

BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNSANSIZ HAVA ARAÇLARINDA GÖRÜNTÜ İŞLEME İLE ROTA TESPİTİ VE
OTONOM TAKİBİ

ELEKTRİK – ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KEREM KÖKSAL

OCAK 2017

BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNSANSIZ HAVA ARAÇLARINDA GÖRÜNTÜ İŞLEME İLE ROTA TESPİTİ VE
OTONOM TAKİBİ

ELEKTRİK – ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS

Kerem KÖKSAL

DANIŞMAN: Yrd. Doç. Dr. Rifat HACIOĞLU

ZONGULDAK

Ocak 2017

KABUL:

Kerem KÖKSAL tarafından hazırlanan “İnsansız Hava Araçlarında Görüntü İşleme İle Rota Tespiti Ve Otonom Takibi” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 27/01/2017

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Rıfat HACIOĞLU

Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü



Üye: Yrd. Doç. Dr. Erkan ÇETİNER

Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü



Üye: Yrd. Doç. Dr. Yalçın İŞLER

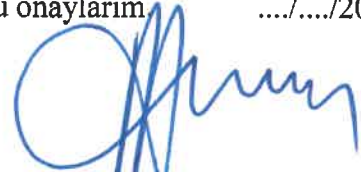
İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü



ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım

....../....../2017



Prof. Dr. Baki HAZER
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”


Kerem KÖKSAL

ÖZET

Yüksek Lisans

İNSANSIZ HAVA ARAÇLARINDA GÖRÜNTÜ İŞLEME İLE ROTA TESPİTİ VE OTONOM TAKİBİ

Kerem KÖKSAL

Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Rifat HACIOĞLU

Ocak 2017, 45 sayfa

Bu çalışmada, İnsansız Hava Aracı (İHA) ile görüntü işleme algoritmaları kullanılarak rota takibini sağlayan yazılım geliştirilmiştir. Dış ortam ve kapalı ortamda yapılan denemelerde, ön tanımlaması yapılan çizginin görüntü işleme algoritmalarıyla tespiti ve sonrasında Tanjant Vektör Alanı Kılavuzu (TVAK) yöntemi kullanılarak rota takip işlemi yapılmıştır.

İHA'nın uçuşunu engelleyen rüzgâr, ışık gibi bozucu durumlarda rota takibi algoritmasının başarısı incelenmektedir. Testlerde dört pervaneli İHA, 9 kanal kumandası ve C# dilinde geliştirilen program ile kontrol edilmektedir. İHA'ya takılan kameradan görüntü bilgisayara aktarılıp ve görüntü işleme yapıldıktan sonra TVAK yaklaşımı uygulanmaktadır.

TVAK yönteminde, çizgi şeklindeki yolu takip edecek vektör alanlardan yararlanılarak hesaplanan yönelim açıları kullanılmaktadır. Takip edilecek yol, düz bir çizgiden fazla hatlara sahip olduğunda, yol düz çizgilerden oluşan bölümlere ayrılmakta ve bu çizgiler önceliklendirilerek en baskın çizgi takip edilmektedir. Yol izleme hataları hesaba katılarak

ÖZET (devam ediyor)

dinamik bir yapı oluşturulması üzerinde durulmuştur. Gerçekleştirilen uygulamada, İHA'nın görsel girdiler ve TVAK yöntemi ile otonom uçuş yapması sağlanmıştır ve dış bozucu etkiler incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: İHA, TVAK, YCbCr, görüntü işleme, rota takibi.

Bilim Kodu: 608.05.04



ABSTRACT

M. Sc. Thesis

ROUTE DETECTION AND AUTONOMOUS ROUTE TRACKING OF UNMANNED AERIAL VEHICLES USING IMAGE PROCESSING

Kerem KÖKSAL

Bülent Ecevit University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical-Electronics Engineering

Thesis Advisor: Assist. Prof. Dr. Rifat HACIOĞLU

January 2017, 45 pages

In this study, a software has been developed for route tracking with Unmanned Aerial Vehicle (UAV) by using image processing algorithms. The recognition of the predetermined line by using image processing algorithms and the process of route-following by using the method of Tangent Vector Field Guidance (TVFG) have been performed in indoor and outdoor experiments.

Route-following algorithm is investigated under the effects of wind and light levels that deflect the flight of UAV. In the tests, the quadrotor has been controlled by its 9-channel controller and the program that is developed with C#. After the images have been transferred to computer wirelessly from the camera attached to UAV and image processing has been completed, TVFG approach has been used.

ABSTRACT (continued)

In TVFG, the direction angles calculated by using the vector fields that will follow the line-shaped guide path are used. When the path to be followed has more than one direction instead of a single straight line, it is divided into sections which consist of straight lines, and by prioritizing these lines, the most dominant line is followed. In this study, it has been elaborated to provide a dynamic model by considering the tracking errors. As a result of the process adopted, UAV's autonomous flight is achieved by using the visual inputs and TVFG method, and the external deflecting factors are investigated.

Keywords: UAV, TVFG, YCbCr, image processing, route following.

Science Code: 608.05.04

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca yardım ve desteğini esirgemeyen değerli danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Rıfat HACIOĞLU'na, tezimin değerlendirilme aşamasında katkıda bulunan jüri üyesi hocalarım Yrd. Doç Dr. Erkan ÇETİNER ve Yrd. Doç Dr. Yalçın İŞLER'e, maddi ve manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen eşim Okutman Fatma TANRIVERDİ KÖKSAL'a, eleştirileri ve önerileri ile her zaman yanımda olan Daire Başkan'ım Murat SÜRÜCÜ ye Müh. Dilek SÜRÜCÜ' ye Öğr. Gör. Aytaç ALTAN'a, emeği geçen tüm bölüm hocalarıma, her daim yanımda olan değerli dostlarıma ve aileme teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması Bülent Ecevit Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenmiştir. Proje Numarası: 2014-75737790-02.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL:	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
BÖLÜM 2 DÖRT PERVANELİ İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI	5
2.1 DÖRT PERVANELİ HELİKOPTER MODELİ	5
2.2 DÖRT PERVANELİ İHA’NIN PID DENETİMİ.....	8
BÖLÜM 3 İHA’LARDA GÖRÜNTÜ İŞLEME İLE ROTA BELİRLEME VE TAKİBİ.....	11
3.1 SAYISAL GÖRÜNTÜNÜN ELDE EDİLMESİ	12
3.2 GÜRÜLTÜ AZALTMA METOTLARI	13
3.3 GÖRÜNTÜ AŞINDIRMA VE GENİŞLETME.....	15
3.4 GÖRÜNTÜDE ÇİZGİ TESPİTİ	17
3.5 TANJANT VEKTÖR ALANI KILAVUZU YÖNTEMİ İLE ROTAYA YÖNELİM ..	19
BÖLÜM 4 İHA DONANIM VE GÖMÜLÜ YAZILIMI.....	21
BÖLÜM 5 TASARLANAN İHA DENETİM SİSTEMİ.....	31

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 6 İHA İLE ROTA TAKİP TESTLERİ	35
BÖLÜM 7 SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	39
KAYNAKLAR.....	41
ÖZGEÇMİŞ	45



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 Dört pervaneli helikopter şeması	6
Şekil 2.2 İHA'nın zemine göre durum açıları	6
Şekil 2.3 PID kontrol şeması.....	9
Şekil 3.1 Komşu pikseller gösterimi.	12
Şekil 3.2 Gürültü Filtreleme.....	13
Şekil 3.3 İki boyutlu görüntü işleme konvolüsyon örneği	14
Şekil 3.4 Orta değer filtreleme örnek adımı	14
Şekil 3.5 Aşındırma örnek adımı.....	15
Şekil 3.6 Aşındırma işlemi örneği.....	15
Şekil 3.7 Genişletme örnek adımı.	16
Şekil 3.8 Genişletme işlemi örneği.	16
Şekil 3.9 Bir dikey çizginin Hough uzayına dönüşümü.....	17
Şekil 3.10 İki noktanın (n_0 ve n_1) Hough uzayındaki dönüşümleri.....	18
Şekil 3.11 Görüntü işleme metotları ve Hough filtresi sonrası elde edilen görüntü..	19
Şekil 3.12 Vektör alanın gösterimi.....	19
Şekil 3.13 Vektör alanının düz yol için detayı	20
Şekil 3.14 Çeşitli k değerleri için vektör alanı	20
Şekil 4.1 Dört pervaneli helikopterin blok şeması	22
Şekil 4.2 ArduPilot APM 2.6 kontrol kartı	23
Şekil 4.3 Telemetri modülü.....	23
Şekil 4.4 Yer istasyonu.....	24
Şekil 4.5 Yalpa	25
Şekil 4.6 Görüntü modülleri.....	25
Şekil 4.7 GPS ve sonar modülleri.	26
Şekil 4.8 Motor ve motor sürücü.....	26
Şekil 4.9 Batarya ve güç modülü	26
Şekil 4.10 F450 Spider dört pervaneli helikopter gövde ve iniş takımı	27
Şekil 4.11 RC alıcı ve verici.....	27

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 4.12 Toplanmış, uçuşa hazır dört pervaneli helikopter	28
Şekil 4.13 AR Drone 2.0	28
Şekil 5.1 Yazılım akış şeması	32
Şekil 5.2 Program çalışma görüntüsü.....	33
Şekil 5.3 İHA rota planlaması.	34
Şekil 6.1 Testler için oluşturulan parkur ve uçuş testi	35
Şekil 6.2 İHA ile test uçuşları	37



ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 PID kontrolde yükseltlen parametrelerin etkisi	9
Çizelge 6.1 Işık ve rüzgârın yolda kalma oranına etkisi	38





SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

p	: ileri süzülme (pitch)
q	: yuvarlanma (roll)
r	: dönme (yaw)
Φ	: phi
θ	: theta
ψ	: psi
Ω	: ohm, açısal hız
x_e, y_e, z_e	: referans düzlem
x_b, y_b, z_b	: İHA düzlemi
R	: dönüşüm matrisi
$U_{(1-4)}$	: İHA gövdesine uygulanan kuvvetler
$I_{x,y,z}$	: eylemsizlik momentleri
J	: pervane eylemsizliği
l	: pervanenin ağırlık merkezine uzaklığı
g	: yer çekimi ivmesi
m	: İHA'nın kütlesi

KISALTMALAR

APM	: Ardu Pilot Mega
BRIEF	: Binary Robust Independent Elementary Features
CMYK	: Cyan Magenta Yellow Key
DCM	: Direction Cosine Matrix
ESC	: Electronic Speed Control
FAST	: Features from Accelerated Segment Test
FPS	: Frames Per Second

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

FPV	: First Person View
GPS	: Global Positioning System
İHA	: İnsansız Hava Aracı
LiPo	: Lityum Polimer
ORB	: Oriented FAST and Rotated BRIEF
PID	: Proportional Integral Derivative
RC	: Radio Control
RGB	: Red Green Blue
SIFT	: Scale-Invariant Feature Transform
SURF	: Speeded Up Robust Features
TVAK	: Tanjant Vektör Alan Kılavuzu
YCbCr	: Luminance, Chroma Blue, Chroma Red

BÖLÜM 1

GİRİŞ

İnsansız Hava Araçları (İHA) günümüzde sivil ve askeri olmak üzere birçok alanda kullanılmaktadır ve tehlikeli ortamlarda insan hayatını korumak adına oldukça önemlidir. Radyasyon tehlikesinin bulunduğu, arazi koşullarının ulaşım engel olduğu ve benzeri sağlığı tehdit eden veya kaza riski olan ortamlarda, arama-kurtarma operasyonlarında, saldırıyla karşılaşılacak sınır içi veya dışı topraklarda askeri istihbarat almaya yönelik operasyonlarda pilotlu hava araçlarına göre çok daha avantajlıdır [1, 2]. Dolayısıyla İHA'ların istenilen hedeflere doğru rota üzerinden ilerlemeleri önemli bir problemdir. Bu tez çalışmasında, İHA'nın rota takibini önerilen görüntü işleme ve denetim algoritmaları ile gerçekleştirmesi incelenmektedir.

İHA'lar ilk olarak 1970'li yıllarda İsrail tarafından kullanılmıştır. İsrail, gözetleme ve keşif ihtiyacını gidermek amacıyla, bir yer istasyonundan yönetilen ve bu istasyona gerçek zamanlı görüntü aktaran bir İHA tasarlamıştır. Daha sonra Pioneer ve Pointer adlı iki İHA sistemini Körfez Savaşı'nda denemiş, gerçek zamanlı istihbarat ve hasar tespit görevlerinde kullanmıştır. Ayrıca Bosna-Hersek Krizi ve Kosova Harekâtı'nda birçok gelişmiş tarafından İHA'lar etkin bir şekilde kullanılmıştır [1].

İlk İHA'lar sadece operatörler tarafından kontrol edilebilmekteyken, günümüzde insan faktörünü azaltacak hatta uçuş esnasında tamamen ortadan kaldıracak şekilde, otonom olarak geliştirilmektedirler. Otonom uçuş ihtiyacını karşılamak için çözüme ulaştırılması gereken problem İHA'nın kullanım amacına göre ya gideceği güzergâhı kendi başına hesaplayabilmesi ya da belirlenen güzergâha sadık kalarak hedefe ulaşabilmesidir. Bu problemin çözümü, klasik en uygun yörünge planlamadan karmaşık sürü davranışına, çeşitli yaklaşımlar ile ele alınabilecek önemli bir araştırma konusudur [3-8]. İHA'nın gideceği güzergâhı planlama işini optimum kontrol problemi olarak ele alıp, sınır koşulları, kontrol sabitlerini ve maliyet kriterlerini inceleyen çalışmalar mevcuttur.

Bu çalışmada İHA olarak dört pervaneli helikopter kullanılmıştır. Diğer İHA'lara göre daha iyi manevra kabiliyetine sahip olan dört pervaneli helikopterler, sabit pervaneler ile gerçekleştirildikleri için mekanik tasarımları, imalat ve bakımları da daha basittir. Dört farklı motor ile hareket ettirilmektedirler. Normal helikopterlerde olduğu gibi, pervane dönüş kuvveti helikopter gövdesinde sapmaya yol açan momentler oluşturup helikopteri dengesiz hale getirdiğinden, helikopteri dengeli hale getirmek, ileri-geri veya sağa-sola süzülmesini engellemek için karmaşık kontrol sistemleri kullanılmaktadır. Havalanmak için dört motor birden kullanılacağından daha küçük motor ve pervaneler ile imal edilebilirler. Dört pervaneli helikopterler Quadrotor, Quadro-Motor, Quad-Helikopter gibi farklı isimlerle de anılmaktadırlar [9, 10].

İHA'nın önceden belirlenmiş olan yolu görsel olarak tespit etmesini sağlayacak olan görüntü işleme teknikleri, günlük hayatta kullanılan donanımların hızla gelişmesi, işlem kapasitelerinin artması sayesinde birçok uygulamada da kullanılır hale gelmiştir. Dijital fotoğraf makinalarında insan yüzlerinin tanınması ve odaklanması, insanlar gülümsediğinde otomatik resim çekilmesi gibi kullanımı kolaylaştıran uygulamaların yanı sıra askeri alanlarda, hedef kontrolü ile hata payının sıfıra indirilmesi, hareket algılandığında görüntü kaydının yapılması gibi uygulamalar da mevcuttur [11, 12].

Tasarlanan İHA üzerinde bulunan kameradan alınan görüntü, yer istasyonuna aktarılmakta ve aktarılan görüntü, görüntü işleme kütüphanelerinden faydalanılarak [13] geliştirilen program ile işlenip, sonuca göre İHA'nın bir sonraki hareketine karar verilip hareket komutu İHA'ya gönderilmektedir. Yapılmış olan testlerde, İHA'nın önceden bazı parametreleri tanımlanmış bir yolu görsel olarak algılayarak bulması ve sonrasında Tanjant Vektör Alanı Kılavuzu, TVAK, (TVFG: Tangent Vector Field Guidance) yöntemi ile bu yol üzerinde seyrine devam etmesi incelenmiştir. Literatürde TVAK kullanılarak, düz çizginin yanı sıra dairesel çizgilerin de takibinin yapıldığı çalışmalar mevcuttur [14, 15]. Görüntü işleme metotları ile elde edilen çizgiye en uygun açı ile yaklaşımı TVAK ile elde etmek mümkündür.

Bu çalışmada kullanılmış olan dört pervaneli İHA'lara ikinci bölümde değinilmektedir. Üçüncü bölümde İHA'larda görüntü işleme metotları ve TVAK üzerinde durulmaktadır. Dördüncü bölüm, kullanılan İHA'nın donanım ve gömülü yazılımını oluşturmaktadır. Beşinci bölümde tasarlanan İHA denetim sistemi anlatılmakta ve altıncı bölümde bu sistem kullanılarak yapılan

testler incelenmektedir. Yedinci bölümde ise yapılan testler sonrası varılan sonuçlar paylaşılarak gelecek çalışmalarla ilgili önerilerde bulunmaktadır.





BÖLÜM 2

DÖRT PERVANELİ İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI

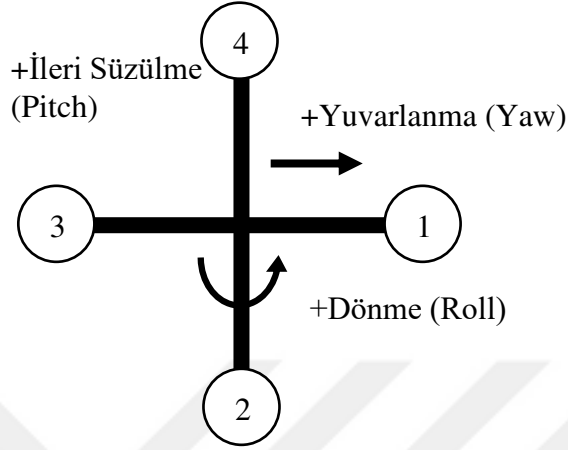
İHA, insanlı uçuşun riskli olduğu pek çok alanda güvenlik amacıyla kullanılmaktadır. İHA için gereken toplam maliyet, pilotlu bir uçağın, uçak, pilot, yakıt, bakım, arıza, hangar maliyetinden çok daha düşüktür. Elektronik algılayıcıların küçülmesi ve ucuzlaması, işlem gücü yüksek mikrobilgisayarların üretilmesi gibi yenilikler erişilebilirliği kolaylaştırmış ve bu sayede çok pervaneli İHA'ları robotik araştırma grupları arasında popüler bir araştırma konusu haline getirmiştir. Ayrıca havacılık, elektronik, mekanik, elektro-mekanik ve yazılım alanındaki ilerlemeler de İHA sistemlerinin gelişmesini beslemektedir. Literatürde, kaynak tüketimini azaltıp performansı, manevra kabiliyetini ve uçuş süresini arttırmak için yapılan çalışmalarla üretilmiş birbirinden farklı ve etkileyici çok pervaneli İHA örnekleri mevcuttur [16].

Farklı firmaların ürettiği çoğu dört pervaneli helikopter (İHA), kablosuz kontrol üniteleri ile oluşturulmuştur ve kullanımları esnasında sürekli insan gözetiminde olmaları gerekir. Bunların yanı sıra sonar, GPS, zemin kamerası, jiroskop gibi algılayıcılar ve kontrol devreleri yardımı ile yüksekliğini, konumunu ve dengesini otomatik olarak koruyan, kendi kendine havalanıp iniş yapabilen modeller de mevcuttur.

2.1 DÖRT PERVANELİ HELİKOPTER MODELİ

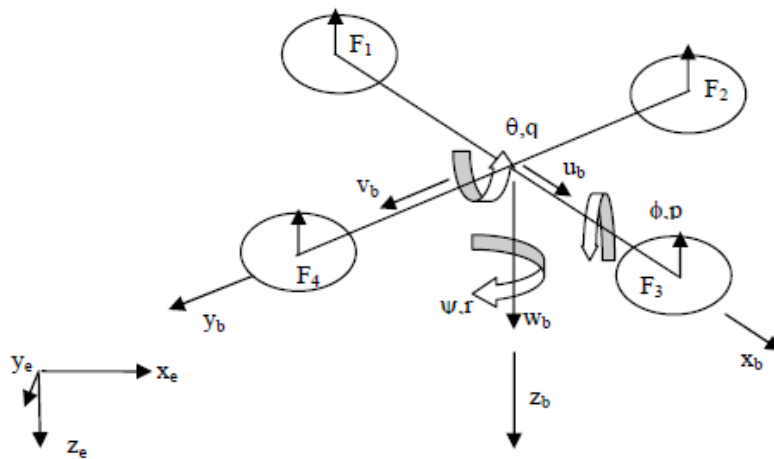
Dört pervaneli helikopterlerin basit tasarımı, bir pervanesi helikopterin önünü ifade edecek şekilde oluşturulmaktadır. Şekil 2.1'de dört pervaneli helikopterler için genel bir şema görülmektedir. Bu şemaya göre 4 numaralı motor helikopterin önünü ifade etmektedir. Buna göre helikopterin; öne gitmesi için 4. motorun hızı düşürülüp 2. motorun hızı artırılarak ileri süzülme (pitch) sağlanır. Sağa yuvarlanma (roll) hareketini sağlamak için 3. motorun hızı artırılır ve 1. motorun hızı azaltılır. Bu işlemin tersi ile de sola yuvarlanma sağlanabilir. Sağa ve sola dönme (yaw) hareketi için ise pervane dönüş yönlerine göre 2 ve 4 numaralı motorlar bir set, 1 ve 3 numaralı motorlar diğer set olarak düşünüldüğünde, bir setin hızı artırılırken

diğer setin hızı azaltılır. Helikopterin dengede durması için bütün motorların aynı hızda dönmeleri gerekir. Motorlardaki aşırı hız değişimleri İHA'nın dengesiz duruma gelmesine yol açabildiği gibi havada takla atmasını da sağlayabilmektedir. Dolayısıyla her bir motorun hızının denetlenmesi önemlidir.



Şekil 2.1 Dört pervaneli helikopter şeması.

Helikopterin dengede, sağa-sola, ileri-geri veya kendi eksenini etrafında dönmeden askıda kalabilmesi için dâhili ölçüm cihazları kullanılmaktadır. Bunlar 3 eksenli ivmeölçer, 3 eksenli jiroskop (gyroscope) ve 3 eksenli manyetometre olarak sıralanabilir. Ayrıca yükseklik sabitlemek için ultrasonik sensor de kullanılabilir. Dâhili ölçüm cihazları sayesinde elde ettiğimiz değerler ile helikopterin zemine göre durum (Euler) açılarını bulmak için DCM (Direction Cosine Matrix – Kosinüs Yön Matrisi) kullanılabilir [17].



Şekil 2.2 İHA'nın zemine göre durum açıları.

Helikopterin dünya düzlemine göre durumları Şekil 2.2’de gösterilmektedir. Burada e dünyayı, b İHA’yı ifade etmektedir. İleri-geri açısal hızı p, sağa-sola süzülme açısal hızını q, sağa-sola dönme açısal hızını ise r göstermektedir. Helikopterin referans x_e, y_e ve z_e düzlemlerine göre açıları sırasıyla Φ, θ ve ψ olarak belirtilmektedir. Düzlemlerdeki helikopter pozisyonu x_b, y_b ve z_b ile gösterilmektedir ve doğrusal hızlar sırasıyla u, v ve w ile belirtilmektedir. Helikopter düzlemi ile dünya düzlemi arasındaki dönüşümün sayısal ifadesi [18]

$$R = \begin{pmatrix} \cos \psi \cos \theta & \cos \psi \sin \theta \sin \phi & \sin \psi \cos \phi & \cos \psi \sin \theta \cos \phi + \sin \psi \sin \phi \\ \sin \psi \cos \theta & \sin \psi \sin \theta \sin \phi + \cos \psi \cos \phi & \sin \psi \sin \theta \cos \phi & \sin \phi \cos \psi \\ \sin \theta & \cos \theta \sin \phi & \cos \theta \cos \phi & \end{pmatrix} \quad (2.1)$$

ile verilmekte olup burada R,

$$R = R_{(x,\phi)} R_{(y,\theta)} R_{(z,\psi)} \quad (2.2)$$

$$R = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & \cos \theta & 0 & \sin \theta & \cos \psi & \sin \psi & 0 \\ 0 & \cos \phi & \sin \phi & 0 & 1 & 0 & \sin \psi & \cos \psi & 0 \\ 0 & \sin \phi & \cos \phi & \sin \theta & 0 & \cos \theta & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.3)$$

her bir eksen için dönüşüm matrislerinin birleşiminden oluşur. Sistemde 4 giriş kuvveti ve 6 çıkış bulunmaktadır ($x, y, z, \theta, \phi, \psi$). Dört pervaneli helikopter için kontrol girişleri olarak da anılan giriş güçlerinin matematiksel gösterimi yer almakta olup,

$$\begin{pmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \\ U_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b & b & b & b \\ 0 & b & 0 & b \\ b & 0 & b & 0 \\ d & d & d & d \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Omega_1^2 \\ \Omega_2^2 \\ \Omega_3^2 \\ \Omega_4^2 \end{pmatrix} \quad (2.4)$$

burada U_1 İHA gövdesine uygulanan itme kuvvetini, U_2 yuvarlanmayı, U_3 ileri süzülmeyi, U_4 ise dönme hareketini sağlayan kuvvetleri temsil etmektedir. Pervanelerin açısal hızını $\Omega_{(1-4)}$, b itme değişkenini, d ise sürüklenme değişkenini belirtmektedir. Açısal ivmeler ve x_e, y_e, z_e eksenlerindeki ivmelerin hesaplanabileceği, sistemin tüm Euler–Lagrange matematiksel modeli

$$\ddot{x} = (\cos \psi \sin \theta \sin \phi + \sin \psi \cos \phi) \cdot \frac{U_1}{m} \quad (2.5)$$

$$\ddot{y} = (\sin \psi \sin \theta \cos \varphi + \sin \psi \cos \varphi) \frac{U_1}{m} \quad (2.6)$$

$$\ddot{z} = g + (\cos \theta \cos \varphi) \frac{U_1}{m} \quad (2.7)$$

$$\ddot{\varphi} = \dot{\psi} \dot{\theta} \frac{I_y}{I_x} \frac{I_z}{I_x} - \frac{J}{I_x} \dot{\theta} (\Omega_1 + \Omega_2 - \Omega_3 + \Omega_4) + \frac{l}{I_x} U_2 \quad (2.8)$$

$$\ddot{\theta} = \dot{\psi} \dot{\varphi} \frac{I_x}{I_y} \frac{I_z}{I_y} - \frac{J}{I_y} \dot{\varphi} (\Omega_1 + \Omega_2 - \Omega_3 + \Omega_4) + \frac{l}{I_y} U_3 \quad (2.9)$$

$$\ddot{\psi} = \dot{\theta} \dot{\varphi} \frac{I_x}{I_z} \frac{I_y}{I_z} + \frac{1}{I_y} U_4 \quad (2.10)$$

ile verilmektedir ki burada, $I_{x,y,z}$ İHA'nın sırasıyla x_e , y_e ve z_e eksenlerindeki eylemsizliğini, J bir pervanenin eylemsizliğini, l pervanenin ağırlık merkezine uzaklığını, g yer çekimi ivmesini ve m ise İHA'nın kütlesini belirtmektedir.

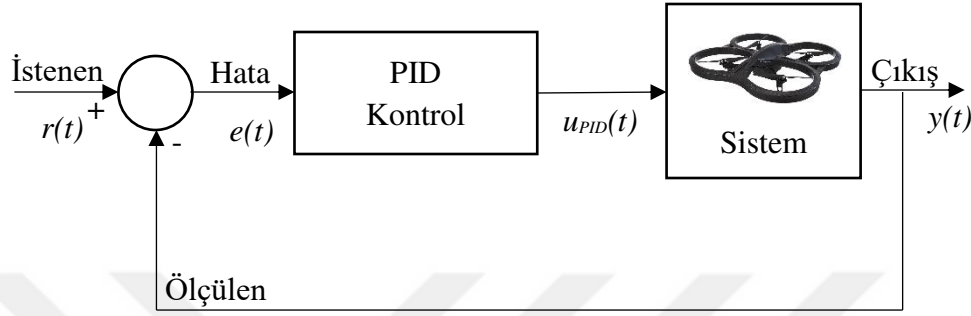
İleri hareket eden bir İHA'ya, sağa ya da sola dönüş komutu verildiğinde bu hareketin sadece ψ açısında değişikliğe sebep olacak z_b etrafında dönüş olarak gözlemleneceği düşünülse de ileri hareket esnasında Φ açısı 0 olmadığından, sağa ya da sola süzölmeye yol açan x_b etrafında dönüşten dolayı θ açısında da değişim görülmektedir. Kamera kayıtlarında bu durum kaydın kötü olmasına sebep olacağından, x_b ve y_b etrafındaki dönüşleri sönümleyerek Φ ve θ açılarının, dönüşlerde sabit kalmasını sağlayan yalpa kullanılmaktadır. Yalpa aynı zamanda titreşimleri de sönümleyip daha kaliteli bir kayıt alınmasını sağlar.

2.2 DÖRT PERVANELİ İHA'NIN PID DENETİMİ

İHA ile gerçekleştirilen rota takibinde PID denetim yaklaşımından faydalanılmaktadır. PID denetim, genellikle başarılı sonuçlar verdiği, basit tasarımı ve yüksek performansı sebebiyle birçok farklı sistemlerde tercih edilmektedir. Doğrusal PID denetim için çıkış denklemi

$$u_{PID}(t) = k_p e(t) + k_i \int e(t) dt + k_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.11)$$

şeklindedir [19]. Burada k_p , k_i ve k_d sırasıyla oransal, integral ve türevsel kazançlarıdır. $e(t)$ ise sistemin giriş ve çıkış arasındaki farkın yarattığı hatadır. Şekil 2.3’de basit bir PID kontrol şeması yer almaktadır. Oransal kazanç sistem cevabının yükselme zamanını kontrol etmek, integral kazanç kalıcı durum hatasını yok etmek ve türev kazancı da taşıma payını azaltıp kalıcı duruma daha hızlı bir geçiş sağlar. Çizelge 2.1’de yükseltelen parametrelerin sisteme etkisi görülmektedir [20].



Şekil 2.3 PID kontrol şeması.

Çizelge 2.1 PID kontrolde yükseltelen parametrelerin etkisi.

Kapalı Devre Cevabı	Yükselme Süresi	En Yüksek Aşım	Yerleşme Zamanı	Kalıcı Durum Hatası	Kararlılık
Yükselen k_p	Azalma	Yükselme	Biraz yükselme	Azalma	Düşüş
Yükselen k_i	Biraz azalma	Yükselme	Yükselme	Çok azalma	Düşüş
Yükselen k_d	Biraz azalma	Azalma	Azalma	Çok az değişiklik	İyileşme

PID kontrol ile başarılı sonuç elde etmek için uygun kazanç parametrelerinin seçilmesi önemlidir. Seçilen parametreler, sistemin kalıcı duruma geçiş hızını ve kalıcı duruma geçerken yaşanan taşıma payının büyüklüğünü etkilemektedir.

Bu tez çalışmasında referans rotanın takibini sağlayabilmek için sistem kararlılığını dikkate alarak uygun PID katsayıları elde edilmekte, özellikle kalıcı durum hatasını azaltacak PID denetim yapılmaktadır. PID katsayıları dört pervaneli İHA’nın motor sürücü devrelerinde gömülü olarak kullanılmaktadır.



BÖLÜM 3

İHA’LARDA GÖRÜNTÜ İŞLEME İLE ROTA BELİRLEME VE TAKİBİ

Görüntü işleme, verinin görüntüden oluştuğu sayısal işaret işleme türüdür [21]. Görüntü işleme uygulamalarında, işlenecek görüntünün analizini kolaylaştırmak için ana uygulamadan önce önışlem yöntemlerinin kullanımı genellikle tercih edilir. Bu yöntemler, görüntüdeki gürültüyü yok etme, nesne belirleme, renk temelli filtreleme gibi işlemleri içerir [12, 22-24]. Bu yöntemler sayesinde görüntü işleme başarısı yükselmekte ve işlemci kullanım süresi düşmektedir. Yapılacak uygulamaya ve kullanılan donanıma uygun yöntem seçimi bu noktada önemlidir.

Görüntü işleme yöntemleriyle nesne tespiti ve takibi, güvenlik ve robot görüşü gibi uygulamaların önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Hareketli kamera ve sabit kamera ile yapılabilen bu uygulamalar için farklı yöntemler izlenmektedir. Sabit kameralardaki hareketli nesne tespitindeki problemler genellikle ışık değişimleri, kamera titreşimleri, gürültüler ve ağaç yaprakları gibi hızlı değişen artalanı ait nesnelerden kaynaklanmaktadır [25]. Hareketli kameralarla yapılan uygulamalarda ise sabit kameralı uygulamalarda karşılaşılan problemlere ilave olarak kamera hareketi sebebiyle artalanın kayması da büyük sorun oluşturmaktadır.

Nesne algılama ve tanımlama, bilgisayarla görme ve görüntü tanıma alanlarında birçok araştırmacının ilgisini çekmiş; insan, taşıt algılama ve manzara sınıflandırma gibi oldukça başarılı uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Bu uygulamalarda, öncelikle görüntü üzerindeki dikkat çekici kilit noktalar bulunarak, farklı dönüşümler altında bile mümkün olduğunca ayırtıcı özellikteki alanlar belirlenir. Boyuttan bağımsız özellik transformasyonu (SIFT), hızlandırılmış gürbüz özellikler (SURF), hızlı köşe sezimi (FAST) ve yönlendirilmiş FAST-döndürülmüş ikili gürbüz bağımsız temel özellikler (ORB) bu amaçla kullanılan başlıca yöntemlerdir. Kilit noktaların bulunmasından sonra bu noktaların yine farklı dönüşümlerden bağımsız şekilde tanımlanması gerekir [26].

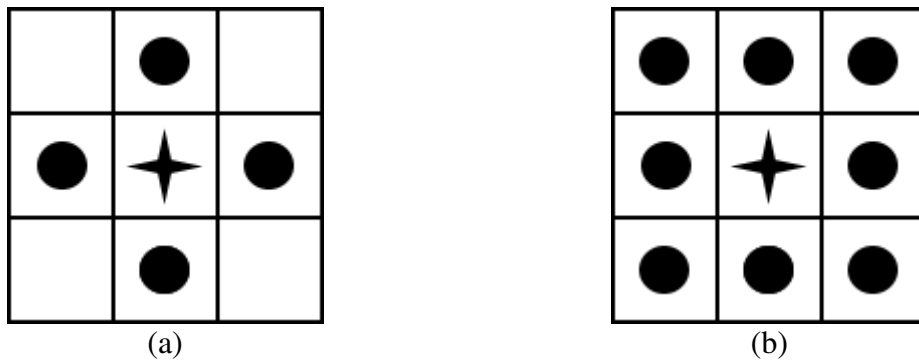
Kameranın fiziksel pozisyonunu öğrenme şansının olmadığı, örneğin İHA üzerinde bulunan kamera gibi uygulamalarda, görüntüdeki nesnelere ait bazı özelliklerin takip edilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda nesnelerin şekilleri, kenarları, renkleri veya köşe noktalarına göre çeşitli filtre işlemleri uygulanmaktadır. Bu amaçla görüntüdeki hedefi veya nesneyi takip etmek için;

- Sayısal görüntünün elde edilmesi
- Sayısal görüntüdeki gürültünün azaltılması
- Uygun renk filtresinin uygulanması
- Görüntüdeki nesneyi tanımlama (çizginin tespiti)
- Görüntü işlemeden elde edilen sonuçlar ile takip işlemini gerçekleştirme

uygulanması gereken adımlardır.

3.1 SAYISAL GÖRÜNTÜNÜN ELDE EDİLMESİ

Görüntü sayısal hale dönüştürüldüğünde iki boyutlu bir matris elde edilmektedir. Bu matristeki her bir sayı piksel adı verilen noktaların rengini ifade etmektedir. Bu pikseller birbirlerine komşu durumdadırlar. Görüntü işleme esnasında referans pikseller alınır ve bu piksellerin komşuları ile arasındaki farklar incelenerek görüntü anlamlandırılmaya çalışılır. Şekil 3.1’de gösterildiği gibi kıyaslanan komşuluklar 4’lü veya 8’li seçilebilir. Bu komşuların seçimi özellikle filtrelemede önemli yer tutar.



Şekil 3.1 Komşu pikseller gösterimi. a) 4’lü komşuluk, b) 8’li komşuluk.

Birçok sayısal görüntü standardı bulunmaktadır. Çoğunlukla Gri Tonlama, RGB ve CMYK renk uzayları kullanılmaktadır [21]. Fakat bu renk uzayları, ışık parlaklığı bilgisini içermediklerinden robotik görüntülemede tercih edilmemektedir [11]. Bu uygulamada, ışık parlaklığı bilgisini de ayrı bir kanal olarak içeren YCbCr renk uzayı kullanılmaktadır. YCbCr

uzayı ile renk filtresinin ardından görüntü, daha hızlı işleyebilmek için, gri tonlamaya dönüştürmektedir.

3.2 GÜRÜLTÜ AZALTMA METOTLARI

Görüntü işlemede gürültüyü, tespit etmek istediğimiz şeklin dışında kalan görüntü olarak düşünebiliriz. Bu durumda istenen görüntüyü elde etmek için geri kalan görüntüyü olabildiğince geçirmeyecek bir filtreye ihtiyaç duyulacaktır. Şekil 3.2'deki filtreyi inceleyecek olursak, çıkıştaki $\hat{g}(\cdot)$ fonksiyonu ile $u(\cdot)$ fonksiyonunun içinde yer alan $g(\cdot)$ gürültüsüz fonksiyonu birbirine olabildiğince benzer olmalıdır [21]. Gürültü azaltmada doğrusal ve doğrusal olmayan olarak iki farklı filtreleme tipi kullanılmaktadır.



Şekil 3.2 Gürültü Filtreleme.

Doğrusal filtrelemede çıkışın her pikseli, giriş görüntüsünün karşılığı olan pikselin ve komşuluklarının belirli ve sabit bir katsayı matrisi ile ağırlıklı çarpımlarının toplamlarından oluşmaktadır. Çıkış görüntüsü, giriş görüntüsünün lineer bir fonksiyonudur. Süperpozisyon ve kaydırma işlemlerinde lineer tepki verir. Doğrusal filtreleme için Şekil 3.2'de yapılan işlem zaman (konum) bölgesinde Denklem 3.1'deki gibi

$$\hat{g}(x, y) = (g(x, y) + v(x, y)) \cdot h(x, y) \quad (3.1)$$

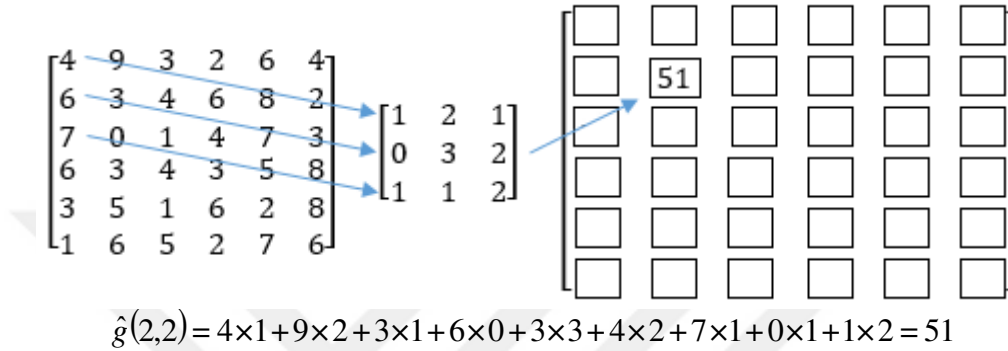
Burada $h(x, y)$ ile tanımladığımız filtre,

$$h(x, y) = \begin{matrix} h(1,1) & h(1,2) & \dots & h(1,m) \\ h(2,1) & h(2,2) & \dots & h(2,m) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ h(m,1) & h(m,2) & \dots & h(m,m) \end{matrix} \quad (3.2)$$

$m \times m$ boyutunda (m tek sayı) bir matristir.

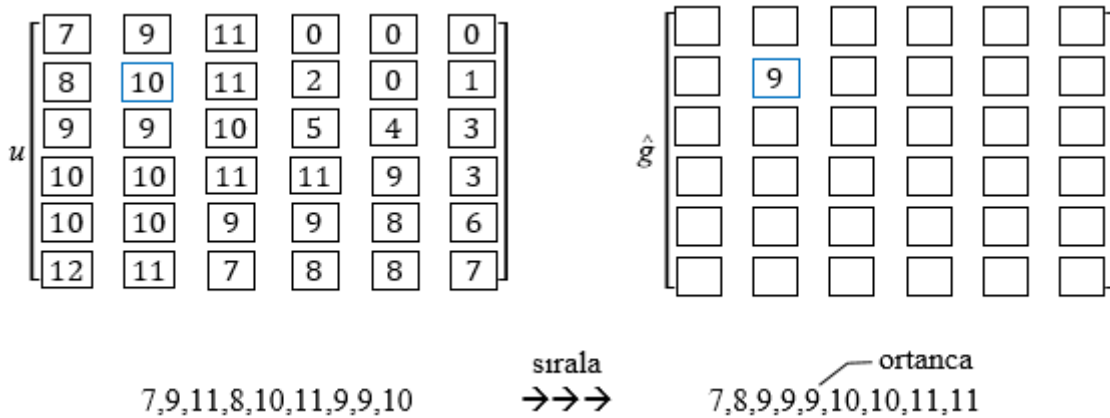
Denklem 3.3'teki zaman bölgesinde yapılan $\hat{g}(x, y)$ konvolüsyonu tüm (x, y) değerleri için uygulanmaktadır. Örnek bir konvolüsyon adımı Şekil 3.3'te görülmektedir. Her bir piksel için h matrisinin boyutu kadar çarpma ve toplama işlemi yapılmalıdır.

$$\hat{g}(x, y) = \sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^m h(k, l) u(x - k, y - l) \quad (3.3)$$



Şekil 3.3 İki boyutlu görüntü işleme konvolüsyon örneği.

Doğrusal olmayan filtreler, gürültünün görüntüyü doğrusal olmayan yapıyla bozduğu durumlarda kullanılır. Orta değer filtre, sıklıkla kullanılan doğrusal olmayan filtrelerden biridir. Orta değer filtre, uygun değerler kullanıldığında, görüntü detaylarında kayıp ya da bulanıklaştırma sorunu olmadan gürültüyü yok eden bir filtredir. Bu filtreye örnek bir işlem adımı Şekil 3.4'te görülmektedir. Burada her bir piksel, komşuları ile birlikte oluşturulan sıralanmış sayı dizisinin ortanca değeri olarak değiştirilmektedir.

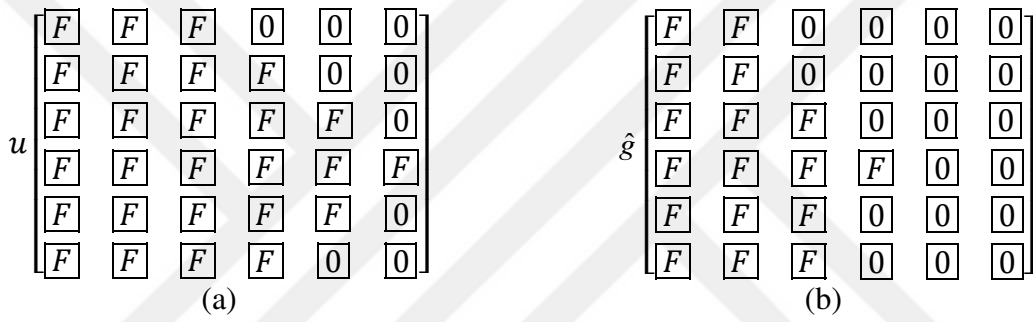


Şekil 3.4 Orta değer filtreleme örnek adımı.

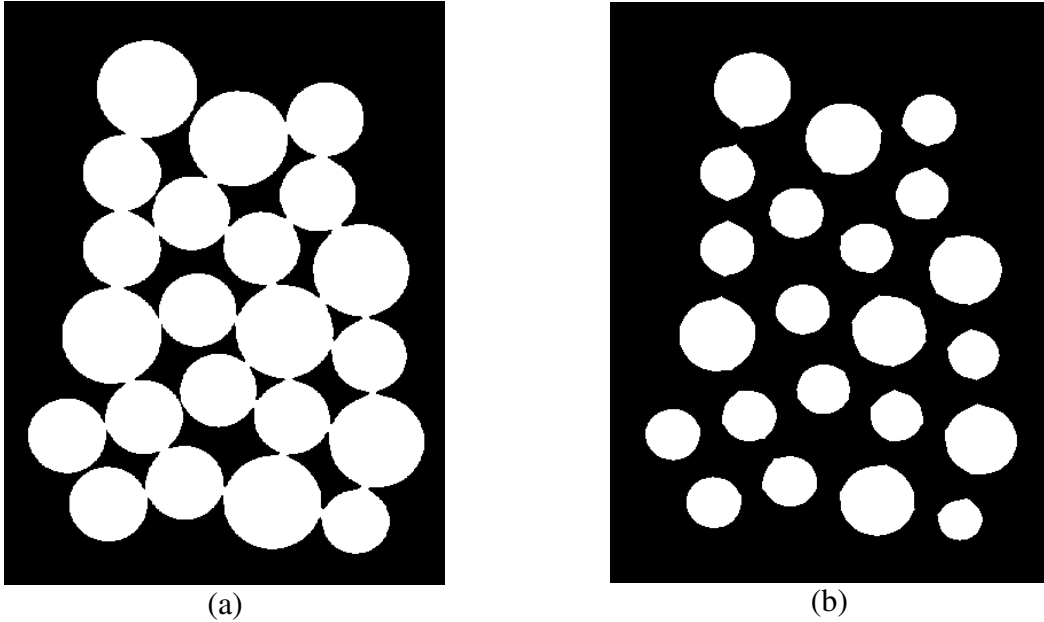
Bu filtrede yapılan işlem sayısı, her piksel için komşu sıralaması tekrar tekrar yapılacağından, fazladır. Doğrusal filtrelerin aksine gürültüyü tüm görüntünün içine dağıtmaz.

3.3 GÖRÜNTÜ AŞINDIRMA VE GENİŞLETME

Aşındırma (eroding), tek başına bir anlam ifade etmeyen noktaları yok etmek ya da nesneleri parçalamak gibi işlemlerde kullanılan, nesne küçültme metodudur. Aşındırma işlemi temelde, ilgilenilen pikselin komşularından biri arka plan rengi ise, o pikselin arka plan rengine dönüştürülmesidir [21]. Şekil 3.5'te siyah (0) arka plan üzerindeki beyaz (F) nesneye uygulanan aşındırma işlemi için örnek adım görülmektedir.



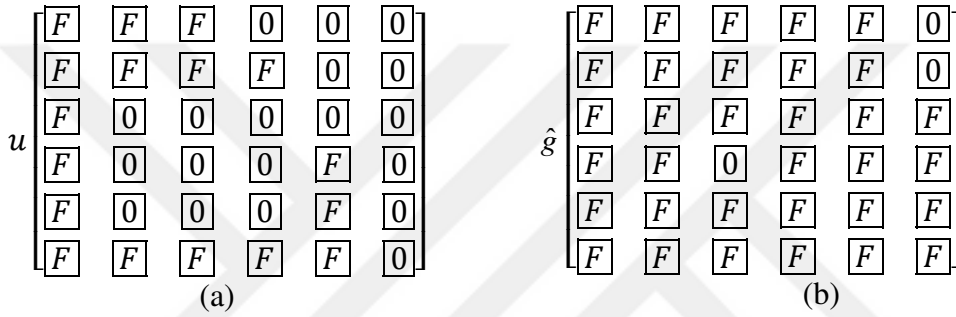
Şekil 3.5 Aşındırma örnek adımı. a) u giriş matrisi, b) $\hat{g}$ çıkış matrisi.



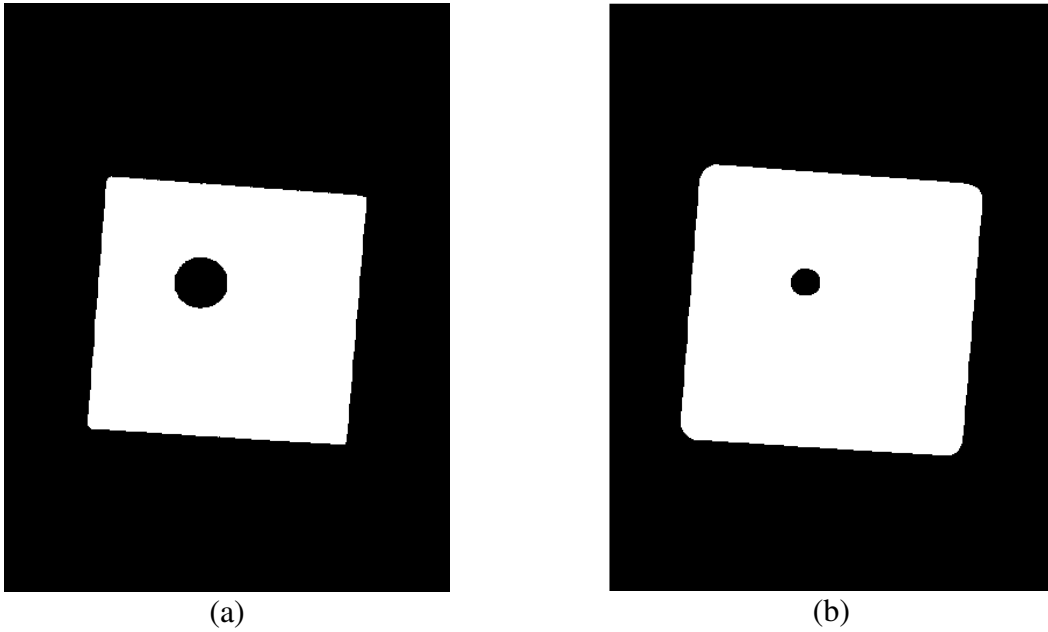
Şekil 3.6 Aşındırma işlemi örneği. a) Giriş görüntüsü, b) Çıkış görüntüsü.

Şekil 3.6’da aşındırma işlemi uygulanmış örnek giriş ve çıkış görüntüleri yer almaktadır. Giriş görüntüsünde görülmekte olan dairelerin aşındırma işleminden sonra birbirleri ile temaslarının yok edilip, daha belirgin ve tespit edilebilir hale getirildiği çıkış görüntüsünde görülmektedir.

Genişletme (dilating), tek başına anlam ifade etmeyen noktaları bütüne katarak yok etmek ya da parçalar halindeki nesneyi bütünleştirmek gibi işlemler için kullanılan, aşındırmanın tersine, nesne büyütme metodudur. Genişletme işlemi temelde, ilgili pikselin etrafında ön plan rengi var ise, o pikselin ön plan rengine dönüştürülmesi işlemidir [21]. Şekil 3.7’de siyah (0) arka plan üzerindeki beyaz (F) nesneye uygulanan genişletme işlemi için örnek adım görülmektedir.



Şekil 3.7 Genişletme örnek adımı. a) u giriş matrisi, b) $\hat{g}$ çıkış matrisi.



Şekil 3.8 Genişletme işlemi örneği. a) Giriş görüntüsü, b) Çıkış görüntüsü.

Şekil 3.8’de aşındırma işlemi uygulanmış örnek giriş ve çıkış görüntüleri yer almaktadır. Giriş görüntüsündeki arındırılmak istenen beyaz alanın içinde kalan siyah daire, genişletme işlemi sonrası küçülmüştür. Genişletme işlemi tekrar tekrar uygulanıp siyah dairenin tamamen yok olması sağlanabilir.

3.4 GÖRÜNTÜDE ÇİZGİ TESPİTİ

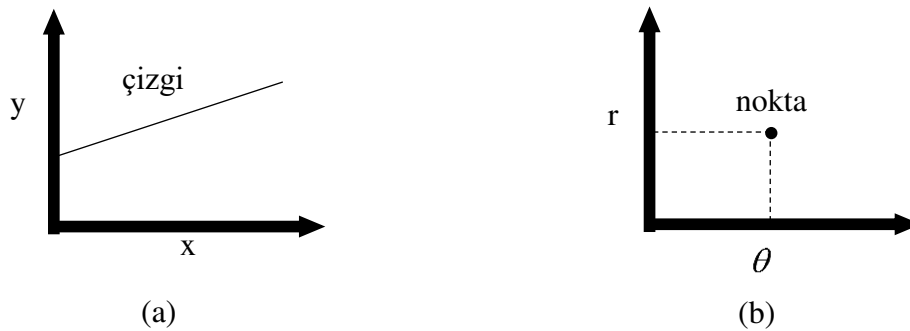
Testlerimizde önceden tanımlanmış çizgilerden oluşan bir güzergâh takip edilmektedir. Bu güzergâh, İHA’dan alınan görüntüde karşımıza çizgiler olarak çıkmaktadır. Bu çizgilerin görüntüde ayrıştırılabilmesi için Hough dönüşümü kullanılmaktadır [27]. Çizgiler genellikle

$$y = a \cdot x + b \quad (3.5)$$

denklemindeki gibi ifade edilir. Fakat bu şekilde ifade edildiğinde dikey çizgiler temsil edilemediğinden Hough dönüşümü,

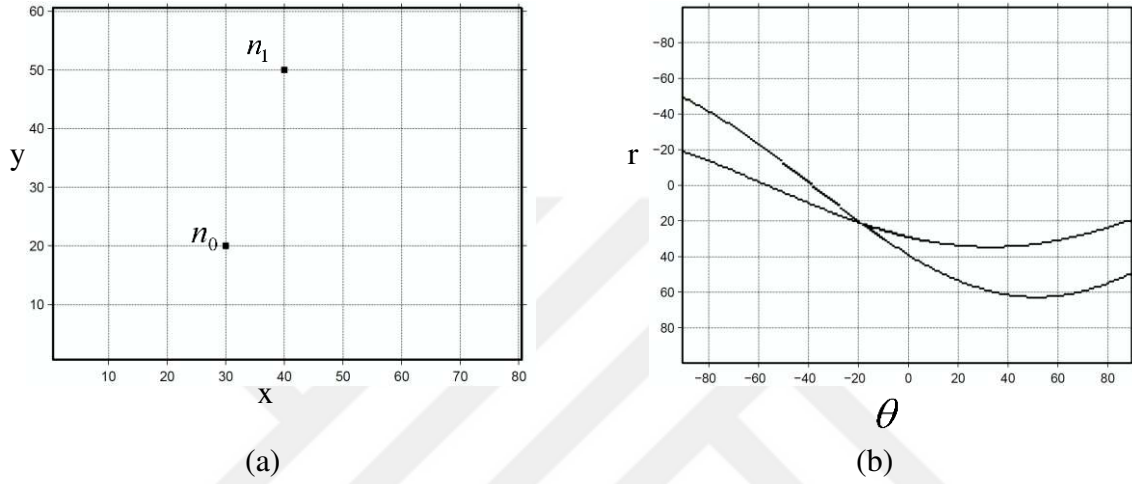
$$r = x \cdot \cos \theta + y \cdot \sin \theta \quad (3.6)$$

denklemini kullanmaktadır. Burada θ ve r parametreleri sırasıyla çizginin açısını ve çizginin merkeze uzaklığını belirtmektedir. Çizginin Hough uzayında θ ve r olmak üzere iki boyutu vardır ve bir çizgi tek bir nokta ile belirtilir. Çizgiden noktaya dönüşüm Şekil 3.9’da görülmektedir.



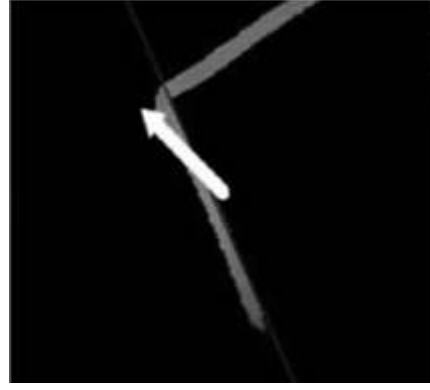
Şekil 3.9 Bir dikey çizginin Hough uzayına dönüşümü. a) x, y düzlemindeki çizgi, b) Hough uzayındaki nokta.

Hough dönüşümündeki önemli bir kavram da noktanın Hough uzayına dönüştürülmesidir. Nokta, o noktadan geçebilecek tüm çizgilerin Hough uzayında noktaya dönüştürülmesi ile elde edilir ki bu dönüşüm sinüs benzeri bir şekil oluşturacaktır. Şekil 3.10'da iki nokta için örnek bir dönüşüm görülmektedir. Bu işlem (x, y) düzlemindeki n_0 ve n_1 noktaları için uygulandığında, Hough uzayında iki farklı sinüs benzeri şekil oluşacak ve bu iki şeklin kesiştiği nokta da n_0 ve n_1 noktalarından geçen çizginin Hough uzayındaki nokta karşılığı verecektir.



Şekil 3.10 İki noktanın (n_0 ve n_1) Hough uzayındaki dönüşümleri. a) n_0 ve n_1 noktaları, b) n_0 ve n_1 noktalarından geçen çizgiyi temsil eden Hough uzayındaki çizgilerin kesişimi.

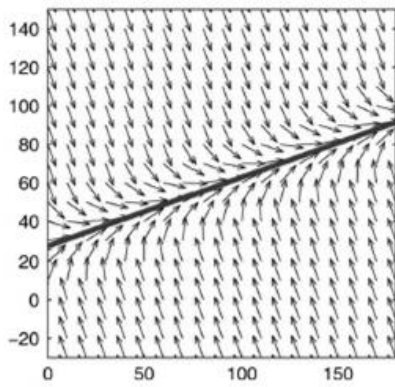
Görüntüde çizgi tespiti için Hough dönüşümü kullanıldığında her bir n noktası, görüntüdeki çizgilerin piksellerine denk gelecektir. İşlem sonucu Hough uzayındaki kesişmelerin en çok olduğu nokta, görüntümüzdeki en uzun ve en belirgin çizgiyi temsil etmektedir. Hough dönüşümü, çizginin uzunluğu ile ilgili bir bilgi vermediğinden elde edilen veri sonsuz bir çizgiye ait olacaktır. Çizginin başlangıç ve bitişi, işlemler esnasında piksel adresleri tutularak bulunabilir fakat bu çalışmada en uzun çizgi dikkate alınarak rota takibi yapıldığından, çizginin başlangıç ve bitiş noktaları göz ardı edilmiştir. Şekil 3.11'de kameradan alınan görüntü ve ön işlemlerden sonraki durumda Hough dönüşümü ile elde edilen çizgi görülmektedir. Burada İHA'nın bulunduğu pozisyona göre en uzun çizgi öncelikle referans rota olarak tercih edilmektedir.



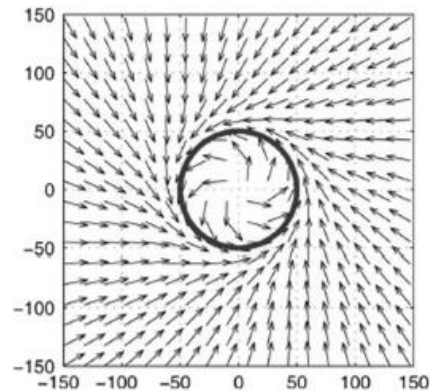
Şekil 3.11 Görüntü işleme metotları ve Hough filtresi sonrası elde edilen görüntü. a) Kameradan alınan ham görüntü, b) Hough filtresi sonrası elde edilen görüntü.

3.5 TANJANT VEKTÖR ALANI KILAVUZU YÖNTEMİ İLE ROTAYA YÖNELİM

Robotik uygulamalarda vektör alanı kavramı, güzergâh planlama için kullanılmaktadır. İHA'larda ise sürekli esen rüzgârın etkisi gibi bozucu durumlarla baş edebilmek için vektör alanları metodu kullanılmaktadır. Bu yöntem ile düz yol, kavisli yol ve yörünge takibi yapılabilmektedir. İzlenecek yolun şekline ve İHA'nın pozisyonuna göre aracın yönelmesi gereken açının tanımlandığı vektörlerden oluşan alandır. Şekil 3.12'te de görüldüğü üzere vektörler, izlenmesi istenen yola aracın yönelim açısını tanımlamaktadır.



(a)



(b)

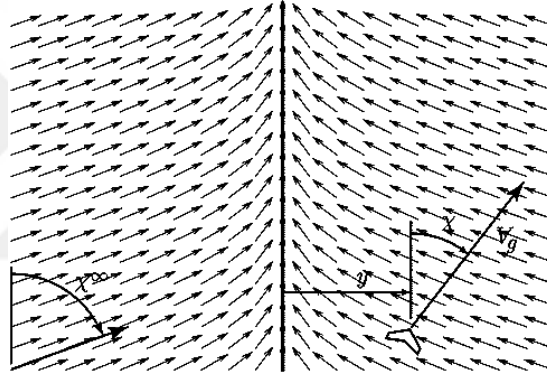
Şekil 3.12 Vektör alanın gösterimi. a) Düz yol için vektör alan, b) Yörünge için vektör alan.

Vektör alanların oluşturulması için, istenen yola sağdan ve soldan yaklaşımlara göre değer üretecek tekil bir fonksiyon seçilmelidir. Ayrıca seçilen fonksiyon, araç yörüngeye oturduğunda sıfır hatayı üretmelidir. Bu amaçla arctan fonksiyonu literatürde sıklıkla kullanılmaktadır. Fonksiyona girilen değere göre doğrudan bir yönelim açısı sunulmaktadır.

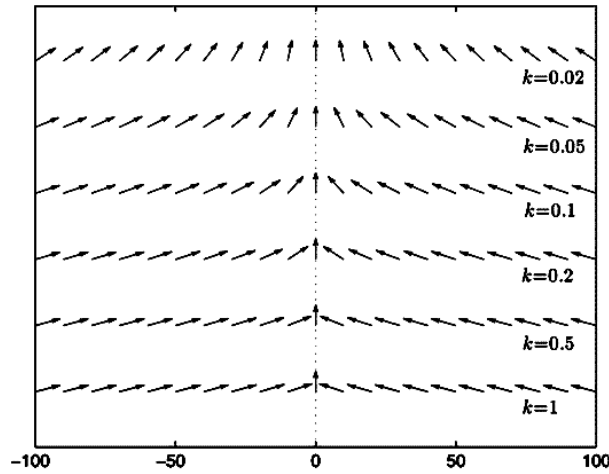
Ancak bu yönelim açısı ($\pi/2$) çoğu uygulama için oldukça büyük bir değerdir. Bu sebeple maksimum yönelim açısını ve maksimum yönelim açısından sıfır hatadaki yönelim açısına olan değişim keskinliğini de hesaba katarsak yönelim açısı

$$x^d(y) = x^\infty \frac{2}{\pi} \tan^{-1}(ky) \quad (3.7)$$

elde edilir. Burada x^∞ maksimum yönelim açısını, k ise değişim keskinlik katsayısını ifade etmektedir. Şekil 3.13'te belirli bir k ve x^∞ değeri için y uzaklığında aracın yönelmesi istenen açıya ait vektör alanı, Şekil 3.14'te ise farklı k değerleri için bu alanın değişimi görülmektedir [28]. Sonuç olarak arzu edilen yönelim açısı TVAK ile kolayca tespit edilebilmektedir. Sonrasında ise, aracın izlenecek yola göre açısı görüntü işleme yöntemleriyle tespit edilebilir ve İHA gerekli komutlarla hedef açıya yönlendirilebilir.



Şekil 3.13 Vektör alanının düz yol için detayı.



Şekil 3.14 Çeşitli k değerleri için vektör alanı.

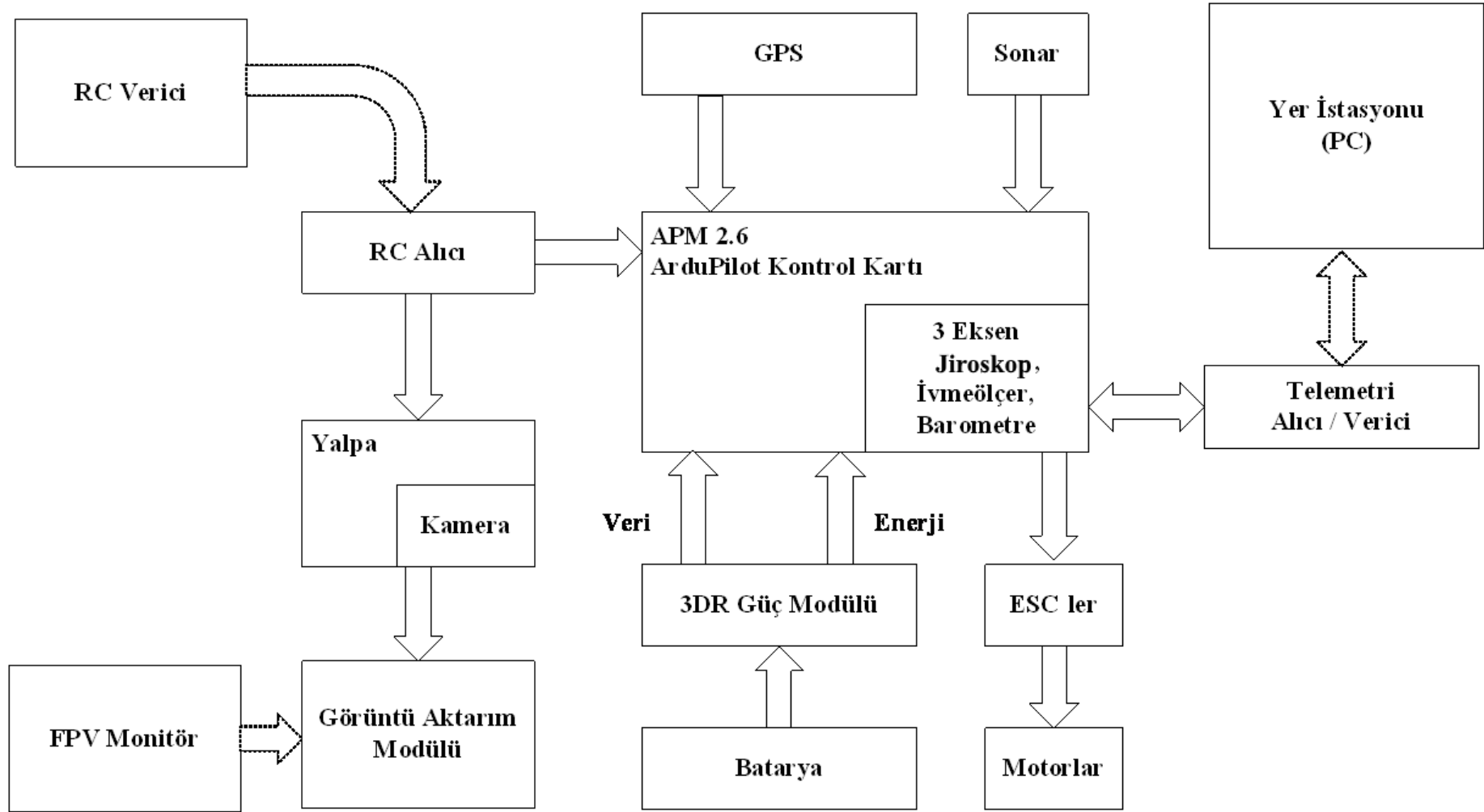
BÖLÜM 4

İHA DONANIM VE GÖMÜLÜ YAZILIMI

Bu bölümde, çalışmada kullanılan İHA'ların donanımları ve temel kontrolünü sağlayan gömülü yazılımları üzerinde durulmaktadır. Bu çalışmada İHA olarak Şekil 4.1'de blok şeması görülmekte olan dört pervaneli helikopterler tercih edilmektedir.

AR Drone 2.0 uçuşa hazır gelirken, BCD Spider çeşitli parçaların birleşiminden oluşmaktadır. Her iki İHA da uçuşlarını sağlayan işletim sistemlerine sahip kontrol kartları ile yönetilmektedir. Kontrol kartlarının üzerinde dengede durmayı sağlayan 3 eksen jiroskop, ivmeölçer ve yükseklik kontrolünü sağlayan barometre bulunmaktadır. İHA'lar, barometre 10 metrenin altında sağlıklı ölçüm alamadığından, sonar ile desteklenmektedir. Üzerlerinde bulunan GPS modülleri ile konum tespiti de yapabilmekte fakat 3 metreye kadar hata payı olduğundan otomatik inişlerde sorun yaşayabilmektedirler. İHA'lar elektronik hız kontrol kartları ile yönetilen fırçasız motorlar ile uçmaktadır. Her ikisinin de güç kontrol modülleri LiPo bataryalarının seviyelerin gerçek zamanlı ölçerek, pil seviyesi kritik derecede düştüğünde alarm vermektedir. AR Drone için bilgisayarla doğrudan iletişimini sağlayan geliştirme kiti varken, BCD Spider için telemetri alıcı ve verici kullanılması gerekmektedir. BCD Spider'a harici bir kameranın takılabildiği yalpa monte edilebilmektedir. Yalpa, uçuş esnasında titreşimin emilimini sağlayıp kameradan daha iyi bir görüntü alınmasını sağlamaktadır. Kameradan alınan görüntü, görüntü aktarım modülü ile FPV (First Person View) monitöre ve yer istasyonuna aktarılmaktadır. AR Drone'da ise görüntü, geliştirme kiti ile direk bilgisayara alınabilmekte fakat yalpa olmadığından görüntü kalitesinde bozulmalar gözlenmektedir.

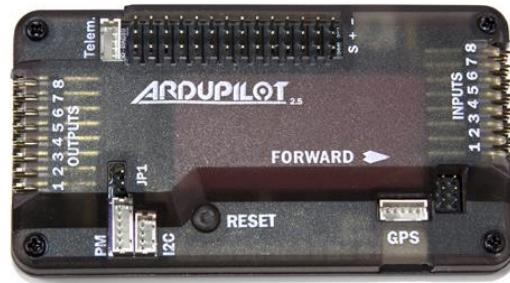
İHA'nın kontrolü RC alıcı ve verici kullanılarak el ile ya da telemetri alıcı ve verici kullanılarak yer istasyonundan otomatik veya el ile yapılabilmektedir. Kontrol kartı üzerinde bulunan İHA, yüksekliğini koruyabilmekte, otomatik kalkış ve iniş yapabilmekte, güç modülü sayesinde bataryanın doluluk durumunu kontrol edip alarm vermekte hatta acil inişe geçebilmektedir. Motorlar, dönüş hızları İHA'nın dengede kalması ve güvenli uçuşu için önemli olduğundan elektronik hız kontrol modülleri ile yönetilmektedir. Açıkları kontrol edilebilen iki eksenli yalpa



Şekil 4.1 Dört pervaneli helikopterin blok şeması.

üzerine monte edilmiş olan kameradan alınan görüntü, görüntü aktarım modülü ile FPV monitöre aktarılarak, uçuş esnasında eş zamanlı yayın alınmaktadır.

Kontrol kartı, kumandadan alınan verilere göre veya daha önce programlanmış rotaya göre helikopterin uçuşunu kontrol eden ana karttır. Bu çalışmada Şekil 4.2’de görülmekte olan ArduPilot APM 2.6 kontrol kartı kullanılmıştır. Kontrol kartının üzerinde ayrıca 3 eksen jiroskop, ivmeölçer ve barometre bulunmaktadır. Pusula manyetik alandan etkileneceğinden motorlar ve enerji kaynaklarından olabildiğince uzaklaştırılmalıdır. Bu sebeple kontrol kartının üzerinde dâhili pusula bulunmamaktadır. Dâhili barometre, pervanelerin rüzgârından etkilendiği için strafor ile izole edilmiştir.



Şekil 4.2 ArduPilot APM 2.6 kontrol kartı.

Telemetri alıcı ve verici helikopterin uçuş bilgilerini; yüksekliği, konumu (GPS koordinatları), anlık eğim açıları, batarya seviyesi gibi bilgilerin yer istasyonuna gönderilmesini ve yer istasyonundan gönderilen komutları kontrol kartına ileten parçadır. Sistemimizde kullanılan 915MHz’lik bir telemetri alıcı ve verici Şekil 4.3’te görülmektedir.



Şekil 4.3 Telemetri modülü. a) Telemetri verici, b) Telemetri alıcı.

Şekil 4.4'te görülmekte olan yer istasyonu, üzerinde kontrol kartının yönetimi ve kalibrasyonu için kullanılan programın çalıştırıldığı bilgisayardır. Bilgisayar üzerinde telemetri modülü yardımı ile helikopter ile iletişim kurulup, manyetik pusula, GPS gibi parçaların ayarları yapılabilmektedir. Ayrıca program sayesinde helikoptere rota yüklenerek otonom bir uçuş sağlanabilmekte, RC verici devreden çıkartılarak kontrolü bilgisayar üzerinden yapılabilmektedir.



Şekil 4.4 Yer istasyonu.

Yalpa, helikopterin hareketlerini sönümleyerek üzerinde bulunan kameradan daha iyi, titreşimsiz görüntü alınabilmesini sağlayan parçadır. Çalışmamızda, Şekil 4.5'te görülmekte olan 2 eksenli yalpa kullanılmıştır. Yalpa üzerinde takılı olan kameradan alına görüntünün kablosuz bir şekilde aktarımını sağlayan 5.8GHz, 200mW'lık görüntü aktarım modülü Şekil 4.6a'da görülmektedir. Helikopter üzerinde bulunan kameradan alınan ve kablosuz görüntü aktarım modülü ile iletimi sağlanan görüntünün izlenebildiği, RC verici üzerine de monte edilebilen FPV (First Person View) Monitör Şekil 4.6b'de görülmektedir.



Şekil 4.5 Yalpa.



Şekil 4.6 Görüntü modülleri a) 5.8GHz Görüntü aktarım modülü, b) FPV Monitör.

GPS, helikopterin konum bilgisini anlık olarak kontrol kartına ileten parçadır. Kullandığımız GPS, Ublox 6M Şekil 4.7a’da görülmektedir. GPS’in üzerinde ayrıca elektronik pusula modülü de yer almaktadır. Diğer parçaların bozucu etkisinden kaçınmak için katlanabilir bir ayaklık ile helikopterin üst kısmına, diğer parçalardan daha yüksek olacak şekilde monte edilmiştir. Şekil 4.7b’de görülmekte olan sonar, helikopterin alt kısmına monte edilen, helikopterin yüksekliğini yansıyanım ile tespit eden parçadır. Helikopterimizde kullanılan sonarın maksimum ölçüm yüksekliği 7m’dir. Barometre ile yapılan yükseklik ölçümü yeteri kadar hassas olmadığından sonar kullanımı helikopterin otomatik inişini daha rahat bir şekilde yapmasını sağlar.



(a)



(b)

Şekil 4.7 GPS ve sonar modülleri. a) Ublox 6M GPS, b) Sonar (MBI030).

Motorlar, helikopterin hareketini sağlayan temel parçalardır. Helikopterimizde, Şekil 4.8a'da görülmekte olan 700KV'lık fırçasız motorlar kullanılmıştır. Motor Sürücüler (ESC'ler), motorların kararlı bir şekilde dönmesini sağlayan parçalardır. Bu çalışmada, Şekil 4.8b'de görülmekte olan 30A, 600Hz ve 6 hücreli pile kadar destekli ESC'ler kullanılmıştır.



(a)



(b)

Şekil 4.8 Motor ve motor sürücü. a) SunnySky 700KV fırçasız motor, b) Motor sürücü.

Helikopterin enerji kaynağı olarak Şekil 4.9a'da görülmekte olan 4 hücreli LiPo (Lityum Polimer) pil kullanılmıştır. Şekil 4.9b'de görülmekte olan güç modülü, helikopterin beslenmesi için bataryanın regülasyonunu sağlamanın yanı sıra seviyesini de ölçerek kontrol kartına iletimini sağlar.



(a)



(b)

Şekil 4.9 Batarya ve güç modülü a) 4 hücreli batarya b) 3A BEC güç modülü.

Helikopter, Şekil 4.10’da görülmekte olan F450 Spider model dört pervaneli helikopter gövdesine monte edilmiştir. Gövdenin aynı zamanda yükseltilmiş iniş takımı da bulunmaktadır.



Şekil 4.10 F450 Spider dört pervaneli helikopter gövde ve iniş takımı.

RC verici, üzerinde bulunan anahtar ve kumanda kolları yardımıyla helikopterin el ile yönetilmesini sağlayan cihazdır. RC alıcı, RC vericiden gönderilen kontrol sinyallerini alıp kontrol kartına ileten parçadır. Bu çalışmada, 2.4GHz 9 kanallı alıcı ve verici kullanılmıştır. Şekil 4.11’de görülmekte olan RC alıcı ve verici 9 kontrol kanalının iletimini sağlamaktadır. Bunların dördü İHA’nın hareketini sağlayan ana kontrol kanallarıdır; Pitch (ileri – geri), Yaw (sağa – sola süzülme), Roll (sağa – sola dönme), Throttle (yükseklik). Kanallardan ikisi, biri 3 diğeri 2 kademeli anahtarlar ile beraber kullanılarak 6 kademeli uçuş modu kontrolü sağlanmaktadır. 2 eksenli yalpanın sadece aşağı – yukarı hareketi kontrol edilebildiğinden kontrolü için tek kanal yeterli olmakta, sistemimizde iki kanal boş bırakılıp kullanılmamaktadır.



(a)



(b)

Şekil 4.11 RC alıcı ve verici. a) Hitec Aurora 9x RC verici, b) Hitec Maxima 9 RC Alıcı.

Çalışmamızda kullanılmak üzere toplanan dört pervaneli helikopterin uçuşa hazır hali Şekil 4.12’te görülmektedir.



Şekil 4.12 Toplanmış, uçuşa hazır dört pervaneli helikopter.

Şekil 4.13’te görülmekte olan AR Drone 2.0, üzerinde entegre kameraları, sonarı, 3 eksen jiroskop, ivmeölçer ve manyetometre bulunan, uçuşa hazır olarak satılan dört pervaneli bir helikopterdir.



Şekil 4.13 AR Drone 2.0.

AR Drone 2.0 kendine ait yazılım ile gelmektedir ve normalde kontrolü akıllı telefon üzerine kurulan AR.FreeFlight isimli uygulama ile yapılmaktadır. Aynı uygulama ile İHA’nın yazılım güncellemesini yapmak da mümkündür. AR Drone’a özel yazılım geliştirme kiti sayesinde .Net

programlama dilinde geliştirilen bir program ile kablosuz ağ özelliği olan bir bilgisayar üzerinden İHA'ya bağlanılabilmekte, üzerindeki kameradan görüntü alınabilmekte ve helikoptere komut gönderilebilmektedir. Daha güvenli, ucuz ve kapalı alanda uçmaya daha müsait olduğu için, görüntü işleme ile rota takibi programının geliştirilme aşamasında AR Drone 2.0 tercih edilmiştir.

APM 2.6 ArduPilot kontrol kartı ile oluşturulan diğer helikopterin kontrol yazılımı ArduCopter'dir. Mission Planner isimli bilgisayar programı ile telemetri kartlarının vasıtası ile helikoptere bağlantı sağlanabilmektedir. ArduCopter, açık kaynaklı bir program olup eklenen yeni kodlar ile tekrar helikoptere yüklenebileceği gibi istenen işlemler Mission Planner üzerinde değişiklik yaparak da sağlanabilir.



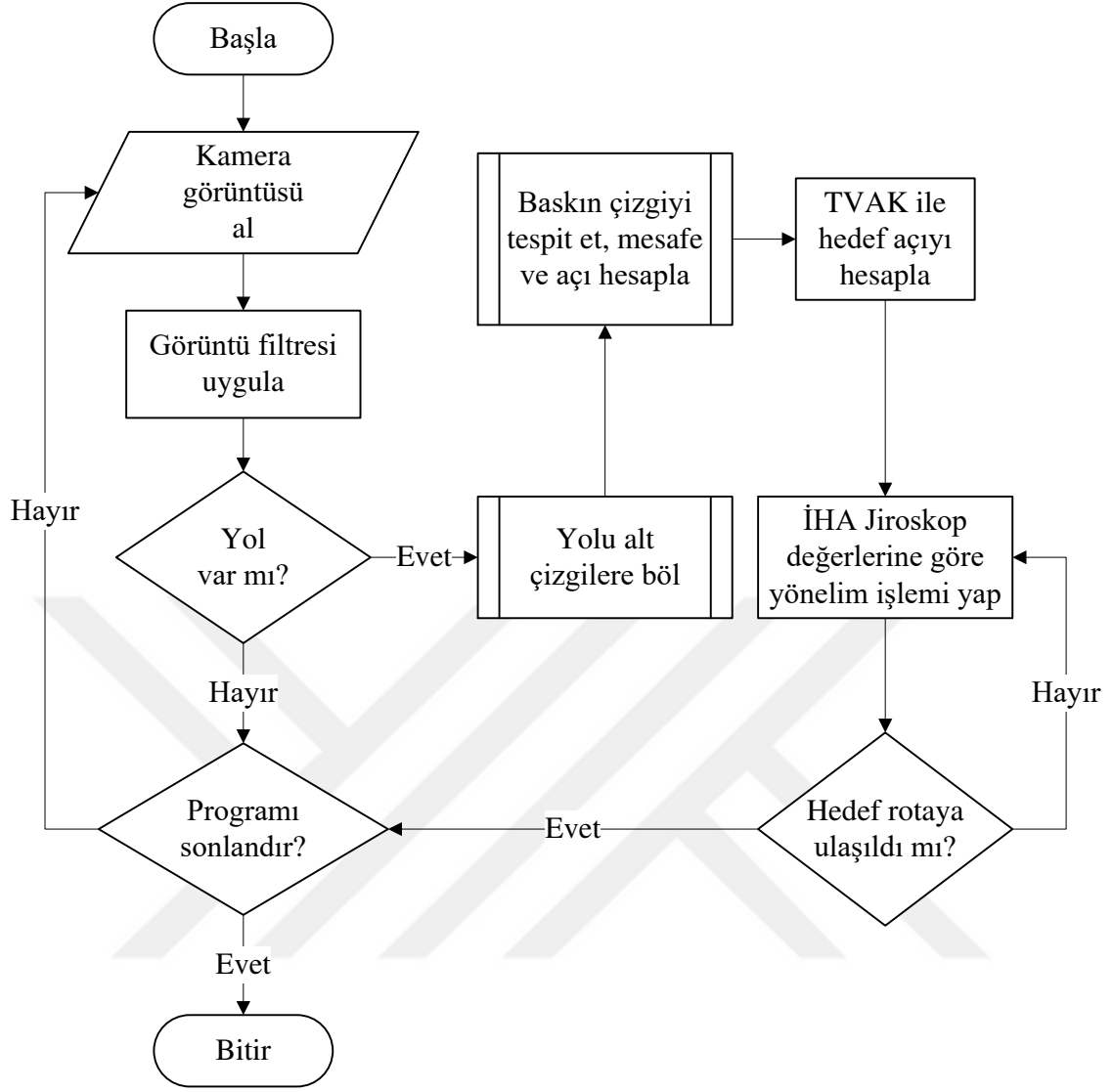


BÖLÜM 5

TASARLANAN İHA DENETİM SİSTEMİ

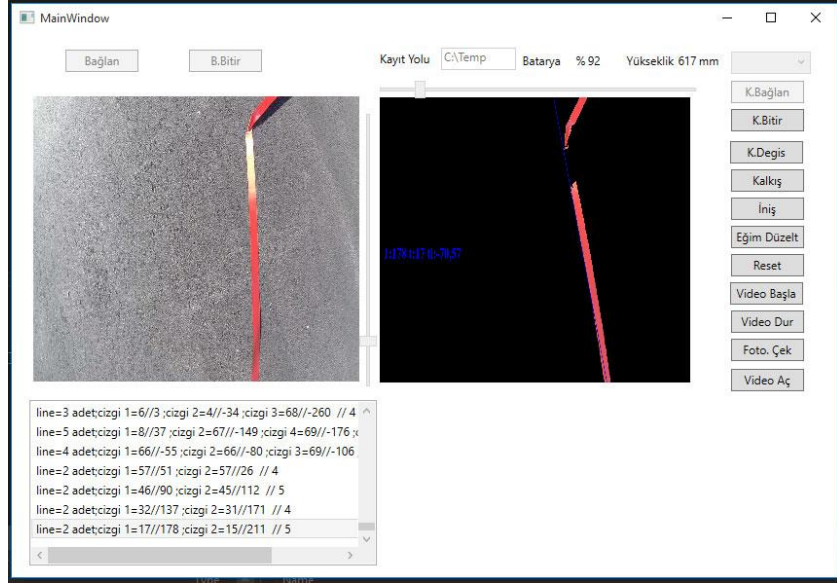
Bu bölümde, İHA'dan alınan görüntüyü işleyip rotaya yönelim açısını tespit ederek otonom uçuşun gerçekleşmesini sağlayan İHA denetim sistemi üzerinde durulmaktadır. Yer istasyonu olarak kablosuz internet özelliğine sahip, taşınabilir iş istasyonu tercih edilmektedir.

Yer istasyonu üzerinde çalışmakta olan otonom uçuş yazılımı, görüntü işleme için AForge.Net kütüphaneleri kullanılarak [13] geliştirilmiştir. Program, İHA'dan düzenli olarak (~3fps) aldığı görüntüyü hedeflenen otonom uçuşa göre işleyerek bir sonraki adımı hesaplayıp İHA'ya komut göndermektedir. Şekil 5.1'de yazılımın akış şeması görülmektedir. Yazılım akış şemasında da görüldüğü üzere, kameradan görüntü alınır ve ilk işlem olarak bu görüntüye renk filtresi uygulanır. Filtre sonrasında görüntüde hiç çizgi tespit edilemez ise programın devamlılık durumuna göre tekrar kameradan görüntü alır veya işlemleri sonlandırır. Filtre sonrası yol veya yollar, yani çizgiler tespit edilebildiyse alt işlemlerden geçirip baskın çizgiyi bulup açı ve mesafe tespitini sağlar. Tespit edilen açı ve mesafe ile TVAK kullanılarak hedef açı tespit edilip İHA'nın o anki jiroskop değerlerine göre hedefe yönelim sağlanır. Hesaplanan anlık hedefe ulaşıldıktan sonra ise programın devamlılık durumuna göre işlemler sonlandırılır ya da yeni hedef belirlemek üzere baştan başlanır.



Şekil 5.1 Yazılım akış şeması.

Çalışmada görüntü işleme esaslı güzergâh tespiti yapıldığı için, testlerde izlenecek olan yola ait ön tanımlamalar yapılmaktadır. Şekil 5.2'deki program çalışma görüntüsünde de görüldüğü gibi, takip edilecek olan şerit kırmızı renkte seçilmiştir. Kırmızı şeridin, görüntünün kalanından ayrılması için YCbCr renk uzayında renk aralığı filtresi kullanılmıştır. RGB renk uzayı ışık parlaklığı bilgisini ayrı bir kanal olarak içermediği için robotik görüntülemelerde tercih edilmemektedir [11]. Işık değişimlerinden en az şekilde etkilenmek için RGB uzayı yerine ışık parlaklığı bilgisini de ayrı bir kanal olarak içeren renk uzaylarından biri olan YCbCr renk uzayı seçilmektedir.



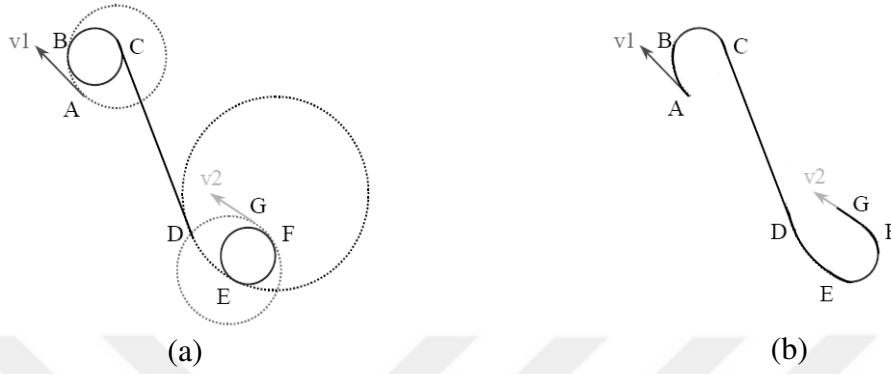
Şekil 5.2 Program çalışma görüntüsü.

İzlenecek yol verisi görüntüden ayrıştırıldıktan sonra yolun takip edilecek kısmı belirlenmelidir. Bu amaçla renk filtresi işlemi sonrası oluşan görüntüye sırasıyla griye dönüştürme, kenar belirleme, eşik değer uygulama, inceltme, genişleme ve Hough çizgi tespiti filtreleri uygulanmaktadır. Duda ve Hart'ın genelleştirdiği Hough çizgi tespiti yöntemi [27], görüntü işlemede özellik çıkarım tekniklerinden sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Hough dönüşümü ile tespit edilen çizgiler, çizgileri oluşturan üye sayısına göre sıralanmış ve en uzun kesintisiz çizgiyi kapsayan üyelikler seçilmiştir. Benzer açı ve konuma sahip üyelikler birleştirilmiş ve sonuçta izlenecek yola ait baskın çizgiler tespit edilmiştir. Tespit edilen bu çizgilerden izlenecek çizginin tespitinde ise İHA'nın mevcut pozisyonunu en fazla düzeyde koruyarak ilerlemesini sağlayan en baskın çizgi tercih edilmektedir. Bu çalışmada görüntü işleme filtreleri için çoğunlukla AForge.NET kütüphanesi [13] kullanılmaktadır.

İHA'lar için güzergâh planlama, klasik en uygun yörünge planlamadan, karmaşık sürü davranışına kadar çeşitli yaklaşımlar ile ele alınabilecek önemli bir araştırma konusudur. Belirli bir başlangıç hız ve konumundan, istenen hız ve konuma yönelim için izlenecek yolun bulunması İHA'larda rota planlamanın ana sorusudur.

Şekil 5.3'te soldaki rota diyagramında İHA, A noktasından v1 hızı ile harekete geçip, istenilen G noktasında v2 hızıyla güzergâhı sonlandırmaktadır. En uygun güzergâh (en kısa seyahat mesafesi) $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow F \rightarrow G$ noktalarını takip etmektedir. Burada EF ve BC'ye teğet çemberler en küçük dönüş açısını, DE'ye teğet çember en yüksek hızı, AB'ye teğet çember

geçerli hızı ve GF'ye teğet çember son hızı temsil etmektedir. A'dan G'ye en uygun güzergâh Şekil 5.3b'deki diyagram gibi belirtilebilir. Bu nedenle, en uygun kontrol problemi; maliyet fonksiyonu minimum iken A ve G pozisyon ve hızları verilmişken B/C/D/E/F noktalarının tespit edilmesidir [29].



Şekil 5.3 İHA rota planlaması. a) İstenen yol, b) Seçilen yol.

Bu çalışmada rüzgârın hızı, İHA'nın uçuş mesafesinin performansa etkisi, dönüş ve seyir hızı limitleri ihmal edilmiş olup, söz konusu kısıtlamalar ve bozucular ile ilgili düzeltmelerde geri besleme olarak kameradan gelen görüntünün kullanıldığı dinamik bir yaklaşım seçilmektedir. Buna rağmen bozucuların etkisinin en aza indirgenmesi ve daha az maliyetle rotanın takibi için yine dinamik bir yöntem olan vektör alan metodlarından TVAK yöntemi kullanılmaktadır.

BÖLÜM 6

İHA İLE ROTA TAKİP TESTLERİ

Yapılan çalışmanın testlerinde, Şekil 6.1’de görülmekte olan 30 metrelik bir parkur oluşturularak İHA’nın bu parkuru tamamlama başarısı gözlenmektedir. Parkur, 3 cm genişliğindeki kırmızı şeridin siyah zemine sabitlenmesi ile oluşturulmuştur. Testlerde kullanılan İHA’nın uçuşa hazır hale getirilmesinin ardından yapılan test uçuşlarında uçuş süresi yaklaşık 11dk olarak kaydedilmiştir. Uçuş modları incelenmiş ve askıda kalma (yüksekliği sabit tutma) modu ile hedeflenen görüntü işleme ile rota takibinin yapılabileceği anlaşılmaktadır. Kalkış yerine geri dönme modu testlerinde GPS modülü ne kadar kaliteli olursa olsun hedeflenen noktayı 2 metreye kadar kaçırabileceği tespit edilmektedir. Görüntüleme için kullanılan kameranın kablosu ağ üzerinden görüntü aktarımı test edilmiş ve aktarımda yaklaşık 1 saniyelik bir gecikme olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 6.1 Testler için oluşturulan parkur ve uçuş testi.

Görüntü işleme yöntemleri kullanarak İHA ile otonom sistemler gerçekleştirilmiştir. Zeminde önceden belirlenmiş bir çizginin tespiti sağlanıp TVAK yöntemi ile çizgiye göre rota belirlenmiş ve İHA'nın bu rotayı takip ederek çizginin üzerinden gitmesi sağlanmıştır.

Çalışmanın amaçlarına yönelik olarak İHA'nın denetimi bir çevirici devre ile bilgisayar destekli hazırlanan program çerçevesinde sağlanabilmektedir. İHA üzerindeki kameradan bilgisayara görüntü aktarımı yapılmıştır. Alınan görüntü sayesinde görüntü işleme yöntemleri ve vektör alan kılavuzu yöntemi ile belirlenen çizgi takibi yapılmıştır. İzlenecek yol verisi görüntüden ayrıştırıldıktan sonra yolun takip edilecek kısmı belirlenmelidir. Bu amaçla renk filtresi işlemi sonrası oluşan görüntüye sırasıyla griye dönüştürme, kenar belirleme, eşik değer uygulama, inceltme, genişleme ve Hough çizgi tespiti filtreleri uygulanmıştır. Bu sayede İHA'nın tespit edilen yöne doğru hareketi sağlanmıştır. GPS modülü de eklenerek İHA'nın konumu belirleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Her bir işlemin tek tek gerçekleştirilmesi sağlanmakla birlikte (Şekil 6.2) bir bütün olarak test edilmesi gerekmektedir. Bu testlerin benzer hava şartlarında birden fazla testler ile sağlanması amaçlanmaktadır.

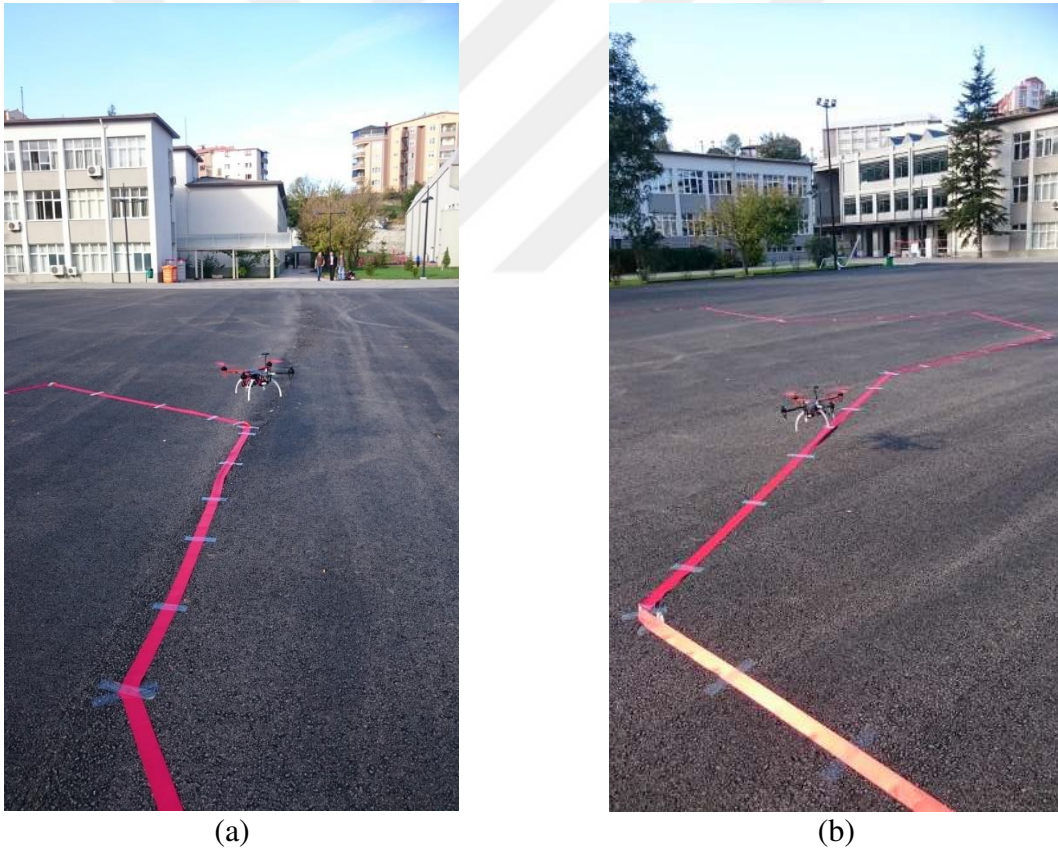
Yapılan testler sonucu, İHA üzerinde kullanılan kameranın geniş açılı ve yüksek kalitede görüntü alabiliyor oluşunun İHA'nın alçak uçuşlarda dahi rota takibinde başarılı olmasını sağladığı görülmüştür. Fakat irtifa yükseldikçe rüzgâr hassasiyetinin arttığı ve İHA'nın rota takip süresinin uzadığı ve pil ömrünün kısaldığı gözlemlenmiştir. Aynı zamanda kamera kalitesi iyi olduğundan ışık seviyesinin daha az olduğu bulutlu havalarda da görüntü işleme adımının başarılı olarak geçildiği görülmüştür. Kullanılan İHA üzerinde kameranın dünya düzleminde sabit kalmasını sağlayan yalpa (gimbal) da kullanılabilmektedir [30]. Yalpa'nın kullanıldığı uçuşlarda İHA'nın çizgiyi ortalama için yaptığı sağa ve sola süzülme hareketlerinde daha az salınım gözlenmiş ve incelenen görüntülerde çizginin ortalama oranının daha yüksek olduğu görülmüştür.

İHA üzerindeki sensörler ile ölçülen irtifa değerleri yaklaşık 60 cm iken yapılan 5 uçuşta, rotanın tamamlanması ortalama 47 saniye sürerken irtifa yaklaşık 3m'ye çıkartıldığında bu sürenin ortalama 52 saniyeye çıktığı gözlemlenmiştir. İHA üzerindeki besleme kartından alınan bilgilere göre pil tüketimi alçak uçuşlar sonrası %43 iken, yüksek uçuşta %51'e çıktığı görülmüştür. Parkur tamamlama süresinin yaklaşık %10 arttığı göz önünde bulundurulduğunda, İHA'nın yükseklik ile doğru orantılı olarak pil tüketiminin de arttığı anlaşılmakta ve bunun ana sebeplerinden birinin rüzgâr olduğu düşünülmektedir. Testler esnasında kullanılan piller birbir

aynı özelliklere sahip olup aynı anda tedarik edilmiştir. Piller, hücre kontrollü geri beslemeli şarj aleti ile paralel olarak aynı anda şarj edildiğinden aralarında olabilecek gerilim farkları göz ardı edilmiştir.

Yalpanın etkisini gözlemlemek için alçak uçuşlar gerçekleştirilmiştir. Yalpa kullanılmadan yapılan uçuşlarda salınımın yüksek olduğu görülmüş ve rota çizgisinin, alınan görüntülerin ancak %43'ünde ortalılabildiği gözlemlenmiştir. Yalpa kullanıldığında ise rota çizgisinin görüntülerde ortalama oranının %84'e yükseldiği görülmüştür. Bu oranlar, görüntü işleme için 3 fps ile kaydedilen kareler incelenip, orta noktası %5 tolerans ile belirlenerek hesaplanmıştır.

Aynı zamanda uçuşların rota çizgisi üzerindeki sapmaları GPS yardımı ile değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu durumda İHA'nın doğru yönde ilerleyip ilerlemediği kontrol edilmektedir.



Şekil 6.2 İHA ile test uçuşları.

Uygulama çalıştırıldığında algoritmanın başarılı olduğu görülmüştür. İç ortamda yapılan (sabit ışık, rüzgârsız ortam) uygulamalar daha başarılı olsa da dış ortamda yapılan uygulamalarda da rota takibi sağlanmıştır. Rüzgâr hızı ve değişimi, sistemin en zayıf olduğu parametredir.

Ortamda rüzgâr olup olmamasına göre gözlem yapılmıştır. Uçuş testi kamera sabit (yalpasız) ve yalpa ile yapılmıştır. Sonuçlar Çizelge 6.1’de kamera görüntüsünün %5 tolerans ile yol çizgisinin ortalanması oranları yüzde olarak görülmektedir. Yalpa kullanılmayan sabit kamera görüntülerinde yol çizgisi ortalama oranları düşük iken yalpa kullanımı ile başarının gözle görülür oranda arttığı gözlemlenmektedir. Bu durum yol çizgisinin kamera görüntüsü dışına çıktığı anlamına gelmemekte olup hem yalpa yokken hem de yalpa kullanımında tüm testlerde izlenecek yol çizgisi görüntü içerisinde kalmıştır. Yalpa kullanımını incelediğimiz birinci senaryoda; kapalı ortamda, rüzgâr yokken ve ışık aydınlatması yoğunken yolu takip etme oranı %84 olarak gözlenmiştir. İkinci senaryoda; dış ortamda, rüzgârlı ortamda ve ışık miktarı az iken yol %80 başarımla takip edilebilmiştir. Üçüncü senaryoda; dış ortamda, ışık miktarı gölge bir ortamda iken %82’lik bir oran ile yol takip edilebilmiştir. Son senaryoda ise; güneşli ortamda, dış ortamda yapılan uçuşun yine %82 oranına yakın başarımla takip edilebildiği gözlemlenmiştir. Sonuçlara bakıldığında rüzgârın etkisi çok az da olsa yol çizgisini takip etmeyi zorlaştırdığı görülmekle birlikte görüntü kalitesi ile ışık etkisi en alt seviyede gözlemlenmektedir.

Çizelge 6.1 Işık ve rüzgârın yolda kalma oranına etkisi.

Işık	Rüzgâr	Yalpasız (%)	Yalpa ile (%)
Çok Yüksek	Yok	43	84
Az	Var	39	80
Yüksek	Var	41	82
Çok Yüksek	Var	41	82

BÖLÜM 7

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışmanın amaçlarına yönelik olarak İHA'nın denetimi bir çevirici devre ile bilgisayar destekli hazırlanan program çerçevesinde sağlanabilmektedir. İHA üzerindeki kameradan bilgisayara görüntü aktarımı yapılmaktadır. Bu çalışmada, seçilen bir yarı otonom İHA üzerinde görüntü işleme yazılımlarının ve TVAK metodunun uygulaması gerçekleştirilmiş ve gerçek zamanlı otonom bir sistem oluşturulmuştur. İHA'nın, rengi tanımlanmış yolu bulup takip edebildiği görülmüştür. Alınan görüntü sayesinde literatürde sıklıkla kullanılan görüntü işleme yöntemleri ve vektör alan kılavuzu yöntemi ile belirlenen çizgi takibi yapılmıştır. İzlenecek yol verisi görüntüden ayrıştırıldıktan sonra yolun takip edilecek kısmı belirlenmelidir. Bu amaçla renk filtresi işlemi sonrası oluşan görüntüye sırasıyla griye dönüştürme, kenar belirleme, eşik değer uygulama, inceltme, genişletme ve Hough çizgi tespiti filtreleri uygulanmaktadır. Bu sayede İHA'nın tespit edilen yöne doğru hareketi sağlanmıştır.

Yapılan testler sonrasında yalpanın, kameradan sağlıklı bir şekilde görüntü alınabilmesinde büyük rol oynadığı tespit edilmiştir. İHA üzerine takılan kameranın görüntü kalitesi yüksek olduğunda rota takibi için irtifanın önemli olmadığı fakat sürenin ve pil tüketiminin arttığı gözlemlenmiştir.

Günümüz teknolojisi ile ancak 10-12 dakikalık uçuş süresi olan İHA'ların ideal yükseklikte ve rüzgâr gücünün düşük olduğu hava şartlarında otonom uçuşlar ayarlanarak profesyonel işlerde kullanılabileceği düşünülmektedir. Uçuş için her bir işlemin tek tek gerçekleştirilmesi sağlanmakla birlikte bir bütün olarak test edilmesi de benzer hava şartlarında gerçekleştirilerek önemli sonuçlar elde edilmiştir. GPS modülü de eklenerek İHA'nın konumu belirlenip denetimin doğruluğu gözlemlenmiştir. Yalpa ile ve yalpasız alınan görüntülere göre izlenecek yolun bulunmasında rüzgâr ve ışık etkileri değerlendirilmektedir. Görüntü kalitesi ile başarı oranlarının arttığı, rüzgâr ve ışık etkisinin çizgi takibinde fazla etkili olmadığı sonucuna varılmaktadır.

Gelecekte batarya ömürlerinin uzayacağını var sayarsak, çizgi takibinin renk belirlenerek yapılmasının işlemi ciddi biçimde kolaylaştırıldığı göz önünde bulundurularak, GPS modülü ile birlikte geliştirilecek bir İHA yardımıyla, trafik şerit çizgileri takip edilerek, asfalt bir yolun görüntüsü alınıp bakım gereken yerler tespit edilebilir. Bu işlem esnasında TVAK, trafik çizgilerinin belirgin olmadığı yerlerde etkisiz kalacaktır. Bu hata GPS yardımıyla aşıp yola devam edildiği takdirde yolun görüntü kaydı mümkün olacak ve çizgi takibinin yapılamadığı kısımlar bakıma ihtiyacı olan bölgeleri belirtecektir.

İHA’larda görüntü işleme metotları, önceden belirlenmiş bir yolun takibinin yanı sıra, belirli nesnelerin takibi için de kullanılabilir veya nesnelere anlam yüklenip İHA’nın tespit ettiği nesneye göre kontrol kararı vermesi, yeni rotalar oluşturması sağlanabilir. Teknolojinin hızla ilerlemesi ile uçuş süresi gibi darboğaza sebep olan sıkıntılar aşıldıkça, İHA’lar ile yapılabilecek işler de artacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] **Pakkan B ve Ermiş M** (2010) İnsansız Hava Araçlarının Genetik Algoritma Yöntemiyle Çoklu Hedeflere Planlanması. *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 4 (3): 77-84.
- [2] **Cambone S A, Krieg K J, Pace P & Linton W** (2005). Unmanned Aircraft Systems Roadmap 2005-2030. *Office of the Secretary of Defense*, 8: 4-15.
- [3] **Geiger B, Horn J, DeLullo A, Niessner A & Long L** (2006) Optimal Path Planning of UAVs Using Direct Collocation with Nonlinear Programming. *AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference and Exhibit*, 21 – 24 Ağustos 2006, Keystone, Colorado, ABD, 6199.
- [4] **Chung C F, Göktogan A H, Cheang K and Furukawa T** (2006) Distributed Simulation of Forward Reachable Set-Based Control for Multiple Pursuer UAVs. *SimTecT 2006*, 29 Mayıs - 1 Haziran 2006, Melbourne, Victoria, Australia, *SimTecT 2006 Conference Proceedings*, ISBN: 0977525708, Simulation Industry Association of Australia, 171-177.
- [5] **Rasmussen S J, Mitchell J W, Chandler P R, Schumacher C J and Smith A L** (2005) Introduction to the MultiUAV2 Simulation and Its Application to Cooperative Control Research. *American Control Conference, 2005*. 8–10 Haziran 2005, Portland, Oregon, ABD, *American Control Conference, 2005. Proceedings of the 2005*, ISBN: 0-7803-9098-9, IEEE, 4490-4501.
- [6] **Stone H and Clarke G** (2001) Optimization of Transition Maneuvers for a Tail-Sitter Unmanned Air Vehicle (UAV). *Australian International Aerospace Congress (9th: 2001: Canberra, A.C.T.)*, 6-8 March 2001, Canberra, Australia, *The 9th Australian International Aerospace Congress: AIAC 2001*, ISBN: 0858257319, School of Aerospace and Mechanical Engineering, UNSW. Australian Defence Force Academy, Barton, Vol. 4, 105-119.
- [7] **Winstrand M** (2004) *Mission Planning and Control of Multiple UAVs*. System Technology Division, Swedish Defence Research Agency, Stockholm, 60 s.
- [8] **Wise R** (2006) UAV Control and Guidance for Autonomous Cooperative Tracking of a Moving Target. *PhD Thesis*, University of Washington, Aeronautics and Astronautics, Seattle, 55 s.
- [9] **Köksal K, Sürücü D, Sürücü M and Hacıoğlu R** (2014) Visual Line Tracking with Vector Field Guidance for UAV. *22nd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, 23-25 Nisan 2014, Trabzon, Türkiye, *Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), 2014 22nd*, ISBN: 978-1-4799-4874-1, IEEE, e-book, 646-649.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- [10] **Sürücü D, Sürücü M, Köksal K and Hacıoğlu R** (2015) Visual Tracking and Control of Unmanned Aerial Vehicle. *23rd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, 16-19 Mayıs 2015, Malatya, Türkiye, *Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), 2015 23th*, ISBN: 978-1-4673-7386-9 IEEE, e-book, 1849-1852.
- [11] **Singh S K, Chauhan D S, Vatsa M and Singh R** (2003) A Robust Skin Color Based Face Detection Algorithm. *Journal of Applied Science and Engineering*, 6 (4): 227-234.
- [12] **Kye Kyung K, Soo Hyun C, Hae Jin K and Jae Yeon L** (2005) Detecting and Tracking Moving Object Using an Active Camera. *2005 7th International Conference Advanced Communication Technology (ICACT)*, 21-23 Şubat 2015, Pyeong Chang-Goon, Kore, 817-820.
- [13] **AForge .NET Framework (2.2.5)** (2014) Adres: <http://www.aforgenet.com>.
- [14] **Pothen A A and Ratnoo A** (2017) Curvature Constrained Lyapunov Vector Field for Stand-off Target Tracking. *AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference*, 9-13 Ocak 2017, Grapevine, Texas, ABD, 1913-1923.
- [15] **Thakar S and Ratnoo A** (2017) Tangential Guidance Logic for Virtual Target Based Path Following. *AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference*, 9-13 Ocak 2017, Grapevine, Texas, ABD, 1042-1052.
- [16] **Ustundag B C, Kekeç İ T, Güney M A, Mundt P ve Unel M** (2013) İnsansız Hava Araçları İçin Donanımdan Bağımsız Yazılım Sistemi Geliştirilmesi. *Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı*, 26-28 Eylül 2013, Malatya, Türkiye, 605-610.
- [17] **WYVERN Quadrotor** (t.y.) Adres: <http://wyvernupenn.blogspot.com.tr>
- [18] **Demir B E, Bayır R and Duran F** (2016) Real-time Trajectory Tracking of an Unmanned Aerial Vehicle Using A Self-Tuning Fuzzy Proportional Integral Derivative Controller. *International Journal of Micro Air Vehicles*, 8 (4): 252-268.
- [19] **Bouabdallah S, Noth A and Siegwart R** (2004) PID vs LQ Control Techniques Applied to an Indoor Micro Quadrotor. *International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2004)*, 28 Eylül – 2 Ekim 2004, Sendai, Japonya, 2451-2456.
- [20] **Ang K H, Chong G and Li Y** (2005) PID Control System Analysis, Design and Technology. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 13 (4): 559-576.
- [21] **Bovik A C** (Ed.) (2000) *Handbook of Image and Video Processing*, 2nd edition, ISBN: 0-12-119792-1, Academic Press, Londra, 1372 s.
- [22] **Fei Z and de With P H N** (2005) Real-Time Embedded Face Recognition for Smart Home. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 51 (1): 183-190.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- [23] **Haiyan Y, Cuihua R and Xiaolin Q** (2008) A New Corner Matching Algorithm Based on Gradient. *ICSP 2008 9th International Conference on Signal Processing*, 26-29 Ekim 2008, Beijing, Çin, 1346-1349
- [24] **Loy G and Barnes N** (2004) Fast Shape-Based Road Sign Detection For A Driver Assistance System. *International Conference On Intelligent Robots And Systems (IROS 2004)*, 28 Eylül-2 Ekim 2004, Sendai, Japonya, 70-75.
- [25] **Piccardi M** (2004) Background Subtraction Techniques: A Review. *International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, 10-13 Ekim 2004, The Hague, Hollanda, 3099-3104.
- [26] **Gökçe F, Olgunsoylu S, Üçoluk G, Şahin E ve Kalkan S** (2014) Görüntü İşleme ile Mikro İnsansız Hava Araçlarının Algılanması. *İnci Türkiye Otonom Robotlar Konferansı*, 6-7 Kasım 2014, Ankara, Türkiye.
- [27] **Duda R O and Hart P E** (1972) Use of the Hough Transformation to Detect Lines and Curves in Pictures. *Communications of the ACM*, 15 (1): 11-15.
- [28] **Nelson D R, Barber D B, McLain T W and Beard R W** (2007) Vector Field Path Following for Miniature Air Vehicles. *IEEE Transactions on Robotics*, 23 (3): 519-529.
- [29] **Hongda C, Kuochu C and Agate C S** (2013) UAV Path Planning with Tangent-plus-Lyapunov Vector Field Guidance and Obstacle Avoidance. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 49 (2): 840-856.
- [30] **Altan A, Köksal K and Hacıoğlu R** (Baskıda), Vektör Alan Kılavuzu Yöntemi İle Görsel Çizgi Takibi İçin İnsansız Hava Aracı Üzerindeki Yalpanın Model Öngörülü Denetimi. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*.



ÖZGEÇMİŞ

Kerem KÖKSAL 1981’de Bursa’da doğdu. İlk ve orta öğretimini Bursa’da tamamladı. Bursa Ali Osman Sönmez Anadolu Teknik Lisesi Elektronik Bölümü’nden mezun olduktan sonra 1999 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik Öğretmenliği Bölümü’nde yüksek öğrenimine başladı. 2005’de mezun olduktan sonra Samir Bilişim’de satın alma, ürün yönetimi, e-ticaret görevlerini üstlendi. 2007 yılında Anka Seramik’te bilgi işlem sorumlusu, üretim analiz ve raporlama üzerine çalıştı. 2010 yılından bu yana Bülent Ecevit Üniversitesi Bilgi İşlem Daire Başkanlığı’nda yazılım birimi sorumlusu olarak Uzman kadrosunda görev yapmaktadır.

ADRES BİLGİLERİ:

Adres: Bülent Ecevit Üniversitesi
Merkez Kampüs Bilgi İşlem Daire Başkanlığı
Merkez / ZONGULDAK

Tel : (+90) 372 291 19 08

E-posta: keremkoksal@beun.edu.tr