

Türk İnsansız Hava Aracı ANKA'nın Uçuş Simulasyon Ortamı

Deniz Karakaş¹ Mehmet Karakaş² Özkan Karagöz³ Hakan Tiftikci⁴

Öz

TUSAŞ'ın geliştirmekte olduğu Özgün Türk İnsansız Hava Aracı ANKA, MALE (Medium Altitude Long Endurance – Orta İrtifa-Uzun Süre Havada Kalış) olarak bilinen sınıfta yer alan bir insansız bir hava aracıdır. ANKA geliştirme projesinde uçuş fazları öncesi, tümleşik sistem ve yazılım entegrasyonu ve doğrulaması, Sistem Entegrasyon Laboratuvarı (SEL) olarak adlandırılan ortamda yapılmaktadır. Bu ortamda, hava aracı dinamiğinin yerde ve havada benzetimini sağlayan modelleme yazılımı ("PLANT"), hava aracının alt sistem ve ekipmanlarının benzetimini sağlayan ekipman simülasyon yazılımları, hava aracının uçuş fonksiyonlarını yöneten Uçuş Kontrol Bilgisayarı (UKB), hava aracını yerden kontrol etmeyi sağlayan Hava Aracı Kontrol Bilgisayarı (HAKB), uçuş görev planının oluşturulmasını ve haritadan takip edilebilmesini sağlayan GPY (Görev Planlama Yazılımı) yazılımı ve bu yazılımların üstünde koştugu sistemler mevcuttur. Bu bildiri kapsamında ANKA SEL ortamında yer alan sistem ve yazılımlar hakkında bilgiler verilmiş, bunlar arasındaki arayüzlere de değinilerek, uçuş simülasyon ortamının bir bütün olarak nasıl çalıştığı ve testlerin nasıl yapıldığı anlatılmıştır. SEL bütünüünün yanı sıra, SEL'in ANKA'ya özel çekirdeğini oluşturan hava aracı modelleme yazılımı ("PLANT") ile hava aracı ekipman simülasyon yazılımları da ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hava aracı modelleme, hava aracı tasarımı, MATLAB, Simulink, simülasyon altyapı yazılımı, sistem entegrasyon laboratuvarı, uçuş simülasyonu

Flight Simulation Environment of the Indigenous Turkish Unmanned Aerial Vehicle (ANKA)

Abstract

Indigenous Turkish Unmanned Aerial Vehicle ANKA, which is developed by TAI (Turkish Aircraft Industries) is a MALE (Medium Altitude Long Endurance) class UAV (Unmanned Aerial Vehicle). In ANKA development project, before the flight phases, system and software integration and verification is done in an environment called System Integration Laboratory (SIL). In this environment, modeling software ("PLANT") to simulate air vehicle dynamics on ground and in air, sensor simulation software to simulate sub-systems and equipments of air vehicle, Flight Control Computer

¹ Yazışma adresi: Türk Havacılık ve Uzay Sanayi A.Ş., Ankara, dkarakas@tai.com.tr

² Türk Havacılık ve Uzay Sanayi A.Ş., Ankara.

³ Türk Havacılık ve Uzay Sanayi A.Ş., Ankara.

⁴ Türk Havacılık ve Uzay Sanayi A.Ş., Ankara.

to manage the flight functions, Air Vehicle Control Computer to control the air vehicle from ground, Mission Planning Software to create mission plans and follow air vehicle from map and systems on which all these software runs, are available. Within the scope of this paper, information about systems and software in ANKA SIL environment is given, the interfaces between software and systems are mentioned, how the flight simulation environment works as a whole and how the tests are done, are explained. Beside ANKA SIL as a whole, air vehicle modelling software (“PLANT”) and air vehicle sensor simulation software, which forms the core speciality of ANKA SIL, are explained in detail

Keywords: Air vehicle modelling, air vehicle design, MATLAB, Simulink, simulation framework software, system integration laboratory, flight simulation

Giriş

TUSAŞ’ın Özgün Türk İnsansız Hava Aracı projesi kapsamında geliştirmekte olduğu ANKA, MALE (Medium Altitude Long Endurance – Orta İrtifa Uzun Süre) olarak bilinen İHA (İnsansız Hava Aracı) sınıfında yer almaktadır. ANKA hava aracı, 200 km’lik bir menzilde 24 saat havada kalabilecek, 30.000 ft servis tavanı olan, otonom uçuş ve seyrüsefer kabiliyeti olan, gündüz ve gece her türlü hava koşulunda; keşif, gözetleme ve hedef tespiti görevlerini yerine getirebilecek bir insansız hava aracıdır (www.tai.com.tr). Bu kapsam ve büyüklükte bir projede, sistem ve yazılımın tümleşik tasarım, geliştirme, doğrulama çalışmalarının ve pilot intibakının uçuş fazları öncesi yapılabilmesi için Sistem Entegrasyon Laboratuvarı (SEL) olarak adlandırılan bir laboratuvar kurulmuş ve bu ortama gerçek sistemlerin yanında, uçuş simülasyon ortamını oluşturmak amacıyla modelleme ve simülasyon yazılımları da ilave edilmiştir.

Uygulanan genel çözüm, gerçek sisteme çok benzer bir ortamda, uçuş simülasyonu yapılabilmesini sağlamaya yöneliktir. Gerçek sisteme yakın olması, gerçek sistemde kullanılan UKB (Uçuş Kontrol Bilgisayarı), HAKB (Hava Aracı Kontrol Bilgisayarı), ekranlar (LCD, MFD - “Multi Function Display”), girdi cihazları (lövyeye, gaz kolu), veri link sistemi ve kablajın SEL ortamında da tamamen aynı şekilde kullanılmasıyla sağlanmıştır. Bu ortamda en kritik bileşenler olan UKB, HAKB, hava aracı modelleme yazılımı, ekipman simülasyon yazılımları ve veri link sistemi tamamen özgün ve milli ürünlerdir. Uçuş simülasyon ortamını oluşturan kritik bileşenler hakkında genel bilgiler 2 no.lu başlıkta, bu bileşenler arasındaki arayüzler ve sistemin çalışma mantığı ise 3 no.lu başlıkta ayrıntılı olarak anlatılacaktır. 4 ve 5 no.lu başlıklarda da hava aracı modelleme yazılımı (“PLANT”) ve ekipman simülasyon yazılımlarından ayrıntılı olarak bahsedilecektir.

ANKA SEL’i Hakkında Genel Bilgi

Şekil 1’de gösterilen ANKA SEL’i temel olarak yer ve hava kısmı olmak üzere 2 parçadan oluşmaktadır.

Yer Kısmı

Yer kısmında, Yer Kontrol İstasyonu (YKİ) içinde yer alan sistemler ve yazılımlar mevcuttur.

1. HAKB Yazılımı
 - Gerçek zamanlı bir yazılım olan HAKB yazılımı, hava aracını yerden kontrol eder ve hava aracının durum bilgilerini ekranlarda gösterir.
 - Hava aracından gelen telemetri ve videoyu üst üste bindirerek pilot kamera ekranında (PİKA) gösterir.
 - Görev planını hava aracına yükler.
2. GPY (Görev Planlama Yazılımı) ve GÖRSİS (Görev Sistemleri) Yazılımı
 - Görev planını oluşturur ve harita üzerinden takibini sağlar.
 - Haberleşme, faydalı yük kontrol/takip ve test takip fonksiyonlarını yerine getirir.
3. Ekranlar ve Girdi Cihazları
 - İnsan makine arayüz (İMA) ekranları, hava aracının kontrolünü sağlayan lövyeye, pedal, gaz kolu gibi girdi cihazları.

Hava Kısmı

1. UKB Yazılımı
 - Gerçek zamanlı bir yazılım olan UKB yazılımı, hava aracının temel uçuş fonksiyonlarını yönetir.
 - Uçuş kritik alt sistemleri (motor, iniş takımları, aviyonik üniteler vb.) kontrol eder ve yönetir.
 - Otopilot ve uçuş yönetim sisteminin icrasını sağlar.
 - Hata yönetim mekanizmalarını işletir.
2. Gerçek alt-sistemler ve aviyonik üniteler
3. Ekipman simülasyon yazılımları
4. Hava aracı modelleme yazılımı (“PLANT”)

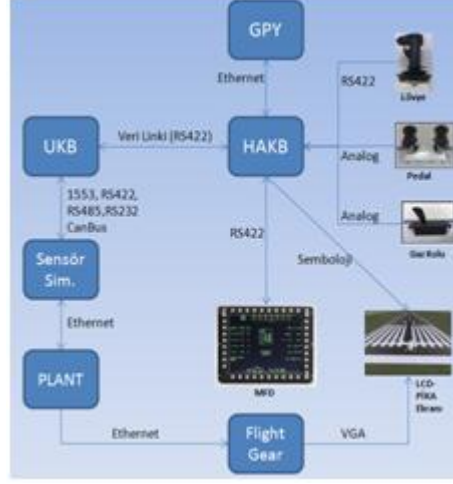


Şekil 1. ANKA SEL ve Yer Kontrol İstasyonu

ANKA SEL’indeki Uçuş Simülasyon Ortamı

Şekil 2’de genel mimarisi verilmiş olan ANKA SEL’i, aşağıdaki sıradüzensel mantığa göre çalışmaktadır:

1. UKB ve HAKB bir veri linki üzerinden birbirlerine bağlıdırlar. Telemetri (havadan yere) ve telekomut (yerden havaya) haberleşmelerini bu link üzerinden yaparlar.
2. Bir görev planına bağlı olarak uçulmak istenirse, GPY yazılımı aracılığıyla bir görev planı oluşturulur, HAKB’ye ve veri linki üzerinden UKB’ye yüklenir.
3. HAKB, lövye, pedal ve gaz kolu gibi girdi cihazlarından ve insan makine arayüzünden (MFD ekranlarından) aldığı komutları veri linki üzerinden UKB’ye gönderir.



Şekil 2. ANKA SEL'i genel mimarisi

4. UKB, veri linki üzerinden aldığı kontrol komutlarını işleyerek, MIL-STD-1553 arayüzü üzerinden ekipman simülasyon yazılımlarına gönderir.
5. Ekipman simülasyon yazılımları, UKB'den aldığı kontrol komutlarını ethernet arayüzü üzerinden "PLANT" hava aracı modelleme yazılımına gönderir.
6. "PLANT" yazılımı, ekipman simülasyon yazılımlarından aldığı kontrol komutlarını kullanarak uçuş verilerini (pozisyon, irtifa, hız, sensör verileri vb.) üretir ve ethernet üzerinden FlightGear (www.flightgear.org) programının ethernet arayüzüne ve ekipman simülasyon yazılımlarına gönderir. "PLANT" yazılımı yer yüksekliği bilgisini ise FlightGear programından geri besleme yoluyla alır.
7. Açık kaynak kodlu FlightGear programının içine bir takım pistler (ANKA'nın ilk uçuşunu yaptığı Sivrihisar pisti gibi) ve ANKA uçağının üç boyutlu modeli eklenmiştir. FlightGear programı, "PLANT" kaynaklı uçuş verilerini kullanarak, üç boyutlu ANKA uçak modelinin görsel benzetim arayüzünü sağlar. FlightGear ekran görüntüsü aynı zamanda, uçuş yapmakta olan pilotun önündeki LCD'lere de yansıtılır.

8. Ekipman simülasyon yazılımları, “PLANT” yazılımından aldığı uçuş verilerini çeşitli arayüzler (RS422, RS232, RS485, CanBus, MIL-STD-1553) üzerinden UKB’ye gönderir.
9. UKB, ekipman simülasyon yazılımlarından gelen uçuş verilerini kullanarak, kendi içinde bir takım süreçler (hava aracı yönetimi, çoklu sensör yönetimi, algılayıcı yönetimi, uçuş yönetimi, otonomi yönetimi, hata yönetimi vb.) işlettikten sonra, HAKB’ye telemetri verilerini (ekipmanların durum ve sağlık bilgileri, her türlü uçuş verisi vb.) veri linki üzerinden gönderir.
10. HAKB, UKB’den gelen telemetri bilgilerini insan makine arayüz ekranları (MFD) üzerinde pilota gösterir.
11. HAKB, FlightGear programından gelen ekran görüntüsü üzerine, UKB’den gelen telemetri verisinden faydalanarak oluşturduğu sembololojiyi (ufuk çizgisi, hız, irtifa, yön vb.) bindirerek LCD ekranlarda pilota gösterir.

Bu ortamda hava aracı ve hava aracı ekipmanları olmadan uçuş bazı testlerin ve pilot intibak eğitiminin yapılabilmesini simülasyon ve modelleme yazılımları sağlamaktadır. Bu yazılımlar hakkında ayrıntılı bilgi 4 ve 5 no.lu başlıklarda verilecektir.

Hava Aracı Modelleme (“PLANT”) Yazılımı

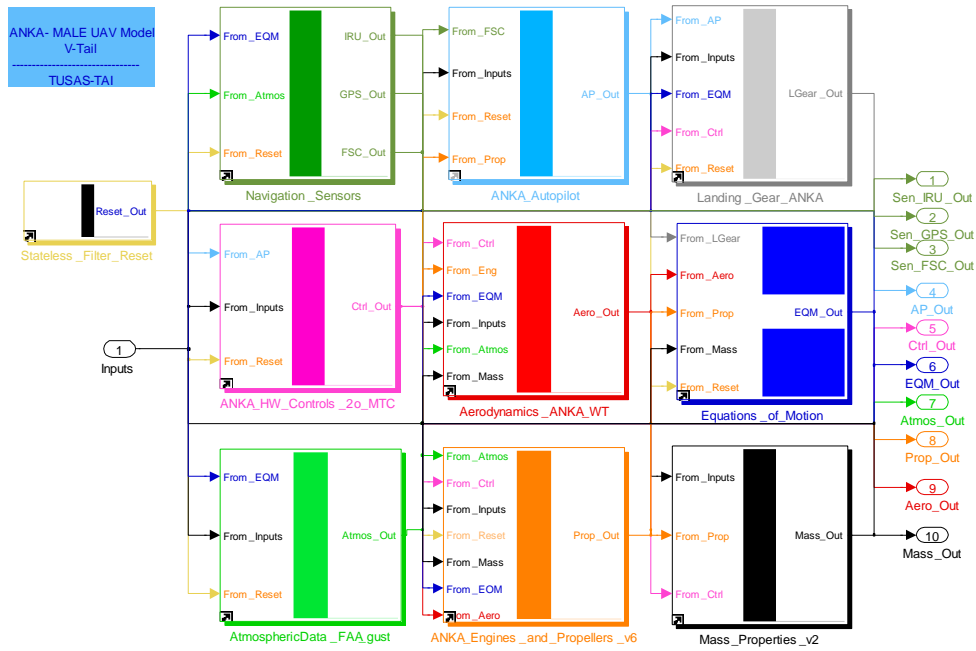
ANKA Uçuş Dinamiği Modeli

“PLANT” yazılımı, ANKA projesi Genel Tasarım Grubu/Uçuş Mekaniği ve Kontrol birimi tarafından geliştirilen ANKA uçuş dinamiği modeli kullanılarak elde edilmektedir. Doğrusal olmayan, esnemesiz gövde dinamiğini yansıtan 6 serbestlik dereceli ANKA uçuş dinamiği modeli, Matlab®/Simulink® ortamında, sürekli zamanda ve 10 ms sabit adım boyunda oluşturulmuştur. Modelleme yapısı, ANKA konfigürasyonunun yanı sıra, konvansiyonel ve özel farklı hava aracı konfigürasyon modellerini geliştirmeye olanak tanımaktadır.

“PLANT” yazılımını elde etmede kullanılan uçuş dinamiği modelinin bileşenleri, iniş takımı dinamiği, yerde yönlendirme, kontrol yüzeyi dinamik modelleri, aerodinamik etkiler, 6 serbestlik dereceli hareket

denklemleri, ISA (International Standard Atmosphere) atmosfer modeli, rüzgar/türbülans/sağanak modelleri, itici konfigürasyonda ANKA motor/itki modeli, kütle/eylemsizlik momentleri/ağırlık merkezi etkilerinden oluşmaktadır. ANKA uçuş dinamiği modeli genel mimarisi ve bileşenleri Şekil 3 ile gösterilmiştir.

Modelde, ANKA'nın değişken ağırlık merkezi üzerine etkileyen, aerodinamik, yer, itki dış kuvvet ve moment etkileri ile yer çekimi dış kuvveti hareket denklemlerinde kullanılarak, Euler açıları (Φ, Θ, Ψ), gövde ekseninde açısal hızlar (p, q, r), doğrusal ivme ($\dot{u}, \dot{v}, \dot{w}$) ve hız (u, v, w) değerleri ile yer ekseninde hava aracı hızı ($V_{x_E}, V_{y_E}, V_{z_E}$) ve pozisyonu (X_E, Y_E, Z_E) hesaplanmaktadır. Hareket denklemlerinin çıktıları olan temel değişkenler, bunlardan türetilen diğer hava aracı dinamiği değişkenleriyle birlikte analiz, simülasyon amaçlarıyla kullanılmaktadırlar.



Şekil 3. Doğrusal Olmayan ANKA Uçuş Dinamiği Modeli Genel Görünüm

Atmosfer modeli olarak deniz seviyesinden 20 km'ye kadar olan irtifalarda, dış hava sıcaklığını, basıncını, yoğunluğunu ve ses hızını deniz seviyesinden yüksekliğin bir fonksiyonu olarak veren ISA modeli

kullanılmıştır (The MathWorks, Inc., 2002: Aerospace Blockset). ISA modeline ek bir özellik olarak, farklı atmosfer koşulları etkilerini analiz edebilmek amaçlı, standart dış hava sıcaklığına eklenen ve nominal değeri sıfır olan ΔISA etkileri de yansıtılmıştır.

ANKA uçuş dinamiği modelinde, gövde ekseninde türbülans hızlarını hesaplayan Von Kármán türbülans modeli kullanılmıştır (U.S. Military Specification MIL-F-8785C, 1980). Bu model hava aracının yerden yüksekliği, etkin rüzgâr hızı ve yönü ve gerçek hava hızı girdilerini kullanarak, normal dağılımlı hız sapmaları üretir. Türbülans etkileri hafif, orta seviyeli ve kuvvetli olarak seçilebilmektedir. Yerden yükseklik 1000 ft değerinin altındaysa, türbülans modeli rüzgâr hızı ve yüksekliğe bağlı olarak türbülans şiddetini belirler. 1000 ft üzerindeki yükseklikler için türbülans şiddetini değiştirebilen “Probability of Exceedance” girdileri kullanılmaktadır. Türbülans etkilerinin yanı sıra, ANKA simülasyon analizleri için modelde ayrık sağanak bileşenini etkinleştirebilmek de bir seçenektir. Ayrık sağanak modeli (U.S. Military Specification MIL-F-8785C, 1980) referans alınarak modellenmiştir.

İtki hesabı, ANKA motorunun ve pervanesinin üreticilerinden sağlanan veritabanları kullanılarak yapılmaktadır. İtki ve yanı sıra elde edilen yakıt akışı değerleri, RPM, deniz seviyesinden yükseklik, ΔISA gibi koşullara göre değişmektedir. Modelde, verilen gaz kolu komutlarına karşılık alınan motor tepkisi arasındaki dinamik ilişki 1. dereceden bir transfer fonksiyonuyla temsil edilmektedir. Motor dinamiği, statik motor testlerinden elde edilen veriler kullanılarak Sistem Tanımlama yöntemi ile oluşturulmuştur. Motor matematik modeli ayrıca tork etkisi, pervane jiroskopik etkileri ve pervane üzerinde oluşan aerodinamik etkileri (p-factor) de içermektedir.

ANKA kontrol yüzeyi ve burun iniş takımı eyleyicilerinin dinamik modelleri de benzer şekilde eyleyici Sistem Tanımlama testleri sonuçlarıyla elde edilmiş ve 2. dereceden transfer fonksiyonlarıyla modele yansıtılmıştır. Sistem Tanımlama yöntemini uygulayabilmek amaçlı, basamak test girdileri yüksüz eyleyicilere beslenmiş ve zamana bağlı elde edilen çıktılarıyla birlikte kullanılmıştır. Eyleyici maksimum hızları, yüklü test sonuçlarına göre elde edilmiştir. Yüksüz testlerden elde edilen model, yüklü test

sonuçlarıyla da karşılaştırılarak, ANKA eyleyici dinamiğini uygun bir şekilde yansıttığı doğrulanmıştır.

ANKA iniş takımı matematik modelinde, hava aracı yerdeyken, iniş takımı üzerinde oluşan kuvvet ve momentler hesaplanmaktadır. İniş takımı modeli, diferansiyel fren etkilerini, iniş takımı yönlendirme dinamiğini ve operasyonel kullanıma göre ihtiyaç duyulan “sarhoş teker” seçeneğini içermektedir.

ANKA otopilotu, Matlab®/Simulink® ortamında 20 ms adım boyu ile ayrı olarak modellenmekte ve sürekli uçuş dinamiği modeli ile uyumlu olarak “Single Tasking” seçeneğinde çalıştırılmaktadır. ANKA otopilotu temel modları, Uçuş Yolu, Varyo, Kayış, Yatış, Baş, İrtifa, Sürat ve Yerde Yönlendirme kontrollerini sağlamaktadır. Bu modlar dışında yanal ve boylamasına ekseninde ayrı olarak etkinleştirilebilen Kararlılık Arttırıcı Sistem (SAS) ve Uçuş Zarfı Koruma (FEP) işlevlerine sahiptir. Otopilot bileşeni, SEL ortamında “PLANT” yazılımına dâhil edilmemiş, UKB’nin bir parçası olarak sisteme bütünleştirilmiş ve “PLANT” ile haberleşmesi sağlanmıştır.

Aerodinamik Veritabanı

Aerodinamik veritabanı, uçuş dinamiği modelinin çekirdeğini oluşturmaktadır. Hava aracı konfigürasyonuna bağlı olarak, hücum açısı (α), kayış açısı (β) ve kontrol yüzeyi sapma değerlerine göre değişen boyutsuz aerodinamik kuvvet ve moment katsayıları bu model bileşeninde yer almaktadır. Hesaplanan aerodinamik kuvvet ve momentler hava aracı ağırlık merkezine taşınarak hareket denklemlerine beslenir.

Statik aerodinamik katsayılar veritabanı, Şekil 4 ile gösterilen ölçekli ANKA modelinin kullanıldığı rüzgâr tüneli testleri ile elde edilmiştir. Bu katsayıların yanı sıra aerodinamik veritabanına, Digital Datcom (McDonnell Douglas Corporation, 1978) ampirik yöntemi ile elde edilen dinamik türev katsayıları ve ESDU (Esdu International, 1972) ampirik yöntemi ile elde edilen yer etkisi katsayıları da dahil edilmiştir. Aerodinamik bileşen ayrıca kuyruk kontrol yüzeyleri için rüzgâr tüneli testleri, kanatçık/flap yüzeyleri için ise HAD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) yöntemi ile elde edilen menteşe moment katsayılarını içermektedir.



Şekil 4. ANKA rüzgâr tüneli ölçek modeli

Statik aerodinamik katsayıların uçuş dinamiği modeline entegrasyonu, gövde/kanat, sağ/sol kuyruk ve kontrol yüzeyi etkileri ayrıştırılmış olarak yapılmış ve modelde toplanarak herhangi bir uçuş koşulu/konfigürasyonundaki etkileri hesaplanmıştır. ANKA aerodinamik veritabanı içeriği kaynaklarıyla birlikte Şekil 5’teki diyagramda gösterilmiştir.

Trim/Benzetim Kabiliyeti

Doğrusal olmayan benzetim modeli bir kez oluşturulduktan sonra simülasyon analizleri, doğrusallaştırma, statik ve dinamik kararlılık, kontrol edilebilirlik vb. analizlerin yapılabilmesi için öncelikle hava aracının belli denge koşullarının belirlenebilmesi gerekmektedir. Bu amaçla yine Matlab® ortamında oluşturulan “trim” kodları kullanılmaktadır. ANKA uçuş dinamiği modeli “trim” kabiliyeti ile, 1g düz uçuş, 1g tırmanma/alçalma, koordineli dönüş, “Pull-up”/“Push-over” manevraları, sabit baş açısı-sabit kayış açısı ve sabit yatış uçuş koşullarının başlangıç değerleri belirlenebilmektedir.

Matlab®/Simulink® ortamında, 100 Hz hızda, “ODE5” integral çözücüsü seçeneği kullanılarak benzetim yapılmaktadır. ANKA uçuş dinamiği modeli çıktıları kullanılarak FlightGear görsel arayüzü beslenmekte, benzetim analizlerinin uygulanmasına katkı sağlanmaktadır.



Şekil 5. ANKA Aerodinamik Veritabanı Bileşenleri

“PLANT” Yazılımı Kod Üretimi

SEL ortamında hava platformu dinamiği, ancak uçuş benzetimi ile sağlanabilmektedir. Bu nedenle tasarım ve analiz araçları ile geliştirilen ANKA uçuş dinamiği modelinden kod üretimi ve üretilen kodun matematik modellerle doğrulanması ve SEL ortamına entegre edilmesi önem arz etmektedir. ANKA uçuş dinamiği modelinin oluşturulduğu Matlab®/Simulink® ortamının eklentisi olarak çalışan “Real Time Workshop” (RTW) kod üretimi için en uygun çözüm olarak seçilmiş ve kullanılmıştır.

RTW ile kod üretiminde, “Embedded Coder” kodlayıcı seçeneği kullanılmaktadır. Modelin içerdiği sürekli elemanlar nedeniyle “Support Continuous Time” seçeneği etkinleştirilmiştir. SEL denemelerinde model parametrelerinden pek çoğunun değiştirilmesi gerekli olduğundan, veri değişim modu (data exchange mode) “C-API” olarak, diferansiyel denklem çözücüsü ise “ODE5” olarak seçilmiştir.

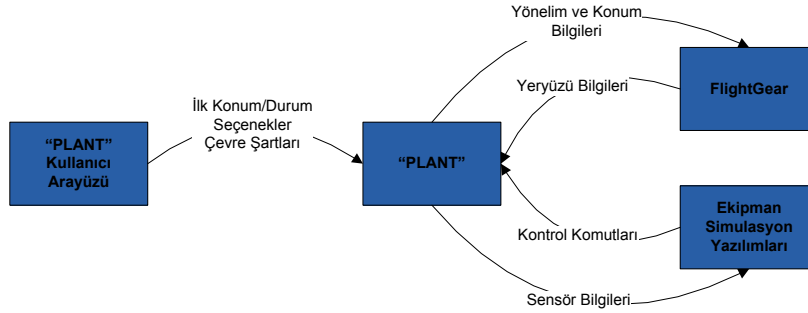
Matlab®/Simulink® uçuş dinamiği modelinden üretilen kod, uçak sürekli değişkenlerinin (" X_i " (konum, yönelim...), belirli bir girdi vektörü " U_i " ve

parametre seti " Θ ") " h " zaman aralığı boyunca değişimini hesaplamakta ve bir sonraki durumu:

$$X_{i+1} \leftarrow X_i + \Phi(X_i, U_i, \Theta, h) \quad (1)$$

güncellemesiyle oluşturmaktadır. Gerçek zamanlı bilgisayarların çalıştığı SEL ortamında "Time Predictability" özelliğini sağlamak üzere, zaman adım boyu " h " belli bir çözüm hassasiyetini sağlayacak şekilde sabit alınmış ve sürekli döngü (polling) tekniği kullanılarak gerçek zamana yakın çalışma elde edilmiştir.

Üretilen hava platformu kaynak koduna, Şekil 6'da görüldüğü üzere, SEL'de yer alan iletişimde olduğu ilgili diğer sistemler ile haberleşmesini sağlamak üzere eklentiler yapılmıştır. "PLANT" yazılımı, uçuş kontrol algılayıcı ekipman verilerini gerçek sistemdeki birimlerine (Volt, derece vb.) çevirip ekipman simülasyon yazılımlarına göndermekte ve ekipman simülasyon yazılımları aracılığı ile gerçek UKB'nin bu sensör verilerine karşılık ürettiği otopilot kontrol komutlarını almakta, bu komutları gerçek dünya değişkenlerinden (volt, vb.) benzetim modeli değişkenlerine (derece, vs.) çevirdikten sonra, hava platformunu, bir örnekleme zamanı kadar ilerleterek döngüyü tamamlamaktadır.

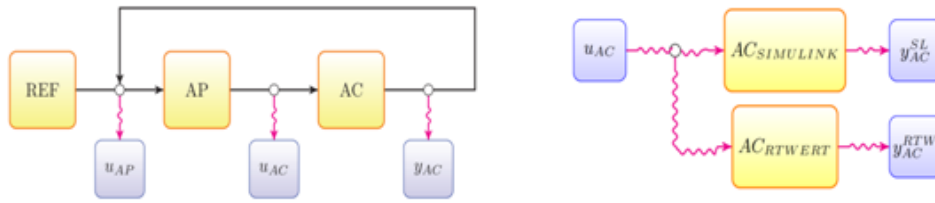


Şekil 6. "PLANT" ile Diğer Sistemlerin Haberleşmesi

Gerçek uçuşlarda karşılaşılabilecek kamera görüntüsü ve haberleşme gecikmelerini benzetim ortamına katabilmek için, FlightGear görüntüsünde ve servolara giden komutlarda değiştirilebilir gecikmeler sisteme eklenmiştir. ANKA Matlab®/Simulink® uçuş dinamiği modelinde yer alan rüzgâr, kütle verileri ve diğer parametreler, gerçek zamanlı çalışma sırasında kullanıcı arayüzü üzerinden değiştirilebilmektedir.

“PLANT” Yazılım Doğrulaması

ANKA uçuş dinamiği modelinin ve bu modelden üretilen “PLANT” yazılımının aynı dinamiğe sahip olduğunun doğrulanması, Matlab®/Simulink® ortamında tasarlanan otopilot tasarımının SEL ortamında doğru bir şekilde değerlendirilmesinde ilk adımı teşkil etmektedir. Bu sebeple ANKA uçuş dinamiği modeli ile kaynak kodun aynı girdiler ile ürettiği çıktıların (y_{AC}^{SL} ile $y_{AC}^{SL}, y_{AC}^{RTW}$) karşılaştırmaları Şekil 7’de gösterildiği gibi yapılmaktadır. Doğrulamada kullanılacak girdi/çıkıtı verileri tümleşik otopilot+ANKA modelinden kaydedilmektedir. Böylece Matlab®/Simulink® modelinde tümleşik çalışmanın, platform ayrı çalışmasında çıkarabileceği farklılıkların da tespit edilebilmesi amaçlanmıştır.



Şekil 7. “PLANT” Doğrulama Verilerinin Üretimi Ve Platform Koduna Beslenmesi

Ekipman Simülasyon Yazılımları

ANKA projesi uçuş simülasyon ortamı kapsamında, hava aracı ekipman ve alt sistem benzetimini yapmak üzere, ekipman simülasyon yazılımları geliştirilmiştir. Bu yazılımlar, UKB’nin yerden alıp MIL-STD-1553 arayüzü üzerinden gönderdiği kontrol komutlarını okur ve “PLANT” yazılımına gönderirler. “PLANT” kaynaklı aldıkları her türlü uçuş verisini ise UKB’ye ekipman simülatörleri aracılığıyla çeşitli arayüzler üzerinden sağlarlar.

ANKA projesi kapsamında EGI (Embedded GPS/INS), ADC (Hava Veri Bilgisayarı), UBB (Uçuş Bağlantı Birimi), yakıt, iniş takımları, FADEC (motor), LA (Lazer Altimetre), FSSK (Fren Sürücü Kartı), PDU (Güç Dağıtım Ünitesi), HVT (Hava Veri Terminali) gibi birçok simülatör yazılımı geliştirilmiştir. Ekipman simülatör yazılımları Windows işletim

sistemi üzerinde gerçek zamanlıya yakın olarak çalışmaktadır ve ANKA projesinde, uçuş simülasyon ortamının bir parçası olması dışında aşağıdaki amaçlarla da kullanılmaktadır:

1. Gerçek ortamla benzer bir ortamda olası tüm cihaz ve iletişim hata senaryolarının oluşturulması, test edilip doğrulanması ve erken aşamalarda hataların giderilmesi
2. Aviyonik yazılımların veri limit kontrollerinin yapılması (Spitzer, Cary R., 2000)
3. Sağlamlığa yönelik senaryoların (Spitzer, Cary R., 2000) oluşturulması ve koşturulması
4. Performans ve zamanlamaya yönelik senaryoların oluşturulması ve koşturulması
5. Yedekliliğe yönelik senaryoların oluşturulması ve koşturulması
6. Gerçek aviyonik ekipmanların tedarikinde veya teslimatında yaşanacak sıkıntılar sonucu yaşanması olası proje risklerinin azaltılması (McMahon, R., 1999), gerçek sistemlere bağımlılığı azaltmak suretiyle proje maliyetinin azaltılması.
7. Etkin bir entegrasyon ve test ortamı yaratarak proje süresinin azaltılması

Ekipman simülasyon yazılımlarının geliştirilmesinde, yeniden kullanılabilirliği arttırmak ve kaynak kodunun bakımını kolaylaştırmak amacıyla nesneye yönelik programlama ve C++ dili tercih edilmiştir (Ambler, 1998). Performans kriterlerini karşılayabilmek adına çoklu iş parçacıklı programlama (Multithreading) tekniklerinden yararlanılmıştır.

Kullanıcı ekran panelleri için MFC (Microsoft Foundation Classes) ve DirectX teknolojileri kullanılmıştır.

Ekipman simülasyon yazılımlarında genellikle “State Machine” tasarım deseni uygulanmıştır. Bu desen, çalışma zamanında bir nesnenin tipini değiştirmenin en iyi yöntemidir (Gamma, Helm, Johnson, ve Vlissides, 1995). Doğaları gereği state geçişleri barındıran ekipmanlar, en iyi bu şekilde benzetilmiştir.

Sonuç

Bu çalışma kapsamında Türk İnsansız Hava Aracı ANKA'nın uçuş simülasyon ortamı ve bu ortamı oluşturan bileşenler ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Sıfırdan bir hava aracı tasarlamak ve üretmek çok kapsamlı ve zor bir iştir. Hava aracının ilk uçuşunu gerçekleştirmeden önce, tüm sistem gerçek ortama benzer bir ortamda çok iyi test edilmeli ve doğrulanmalıdır. Bunu yapabilmek için de geliştirme, entegrasyon, doğrulama, pilot intibak eğitimi gibi birçok zorlu aşamada faydalanılabilecek, efektif bir simülasyon ortamı kurmak zorunlu olmaktadır.

Kaynakça

- The MathWorks, Inc. (2002). The MathWorks: Aerospace Blockset User's Guide, For Use with Simulink, Version I.
- U.S. Military Specification MIL-F-8785C (1980). Flying Qualities of Piloted Airplanes.
- McDonnell Douglas Corporation, Douglas Aircraft Division and Flight Control Division, Air Force Flight Dynamics Laboratory (1978). The USAF Stability and Control DATCOM. *Wright-Patterson Air Force Base, OH.*
- ESDU, Esdu International (1972). Low-Speed Longitudinal Aerodynamic Characteristics of Aircraft in Ground Effect. Item no. 72023.
- Spitzer, C.R. (2000). Digital Avionics Handbook. Second Edition - 2 Volume Set (Electrical Engineering Handbook).
- McMahon, R. (1999). Modeling and Simulation Return on Investment (ROI) "Real Savings" Vs. Indirect Savings and Cost Avoidance. *US Army Research Laboratory, Human Research and Engineering Directorate.*
- Ambler, S. (1998). A Realistic Look at Object-Oriented Reuse. www.drdoobs.com/184415594 adresinden alınmıştır.
- Gamma, E., Helm, R., Johnson, R. ve Vlissides, John M. (1995). Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software. *Addison-Wesley*, pp. 395. ISBN 0201633612.

www.flightgear.org, The Flight Gear.