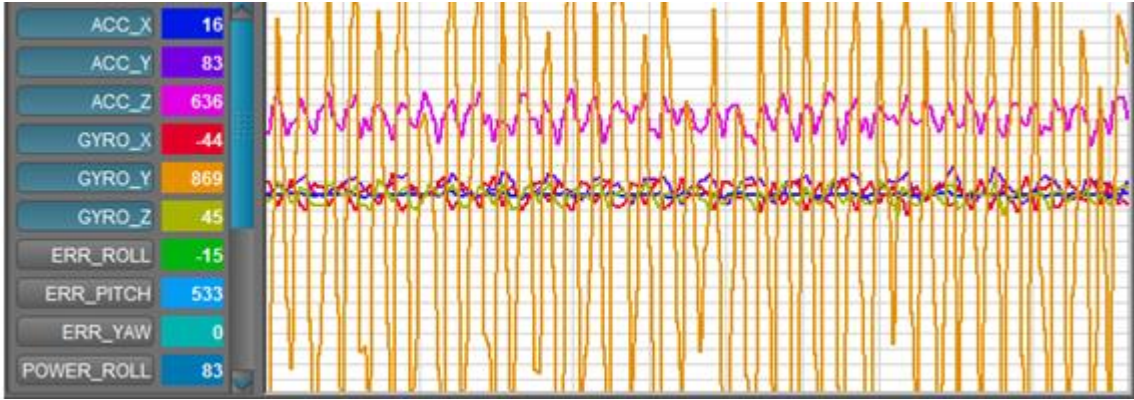
Tablo 3.1. PID Katsayıları

PID Denetleyici	K_P	K_I	K_D
ROLL	100	1.8	50
PITCH	50	1.8	40
YAW	70	1.8	65

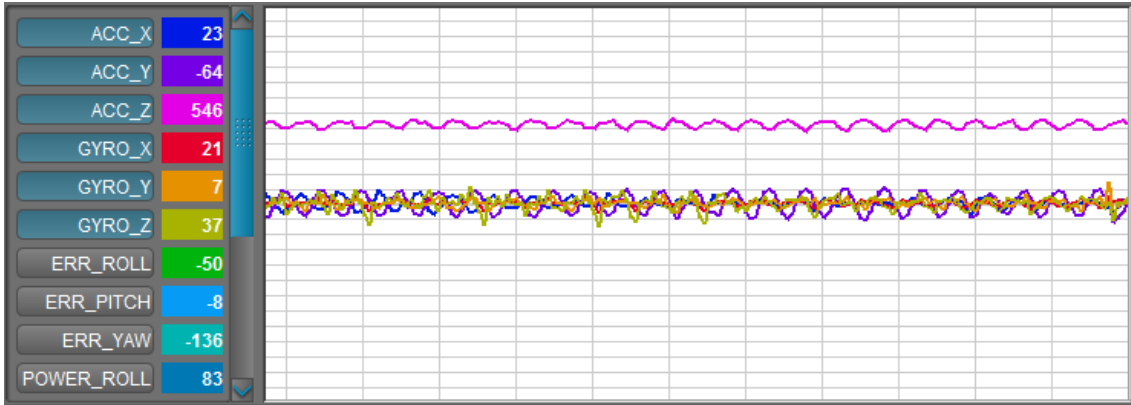
Tablo 3.2. PID Katsayıları

PID Denetleyici	K_P	K_I	K_D
ROLL	170	0.54	100
PITCH	25	0.56	14
YAW	40	0.06	61

Tablo 3.1 ve Tablo3. 2'de Gimbal düzeneği üzerinde yalpalama, yunuslama ve dönme hareketleri için testleri yapılan PID kazanç katsayıları gösterilmiştir. Bu PID katsayılarını test etmek için Gimbal düzeneği sabit kalacak şekilde tutularak, gimbal düzeneği ile hareket edildikçe elde edilen sonuçlar arayüz yardımıyla kaydedilmiştir. Tablo 1'de verilen PID katsayıları kullanılarak elde edilen ivme ve jiroskop sensör verileri Şekil 5'de gösterilmiştir. Tablo 2'de verilen PID katsayıları kullanılarak elde edilen ivme ve jiroskop sensör verileri ise Şekil 6'da gösterilmiştir. Bu iki şekil analiz edildiğinde Tablo 2'deki PID katsayılarının Gimbal düzeneği için daha uygun olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 3.5. PID katsayıları (Tablo 1) için ivme ve jiroskop veri sonuçları



Şekil 3.6. PID katsayıları (Tablo 2) için ivme ve jiroskop veri sonuçları

Bu sonuçlar Gimbal arayüzü aracılığıyla elde edildikten sonra bu iki durum için GoPro Hero4 ile fotoğraflar çekildi. Bu fotoğraflar uzaktan kontrol edilerek çekilmiştir. Uzaktan bağlanmak için GoPro Hero4 uygulaması mağazadan indirilmiş ve GoPro ayarlar kısmından bir ağ oluşturulmuştur. Gimbal düzeneğine yerleştirilen GoPro silver 4 Wi-fi üzerinden akıllı telefonla bağlantısı yapılmıştır. Tablo 1 ve Tablo 2'de gösterilen PID katsayılar kullanılarak

Şekil 3.7 ve Şekil 3.8'de gösterilen fotoğraflar çekilmiştir. Çekilen fotoğraflara bakıldığında Tablo 3.1'de kullanılan PID katsayıları Gimbal düzeneğine yüklüken çekilen fotoğrafın Tablo 3.2'de kullanılan PID katsayıları yüklüken çekilen fotoğrafa göre fazla bulanık olduğu görülmüştür.



Şekil 3.7. Uygun olmayan PID katsayıları ile alınan alınan görüntü



Şekil 3.7. Uygun PID katsayıları ile alınan görüntü

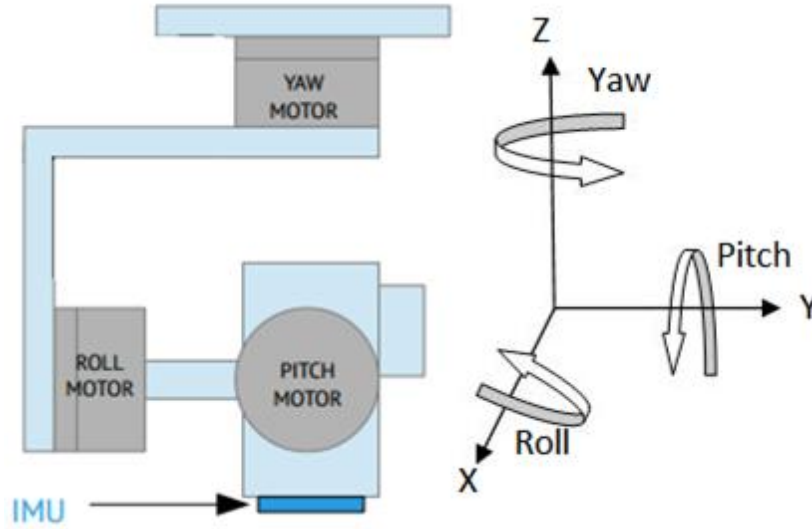
3.2 Sonuç ve Değerlendirme

Kontrolcünün gimbal sistemini dengeye getirebilmesi için gerekli katsayıların belirlenmesi konusunda tecrübe edinilmiştir. Projenin mevcut uygulama planına göre ikinci ara rapor bitimine kadar mevcut düzeneğin çalışması ve PID katsayı değerlerinin bulunması için testlerin yapılması ve ikinci sarf malzemelerin alımı planlanmıştır. Planlanan bu işlemler ara dönem boyunca gerçekleştirilmiştir.

4. III. ARA DÖNEMDE YAPILAN ÇALIŞMALAR

4.1 Dengeleme Halkasının Sistem Modellenmesi

Dengeleme halkaları üzerine monte edilen kameranın konum bilgisinin elde edilebilmesi için kamera üzerine yerleştirilen 3-eksenli cayro (gyro) ve 3-eksenli ivme sensöründen oluşan IMU sensörü kullanılmaktadır. Burada x, y ve z eksenlerindeki ivmelenmeler 3-eksenli ivme sensörüyle elde edilmekteyken, bu eksenlerin bileşkesi olan pitch, yaw ve roll eksenleri üzerindeki açısal hız verileri de 3-eksenli cayro vasıtasıyla elde edilmektedir. İvme sensörüyle pitch ve roll açıları tespit edilebilse bile hareket halinde oluşan gürültülü veriden dolayı sağlıklı bir şekilde hesaplanması mümkün olmamaktadır. Bu problemi aşmak için ise açısal hız bilgisini veren cayrolar kullanılmaktadır. Ancak ilk açı bilinmelidir. Bunun için de sensör kalibrasyonunun başlangıçta yapılması gerekmektedir. Dengeleme halkası modeli ve eksenler görünümü şekil 4.1' de verilmiştir.



Şekil 4.1. Dengeleme halkası modeli önden görünüm ve eksen görünümü [26]

Burada θ_1 açısı z-ekseni etrafındaki dönme sonucu oluşan açı (yaw), θ_2 açısı y-ekseni etrafındaki dönme sonucu oluşan açı (pitch) ve θ_3 x-ekseni etrafındaki dönme sonucu oluşan açı (roll) olarak düşünülebilir. Yaw, pitch ve roll açıları euler açıları olarak da adlandırılmaktadır. Buna göre denge durumunda bu açılar $(\theta_1, \theta_2, \theta_3) = (0, 0, 0)$ olmalıdır.

Sistemin ilk açısı bilinirse yani başlangıçta denge konumuna getirilirse hareket sonucu oluşan açısal hız üzerinden cayro kullanılarak açı değişimi hesaplanarak o anki konum

hesaplanabilmektedir. Başlangıç konumu problemi cayronun kötü bir özelliğidir. Sistem sabitken bile cayro gürültüden dolayı küçük açısal hız değişimi verileri hesaplayabilmektedir. İkinci kötü özellik ise kayma problemidir. Bu da "drift" denilen sisteme bağlı açılardan yavaş yavaş kaymasıdır. Bunu engellemek için de sistem modeline cayro verilerini filtreleme ve ivmeölçer verilerini de kullanarak düzeltme yapan bir blok eklenmiştir. Bu sayede kayma engellenmiş ve gürültüden kurtulma sağlanmıştır.

Dönme hareketleri sonucu eksenler üst üste gelirse özgürlük derecesi kaybı da denilen "gimbal lock" durumu oluşur ve sistem 2 boyutlu uzayda sıkışır. Problemin çözümü için "Quaternion" ya da "Direct Cosine Matrix" denilen yöntemler kullanılır [26]. Ayrıca sistem modeline "complementary filter" denilen, cayro verileri ve referans verilerinin ortalamasını sabit ağırlıklı ortalama ile alan bir filtre de eklenmiştir.

Sistemin modellenmesinde temel olarak kinematik denklemlerin oluşturulması gerekmektedir. Mekanik sistemlerin kinematiği sistemin ötelenmesi ve açısal pozisyonu ile bunların zamana göre türevlerinin dikkate alınarak geometrisinin tanımlanmasıdır [27]. Kinematik denklemlerin oluşturulmasında yaw, roll ve pitch ($\theta_1, \theta_2, \theta_3$) olmak üzere 3 serbestlik derecesi (degree of freedom) kullanılmıştır. Kinematik denklemler ise ileri (forward) kinematik ve ters (inverse) kinematik olarak 2 kısma ayrılmıştır.

İleri kinematikte ortak parametrelerin yapılandırılması öteleme ve açısal konumu etkiler. İleri kinematik denklemlerle açısal hızdan açısal konum elde edilebilir. Yaw, pitch, roll rotasyon matrisi denklem 1'de verilmiştir. Burada $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ açı değerleri IMU'dan gelen verilerden türetilmiştir.

Ters kinematik denklemlerle ise tam tersine bilinen başlangıç konumu ve o anki konum üzerinden hesaplamalar yapılarak sistemin başlangıca göre istenilen açısal konuma gelebilmesi sağlanabilmektedir. Ters kinematik denklemler dengeleme halkasını belli bir konuma taşımak için ve belli bir konumda tutmak için kullanılır. Bu denklemlerle dengeleme halkasının yer konumuna göre duruşu değiştirilebilir. Bu da hedeflenen açı ile cayro ve ivme sensörleriyle ölçülen değerler arasında kontrol hatası oluşmasına sebep olur.

Kontrol hatası sebebiyle yeni oluşan rotasyon matrisi denklem 2'de verilmiştir. Burada ϵ hata değerini göstermektedir ve $\epsilon = (\theta_{istenen} - \theta)$ değerindedir [28]. Şekil 4.2'de dengeleme halkası sisteminin akış şeması verilmiştir [28].

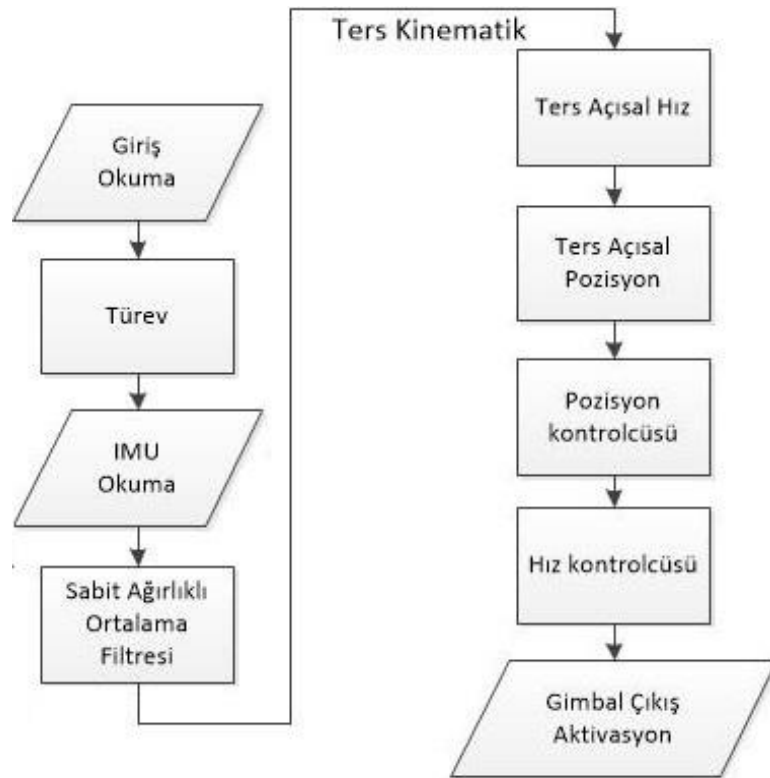
4.2 Sistem denklemlerinin oluşturulması ve PID Parametrelerinin Tespiti

Uygulama kapsamında açık kaynak kodlu dengeleme halkası platformu kullanıldı. Kullanılan platform 3-eksende hareket edebilen, 3-motorlu, 32 bit arm tabanlı kontrolcü ve 3-eksen ivme + 3-eksen gyro sensörlü IMU'dan oluşmaktadır. Ayrıca uygulama için geliştirilmiş açık kaynak kodlu bir arayüze sahiptir.

Uygulama için ilk önce dengeleme halkası üzerine kamerayı yerleştirdikten sonra sensörü uygun konumda yerleştirip, arayüz üzerinde sensör konumunu doğru bir şekilde seçilmelidir. Sensör konumu seçildikten sonra sensörün her bir eksenini yer eksenine paralel hale getirilerek sırasıyla kalibrasyon işlemi yapılır. Kalibre edilen eksenle ilgili bar yeşil renkli olmaktadır. İlgili durum Şekil 4.3'de görülmektedir.

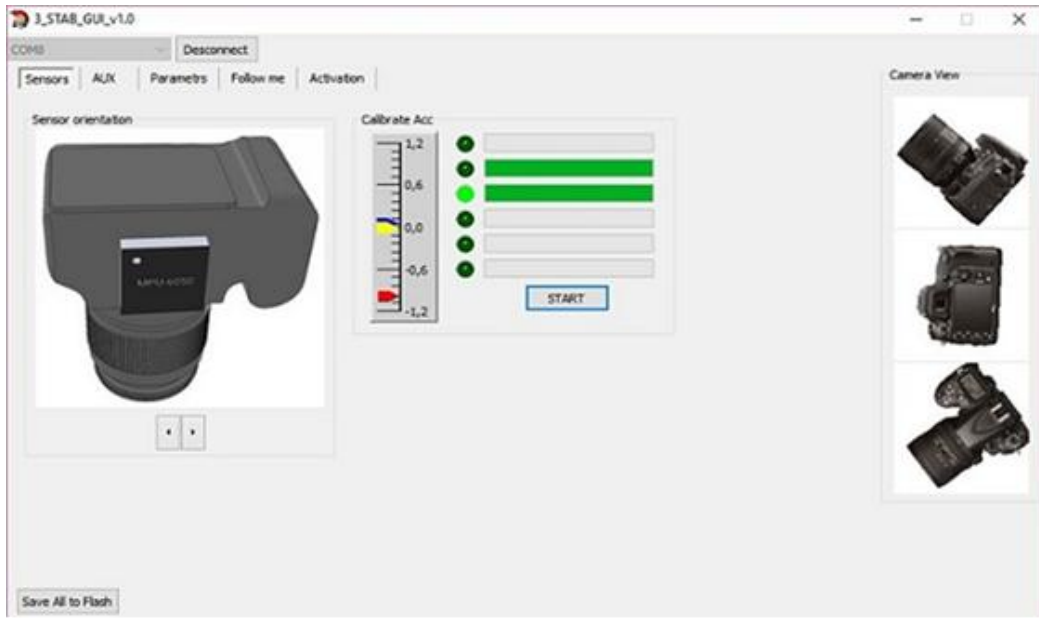
$$R = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 \cos \theta_2 - \sin \theta_1 \sin \theta_2 \sin \theta_3 & -\cos \theta_2 \sin \theta_1 & \cos \theta_1 \sin \theta_2 + \cos \theta_2 \sin \theta_1 \sin \theta_3 \\ \cos \theta_2 \sin \theta_1 + \cos \theta_1 \sin \theta_2 \sin \theta_3 & \cos \theta_1 \cos \theta_2 & \sin \theta_1 \sin \theta_2 - \cos \theta_1 \cos \theta_2 \sin \theta_3 \\ -\cos \theta_2 \sin \theta_3 & \sin \theta_2 & \cos \theta_2 \cos \theta_3 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$R = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 \cos \theta_2 - \sin \theta_1 \sin \theta_2 \sin \theta_3 & -\cos \theta_2 \sin \theta_1 & \cos \theta_1 \sin \theta_2 + \cos \theta_2 \sin \theta_1 \sin \theta_3 \\ \cos \theta_2 \sin \theta_1 + \cos \theta_1 \sin \theta_2 \sin \theta_3 & \cos \theta_1 \cos \theta_2 & \sin \theta_1 \sin \theta_2 - \cos \theta_1 \cos \theta_2 \sin \theta_3 \\ -\cos \theta_2 \sin \theta_3 & \sin \theta_2 & \cos \theta_2 \cos \theta_3 \end{bmatrix} \quad (2)$$

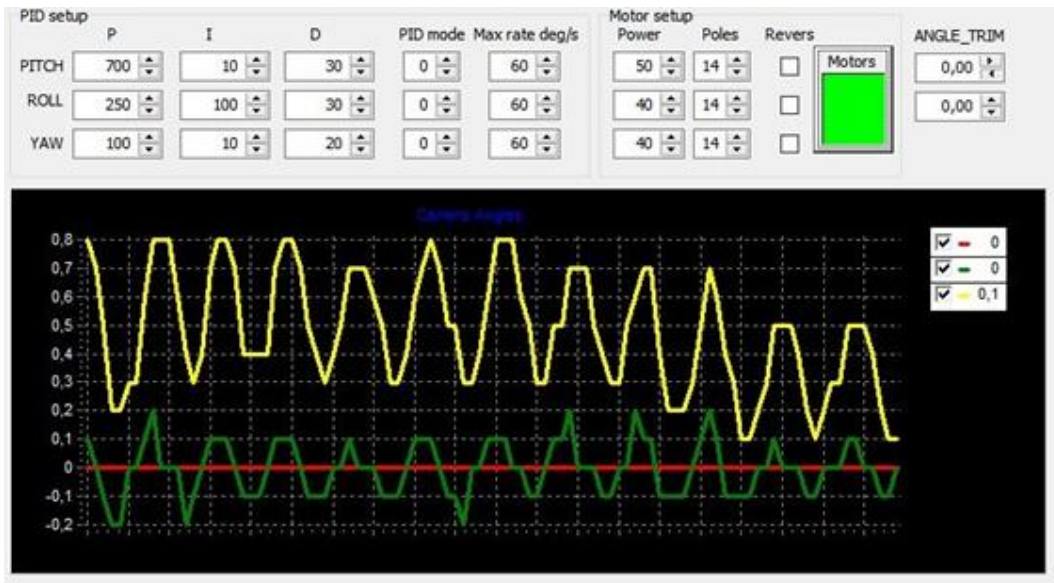


Şekil 4.2. Dengeleme halkası sisteminin akış şeması

Sensör kalibrasyonundan sonra sistemin PID parametreleri ayarlanarak dengeye getirilmesi sağlanmıştır. Dengeye getirme işlemi yapılırken öncelikli olarak PID değerleri ayarlanacak her bir eksenin sırasıyla eksenin PWM değeri 30'a ayarlanır ve P,I ve D değerleri sıfırda tutulur. Böylece ilgili eksen hareketsiz bir şekilde dengede durur. Daha sonra sırasıyla her bir eksen için uygun PID katsayıları ayarlanır ve bu sayede ilgili eksenin hareketinde otonom olarak sistem kendini dengeye getirir. İlk olarak pitch eksenini katsayıları belirlenmiştir. İlgili grafik Şekil 4.4'de gösterilmektedir. Şekilde yaw verisi sarı, roll verisi yeşil ve pitch verisi kırmızı renkle gösterilmektedir.

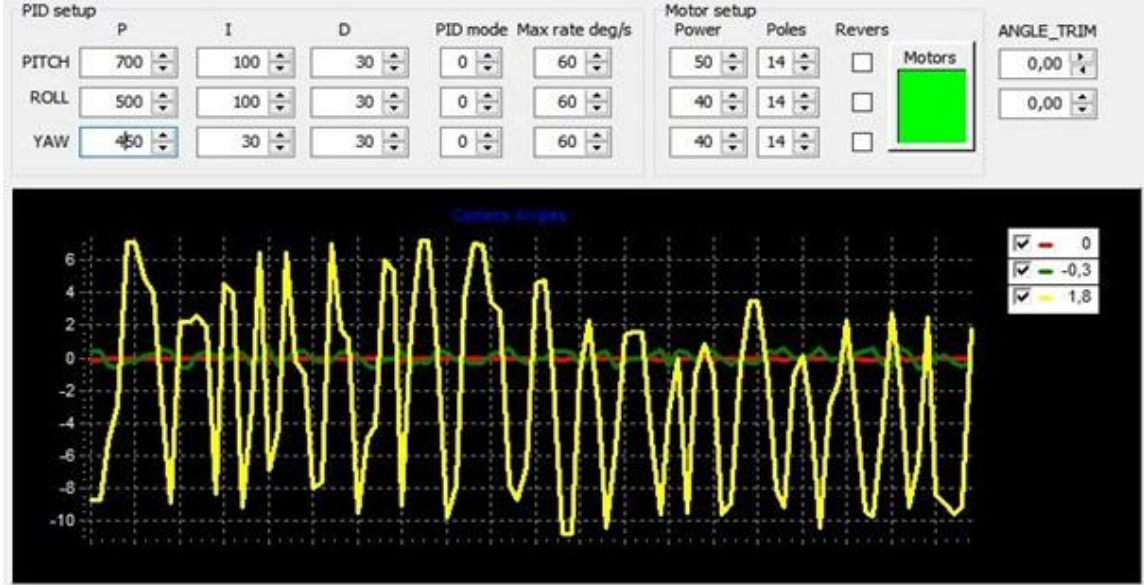


Şekil 4.3. Sensör konumu seçimi ve eksenlerin kalibrasyonu

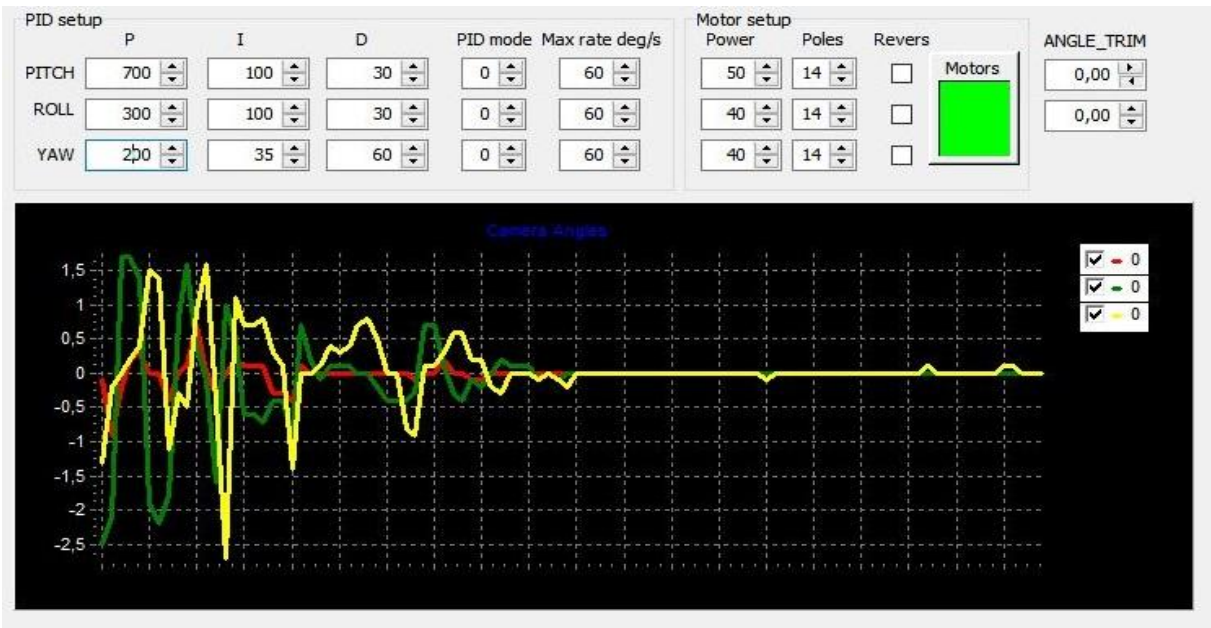


Şekil 4.4. PID katsayılarının arayüzle ayarlanması sonucu Pitch ekseninin dengeye getirilmesi

Sonraki durumda roll eksenini için uygun katsayılar belirlenmiştir. Pitch ve roll ekseninin ayarlı, yaw ekseninin ise ayarsız olduğu durum Şekil 4.5'de gösterilmiştir. Son olarak da yaw eksenini için uygun PID parametreleri belirlenmiştir. Dengeye getirilen eksen yaw, roll ve pitch eksenini verileri arayüzde grafiksel ve rakamsal olarak Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.5. PID katsayılarının ayarlanarak Pitch ve roll eksenlerinin dengeye getirilmesi



Şekil 4.6. PID katsayılarının arayüzle ayarlanması sonucu tüm eksenlerin otonom olarak dengeye getirilmesi

Tüm eksenler için uygun katsayılar belirlendikten sonra dengeleme halkası ani olarak hareket ettirilerek dengesi bozulmuştur ancak sistem otonom olarak kendini denge konumuna getirmiştir. Sistem dengeye geldiğinden eksen verileri üzerinde çok küçük gürültüler dışında

herhangi bir salınım gözlenmemektedir. Sistemin konumu değiştirildiğinde sistem otonom olarak ilgili PID parametrelerini kullanarak kendisini denge konumuna getirmektedir.

5.Sonuç

Çalışma kapsamında üç eksenli dengeleme halkası kullanılarak kararlı bir şekilde görüntü alımı gerçekleştirilmiştir. Dengeleme halkası üzerinde bulunan kameradan farklı kontrol parametre değerleri için görüntüler alınmış ve karşılaştırma işlemi yapılmıştır. Bunun yanı sıra gimbal sisteminin modellenmesi ve benzetimi yapılmış ve PID denetleyicilerinin katsayılarında yapılan değişiklikler ile görüntü daha kararlı olarak elde edilmiştir.

6. Bilimsel Etkinlikler

Proje kapsamında yapılan çalışmalardan oluşturulan raporun 3. dönem çalışmalarından bir adet bildiri hazırlanmış ve *Uluslararası Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Konferansı / International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK 2016)*'nda kabul edilmiştir. Bildiri 21 Ekim 2016 'da sözlü olarak sunulmuştur. Bildiri özeti Ek-1'de verilmiştir. Ayrıca yine çalışmadan yapılacak bir makale çalışması Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi kapsamında değerlendirilmek üzere hazırlanmaktadır.

Kaynaklar

- [1] <http://www.nchsoftware.com/videoпад/screenshots.html>, (erişim tarihi: 25.08.2016)
- [2] <http://www.digicamhelp.com/camera-features/camera-parts/image-stabilization/>, (erişim tarihi: 30.08.2016)
- [3] <http://photographylife.com/lens-stabilization-vs-in-camera-stabilization>, (erişim tarihi: 31.08.2016)
- [4] Crétual, A., Chaumette, F., "Dynamic Stabilization of a Pan and Tilt Camera for Submarine Image Visualization", *Computer Vision and Image Understanding*, 79/1, 47–65, 2000.
- [5] Juanjuan, Z., Baolong, G., " Electronic image stabilization system based on global feature tracking", *Journal of Systems Engineering and Electronics*, 19/2, 228–233, 2008.
- [6] Ioannidis, K., Andreadis, I., " A Digital Image Stabilization Method Based on the Hilbert–Huang Transform", *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 61/9, 2446 - 2457 , 2012.
- [7] Needham, J., "Science and Civilisation in China: Volume 4, Physics and Physical Technology, Part 2, Mechanical Engineering", "Cambridge University Press", 1965.
- [8] Vikipedi, Özgür Ansiklopedi, "Gimbal", <http://en.wikipedia.org/wiki/Gimbal>, 2016.
- [9] Sarton, G., " A History of Science: Hellenistic Science and Culture in the Last Three Centuries B.C", "Harvard University Press", Cambridge, 349-350 (1959).
- [10] Carter, E.F., " Dictionary of Inventions and Discoveries ", "Frederick Muller Ltd.", Great Britain, 74 (1967)
- [11] Thoss, H.C.S., Schmelz, F., Aucktor, E., "Universal Joints and Driveshafts: Analysis, Design, Applications", "Springer", Germany, 1 (2006).
- [12] Krebs, R.E., Krebs, C.A., "Groundbreaking Scientific Experiments, Inventions, and Discoveries of the Ancient World", "Greenwood Press", England, 216 (2003).
- [13] Vikipedi, Özgür Ansiklopedi, "Bernard Carra de Vaux St Cyr", http://fr.wikipedia.org/wiki/Bernard_Carra_de_Vaux-Saint-Cyr, 2014.
- [14] Needham, J., "Science and Civilisation in China: Volume 4, Physics and Physical Technology, Part 2, Mechanical Engineering", "Taipei: Caves Books Ltd", China, 236 (1986)
- [15] Vaux, C.D., "Le livre des appareils pneumatiques et des machines hydrauliques de Philon de Byzance d'après les versions d'Oxford et de Constantinople", "C. Klincksieck", Paris, 27-235 (1903).
- [16] Sarton, G., " A History of Science: Hellenistic Science and Culture in the Last Three Centuries B.C", "Harvard University Press", Cambridge, 343-350 (1959).
- [17] Lewis, M.J.T., " Surveying Instruments of Greece and Rome", "Cambridge University Press", Cambridge, 76 (2001).
- [18] Lewis, M.J.T., "Millstone and Hammer: the Origins of Water Power", "Hull Academic Press", United Kingdom, 26-36 (1998).
- [19] Wilson, A., "Machines, Power and the Ancient Economy", *The Journal of Roman Studies* 92, 1-32 (2002).
- [20] Whitehead, D., "Athenaeus Mechanicus, On Machines: Translated with Introduction and Commentary", "Franz Steiner Verlag", Germany, 1-33 (2004).
- [21] Needham, J., "Science and Civilisation in China: Volume 4, Physics and Physical Technology, Part 2, Mechanical Engineering", "Taipei: Caves Books Ltd", China, 229-235 (1986)
- [22] Polak, A., "ARRIS CM2000 Brushless Gimbal", <http://polakiuengineering.org/?p=2517>, 2014
- [23] Dietsch, R., "Airborne Gimbal Camera – Interface Guide", <http://ruggedvid.com/airborne-gimbal-camera-interface-guide/>, 2013.
- [24] Abdo, M.M., Vali, A.R., Toloei, A.R., Arvan, M.R., "Stabilization loop of a two axes gimbal system using self-tuning PID type fuzzy controller", *ISA Transactions*, 53/2, 591-602, 2014.
- [25] <http://www.rcgroups.com/forums/showthread.php?t=1815204>, (erişim tarihi: 25.10.2016)
- [26] Ünal, M.O., "İMU Açılırların 3 Boyutlu Olarak Görsellenmesi", <http://mozanunal.blogspot.com.tr/2014/11/imu-aclarnn-3-boyutlu-olarak.html>, 2016.

[27] R N Jazar. Theory of Applied Robotics: Kinematics, Dynamics, and Control. Springer, 2007. Cited on pages 11-23.

[28]] Jakob Johansson, Institutionen för systemteknik Department of Electrical Engineering, Modelling and control of an advanced camera gimbal, Linköping, 27 November 2012.

Üç Serbestlik Dereceli Dengeleme Halkasının Modellenmesi ve Kontrolü

Modelling and Controlling of the Three Degrees of Freedom Gimbal

Gökhan Uçar¹, Halcan Uçgün¹, Cihan Karakuzu¹, Uğur Yılmaz¹
¹Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilecik, Türkiye
 (gokhan.ucar, halcan.ucgun, cihan.karakuzu, ugur.yilmaz)@bilecik.edu.tr

Özetçe— Son yıllarda doğa sporlarında, film sektöründe ve insansız hava araçlarında akıyon meraklıları tarafından sıkça kullanılan dengeleme halkaları (gimbal) görüntü çekiminin kararlı bir şekilde yapılmasına olanak vermektedir. Dengeleme halkaları, çekim yapılacak alanın sabit olmadığı durumlarda video veya görüntü çekimi için üzerinde taşınan kameraya sabit bir çekim açısı sunmaktadır. Dengeleme halkaları donanımsal olarak kontrolcü kartı, fırçasız motorlar ve gövde gibi birimlere sahiptirler. Stabil ve düzgün bir çekim işlemi için kontrolcü kartın PID denetleyici katsayılarının iyi bir şekilde ayarlanması gerekmektedir. PID katsayıları düzgün bir şekilde ayarlanmadığı takdirde dengeleme halkaları görüntünün alınması sırasında tutarlı bir davranış sergileyemeyecektir. Çalışma kapsamında kontrolcü kart için kullanılan PID denetleyici katsayıları optimize edilerek dengeleme halkalarının modellenmesi yapılmıştır. Çalışmalar kapsamında açık kaynak kodlu kontrolcü kartı kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler — dengeleme halkaları; pid; iha; modelleme;

Abstract— Gimbals allows to properly making of image capture and they commonly used for many areas such as outdoor sports, the cinematography and film industry, unmanned aerial vehicles and by the action enthusiasts. Gimbals provide a stable shooting angle to camera for photo and video shooting when the shooting areas are not stable. Gimbals have some hardware units such as controller board, brushless motors and frame. PID controller coefficient of controller board must be adjusted properly because stable and smooth image shooting operation. If PID coefficients aren't adjusted properly, gimbals will not exhibit a consistent behavior when receiving an image. In this study, by optimizing of the PID controller coefficients that used for the controller board have performed modeling of gimbals. Open-source controller card has been used throughout studies.

Keywords — gimbal; pid; iha; modeling;

I. GİRİŞ

Günümüzde film ve fotoğrafçılık sektörü, vahşi yaşam fotoğrafçılığı, insansız hava araçları, sportif etkinlikler, yapı denetimi gibi alanlarda kullanılan 2 veya 3 eksende harekete izin veren dengeleme halkaları bulunmaktadır. Dengeleme halkaları, genel olarak gimbal veya kardan sistemleri ismi altında toplanabilmektedir ve genellikle görüntüleme işlemlerinde kullanılmaktadır. Görüntü stabilizasyon işlemi ve sabit video çekim işlemi için kullanılan dengeleme halkaları, bulunduğu eksen açısı değerlerinin değişmesine rağmen çekilen görüntünün açısının değişmemesine olanak sağlamaktadır. Birçok model, yalpalama (roll) ve yunulama (pitch) eksenlerinde çalışmaya desteklenen bazı modeller bu eksenlere ek olarak sapma (yaw) eksenini de destekleyebilmektedir.

Dengeleme halkaları donanımsal olarak genellikle özel bir statüsel ölçüm birimi (IMU-Inertial Measurement Unit) tabanlı kontrolcü birimine (GCU-Gimbal Controller Unit) sahiptir. IMU kartı monte edildiği bir İHA ya da kameralardan gelen eksen açısı değerlerini dengelemek için kullanılıp görüntüde kararlı bir şekilde alınmasını sağlamaktadır. Dengeleme halkalarında desteklenen eksen hareketi sayısına göre 2 veya 3 adet fırçasız dc motor bulunmaktadır. Dengeleme halkaları, kamera çekimi sırasında meydana gelen titreşimi ve sarsıntıları minimize etme ya da tamamen ortadan kaldırmak için kullanılırlar.

Modelleme ve benzetim uygulamaları, donanımsal olarak pahalı ve tamiri zor olan sistemler için yaygın olarak kullanılan uygulamalardır. Sistemin oluşturulması veya kurulması sırasında meydana gelecek bir hata ya da sistem kurulduğundan sonra ortaya çıkabilecek sorunları ortadan kaldırmak için kullanılacak sistemlerin benzetim ortamlarında gerçekleştirilmesi gerekebilmektedir. Benzetim işlemi ile ortaya çıkabilecek olumsuzluklar ortadan kaldırılabilirken, modelleme işlemi