

İnsansız Hava Araçları için Donanımlı Döngü Tabanlı Otomatik Pilot Yaklaşımları Geliştirilmesi

Halim Korkmaz¹, Onur Baki Ertin¹, Övünç Elbir¹, Ünver Kaynak², Coşku Kasnakoglu¹

¹Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Ankara
{hkorkmaz,bertin,oelbir,kasnakoglu}@etu.edu.tr

²Makine Mühendisliği Bölümü
TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Ankara
ukaynak@etu.edu.tr

Özetçe

Bu makalede bir sabit kanatlı insansız hava aracı üzerinde gerçekleştirilecek çeşitli otonom algoritmaların geliştirilmesi amacıyla uçuş öncesi, donanımlı döngü tabanlı benzetim sistemi tasarlanmış ve referans bir otomatik pilot sistemi kullanılarak tasarlanan bu sistem test edilmiştir.

Yapılan benzetimlerden ve denemelerden, tasarlanan sistemin, insansız hava araçları için otopilot tasarımında faydalı bir araç olabileceği görülmüştür.

1. Giriş

İnsansız Hava Araçları (İHA) günümüzde, hedef tespit ve takibi, gözetleme, arama ve kurtarma, zirai ilaçlama gibi askeri veya sivil birçok farklı alanda kullanım bulmaktadırlar [1-2]. Özellikle artan batarya kapasiteleri, motor, işlemci gibi bileşenlerin ucuzlaması ve güç tüketimlerinin azalması insansız hava araçları konusunda yapılan çalışmaların yaygınlaşmasına imkan vermiştir [3].

İnsansız hava araçları uzaktan kontrol ile kumanda edilebildikleri gibi, üzerlerine yerleştirilen otomatik pilot donanımları sayesinde otonom uçuşlar da gerçekleştirebilmektedirler. Sadece bazı kontrol yüzeylerinin kontrol edildiği ve halen kullanıcı kontrolleri gerektiren yarı otonom sistemlerin yanında insan faktörünü tamamen ortadan kaldırıp, kalkış, iniş, belirlenen rotada seyrisfer gibi görevleri tam otonom olarak başarıyla gerçekleştirebilen otomatik pilot sistemleri, insansız hava araçlarında vazgeçilmez hale gelmişlerdir [4-5].

Piyasada farklı sensör ve işlemcilerle donatılmış birçok ticari otomatik pilot sistemi bulunmaktadır. Geliştirmeye tamamen kapalı modeller yanında, yazılımı ve donanımı değişikliklere izin veren açık kaynaklı ve düşük maliyetli otomatik pilot sistemleri de bulunmakta ve bu sistemlerin araştırma çevrelerince kullanımı büyük bir hızla artmaktadır [6]. Ticari otomatik pilot sistemlerinin büyük bölümünde PID tabanlı kontrolcü algoritmaları kullanılsa da, değişen gereksinimler nedeniyle bulanık mantık (Fuzzy Logic), sinir ağları (Neural

Network), LQG (Linear Quadratic Gaussian) tabanlı kontrolcü algoritmaları da sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır [7-8].

Kullanılacak otomatik pilot sistemlerini test etmenin en kapsamlı yöntemi uçuş testleridir fakat bu testlerin maliyetli oluşu ve çeşitli çevresel etmenlerin yaratacağı zorluklar, uçuş testleri öncesi otomatik pilot sistemiyle çeşitli bilgisayar simülasyonlarının birleştirildiği, laboratuvar ortamında gerçekleştirilebilecek, donanımlı döngü test sistemlerinin oluşturulmasını zorunlu hale getirmiştir [9-10]. Donanımlı döngü testlerinde, otomatik pilot kartı üzerinde koşan kontrol algoritmasının simülasyon yazılımlarının ürettiği sanal sensör verilerine karşı göstereceği tepkiler incelenebildiği gibi farklı konfigürasyonlarda sistemler kurularak kart üzerindeki gerçek sensör verilerinden de faydalanılan testler yapabilmek mümkündür.

Bu bildiriye insansız hava araçları için donanım döngü tabanlı bir otomatik pilot tasarımı yaklaşımı üzerinde durulacaktır. Bunun için açık kaynaklı, düşük maliyetli ve donanımlı güçlü bir otomatik pilot sistemi olan ArduPilot Mega (APM) tabanlı bir donanımlı döngü test sistemi oluşturulacaktır. Bu bağlamda, insansız hava aracına ait sensör verilerini simülasyondan alan bir kurulumdan ve gerçek sensör verilerinin kullanılmasına imkan veren hareketli bir platformu da kapsayan ikinci bir kurulumdan bahsedilecektir.

2. Uygulama ve Yöntem

Donanımlı döngü tabanlı otomatik uçuş modlarının denenebilmesi amacıyla ilk aşama olarak bu işe uygun bir model uçak seçilmiştir. Bu uçak *Phoenix 2000* olarak adlandırılan, iki metre kanat açıklığına sahip, elektrik motorlu, gövde kısmı güçlendirilmiş plastikten üretilmiş ve kanat kısımları EPO köpük malzemeden imal edilmiş bir uçaktır. Bu hazır paket şeklinde satılan uçağın tercih edilmesinin temel sebepleri; herhangi bir kaza durumunda uçağın onarımının kolay olması, güçlü gövdesi sayesinde az hasar alması, ucuz olması ve montajının çok kısa sürede yapılabilmesi, kanat açıklığının fazla olması sayesinde kolay uçabilmesi, süzülme oranının fazla olması, kaldırabileceği faydalı yük ağırlığının oldukça yüksek olması, hafif olması, planör modeli baz



Şekil 1: Phoenix 2000 Model Uçağı

alınarak üretilmesidir. Seçilen uçağı a ait fotoğraf Şekil 1'de görülebilir.

Uçak seçiminden sonra uçağıın nasıl uçtuğunun gözlemlenebilmesi için 2.4Ghz uçuş kumandası kullanılarak manuel şekilde uçuş yapılmıştır. Uçak herhangi bir donanım bağlanmadan , sadece bir lipo batarya ve kumanda alıcısı kullanılarak test edilmiş ve sorunsuz şekilde uçmuştur.

Uçak seçimi ve manuel uçuş testinden sonra kontrolcü kart seçimine geçilmiştir. Ardupilot hazır kontrolcü kartının donanımlı döngü tabanlı simülasyonlar için daha uygun olduğu anlaşılmıştır. Ardupilot, 16Mhz hızında Atmega 1280 serisi işlemciye sahip ve Xplane simülasyon programı ile donanımlı döngü sistemi kurulmasına kolaylıkla izin veren bir kontrolcü kart olarak tanımlanabilir. Ardupilot , içinde çeşitli uçuş modu algoritmaları barındırır ve istenildiğinde güncellenebilen bir aygıt yazılımına sahiptir. Uçuş modları, PID kontrolcü temel alınarak tasarlanmıştır. Aygıt yazılımı tamamen açık kaynak olarak sunulmuştur ve istenildiği takdirde aygıt kodlarına kolayca erişilebilir, kodların üzerinde değişiklikler yapılabilir. Aynı zamanda bu kart, üzerine kolayca monte edilebilen IMU shield kartıyla beraber satın alınabilir. Shield üzerinde çeşitli sensörler yer almaktadır. Bu sensörler; basınç sensörü, 6 serbestlik derecesine sahip ataletsel ölçüm ünitesi (IMU) ve GPS alıcısı olarak sıralanabilir. Aynı zamanda Ardupilot kartı üzerinde; sonar, pusula, hız sensörü girişleri de mevcuttur. Ardupilot otonom uçuş kontrolcü kartı , Şekil 2'de görülebilir.

Kart seçiminden sonra donanımlı döngü sisteminin kurulabilmesi için simülasyon programı olarak Xplane seçilmiştir. Xplane programı , hem görsel olarak hem de elde edilen uçuş verileri olarak gerçeğe çok yakın bir uçuş deneyimi yaşatmaktadır. Aynı zamanda barındırdığı uçuş bilgilerinin dış ortama aktarılmasına da izin vermektedir. Bu nedenlerden dolayı Xplane programı , donanımlı döngü sisteminin kurulabilmesi için uygun görülmüştür. Xplane programı, bünyesinde çeşitli uçaklar barındırmaktadır. Bu uçaklardan PT60 tipindeki radyo kontrollü model uçak, kullanımımıza en uygun uçaktır. Xplane simülasyon programının PT60 uçağıyla beraber ekran görüntüsü Şekil 3'te görülebilir.

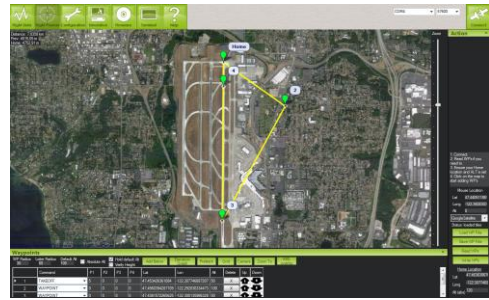


Şekil 2: Ardupilot Mega 1 Otonom Uçuş Kontrolcü Kartı

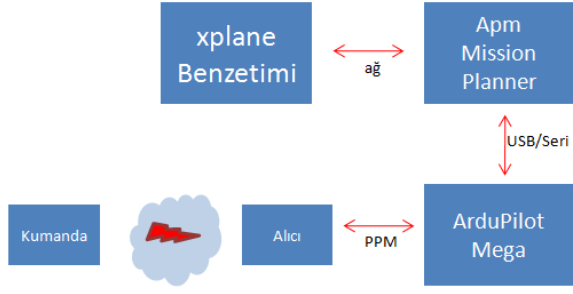


Şekil 3: Xplane Simülasyonunda PT60 tipi model uçak

Ardupilot kartına erişim sağlayan , kart üzerinde parametre ve uçuş modu seçimi yapabildiğimiz, Xplane ile donanımlı döngü sisteminin kurulmasına izin verecek program olarak APM Planner isimli program seçilmiştir. APM Planner isimli program sayesinde, Ardupilot kartının PID katsayıları ve diğer uçuş parametreleri ayarlanabilir, simülasyon programı kullanılarak donanımlı döngü tabanlı uçuş sistemi kurulabilir, uçuş modları ayarlanabilir ve otomatik uçuş için harita üzerinden rota çizilebilir. APM Planner programı, Ardupilot kartı ile iletişimini USB seri port aracılığıyla yapmaktadır. APM Planner programına ait rota belirleme ekranı Şekil 4'te görülebilir.



Şekil 4: APM Planner programına ait rota belirleme ekranı



Şekil 5: Donanımlı döngü sisteminin ana kurulum şeması

APM Planner programının simülasyon kısmına girilip , Xplane simülasyon programı ile haberleşmeyi sağlayacak ağ adresi ayarları yapılmıştır. Simülasyon adres hedefi olarak 127.0.0.1 adresi, port numarası olarak 49000 girilmiştir. Bu sayede Xplane programının APM Planner programından alacağı bilgilerin gideceği veri iletim yolu adreslenmiştir. Benzer şekilde Xplane programının data ayarlarına girilip adres hedefi olarak 127.0.0.1 adresi, port numarası olarak 49005 girilmiştir. Bu sayede APM Planner programına Xplane programı tarafından gönderilecek verilerin iletim yolu adreslenmiştir. Farklı port numaraları girilmesinin sebebi , veri alışverişinin iki farklı kanaldan çift yönlü (duplex) olarak sağlanmak istenmesidir. Kurulan donanımlı döngü sisteminin ana iletişim şeması Şekil-5'te görülebilir.

APM Planner programı kullanılarak öncelikle Ardupilot kartı içine donanımlı döngü testlerine izin veren yazılım yüklenmiştir. XPlane programı , APM Planner programına simülasyon başlatıldığı anda ağ adresi üzerinden uçakla alakalı, simülasyon tarafından oluşturulan uçuş verilerini yollamaktadır. Bu veriler uçağın enlem-boylam , yükseklik , IMU verileri (Yuvarlanma, yunuslama, sapma açıları) olarak sıralanabilir. APM Planner programı , ilgili verileri aldıktan sonra bu verileri Ardupilot otonom uçuş kontrolcü kartına USB seri portu aracılığıyla göndermektedir. Ardupilot kartı tarafından alınan uçuş verileri , kartın içinde gömülü halde bulunan çeşitli uçuş modlarını içeren kontrolcü algoritmaları tarafından işlenerek uçağın otonom hareketini sağlayacak tepkiler hesaplanmaktadır. Kontrolcü algoritmaları PID tabanlıdır. Bu hesaplanan tepki verileri ise USB seri portu aracılığıyla APM Planner programına geri gönderilmektedir. APM Planner programı ise tepki verilerini ağ adresi üzerinden Xplane simülasyon programına iletmektedir. Bu iletilen tepki verileri , Xplane simülasyon programı tarafından giriş verileri olarak kabul edilmiştir ve bu sayede uçağın gelen tepki verilerini kullanıp oluşturduğu karşı manevralar açık bir şekilde gözlemlenebilmiştir. Ardupilot otonom uçuş kontrolcü kartı , bütün donanımlı döngü işlemlerinde hesaplayıcı rolünde kullanılmıştır. Şekil 5'te görülen 2.4Ghz kumanda ve alıcı kombinasyonu, dışarıdan Ardupilot kartı üzerindeki uçuş modlarını değiştirebilmek, uçuş dengesini bozucu etkileri uygulayıp otopilot tepkilerini görebilmek veya manuel uçuşu kontrol etmek için bağlanmıştır. Aynı zamanda kumanda ve APM Planner programı üzerinden uçuş kontrol yüzey sinyalleri terslenebilmekte ve kontrol yüzeylerinin hareket kabiliyetlerine etkiyen PWM sinyal aralıkları kalibre

edilebilmektedir. Kumanda üzerindeki anahtarlar kullanılarak APM Planner tarafından ayarlanan uçuş modları arasında geçiş sağlanmıştır.

Donanımlı döngü sistemi kurulduktan ve simülasyon başlatıldıktan sonra uçuş modları tek tek test edilmiştir. Simülasyon kazanç parametreleri eleron, elevatör ve dümen kontrol yüzeyleri için 10000 olarak girilmiştir. İtki kazancı ise 5000 olarak girilmiştir. Bu sayede gerçek hayattaki tepkilere en yakın tepki şiddeti elde edilmiştir.

Öncelikle stabilize modu test edilmiştir. Stabilize modu , uçağı sürekli yeryüzüne paralel ve düz bir şekilde tutmaya çalışmaktadır. Aynı zamanda stabilize modu , dışarıdan manuel etkilerin uygulanabilmesine de izin vermektedir. Uçak yerden kaldırılıp istenilen irtifaya ulaşıldıktan sonra kontrolcü kartı stabilize moduna alınmış ve manuel olarak bozucu etkiler uygulanmıştır. Uçağın yuvarlanma, yunuslama ve sapma açılarından herhangi birisine bozucu bir etki verildiği takdirde uçağın çabuk bir şekilde verilen etkilere ters yönde bir tepki verip , düz bir konuma ulaştığı görülmüştür.

Stabilize modu, PID kontrolcü tabanlı bir mod olup yuvarlanma (roll) ve yunuslama (pitch) açıları için yer düzlemine paralel açı değerlerine göre referans takibi yaptırmaktadır. Yer düzlemine paralel açı değerleri kabul edilen değerler, PID kontrolcü için referans girişleri olarak kabul edilmektedir. Bu referans girişleri, Ardupilot kontrolcü kartı tarafından kalibre yapılmasıyla elde edilen düz seviye açılarını temsil etmektedir. Ardupilot kontrolcü kartına güç verildiği andan itibaren yer düzlemine paralel referans değerlerinin tespit edilmesi amacıyla, kalibrasyon rutini başlatılmaktadır. Otuz saniye sonunda bu rutin sona ermekte ve yer düzlemine paralel açı değerleri başarıyla tespit edilmektedir. Stabilize moduna geçilse bile dengeleme mekanizmasının devreye girebilmesi için yuvarlanma (roll) ve yunuslama (pitch) açılarını kontrol eden kumanda kontrol kolu serbest bırakılmalıdır. Kumanda kolu serbest bırakıldığı andan itibaren Ardupilot kontrolcü kartına gönderilen PWM değerleri 1490-1510 aralığında olmaktadır. Bu aralıktaki gönderilen PWM değerleri, dengeleme mekanizmasını harekete geçirmekte ve uçağın referans takibi sayesinde yer düzlemine paralel tutulmasını sağlamaktadır.

Stabilize modundan sonra Otopilot modu test edilmiştir. Otopilot modu için öncelikle rota çizimine ihtiyaç duyulmuştur. APM Planner harita arayüzü kullanılarak Xplane programındaki uçağın bulunduğu nokta otomatik olarak bulunmuş ve uçuşa başlanacak merkez olarak işaretlenmiştir. Daha sonra bu ilk belirlenen merkez konumundan itibaren rota çizimi başlatılmıştır. İlk olarak otomatik kalkış komutu kullanılmıştır. Otomatik kalkış komutu sayesinde simülasyon programındaki uçak, otomatik olarak kalkış yapabilmektedir. Bu komut kalkışa başlanacak olan yunuslama açısını içermektedir ve bu açı tarafımızca 5 derece olarak girilmiştir. Aynı zamanda bu komut hangi yükseklik seviyesine kadar kalkış rutininin devam edeceğini içermektedir. Bu sebepten ikinci belirlenen rota noktasına, uçak ilgili kalkış irtifasına varana kadar yönelmemiştir. İlgili kalkış irtifasına varıldığı

vakit, uçak otomatik olarak belirlenen ikinci rota noktasına yönelmiştir. Her ara rota noktasındaki irtifa seviyeleri, APM Planner programı üzerinden ayarlanmıştır. Bu sayede uçak ara noktalardan geçerken istenilen seviyeye ulaşmış olarak geçmiştir. Ara noktaların hepsinden istenilen irtifalarda geçildikten sonra otomatik iniş komutu test edilmiştir. İlgili iniş rutinin başlayacağı noktaya uçağın gelmesiyle beraber iniş rutini başlamıştır. Uçağın ilk olarak yere temas edeceği noktaya gelene kadar, düzenli ve kontrollü olarak irtifanın azaltıldığı görülmüştür. Aynı zamanda uçağın ilk olarak yere temas edeceği nokta da önceden belirlenebilmiştir. Uçak ilgili temas noktasına geldiği anda ise motorlarını tamamen durdurup durağan konuma gelmeyi başarmıştır. İniş modu yerine ara noktadan geçiş moduna geçildiği zaman ise uçak bütün rotaları düz bir şekilde takip ettikten sonra ilk merkez olarak belirtilen nokta etrafında çapı ve irtifası önceden belirlenebilecek şekilde dairesel hareket yapmıştır. Bütün ara noktaların geçerlilik çapları uçuş öncesi girilebilmektedir. Bu sayede bir ara nokta etrafındaki istenilen bir genişlikte çember şeklinde bir geçerlilik alanına uçağın girmesiyle beraber, uçağın o ara noktaya vardığını anladığı saptanmıştır. Aynı zamanda kumandadan manuel bozucu etkiler verildiği zaman ise uçağın yine etkilere doğru tepkiler vererek düz bir konuma



Şekil 6: Kurulan ve kullanılan donanımlı döngü tabanlı uçuş kontrol sistemi

çabucak ulaştığı ve istenen irtifaya tekrar yükseldiği/alçaldığı görülmüştür.

Otopilot modu denendikten sonra RTL (Return to Location) modu test edilmiştir. RTL modunda uçağın, herhangi bir anda merkez noktasından ne kadar uzakta olursa olsun modun aktif edildiği andan itibaren merkez konumuna gelip ilgili genişlikte ve yükseklikte olacak şekilde merkez noktası etrafında daireler çizdiği gözlemlenmiştir.

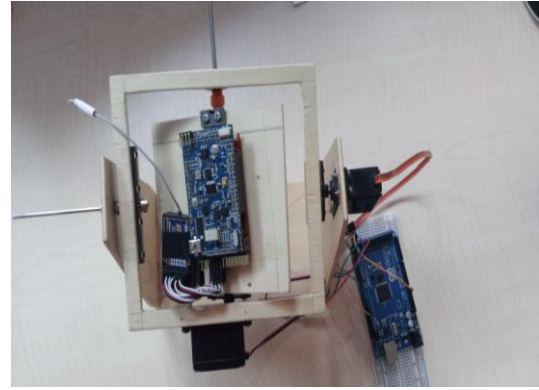
RTL modunun ardından FBW (Fly By Wire) modu test edilmiştir. Bu mod aktif edildiği anda uçak hem stabilize modunda olduğu gibi sürekli düz konumda tutulmuştur hem de kumanda tarafından manuel olarak uygulanacak dönüş komutları limitlenmiştir. Bu limitleme sayesinde uçağın uçuşunu riske atacak veya kontrolü kaybettirecek her türlü

keskin manevra engellendiği için çok kolay bir şekilde manevra kontrolü sağlanmıştır.

Bütün uçuş modları donanımlı döngü tabanlı uçuş kontrol sistemi sayesinde başarıyla simülasyondaki uçak üzerine uygulanmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Tüm donanımlı döngü (hardware in loop) sistemi Şekil 6'da görülebilir.

Bir sonraki aşama olarak gerçeğe daha yakın bir benzetim yapabilmek amacıyla, Şekil 7 'de görülen, servo motor ile yuvarlanma (roll) ve yunuslama (pitch) hareketlerini gerçekleştirecek bir platform hazırlanmıştır. Bu platform, Xplane programında uçağın o anki durumunu program verilerine dayanarak gerçekleştirmektedir.

Bu programdan verileri almak üzere C# dilinde bir uygulama geliştirilmiştir. Bu uygulama, IEEE 754 kayan nokta aritmetiği standartında, Xplane programında önceden tanımlanan bir porttan gelen verileri alıp, bu verileri ondalık formata çevirmekte ve seri port üzerinden Atmel işlemciye sahip olan Arduino Mega kartına yollamaktadır.



Şekil-7 : Yatış ve yükselme hareketlerini benzetim platformu

Seri porttan gelen verileri örnekleyen ve bu verilere göre servoları gerekli pozisyonlara götürecek bir uygulama, Arduino Mega kartında geliştirilmiştir.

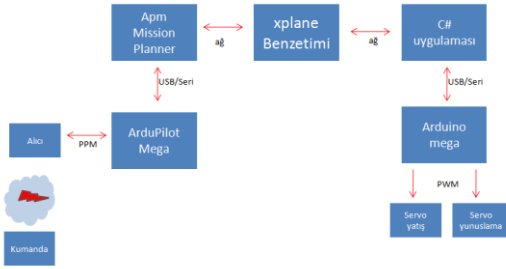
Şekil-8' de yer alan tasarım ile bir önceki aşamadaki donanımlı döngü sisteminin aksine, işlemci üzerinde hesaplanan IMU verileri, Xplane programı yerine Ardupilot üzerindeki sensörlerden alınmış, benzetim içerisine gerçek sensör verileri de dahil edilmiştir. Buna ek olarak dışarıdan çeşitli hava şartlarını temsil edecek bozucular verilerle kontrol için kullanılan algoritmanın Xplane programı içerisindeki ideal ortamdan farklı bir ortamda test edilmesine olanak sağlanmıştır.

3. Tartışma, Sonuçlar ve Gelecek Çalışmalar

İlk aşama olarak donanımlı döngü benzetiminde elde edilecek sonuçların gerçekleşmesi için kullanılacak uçak seçilmiştir (Şekil-1). Seçilen uçak ile uçuş testleri yapılmış ve yapılan testler ışığında seçilen uçağın, çeşitli kontrol algoritmaları

geliştirildikten sonra, bu algoritmaların denenmesi için yeterli performansa sahip olduğu belirlenmiştir.

Daha sonra kontrolcü kart ve kullanılacak benzetim programı seçilmiştir. Açık kaynak olması ve kodlama dilinin kolaylığı sebebiyle Ardupilot Mega geliştirilecek çeşitli otonom uçuş algoritmalarını gerçeklemek için ideal bir platformdur (Şekil 2).

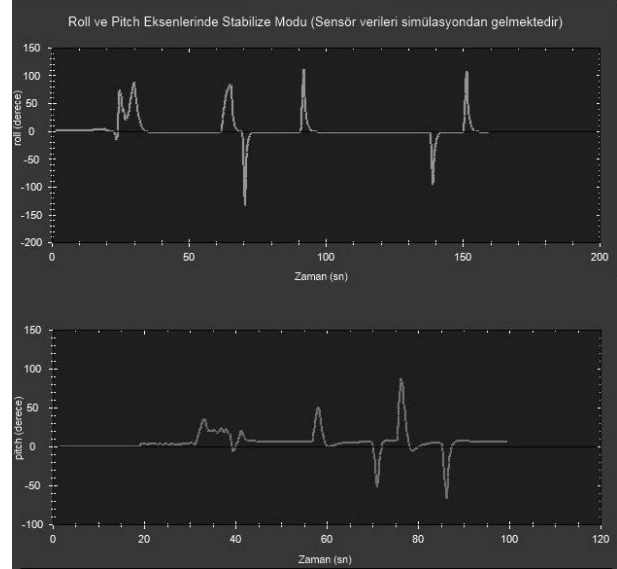


Şekil-8 : Donanımlı döngü benzetim blok şeması

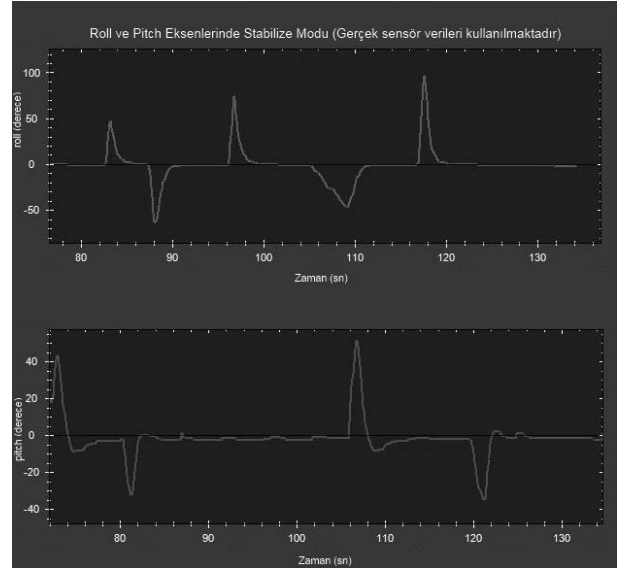
Başlangıç noktası olarak Ardupilot Mega için üretici Diydrone tarafından geliştirilen yazılım baz alınmıştır. Bu yazılım değiştirilmeden donanımlı döngü sistemi içerisinde test edilmiştir. Xplane isimli simülasyon programında, seçilen Phoenix 2000 uçağına benzer PT60 uçağı ile çeşitli modlar denenmiştir (stabilize, auto, RTL, FBW). Ardupilot Mega üzerindeki otopilota giden IMU verileri, Xplane'den alınmış ve işlem Ardupilot Mega'ya yaptırılmıştır. Sensör verilerini uçuş simülasyonundan alan bu kurulumda stabilize mod devreye sokulduğunda roll ve pitch eksenlerine ait veriler şekil 9' da verilmiştir. Şekilde ilk elli saniye kalkışla ve yükselişle geçen süreci göstermektedir. Ardından uçak, kumanda ile farklı roll ve pitch açılara getirilmiş, kumanda kolunun serbest bırakılmasıyla da stabilize modu devreye girerek ilgili eksenler için uçağı denge konumu olan sıfır dereceye getirmiştir. Kumanda kolunun bırakıldığı noktalar grafikteki tepe noktalarını oluşturmaktadırlar. Denge konumuna varış iki eksen için de yaklaşık beş saniye sürmüştür.

Son olarak hesaplamalarda kullanılan IMU verilerinin benzetim programı yerine gerçek sensörlerden alınması amaçlanmış ve bu kapsamda servo motorlu test platformu hazırlanmıştır. Xplane simülasyon programındaki uçak verilerine ağ üzerinden erişilebildiğinden, C# dilinde geliştirilen bir uygulama ile bu veriler alınmış ve seri port üzerinden bir kontrolcüye (Arduino Mega) yollanmıştır. Bu kontrolcü ile servo motorlar sürülmüş ve Xplane simülasyon programındaki uçak pozisyonu gerçekleştirilmiştir. Bu sayede hesaplamada kullanılan IMU verileri gerçek sensörlerden alınabilmiştir. Bu kurulum için stabilize mod devreye sokulduğunda elde edilen roll ve pitch eksenlerine ait veriler şekil 10' da verilmiştir. Önceki kurulumda olduğu gibi uçak roll ve pitch eksenlerinde farklı açılara gelinceye dek kumanda verilmiş ve stabilize modun uçağı denge konumuna getirişi gözlenmiştir. Simülasyondan gelen sensör verileri kullanarak ortaya çıkarılan grafikler ile gerçek sensör verileri kullanılarak ortaya çıkarılan grafikler birbirleriyle örtüşür niteliktedirler.

İkinci kurulumda, sensörlerden ve servolardan kaynaklanan gürültünün etkisi özellikle pitch ekseninin denge seviyesi olan sıfır derece yakınlığında bir miktar gözlenebilmektedir. Aynı zamanda elde edilen sonuçlar neticesinde Xplane simülasyon programının gerçek uçuş şartlarına çok yakın sanal bir uçuş ortamı oluşturduğu ve uçuş öncesi testleri için güvenilir olduğu anlaşılmıştır.



Şekil-9 : Simülasyondan gelen sensör verileriyle roll ve pitch eksenlerinde stabilize modu



Şekil-10 : Gerçek sensör verileriyle roll ve pitch eksenlerinde stabilize modu

Çalışmanın sonraki aşamalarında, herhangi bir kontrol yüzeyinin kaybında uçağın güvenli bir şekilde iniş yapmasını sağlayacak bir kontrolcü tasarlanması ve bu kontrolcünün test platformu üzerinde denenmesi ilk hedefdir. Kontrolcü tasarımı tamamlandıktan sonra yedeklemeli bir sistem ile, işlem

yapmaktan sorumlu olan otopilotta ortaya çıkabilecek herhangi bir olumsuz durumda, diğer otopilotlar arasında en iyi durumda olan otopilotun seçilmesi planlanmaktadır. Bu sayede otopilot tasarımının güvenilirliği artırılacak ve Ardupilot Mega kullanarak piyasada bulunan güçlü otopilotlara, düşük maliyetli bir alternatif ortaya konmuş olacaktır.

Donanımlı döngü sistemi kullanımı aşağıda sıralanan faydaları sağlamaktadır:

- 1 - Test uçuşları öncesi, oluşturulacak otonom uçuş kontrolcü yazılımlarını sadece simülasyon ortamında değil fiziksel ortamda da deneyebilmek.
- 2 - Test uçuşu sayısının azaltılmasıyla maliyetlerin büyük oranda düşürülmesi.
- 3 - Kontrolcü tasarımından kaynaklanabilecek yapısal hataları önceden fark edebilmek, önlem alabilmek ve gerekli düzeltmeleri kısa sürede yapabilmek.

4. Teşekkür

Bu çalışmayı 7110829 numaralı 1507 KOBİ Ar-Ge Başlangıç Destek Programı altında destekleyen TÜBİTAK'a, TK3 Teknik'e, ve kaynaklarını kullandığımız TOBB ETÜ'ye teşekkür ederiz.

5. Kaynakça

- [1] Erdos, D.; Watkins, S.E.; , "UAV Autopilot Integration and Testing," Region 5 Conference, 2008 IEEE , vol., no., pp.1-6, 17-20 April 2008
- [2] Jodeh, N., Blue, P., Waldron, A., "Development of Small Unmanned Aerial Vehicle Research Platform: Modeling and Simulating with Flight Test Validation," AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference, Vol. 1, AIAA, Washington, DC, 2006.
- [3] Haiyang Chao; Yongcan Cao; YangQuan Chen; , "Autopilots for Small Fixed-Wing Unmanned Air Vehicles: A Survey," Mechatronics and Automation, 2007. ICMA 2007. International Conference on , vol., no., pp.3144-3149, 5-8 Aug. 2007
- [4] Stojcsics, D.; Molnar, A.; , "Fixed-wing small-size UAV navigation methods with HIL simulation for AERObot autopilot," Intelligent Systems and Informatics (SISY), 2011 IEEE 9th International Symposium on , vol., no., pp.241-245, 8-10 Sept. 2011
- [5] J.M. Sullivan, "Evolution or revolution? The rise of UAVs," IEEE Technology and Society Magazine, vol. 25, no. 3, pp. 43-49, Fall 2006
- [6] Ta-ming Shih; Ho-chung Chang; , "FPGA based hardware in the loop test platform of small size UAV," Computational Intelligence in Robotics and Automation (CIRA), 2009 IEEE International Symposium on , vol., no., pp.551-556, 15-18 Dec. 2009
- [7] M. Kumon, Y. Udo, H. Michihira, M. Nagata, I. Mizumoto, and Z. Iwai, "Autopilot system for Kiteplane," IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, vol. 11, no. 5, pp. 615-624, October 2006
- [8] Santoso F., Liu M., and G.K. Egan, "Linear quadratic optimal control synthesis for a uav," in 12th Australian International Aerospace Congress, AIAC12, Melbourne, Australia, March 2007, number AIAA-2002-4439.
- [9] Jung, D.; Levy, E.J.; Zhou, D.; Fink, R.; Moshe, J.; Earl, A.; Tsiotras, P.; , "Design and Development of a Low-Cost Test-Bed for Undergraduate Education in UAVs," Decision and Control, 2005 and 2005 European Control Conference. CDC-ECC '05. 44th IEEE Conference on , vol., no., pp. 2739- 2744, 12-15 Dec. 2005
- [10] Santos, S.R.B.; Oliveira, N.M.F.; , "Test platform to pitch angle using hardware in loop," Frontiers in Education Conference, 2009. FIE '09. 39th IEEE , vol., no., pp.1-5, 18-21 Oct. 2009