

Sabit Kanatlı İnsansız Hava Araçları için Döngüde Donanımsal Benzetim Tasarımı ve Gerçeklenme Sonuçları

Design of a Hardware-in-the-Loop Test Platform for a Fixed Wing Unmanned Aerial Vehicle and Simulation Results

Melike İrem Erdoğan¹, Emre Atlas¹, Coşku Kasnakoglu¹

¹Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Ankara
{iremerdogan, eatlas, kasnakoglu}@etu.edu.tr

Özetçe

Döngüde Donanımsal Benzetim(DDB) platformu İnsansız hava araçları(İHA) uçuş davranışlarını sapma, yunuslama ve yuvarlanma hareketlerini yapabilecek şekilde tasarlanmıştır. Tüm davranış eksenlerinde de gerçeğe uygun olarak 360 derece hareket edebilmesi çok önemli olmaktadır. Bu özelliğiyle de tüm gerçekleştirilecek uçuş senaryoları , acil durum sonuçları ve akrobatik hareketlerde bile uçuş sensörleri ve otopilot algoritmaları gerçeğe uygun şekilde denenebilecektir.

Abstract

A hardware-in-the-loop (HIL) platform for unmanned air vehicle (UAV) systems is designed that demonstrates flight attitudes on yaw, pitch and roll axes. The design combines a sophisticated flight simulation software with a platform capable of moving 360 degrees on all axes. This enables the testing of the flight sensors and autopilot algorithms for all sorts of scenarios including emergency and acrobatic cases where an indefinite number of full rotations in the yaw, roll and pitch might take place.

1. Giriş

İnsansız hava araçları askeri ve sivil projelerde otonom uçuşlar yapmaktadır. Gerçekleştirilen Döngüde Donanımsal Benzetim platformu yardımıyla bu araçların tasarlanan otopilot uçuşları çeşitlendirilebilir hava şartları, acil durumlar ve insan kaynaklı hatalar dahil sonuçları önceden test edilebilecektir. İnsansız Hava Araçlarına uzaktan uçuş komutları gönderilebildiği gibi aynı zamanda otomatik pilot donanımları yardımıyla bu komutları belirlenen senaryoya göre kendi üreterek otonom uçuşlar da gerçekleştirebilmektedirler[1]. Bu kolaylıklar insansız hava araçlarını yapılan uçuşlar için vazgeçilmez yapmaktadır [2-3].

Bu çalışmada sabit kanatlı insansız hava araçları için otopilot algoritmaları ve uçuş ekipmanlarını test etmek amacıyla gerçekleştirilen Döngüde Donanımsal Benzetim platformu geliştirilmesi anlatılmaktadır.

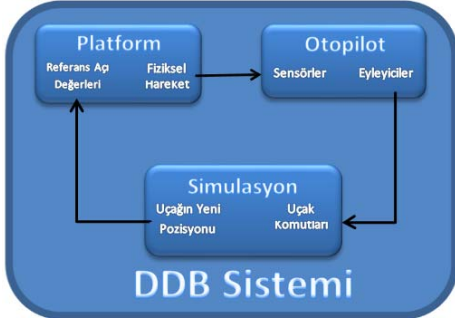
2. Sistem Donanımları

2.1. Döngüde Donanımsal Benzetim(DDB) Sistemi

Döngüde donanımsal benzetim (DDB) testleri karmaşık gerçek zamanlı gömülü sistemleri test etmek için kullanılan bir yöntemdir. Test edilecek sistemin kontrolüne etki edecek dinamik sistemlerin matematiksel modeli, yapılan test platformunda gerçekleştirilerek verimli bir test ortamı DDB ile elde edilmiş olur. Bu kısım ile testin açık çevrimi tamamlanmış olur. Tümüleşik sistemin eyleyicileri simülatör yardımıyla sürmesi ve simülatör elde edilen yeni durumların test platformunda gerçekleştirilmesiyle kapalı çevrim sistem tamamlanmış olur.

Gömülü sistemleri kendi ortamında test etmek en etkili yöntemdir. Ancak bu durum oluşabilecek hatalarda maliyeti artırması, test sürelerinin uzun olması ve güvenlik gibi sebeplerden ötürü mümkün değildir. Bu durumda laboratuvar ortamında gerçekleştirilebilecek, hızlı ve güvenilir bir test sistemi olan DDB yöntemi kullanılır. Bizim projemizde de yapılacak olan otopilot için uçuş testlerinin her zaman yapılması mümkün değil ayrıca otopilot da gerçekleşen bir hatayı önceden bu testlerde görmek uçağın parçalanması gibi birçok istenmeyen durumdan kaçınmamızı sağlar.

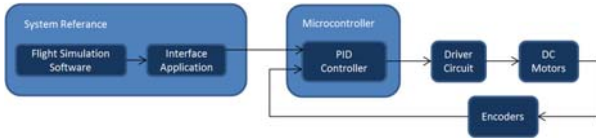
DDB sistemimizde uçağın yunuslama, yuvarlanma ve sapma açılarının platformda gerçekleştirilmesi yapılmaktadır. Test sistemi platformun hareketine karşın platformun üzerinde bulunan otopilotun üzerindeki sensörler vasıtasıyla uçağın durumunu hesaplayıp uçağı denge pozisyonuna getirecek, kanatçık, yükseliş dümeni ve dümen için yeni açı değerleri üretmesi sonrasında bu değerlerin simülatöre gönderilmesinin ardından simülatörün yeni yunuslama, yuvarlanma ve sapma açılarının üretilip platforma gönderilmesiyle oluşan bir sistemdir.



Şekil 1: DDB Sistemi

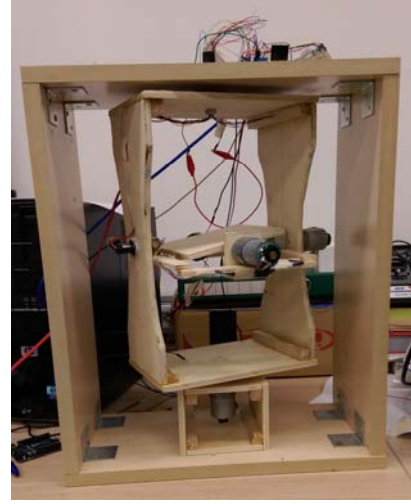
2.2 Döngüde Donanımsal Benzetim Sistemi Mekanik Özellikleri

İnsansız Hava Araçları için Döngüde Donanımsal Benzetim platformu en önemli geri besleme kaynağı olmaktadır. Uçuş hareketlerini önceden tahmin etmek ve kontrol algoritmalarını ayarlamak amacıyla yardımcı rol almaktadır. Döngüde Donanımsal Benzetim yönteminin akış şeması Şekil 1'de görülmektedir. Bu sistem toplamda üç eksen etrafında yunuslama, yuvarlanma ve sapma hareketlerini 360 derece daimi gerçekleştirebilmektedir. Döngüde Donanımsal Benzetim platformu mekaniği; üç eksen için dayanıklı tahta levhalardan, bunları birbirine bağlayan üç DC motordan, sürücü devresinden, enkoderden ve mikrokontrolcünden oluşmaktadır. Mikrokontrol ünitesi (MCU) DC motor sürücü ile birlikte eksen hareket motorlarını sürmektedir. Üç enkoder ise motor shaftına bağlı bir şekilde mikrokontrol ünitesine geri motor pozisyon değerlerini göndermektedir.



Şekil 2: Sistem blok diyagramı

Platform üç eksenle serbestçe hareket edebilen eksenlerin iç içe geçtiği bir yapıya sahiptir. En içte yuvarlanma, onun dışındaki eksenle yunuslama ve en dış eksenle sapma hareketi gerçekleştirilmektedir. Şekil 2'de her eksen için aynı olan kontrolcü akış diyagramı görülmektedir. DDB platform tasarımına en iç kısımda otopilotun yerleştirileceği kısım ile başlanmıştır. Bu kısmın boyutlarına eklem yerleri ve motorlar da eklenerek bir sonraki eksenin boyutları hesaplanmış ve en dıştaki eksen içinde bulunan parçaların boyutu göz önünde bulundurularak tasarım tamamlanmıştır. Platform şekil verilmesinin kolay olması, hafif olması ve maliyetinin düşük olmasından dolayı kontrplaktan yapılmıştır. Malzemelerin seçilmesi ve eksenlerin boyutlarının hesaplanmasından sonra motor seçimi yapılmıştır. Gerekli torku sağlayacak ve konum bilgisini verecek bir motor seçilmiştir. Sistemin son hali Şekil 3 te görülebilir. Bu motorların özellikleri Tablo 1 de mevcuttur.



Şekil 3: Gerçek Sistem gösterimi

Tablo 1: Sistem mekanik özellikleri

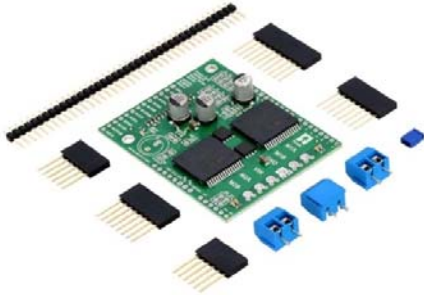
	Yunuslama ve Yönelme Eksenleri	Sapma Eksenleri
Boyutlar:	37D x 78.3L mm	37D x 66L mm
Ağırlık:	188,4 g	0,22g
Dişli Oran	131:1	67:1
Çalışma Voltajı Aralığı:	6 - 15 V	6 - 15 V
Nominal Çalışma Voltajı (VDC):	12 V	12 V
Serbest Dönüş Hızı @ 12V:	75 rpm	150 rpm
Serbest Dönüş Akımı @ 12V:	250 mA	300 mA
Stall Akım Değeri @ 12V:	6000 mA	5000 mA
Stall Tork değeri @ 12V:	20 kg/cm	14,4 kg/cm

Motorların 6 tane bağlantısı mevcuttur. Bunlar motor gücü için +/- uçları ve enkoder sensörünün GND, Vcc ve hall sensörünün A ve B kısımlarıdır. Motorların +/- uçları motor sürücülere bağlıdır, hall sensörleri 5V ile beslenmektedir ve pozisyon bilgisinin edinildiği hall sensörü A ve B pinleri motor pozisyonundaki ani değişimleri ölçmek için kontrolcünün kesme (interrupt) pinlerine bağlanmıştır. Enkoder sensöründen motorun adımları sayılarak motorun pozisyonu hesaplanmaktadır. Motorun çıkış shaftının tam bir turda attığı adım enkoderin bir turda saydığı adım sayısı ile dişli oranının çarpılmasıyla elde edilmektedir. Bu şekilde her

bir adımın kaç dereceye karşılık geldiği hesaplanabilmektedir. Her eksen için ayrı bir PID kontrolcü tasarlanmıştır. Her eksen için simülatörden gelen açı değerleri kontrolcüye referans değeri, sensörden hesaplanan değerde sistem çıkışı değeri olarak kontrolcüye atanmıştır. Kontrolcü çıkışları olan yön ve hız bilgileri de motor sürücülere gönderilerek platformun kontrol işlemi gerçekleştirilmektedir. Kontrolcünün çıkışları -255 ile 255 arasında değişmektedir. Kontrolcünün işaretine göre motor sürücüyü bağli olan motorun +/- uçları transistörün gerekli bacakları High(5V) veya Low(GND) yapılarak dönüş yönü değiştirilmekte ve bu değerin mutlakı 0-255 arasında bir kare dalga modülasyonu (PWM – Pulse Width Modulation) olarak motor sürücüyü hız faktörü olarak gönderilmektedir. Motor sürücü transistörleri etkin yapacak 5V gerilime ve toprak bağlantısına ve motorlara güç sağlayacak 12V güç kaynağına ihtiyaç duymaktadır.

Tüm eksenler orta noktalarından birleştirilmiştir. Böylelikle her eksenin merkezini aynı olması sağlanmıştır. Her eksenin kendi etrafında serbestçe dönmesi güç ve veri iletmeye gereken kabloların bir iç eksene girerken burulmasına neden olmaktadır. Bu sorun “slip ring” adı verilen bir kısmı sabit diğer kısmı dönerken veri ve güç iletimine olanak sağlayan yapılar kullanılarak çözülmüştür. En dış eksenden içeri 24 kablodan her birinden en fazla 2A akım geçmesine izin veren, bir iç eksende 12 kablodan her birinden maksimum 2A akım geçmesine izin veren ve son eksende 6 kablodan her birinden maksimum 2A akım geçmesini sağlayan slip ring kullanılmıştır. Kablolama yapılmış ve kablo etiketlendirme işlemi gerçekleştirilmiştir.

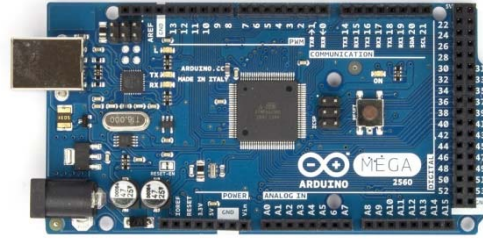
Platform kontrol işlemi için motor sürücülere Şekil 4’te görülen Pololu Dual VNH5019 aynı anda iki tane DC motor sürme kapasitesinde, 5.5-4V aralığında çalışma voltajı bulunan, her bir motor için devamlı olarak 12A ve 30A maksimum akım destekleyen ve PWM sinyali ile kontrol edilen bir motor sürücüsü, bununla birlikte Şekil 5’te görülen L298N aynı anda iki adet DC motor sürülebilir 5V-35V aralığında çalışma kapasitesi olan, maksimum 2A’ye kadar destek veren bir motor sürücüsü kullanılmıştır. Son olarak da kontrolcü kartı Arduino Mega kullanılmıştır. Şekil 6 da görülen Arduino Mega, Atmega2560 mikrokontrolcüsüne, USB arayüzüne sahiptir. Kendine ait IDEsi olan 54 tane dijital giriş/çıkış bulunmaktadır ve bunlardan 6 tanesi kesme (interrupt) özelliğine sahiptir. 16 tane analog girişe, 4 tane UART girişine ve 16 MHz osilatöre sahip USB seri haberleşmesine olanak sağlamaktadır. Dışarıdan güç ile beslemek için jack girişi ve ICSP ile haberleşmeye olanak sağlayan “header” pinlerine ve “Reset” butonuna sahip bir karttır. Bunların yanı sıra açık kaynak kodlama imkanının olması ve yazılım dili olarak C kodlamasına olan benzerliği ile tercihimiz olmuştur.



Şekil4: Pololu Dual VNH5019



Şekil5:L298N



Şekil 6: Arduino Mega

2.3 Döngüde Donanımsal Benzetim Sistemi Programları, Çalışma Prensipleri

Bu sistemi oluşturmak için simülatör olarak Xplane programı 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, döngüde donanımsal benzetim sistemi kurulabilmesi için uygun görülmüştür. Xplane programı, bünyesinde çeşitli uçaklar barındırmaktadır. İlk olarak otopilotu deneyeceğimiz uçak radyo kontrollü küçük bir uçak olduğundan bu uçaklardan PT60 tipindeki radyo kontrollü model uçak, kullanımımıza en uygun olan uçaktır. Xplane simülasyon programının PT60 uçağıyla beraber ekran görüntüsü Şekil 7 de görülebilir.[1]



Şekil 7: Xplane yazılımı ekran görüntüsü

Sistem çalışması için emülatör, platform kontrol kartı ve otopilotun verilerini bilgisayarda koşan bir programa göndermektedir. Simülatörün uçağın pozisyon bilgisini 50 Hz hızla UDP portu üzerinden bu yazılıma göndermektedir. Sonrasında, yazılım gelen bu verileri okuyup gerekli işlemleri yapar ve EULER açıları elde edilmiş olur. Platform, bu veriyi kontrol kartına RS232 protokolüyle seri port üzerinden göndermektedir. Kontrol kartı, uygulamadan gelen bu veriyi kendine açı olarak referans alıp platformu uygun açığa getirmektedir. Platform üzerindeki otopilotta bulunduğu fiziksel konumu kendi ataletsel ölçüm sensörleri ile algılayıp verilen referans pozisyonuna getirecek kanatçık, dümen ve yükseliş dümenine verilecek komutları uygulamaya yine seri port üzerinden göndermektedir. Program bu verileri emülatörün algılayacağı şekile çevirerek UDP protokolüyle simülatörün dinleme yaptığı porta yazmaktadır. Emülatörde uçak algıladığı bu komutları uygulamakta ve sonuç olarak emülatordaki uçak yeni bir konuma gitmektedir. Bu şekilde kapalı çevrim tamamlanmaktadır. Burada uçağın hareketi gözlenmekte ve aşım, oturma zamanı gibi özellikleri incelenip sonuç olarak test tamamlanmış olmaktadır.

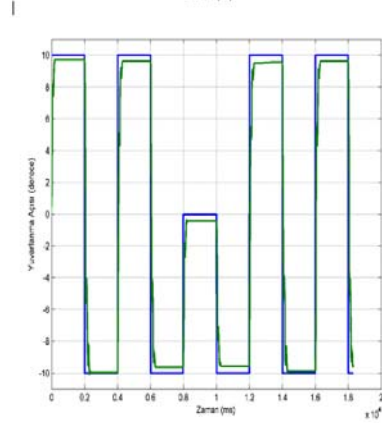
3. Test ve Sonuç

Öncelikle platformun çalışma performansı test edilmiştir. Bu test için kare dalga ve benzeri girişler verilmiştir ve platformun bu açıları takip etmesi beklenmiştir. Kare dalga olarak +/- 10 derece genlikte olacak şekilde verilmiş ve sonuç olarak Şekil 8-9-10' da ki sonuçlar elde edilmiştir. Sonuç olarak platform bu iş için yeterli olacak bir performans göstermiştir ve otopilot testlerinde kullanılabilir olduğu görülmüştür. Bu aşamadan sonra PT-60 benzeri bir uçak için kontrolcü tasarlanmış ve bu kontrolcü platform üzerinde denenmiştir. İlk denemelerde kontrolcünün matematiksel sistemden tasarımından farklı olmasından dolayı platform üzerinde denendiğinde direkt olarak kırım gerçekleşmiş sonrasında yapılan iyileştirmelerle uçağı dengeye getirecek kontrolcüye yaklaşılmıştır.

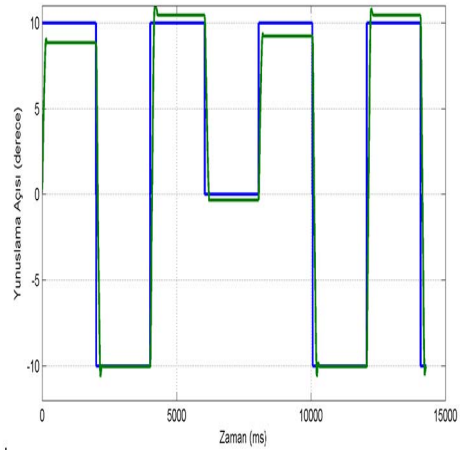
Döngüde Donanımsal Benzetim platformu kullanılarak, çeşitli çevre koşulları altında en verimli kontrol algoritması ve planlanmış rota bulunabilmektedir. Platform yazılım paketi ise uçuş görselliği için X-plane programı, Arduino mikrokontrolcü ve C# kodları içermektedir.

Uçuş dinamiği ve kontrol algoritmaları için Matlab/Simulink programı kullanıldı. Döngüde Donanımsal Benzetim platformu, ana bilgisayar ve radyo kontrolü; Arduino, motor sürücü ve USB kablosu ile birbirine bağlandı. Platform sayesinde, İnsansız Hava Aracı'ndan eş zamanlı gelen gerçeğe uygun görsel geri besleme ile yazılım sistemi başarılı bir şekilde test edilmiştir.

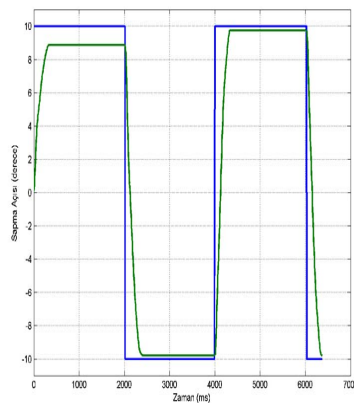
Bu simülasyon programı, yapılması gereken uçuş testi sayısını azaltma, uçuş öncesi olası yazılım hatalarını bulmada ve en iyi kontrol algoritmasını belirlemede etkilidir. Tüm ölçümler gerçekçi sonuçlar yansıtır ve bu ölçümler platform üzerinde bulunan eş zamanlı kontrolcünün sensörleri tarafından alınır.



Şekil 8: Yuvarlama eksen platform cevapları



Şekil 9: Yunuslama eksen platform cevapları



Şekil 10: Sapma eksen platform cevapları

Teşekkür

Bu çalışmayı 113E581 numaralı proje kapsamında destekleyen TÜBİTAK'a ve kaynaklarını kullandığımız TOBB ETÜ'ye teşekkür ederiz.

Kaynakça

- [1] Onur Baki Ertin, Halim Korkmaz, Ünver Kaynak ve Coşku Kasnakoglu. Hardware-in-the-Loop Test Platform for a Small Fixed Wing Unmanned Aerial Vehicle Embedded Controller. The 32nd IASTED International Conference on Modelling, Identification and Control, Innsbruck, Austria, 2013.
- [2] 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
- [3] J.M. Sullivan, "Evolution or revolution? The rise of UAVs," IEEE Technology and Society Magazine, vol. 25, no. 3, pp. 43-49, Fall 2006