

Dağınk Aviyonik Mimari Kullanan Bir Uçak için Küçük Ölçekli İki Simülator Tasarım ve Uygulama Örneği: Temel Uçuş Göstergeleri ve Uyarı Sistemi Benzetimleri

Yasin Kaygusuz¹ Soner Uyar² Çağrı İlçe³ Tolga İnal⁴ Koray Özel⁵

Öz

Hava aracı özgün geliştirme projelerinin önemli fazlarından birisi de temel uçuş göstergesi gibi pilotların yoğun kullandığı cihazların insan faktörü açısından uygunluğunun ve yeterliliğinin, kullanıcılara, uçuş emniyet ya da sertifikasyon otoritelerine gösterildiği aşamadır. Bu tip insan makine arayüzlerinin yeterliliğinin gösterimi konusunda uçuşa elverişlilik dokümanlarında çeşitli taleplerde bulunmaktadır. Rafta hazır ticari (RAHAT) akıllı aviyonikleri, merkezi bir bilgisayarın olmadığı mimarilerde kullanan sistemlerde bunların çalışır durumda tecrübe edilmesi için bir benzetim sistemi olması büyük fayda sağlayacaktır. Ayrıca bu tip bir benzetim sistemi aviyonik entegrasyon çalışmalarına da büyük fayda sağlayabilir. Hava aracı mürettebat uyarı sistemleri ise, kritik durumların hava aracı mürettebatı tarafından anında fark edilmesini sağlaması ve varsa fonksiyon kayıpları hakkında bilgi vermesi sebebiyle hava aracında bulunan en önemli sistemlerden biri olarak değerlendirilir. Bu sistemleri tanımlayan uçuşa elverişlilik standartları, sertifikasyon dokümanları ve de rehber dokümanların yetersiz kaldığı ya da çeliştiği alanlar mevcuttur. Bu çalışmada, gerçek bir hava aracı tasarım projesinde, temel kokpit donanımlarının yeterliliğini ispatlamak ve hava aracını çeşitli ortamlarda tanıtmak amacıyla 2010 yılı içinde tamamlanmış, gerçek aviyoniklerle entegre edilmiş bir küçük ölçek uçuş ve kokpit benzetimi sisteminin aviyonik mimarisi, donanımı ve yazılım yapısı, test ile geliştirme süreçleri anlatılacaktır. Ayrıca yine havacılıkta yaygın olarak kullanılan 3 tasarım rehberiyle uyumlu bir görsel/işitsel uyarı sisteminin benzetilmesi çalışması da özetlenecektir. Böylelikle aynı gövdeye entegre iki ayrı benzetim sistemi tanıtılacaktır.

Anahtar Kelimeler: ARINC 429 (ARINC 429, 2001), dağınk aviyonik mimari, görsel ikaz sistemi, hava aracı mürettebat uyarı sistemi, insan makine arayüzü benzetimi, kokpit simülasyonu, RAHAT, sesli ikaz.

Two Simulator Design and Implementation for Federated Architectures: A Small Scale Primary Flight Displays Simulator and a Flight Crew Alerting System Simulator

Abstract

One of the phases of indigenous air vehicle development projects is to demonstrate the effectiveness and adequacy of important HMI tools such as the primary flight display to users or certification authorities. These are the avionics that the pilots frequently and directly use in the cockpit. A cockpit simulator is a perfect solution for this demonstration, in the avionics architectures which use COTS

¹ Yazışma adresi: Tasarım Uzmanı, TAI, TUSAŞ Türk Havacılık ve Uzay Sanayi A.Ş., Kazan, Ankara, ykaygusuz@tai.com.tr.

² Tasarım Uzmanı, TAI, TUSAŞ Türk Havacılık ve Uzay Sanayi A.Ş., Kazan, Ankara.

³ Tasarım Uzmanı, TAI, TUSAŞ Türk Havacılık ve Uzay Sanayi A.Ş., Kazan, Ankara.

⁴ Tasarım Uzmanı, TAI, TUSAŞ Türk Havacılık ve Uzay Sanayi A.Ş., Kazan, Ankara.

⁵ Kıdemli Teknik Uzman, TAI, TUSAŞ Türk Havacılık ve Uzay Sanayi A.Ş., Kazan, Ankara.

avionics equipments and for the cases where a central (mission) computer unit is not used. Also a simulator will be very helpful on the avionics integration processes. The Flight Crew Alerting System provides the flight crew members to realize instantly when there is a critical condition and gives information to the flight crew members if there is a function loss took place in the aircraft. Because of these reasons, Flight Crew Alerting System is one of the most important systems in the aircraft. Airworthiness standards, certification documents and the guidance materials describing the crew alerting systems, have deviations and differences between each other in some subjects (Pritchett, 2001; Kaygusuz and Uyar, 2011). In this study, the avionics architecture, hardware, software, design processes and the implementation of a small scale flight and cockpit simulator is described. Additionally, a visual/aural alert system simulation compatible with the three design guidelines which are commonly used in aerospace industry is explained. The designs and implementations for both of the simulator is performed in the year 2010 and both are installed on the same body.

Keywords: Annunciator panel, ARINC 429 (ARINC 429, 2001), aural alert, cockpit simulator, COTS, federated avionics architecture, flight crew alerting system, flight display simulator, human-machine interface simulation, visual alerting system.

Hava Aracı Aviyonik Sistem Mimarisine Giriş

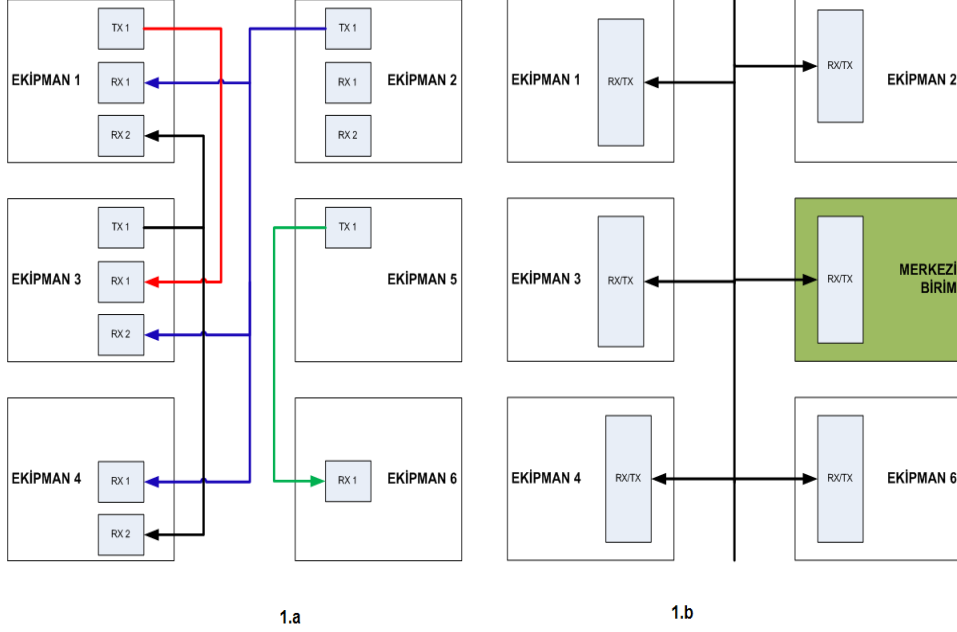
Hava aracı kokpit işlevselliğinin doğru biçimde planlanması, pilot iş yükünün azaltılmasında oldukça önemli bir rol oynar. Kokpit cihazlarının kolay erişiminin sağlanması için antropometrik özellikleri dikkate alan yerleşim çalışmaları yapılmaktadır. Bu tasarım biçimi genel uygulamanın önemli bir parçasıdır ve uçuşa elverişlilik rehberleriyle çoğunlukla zorunlu kılınmıştır (EASA CS23, 2003; SAE AS 8034A, 2003; SAE ARP 4256A, 2001). Benzer şekilde kokpit göstergelerinin de görevlerini etkin biçimde yerine getirmesi beklenmektedir. Daha açık bir ifade ile her bir kokpit göstergesinin üzerindeki sembolojinin, pilota bilgileri doğru iletecek içerik ve görsel yeterlikte olması gerekmektedir. Aynı zamanda bu yetkinliğin entegratör tarafından ispatlanması uluslararası havacılık otoriteleri tarafından talep edilmektedir (EASA CS23, 2003). Bir “kokpit temel göstergeleri simülasyonu” bu gösterge setinin yeterliliğinin ispatında en açık, en kabul edilebilir çözümlerden biridir. Tam olarak amaçlanan, tüm bir uçuş boyunca bu göstergelerde gösterilecek tüm verilerin, pilotlardan oluşacak bir ekibe gösterimi ve gösterge yetkinliğinin bu ekip tarafından onaylanmasını sağlamaktır.

Tüm hava aracı verilerinin bir ya da birden çok bilgisayarda işlendiği ve göstergelere daha çok video sinyali ile görüntü gönderildiği tümleşik mimarilerde simülatör çözümü geliştirmenin çok zor olmadığı bilinmektedir. Bilgisayarda koşan tüm yazılımın genellikle entegratör firmanın ürünü olması sebebiyle, geliştirme testlerinde kullanılan laboratuvar ortamı oluşturulan videoların yeterliliğinin ispatı için de kullanılabilir. Tümleşik aviyonik mimarinin merkezindeki bilgisayar, simülasyon mimarisinin de merkezinde yer alabilir. Bu tip bir çalışmada ekranlar planlanırken pilotlar da tüm sürece katılmaktadır, buna bağlı olarak da pilotlar ekranlardaki görsellerin ne derece yeterli olduğundan emin

olmaktadır, hatta bu sayede bir insan-makine arayüzü yetkinlik testine gerek bile kalmayacağı öngörülebilir. Oysaki video sinyallerinin kullanılmasının tercih edilmediği durumlarda; temel aviyoniklerin ya da seyrüsefer araçlarının rafta hazır ticari (RAHAT) ve akıllı göstergelere doğrudan bağlandığı dağınık aviyonik mimarilerde, ekran görüntülerinin hava aracı tasarlayan firma tarafından oluşturulması mümkün değildir ya da çok yüksek, tekrarlanmayan yatırım maliyeti gerektirmektedir. Şekil 1.a'da bu tip bir mimarinin blok çizimi verilmiştir. Görüleceği üzere tüm aviyonik cihazlar bağımsız bir şekilde kaynak ekipmanlardan istedikleri veriyi almaktadırlar. Bu tip bir mimaride işlem gücü ya da basitçe yazılımlar tüm cihazlara dağılmış vaziyettedir. Örneğin şekildeki ekipmanlardan bazıları seyrüsefer hesaplaması yapma yeteneğine sahip aktif matris sıvı kristal göstergeler (AMLCD) olabilir. Bu tip bir durumda hava aracı tasarımcısı firma çoğunlukla RAHAT imalatçısı elektronik firmasına bağımlı kalmaktadır. Özellikle temel uçuş göstergesi (primary flight display, PFD) içeriği ile bunun yedeklendiği göstergelerin içerikleri çok kritiktir ve pilotlarca uygun bulunacak bir biçimde görüntülenmelidir.

Dağınık mimarilerde cihazlar sadece ihtiyaç duydukları veriyi aldıkları ve aynı hat üzerinden cevap göndermedikleri için veri yolları da tek yönlü ve kontrolsüzdür. Hat üzerinde bir tek verici mevcuttur. Geri kalan cihazlar hattı dinleyerek ihtiyaç duydukları veriyi alırlar.

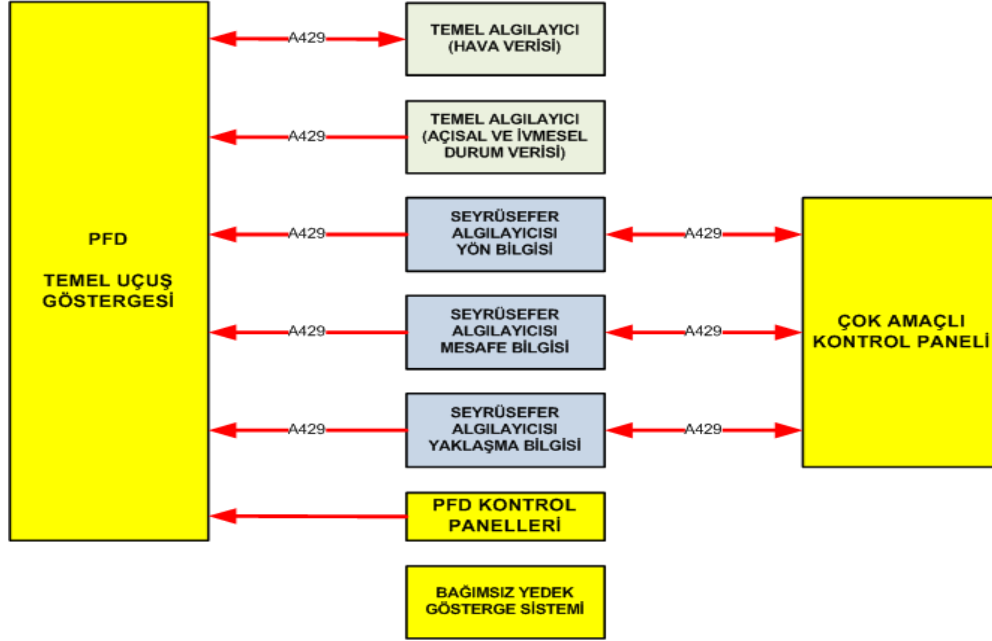
Diğer yandan tümleşik mimarilerde tüm veri merkezi bir noktaya akar, orada işlenir ve buradan uygun biçimlerde işlenerek diğer cihazlara dağılır. Şekil 1.b'de bu tip bir mimarinin blok gösterimi verilmiştir. Bu tip bir sistemde merkezde bir işlemci birimi mevcuttur ki bu mimari biçiminde merkezi işlemci birimini (çoğunlukla görev bilgisayarı) aynı zamanda göstergeler için video işleme ve üretme amacıyla da kullanmak mümkündür. Dolayısı ile bu merkezi birim (Şekil 1.b'de yeşil renk ile gösterilmiştir) simülasyonda da video kaynağı olabilecektir. Oysaki Şekil 1.a'da yer alan mimari biçiminde bu tip bir kaynak yoktur. Şayet bir de RAHAT göstergeler kullanılıyor ise, bu tip bir sistemin insan-makine yeterliliği için bir simülatör tasarlamak ya da üretmek için başka bir veri kaynağı bulmak gerekecektir.



Şekil 1.a Dağınık Veri Yolu İçeren Mimari, **1.b** Tümleşik Veri Yolu İçeren Mimari.

Bu çalışma iki ayrı benzetim sistemini konu almaktadır. Bahsedilecek ilk benzetim sisteminde, RAHAT akıllı göstergelerin kullanıldığı, dağınık mimari ve veri yolları içeren bir hava aracı tasarım projesinde, yukarıda bahsi geçen nedenlerden dolayı tasarlanan ve devreye alınan, küçük ölçekli bir benzetim sisteminin detayları anlatılacaktır. Bu çalışmaya konu olan hava aracı tasarım projesinde kullanılan dağınık ya da dağınık mimaride de benzer özellikler sergilenmektedir. Akıllı bir PFD göstergesi, bu göstergeye doğrudan bağlı PFD kontrol panelleri, PFD göstergesine yine doğrudan bağlı temel algılayıcılar (hava veri algılayıcı, açısız ve ivmesel durum algılayıcısı), yine temel uçuş göstergesine doğrudan bağlı seyrüsefer aviyonikleri mevcuttur. Hava aracının gösterge sisteminin temel uçuş verisi mimarisi bu şekilde planlanmıştır. Tüm bu aviyonikler PFD cihazına, ARINC 429 veri yolu üzerinden bağlıdır. Hava aracında bulunan tüm seyrüsefer algılayıcıları hem PFD cihazına hem de frekans, mod ve diagnostik kontrol sağlayan merkezi kontrol radyosuna yine ARINC 429 ile bağlanmıştır. PFD ile birlikte, yedek uçuş göstergesi ve çoklu kontrol paneli en önemli insan makine arayüzleridir. Şekil 2’de bu mimarinin anlaşılır olması için oldukça yüzeysel bir anlatımı verilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere bu tip bir mimaride çok fazla veri yolu kullanılmaktadır.

Çizimden de net bir şekilde görülecektir ki, bu dağınık mimari örneği, klasik tanımla “dağınık bir topoloji” sergilemektedir.



Şekil 2. Hava Aracı Temel Donanımlarının ve Bağlantılarının Blok Gösterimi

Uyarı Sistemlerine Giriş

Bir hava aracı birçok alt sistemin birleşmesinden ve birlikte çalışmasından oluşan bir sistemler bütünüdür. Her bir alt sistem kendi fonksiyonlarını yerine getirmenin yanı sıra diğer sistemlerle de koordineli bir şekilde de çalışmaktadır. Bu makaleye konu olan Uyarı Sistemleri ise Sesli uyarılar ile ilgili bölümler içermesi açısından Haberleşme Sistemi'ne, Görsel uyarılar ile ilgili bölümler içermesi açısından da Gösterge, Kayıt ve Kontrol Sistemi'ne dâhil edilmiş durumdadır.

Uyarı Sistemlerinin asıl amacı içinde bulunulan duruma pilotun dikkatinin çekilmesidir. Acil durumlarda pilotun konunun farkına bir an önce varması ve gereği beklenen işlemi öngörülen zaman içinde yapması planlanmaktadır. Bunu da hatasız ve düzgün çalışan bir uyarı sistemi sağlamaktadır. Pilot içinde bulunulan birçok kritik durumun farkına kokpitte bulunan göstergeler vasıtasıyla ya da hissiyatla varabilir fakat burada zamana karşı bir yarış söz konusudur. Vuku bulan durum uyarı sistemi vasıtasıyla pilota kesin ve açık bir şekilde ifade edilmesi durumundan pilotun acil durum esnasında hesaplamalar, kontroller ve incelemeler ile

zaman kaybetmemiş olması sağlanır ve doğru müdahaleye de yönelmiş olur (SAE ARP 4102/4, 2007; ADA 106732, 1981).

Ayrıca birden fazla kritik durumun olduğu durumda pilota geri besleme sağlama özelliği de uyarı sisteminin artlarından biridir. Perdövites (Stall) uyarısı ve yakıt az durumlarının aynı anda yaşandığı bir senaryoda daha önemli olan perdövites durumu giderilmeye çalışılırken yakıt az durumu unutulabilir. Sistemin görsel ve sesli olarak sağladığı uyarılar ile durum düzelmediği sürece pilotun hatırlaması sağlanmalıdır (AC/ACJ 25.1332, 2002).

Bir Uyarı Sistemi Benzetimi İçin Kullanım Alanları:

Bir hava aracındaki toplam uyarı sayısı ve çeşitliliği tamamen hava aracının sınıfı, işlevi, büyüklüğü ya da görev yükleri gibi unsurlarla belirlenir. Sistem, bazı çalışmalarda hava aracı pilot bilgi sisteminin kaybına yol açabilecek ya da önemli bir kayıp sayılabilecek 6 önemli unsurdan birisi olarak analiz edilmiştir (Thompson, Stough ve Green, 1999). Dolayısı ile oldukça önemli bir sistemdir. Aynı zamanda oldukça karmaşıktır ve doğru biçimde kullanımı hayat kurtarabilir. Kritik bir durum esnasında uyarı sisteminin doğru ve etkili bir görsel ve/veya sesli uyarı üretmesi, pilotun gerekli müdahaleleri yapmasını sağlar. Böylece hem mürettebatı, varsa yolcuları hem de hava aracını kurtarabilir. Dolayısı ile bir uyarı sistemi simülöründe pilotların eğitilmesi oldukça büyük önem arz etmektedir. Küçük bütçeli projelerde, özellikle de eğitim ve akrobasi amaçlı küçük uçaklarda tam ölçekli ve tüm işlevleri içeren bir simülör yapılmasındansa, sadece kritik işlevlerin öğretildiği bir uyarı sistemi simülörünün yapılması kabul edilebilir bir maliyet avantajı sağlayacaktır. Diğer yandan, bu simülörün mümkün olan en küçük bütçeyle ve en işlevsel biçimde yapılması temel mühendislik yaklaşımlarından birisidir. Pilotların çeşitli senaryolarla eğitilebildiği bir simülörün oldukça işlevsel olacağı yadsınamaz bir gerçektir. Benzer şekilde ikaz sisteminin mükemmelleştirilmesinde ve atlanması muhtemel birtakım işlevlerin fark edilmesinde de bu tip bir simülör faydalı olacaktır. Ayrıca bu tip bir sistem, hava aracı sistem tasarımı işine yeni başlayan mühendislerin uyarı sistemlerinin işleyişi üzerine eğitilmesinde de kullanılabilir.

Bu çalışmanın içerdiği ikinci simülasyon sisteminde; bu tip küçük bütçeli bir ikaz sistemi benzetim sisteminin tasarımı anlatılacaktır. Ayrıca kullanımı ile ilgili birtakım örnekler de verilecektir. Ama sistemin işlevlerinin anlaşılabilmesi için buradan sonraki başlıklarda, kısaca da olsa benzetimin gerçekleştirdiği tüm ikaz sistemi özellikleri de anlatılmıştır. Böylece ikaz sistemi benzetiminin görevleri de netleşecektir. Bu çalışmada kullanılan uyarı sistemi tasarlanırken sistemin dünya havacılık otoritelerinin

sertifikasyon rehberleriyle uyumlu olması amaçlanmıştır. Bu nedenle çeşitli rehber dokümanlardan yararlanılmıştır.

Uyarı Sistemi Mimarisi ve Alt Bileşenleri:

Hava Aracına ait uyarı sistemleri genel itibarıyla sesli uyarılar ve görsel uyarılar olmak üzere iki kısımdan oluşur (SAE AS 8034A, 2003). Ancak bazı uyarı sistemlerinde dokunsal uyarılara da rastlanmaktadır (Perdövites uyarısı için levye sallayıcı (stick shaker)'da kullanıldığı bazı hava platformlarında görülmüştür). Bu başlıkta daha sonra benzetimi anlatılacak olan bir uyarı sisteminin özelliklerinden bahsedilecektir. Çalışmada uyarı sistemi tasarımında kullanılan rehberler bu alanda dünyada en yaygın kabul görmüş dokümanlar arasındadır.

Sesli ve görsel uyarılar sistemlerini oluştururken temel alınan ölçüt uyarıların kritiklik seviyeleridir. (SAE ARP 4102/4, 2007) dokümanı uyarıları 4 ayrı sınıfta gruplamaktadır. Daha askerî bir görüntü çizen (AC/ACJ 25.1332, 2002) ise 3 seviyeyi yeterli görmüştür. Bu iki rehber göre kendi içinde gruplara ayrılan uyarılar (ADA 106732, 1981) rehber göre de kendi içinde önemlerine göre bir öncelik sırasına dizilirler. Bu çalışmada uyarılar 3. seviye uyarılar (Warning), 2. seviye uyarılar (Caution), 1. seviye uyarılar (tavsiye mesajları, Advisory) ve Bilgi mesajları yani 0. seviye uyarılar (bilgi mesajları) olarak adlandırılabilirler. Her durumda da en yüksek seviyeli uyarı en kritik uyarıdır. Aşağıda bu seviyeler özetlenmiştir.

3. Seviye Uyarı (Warning): Acele pilot müdahalesi gerektiren durumlar için öngörülen uyarı seviyesidir. Bu uyarılarda pilotun gereği beklenen işlemleri bir an önce yapması planlanmaktadır. Geçen zaman bu seviyedeki uyarılar için oldukça önemlidir (SAE ARP 4102/4, 2007).

2. Seviye Uyarı (Caution): Acele pilot farkındalığı gerektiren anormal durumlar için öngörülen uyarı seviyesidir. Bu uyarı seviyesi esnasında da pilot müdahalesi gerekmektedir, fakat 3. seviye uyarı ile kıyaslandığında bu süre daha uzun tutulmuştur. Öncelikli amaç pilot farkındalığıdır. Hava aracında daha kritik bir durum kalmadığı şartlarda (ortamda birden fazla kritik durum uyarısı var ise) pilot gereği beklenen işlemleri yapması gerekmektedir (SAE ARP 4102/4, 2007).

Tavsiye mesajları: Sadece pilot farkındalığı gerektiren durumlar için öngörülen uyarı seviyesidir. Bazı 1. Seviye Uyarılar için sadece farkındalık yetecek iken, bazıları için de pilot müdahalesi acil olmamak kaydıyla gerekmektedir. Genel itibarıyla 1. Seviye uyarılar için sesli uyarı öngörülmemektedir. Görsel ikaz rengi beyazdır. Bu tavsiye mesajları genellikle askerî uygulamalarda kullanılmaz (ADA 106732, 1981).

Bilgi mesajları: Sadece kokpite bildirim gereken durumlar için öngörülen uyarı seviyesidir. Pilotları durum konusunda bilgilendirme amaçlanmıştır. Beraberinde herhangi bir pilot müdahalesi gerekmemektedir. Uyarı rengi olarak yeşil kullanılması öngörülmektedir (SAE ARP 4102/4, 2007).

Tasarlanan uyarı sisteminde pilotların gelen her bir 3. ve 2. Seviye uyarıyı fark ettiklerini sisteme bildirmeleri için birer master anahtar eklenmiştir. Yeni gelen görsel ikazlar uyarı panelinde 2 Hz.lik bir frekansla yanıp sönecektir. Pilot bunu fark ettiğini master anahtar-lambasına basarak sisteme bildirecek, ancak o zaman master ikaz sönecek ve görsel ikaz yanıp sönmeyi bırakarak normal yanmaya başlayacaktır (3. Seviye uyarılar için bu durum geçerli, 2. Seviye uyarılar için herhangi bir yanıp sönmeye (blink) fonksiyonu düşünülmemiştir.) Ayrıca bu basma işleminden sonra sesli ikaz da susacaktır (SAE ARP 4102/4, 2007; ADA 106732, 1981; AC/ACJ 25.1332, 2002). Ancak pilotun bu süreci uçaktaki anormal durumu düzeltme sürecinin içine yayması gerekir. Yine uyarı sistemi tasarım rehber dokümanları seviye 3 ikazlar için master warning ve seviye 2 ikazlar için master caution'u zorunlu kılmıştır. Ayrıca seviye 3 ikazlar için sesli (ton ya da sözlü mesaj) zorunlu kılınmıştır (SAE AS 8034A, 2003). Burada söz konusu olan uygulamada seviye 2 ikazlar için de genel bir ses olan CAUTION sesli uyarısı kullanılmaktadır.

Sesli Uyarı Donanımları

Sesli uyarısı, görsel uyarının yanında öngörülmuş uyarılar için ton üretici ve ses üretici kullanılmaktadır. Sesli uyarısı ton olarak atanmış uyarılar için ton üretici kullanılır. Üretilen ton sesi pilotların kulaklıklarına aktarılır ve kulaklık vasıtasıyla pilotlar bu sesi duyar. İnsan kulağının farklı tonları ayırt etme kapasitesi sınırlı olduğundan dolayı bir uçakta sesli uyarılar için kullanılacak ton sayısı da sınırlanmıştır. Genel olarak 10 çeşit farklı tondan fazlasının kullanılması öngörülmemektedir.

Ses Üretici: Sesli uyarısı sentetik insan sesi olarak atanmış sesli uyarılar için ses üretmede kullanılır. Üretilen sentetik ses pilotların kulaklıklarına aktarılır ve kulaklık vasıtasıyla pilotlar bu sesi duyar.

Kokpitte hem iç haberleşmeden (pilotlar arası interkom vasıtasıyla yapılan haberleşme), hem dış haberleşmeden (telsizler vasıtasıyla; kuleyle ve diğer hava araçlarıyla yapılan haberleşme), hem de seyrüsefer ekipmanlarından gelen tonlardan kaynaklanan sesler bulunmaktadır. Bunlara Sesli Uyarılar olarak eklenen ton ve sentetik seslerin pilotun iş yükünü arttırıcı ve diğer sesleri engelleyici durumda değil, iş yükünü azaltıcı ve acil durumu açıkça bildiren şekilde olması istenmektedir. Bu

sebeple uyarıları değerlendirirken ne çok önemli olmayan uyarıya kritiklik seviyesi atanmalıdır ne de çok önemli olan bir uyarıya sıradan uyarı değerlendirmesinde bulunulmalıdır. Çok önemli olan Perdövites uyarısının 1. seviye olarak değerlendirilip sesli uyarı atanmaması ne kadar ciddi bir yanlış ise, sadece bilgi amaçlı olan EXT PWR ON uyarısının da 3. seviye uyarı olarak değerlendirilip sesli uyarı atanması da o kadar yanlıştır.

Görsel Uyarı Bilgi Ekranı

Her bir uyarı için atanmış özel hücreye sahip olan Görsel Uyarı Bilgi ekranında 4 farklı uyarı seviyesi için 4 farklı renk kullanılmıştır. Bu renklerden önceki bölümlerde bahsetmiştik. Aşağıda şekil 3'te tek turbo-prop motoru olan bir uçağa ait, daha önce tasarlanmış ikaz paneli ekranı görülmektedir.

İkaz paneli hava aracı mimarisine göre bağımsız bir donanım olarak veya aktif matrisi sıvı kristal ekranlardan oluşan ana borda panellerinde bir sayfadan ibaret olarak tasarlanabilir. Her iki durum da kullanılmaktadır. Sadece 3. seviye uyarılar (OXYGEN, ECS Fail, vb) için blink etme (belirli bir periyotta yanıp sönme) öngörülmüştür. Diğer seviyeler (GEN, ICE, vb.) için böyle bir durum yoktur. Her bir uyarının aktif olması durumunda ilgili hücredeki görsel bilgi ışığı yanacak, aktif olmadığı durumda da ışık sönecektir.

Gösterge Benzetim Sisteminin Mimarisi

Sistemin temelinde bir uçuş benzetimi yazılımından ya da kullanılan ARINC 429 kart arayüzünden alınacak çeşitli verilerin ARINC 429 sinyallerine dönüştürülerek arkasından RAHAT gerçek aviyoniklere yollanması mantığı yatmaktadır. Simülatör sistemi merkezinde bir bilgisayar cihazı olacak şekilde planlanmıştır. Dolayısı ile hava aracındaki mimari dağınık olsa bile, aslında simülatördeki mimari tümleşik bir mimaridir. Verilere kaynaklık eden tüm çevresel donanımların verileri bu bilgisayarca taklit edilecektir. Maliyet düşürmek amacıyla uçuşa elverişli bir hava aracı bilgisayarı değil, standart bir ticari ürün üzerinde (PC) ticari bir işletim sistemi ile birlikte kullanılmıştır.

Sisteme ARINC 429 veri iletimini sağlayabilecek bir arayüz kartı, PCI slotları üzerinden bağlanmıştır. Ayrıca pilotların uçuş benzetimi yapmak istemeleri ihtimaline karşı USB bağlantılı analog algılayıcılar kullanılarak bir uçuş kontrol levyesi, bir gaz kolu ve rudder pedalları tasarlanmıştır ve piyasada yaygın bir şekilde kullanılan 3 temel uçuş benzetim yazılımı için de ayrı ayrı gerekli arayüz ve bağlantılar hazırlanmıştır. Simülatör sisteminin tüm bağlantılarının yapılabilmesi için

cihazların tüm giriş çıkış uçları incelenmiş ve bir kablo ağı planlanmıştır. Bu kablo ağının planlanmasında öncelik maliyet düşürmek ve uygulama kolaylığı olmuştur. Hava aracı mimarisinin dağınık yapıda oluşu veri yolu sayısını ciddi şekilde artırmaktadır. Veri yolu sayısının azaltılması için çeşitli yöntemler geliştirilerek kablo ağının da rahatlatılması amaçlanmıştır.

STALL	OIL PRESS LOW	OXYGEN	CAS FAIL
PMU FAIL	CANOPY	ECS FAIL	CABIN PRESS
FUEL PRESS	HYD PRESS	EMER HDY PRESS	HYD QTY LOW
HYD OVERTEMP	FLAP OVSPD	ENG CHIP	-----
SEAT NOT ARMED	L FUEL LOW	R FUEL LOW	ENG F FILTER
M BAT HOT	GEN	M BAT OFF	FCU STATUS
ICE	PROP D-ICE FAIL	ICE DET FAIL	CABIN ALT
F IMBALANCE	AUX BOOST ON	PRI PITOT STAT	SEC PITOT STAT
PMU STATUS	F SOV CLOSED	HYD SOV CLOSED	MAN F BAL
TRIM DISC	-----	-----	-----
F FILTER	-----	-----	-----
PROP -DICE ON	SPEED BRAKE	NWS	EXT PWR
IPS	IGNITION	ENG START	-----

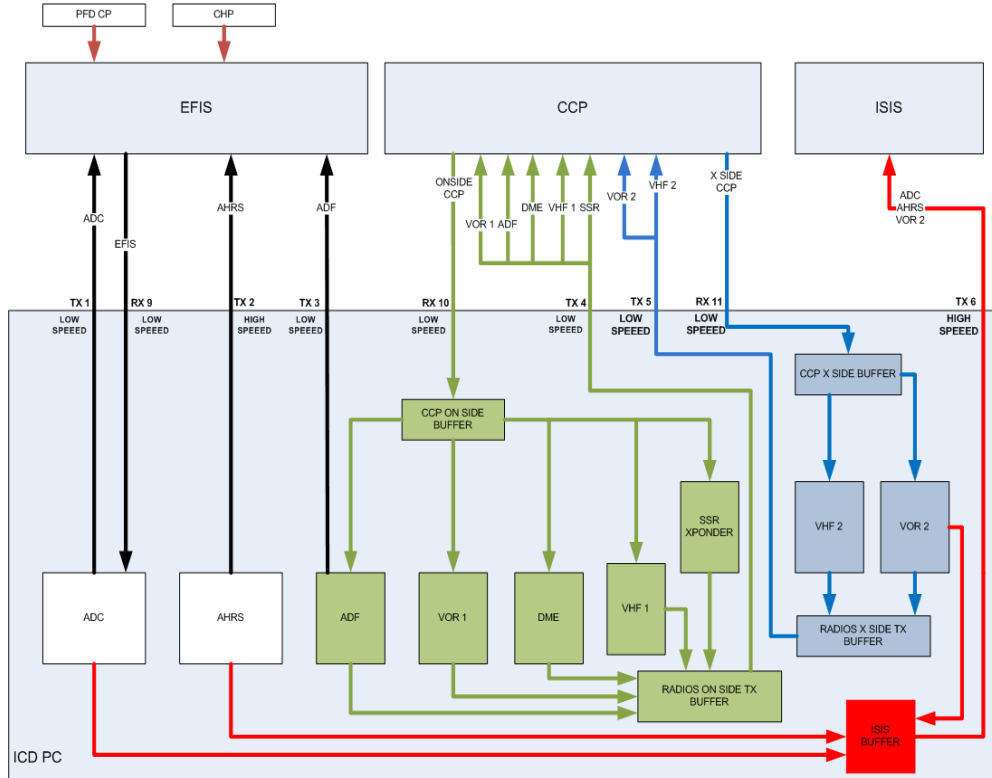
Şekil 3. Görsel Uyarı Bilgi Ekranı.

Veri Yolu Mimarisi

Sistem ne kadar basit tasarlanırsa kullanımı ya da uygulaması o kadar kolay olacaktır. Bu nedenle dağınık veri yolları üzerinden gidecek veriler taranmış ve benzer verilerin gittiği yollar birleştirilmesi yoluna gidilmiştir. Bu çözüm, toplamda kullanılacak veri yolu bağlantısı sayısını düşürmektedir. Orijinal hava aracında her biri farklı çıkış portlarından gönderilecek verilerin her biri, aslında simülör de aynı kaynaktan, yani Şekil 3'te ICD PC adıyla gösterilen bilgisayardan üretilmektedir. Öyleyse bunların tek hattan çıkarılıp daha sonra ayrılarak donanımlara dağıtılması mümkündür. Bu nedenle gösterimi yapılacak tüm verilerin ARINC 429 etiket listeleri çıkartılmış, hangi verilerin uyumlu olduğu ya da aynı kaynaktan gelebildiği sorgulanmış ve son olarak aşağıda Şekil 3'te gösterilen birleşik veri yolu ağı tasarlanmıştır (ARINC 429, 2001). Örneğin bu yöntemle Şekil 4'te, 5 ayrı veri yolu yerine TX4 tek kanal olarak kullanılmıştır.

Burada dikkat edilmesi gereken nokta şudur; bir veri yolu kanalına aşırı veri yüklemek, o veri yolunda hata olasılığını artırmaktadır. Düşük

yoğunluklu veri yollarında hata olasılığı daha düşüktür. Bu nedenle veri yoluna 5 ayrı donanımın verisi yüklenirken, herhangi bir aşırı yoğunluk durumuna yol açılmadığından emin olmak gerekir. Kablo ağında herhangi bir hata olasılığına karşı da ayrıca, hava araçlarında kullanılan, gerçek, uçuş elverişli kablolar ve gerçek konnektörler, yine hava araçlarında uygulanan yöntemlerle uygulanmıştır.



Şekil 4. Veri Yolları Mimarisi.

Benzetimi Sağlanacak Veriler

Benzetilmesi gereken veriler standart bir hava aracı ekranında olması gereken veriler ile uyumludur. Özellikle PFD için gerekli verileri hava hızı çeşitleri, irtifa, açılal bilgiler ve durum verileri olarak nitelendirmek mümkündür (Helfrick, 2007). Simülasyon sistemi içinse gerçek aviyoniklerin arayüz kontrol dokümanlarından tüm gerekli veri çıkarılmıştır. Çizelge 1'de bu verinin sadece basit bir örneği görülmektedir. Sadece hava verisi bilgisayarı donanımı (HVB) için bilgiler özetlenmiştir. Aslında toplam simüle edilmesi gereken veri etiketi sayısı 81 adettir. 1 numaralı denklemde de görüleceği gibi veri yolu yoğunluğunun yüzde cinsinden ifadesi ($\alpha_{\%}^G$), bir verinin içerdiği toplam bit sayısı ($C=32$), her bir veri etiketi arasındaki boşluk ($d=4$), ortalama veri yenilenme oranı (*veri etiketinin yenilenme*

frekansı, $f_{ave}=8$), toplam veri etiketi sayısı ($T=15$) ve veri transfer oranı (frekans, G) değerlerinin bir fonksiyonudur. Burada sonucun en yoğun veri yolunda bile kabul edilebilir şekilde düşük bir yüzde ifade ettiği görülmüştür. Veri yolu birleştirilmesinden sonra kanalların yüklenmelerinin tespitini takiben, 81 verinin hangi kanaldan RAHAT aviyoniklere gönderileceğine dair planlama yapılmıştır.

$$a_{\%}^G = \frac{(C+d) \cdot f_{ave} \cdot T}{G} \cong 34,56 \% \quad (1)$$

Tablo 1. Simüle Edilmesi Gereken ARINC 429 Etiketleri Örneği.

ARINC 429 Etiketi	Model Adı	TX/RX	1 Saniye de Yenilenme Oranı	Parametre	Kimden	Kime
204	HVB	TX	16	Baro corrected altitude	HVB	PFD
206	HVB	TX	8	Computed airspeed	HVB	PFD
210	HVB	TX	8	True airspeed	HVB	PFD
205	HVB	TX	8	Mach number	HVB	PFD
212	HVB	TX	16	Altitude Rate	HVB	PFD
211	HVB	TX	2	Total air temperature	HVB	PFD
213	HVB	TX	2	Static air temperature	HVB	PFD
203	HVB	TX	16	Pressure altitude(1013.25 mbar)	HVB	PFD
207	HVB	TX	8	Maximum Allowable Airspeed	HVB	PFD
235	HVB	TX	8	Baro Correction inHg (Echo)	HVB	PFD
235	HVB	RX	8	Baro Correction inHg	PFD	HVB

Yazılım Mimarisi

Oyun Simülatörlerine Genel Bir Bakış

Bilgisayar teknolojisindeki ilerlemeler beraberinde oyun yazılım teknolojisinde büyük ilerlemelere sebep olmuştur. Özellikle uçuş simülatörlerindeki kullanılan simülatör yazılımlarının maliyet ve bakımlarının yüksek oluşu bu simülatörler yerine oyun amaçlı kullanılan

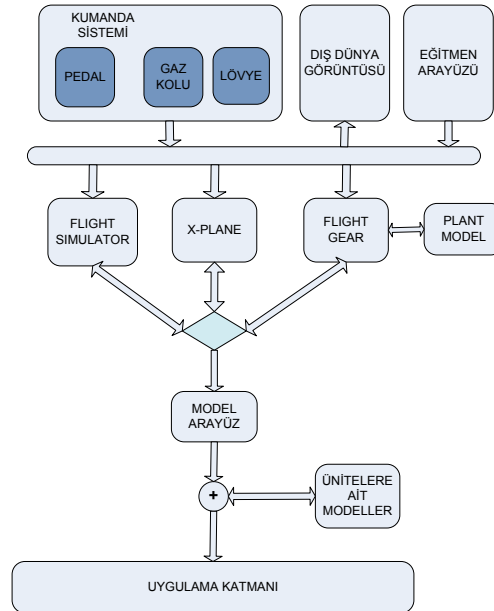
platform simülasyon araçlarının kullanımını arttırmıştır. Lockheed Martin firması burada bahsi geçen Flight Simulator yazılımını tüm haklarıyla satın almıştır, modifiye etmiştir ve şu an kendi lisanslı ürünü olarak araştırmalarında kullanmakta ve satmaktadır.

Günümüzde en yaygın kullanılan oyun simülatörleri Flight Simulator, Xplane 9.0 ve Flight Gear'dır. Bu simülatörlerin her birinin diğerine göre avantajlı ve dezavantajlı yanları vardır. Flight Simülatör ve Xplane ücretli simülatörlerdir. FlightGear ücretsiz olarak kullanılabilen açık kaynak kodlu bir simülasyon programıdır. FlightGear'ın avantajı her türlü veri alışverişine izin vermesi ve kendi uçuş modelinizi kullanabilmenizdir. Fakat grafiksel kalite ve detay olarak diğerlerine göre zayıftır.

Simülasyon Çerçeve (Framework) Yazılımı

Oyun simülatör araçlarının birbirlerine göre üstünlük ve zayıflıkları bulunmaktadır. Bu doğrultuda gerçekleştirilen bir proje ile bu üç oyun simülatörünü destekleyecek yapıda (Şekil 5'te görülen) bir Simülasyon Çerçeve yazılımı gerçekleştirilmiştir.

Simülasyon çerçeve yazılımı 5 kısımdan oluşur. Bunlar Kumanda Sistemi, Kullanıcı Arayüzü, Dış Dünya Görüntüsü, Model Arayüz, Ünite Modelleri'dir.



Şekil 5. Simülasyon Çerçeve Yazılım Mimarisi.

Kumanda Sistemi: Her bir oyun simülatöründe yer alan uçuş modeline gerekli olan kumandayı sağlayan sistemdir. Kumanda sisteminde

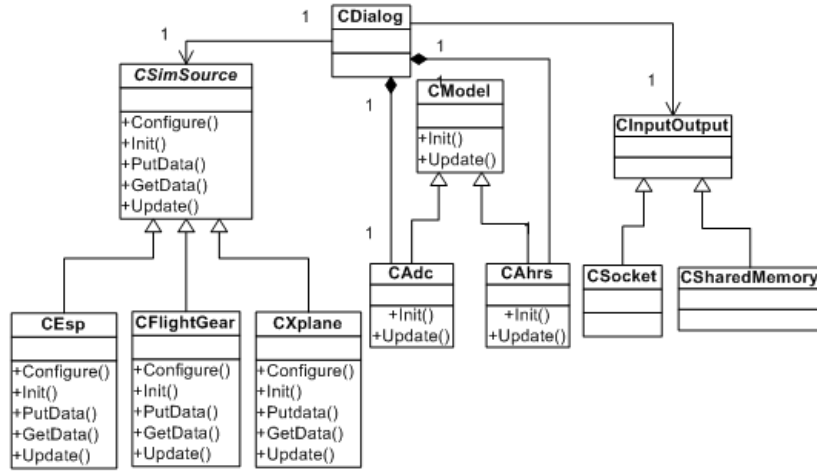
yer alan levye ile uçan platforma yuvarlanma ve yunuslama hareketleri sağlanır. Gaz kolu ile ivmelenme ve hız sağlanır. Pedal yardımı ile uçağın düşey eksenini boyunca yalpalama hareketi yapmasını sağlar.

Eğitmen Arayüzü: Basit Simülatör yazılımlarında kullanıcı arayüzlerinin nasıl olması gerektiğini anlatan, (USA DoT FAA, 2008) numaralı referansta da belirtildiği üzere kullanıcının klavye, fare vb. araçlarla simülasyon yazılımına müdahale etmesine izin vermemelidir. Bu unsurlar simülasyonun durdurulması, başlatılması, yağmur, sis v.b. hava koşullarının değiştirilmesi suretiyle pilota değişik zorluk seviyelerinde uçuşa kabiliyetlerinin sınanması olarak düşünülebilir.

Dış Dünya Arayüzü: Dış dünyanın simülasyonu amacıyla oyun simülasyonlarından alınan görüntünün bağımsız bir ekran veya projeksiyona yönlendirilmesi suretiyle sanal uçuş ortamı oluşturulur.

Model Arayüzü: Desteklenen üç oyun simülatörlerinden veri iletişimini sağlayacak arayüz katmanıdır. FlightGear ve Xplane yazılımları ethernet üzerinden iletişim kurarlar. Flight Simulator ise dinamik bağlantı kütüphanesi üzerinden geri çağırma (callback) fonksiyonları tarafından çağrılarak mesaj iletimini sağlar.

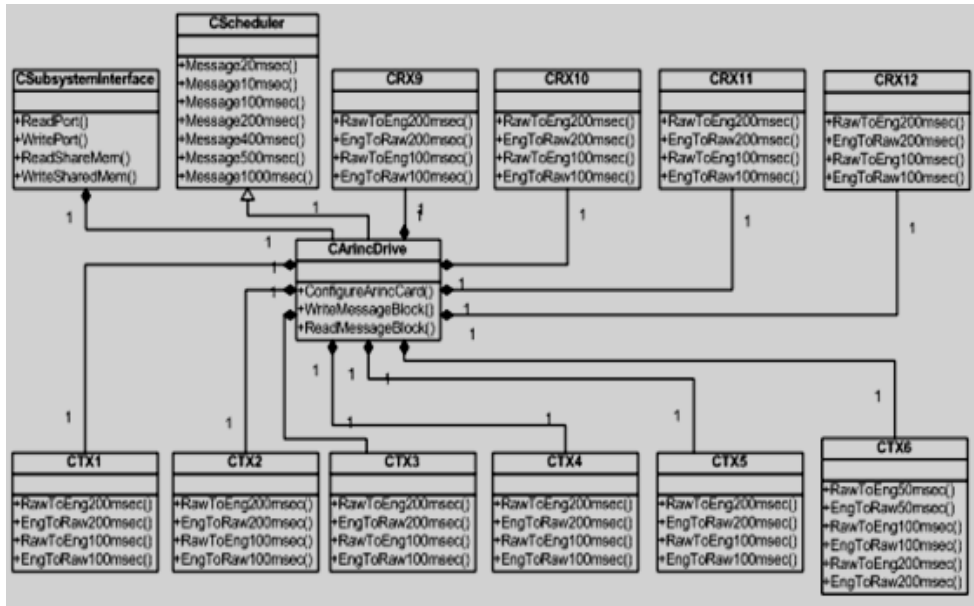
Ünite Modelleri: Simülatör ortamına bağlı olan gerçek ekipmanların dışında kalan ünitelerin modellenmesi bu kısımda gerçekleştirilir. Bu amaçla cihazlara ait işlevsel ister dokümanları incelenir ve bu ünitenin dışarıdan alması gereken veriler bunların hesaplanması yapılır. Ünite modeli tarafından hesaplanan veri tipi, simülasyon yazılımları tarafından aynı veri sağlanıyor ise bu değişim üstüne yazarak Uygulama Katmanına bu veriyi gönderir. Çerçeve yazılımı iki farklı konfigürasyon da kullanılabilir. İlki; tek bir bilgisayar üzerinde ve tek bir uygulama altında çalışma şekli ve diğeri ise, bir bilgisayarda çerçeve yazılımının diğeri bir bilgisayarda uygulama yazılımının çalıştırıldığı iki bilgisayarlı konfigürasyon şeklindedir. Çerçeve yazılımının sınıf diyagramları Şekil 6'da görülmektedir.



Şekil 6. Simülasyon Çerçeve Sınıf Diyagramı.

Simülasyon Çerçeve Yazılımı ile Küçük Ölçekli Simülasyon Uygulaması

Sistem gereksinimleri ve fonksiyonel gereksinimlerden elde edilen bilgiler yardımıyla yazılım gereksinimlerinin oluşturulmuştur. Her bir sistemin ihtiyaç duyduğu giden ve gelen mesajlar ile bunların yenilenme oranları belirlenmiştir. Sisteme bağlanacak ünitelerin arayüzü ARINC 429 oluşu için bu arayüzler ile ilgili her bir kanal için bir nesne oluşturulmuştur. Simülasyona gelen kanallar ile ilgili ARINC 429 mesaj formatının çözülerek mühendislik verisine çevrilmesi sağlanmıştır. Benzer şekilde simülasyondan çıkan kanallar içinde mühendislik verisinin ARINC 429 mesaj formatına dönüştürülmesi gerekmektedir. Aşağıda yer alan Şekil 7’de alt-sistem modülü sınıf diyagramı görülmektedir.



Şekil 7. Alt Sistem Modülü Sınıf Diyagramı

Gerçekleştirdiğimiz projede; bir önceki başlığın sonunda bahsedilen çift ve tek bilgisayarlı donanım mimarilerinden tek bilgisayarlı konfigürasyonun kullanımı tercih edilmiştir. Böylelikle düzeneğin ağırlığı ve maliyeti azaltılmıştır. Bu tip bir ağırlık azaltımı donanımın fiziksel gövde benzetimine entegrasyonu esnasında da kolaylık sağlayacaktır. Bu sebeple simülasyon çerçeve yazılımı ile uygulama yazılımı birleştirilmiştir. Şekil 7’de alt sistem modülü sınıf diyagramı görülmektedir. Özel durumlarda, örneğin sisteme yeni işlevler eklenmesi gerektiğinde, yine daha yüksek işlemci performansı sağlayabilen çift bilgisayarlı konfigürasyona dönebilmek mümkündür.

Simülâtörde kullanılacak alt sistemlere Şekil 4’te görüldüğü gibi 6 gönderme, 4 tanede alma kanalına ihtiyaç vardır. Bu amaçla 8 gönderme, 8 alma kanalına sahip bir ARINC 429 kartı seçilmiştir. Sistemde ARINC 429 kartı üzerinde TX1, TX2,.., TX6 gönderme kanalı ve RX9, RX10,.., RX12 alma kanalları konfigüre edilerek karta veri yollama/alma işlemi sağlanmıştır. Denklem 2’den yararlanarak, Rate Monotonic Scheduling yöntemiyle işlemlerin zamanlama analizi yapılırsa (Liu ve Layland, 1973).

Tablo 2. Rate Monotonic Zamanlama Analizi Verileri.

Kanal	Periyodu (T_i)	Proses Süresi (C_i)ms
10msec Messages	10msec	1
20msec Messages	20msec	1
100msec Messages	100msec	1
200msec Messages	200msec	1
400msec Messages	400msec	1
500msec Messages	500msec	1
1000msec Messages	1000msec	1

$$U = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{T_i} \leq n(\sqrt{2} - 1) \quad (2)$$

$U = 0.1885 \leq 0.82$ olduğu için zamanlama açısından bir problem oluşturmayacaktır. Simülatörde eğitmen ekranı tasarımında program başlatıldığında giriş ekranı görüntülenmektedir. Bu ekrandan simülasyon kaynağı olarak FlightSimulator, FlightGear ya da Xplane'den birisi seçilir. Seçim işleminden sonra Next tuşuna basılarak konsol ekranına geçilir. Konsol ekranı üzerinden simülasyonun başlatılması, durdurulması, havaalanı seçimi, hava şartlarının değiştirilmesi sağlanarak uçuşa değişik varyasyonlar kazandırılmıştır.

Uyarı Sistemi Benzetimi Yapısı

Benzetim sistemi tasarlanırken önceliği etkinlik ve maliyet kriterleri almıştır. Benzetim sisteminin pilot arayüzü kısmı, uyarı sisteminin tüm unsurlarını içerecek nitelikte olmalıdır. Etkinlikten kastedilen budur. Dolayısı ile hem sesli ve görsel uyarı yeteneklerini, hem uyarı reset yeteneğini hem de ana görsel uyarı yeteneğini içeren bir sistem tasarlanmalıdır. Diğer yandan sistemin ilk seviyede sadece eğitim amaçlı kullanılacak olması nedeniyle, kulaklıklar ya da benzeri detay donanımlara ihtiyaç yoktur.

Maliyet kriterinin etkisi ile olabildiğince, donanımsal içeriği az, ama yazılımsal olarak tüm işlevleri yerine getirebilen bir sistem gerekmektedir. Ayrıca pilotların, benzetim sistemini yöneten kişilerce (operatör) verilecek uyarıları önceden görmemeleri için bu arayüz pilot arayüzünden bağımsız olmalıdır.

Benzetim sisteminin ilk seviyesi devreye alındıktan sonra ikinci bir seviye ile daha gelişmiş ve yetkin bir sistem tasarlanabilir, yani sistem daha ileriye götürülebilir. Bu çalışmada sadece tasarlanan sistem değil, aynı zamanda en son kısımda ilerideki çalışmalar için planlananlar da anlatılacaktır.

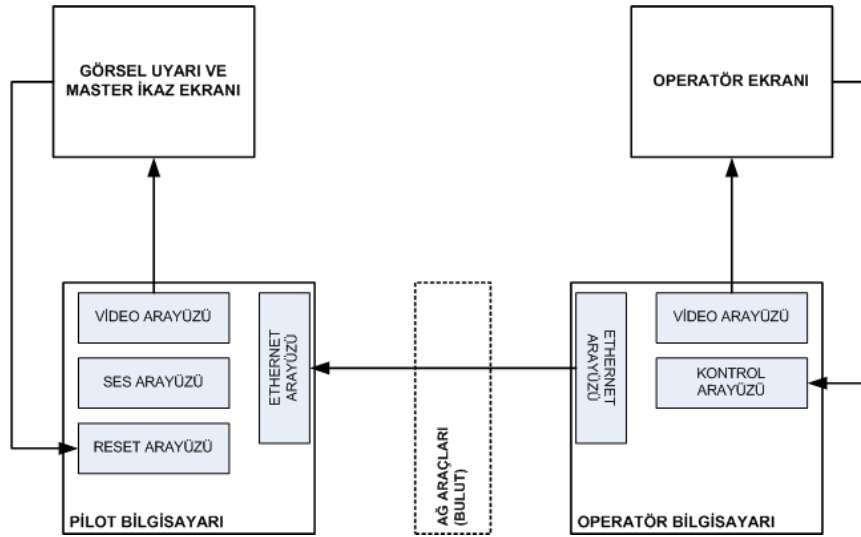
Sistem Mimarisi

Sistem temelde iki ticari bilgisayardan (çift çekirdekli işlemcilere sahip PC donanımları) oluşmaktadır. Bu iki ticari bilgisayar bir bilgisayar ağı üzerinde çalışacaktır. Aslında ikaz sistemini besleyen kaynak sistemler oldukça fazla sayıda olabilir. Burada söz konusu olan tek motorlu hava aracında 17 farklı sisteme ait uyarılardır. Belki ileride her bir sistem için farklı bir modellemenin koştuğu daha geniş bir bilgisayar ağı düşünülebilir. Şu an için operatör ekranında 17 farklı sisteme ait uyarının gösterildiği görsel uyarı ekranıyla birebir aynı bir anahtarlar matrisi mevcuttur. Operatör bu anahtarlara basarak uyarıları üretebilmektedir. Üretilen uyarılar bilgisayar ağı üzerinden diğer bilgisayara gönderilmektedir. Bu kısmın detayları yazılım mimarisi başlığında anlatılacaktır. Diğer bilgisayarda ise gerekli ikaz paneli, sesli uyarı, master görsel ikaz ve reset işlevlerini gerçekleştiren bir başka yazılım paketi mevcuttur. Aşağıda 7 numaralı şekilde bu donanım mimarisinin özet bir çizimi görülmektedir. Şekil 7’de görülen donanım mimarisinde kullanılan ekranların dokunmatik olarak adlandırılan ve yüzeylerinde dokunulan noktayı algılayan donanımlar olması, böylece dokunmaya dayalı bir insan makine arayüzü de sağlaması amaçlanmıştır. Yine Şekil 7’de görülen pilot bilgisayarından sistemde birden fazla olabilir. Bu birden fazla pilotun aynı ikazlar üzerine aynı anda eğitimini sağlayacaktır.

Piyasada yaygın bir şekilde kullanılan birkaç modelleme yazılımı mevcuttur. Bu yazılımların discrete modelleme özelliklerinin ikaz panelinin doğasını modellemede çok da etkin olmayacağına karar verilmiştir. Çünkü bu yazılımların büyük çoğunluğu çalışmakta olan bir simülasyona müdahaleyi olanaksız kılmaktadır. Bu ticari yazılımlarda sistemde bir anahtarın durumunu değiştirebilmek için yazılımı durdurmak (pause) gerekmektedir. Oysaki pilot eğitimi esnasında operatörün anlık müdahaleler yaparak, acil durumlarda tepkilerini doğru ayarlaması yönünde pilotu eğitmesi gerekmektedir. Benzer şekilde bu ticari modelleme yazılımlarının ayrık (discrete) modelleme (Uyarı sisteminin çalışması ayrık uyarı sinyallerinin seviye değişikliklerinden ibaret olduğu için ayrık modellemeye daha uygundur.) modlarının arayüz yetenekleri çok zayıftır. Bu nedenle ticari bir modelleme aracı yerine kendi yazılımımızı geliştirmek tercih edilmiştir. Aslında bu çalışmanın yazılım kısmından ziyade uyarı sisteminin

davranış biçiminin tasarlanması kısmı asıl büyük iş yükünü teşkil etmektedir. Tüm bu nedenlerle Şekil 8’de görülen bilgisayarlarda ticari bir modelleme ya da benzetim yazılımı değil, kendi ürünümüz olan davranış modelini içeren yazılım koşturmaktadır.

İkaz sisteminin tepki süreleri aslında oldukça kısa sürelerdir. İdeal bir uyarı sisteminde donanımın ve yazılımın toplam tepki süresi 150 ms ile 250 ms arasında olması istenmektedir. 500 ms’den daha büyük gecikmeler ise kesinlikle kabul edilmemektedir (AC/ACJ 25.1332, 2002). Bu nedenle benzetim sisteminin de toplam tepki süresi maksimum 250 ms olarak belirlenmiştir. İleride daha hassas bir benzetim sistemine ihtiyaç duyulması durumunda ikaz paneli sisteminin en azından pilot bilgisayarı kısmının bir gerçek zamanlı işletim sistemi üzerinde koşacak şekilde yeniden tasarlanması mümkündür. Şu an için; ticari bilgisayarlar üzerinde maksimum 250 ms gecikmesi olan bir uyarı sistemi benzetimi tasarlanmış, uygulanmış ve devreye alınmıştır.



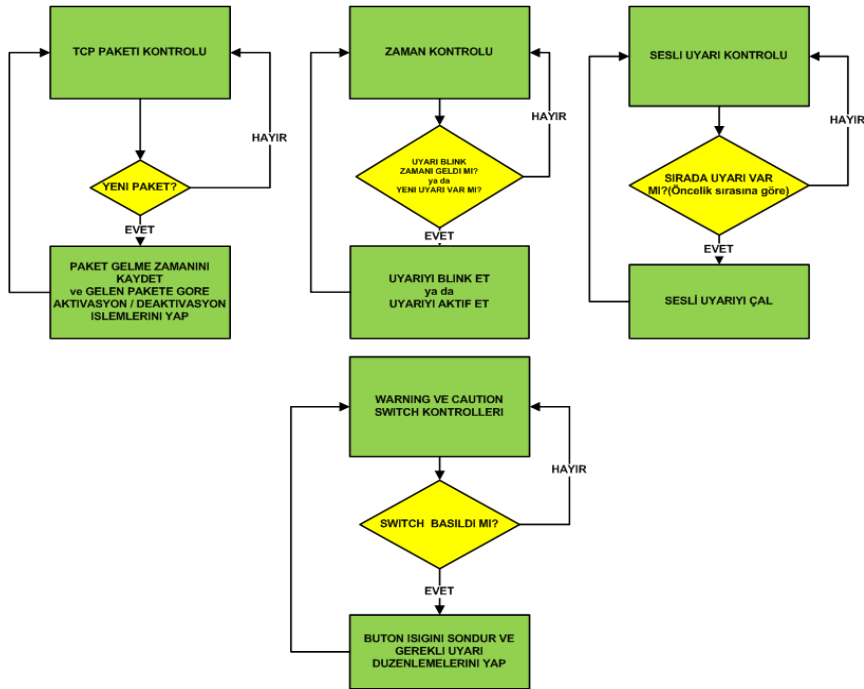
Şekil 8. Benzetim Sistemi Donanım Mimarisi

Yazılım Mimarisi

Simülasyon yazılımı TCP/IP protokolü kullanan bir sunucu/istemci uygulaması olarak geliştirilmiştir. TCP/IP kullanılması, sistemi yavaşlatmasına rağmen, güvenilirlik bakımından kaçınılmaz olmuştur. Sunucu ve istemci yazılımları bir önceki paragrafta bahsedilen iki ayrı ticari bilgisayar üzerinde koşturmaktadır.

İstemci yazılımı, 4 izlektan oluşmaktadır. İlk izlek gelen uyarıları TCP üzerinden okuma işlevini gerçekleştirmektedir. İkinci izlek okunan uyarıları görsel arayüze yansıtan ve seviye 3 uyarılar için ışıkların yanıp

sönmesi işlevini kontrol eden bir uygulamadır. Üçüncü olarak sesli uyarıları öncelik sırasına göre işleyen ve doğru sıra ile çalınmasını sağlayan bir izlek mevcuttur. Sonuncu izlek ise master ikaz lamba-anahtarlarının kontrollerini yapma işlevini yerine getirmektedir. Sistem zamanı, 10 ms aralıklarla alınıp seviye 3 uyarıların yanıp sönmesi işlemi için kullanılmaktadır. Bu kontrol aralığının pilot tepki süresinin çok üzerinde olduğu ve bir eğitim simülatörü için yeterli olduğuna karar verilmiştir. İstemci tarafında gelen her uyarı mesajı, geldiği andaki sistem zamanına göre işlenir. Böylece anlık tepkiler alınabilmektedir. Yani aslında her bir ikazın bireysel olarak ayrı ayrı yanıp sönmesi mevcuttur. Çünkü orijinal hava aracı üzerindeki ikaz sisteminde her bir uyarının LED aydınlatmaları ayrı ve bağımsız LED kontrol entegre devreleri ile yönetilmekte ve böylece çeşitli uyarıların yanıp sönme işlevi eş zamanlı olmamaktadır. Bu önemlidir. Aksi durumda tüm ikazların birlikte yanıp sönmesi pilotta panele gelen elektrik enerjisinde kesilmeler olduğu hissini yaratabilir.



Şekil 9. İstemci Tarafındaki İzlekler

Sunucu tarafında da birtakım izlekler çalışmaktadır. IP tabanlı bir bağlantı söz konusu olduğu için istemci tarafında hedef cihazın IP'sinin girilebildiği ve sistem kullanıcılarının bağlantı ayarlarını yaptıkları bir ekran mevcuttur. Bu ekran üzerinden yapılan bağlantı istemi sunucu tarafında

ilgili izlekle karşılanmaktadır. Ayrıca sistem birden fazla istemcinin bağlanabileceği şekilde tasarlanmıştır. Böylece aynı ikaza iki ayrı benzetimde çalışan iki farklı pilotun tepkileri birlikte gözlenebilecektir. Bu eğitimler esnasında ciddi bir avantaj sağlayacaktır. Şekil 9’da izleklerin algoritmik yapısını basitçe özetleyen çizimler verilmiştir. Sunucu yazılımı yukarıda bahsi geçen IP bağlantı isteklerini işleyen izlekten başka bir de operatörün yaptığı ikaz girişlerini işleyen ve istemciye yollayan bir diğer izlek içermektedir. Özetle sunucu yazılımı 2 izlekten oluşmaktadır.

Tüm izlekler arası etkileşimler atomik kilitler ile düzenlenmektedir. Ayrıca, sistemin izlenebilmesi amacı ile kayıt tutma özelliği de eklenmiştir. Senaryo üretici sunucu yazılımının tam olarak bu tip senaryoları oluşturmaya ve üretmeye yarayan bir parçasıdır. Yukarıdaki paragraflarda bahsedilen ve istemci tarafı Şekil 9’da çizilmiş olan bu izlekler dışında bir de “senaryo üretici” adı verilen bir diğer işlev mevcuttur. Bu işlev daha önceden planlaması yapılan birtakım senaryoları yine daha önceden yapılan bir zamanlama planlamasından yararlanarak, istenen zaman aralıklarında istemciye yollamaktadır. Bu şekilde hava aracında birbirini takip etmesi muhtemel uyarıların peş peşe uygun sırada üretilerek pilotun karmaşık durumlara hazırlanması amaçlanmıştır. Senaryo üreticinde önceden hazırlanan senaryolar operatör tarafından başlatılarak pilot karışık ve zor durumlarda bırakılır. Örneğin bu çalışmaya konu olan uçakta iklimlendirme sisteminin arızasını gösteren ECS FAIL uyarısının aktif edilmesi durumunda paralel olarak birkaç saniye sonra OXYGEN uyarısının da aktif duruma geçmesi kuvvetle muhtemeldir. Bu ikazlar Şekil 7’deki ekrandan takip edebilir. Bunu takiben kabin basıncının da eş zamanlı kaybedilmesi durumunda, CABIN ALT uyarısı da yanacaktır. İlk iki uyarı seviye 3 olduğu için yanıp sönecek, CABIN ALT ise seviye 2 olduğu için sabit şekilde ilgili panel hücrelerinde sarı renkte yanacaktır. Bu arada master ikazlardan da hem master warning hem de master caution yanacaktır. Ayrıca sesli uyarı sistemi de peş peşe OXYGEN-WARNING ve CAUTION sesli mesajlarını tekrar etmeye başlayacaktır. Dolayısı ile bu pilotun komple bir kabin basınç, iklimlendirme ve oksijen kaybı durumunu yaşadığı çok karmaşık bir durumdur ve bu durumun yerde yaratılarak pilotun eğitilmesi büyük bir avantaj sağlayacaktır. Son evrede sunucu ve istemci yazılımının çalışırılığı test edilmiş ve kullanılacak bilgisayar donanımlarına kurulumlar gerçekleştirilmiştir.

Uygulama ve Sonuç

Bu uygulamanın sonunda gerçek RAHAT aviyonikleri kullanarak hem insan makine arayüzündeki en temel öğelerin yetkinliklerinin

gösterimini mümkün kılan, hem de aviyonik entegrasyonun doğrulanmasında yararlanılan bir uçuş göstergesi benzetim sisteminin tasarlanması ve imalatı tamamlanmıştır.

Tasarım sürecinin başında, hava aracının mimarisi detayları ile incelenmiş ve bu mimariye, proje amaçlarına, temel mühendislik prensiplerine ve görevlendirmelere uygun biçimde bir sistem isterleri dokümanı (SİD) yazılmış, görüşler ile düzeltilmiş ve yayımlanmıştır. Daha sonra bu SİD ve hava aracı mimarisi ışığında, aviyonik donanımların da arayüz kontrol dokümanlarından yola çıkarak kablolama tasarımı ve imalatı yapılmıştır. Ayrıca personel ve donanım emniyetini sağlamak amacıyla bir elektrik dağıtım ve izolasyon panosu da imal edilmiştir. Sistemin montajından sonra, yazılım hataları ile donanım hatalarını birbirinden izole etmek amacıyla, geliştirilen benzetim arayüz yazılımı devreye alınmadan evvel, hem kablolanmanın testleri hem de donanımın kurum içindeki yazılım entegre edilmeden ticari yazılımlarla test edilmesi süreci gerçekleşmiştir. Böylece donanım ve kablolanmanın yeterliliği yazılımın entegrasyonundan evvel doğrulanmıştır. Bu süreci takiben yazılım ve donanımın birlikte çalışılabilirliği denenmiş, yazılımda ve donanımda çeşitli konfigürasyonlar ve düzeltmeler yapılmıştır. Ayrıca yabancı ya da yerli kullanıma hazırlık amacıyla, montaj, entegrasyon, kullanım ve arıza tespiti başlıklarını da içeren bir kullanma kılavuzu İngilizce olarak yazılmış ve yayımlanmıştır. Sistem ister, tasarım ve kullanım kılavuzu ile birlikte hazır ve kullanımdadır. Şekil 10'da sistemin hem masa üzerinde hem de entegre edildiği uçak gövdesinde çalışır haldeki fotoğrafları görülmektedir.

Çalışmanın içeriğinden anlaşılacağı üzere oldukça düşük maliyetli bir ticari uçuş benzetim yazılımının verilerinin aviyonik ve havacılık tecrübesiyle, standart veri yollarına dönüştürülmesi, RAHAT aviyoniklerde doğru görüntü ve tepkilerin yaratılmasında kullanılmıştır. Sistem pilot-makine arayüzünün sürekli iyileştirilmesinde kullanılmaktadır. Ayrıca aviyonik donanımlarda bir değişiklik gerektiğinde benzetim üzerinde doğrulanması yapılabilmektedir.

Kablo ağı, entegrasyon yazılımı ve kontrol araçlarının (levye, gaz kolu gibi) kendi imalatımız oluşunun, maliyetleri oldukça azalttığı gözlemlenmiştir. İleride yapılacak bu tip çalışmalara ışık tutacağını düşündüğümüz bu çalışmada edinilen deneyimler, halen şirket içi eğitimlerde, şirket bünyesinde çalışan diğer mühendislerle paylaşılmaktadır. Öncelikle insan faktörü anlamında temel göstergelerin yeterliliğinin sertifikasyon otoritesine gösterimi başarılmıştır. Ayrıca benzetim yazılım ve sistemlerinin mimarileri ile ilgili ciddi tecrübe kazanılmıştır. Üretilen elektronik benzetim hava aracı gövde benzetimi ile birleştirilmiş ve entegre

edilmiştir. Elde edilen komple benzetim yapısı çeşitli fuarlarda, tasarlanan hava aracının tanıtımında kullanılmaktadır.

Genel havacılık sınıfı hava aracı pilotunun temel görevi uçuş gerçekleştirmek ya da yönetmek iken, askerî bir hava aracında durum çok farklıdır. Uçmak işlevinin yanı sıra askerî pilotun tamamlaması gereken birtakım görevler vardır. Bunlar havadan havaya, havadan yere çarpışma, keşif, eğitim ya da gözlem gibi çok büyük bir çeşitlilikte olabilir. Dolayısı ile askerî pilot arayüzü tasarımında pilot iş yükünün azaltılması büyük bir önem taşımaktadır. Ancak pilot uçuş iş yükü minimize edildiğinde, pilotun askerî görevlerine ayırdığı zaman artırılmış olur. Bu nedenle askerî hava araçlarının pilotlarının yerde uyarı sistemi üzerine eğitilmesi görev başarımında kayda değer artış sağlayabilir.

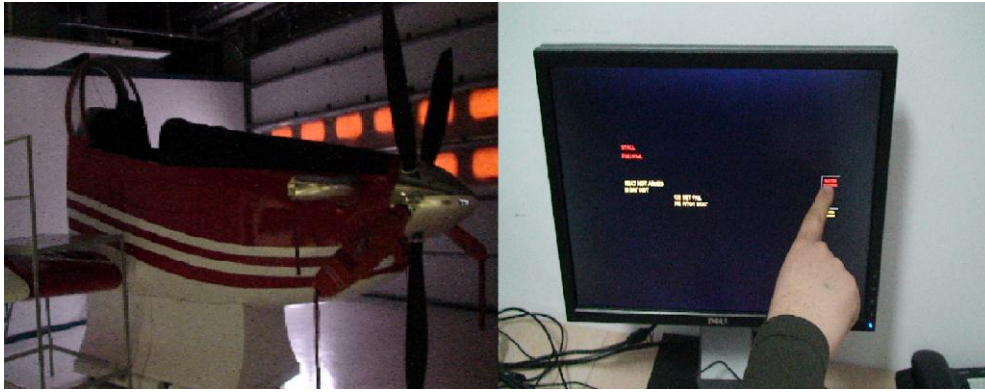


Şekil 10. RAHAT Donanımın Masa Üzerinde (sol üst köşe) ve Gövveye Entegre Benzetimde Çalışırken Görüntüsü (büyük resim).

Tasarlanan ve üretilen simülasyon sistemi sadece bilgisayar başında pilot eğitiminde kullanılacak düşük maliyetli bir sistem üretimi için yola çıkılan bir üründür. Yazılım kısmı sade ama detaylı bir sistem mühendisliği çabasının sonucunda ortaya çıkan ve uluslararası standartlarla uyumlu bir uyarı sistemine tamamen benzetebilmektedir. Sesli ve görsel uyarılar kendi aralarında öncelik sıralarına göre organize edilmişlerdir. Sistem pilotlara bir önceki başlıklarda özetlenen karmaşık uyarı durumlarının verilmesinde kullanılacaktır. Ayrıca basit arayüz güncellemeleri ile her türlü uçaklara da uygulanabilecek bir yapıdadır. Diğer taraftan pilotun iş yükünün ne olacağı konusunda bir fikir sahibi olunabilmesi için kokpitin bir benzerinin üzerine yerleştirilmesi ayrıca fayda sağlayacaktır. Bu çalışmada anlatılan uyarı sistemi simülasyonundan bağımsız olarak bir de tam ölçekli kokpit simülasyonu

bir proje olarak geliştirilmiştir. Aşağıda 11 numaralı şekilde, soldaki resimde uyarı sistemi simülâtörünün entegre edilmesi planlanan tam ölçekli uçuş simülâtörü gövdesi görülmektedir.

Projenin ilerleyen fazlarında uyarı sistemi simülâtörü tam ölçekli kokpit simülâtörünün içerisine yerleştirilerek pilot eğitiminin çok daha etkin olmasını sağlamak amaçlanmıştır. Bu tip bir kritik sistemin tasarımında ortaya çıkabilecek çelişkilerin incelenmesi üzerine çeşitli çalışmalar mevcuttur (Song ve Kuchar, 2001). Bu benzetim sistemi ile bu tip durumların tespitinde kolaylık sağlanabileceğine inanılmaktadır.



Şekil 11. Pilot-Makine Arayüzü Çalışmalarından Bir Kesit (sağda) ve Uyarı Sistemi Benzetiminin Entegre Edilmesi Planlanan Gövde (solda)

Burada ilerideki çalışmalar için gösterilebilecek en önemli ek, simülâtör mimarisine eklenecek PCI tabanlı bir ayırık arayüz kontrol kartı ile master uyarıların ethernet yerine doğrudan ayırık sinyallerle kontrolüdür. Bu durumda sistem davranışı hava aracındaki gerçek sisteme daha da çok benzeyebilir. Benzer şekilde sisteme pilotun uyarılara olan tepkilerinin zaman aralıklarını ölçecek bir kayıt mekanizması eklenmesi halinde, uyarı sistemi simülâtörü üzerinde çalışacak bir pilotun hiç çalışmamış bir pilot ile olan tepki süreleri kıyaslanabilir, böylece eğitimlerin etkinliği ölçülebilir. İleriye dönük bir diğer amaçta sistemin ait olduğu hava aracının tüm karışık uyarı zincirlerini üretebileceği senaryoların hava aracı sistemlerini usta pilotlarla inceleyerek hazırlanmasıdır. Bu tip bir hazırlık pilot eğitimi sürecine ileride büyük fayda sağlayacaktır. Eğitimsel amaçlı oluşu nedeniyle sistemin ancak görsel arayüzlerinin ve davranışlarının gerçek ikaz sistemine benzemesi amaçlanmıştır. Sinyal benzerliği ya da mimarisel benzerlikler gibi konularda bütçe ihtiyaçları ve sistem karmaşıklığının artırılmaması hedeflenerek gerçek ikaz sisteminden sapmalar yapılmıştır.

Pilot başarımının artırılması dışında ikaz sisteminin mükemmelleştirilmesi de uçuş emniyetinin artırılmasında çok önemli bir

etkendir. İkaz sistemlerinin gizli tasarım hatalarına karşı elden geçirilmesinde uygulanabilecek birçok yöntem söz konusu olabilir. İkaz sisteminin mükemmelleştirilmesinde uygulanabilecek bu yöntemlerden bir tanesi de, ikaz sisteminin geçebileceği tüm durumların, evre çizelgeleri (state diagram) ya da sıralama çizelgeleri (sequence diagram) ile analizi olabilir. Bu diğer çalışma oldukça komplike bir çalışma olacaktır. Çünkü ikaz sistemlerinin sayıca oldukça fazla olan ikaz sinyali girişleri nedeniyle pek çok evresi mevcuttur. İleriki çalışmalardan birisi de bu olabilir. Başka hava aracı sistemleri için bu tip uygulamalar literatürde mevcuttur, ancak ikaz sistemleri üzerine bu tip bir yoğun çaba henüz sarf edilmemiştir (Bara, 2010).

Bu çalışmada küçük ölçekli bir uyarı sistemi benzetim sisteminin ilk versiyonunun sistem mühendisliği, tasarımı, temel yazılım özellikleri ve kullanımı üzerine bilgi verilmeye çalışılmıştır. Benzetim sistemi burada bahsi geçen eğitim işlevlerinin yanı sıra, hava aracındaki ikaz sisteminin mükemmelleştirilmesinde de kullanılacaktır.

Kaynakça

- AC/ACJ 25.1332 (2002). *FAA/JAA AC/ACJ 25.1332, Flight Deck Alerting*, Washington, DC USA.
- ADA 106732 (1981), *Aircraft Alerting Systems Design Guidelines, DOT/FAA ADA 106732 Aircraft Alerting Systems Standardization Study Volume II*, Springfield, Virginia USA.
- ARINC 429 (2001). *ARINC (Aeronautical Radio Incorporated) MARK 33 Digital Information Transfer System, (DITS) Part 1, Functional Description, Electrical Interface, Label Assignments, Word Formats, ARINC Specification 429 Part 1*.
- Bara G. (2010). *Model Checking of State Management Module of a Flight Management Software*, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Enformatik Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- EASA CS23 (2003). *CS 23, Certification Specifications for Normal, Utility, Aerobatics and Commuter Category Airplanes*.
- Helfrick A., (2007). *Principles of Avionics*. Avionics Communications Inc. Leesburg, VA, ABD.
- Kaygusuz, Y. ve Uyar, S. (2011). *Conceptual Design Study of a Flight Crew Alerting System Architecture With a Brief Survey of Common Guidelines*. ICM2011 IEEE International Conference on Mechatronics, İstanbul, Türkiye.

- Song L. ve Kuchar, J.K., (2001). *Describing, Predicting, and Mitigating Dissonance Between Alerting Systems*, 4th International Workshop on Human Error, Safety, and System Development, Linköping, Sweden.
- Liu, C.L. ve Layland, J. (1973). Scheduling algorithms for multiprogramming in a hard real-time environment, *Journal of the ACM* 20(1), 46–61.
- Pritchett A.R. (2001). *Reviewing The Role of Cockpit Alerting Systems: Implications for Alerting System Design and Pilot Training*. World Aviation Congress & Exposition, Seattle, WA, USA.
- SAE ARP 4256A (2001), *SAE ARP 4256A Design Objectives for Liquid Crystal Displays for Part 25 (Transport) Aircraft*.
- SAE ARP 4102/4 (2007), *SAE Committee S7 SAE ARP 4102/4, Aerospace Recommended Practice, Flight Deck Alerting System* SAE Aerospace Group, Europe Office; London UK.
- SAE AS 8034A (2003), *SAE AS 8034A Minimum Performance Standard for Airborne Multipurpose Electronic Displays*.
- Thompson J.G., Stough H.P. ve W.S.Green. (1999). *Analytical Study of the Reliability of a General Aviation Cockpit Instrumentation System*, 1999 World Aviation Conference, SAE, AIAA, San Fransisco, CA, ABD.
- USA DoT FAA, (2008). *Advisory Circular AC 61-136, FAA Approval of Basic Aviation Training Devices (BATD) and Advanced Aviation Training Devices (AATD)*.