

TELEMETRİ SİSTEMLERİNDE GERÇEK ZAMANLI GÖSTERGELERİN UÇUŞ EMNİYETİNE KATKISI

Hakan ESER* & Mahmut Kürşad ARPACIOĞLU †
Tusaş Türk Havacılık ve Uzay Sanayi, Ankara

Serdar ÇORA‡
Tusaş Türk Havacılık ve Uzay Sanayi, Ankara

ÖZET

Deneysel hava araçlarında telemetri temel olarak üç ana amaçla kullanılmaktadır.

- Test edilen platformun test kriterlerine uygun olarak test edildiğinin doğrulanması.
- Tasarım analizlerinin gerçek zamanlı olarak doğrulanması.
- Test emniyetinin artırılması.

Hava aracında bulunan uçuş test enstrümantasyonu ile elde edilen elektriksel sinyaller telemetri sistemleri yardımıyla telemetri kontrol odasına gönderilmektedir. Bu sinyaller hava aracının performans (uçuş bilimleri) ve sistemlerine ait bilgilerdir. Test edilen hava aracına ait bu bilgiler telemetri kontrol odasında bulunan bilgisayar ekranlarında test mühendislerinin kullanımına sunulur. Ekranlarda bulunan göstergeler, uyarılar, limitasyonlar farklı uzmanlıklardan oluşan test mühendislerinin uçuş esnasında hava aracının o anki durumu ile ilgili doğru yorum yapmasına katkıda bulunur. Test yöneticisi (TY) aldığı ve yorumladığı bilgiler ışığında pilota geri bildirim vererek, uçuş testini sonlandırabilir veya uçuş testinin gidişatını etkileyecek kararlar alabilir. Bu bildiride Tusaş Türk Havacılık ve Uzay Sanayi Telemetri ve Veritabanı Mühendisliği tarafından geliştirilen telemetri istasyonlarına ait genel bilgiler ve tasarlanan gerçek zamanlı göstergelerin uçuş emniyetine katkısı incelenmiştir.

GİRİŞ

Modern havacılıkta emniyet faktörü ön planda tutularak insan hatalarını minimuma indirecek tasarımlar yapılır. Bir uçuş testi esnasında ise hava aracında, insan faktörü bir başka deyişle insan performansından ötürü oluşabilecek uyumsuzluklar, donanımların birbirleri ile olan uyumsuz ilişkileri gibi tüm anormal durumların anında farkına varılarak giderilmesi gerekmektedir. Bu amaçla kullanılan telemetri sistemi ve sistemin insan ara yüzünü oluşturan telemetri test takip ekranlarının uçuş emniyetini arttıracak şekilde tasarlanması gerekmektedir.

YÖNTEM

Yüzyılın başında yaşanan uçak kazalarının büyük çoğunluğu pilot kontrolü dışında kalan faktörlerden ya da donanım hatalarından kaynaklanıyordu. Ancak son 30-40 yıldır uçak kazalarında ana neden insan faktörü durumundadır [Oxford Aviation Services 2001]. Uçak gövdeleri daha güvenilir, modern motorlar ve ekipmanlar nadiren hata yapar durumdadırlar. Navigasyon cihazları ise uçuş esnasında daha hassas yön bulmaya imkân vermektedirler. Ekipmanlarda ki bu olağan dışı hızlı gelişim havacılık kazalarını büyük çoğunlukla engellemiştir. Tüm bu gelişim ve değişim esnasında değişmeden kalan tek faktör ise “İnsan”dır.

Bu sebeple havacılıkta insan faktörü ve bu faktörden ötürü doğabilecek uyumsuzlukları giderme yöntemleri üzerinde durulması ve araştırılması gerekmektedir. Araştırmalar neticesinde bulunan benzer yöntemlerin telemetri kontrol odası ve gerçek zamanlı test takip ekranlarına uygulanması, telemetri sisteminde insan faktöründen doğan hataları minimize edecektir.

* Telemetri ve Veritabanı mühendisi.E-posta:h eser@tai.com.tr

† Lider/Telemetri ve Veritabanı mühendisi.E-posta: mkarpacioglu@tai.com.tr

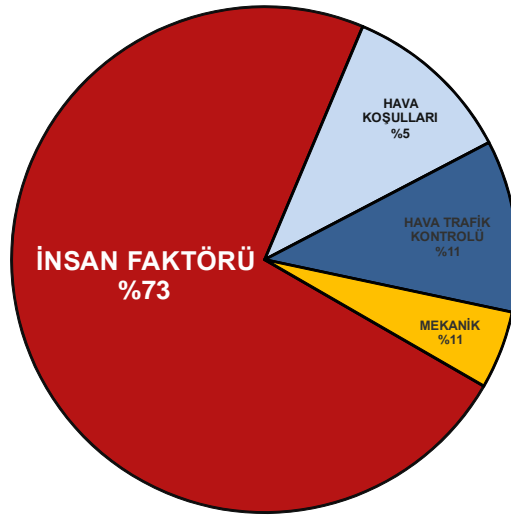
‡ Şef/Uçuş Test, Telemetri ve Veri Değerlendirme Mühendisliği.E-posta: scora@tai.com.tr

Telemetri sisteminin çalışma prensibi ve genel karakteristik özelliklerinin anlaşılması, bir uçuş testinde insan faktörü ile olan ilişkisini anlama açısından zorunludur. Böylece telemetri sistemi gerçek zamanlı kontrol ekranlarında bulunan gösterge ve uyarıların, bir uçuş testinde emniyete katkıları anlaşılabilir.

UYGULAMALAR

İnsan Faktörü

Genellikle insan faktörü olarak anılan insan performansı, insanoğlunun havacılıkla ilgili olduğu her durum ve zamanda bir etmen olarak ortaya çıkar. İnsan faktörü havacılıkta emniyet konusunda hayati bir rol oynar. Şekil 1 de gösterildiği gibi kazaların yaklaşık %73 ü insan faktöründen, %11 ise mekanik sebeplerden kaynaklanmaktadır [Oxford Aviation Services 2001].



Şekil 1: Havacılıkta Hata Sebepleri & İnsan Faktörü

Kaza-kırım raporlarında sıklıkla görülen "Pilotaj Hatası" daha doğru bir tanımla, insan faktörü kaynaklı hatalar ana olarak aşağıdaki gibidir;

- Yönsel kontrolün kaybı,
- Hatalı karar verme,
- Sağlanamayan uçak hızı,
- Zayıf uçuş öncesi planlaması ve kararı,
- Yer emniyetinin sağlanamaması, olarak sıralanabilir.

Bu bahsedilen hatalar karşılaşıma sıklığına göre aşağıdaki uçuş fazlarında ortaya çıkar [Oxford Aviation Services 2001].

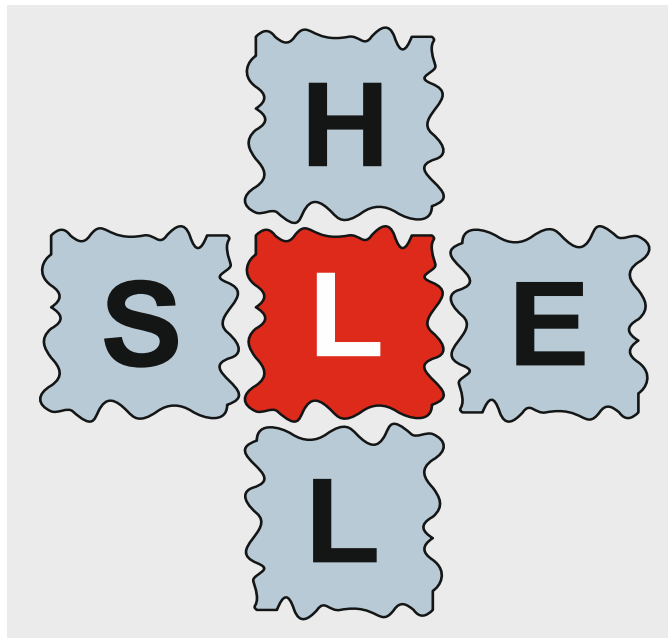
- Ara ve son yaklaşma
- İniş
- Kalkış
- Alçalma

Havacılığın ilk günlerinde en iyi pilot eli en çabuk, dayanıklı ve deneyim sahibi olandı. O günlerde kendisi ve ekipmanların limit ötesinde zorlanması ilerlemenin bir koşulu olarak görülüyordu. Pilotlar birçok rekorlar kırmış, kahraman ilan edilmişlerdi, taki başlarına bir kaza gelene kadar. Modern havacılıkta ise ana kaygı güvenliktir. Artık "ne pahasına olursa olsun yapalım!" cümlesi geride

kalmıştır. Pilot günümüzde aklını ve bilgisini kullanır. Gerektiğinde kalkışı ya da testi erteleyebilir. Günümüzde anormal veya beklenmeyen durumlarda takım çalışması ön planda tutularak güvenlik seviyesi arttırılır. Takım çalışması esnasında profesyonel ve ortak bir dilin kullanılması, iletişim kaynaklarının etkili kullanılması ve geliştirilmesi gibi kurallar uygulanır.

İnsan ve Makine

İnsan yaşamını yerde sürdürebilmek için yaratılmıştır, ancak havacılık onu göklere çıkarmıştır. Doğal olarak mücadele farklı bir boyuta taşınmış ve bu mücadelede başarılı olabilmek sadece hava aracının değil tüm sistemin akıl dolu tasarımına ve üretimine bağlıdır. Bu yüzden insanın çevresinde etkilediği ve etkilendiği sistemler ile olan ilişkisi önemlidir. Havacılıkta insan faktörü ve sistem kaynakları/çevresel koşullar arasındaki ilişkiye “Shell” modeli ile açıklık getirilir. [Hawkins & Orlandy,1993 ; Keightley,2004]



Şekil 2: Shell Modeli

Model sistemi oluşturan bileşenlerin baş harfleri ile temsil edilir. Şekil 2 de gösterildiği gibi bunlar, insan (Liveware), yazılım (Software), donanım (Hardware), çevresel faktörler (Environment) ve diğer insanlardır (Liveware).

Modern havacılıkta Shell modelinin merkezinde insan yer alır. İnsan (Liveware), sistemdeki en önemli ancak esnek bir element olup diğer sistem bileşenleri olan, yazılım (Software), donanım (Hardware), çevresel faktörler (Environment) ve diğer insanlar (Liveware) ile direkt olarak etkileşim içindedir. Modelde belirtilen insan faktörünün diğer bileşenler ile uyum ya da uyumsuzluğu insan komponentinin köşeleri ile gösterilir ve değişken köşeler en az insan faktörünün kendi karakteristiği kadar önemlidir. Komponent köşeleri insan performansındaki sınırları ve değişimleri gösterir. Bundan dolayı diğer sistem komponentleri merkezde bulunan insan faktörüne dikkatlice adapte edilmeli, uyumlu olmalıdır. Bu uyumun anlaşılabilmesi için merkezde bulunan bu insan faktörünün (L-Liveware) karakteristikleri iyi anlaşılmalıdır.

Bilgi Alım, İşleme Yetenekleri ve Sınırları: Bilgiyi dünyadan beş duyumuzla alırız. Test esnasında pilot hem uçak dışındaki çevreye hemde kokpit içerisindeki olaylara tepki vermek durumundadır. Duyularımız ile aldığımız bu bilgiler karar vermek ve harekete geçmek için kullanılır. Ancak insanın duyularla aldığı bilgiyi işleme yeteneği sınırlıdır. İnsan beynindeki merkezi işlemcinin bir sınırlaması olarak birden fazla nesneye aynı anda dikkat edemeyiz. Nesneden nesneye dikkatimizi hızlıca

aktarabilsek, tek seferde sadece biriyle uğraşabiliriz. Bu sebeplerden bir pilot için en tehlikeli şey zayıf dikkat yönetimidir. Bunun yanında duyularımızla alabileceğimiz bilgiler sınırlıdır. Örneğin pilot düşük ışık şiddetinde nesnelere göremez, kokpitte sensörler yardımıyla gösterilen bilginin tamamına aynı anda erişemez [Keightley,2004]

Cevap Sınırları: Bilgi alındıktan ve işlendikten sonra bir karar verilir ve harekete geçilir. Burada iletişim ve/veya kas hareketleri ile uyarana cevap verilir. Ancak insanoğlunun iletişim, karar verme ve kas hareketlerinde sınırlamalar mevcuttur. Bu sebeplerden ötürü test esnasında sesli iletişim prosedürlerine uyulur, tasarım sırasında pilotun uyguladığı kuvvet ve kontrol yüzeyleri arasındaki ilişki dikkate alınır.

Çevresel Toleranslar: İnsan sadece kısıtlı çevresel koşullar altında optimum performans sergileyebildiğinden tasarım ve test esnasında sıcaklık, g-kuvvetleri, titreşim, basınç gibi çevresel etkenler önemli rol oynar.

Fiziksel Büyüklükler, Biçim ve Enerji: Hava aracındaki çalışma alanı (kokpit) ve ekipmanların tasarımlarında insan fiziksel biçimi hayati bir rol oynamaktadır. Fiziksel biçim bağıl olarak kokpit, kabin ekipmanları, acil durum ekipmanları, koltuklar vs nin yerleşimini sınırlamakta, belirlemektedir. Bunun yanında insan yaşamı için enerjiye ve oksijene ihtiyaç duyar.

Diğer Komponentler: Diğer komponentlerin karakteristikleri ise kısaca aşağıdaki gibi sıralanabilir. Yazılım (Software) faktörü karakteristikleri: Kurallar, emirler, emniyet prosedürleri, semboller, bilgisayar programları ve pratikler.

Donanım (Hardware) faktörü karakteristikleri: Uçak, kontrol yüzeyleri, göstergeler, fonksiyonel sistemler, operatör ekipmanları, takımlar gibi havacılık sisteminin fiziksel özellikleri.

Çevresel faktörlerin (Environment) karakteristikleri: Kabin, kokpit sıcaklığı, basıncı, nem titreşim ve ışık gibi fiziksel faktörler.

İnsan Faktörünün, Donanım, Yazılım ve Çevresel Faktörler ile ilişkisi: Pilotun donanım ile ilişkisine kokpit göstergeleri, ekipmanların ve kontrollerin insan kullanımına uygunluğu ve durumu gibi insan makine ilişkisini içeren tüm detaylar verilebilir. Pilot-donanım arasındaki uyumsuzluktan dolayı kötü tasarlanmış ekipman sorunları, kötü yerleştirilmiş ve anlaşılması zor göstergeler, yön bilgisi fonksiyonlarında anormal durumlar, alarm sisteminde oluşan hatalar görülebilir.

Pilotun çevresel koşullar ile ilişkisine örnek olarak kokpit sıcaklığını kontrol eden iklimlendirme sistemi, basınçlandırma sistemi verilebilir. Bu uyumsuzluktan ötürü doğabilecek sorunlara örnek olarak biyolojik ritmin bozulmasından ötürü performansta oluşan azalma ve hatalar, yaklaşma veya gece uçuşlarında illüzyonlar gibi zihinsel sorunlar verilebilir.

İnsan-yazılım arasındaki uyumsuzlukların sonucunda, yetersiz ve uygunsuz prosedürler yanlış yorumlamalar, kontrol listesi belirsizlikleri ortaya çıkabilir. Acil durumlarda yanlış yorumlamanın olmaması gerektiği ve çok tehlikeli sonuçlara yol açabileceği açıktır.

Otomasyon: Shell modelinde belirtildiği gibi sistemin merkezinde bulunan pilot çevresi ile etkileşim içerisindedir. Kazaların büyük çoğunluğunun insan faktörü sebebiyle olmasından ötürü, insan hatalarını elimine edilme çabası anlaşılabilir durumdadır. Pilot hatalarını elimine etmenin bir yolu kontrolü otomatik hale getirmektir. Bu sebeple otomasyon hayatın bir gerçeğidir. Otomasyon pilotun yerine kontrolü ele almaz. Yüksek seviye kararları yine pilota bırakır. Pilot her zaman otomasyonun gözetimi altındadır ve ne yaptığı izlenir. Normal durumlarda pilotun otomasyon üzerinde kontrolü yoktur ve deaktive edemez. Koruma otomasyonu güvenlik limiti aşıldığında tetiklenir ve pilot tarafından etkisiz hale getirilemez. Stall durumuna gelindiğinde otomatik devreye giren stick-shaker veya stick-pusher buna örnek verilebilir. Otomasyon ile mürettebatın insan hatası yapma şansı azalır. Pilotu sistemin beklenmeyen ve yüksek iş yükü oluşturan bir hata yaptığı durumda uyarır veya normal duruma geçişe zorlar. İnsanın yapabileceğinden daha yumuşak ve daha kesin kontrol

sağlar. Güvenliği artırır. Daha fazla bilginin göstergelerde görünmesini sağlar. Kötü tarafı ise can sıkıntısı ve dolayısı ile dikkati azaltır. El kabiliyetlerinde azalma görülür.

Telemetri Ve Veritabanı Mühendisliği

Telemetri genel tanım olarak bir sistemin ölçülen bir karakteristiğinin uzaktaki bir noktaya iletimidir. Veri iletiminin yapıldığı bu noktada ölçülen bilgilerin gösterimi, analizi ve kaydı gerçekleşmektedir. Telemetri ve Veritabanı Mühendisliği, telemetri sistemleri tasarım ve kurulumunu, sistem testleri ve saha testlerini gerçekleştiren, gerçek zamanlı veri edinimi ve arşivlenmesi görevlerini yerine getiren mühendislik dalıdır.

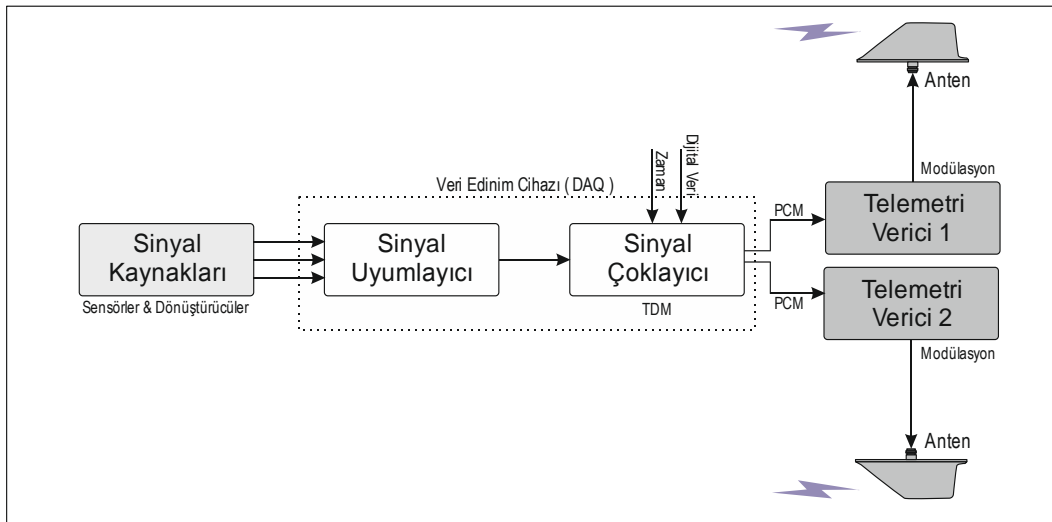
Uçuş Test Mühendisliği

Uçuş test mühendisliği, uçuş esnasında hava aracından gerçek zamanlı olarak toplanan bilgileri yorumlamaktadır. Bu bilgiler için önceden tasarlanan telemetri ekranlarında verilerin takibini yaparak, beklenenden farklı değerlerin görülmesi veya limitlerin aşılması durumlarında test pilotuna durumu bildirir. Testte oluşan emniyetsiz durumun emniyetli uçuş koşuluna çekilmesi için gerekli direktifleri test pilotuna aktararak test emniyetini artırır. Bunların yanı sıra tasarımın doğrulanması amacı ile uçak üzerinden toplanan bilgilerle uçuş karakteristiğini inceler.

Telemetri

Telemetri sisteminin insan faktörü üzerindeki etkisini incelemeye başlamadan önce telemetri hakkında kısa bilgi vermek gerekir. Telemetri genel tanım olarak bir sistemin ölçülen bir karakteristiğinin uzaktaki bir noktaya iletimidir. Veri iletiminin yapıldığı bu noktada ölçülen bilgilerin gösterimi, analizi ve kaydı gerçekleşmektedir. Havacılıkta telemetri sistemleri genel olarak iki ana bölüme ayrılmaktadır. Bunlar hava aracı sistemleri ve yer istasyonu sistemleridir.

Hava Aracı Telemetri Sistemi



Şekil 3: Hava Aracı Telemetri Sistemi

Şekil 3 de gösterildiği gibi Hava Aracı Telemetri sistemleri temel olarak şu basamakları içerir:

- Sensörler ve çeviriciler (Transducers),
- Sinyal uyumlayıcılar (Signal Conditioner),
- Sinyal çoklayıcı sistemler ya da klasik adıyla komütatörler,
- Vericiler,
- Antenler.

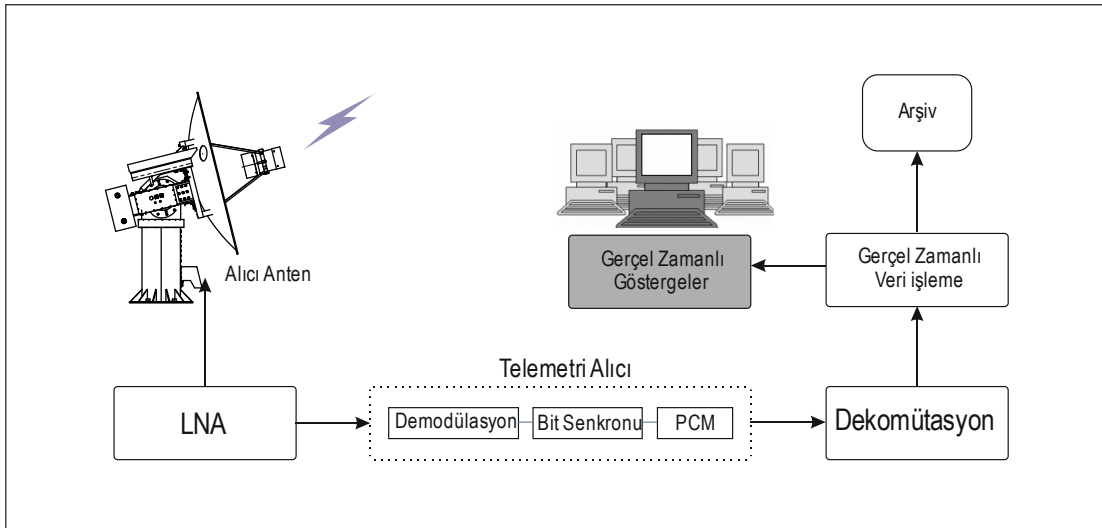
Sensörler ve dönüştürücüler (sinyal kaynağı) basınç, hız, sıcaklık gibi çok çeşitli olabilmektedir. Telemetride asıl amaç bu ölçüm sonuçlarının anlık olarak, ölçülen yerden uzaktaki bir noktada gözlenmesi ve kaydedilmesidir.

Sensörler tarafından ölçülen bilgi veri edinim cihazlarına girdi olarak sağlanır. Birden fazla sensör ölçümünün iletilmesi bu bilgilerin komüte edilmesi ile mümkündür. Farklı kaynaklardan gelen ve farklı örnekleme hızlarındaki bu paralel bilgilerin, örnekleme sayıları bozulmadan seri hale getirilme işlemi komütasyon yada Sinyal çoklama (TDM-Time division Multiplexing) olarak isimlendirilir.

Bir bilgi sinyalinin uzak bir noktaya iletimi yüksek frekanslı taşıyıcı bir sinyal üzerine bindirilmesi ile mümkün olur. Bu işleme modülasyon adı verilir. Modülasyon vericiler içerisinde gerçekleştirilir.

İletim ortamı hava, uzay boşluğu veya kablo olabilir ve bilginin iletiildiği bu ortama "Kanal" (Channel) denilir. Bir kanal üzerinde sonsuz büyüklükte bilgiyi taşıyamaz [Frank Carden,2002]. Shannon tarafından belirlenen bu ilişkide kanalın veri taşıma kapasitesi bantgenişliği (Bandwidth) ve Sinyal Gürültü Oranı ile doğru orantılıdır (S/N). Bunun yanında transmitterler bantgenişlikleri yüzünden istenen her büyüklükte bilgiyi iletemezler [IRIG 120-08]. Şekil 3 de Tusaş Türk Havacılık ve Uzay sanayi tarafından Hürkuş Hava aracında kullanılan Çoklu verici-Bağımsız Anten Konfigürasyonu gösterilmiştir. Bu konfigürasyonda her bir vericiye farklı bir yayın frekansı atanmıştır. Yukarıda belirtilen kısıtlamalardan ötürü hürkuş hava aracında da sınırlı sayıda sinyal, ekipmanlar ya da sensörler yardımı ile ölçülerek telemetri ile aktarılır.

Telemetri Yer İstasyonu Sistemi



Şekil 4: Yer İstasyonu Telemetri Sistemi

Şekil 4 de gösterildiği gibi Telemetri yer istasyonu temel olarak şu basamakları içerir.

- Düşük gürültülü yükselteç (Low Noise Amplifier),
- Bit senkronlayıcısı (Bit Synchronizer),
- Dekomütatör (Demultiplexing),
- İşlemci.

Alıcı anten vasıtasıyla alınan sinyal seviyesi düşük gürültü yükselteç tarafından yükseltilerek, alıcıya aktarılır. Alıcı tarafından bilgi sinyali taşıyıcıdan ayrılır. Bu işlem demodülasyon olarak bilinir. Bilgi sinyalinin alıcı tarafından bir kopyası yaratılarak bit senkronizasyonu işlemleri yapılır. Alıcı ünite çıktısı olarak seri halde bulunan bilgi veri edinim cihazlarında gerçekleşen komütasyon işleminin

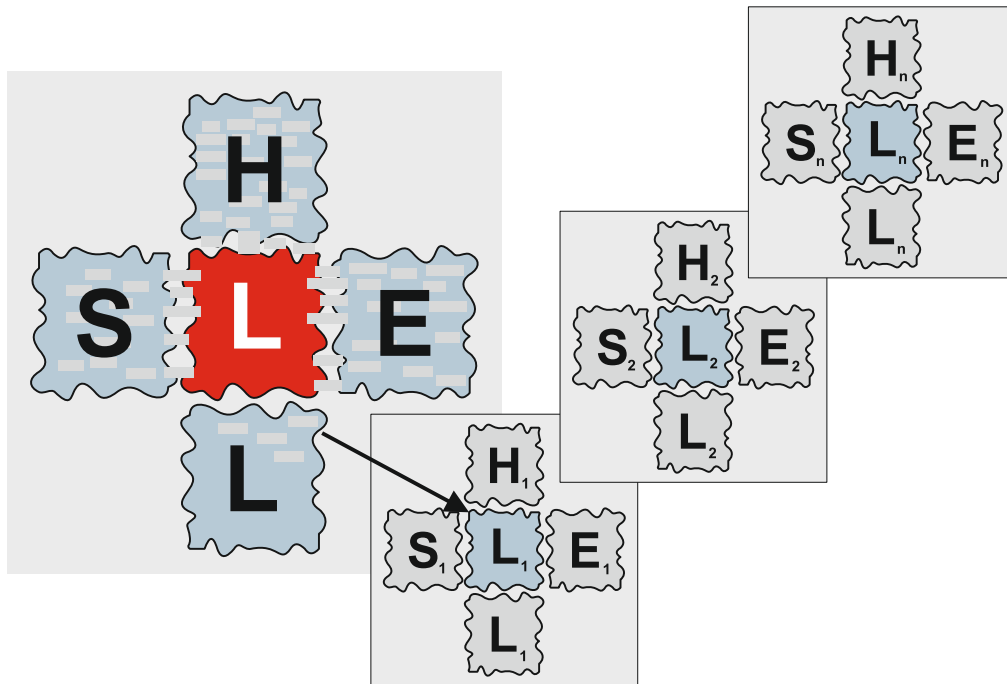
tersine tabi tutularak dekomüte edilir. Dekomütasyon işleminden sonra hava aracında bulunan bilginin düşük seviyede kayıplar ile oluşturulan bir kopyası elimizdedir.

Telemetri bit iletim işlemi olarak tarif edilebileceğinden, toplam saniyede iletilen bit sayısındaki bu kayıplar telemetrinin sağlığını belirlemektedir. Bit hata oranı olarak (BER) tanımlanan bu kayıp oranı S band için 10^{-5} - 10^{-6} arasında ise genel olarak telemetri sağlıklı olarak ifade edilir [Stephen Horan,2002]. Bu bilgi istenildiği gibi bilgisayar sistemleri vasıtası ile görselleştirilip kullanıcılara gerçek zamanlı olarak sunulabilir.

İnsan Faktörü ve Telemetri İlişkisi

Önceki bölümlerde gördüğümüz gibi test esnasında güvenliğin sağlanabilmesi ancak merkezde bulunan insan faktörüne uyum içinde tasarlanmış ve uyumlu çalışan çevresel faktörler, yazılım ve donanımlar ile mümkün olmaktadır. Pilot çevresinde bulunan insanlar ile yapıcı ve açık etkileşim içerisinde olmalıdır. Peki emniyet unsurunu telemetri nasıl etkilemektedir?

Shell modelinde anlatılan, pilotun etkilediği ve etkilendiği sistem kaynakları/çevresel koşullar arasındaki ilişkiler bütününün bir veya birden fazla kopyasının oluşturulduğu ve anlık olarak sistem uzmanları tarafından takip edildiği bir sistem açıktır ki emniyet unsurunu arttıracaktır. Çünkü bu sayede riskler test esnasında görülebilir olacaktır. Sistem gereksinimlerinin karşılanıp karşılanmadığının uzmanları tarafından değerlendirilmesi ve risklerin yönetilmesi mümkün olacaktır. Sürekli bir şekilde ürün gelişimi, pilot komutlarının kaydedilmesi ve çevresiyle ilişkileri incelenebilecek, daha sonradan gözden geçirilebilecektir. Benzer şekilde telemetrinin görevi pilotun etkilediği/etkilendiği bileşenlerin bir kopyasının oluşturularak uzman test mühendislerinin anlık değerlendirmelerine sunulmasıdır.



Şekil 5: Shell Modeli ve Telemetri ilişkisi

Şekil 5 te telemetrinin shell modeli ile olan bağlantısı gösterilmiştir. Pilotun etkileştiği sistem kaynakları ve çevresel koşulların bir veya birden fazla kopyası test mühendislerinin kullanımına sunulur. Bir uçuş testi esnasında kendi shell modelleri içerisinde incelenen test mühendisleri aynı zamanda pilotla etkileşim içerisinde oldukları için Şekil 5 teki model üzerindeki parçacıklar telemetri ile aktarılan bilginin sınırlı olduğunu temsil eder.

Telemetri ile iletilen bilginin sonsuz büyüklükte olamamasının başlıca iki sebebi vardır. İlki yukarıda anlatılan telemetri sistemi bant genişliği ve kanal kapasite limitidir. İkinci sebebi ise telemetri sistemine girdi sağlayan hava aracı üzeri enstrümantasyon sistemidir. Hava aracında sensörler, dönüştürücüler ve ekipmanlar yardımıyla büyüklüklerin ölçülmesi ve kayıt edilmesi işlemi olarak tanımlanabilecek enstrümantasyon sistemi, hava aracı fiziksel kısıtları, ağırlık limitleri gibi sınırlamalar sebebiyle belirli büyüklükte ve kapasitede olmak zorundadır.

Girdisi sınırlı enstrümantasyon sisteminden telemetri sistemine aktarılan bilgide sınırlı olmaktadır. Bu sebeplerle pilotun etkileştiği sistem koşulları içinde bulunan ve emniyet unsuru içeren parametreler (sensörler tarafından ölçümü yapılan sistem karakteristiği) başta olmak üzere belirli miktarda bilgi iletilir.

Shell modeli ve Telemetrinin üstünlükleri: Telemetri ile saniyede aktarılan yaklaşık 2 Mb bilgi 700 parametre içerebilir (Veri örnekleme hızları iletilen bilginin büyüklüğüne doğrudan etki eder [IRIG 119-06]. Tusaş Türk Havacılık ve Uzay sanayi tarafından kullanılan Hürkuş Hava aracı konfigürasyonun da kapasite ise 10Mbps dir). Bunun yanında insansız hava araçları dışında kalan hava araçlarında yer kısıtları, kontrol edilebilirlik limitleri nedeniyle sınırlı sayıda gösterge ve kontrol bulunmaktadır. Buradan telemetri ile aktarılan ve telemetri kontrol odasında gözlenen parametre sayısının hava araçlarında pilotun etkileşim içinde bulunduğu parametre sayısından onlarca kat fazla olduğu görülebilir. Shell modeli insan faktörü temelli olduğundan ekipman-ekipman gibi pilot dışındaki bileşenlerin birbirleri ile ilişkisini açıklamaz/ilgilenmez. Ancak enstrümante edilmiş bir hava aracından telemetri yardımıyla, donanımlar ve çevresel koşullar hakkında pilotun sahip olduğu bilgiden çok daha fazlası elde edilir.



Şekil 6: Gerçek Zamanlı Motor Kontrol Ekranı

Şekil 6 da gerçek zamanlı motor kontrol ekranı görünmektedir. Ekranı hava aracı tasarımcılarından motor konusunda uzman test mühendisi kullanmakta ve değerlendirmektedir. Ekranda bulunan parametreler arasında motor eksoz sıcaklıkları, isolatör pad ve motor durum sıcaklıkları, güç kontrol ünitesine ait bilgiler kokpitte pilotun gösterimine sunulmayan bilgiler arasında gösterilebilir. İlgili test mühendisi tüm bu bilgileri değerlendirerek sistemde oluşabilecek hataların kaynaklarını

bulabilmekte, test yöneticisi yardımıyla pilota geribildirim verebilmektedir. Aynı anda ilgili test mühendisi bu bilgileri tasarımın doğrulanması amacı ile kullanabilmektedir.

Telemetri ekranlarında takibi mümkün ancak hava aracında pilot tarafından gözlenemeyen ya da gözlenmesi mümkün olmayan belli başlı parametreler aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Elektrik sistemin de tüm bus voltajları ve akımları.
- Aviyonik sisteminde farklı kaynaklardan gelen yükseklik, hız ve mach değerleri
- Uçuş kontrol sisteminde stick, pedal kuvvetleri, tüm kontrol yüzeyleri açıları.
- Fren, steering sistemlerinde fren basınçları ve açıları, steering açıları.
- Motor sisteminde eksoz sıcaklıkları, isolatör pad ve motor durum sıcaklıkları, güç kontrol ünitesine ait bilgiler, pçl açısı.
- Yakıt sisteminde yakıt kontrol ünitesi statü bilgileri, kanatta bulunan yakıt bölmelerindeki ve kollektör tanktaki yakıt miktarı.
- Yapısal sitemlerde uçağın kanat, dikey ve yatay kuyruk titreşim miktarları, gövde üzerindeki titreşim seviyeleri.

Telemetri sunucu bilgisayarı hava aracındaki sinyal kaynaklarından alınıp aktarılan bilgiyi dönüştürür (Dekomütasyon). Dönüştürülen bu bilgilere "Ham veri" ismi verilir. Ham veriler daha sonra mühendislik çevrimine tabi tutularak kullanılabilir hale getirilir. Gerçek zamanlı veri işleme bu ana telemetri sunucu bilgisayarı vasıtası ile gerçekleştirilir. İstemci bilgisayarlar ise ortak bir dosya üzerinden bu dönüştürülmüş bilgileri okuyarak görsel olarak mühendislerin kullanımına sunar. Şekil 7 de Telemetri kontrol odası ve istemci bilgisayarları görünmektedir.



Şekil 7: Telemetri Kontrol Odası ve İstemci Bilgisayarlar

Mühendislik dönüşümü yapılmış parametrelerin yanında istemci bilgisayarlar yine ortak dosya üzerinden bir veya birden çok parametreyi kullanarak farklı bir parametre oluşturulmasına imkan verir. Bu gerçek zamanlı yazılımın önemli bir özelliğidir. Örneğin enlem ve boylam hava aracından telemetri ile aktarılan GPS bilgilerdir. Bu iki bilgi kullanılarak hava aracı mesafesi, yer hızı gibi bilgiler türetilir.

Gerçek Zamanlı Veri İşleme: Gerçek zamanlı veri işleme; bir ölçüm sonucunda işlem gören tüm verilerin diğer bir ölçüm sonucuna kadar sistemdeki algoritma sonucunda üretilmesi ya da türetilmesidir. Gerçek zamanlı sistemlerde kısa zamanlı arabelleğe alma kabul edilebilir.

İnsan Faktörü –Telemetri Kontrol Odası

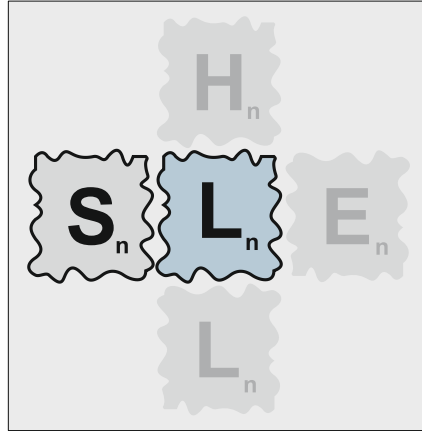
Tusaş Türk Havacılık ve Uzay Sanayi Telemetri Kontrol Odasında herbir bilim dalına ait Test Mühendisi kendi bilim dalı ile ilgili konsolları kullanmaktadır. Motor, uçuş bilimleri, yükler, iniş takımları, iklimlendirme, uçuş kontrolleri bu bilim dallarına örnek verilebilir. Mühendislik isteği uyarınca her bir kullanıcı tek ya da iki ekranı gözleyebilmektedir. İstemci bilgisayarlar başında bulunan test mühendislerinin insan faktöründen ötürü yapabilecekleri hataları minimuma indirmek için hava aracında pilot merkezli tanımlanan Shell modelinin bir benzeri uygulanır.

Bir uçuş testi esnasında telemetri kontrol odasında bulunan test mühendisleri kendi çevreleri, yazılımlar, donanımlar ve diğer test mühendisleri ile etkileşim içinde bulunmaktadır. Test mühendisleri test esnasında hava aracı bilgilerini gözlemekte, anormal bir durum da test yöneticisi vasıtası ile pilota bildirimde bulunmaktadır. İnsan performansından ötürü doğabilecek hatalar olabileceğinden test mühendisinin etkileşim içinde bulunduğu faktörler ile olan uyumu test edilen hava aracının emniyeti açısından önemlidir. Bu sebeple telemetri kontrol odasının ve istemci bilgisayarlarında bulunan ekranların tasarımları insan faktörünü minimuma indirecek şekilde yapılmıştır. Benzer şekilde test esnasında kontrol odasında uyulması gereken kurallar bulunmaktadır.

İnsan-İnsan (L-L) ilişkisinden doğabilecek başlıca hata, iletişim hatasıdır. Bu hatanın önüne geçilebilmesi için sesli iletişim telemetri kontrol odasında bulunan interkom sistemi vasıtası ile yapılır. Bunun yanında iç ilişkilerde ön plana çıkan liderlik sorunu test yöneticisi kavramıyla aşılır. Tüm konuşmalar test yöneticisinin kontrolünde yapılır. İletişimden doğabilecek hata aynı şekilde hava aracı-telemetri arasında da mevcuttur (pilot ve diğer insanlar arasındaki ilişki). Bu sebeple telemetri istasyonu ile hava aracı arasında VHF-UHF radyolar ile iletişim kurulmaktadır. Kullanım esnasında anlaşılmama sorununa karşı profesyonel bir dil kullanılır. Diğer test mühendisleri bu sesli iletişimi sadece duyabilmektedirler. Telemetri kontrol odası-Hava aracı arasındaki sesli iletişimin kesilmesi güvenlik nedeniyle uçuş testinin sonlandırılmasına neden olur.

İnsan-Donanım ilişkisi nedeniyle oluşabilecek hataları minimuma indirmek için, telemetri odası güç kaynağı yedekli olarak, konsollardaki elektrik tesisatı test mühendisinin müdahalesine imkan vermeyecek şekilde tasarlanmıştır. İnsan-Çevresel faktörler etkileşiminden doğabilecek hataları minimuma indirebilmek için aydınlatma sistemi özel olarak tasarlanmıştır. Tüm giriş çıkışlar test yöneticisinin onayı ile olmaktadır.

Pilotun etkileştiği sistemler telemetri vasıtası ile uzaktaki bir noktaya aktarıldığında kullanılan en önemli sistem yazılımdır. Test mühendisi-yazılım ilişkisi bu sebeple diğer faktörlerden daha önemli ve bu ilişkideki uyumsuzluktan doğabilecek hatalar görece daha fazla sayıdadır. Şekil 8 de test mühendisi-yazılım ilişkisi temsili olarak gösterilmiştir.



Şekil 8: Test Mühendisi-Yazılım İlişkisi

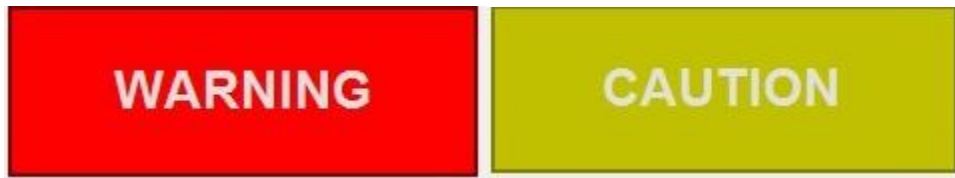
Gerçek Zamanlı Göstergeler ve Uyarılar

Bir uçuş testi esnasında hava aracında oluşabilecek uyumsuzlukların anında farkına varılması ve giderilmesi amacıyla, telemetri istasyonunda test mühendislerinin kullanımına sunulan ekranların tasarımında, emniyet faktörü ön plandadır ve havacılık kurallarına uygun tasarımlar yapılır.

Renk	Açıklama	Sonuç
Flaş yapan Kırmızı	Acil durum	Acil operatör cevabı gerekir.
Sabit kırmızı	Alarm	Düzeltilici işlem gerekir.
Sarı	Tavsiye	Tavsiye niteliğinde bilgi.
Yeşil	Devam eden işlem	Tatminkar durum.
Beyaz	Kritik olmayan fonksiyon	Sadece bilgi niteliğinde.
Mavi	Tavsiye	Kullanılması tavsiye edilmez.

Tablo 1: Havacılıkta Kullanılan Renk Kodları ve Anlamları

Gerçek zamanlı takip ekranlarında bulunan uyarı tasarımlarında tablo 1 de verilen ve havacılıkta yaygın olarak kullanılan renk kodlamasına uyulur [Oxford Aviation Services 2001]. “Kırmızı” rengi alarm kodunu “yeşil” rengi ise uygun-limit içerisindeki bilgiyi ifade eder. “Sarı” renk genel olarak tavsiye niteliğindeki bilgiyi ifade eder ve test mühendisinin dikkatini çekmek için kullanılır(Caution). Şekil 9 da gerçek zamanlı kontrol ekranlarında bulunan göstergelerdeki renk kodlarına örnek verilmiştir.



Şekil 9: Gerçek Zamanlı Kontrol Ekranı Örnek Renk Kodları

Şekil 10 da gösterildiği gibi telemetri ekranlarında renk değişimi durum değişimini gösterecek şekilde değiştiğinde renk değişimine paralel başlıkta değişir.



Şekil 10: Gerçek Zamanlı Kontrol Ekranı Durum ve Renk Değişimi

Havacılıkta kontroller ve göstergelerin tasarımında en önemli gereksinim standardizasyondur. Bu pilotun bir uçaktan diğerine geçişinde /adaptasyonunda kolaylık sağlar. Telemetri gerçek zamanlı göstergelerinde her ne kadar hava aracına uygun şekilde tasarım yapılsa da, ilgili test mühendisi isteği ön planda tutulur. Örneğin şekil 11 de hava aracı ve Telemetri takip ekranlarında bulunan ve motor parametresi olan ITT bilgisini içeren göstergeler görülmektedir. Hava aracında normal ITT sıcaklık değeri (yeşil kısım) 750 °C-860 °C arasında iken, motor bilimlari uzman test mühendisi isteği uyarınca test takip ekranında bu değer 400 °C-860 °C arasında tasarlanmıştır.



Şekil 11: Hava aracı ve Telemetri Kontrol Ekranı ITT Göstergeleri

Havacılıkta tecrübeler göstermiştir ki yakıt seviye göstergesi gibi sadece niceliksel bilgi içeren göstergeler dijital olduklarında daha anlaşılır durumdadır. Bunun yanında göstergeler karşılaştırma ya da niteliksel bilgi içeriyorsa analog olduklarında iyi sonuç vermektedirler.

Hava araçlarında göstergeler bilgiyi hava aracından alarak pilota sunmakta kontrollerde ise bilgi pilottan hava aracına aktarılmaktadır. Telemetri de bu bilgi akışı tek yönlü olup hava aracından test mühendisine doğrudur. Bu sebeple gerçek zamanlı kontrol ekranlarında sadece göstergeler bulunur ve yerleşimlerinde hava araçlarına benzer şekilde kullanım sıklığı, önem derecesi gibi kıstaslar dikkate alınır.

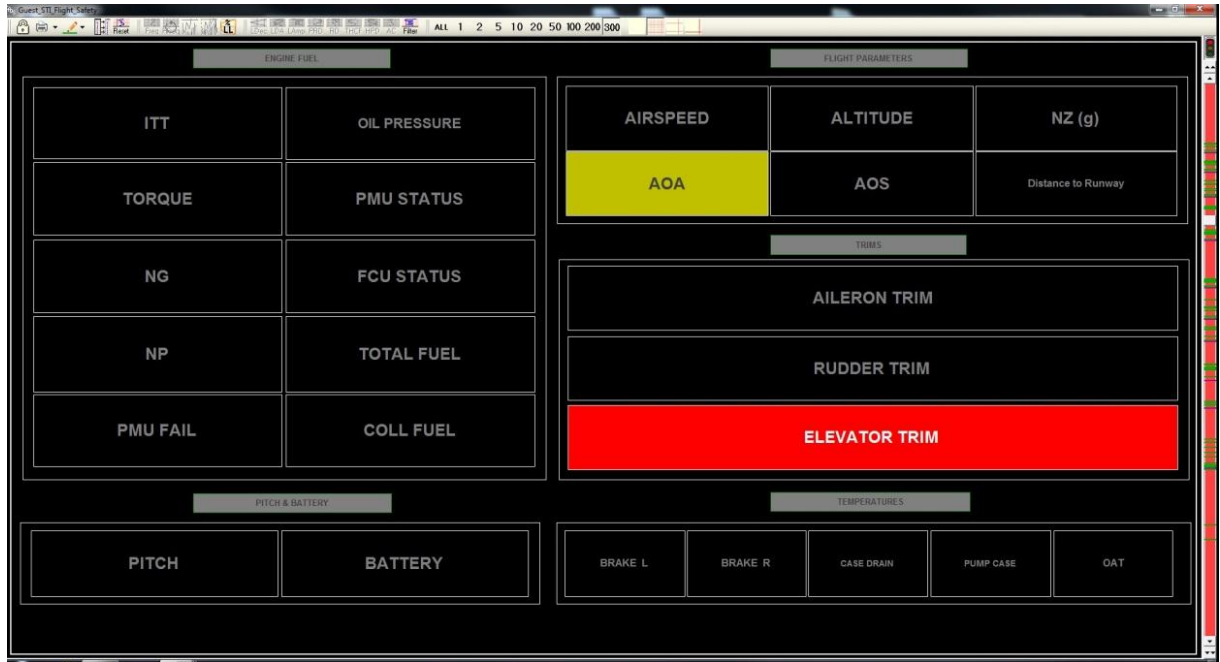
Uçuş Emniyeti & Telemetri

Bir uçuş testi esnasında gözlenen gerçek zamanlı parametreler aşağıdaki gibi gruplanabilir.

- Birincil Parametreler.
- Durum Bilgisini içeren ikincil parametreler.

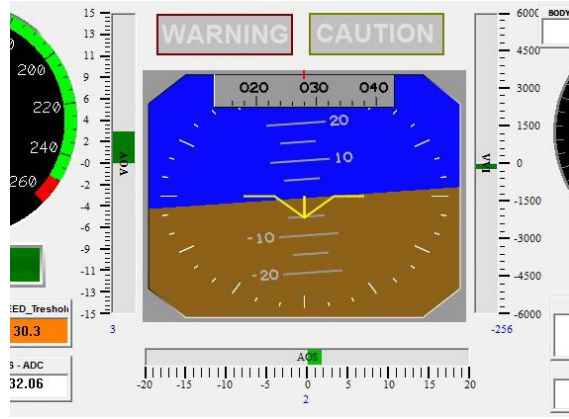
Birincil parametreler irtifa, sürat, g, hücum açısı gibi hava aracının uçuş durumu ile ilgili bilgiyi içeren ve uçuş emniyeti açısından gözlenmesi zorunlu parametreleri ifade etmektedir. Birincil parametreler gruplu halde tasarlanır ve tamamında uyarılar ve limitasyonlar bulunur. Uyarı tasarımında havacılıkta yaygın olarak kullanılan renk kodlamasına uyulur. Birincil parametreler hava aracının durumuna göre değişebileceği gibi testten teste de değişebilmektedir.

Hava araçlarında pilotun bilgi işleme sınırından dolayı doğabilecek hataları minimuma indirmek için ekipmanların ve sistemlerin durumunu gösteren herhangi bir anormal durumda alarm ve uyarı vererek pilotun dikkatini çeken uyarı paneli bulunmaktadır. Benzer şekilde telemetri odasında, hava aracının herhangi bir anormal durum veya limit dışı olan durumunda test mühendislerinin anında dikkatini çekecek ve tüm test mühendisleri tarafından gözlenebilecek şekilde bir uyarı ekranı bulunur. Şekil 12 de gösterilen ve uçuş güvenliği ekranı olarak adlandırılan bu ekran birincil parametrelerden oluşur ve yukarıda bahsedildiği gibi tamamında limitasyonlar bulunur.



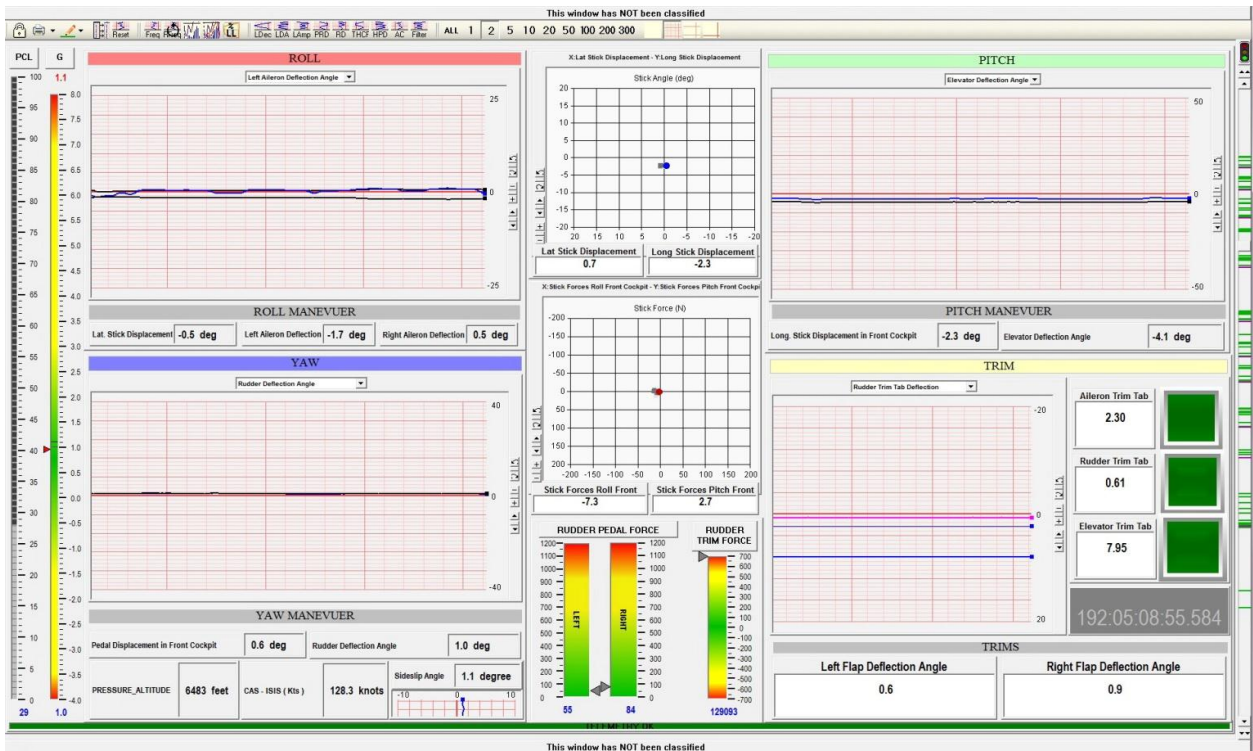
Şekil 12: Gerçek Zamanlı Uçuş Güvenliği Ekranı

Telemetri kontrol ekranlarında hava araçlarında bulunan “Master Warning”, “Master Caution” ışıklarında benzer şekilde herhangi bir birincil bir parametrede anormal durum oluştuğunda test mühendisini uyarın göstergeler bulunmaktadır. Şekil 13 de Uçuş testinden sorumlu test yöneticisinin ekranında bulunan “Master Warning” ve “Master Caution” uyarıları görülmektedir. Yukarıda bahsedilen uçuş güvenliği ekranında bulunan herhangi bir parametrenin belirlenen limitler dışına çıktığı koşulda, bu uyarılar yanmakta ve test yöneticisinin dikkatini çekmektedirler. Otomasyona bir örnek teşkil eden bu göstergelerin aynı zamanda konumları önem derecelerini göstermektedir.



Şekil 13: Telemetri Kontrol Ekranı “Master Warning” ve “Master Caution”

İkincil parametreler, stick pozisyonu, yakıt seviyesi gibi hava aracının durumu hakkında bilgi verip herhangi bir tehlike uyarısı gerektirmeyen parametrelerdir. Test içeriği ve hava aracının durumuna göre ikincil bir parametre birincil olarak gözlenebilir.



Şekil 14: Gerçek Zamanlı Uçuş Kontrolleri Ekranı

Şekil 14 de Test esnasında uçuş kontrollerinden sorumlu test mühendisi tarafından takip edilen gerçek zamanlı takip ekranı görünmektedir. Ekran PCL pozisyonu, stick kuvvetleri, pedal kuvvetleri gibi birçok ikincil parametre içermektedir. Ekranda ayrıca dikkati çeken nokta hava aracında pilot tarafından gözlenmeyen birçok parametre içermesidir. Telemetri sisteminin bir avantajı olarak ilgili test mühendisi strip-chart lar yardımıyla uçuş kontrol yüzeylerinin geçmiş zamandaki durumlarını anlık olarak inceleyebilmekte, tepki sonucunda hava aracı kontrol yüzeylerindeki etkiyi aynı anda gözleyebilmektedir.

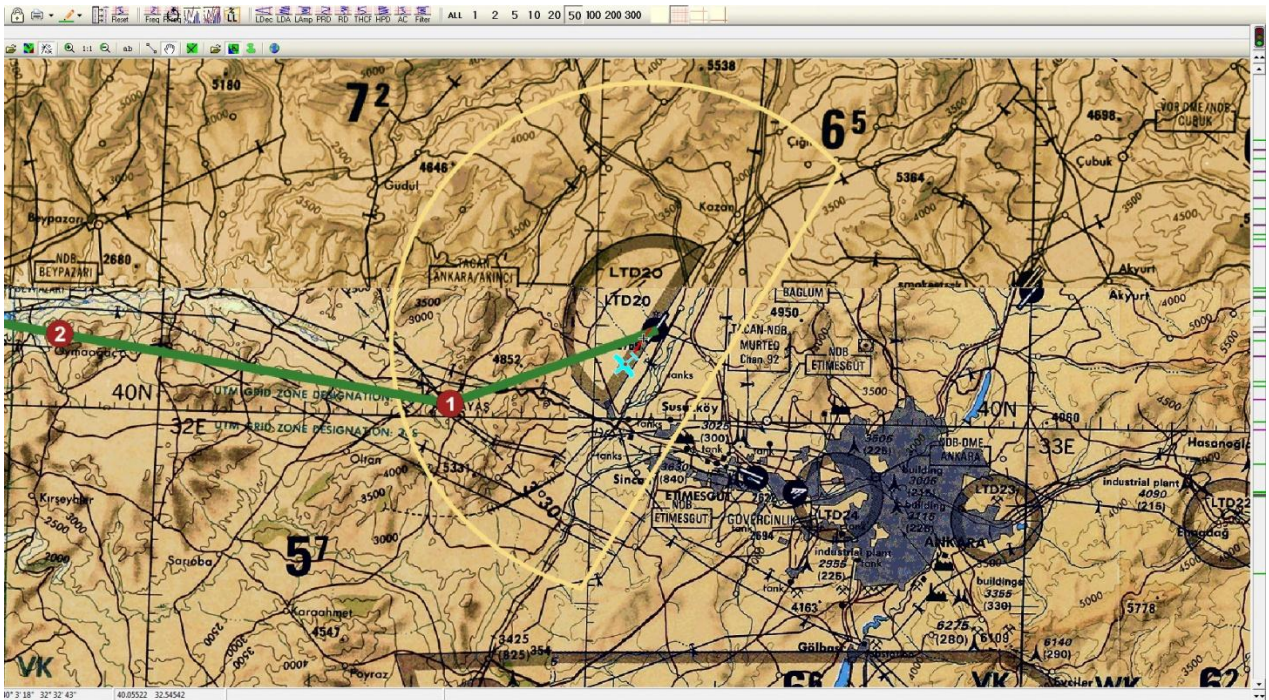
Hava aracında bulunan göstergeler analog, dijital ya da bu ikisinin karışımı şeklinde olabilir. Telemetri gerçek zamanlı kontrol ekranlarında da benzer şekilde göstergeler analog, dijital veya bunların karışımı şeklindedir. Test mühendisinin ilgili veriyi en doğru şekilde yorumlayabilmesi için

genellikle gerçek zamanlı kontrol ekranlarında analog göstergelerin yanında parametrelerin nümerik göstergeleri ile de görüntülenir.

Hava aracında bulunan kamera görüntüsü, GPS bilgisi ile hazırlanan iki boyutlu harita gibi ikincil parametrelerle de uçuş emniyetine ekstra katkıda bulunmaktadır. Şekil 15 de kamera ekranı ve Şekil 16 da harita ekranı görülmektedir.



Şekil 15: Gerçek Zamanlı Kamera Ekranı



Şekil 16: Gerçek Zamanlı Harita Ekranı

Hava araçlarında bulunan gösterge ve kontroller insan faktöründen doğan hataları minimuma indirecek şekilde tasarlanır. Telemetri göstergelerindeki ana amaçta benzer şekilde test mühendisinin doğru karar vermesini sağlamak ve insan faktörünü minimuma indirmektir. Bu sebeple telemetri ekranlarında test mühendislerinin isteği doğrultusunda göstergeler tasarlanır, istenen kontroller oluşturulur. Bu göstergeler ve kontroller bilgisayar sisteminin bir avantajı olarak otomatik hale getirilir. Şekil 17 Uçuş bilimleri için tasarlanmış hava aracının son yaklaşmasında & taksi testlerinde kullanılan gösterge görünmektedir.



Şekil 17: Gerçek Zamanlı Glide Slope İndikatörü

SONUÇ

Ülkemizde ilk kez bir hava aracı uçuş testinde kullanılan ve Tusaş Türk Havacılık ve Uzay Sanayi Telemetri ve Veritabanı Mühendisliği tarafından geliştirilen Telemetri sistemindeki gerçek zamanlı göstergelerin uçuş emniyetine katkısı incelenmiştir. Telemetri kontrol istasyonu ve bu kontrol istasyonunda bulunan gerçek zamanlı takip ekranları bir uçuş testi esnasında insan faktöründen doğan hataları minimuma indirecek şekilde tasarlanarak uçuş emniyetinin artırılması hedeflenmiştir.

Bir telemetri sisteminde bulunan gerçek zamanlı yazılımlar sistemin insan ara yüzünü oluşturmaktadır. Bu sebeple test mühendisinin gerçek zamanlı göstergeler ile olan ilişkisi uçuş testinin emniyetine etki etmektedir. Bilgisayar sistemlerinin verdiği avantajla test mühendisleri bir uçuş testi esnasında hesaplama, karşılaştırma gibi işlemleri kesin doğrulukla yapabilmektedir. Hava araçlarında pilot tarafından atlanabilecek kısa süreli durum değişiklikleri gerçek zamanlı göstergeler yardımıyla test mühendisleri tarafından kolaylıkla görülebilmektedir.

Telemetri, kontrol odasında ilgili uçak sistemi uzmanı tarafından değerlendirilen hava aracına ait bilgiler sayesinde, pilotun performans sınırları sebebiyle yaşanabilecek hatalar engellenmektedir. Telemetri ekip çalışması sonucunda verilen kararları ile deneysel hava araçlarına ait bir uçuş testinde, vazgeçilmez görünmektedir.

Kaynaklar

- Frank Carden, 2002. *Telemetry System Engineering* .Artech House Inc,2002.s 247
- Hawkins,F.H, & Orady,H.W ,1993.*Human Factors in Flight 2th Edition*. England Avebury Technical,s.165
- Keightley,A ,2004. *Human Factors Study Guide*. Palmerston North:Massey University,s.190-216
- Oxford Aviation Services, 2001. *Human Performance & Limitations 2th Edition*, England s.27,s.330
- Stephen Horan, 2002. *Introduction to PCM Telemetry System ,2th Edition* .New Mexico State University LasCruces,s.360
- Telemetry Group RF System Commitee,2008. *Telemetry System RF Handbook Document IRIG 120-08*, New Mexico s.2-24
- Telemetry Group, Range Commanders Council , 2006. *Telemetry Aplications Handbook Document IRIG 119-06*, New Mexico s.40