



Çoklu İnsansız Hava Aracının (İHA) Koordineli Güdümü ve Yol Planlama

Program Kodu: 1001

Proje No: 110E192

Proje Yürütücüsü:
Prof. Dr. M. Kemal LEBLEBİCİOĞLU

Araştırmacılar:

Doç. Dr. İlkay Yavrucuk
Doç. Dr. Ender Ciğeroğlu

Bursiyerler:

Halit ERGEZER
Ferit ÇAKICI
Ümit AYDENİZ
Ufuk IRMAK
Mehran Ebadollahi NOUDEH
Mohammad ABDOLAHPOURİ
Anna PRACH
Emel SAĞLAM

NİSAN 2014
ANKARA

ÖNSÖZ

2011 yılının Nisan ayında, TÜBİTAK desteği alınarak başlayan “Çoklu İnsansız Hava Aracının (İHA) Koordineli Güdümü ve Yol Planlama” isimli ve 110E192 kodlu TÜBİTAK-1001 projemiz, üç sene sonra, 2014 yılının Nisan ayında sona ermiştir. Projenin temel konusu insansız hava araçları için yol planlama çalışmaları yapmaktır. Projenin ikinci tarafı ise, farklı büyüklükler ve çeşitlerdeki insansız hava araçlarının güdümlü (otomatik) olarak uçurulmasının sağlanması çalışmalarıdır. Projede, teorik ve laboratuvar çalışmalarının yanısıra, sürekli olarak gerçek uçuş testleri yapılmıştır.

İÇİNDEKİLER

Kapak Sayfası.....	i
Önsöz.....	ii
İçindekiler.....	iii
Şekiller.....	iv
Özet.....	v
Abstract.....	vi
1. Giriş.....	1
2. Problemin Tanımı.....	3
3. Problemin Çözümü.....	3
4. Uçuş Testleri.....	4
4.1. Sistem Test Uçuşları.....	4
4.1.1. Uçuş 1.....	4
4.1.2. Uçuş 2.....	5
4.1.3. Uçuş 3.....	6
4.1.4. Uçuş 4.....	6
4.2. Tek İHA Yol Planlama ile Uçuşlar.....	7
4.2.1. Uçuş 5.....	7
4.2.2. Uçuş 6.....	8
4.2.3. Uçuş 7.....	8
4.2.4. Uçuş 8.....	9
4.3. Çoklu İHA Yol Planlaması ile Uçuşlar.....	9
4.3.1. Uçuş 9 – 10.....	9
5. Sonuç.....	10
6. Gelecekteki Çalışmalar.....	11
7. Kaynaklar.....	11

Şekiller

1. Şekil 1. Rota planlamada Hedef Bölgeler (mavi) ve Yasak Bölgeler (kırmızı)	3
2. Şekil 2. Çoklu İHA için en fazla bilgi toplama maksatlı yol planlama.....	4
3. Şekil 3. Telemaster İHA Uçuş 1	4
4. Şekil 4. Elektro-Rookie İHA Uçuş 2	5
5. Şekil 5. Elektro-Rookie İHA Uçuş 3	6
6. Şekil 6. Elektro-Rookie İHA Uçuş 3	6
7. Şekil 7. FPV-Raptor İHA Uçuş 5	8
8. Şekil 8. FPV-Raptor İHA Uçuş 6	8
9. Şekil 9. FPV-Raptor İHA Uçuş 7	8
10. Şekil 10. FPV-Raptor İHA Uçuş 8	9
11. Şekil 11. 2 adet FPV-Raptor İHA'nın Birlikte Uçuşu; Uçuş 9	9
12. Şekil 12. 2 adet FPV-Raptor İHA'nın Birlikte Uçuşu; Uçuş 9	10

ÖZET

2011 yılının Nisan ayında, TÜBİTAK desteği alınarak başlayan “Çoklu İnsansız Hava Aracının (İHA) Koordineli Güdümü ve Yol Planlama” isimli ve 110E192 kodlu TÜBİTAK-1001 projemiz, üç sene sonra, 2014 yılının Nisan ayında sona ermiştir. Projenin temel konusu insansız hava araçları için yol planlama çalışmaları yapmaktır. Aynı anda birden fazla insansız hava aracının kullanılabilmesi kabul edilmiştir. Ayrıca, yol planlama çalışmaları, birden fazla araç havada iken, hareketli hedefler gözetilerek, gerçek zamanda da yapılmaktadır.

Projenin asıl konusu kadar önemli olan ikinci tarafı ise, farklı büyüklükler ve çeşitlerdeki insansız hava araçlarının güdümlü (otomatik) olarak uçurulmasının sağlanması çalışmalarıdır. Kanat açıklığı bir metreden üç metreye kadar olan sabit kanatlı sistemler (uçaklar) ve çok farklı yapılarıdaki döner kanatlı sistemler (quadrotors) projede kullanılan uçan cisimlerdir. Bu araçların üzerine, otopilot, araç bilgisayarı, kameralar, çeşitli alıcılar yerleştirilmiş, bunların kendi aralarındaki ve yer istasyonları ile haberleşmeleri (gerçek zamanda) sağlanmıştır.

Projede, kendi kendine uçabilecek kabiliyette uçan cisimlerin elde edilmesi, çok zaman alan “gömülü sistem” çalışmaları ile mümkün olmuştur. Bunları haricinde uçan cisimlerin matematiksel model katsayılarının elde edilmesine ve motor karakteristiklerinin ortaya çıkarılmasına yönelik deneyler ve test cihazları geliştirme konusunda da çalışmalar yapılmıştır.

Projenin, yaklaşık ikinci yarısında ise, teorik ve laboratuvar çalışmalarının yanısıra, sürekli olarak (haftada bir veya iki kere) uçuş testleri yapılmıştır. Bu testler için ODTÜ'deki bazı açık alanlar ve daha çok da Haymana yolu ile Temelli yakınlarındaki uygun araziler kullanılmıştır. İlgili görüntüler projenin web sayfasında verilmiştir (<http://cokiha.metu.edu.tr/index.html>).

Şu anda çalışmalarımız yeni modellerin inşası ve makaleler üretmek yolunda devam etmektedir.

ABSTRACT

The TÜBİTAK-1001 project named as “Çoklu İnsansız Hava Aracının (İHA) Koordineli GÜdümü ve Yol Planlama”, which started at April-2011 with the support of TÜBİTAK, has now, after three years, finished at Nisan-2014. The main aim of the project is to make studies on the path planning problems for multiple unmanned air vehicles. In addition, there are path planning studies for multiple air vehicles in real time, even for getting information from moving targets.

The second aspect of the project (which is as important as the first one) is the studies on building unmanned air vehicles of different sizes and types which can automatically perform guided flights. For this job, fixed wing systems (aircrafts) whose wing span ranges from one metre to three meters and rotary wing systems (quadrotors) have been used. These vehicles are equipped with autopilots, vehicle computers, cameras, and various sensors. Communication links between these vehicles and ground stations is also provided.

The autonomous flying capability of our vehicles was made possible by serious and long embedded system studies. Besides, many hours were spent in order to determine the model coefficients of our vehicles, to determine motor characteristics and to construct test systems to help us in determining these characteristics.

In the second half of the project, one or two times a week, field tests were performed. These tests have taken place in some empty areas in METU, and in suitable places along the way to Haymana, and near Temelli district. Some of the associated images and videos are shown in the project web page: (<http://cokiha.metu.edu.tr/index.html>).

Nowaday, we are still working in order to construct new flying vehicles and writing new publications.



1. GİRİŞ

Bu projede İnsansız Hava Araçları (İHA) için koordineli rota planlaması problemi incelenmiştir. Koordineli ve çoklu uçuş problemleri, İHA'lara duyulan ihtiyacın hem askeri hem de sivil uygulamalarda artmasıyla ortaya çıkmıştır. Belli bir amacı yerine getirme için, hem tek bir İHA'nın rota planlamasının, hem de birden fazla İHA'nın bir arada kullanılması ile ilgili konular incelenmiştir. Rota planlamadaki amaç, bugüne kadar yapılan birçok çalışmadan farklı olarak, sabit görev zamanında ilgilenilen bölgeden en çok bilginin toplanması olarak belirlenmiştir, Ergezer ve Leblebicioğlu (2011), (2012-a), (2012-b), (2013-a), (2013-b), (2013-c), (2014), Ergezer (2013), Leblebicioğlu (2013).

Proje kapsamında gerçekleştirilen uçuşlarda öncelikle tek İHA için rota planlama incelenmiştir. Planlanan rotanın amacı, İHA'nın görev bölgesi içerisinde belirlenen bölgelerden, en çok bilgiyi toplarken, girilmesi yasaklanan bölgelerden de geçmeyecek şekilde uçuşunu gerçekleştirerek belirlenen son noktaya ulaşmasıdır. Bu algoritma bu güne kadar literatürde önerilen yöntemlerden farklı olarak, insan rota planlayıcısının davranışlarını taklit eden operatörleri de kapsamaktadır. Elde edilen sonuçlarla, görev planlama konularında yapılacak çalışmalar için probleme özel operatör tanımlanması gereği ortaya konulmuştur. Ayrıca algoritma rota-arama uzayının indirgenmesini sağlayacak ara adımları sayesinde evrensel en iyi çözüme yakın çözümler üretmektedir. İkinci olarak, önerilen bu algoritma, üç boyutlu ortamda ve birden fazla İHA için yol planlaması problemine uygun olacak şekilde geliştirilmiştir. Bu çalışmaların temelinde de tek İHA için önerilen algoritmada olduğu gibi arama uzayının indirgenmesi yöntemlerinin geliştirilmesi vardır. Çoklu İHA rota planlamasında problem çoklu gezgin satıcı problemi şeklinde modellenerek, birden fazla tek İHA için rota planlama problemine dönüştürülmüştür.

İncelenen diğer konu çoklu İHA için rota planlama problemidir. Bu problemde belirlenen bölgelerden toplanacak anlık bilgi miktarının ençoklanması için, İHA'ların rotalarının nasıl planlanacağı işlenmiştir. Ençoklama işlemi İHA'ların koordineli olarak güdümlenmesi ile gerçekleştirilmiştir. Koordinasyon, bilgi toplama görevinin gerçekleştirilmesi gereken bölgelerin anlık olarak İHA'lara atanması şeklinde yapılmaktadır. Bu atama işlemi merkezi karar verici tasarlanarak gerçekleştirilmiştir, Ergezer (2013), Ergezer ve Leblebicioğlu (2014).

En çok bilginin toplanması maksadıyla tek bir İHA için ve çoklu İHA'lar için oluşturulan uçuş planları, otonom uçuş kabiliyeti kazandırılan model uçaklarla gerçek zamanlı uygulanarak, uçuşlar gerçekleştirilmiştir. Proje kapsamında yapılan uçuşların ve hazırlanan dokümanların bir kısmı <http://cokiha.metu.edu.tr/> adresinde bulunmaktadır.

İkinci bölümle devam etmeden önce projenin başından beri yapılan (ve tam anlamı ile bitirilemeyen işlerin bir özetini aşağıda maddeler halinde vermek istiyoruz:

- 1 İnsansız hava aracı (İHA) sistem tasarımı yapılmıştır. Bu tasarım, araç bilgisayarını, güç birimlerini, kameraları, elevator, aileron ve rudder motorlarını ve bunların sürücülerini, aracın asıl itici motorunu ve sürücüsünü, otopilot kartını, diğer algılayıcı ve ölçüm

- birimlerini, pusula ve GPS birimlerini, yer istasyonu ile haberleşmeyi ve yer istasyonunun kendisini içermektedir.
- 2 Yer control istasyonu tasarımı, yazılımı ve donanım detayları ortaya çıkarılmıştır. Yazılım internetten parasız olarak indirilmiş ve kullanılmaktadır. Farklı uzaktan kumanda cihazları satın alınmış ve uçaklar ile dönerkanatlıların kontrolünde kullanılmaktadır.
 - 3 Uçuş control birimi olarak kullanılacak Arduino kartı satın alınmış, programlanması öğrenilmiş ve doğrudan uçağa konup kullanılacak hale getirilmiştir. Bu kart ve yazılımla birlikte gelen alıcıların nasıl çalıştığı ve kullanıldığı anlaşılmıştır. Şu anda Ardu kartı ile doğrudan servolara kumanda edebiliyoruz, kartın programlama dilini çok iyi öğrendik ve kartı programlıyabiliyoruz.
 - 4 Görev bilgisayar tasarımı yapılmış ve uygun bir kart seçilmiştir. PC-104 tabanlı çok pahalı, ağır ama kullanımı görece daha kolay bir system yerine, Beagle Board adı verilen, yeni piyasaya çıkan ucuz ama çok kapasiteli bir kartın kullanılmasına karar verilmiştir. Bu kart üzerinde bazı çalışmalar yapılmış ve seçimin doğruluğundan emin olunmuştur. Beagle Board kartının çalıştırılması, diğer elektronik ekipmanlarla (bilhassa Arduino ile) bilgi alışverişinin sağlanması, kart üzerinde hangi MATLAB fonksiyonlarının çalışabileceğinin anlaşılması ve benzeri çalışmalar yapılmıştır. Maalesef Beagle Board üzerinde ciddi MATLAB fonksiyonlarını doğrudan çalıştıramadık. Diğer alternatif olan s-fonksiyonları ve/veya C kodlarının çalıştırılması üzerine yoğunlaşacağız.
 - 5 İHA'ların matematiksel modellerinin elde edilmesi proje başlamadan önce zaten yeterince detaylı bir şekilde birçok çalışmada yapılmış durumdaydı. Bu konuda, proje boyunca biz sistem tanımlama çalışmalarına ağırlık verdik. Bilhassa laboratuvar ortamında yapılabilecek ölçümlerle motor parametrelerinin elde edilmesi konusunda yoğunlaştık. Farklı test düzeneklerinde ölçümler yapıldı ve parametreler elde edildi. Uçuş testlerinden diğer parametrelerin (stability derivatives) elde edilmesi için bizdeki İHA'larda giriş sinyallerinin ölçülmesine gerek olmadığını kabul ettik (ne giriş verilirse kanatçıkların, neredeyse anında o girişi gerçekleştirdikleri kabul edildi). Ancak uçuş testlerinden toplanan bilgilerin böyle bir sistem tanımlama yapılmasına izin verecek hassasiyette olmadığı anlaşıldı. Buradaki sorun GPS datasının kötü olması. İleride DGPS türü cihazları kullanarak bu deneyleri tekrarlamak istiyoruz.
 - 6 Çoklu İHA için yol planlama çalışmalarında oldukça genel bir gider + objektif fonksiyon seçilmiştir. Bu fonksiyon edinilen bilgiyi artırmaya çalışırken aynı zamanda, istendiği takdirde enerji harcamasını ve yol uzunluğunu da azaltmaya yönlendirilebilir. Önce tekli İHA için sabit yükseklikteki İHA'lar için yapılan çalışmalar, Ergezer ve Lelebicioğlu (2011), (2012-a), (2013-c), Lelebicioğlu (2013), Ergezer (2013), sonra çoklu İHA'lar için değişken yükseklikte uçan İHA'lara genellenmiştir, Ergezer ve Lelebicioğlu (2012-b), (2013-a), (2013-b), (2014), Lelebicioğlu (2013), Ergezer (2013). Gerçek zamanda, çoklu İHA için yol planlama çalışmaları büyük oranda bitirilmiş ve tatminkar sonuçlar alınmıştır Ergezer (2013). Bu çalışmaların makale haline getirilmesi ve farklı kısıt ve koşullar altındaki durumlara genellemesi yönünde çalışmalar devam etmektedir.
 - 7 Otomatik iniş konusunda bu proje başlamadan önce iki adet yüksek lisans tezi bitirilmiştir. Bu proje dahilinde otomatik inişin

- “robust” hale getirilmesi konusunda çalışmalara başlanmıştır. Bu çalışmalar şu anda bir yüksek lisans tezi olarak devam etmektedir.
- 8 Projenin ilk senesinden sonra, nerede ise her hafta sonu, bazen de hafta içlerinde, uçuş testlerine gidilmiştir. Bu testler sırasında birçok irili ufaklı kırım meydana gelmiştir. Genellikle inişler sorun yaratmaktadır. Proje ekibimize lisanslı bir pilot arkadaşımız katıldıktan sonra bu sorunların üstesinden gelmeyi başardık. Şu anda, aynı anda 2-3 İHA kullanarak görüntü aktarımlı ve yol planlamalı uçuşlar yapabiliyoruz. Bunların çok az bir kısmı projenin web sayfasında verilmiştir: (<http://cokiha.metu.edu.tr/index.html>).

2. PROBLEMİN TANIMI

Yol planlama, mevcut kısıtlar göz önünde bulundurularak, ziyaret edilmesi istenen noktalar arasında bir rota belirlenmesi olarak tanımlanır, Ergezer (2013), Ergezer ve Lelebicioğlu (2013-c), Ergezer ve Lelebicioğlu (2014). Bu projede kritik kısıtlar, Hedef Bölgeler (HB) ve Yasak Bölgeler (YB) olarak tanımlanmıştır. Şekil 1’de gösterildiği üzere, görev alanı içinde belirlenen HB’ler mavi ile YB’ler ise kırmızı renkle işaretlenmiştir.

Şekil 1. Rota planlamada Hedef Bölgeler (mavi) ve Yasak Bölgeler (kırmızı).

(Şekil 1. çoklu ortam dosyaları arasındadır.)

Bu çerçevede yol planlama problemi, İHA’ların mavi noktalar üzerinden uçarken, kırmızı noktalara uğramaması olarak somutlaştırılmıştır. Buradaki hedef, başlama ve bitiş noktası verilen bir İHA için en fazla bilginin elde edilmesi maksadıyla HB’ler üzerinden ve YB’lerden kaçınarak uçabilmesi maksadıyla yok planlama probleminin çözülmesi için en iyi yöntemi bulmaktır. Bu problem için belirlenen kabullenmeler aşağıda sunulmuştur;

- Her İHA’nın uçuş anında altındaki bölgeyi görüntüleyen bir kamerası vardır.
- HB’ler ve YB’ler arasında kesişme yoktur.
- Kameranın açılma durumu ihmal edilmiştir.
- Başlangıç ve bitiş noktaları HB veya YB olamaz.
- Uçuş bölgesindeki yeryüzü şekillerinin gölgeleme etkisi ihmal edilmiştir.
- Her YB yalnızca bir İHA tarafından ziyaret edilecektir.
- Her İHA’nın enerjisi kısıtlıdır; mevcut enerjiyle maksimum sayıda HB ziyaret edilecektir.

3. PROBLEMİN ÇÖZÜMÜ

En fazla bilgi elde edilmesi maksadıyla yasak noktalara uğramadan hedefler üzerinden yapılacak bir uçuş için yol planlaması probleminin çözümü için genetik algoritma ve çoklu seyahat eden satıcı yöntemi kullanılmıştır, Ergezer (2013), Ergezer ve Lelebicioğlu (2011), (2012-a), (2012-b), (2013-a), (2013-b), (2013-c), (2014), Ergezer (2013), ve Lelebicioğlu (2013).

Tek bir İHA için HB'ler ve YB'ler Şekil 2.'de gösterilen durum için tanımlanmış ve çözüm yöntemi kullanarak en yüksek bilginin elde edilmesi maksadıyla hava aracının takip etmesi gereken rota belirlenmiştir.

Şekil 2. Çoklu İHA için en fazla bilgi toplama maksatlı yol planlama.

(Şekil 2. çoklu ortam dosyaları arasındadır)

4. UÇUŞ TESTLERİ

Uçuş testleri, sabit kanat ve döner kanat platformlarla Ankara çevresinde tespit edilen uçuş alanlarında gerçekleştirilmiştir. Uçuş testleri üç ana bölümde gerçekleştirilmiştir. Birinci bölümde hava aracı, video sistemi, otopilot, güç sistemi, telemetri ile veri aktarımı vb. fonksiyonların test edilmesi maksadıyla sistem testleri gerçekleştirilmiştir. İkinci aşama tek İHA'nın en fazla bilgi toplama maksatlı yol planlama yöntemi ile planlanan uçuş rotasının gerçek zamanlı olarak uçuşunun sağlanmasıdır. Üçüncü aşamada ise çoklu İHA'nın yol planlama yöntemi ile planlanan uçuşları hayata geçirilmiştir. Aşağıdaki bölümde bu uçuşların bazılarını yer verilmiştir.

4.1. Sistem Test Uçuşları

Sistem test uçuşlarının hedefi, yol planlama ile uçuş öncesinde uçuşa hazırlanan bir İHA platformunun bütün fonksiyonlarıyla çalışır hâle getirmektir. Sisteminin fonksiyonel olarak, belirlenen uçuş noktalarını otonom olarak takip ederek uçuşu sağlaması en az gereksinim olarak belirlenmiştir. Sistem test uçuşları sırasında otopilot kaynaklı, küresel konumlama sistemi kaynaklı ve mekanik arızalardan kaynaklı arızalar sonucunda oluşan olumsuzluklar uçuş verilerinin incelenmesi yöntemiyle arızalar tespit edilmiş, giderildikten sonra tekrar uçuş testleri ile doğrulanmıştır. Sonuç olarak; yalnızca sistem test uçuşları sonucunda başarılı bulunan sistemler yol planlamalı uçuşlarda kullanılmıştır.

4.1.1. Uçuş 1

Hava Aracı : Telemaster
Kalkış Ağırlığı : 7,5 kg
UKB : ArduPilot Mega
Uçuş Süresi : 10 dk



Şekil 3. Telemaster İHA Uçuş 1.

(Şekil 3. çoklu ortam dosyaları arasındadır)

Yaklaşık 10 dakika süren uçuşta, elle kontrol ile kalkış yapılmış, kararlı mod, daire uçuşu yapılmış ve daha önceden planlanan uçuş noktaları üzerinden geçecek şekilde yere göre 100 metre yükseklikte otonom uçuş gerçekleştirilmiştir.

7,5 kg ağırlığında olan İHA platformu 5S'lik LiPo (22,5 V) batarya ile beslenmiş ve uçuş sırasında bataryadan çekilen akımın 35-40 A arasında olduğu gözlemlenmiştir. Kalkış öncesi 21,5 V olan batarya voltajının, uçuş sonunda 21,2 V olduğu tespit edilmiştir. Hava aracının, 780-900 W aralığında güç harcadığı ve keskin manevralar sırasında güç tüketiminin arttığı tespit edilmiştir. Haberleşme sisteminden alınan verilerin RSSI (Recieved Signal Strength Indicator) değerinin, hava aracının yakın mesafede (300 metre) olmasından dolayı % 93'ün altına düşmediği görülmüştür.

Hava aracının 18-33 m/s hızında gerçekleştirdiği uçuşta, rüzgarın arkadan geldiği durumlarda en yüksek uçuş hızları elde edilmiştir. Uçuş sonunda, elle kontrol ile iniş sağlanmıştır. Uçuş sırasında otopilot modlarının (elle kontrol, kararlı, otonom, daire çizme), UKB tarafından başarıyla gerçekleştirildiği gözlemlenmiştir.

4.1.2. Uçuş 2

Hava Aracı : Electro-Rookie
Kalkış Ağırlığı : 1,2 kg
UKB : ArduPilot Mega 2.5
Uçuş Süresi : 14 dk



Şekil 4. Elektro-Rookie İHA Uçuş 2.

(Şekil 4. çoklu ortam dosyaları arasındadır)

Yaklaşık 14 dakika süren uçuşta, elle kontrol ile kalkış yapılmış, kararlı mod, daire uçuşu yapılmış ve daha önceden planlanan uçuş noktaları üzerinden geçecek şekilde yere göre 50 metre yükseklikte otonom uçuş gerçekleştirilmiştir.

İHA platformu 3S'lik LiPo (11,1 V) batarya ile beslenmiş ve uçuş sırasında bataryadan çekilen akımın 2-8 A arasında olduğu gözlemlenmiştir. Kalkış öncesi 12,0 V olan batarya voltajının, uçuş sonunda 11,1 V olduğu tespit edilmiştir. Hava aracının, 22-88 W aralığında güç harcadığı ve keskin manevralar sırasında güç tüketiminin arttığı tespit edilmiştir. Haberleşme sisteminden alınan verilerin RSSI (Recieved Signal Strength Indicator) değerinin, hava aracının yakın mesafede (300 metre) olmasından dolayı % 90'ın altına düşmediği görülmüştür.

Hava aracının 8-16 m/s hızında gerçekleştirdiği uçuşta, rüzgarın arkadan geldiği durumlarda en yüksek uçuş hızları elde edilmiştir. Uçuş sonunda, elle kontrol ile iniş sağlanmıştır. Uçuş sırasında otopilot modlarının (elle kontrol, kararlı, otonom, daire çizme ve eve dönüş), UKB tarafından başarıyla gerçekleştirildiği gözlemlenmiştir.

4.1.3. Uçuş 3

Hava Aracı : Electro-Rookie
Kalkış Ağırlığı : 1,2 kg
UKB : ArduPilot Mega 2.5
Uçuş Süresi : 12 dk



Şekil 5. Elektro-Rookie İHA Uçuş 3.

(Şekil 5. çoklu ortam dosyaları arasındadır)

Yaklaşık 12 dakika süren uçuşta, elle kontrol ile kalkış yapılmış, kararlı mod, daire uçuşu yapılmış ve daha önceden planlanan uçuş noktaları üzerinden geçecek şekilde yere göre 100 metre yükseklikte otonom uçuş gerçekleştirilmiştir.

İHA platformu 3S'lik LiPo (11,1 V) batarya ile beslenmiş ve uçuş sırasında bataryadan çekilen akımın 2-8 A arasında olduğu gözlemlenmiştir. Kalkış öncesi 11,0 V olan batarya voltajının, uçuş sonunda 10,7 V olduğu tespit edilmiştir. Hava aracının, 22-88 W aralığında güç harcadığı ve keskin manevralar sırasında güç tüketiminin arttığı tespit edilmiştir. Haberleşme sisteminden alınan verilerin RSSI (Recieved Signal Strength Indicator) değerinin, hava aracının yakın mesafede (300 metre) olmasından dolayı % 87'nin altına düşmediği görülmüştür.

Hava aracının 8-18 m/s hızında gerçekleştirdiği uçuşta, rüzgarın arkadan geldiği durumlarda en yüksek uçuş hızları elde edilmiştir. Uçuş sonunda, elle kontrol ile iniş sağlanmıştır. Uçuş sırasında otopilot modlarının (elle kontrol, kararlı, otonom, daire çizme, yönlendirilmiş ve eve dönüş), UKB tarafından başarıyla gerçekleştirildiği gözlemlenmiştir.

4.1.4. Uçuş 4

Hava Aracı : Electro-Rookie
Kalkış Ağırlığı : 1,2 kg
UKB : ArduPilot Mega 2,5
Uçuş Süresi : 9 dk



Şekil 6. Elektro-Rookie İHA Uçuş 3.

(Şekil 6. çoklu ortam dosyaları arasındadır)

Yaklaşık 9 dakika süren uçuşta elle kontrol ile kalkış yapılmış, kararlı mod, daire uçuşu yapılmış ve daha önceden planlanan uçuş noktaları üzerinden geçecek şekilde yere göre 100 metre yükseklikte otonom uçuş gerçekleştirilmiştir.

İHA platformu 3S'lik LiPo (11,1 V) batarya ile beslenmiş ve uçuş sırasında bataryadan çekilen akımın 2-9 A arasında olduğu gözlemlenmiştir. Kalkış öncesi 11,5 V olan batarya voltajının, uçuş sonunda 10,9 V olduğu tespit edilmiştir. Hava aracının, 22-99 W aralığında güç harcadığı ve keskin manevralar sırasında güç tüketiminin arttığı tespit edilmiştir. Haberleşme sisteminden alınan verilerin RSSI (Recieved Signal Strength Indicator) değerinin, hava aracının yakın mesafede (500 metre) olmasından dolayı % 85'nin altına düşmediği görülmüştür.

Hava aracının 9-18 m/s hızında gerçekleştirdiği uçuşta, rüzgarın arkadan geldiği durumlarda en yüksek uçuş hızları elde edilmiştir. Uçuş sonunda, elle kontrol ile iniş sağlanmıştır. Uçuş sırasında otopilot modlarının (elle kontrol, kararlı, otonom, daire çizme, yönlendirilmiş ve eve dönüş), UKB tarafından başarıyla gerçekleştirildiği gözlemlenmiştir.

4.2. Tek İHA Yol Planlama ile Uçuşlar

Uçuş testlerinin ikinci aşamasında tek İHA'nın en fazla bilgi toplama maksatlı yol planlama yöntemi ile planlanan uçuş rotasının gerçek zamanlı olarak uçuşu sağlanmıştır. Öncelikle uçuş yapılacak bölgede Hedef Bölgeler ve Yasak Bölgeler belirlenmiştir. Belirlenen durum için yol planlama algoritmasının çalıştırılması sonucunda en fazla bilgi toplanması maksadıyla otomatik olarak bir uçuş planı elde edilmiştir. Elde edilen uçuş planı üzerinin İHA'nın otonom uçuşuyla gerçekleştirilmesinden önce güdümün sağlıklı olarak gerçekleştirilebilmesi maksadıyla veri seyreltmesi yapılmıştır. Bu çerçevede hazırlanan uçuş planı ile gerçekleştirilen uçuşlar sonucunda, İHA'nın beklendiği üzere Hedef Bölgeleri dolaştığı ve Yasak Bölgelerden geçmediği görülmüştür. Uçuş sırasındaki hava şartlarının ve otopilotun manevra hassasiyetinin, ideal rotayı takip edilmesini engellediği gözlemlenmiştir. Ancak elde edilen sonuçların simülasyon ortamında elde edilen sonuçlara yakın olduğu değerlendirildiğinden, geliştirilen yöntemin gerçek dünyada da uygulanabileceği değerlendirilmiştir.

4.2.1. Uçuş 5

Hava Aracı : FPV-Raptor
Kalkış Ağırlığı : 1,6 kg
UKB : ArduPilot Mega 2.5
Uçuş Süresi : 22 dk



Öncelikle uçuş bölgesinde Hedef Bölgeler mavi ile, Yasak Bölgeler ise kırmızı renkle işaretlenmiş ve yol planlama algoritmasıyla uçuş planı oluşturulmuştur. Hedef Bölgeler üzerinden geçerek ve Yasak Bölgelerden kaçınarak gerçekleştirilen uçuştan bir görüntü Şekil 7.'de sunulmuştur.

Yaklaşık 22 dakika süren uçuşta elle kontrol ile kalkış yapılmış, yol planlama algoritmasıyla oluşturulan uçuş planına göre uçuş yapılmış ve uçuş sonunda yine elle kontrol edilerek başarılı bir şekilde iniş yapılmıştır.

Şekil 7. FPV-Raptor İHA Uçuş 5.

(Şekil 7. çoklu ortam dosyaları arasındadır)

4.2.2. Uçuş 6

Hava Aracı : FPV-Raptor
Kalkış Ağırlığı : 1,6 kg
UKB : ArduPilot Mega 2.5
Uçuş Süresi : 18 dk



Uçuş 5 ile aynı bölgedeki uçuş senaryosunun değiştirilmesi maksadıyla, Hedef Bölgelerin ve Yasak Bölgelerin yerleri değiştirilmiştir. Yol planlama algoritmasının çalıştırılması sonucunda elde edilen uçuş noktaları Şekil 8.'deki yer kontrol istasyonu vasıtasıyla hava aracı üzerine yüklenmiştir.

Otonom uçuşlar sırasında uçağın Hedef bölgeler üzerinden geçtiği ancak sabit kanatlı tipte olmasından dolayı sahip olduğu ileri hız ile hedefi geçtikten sonra savrulduğu görülmüştür. Bu durumun hava aracının dinamikleriyle ilgili olduğundan normal olduğu değerlendirilmiştir.

Şekil 8. FPV-Raptor İHA Uçuş 6.

(Şekil 8. çoklu ortam dosyaları arasındadır)

4.2.3. Uçuş 7

Hava Aracı : iFlight 450 Quadrotor
Kalkış Ağırlığı : 1,1 kg
UKB : ArduPilot Mega 2.5
Uçuş Süresi : 20 dk



ODTÜ içinde Quadrotor ile gerçekleştirilen uçuş öncesinde oluşturulan senaryo dahilinde Hedef Bölgelerin ve Yasak Bölgelerin yerleri belirlenerek yol planlama algoritması vasıtasıyla uçuş planı oluşturulmuştur. Bu uçuşta Quadrotor tipindeki İHA'nın hedef noktalarının yakınından geçebildiği ve geçtikten sonra diğer hedefe giderken planlanan rotayı takip edemediği, Şekil 8.'de gösterilen sabit kanatlı İHA gibi savrulmadığı gözlemlenmiştir. Bunun nedeni Quadrotorun yapısı itibarıyla havada kalma kabiliyeti ve hızlı olarak üzerine etkiyen kuvvetleri değiştirebilmesi nedeniyle elde edilebilmektedir.

Şekil 9. FPV-Raptor İHA Uçuş 7.

(Şekil 9. çoklu ortam dosyaları arasındadır)

4.2.4. Uçuş 8

Hava Aracı : iFlight 450 Quadrotor
Kalkış Ağırlığı : 1,1 kg
UKB : ArduPilot Mega 2.5
Uçuş Süresi : 12 dk



Şekil 9.'da gösterilen uçuş ile aynı bölgede Hedef Bölgeleri ve Yasak Bölgeler değiştirilerek yol planlama güncellenerek bir uçuş gerçekleştirilmiştir. Yasak Bölgeler seçilirken Hedef Bölgeleri arasında bir açıklık bırakılmıştır. Uçuş planı çerçevesinde İHA Hedef Bölgelerini dolaşırken bu boğazın içinden geçmiştir. Bu uçuşta uçuş planından dolayı daha keskin dönüşler yapan Quadrotor başarılı bir şekilde uçuşu gerçekleştirmiştir.

Şekil 10. FPV-Raptor İHA Uçuş 8.

(Şekil 10. çoklu ortam dosyaları arasındadır.)

4.3. Çoklu İHA Yol Planlaması ile Uçuşlar

Çoklu İHA uçuşlarında, birbirine benzer yapıdaki hava araçları farklı frekanslardaki RC kumanda ve modemler kullanıldığından frekans karışması yaşanmadan sağlıklı uçuşlar yapılabilmektedir. Birlikte çalışabilirlik konusunda yapılan yer testlerinde ve müteakiben uçuş testlerinde aynı frekanslar kullanılmadıkça problem görülmemiştir. Çoklu İHA uçuşu için geniş bir uçuş alanı tercih edilmiştir. Seçilen uçuş alanı içinde Hedef Bölgeleri ve Yasak Bölgeler belirlendikten sonra çalıştırılan yol planlama algoritmasının, Hedef Bölgelerini İHA'lara paylaşılacak şekilde bir görev bölümü yaptığı Şekil 11. ve Şekil 12.'de görülmektedir. Uçuş planları hava araçlarına yüklendikten sonra önce birinci İHA'nın uçuşu elle başlatılmış ve uçak havadayken otonom moda alınmıştır. Müteakiben yine elle havalandırılan 2'nci hava aracı da otonom moda alınarak iki İHA'nın aynı anda daha önceden yol planlama algoritmasıyla belirlenmiş uçuş planlarını takip ederek hedefler üzerinden başarıyla uçtuğu gözlemlenmiştir.

4.3.1. Uçuş 9-10

Hava Aracı : 2 adet FPV-Raptor
Kalkış Ağırlığı : 1,6 kg
UKB : ArduPilot Mega 2.5
Uçuş Süresi : 10-23 dk



Şekil 11. 2 adet FPV-Raptor İHA'nın Birlikte Uçuşu; Uçuş 9.
(Şekil 11. çoklu ortam dosyaları arasındadır)

Şekil 12. 2 adet FPV-Raptor İHA'nın Birlikte Uçuşu; Uçuş 9.

(Şekil 12. çoklu ortam dosyaları arasındadır)

5. SONUÇ

Bu projede, çoklu İHA'nın 3-boyutlu ortamda en fazla bilgi elde etmesi amacıyla yol planlaması yapılarak, otonom özellik kazandırılmış model uçaklarla gerçek uçuşlar gerçekleştirilmiştir.

Bir arazi üzerinde Hedef Bölgeler ve Yasak Bölgelerin kullanıcı tarafından belirlenmesinden sonra, genetik algoritmanın ve çoklu gezgin satıcı yöntemlerinin birlikte kullanılmasıyla geliştirilen yöntem ile her hedefin bir hava aracı tarafından ziyaret edilecek ve yasak bölgelerden üzerinden uçuş yapılmayacak şekilde otomatik olarak hazırlanan yol planı, simülasyon ortamında ve gerçek uçuşla test edilerek başarıyla uygulandığı gözlemlenmiştir.

Uçuşlar sonucunda, İHA'nın beklendiği üzere Hedef Bölgeleri dolaştığı ve Yasak Bölgelerden geçmediği görülmüştür. Uçuş sırasındaki hava şartlarının ve otopilotun manevra hassasiyetinin, ideal rotayı takip edilmesini engellediği gözlemlenmiştir. Ancak elde edilen sonuçların simülasyon ortamında elde edilen sonuçlara yakın olduğu değerlendirildiğinden, geliştirilen yöntemin gerçek dünyada da uygulanabileceği değerlendirilmiştir.

Çoklu hedeflerin belirlendiği ve bir İHA ile uçuş zamanı bakımından bütün hedeflerin gözlenmesi mümkün olmadığı veya hedeflerin hepsinin kısa bir zaman içinde gözlemlenebilmesi amacıyla aynı anda birden fazla İHA uçurulmasında bu algoritma ile belirlenen yol planlamalarının kullanılabileceği kıymetlendirilmektedir.

Önemli not: Bu rapor, projede yapılan çalışmaların çok kısa bir özetini içermektedir. Daha çok teorik olarak elde edilen sonuçların gerçek İHA'lar kullanılarak gerçekleşmesi ve uçuş kabiliyetimizin ortaya çıkarılmasını göstermek üzerinde durulmuştur.

6. GELECEKTEKİ ÇALIŞMALAR

Bu projede başarıyla tamamlanan maksimum bilgi toplama amacıyla uçuş için yol planlama ve uygulama ile gösteriminin gerçek-zamanlı olarak hareketli durumdaki Hedef Bölgesi ve Yasak Bölgelere uygulanmasına yönelik çalışmalar devam etmektedir. Bu çalışmalarda birlikte uçan İHA'ların birbirleriyle haberleşmesinin sağlanarak, yol planlaması algoritmasının yer kontrol istasyonu yerine kendi üzerlerinde bulunan bilgisayarlarla hareketli hedeflere ve diğer İHA'ların pozisyonlarına göre anlık olarak yapılması ve uçuş testleriyle elde edilen uçuş planlarının uygulanması hedeflenmektedir.

Ayrıca, bu projede elde edilen tecrübe, donanım ve insan gücü ile döner kanat İHA'ların görev başarımlarının artırılması amacıyla geometrik,

aerodinamik ve kontrol alanlarında araştırmaların yapılması ve uygun görölmesi hâlinde bu araştırmanın bir proje olarak yürütölmesi mütalaa edilmektedir.

7. KAYNAKLAR

- [1] Ergezer H., Leblebicioğlu K., 2011. "Planning unmanned aerial vehicle's path for maximum information collection using evolutionary algorithms, IFAC World Congress.
- [2] Ergezer H., Leblebicioğlu K., 2012. "Çoklu insansız hava araçları için güzergah planlaması", SİU'2012.
- [3] Ergezer H., Leblebicioğlu K., 2012. "İnsansız hava araçları için 3 boyutlu ortamda rota planlama", SAVTEK'2012.
- [4] Ergezer H., Leblebicioğlu K., 2013. "3D Path Planning for Multiple UAVs for Maximum Information Collection", 2013 International Conference on Unmanned Aircraft Systems, ICUAS'13.
- [5] Ergezer H., Leblebicioğlu K., 2013. "İnsansız Hava Araçları için En Çok Bilginin Toplanacağı 3b Güzergah Planlaması", SİU'2013,.
- [6] Ergezer H., 2013., "Rota Planlama ve Çoklu İnsansız Hava Araçlarının Koordineli Güdümü", Doktora Tezi, Ortadođu Teknik Üniversitesi.
- [7] Ergezer H., Leblebicioğlu K. 2013. "Path planning for UAVs for maximum information collection", IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems, 49 (1), 502-520.
- [8] Leblebicioğlu K. 2013 (Uluslararası kongre açış konuşması), "Path Planning for Unmanned Aerial Vehicles", 20th International Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice, (M2ViP 2013).
- [9] Ergezer H., Leblebicioğlu K. 2014. "3D Path planning for multiple UAVs for maximum information collection", Journal of Intelligent Robotic Systems, 73 (1-4), SI, 737-762.

TÜBİTAK
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje Yürütücüsü:	Prof. Dr. MEHMET KEMAL LEBLEBİCİOĞLU
Proje No:	110E192
Proje Başlığı:	Çoklu İnsansız Hava Aracının (İHA) Koordineli Güdümü ve Yol Planlama
Proje Türü:	Araştırma
Proje Süresi:	36
Araştırmacılar:	İLKAY YAVRUCUK, ENDER CİĞEROĞLU
Danışmanlar:	
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi:	ORTA DOĞU TEKNİK Ü. MÜHENDİSLİK F. ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ B.
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri:	01/04/2011 - 01/04/2014
Onaylanan Bütçe:	397150.0
Harcanan Bütçe:	213753.4
Öz:	<p>ÇOKLU İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ KOORDİNELİ GÜDÜMÜ VE YOL PLANLAMA projesinde yapılan işleri aşağıdaki maddeler halinde özetleyebiliriz:</p> <ol style="list-style-type: none">1-) İnsansız uçaklar ve döner kanatlı sistemlerin matematiksel modelleri elde edildi.2-) Bu tip araçlar için otopilot ve güdüm algoritmaları geliştirildi.3-) İnsansız uçaklar için 2 ve 3 boyutlu ortamlarda maksimum bilgiyi elde edecek yol planlama çalışmaları yapıldı. Bir dergi makalesi çıkarıldı.4-) Birden fazla insansız uçak için maksimum bilgiye yönelik yol planlama çalışmaları yapıldı. Bir dergi makalesi çıkarıldı.5-) Yukarıda bahsi geçen çalışmalar döner kanatlı sistemlere geliştirildi.6-) Gerçek zamanlı görevlendirme ve yol planlama çalışmaları yapıldı. Bu konudaki çalışmalar yakında makale haline getirilecek.7-) Bütün bu çalışmalardan bir doktora tezi sonuçlandı. Şu anda 2 doktora, 8 yüksek lisans tezi devam ediyor.8-) Uçan cisimlerin pilotluğu öğrenildi.9-) Çok ciddi bir bilgi birikimi, insan gücü ve bilimsel ve teknolojik açıdan bir çekim ortamı oluşturuldu. Şu anda laboratuvarımızda Elektrik ve Havacılık Bölümlerinden birçok öğrenci faydalanmaktadır.10-) Bu araçların gömülü sistemlerinin nasıl tasarlanacağını öğrendik.11-) Uçan araçlarımızla saha testleri yapmayı öğrendik.12-) Yeni projeler hazırlayabilecek ve başka grupları destekleyecek bir potansiyele ulaşılmış durumdayız.
Anahtar Kelimeler:	insansız uçaklar, otopilot, navigasyon, döner kanatlı sistemler, yol planlama, görev atama.
Fikri Ürün Bildirim Formu Sunuldu Mu?:	Hayır
Projeden Yapılan Yayınlar:	<ol style="list-style-type: none">1- Planning unmanned aerial vehicle's path for maximum information collection using evolutionary algorithms (Bildiri),1- Çoklu insansız hava araçları için güzergah planlaması (Makale/Kitap/Kitapta Bölüm),2- İnsansız hava araçları için 3 boyutlu ortamda rota planlama (Makale/Kitap/Kitapta Bölüm)3- 3D Path Planning for Multiple UAVs for Maximum Information Collection (Makale - Diğer Hakemli Makale),