

Gömülü Sistemlerin Uçuş Öncesi Testlerdeki Kazanımları

Barış SOYAL
Makine Müh.

TUSAŞ-Türk Havacılık ve
Uzay Sanayii A.Ş. Kazan/Ankara

Barış ÇETİN
Makine Müh.

FNSS Sav. Sis. AŞ
Gölbaşı / Ankara

Yüksek bir hızda büyümekte olan havacılık endüstrisinin ihtiyaçlarına binaen gömülü sistemlerin, özellikle uçuş öncesi yer testlerindeki kullanım alanları sürekli olarak artış göstermektedir. Gömülü sistemler, havacılık endüstrisindeki test ve doğrulama çalışmalarının çeşitli alanlarında kullanılmaktadır. Gömülü sistem uygulamaları, bu alanlarda çeşitli mühendislik ilerlemeleri sağlayabilmekte ve ayrıca önemli bir modernizasyon potansiyeli oluşturmaktadırlar. Hatta bazı özel durumlarda analog uçak sistemleri, dijital sistemler ile modernize edilebilmektedir. Bu, gömülü sistemler bazı modernizasyon çalışmaları da havacılık sanayisi için önemli artılar yaratmaktadır. Ayrıca bilişim teknolojisindeki yenilikler ve artan profesyonel teknisyen ihtiyacının, gömülü sistemlerin uçuş hattı test operasyonlarındaki kullanım alanlarını artırdığı gözlemlenmektedir.

Bu çalışmada, havacılık sektörünün yüksek büyüme hızının sonucu olarak, yakın gelecekte kümülatif olarak artacak olan pilot ve uzman teknisyen ihtiyacına istinaden ortaya çıkacak sıkıntılara karşı, gömülü sistemlerin çözüm bulabilme potansiyeli incelenmiştir. Ayrıca sektörün sürekli artan test & doğrulama talebine cevap olarak gömülü sistemlerin sağladığı avantajlar da açıklanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Gömülü sistemler, Uçuş öncesi yer testleri, Modernizasyon

1. GİRİŞ

Günümüzde gerek sivil havacılık alanında, gerekse askeri hava sistemleri endüstrisinde süreklilik arz eden bir büyüme yaşanmaktadır. Uluslararası Hava Taşımacılığı Kurumunun (IATA) raporuna göre global havacılık endüstrisi 2004 yılında 369 Milyar \$ iken, son on yılda hacmini ikiye katlayarak 746 Milyar \$'a ulaşmıştır [1]. Ayrıca "Research & Markets" şirketinin "The Global Military Aircraft Market (2015-2025) Market Size and Drivers Market Profile" başlıklı raporuna göre 2015 yılında 61.2 Milyar Dolar olan savaş uçağı pazarı, yıllık % 3.64 büyüme ile 87.5 Milyar \$'a ulaşacaktır [2]. Aynı şekilde, "2015 Küresel Havacılık ve Uzay Endüstrisi ve Savunma Sanayi Görünümü" raporuna göre, endüstride yıllık %3'lük bir büyüme beklenmektedir [3].

Sivil havacılıkta sektörün toplam iş hacmindeki büyüme, askeri havacılıkta ise yeni geliştirilen hava savunma/taarruz sistemleri, yeni nesil savaş uçakları ve modernizasyon çalışmaları nedeniyle bu endüstri kolundaki firmalarda proje sayısı her geçen gün artmaktadır. Bu artan proje sayısı, hem gerekli teknik donanımına sahip mühendis ve teknisyen

kadrolarının, hem de güçlü bir proje yönetimi altyapısının gerekliliğini zorunlu kılmaktadır.

Havacılık sanayi, kendine özgü şartları nedeniyle çok daha kapsamlı ve detaylı, uzun süreli, geniş bir deney ve test matrisini kapsayan zorlu bir doğrulama (verification) prosedürüne sahiptir. Çoğu zaman da bu amaca spesifik olarak düzenlenmiş kalite standartları, şartnameleri ve firma iç prosedür ve şartnameleri mevcuttur [4]. Sektördeki artan proje potansiyeli, konusunda uzman ciddi bir mühendis ve ara eleman gerekliliği yarattığı gibi; test & doğrulama işlemleri için daha hızlı, esnek ve gürbüz (robust) çözümlerin de geliştirilmesini tetiklemektedir. Bu anlamda gömülü (embedded) sistemlerin uçuş öncesi test & doğrulama etabında kullanılmasının kayda değer ölçüde bir pozitif katkı sağladığı değerlendirilmektedir.

2. HAVACILIK SEKTÖRÜNDE ARTAN İŞGÜCÜ İHTİYACI

Boeing firması tarafından, 21 Temmuz 2015 tarihinde yayımlanan, "Tahmini Pilot ve Teknisyen Gereksinimi Raporuna" göre, 2015-2034 yılları arasında, küresel bazda 558.000 yeni ticari havayolu

pilotuna ve 609.000 yeni ticari havayolu bakım teknisyenine ihtiyaç duyulacaktır [5]. Boeing firması tarafından yayımlanan bu yıllık raporlar incelendiği zaman, öngörülen toplam personel hacminde, özellikle de öngörülen teknisyen sayısında bir artış eğilimi olduğu tespit edilmektedir. Örneğin 2015 yılına ait rapor, 2014 tahminine göre yüzde 5'lik kümülatif bir artışa işaret etmektedir [5]. Pilotlara olan talepte ise yaklaşık yüzde 4'lük bir artış söz konusudur. Genel bir bakış açısı ile her yıl yaklaşık 28.000 yeni pilot ve 30.000'den fazla yeni uzman teknisyene ihtiyaç duyulacağı hesaplanmaktadır.

Bununla birlikte, birçok ülkenin hava kuvvetlerinde yetişmiş personel sayısındaki yetersizliğin söz konusu olduğu bilinmektedir. Bu insan kaynağı sıkıntısını gidermek için çeşitli disiplinlerin bir araya getirilmesi sureti ile verim ve bilgi birikimi artırımı çalışmaları devam etmektedir. Bu kapsamda test & doğrulama ve bakım personeli alt başlığında şu tespit yapılabilir: Elbette bu geçiş sürecinde personel kendi uzman olduğu alanın dışındaki test ve bakımlarda bir yandan kendini geliştirirken, istenilen uzmanlık seviyesine ulaşması için belirli bir süre geçecektir. Bu sürecin doğal bir sonuca olarak da elde edilen test datalarının işlenerek raporlanması, test düzeneklerin donanımsal ve yazılımsal kurulumu, arızaların giderilmesi, vb. işlemler için gerekli zamansal öngörüler artabilecektir.

3. GÖMÜLÜ SİSTEM UYGULAMALARI

Günümüz teknolojisindeki gömülü sistemler özelindeki gelişmeler, uçuş öncesi test ve arıza tespiti çalışmalarındaki doğacak, bu türlü yetişmiş teknisyen ihtiyacı için bir çözüm oluşturma potansiyeli sağlamaktadır. Belirli bir görevi gerçekleştirmek için tasarlanmış, herhangi bir sistemin içinde gömülü olan ve sisteme akıllılık özelliği veren yazılım ve donanım kombinasyonları, gömülü sistemler olarak adlandırılmaktadır. Gömülü sistemler, mikro kontrolcü tabanlı olarak, hassas pozisyon kontrolü, kalite kontrol uygulamaları vb. gibi genel mühendislik alanlarında uzun yıllardır kullanılmaktadır [6-7]. Fakat gömülü sistemler savunma sanayinde de uçuş kontrolü, güdüm, şifreleme, görüntü işleme gibi daha spesifik ve teknoloji yoğun alanlarda kullanılmaktadır.

Gömülü sistemlerin, havacılık testlerindeki uygulamaları ise üç başlık altında incelenebilir. Birincisi, yeni nesil uçaklarda olduğu gibi sistemlerin yazılım içermesi ve arıza durumunda kokpite direkt arıza bilgilendirmesi yapması. İkincisi, eski uçakların mevcut analog cihazlarının, dijital cihazlar ile değiştirilmesi ile uçak üzerinde istenen sistemlerin dijital çevrilmesidir. Bu şekilde

modernize edilmiş sistemler de kendi testlerini yapıp arıza bilgilendirmesi yapabilirler. Üçüncü ve son uygulama ise uçak üzerindeki analog sistemin dışarıdan bağlanan bir dijital yer destek test cihazı ile kontrol edilmesidir. Bu şekilde tek tuşla istenen testler yapılır ve sistem kontrol edilmiş olur. Sonuç olarak da var olan arızalar test ekipmanının ekranında görülür.

3.1 Yeni Nesil Uçaklar

Gömülü sistemlerin, havacılık testlerinde kullanımı ve uçağın uzaktan kumanda edilmesi, yeni nesil savaş uçaklarında kullanılan temel bir yaklaşımdır. Bu tarz çalışmaların ilk örnekleri uzun yıllar önce hayata geçirilmiştir. NASA'nın 1988 yılında yayımladığı "The use of an automated flight test management system in the development of a rapid prototyping flight research facility" başlıklı raporuna göre askeri jet uçaklarının akıllı sistemler ile test edilmesi ve uzaktan pilotsuz kontrolü deneysel amaçlı da olsa 1970'li yıllarda gerçekleştirilmiştir [8].

Günümüzde de yeni nesil uçaklarda bu gömülü sistemler son derece aktif olarak kullanılmaktadır. Amerikan GAO (Government Accountability Office) raporuna göre F-35 Lightning II veya Joint Strike Fighter uçağında 22,9 milyon satır yazılım kodu mevcuttur [9]. TAI firmasında tasarlanan özgün ürünler için de benzer gömülü sistemler sayesinde özel yazılım kodları oluşturularak son ürüne yüklenmektedir. Gömülü sistemli elektronik üniteler, uçağın kendi bünyesinde kullanıldığında birçok yer destek test ekipmanına olan gereklilik ortadan kalkmaktadır. Bir dizüstü bilgisayar ile bağlanıp birçok testin yapılabilmesi, bu yeni nesil gömülü sistem entegrasyon teknolojileri ile artık günümüzde mümkündür.

3.2 Modernizasyon

Yeni nesil uçaklarda kullanılan gömülü sistemler teknolojisinin çeşitli modernizasyon programları ile daha eski uçaklara da uygulanabiliyor olması önemli bir avantaj yaratmaktadır. Lockheed Martin ve Sikorsky gibi büyük havacılık firmaları bir yandan yeni nesil gömülü sistemli hava araçları üretmelerinin yanı sıra, çeşitli modernizasyon projeleri ile kullanımda olan çok sayıda hava aracına da bu akıllı sistemleri uyarlamaktadırlar.

U.S. Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) raporuna göre Sikorsky firması ile faz 1 (8 Milyon \$) ve faz 2 (9,8 Milyon \$) olmak üzere 2 adet Aircrew Labor In-Cockpit Automation System (ALIAS) programı modernizasyon anlaşması imzalanmıştır [10]. Bu modernizasyon sayesinde daha az kabin ekibi ile operasyon

performansının artırılması planlanmaktadır. Örneğin uçağın uzaktan kumanda edilebilmesi ile pilot yükü azaltılabilmekte, görev performansı ve uçuş emniyeti artırılabilir.

Ayrıca, United Technologies'e bağlı Hamilton Sundstrand firmasının ürettiği DESSC (Digital Engine Start System Controller), gömülü sistemlerin, modernizasyon uygulamaları için güzel bir örnektir. ESSC motorun çalışması için birçok kontrol valfini, anahtarı, sensörü, pompayı ve bujiyi kontrol eden, işlem sırasına göre bahsi geçen ünitelerin çalışmasını sağlayan bir cihazdır. Eski ESSC'a, gömülü sistemin eklenmesiyle ortaya çıkan DESSC, sistemin çalışma silsilesi içinde arızanın nereden kaynaklandığını ve düzeltici işlemi rapor etmektedir. Ayrıca uzmanlık gerektiren, zaman alan ölçüm & testlere olan gerekliliği ortadan kaldırmaktadır. Bu özellik doğal olarak bu testler için gerekli yüksek nitelikli işgücü gerekliliğini de azaltmaktadır. DESSC'nin olmadığı durumlarda, birden fazla teknisyenin uzun ölçümler yapması, belki belirli parçaların sökülmesi ve bu işlemlerden sonra kontrol amaçlı "Follow On Maintenance" denilen söküm/takım sonrası kontrol testleri yapılması zorunludur. Bahsi geçen gömülü sistemleri kullanmak için uygulanan modernizasyonda, analog cihazın dijital çevrilmesi maliyetli bir süreçtir. Çünkü hem mevcut, faal, kullanılabilir analog cihaz boşa çıkmakta hem de yeni gömülü sistemli bir cihaz satın alınmaktadır.

3.3 Yer Destek Ekipmanı

Gömülü sistemli yer destek test ekipmanları ile sayısız uçak ve analog sistem testini gerçekleştirmek mümkündür. Diğer uygulamalarda gömülü sistem içeren bir LRU, bir uçakta kullanılabilir. Ayrıca bu türlü uygulamalar için uçak uçuştan kesilmez ve uçak üzerinde herhangi bir modifikasyon gerekmez. Örnek vermek gerekirse; dışarıdan bir gömülü sistemli test ekipmanı ile uçağa bağlanıp ESSC'nin emri ile çalışan tüm üniteleri test ekipmanı ile çalıştırarak kontrol etmek mümkündür. Bu şekilde uçağa dışarıdan bağlanarak, analog sistemi test eden çeşitli gömülü sistem içeren yer destek test ekipmanı mevcuttur. Bu tip test ekipmanları TAI'de dahil olmak üzere çeşitli endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadırlar.

4. GÖMÜLÜ SİSTEM TEST EKİPMANLARININ OLASI KAZANIMLARI

Mevcut durumda uçuş hatlarında yapılan testler, teknik emrin gerektirdiği kadar üretim bölümü teknisyeni ve bir kalite gözetmeni ile beraber yapılmaktadır. Adım adım uygulanan teknik emirler sonucu herhangi bir problem ile karşılaşılmadığı durumlarda testin başarı ile geçtiği

sonucuna varılmaktadır. Bütün sistem testlerinde izlenen prosedür aynıdır. Bu prosedürü "akıllı" hale getirmek için gömülü sistemler önemli bir avantaj sağlayabilmektedir. İçerisinde güç - sinyal jeneratörü ve gömülü sistem içeren test ekipmanları çeşitli adaptörler ile sisteme bağlanabilmekte bu sayede o sistemin tüm iletim ve fonksiyon testleri tasarlanarak, tüm işlemler daha kısa zamanda ve daha az personel ile yapılabilmektedir. Bununla birlikte; testi yapacak mevcut personelde yüksek bilgi birikimine olan ihtiyaç minimuma indirilebilmektedir. Elbette bu demek değildir ki; akıllı test ekipmanları ile uzman personel ihtiyacı ortadan kalkacaktır. Fakat yetersiz sayıda uzman personel olan durumlarda, yer ekiplerinin işi hem kolaylaşacak, hem de hızlanacaktır. Uygulamanın diğer kazanımları alt başlıklarda ele alınmıştır.

4.1 İnsan faktörünün ve uzman gereksiniminin azaltılması:

Yer destek cihazları ile yapılan testler, mikroişlemci ve yazılım ile insan faktörünü azaltarak kişi kaynaklı yanlış ölçüm ve arızaları ortadan kaldırabilmekte, arıza arama işlemlerinde ve ölçümlerde çok büyük kolaylıklar sağlamaktadır.

Test esnasında dikkat eksikliğinden veya hata ile yapılan adım atılmalarından kaynaklanabilecek olan yanlış ölçümler, gerçekte olmayan arızaların tespit edilmesine yol açabilir. Test & doğrulama ve bakım hizmetlerinde aslında var olmayan bir arızanın nedeninin aranması, giderilmeye çalışılması tahmin edilebileceği gibi ciddi zaman kayıplarına neden olmaktadır.

Ayrıca çoğu zaman birkaç yıl süren zorlu bir süreç olan uzman teknisyen yetiştirmenin ciddi bir maliyeti olduğu açıktır. Fakat gömülü sistemlerin kullanılması ile kısa bir eğitim gören personel bile test ekipmanını uçağa bağlayıp gerekli sistem testlerini yapabilecek yetkinliğe erişebilmektedir. Şu da unutulmamalıdır ki; arıza durumunda gömülü sistemin verdiği bilgileri yorumlamak için tabii ki yine ileri seviyede uzmanlık gerektirir. Fakat bu yorumun alınması için uzmanın uçak başında olmasına gerek yoktur. Gömülü sistemlerin test aşamasında kullanılması ile ileri seviyede uzmanlık sahibi bir uzman personel, birkaç farklı projeden elde edilmiş akıllı test ekipmanının çıktılarını yorumlayıp arızayı hiç uçak başına gelmeden çözebilmektedir. Bu durumda önemli ölçüde bir insan kaynağı optimizasyonu sağlanmış olmaktadır.

4.2 Hata riskinin düşürülmesi ve test hızının artırımı:

Arıza aranırken en çok yapılan hatalardan biri de yanlış soketlere (pin) girmektir. Teker teker konnektör üzerindeki girişleri saymak ve kontrol

etmek, hem zaman alıcı hem de yüksek dikkat gerektirir. Akıllı yer test cihazları ile ölçümlerin doğruluğu çok yüksektir ve saniyeler içinde komple bir konnektördeki tüm soketlerden data okuyarak gerekli ölçümler yapılabilmektedir.

4.3 Yazılıma Tanımlı İşlevsellik:

Gömülü sistemler sayesinde güncelleme ve prosedür değişikliklerine hızlı adaptasyon düşük maliyetle sağlanabilmektedir. Military Aerospace dergisinden, John Keller'in 2 Ağustos 2011 tarihinde yayımlanan makalesinde fonksiyonların yazılımla tanımlanmasının, test ekipmanını daha esnek ve konfigürasyon değişikliklerine daha kolay uyumlu hale getirdiği bilgisi mevcuttur [11]. Bu da farklı test rutinleri için ekstra test ekipman ihtiyacını ortadan kaldırmakta ve maliyet kazancı sağlamaktadır. Bu şekildeki genel kapsamlı test cihazları bağlayıcı/adaptör değişiklikleri ile farklı uçaklarda kullanılabilen, test düzeneklerinde üretim esnekliği elde edilmektedir. Örneğin, BAE firması F-16 uçakları için ince ayar (bore sighting) test ekipmanı üretmektedir. Ancak aynı ekipman farklı kablolar ile F-15 uçaklarında da kullanılabilir. Bir başka deyişle; sabit test ekipmanında kullanılacak uçağa göre farklı konfigürasyon seçimi yapılabilmekte ve uygun bağlantılarla aynı cihaz farklı uçaklarda kullanılabilir.

4.4 Test raporlarının tarih, saat ve personel bazında hafızada saklanabilmesi ve veri tabanına gönderilebilmesi:

Sivil ve askeri havacılık sektöründeki test bölümleri, hastanelerdeki tahlil laboratuvarlarına veya röntgen bölümlerine benzerlik arz etmektedir. Nasil ki tedavi sonrası testin ne zaman, kim tarafından yapıldığı bilgileri ve test sonuçlarının saklanması ve takip edilmesi ile doktorun performansı ölçülebilmektedir, aynı şekilde örneğin yakıt atölyesinin performansı da bakımdan çıkan harici yakıt tanklarının uçuş hattında uçağa takılmadan test edilmesi ile ortaya çıkar. Bu tür kontroller, hem atölyenin bakım kalitesini arttırmakta hem de bir sorun varsa tespit edilip giderilmesini kolaylaştırmaktadır. Ayrıca, kronolojik olarak arıza yapan ünitelerin kaydının tutulması, dönemsel olarak depoda tutulması gereken malzeme ve miktarlarının öngörülmesini sağlamakta, ambardaki minimum stok miktarının tespit edilmesi için de önemli bir girdi oluşturmaktadır.

4.5 Test raporlarının yazıcıdan çıktı alınıp saklanabilmesi:

Test raporlarının çıktı olarak alınıp saklanabilmesi, dokümantasyon ve sonuçların

taşınabilmesi açısından bazı durumlarda avantajlıdır. Sistem destek uzmanlarının sonuçları tartışması ve başka uçaklardaki sonuçlarla karşılaştırabilmeleri açısından test ekipmanını ya da bilgisayarı bir noktadan bir noktaya taşımaktansa, yazılı raporların taşınması doğal olarak daha kolaydır.

4.6 Test esnasında kalite personeline ihtiyaç duyulmaması ve aynı testlerin çok daha az personel ile yapılabilmesi:

Bir ölçüm testi için sistemin iki ucunda iki personel ve testi izlemesi / dökümanete etmesi için bir kalite personeli olmak üzere en az üç personel gereklidir. Fakat akıllı bir test ekipmanı ile sadece bir personel, ekipmanı uçağa bağlayabilmekte ve tek tuşla testi icra edebilmektedir. Cihaz yapılan testin tarih/data/sonuç bilgilerini kayıt altına almakta, istenildiği durumlarda gerekli çıktıları almaktadır. Bu avantajlar sayesinde testin icrası esnasında ekstra bir kalite kontrol personeline gerek duymaksızın, test sonuçları direkt olarak (dijital veya çıktı halinde) kalite onayına sunulur. Böylece testi izlemek için kalite personeline ve ölçüm için ikinci personele ihtiyaç kalmamaktadır.

4.7 Ergonomik avantaj:

Akıllı sistemler ve dokunmatik ekran ile yer destek test ekipmanlarının boyutu ve ağırlığı küçülmekte ve saklama kolaylığı elde edilmektedir. Ayrıca birçok farklı okuma için sayısız gösterge yerine tek bir ekrandan tüm testi ve sonuçlarını takip edebilme imkânı sağlanmaktadır.

5. SONUÇ

Gömülü sistemlerin, sivil ve askeri havacılık endüstrisinde kullanılmasının uçuş emniyetinin artırılması, görev performansının artırılması, insan hatası faktörünü azaltılması, gerekli dokümantasyon işlemleri için kolaylıklar sağlanması gibi birçok faydaları vardır. Uçuş öncesi testlerde gömülü sistemlerin kullanılması bu sistemleri içeren yer destek test ekipmanları ile mümkündür ve tahmin edileceği üzere en düşük maliyetli uygulama da budur. Bu uygulama ile aynı test cihazı ile sayısız uçakta test yapılabilmektedir. Fakat modernizasyon ile gömülü sistemli LRU kullanımında her uçak için ayrı ayrı dijital LRU gerekmektedir. Üzerinde bilimsel araştırmaların devam ettiği gömülü sistemler ve mikroişlemciler alanında elde edilecek iyileştirmelerin, havacılık sanayiinde yakın gelecekte daha büyük avantajlar sağlaması mümkündür. Ayrıca gömülü sistemler, askeri uygulamalar da çok özel bir yeri olan bilgi güvenliği için kriptoloji bazlı uygulamalara için de uygun bir altyapı sağlamaktadır.

THE ADVANTAGES OF EMBEDDED SYSTEMS IN TEST & VERIFICATION STUDIES OF AVIATION INDUSTRY

The use of embedded systems especially in flight line test operations has increased continuously by the needs of aviation industry which is growing at a very high rate. Embedded systems are used in test & verification operations at aviation industry. Applications of embedded systems provide various engineering improvements and create a powerful modernization potential. As a matter of fact, analog aircraft systems can be modernized into digital systems at special conditions. Embedded systems based modernization works create significant developments for aviation industry. Also, it is observed that increasing rate of need for the professional technicians and developments in information technologies accelerate the usage of embedded systems at flight line test operations.

In this study, embedded systems' solution potential has been analyzed as a response of the problems which will likely be caused by increasing need for pilot and professional technician at aviation industry in short term. The advantages of embedded systems have also been explained as an answer to the sector's increasing manpower and test necessity.

Keywords: Embedded systems, Flight line test operations, Modernization

KAYNAKÇA

1. <http://www.iata.org/whatwedo/Documents/economics/IATA-Economic-Performance-of-the-Industry-mid-year-2014-report.pdf>
2. <http://www.researchandmarkets.com/reports/3146857/the-global-military-aircraft-market-2015-2025>
3. Deloitte, "2015 Global Aerospace and Defense Industry Outlook", <http://www2.deloitte.com/tr/tr/pages/manufacturing/articles/2015-global-aerospace-defense-outlook.html>
4. AS 9100 Quality Systems Manual
5. <http://www.boeing.com/commercial/market/long-term-market/pilot-and-technician-outlook/>
6. Bader, M.F., "Position Control System of Hydraulic Cylinder Based on Microcontroller", Journal of Engineering and Development, Vol. 12, No. 3, 2008, 25-39
7. Henriksson, R., "Scheduling Garbage Collection in Embedded Systems", Dissertation, Dept. of Computer Science, University of Copenhagen, Denmark, 1998
8. <http://www.nasa.gov/centers/dryden/pdf/88133mainH-1477.pdf>
9. GAO report number GAO-09-711T entitled 'Joint Strike Fighter: Strong Risk Management Essential as Program Enters Most Challenging Phase
10. <http://www.militaryaerospace.com/articles/2015/08/aurora-aircraft-automation.html>
11. <http://www.militaryaerospace.com/articles/2011/08/trends-in-flight-line.html>