

**İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI İÇİN MODÜLER
KONTROL SİSTEMİ MİMARİSİ TASARIMI**

DOKTORA TEZİ

Y. Müh. Gökay Kadir HURMALI

(511922005)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 18 Mart 2005

Tezin Savunulduğu Tarih : 16 Kasım 2005

Tez Danışmanı : Yrd.Doç.Dr. Turgut Berat KARYOT

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Elbrus CAFEROV

Doç.Dr. Hakan TEMELTAŞ

Prof.Dr. Günhan DÜNDAR (B.Ü.)

Doç.Dr. Yağmur DENİZHAN (B.Ü.)

Kasım 2005

ÖNSÖZ

Günümüzde, insansız hava araçlarının kontrol mimarileri için yaygın olarak kabul görmüş yazılımsal ve donanımsal bir standart yoktur. Teklif edilen çeşitli standartlar ise, düşük maliyetli ve sivil amaçlı insansız hava araçlarında ihtiyaç duyulan özellikleri karşılayamamışlardır.

Endüstriyel ortamlarda kullanılan, seri iletişim veri yolu çevresinde kurulmuş kontrol mimarileri endüstriyel kontrol sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Bu mimariler için ise çok sayıda standart mevcuttur. Bu standartların en çok kabul görenleri, rakip mimariler karşısında başarıya ulaşmalarını sağlayan önemli tasarım özelliklerine sahiptirler.

Bu çalışmada, endüstriyel ortamlar için geliştirilen seri iletişim veri yolları standartlarında kullanılan fikirlerden yola çıkılarak, insansız hava araçları için bir kontrol mimarisi önerilmiştir.

Bu çalışma süresince beni destekleyen sayın hocam Yrd.Doç.Dr. Turgut Berat KARYOT'a teşekkür ederim.

Kasım 2005

Gökay Kadir HURMALI

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	iv
TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÖZET	vii
SUMMARY	ix
1. GİRİŞ	1
2. TEMEL KAVRAMLAR	17
2.1 Hava Aracı	17
2.2 Ölçme Cihazları	17
2.3 Kontrol Yüzeyleri	18
2.4 Hava Aracı İçin Kontrolör Tasarımı	18
3. VERİ YOLU	20
3.1 Önerilen Veri Taşıtı K-Bus'un Özellikleri	23
3.2 Protokol seviyesi içerisinde K-Bus	25
4. DONANIM MODELİ	27
4.1 Ağ Seviyesi	27
4.2 Örnek okuma paketi	36
4.3 Örnek yazma paketi	37
4.4 Paket uzunlukları	39
4.5 Sonuç	39
5. YAZILIM MODELİ	42
5.1 K-Bus Paketi	42
5.2 Toplam Kontrol Baytı	44
5.3 Seri Veri İletiminde Bit ve Bayt Sıraları	44
5.4 K-Bus Komutları	45
5.5 K-Bus Adresleri	49
5.6 Veri Tipleri	51
5.7 Veri Önceliği	54
5.8 Modül Verisi	56
5.9 Standart Veri	56
5.10 Blok Veri Transferi	58
6. REFERANS TASARIM	60
6.1 Görev	60
6.2 Hava Aracı	62
6.3 KBCL Bloğu Tasarımı	63
6.4 Ölçme, Tahrik, Haberleşme ve Yük Bilgisayarları Tasarımları	65
6.4.1 Lokal K-Bus arabirimi	71

6.4.2 Genel amaçlı giriş çıkış	72
6.4.3 Ölçüm ve tahrik bilgisayarı	74
6.4.4 Haberleşme ve yük bilgisayarı	77
6.5 Ana Kontrol Bilgisayarı Donanımı Tasarımı	82
7. SONUÇLAR	86
KAYNAKLAR	91
EK A	94
ÖZGEÇMİŞ	96

KISALTMALAR

ADC	: Analog to Digital Converter
ARINC	: Aeronautical Radio Inc.
ASCII	: American Standard Code for Information Interchange
CAN	: Controller Area Network
CMD	: Command
CompactPCI	: Compact Peripheral Component Interconnect
CSM	: Check Sum
DAC	: Digital to Analog Converter
DTA	: Data
EOF	: End Of File
GPS	: Global Positioning System
IBM	: International Business Machines
IEEE	: Institute of Electrical and Electronics Engineers
KBC	: K-Bus Circuitry
KBCL	: K-Bus Circuitry Logic
LEN	: Length
LSb	: Least Significant Bit
MSb	: Most Significant Bit
NMEA	: National Marine Equipment Association
PC	: Personal Computer
PLC	: Programmable Logic Controller
PWM	: Pulse Width Modulation
RID	: Receiver Identification
RS-485	: Recommended Standart 485
RS-422	: Recommended Standart 422
RS-232	: Recommended Standart 232
SID	: Sender Identification
VME	: Versa Module Eurocard

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1. ISO/OSI ağ modeli	25
Tablo 4.1. KBC kısaltmalarının özet açıklamaları	27
Tablo 5.1. K-Bus paketi alanları.....	43
Tablo 5.2. CMD alanın en önemli iki biti.....	46
Tablo 5.3. Veri iletimi sırasında CMD alanında bit açıklamaları.	46
Tablo 5.4. K-Bus komutları	47
Tablo 5.5. K-Bus üzerinde adres atamaları	50
Tablo 5.6. K-Bus veri tipleri.....	51
Tablo 5.7. Veri opsiyonları.....	52
Tablo 5.8. Seri iletişim kanalı için opsiyonlar	53
Tablo 5.9. Veri öncelik tanımlamaları	54
Tablo 5.10. Standart veri tanımları	57
Tablo 6.1. Görevin gerçekleştirilebilmesi için seçenekler	60
Tablo 6.2. Örnek tasarımda modüllere veri iletim için geçen süreler. (T=20µs)	63
Tablo 6.3. J2 ve J4 konektörü bağlantılarının açıklamaları.....	68
Tablo 6.4. K-Bus adres seçimi.....	70
Tablo 6.5. İşlemci çalışma modları seçimi	70
Tablo 6.6. Genel amaçlı bilgisayara seri bağlantı için bit hızı seçimi.....	71
Tablo 6.7. K-Bus köprüsü veya NMEA 0183 seçimi.....	72
Tablo 6.8. Modül veri numaraları atamaları	72
Tablo 6.9. Bayt modül verileri için modül veri numaraları atamaları.....	73
Tablo 6.10. Seri iletişim kanallarına ait modül veri numaraları	74
Tablo 6.11. Ölçüm ve tahrik bilgisayarı modunda P17 ve P16 ayarları.....	74
Tablo 6.12. Ölçüm ve tahrik bilgisayarı standart veri atamaları	75
Tablo 6.13. 201 numaralı modül verisinin yazma opsiyonları.	77
Tablo 6.14. 201 numaralı modül verisinin okuma opsiyonları.....	80
Tablo A.1. Referans KBCL tasarımında kullanılan malzemelerin değerleri	95
Tablo A.2. Referans ölçme bilgisayarı tasarımında kullanılan malzeme listesi.....	95
Tablo A.3. Ana kontrol bilgisayarı tasarımında kullanılan malzeme listesi.....	96

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1 : Dağınık veri toplamalı bir tasarım örneği.....	11
Şekil 1.2 : Referans Tasarım.....	12
Şekil 4.1 : K-Bus devresinin mantıksal şeması.....	30
Şekil 4.2 : KBCL blokları arasındaki ilişkiler	33
Şekil 4.3 : K-Bus üzerinde örnek bir okuma paketi.....	38
Şekil 4.4 : K-Bus üzerinde yazma paketi örneği	40
Şekil 5.1 : K-Bus paketi	43
Şekil 6.1 : Referans KBCL şematik tasarımı	64
Şekil 6.2 : Referans ölçme bilgisayarı şematik tasarımı	66
Şekil 6.3 : RS-422 sinyalleri ile RS-232 sinyallerinin bağlantısı	69
Şekil 6.4 : Örnek fotoğraf çekme komutu.....	79
Şekil 6.5 : Örnek bir K-Bus read2 komutu	80
Şekil 6.6 : Örnek bir K-Bus dta2 komutu	81
Şekil 6.7 : Referans tasarımın işlemci kısmı.....	84
Şekil 6.8 : Referans tasarım harici hafıza kısmı	85

İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI İÇİN MODÜLER KONTROL SİSTEMİ MİMARİSİ TASARIMI

ÖZET

Bu çalışmada, insansız hava araçlarının (İHA) güdüm ve kontrolünü bordaları üzerinde gerçekleştirebilmek için, yeni ve K-bus olarak adlandırılan bir seri iletişim yolu çevresinde ölçeklenebilir, esnek ve modüler bir kontrol mimarisi önerilmiştir.

İHA'lar için çok küçük boyut ve küçük nitelikli kontrol sistemleri ve son derece gelişmiş nitelikleri olan kontrol sistemleri olmasına rağmen, ölçeklenebilir performanslı, düşük maliyetli, modüler ve açık mimarili sistemler konusunda önemli bir boşluk olduğunu düşünmekteyiz.

Son 20 yılda kontrol sistemleri gittikçe daha fazla olarak standart seri veri yolları çevresinde tasarlanmaya başlandılar. Endüstriyel amaçlı olarak geliştirilen standart seri veri yolları geniş kullanım alanı bulmaları sebebi ile maliyet olarak daha düşük performanslı özel tasarlanmış tek başına çalışan sistemlerle aynı seviyelere inmişlerdir. Ticari olarak mevcut gerçek zamanlı ağlar çevresinde çeşitli kontrol sistemleri, ölçüm ve tahrik cihazları için arabirimler, programlama ve analiz araçları bulunmaktadır.

Havacılık sanayisinde de, seri veri iletim standardının gerekliliği fark edilmiştir. Bu amaçla çeşitli standartlar oluşturma girişimleri mevcuttur. Sivil havacılık alanında bu standartların en bilineni ARINC'dir.

NMEA 0183 standardı GPS, manyetik pusula, jiroskop ve benzeri cihazların kontrol bilgisayarına seri iletişim kanalı ile bağlanması amacı ile sıkça kullanılmakta olan bir standarttır. NEMA 0183 denizcilik ile ilgili çalışmalar sonucu oluşmuş bir standart olmasına rağmen İHA'larda ve diğer hava araçlarında da geniş kullanım alanı bulmuştur.

Endüstriyel ortamda kullanılan CAN, ProfiBus ve benzeri birçok veri yolu mevcuttur. Bu veri yolları, havacılık endüstrisi için özel olarak belirtilmiş veri yollarından daha yüksek veri hızlarına, daha nitelikli veri çarpışma önleme veya veri çarpışma fark etme özelliğine sahiptirler. Ayrıca bu veri yolları, birden çok konuşucunun aynı veri yoluna bağlanmasına da izin vermektedirler ve bağlanabilecek modül sayıları NMEA veya ARINC standartlarında belirtilenden daha fazladır.

Bu çalışmada ortaya konulan İHA kontrol sistemi gerçek zamanlı bir ağ çevresinde kurulmuştur. Bu ağ, yapı olarak CAN standardının basitleştirilmiş ve insansız araçlara uyarlanmış şeklidir. Ağ üzerinde çalışacak olan yazılım protokolü ayrıntılı olarak ortaya konmuştur. Önerilen ağ yapısı mevcut işlemcilerin çoğuna donanım ve yazılım olarak az yük ile uygulanabilecek boyuttadır. Önerilen veri yolu mimarisi genişlemeye açıktır. Çok fazla ölçüm cihazı verisinin dağınık olarak, yüksek hızlarda okunmasını gerektiren büyük İHA'lar için veya seri iletişim yolu üzerinde yüksek kaliteli görüntü gibi, fazla bant genişliğine ihtiyaç duyulan veri iletimi uygulamaları için, seri iletişim hızı yeterli gelmeyebilir. Bu ağ, K-Bus olarak adlandırılmıştır.

Tasarlanan veri yolu farklı donanımlardaki modüllerin gerçek zamanlı ve öncelikli (priority) olarak haberleşmelerine imkan sağlamaktadır. Teklif edilen veri yolu ile farklı donanımların rahatlıkla sisteme eklenebilmesi amaçlanmıştır. Teklif edilen veri yolu özel olarak bir İHA için düşünülmüştür.

K-Bus'ın iki ayırıcı özelliği tek bir ağ çevrimi içerisinde farklı modüllerde bulunan verilere ulaşabilmesi ve modül veya başka adres bilgisine ihtiyaç duymadan standart verilere ulaşabilmesidir.

Önerilen mimari, düşük işlemci hızına ve hafızasına sahip işlemcilerle, basit İHA uygulamalarında kullanılabilmesi gibi, birden çok İHA'nın ortaklaşa kontrol edilmesini gerektiren karmaşık uygulamalarda da kullanılabilmesi imkan tanıdığından dolayı ölçeklenebilir. Önerilen mimarinin yapısı, çok farklı uygulamalarda kullanılmasını ve farklı modüllerin eklenmesine izin vermektedir.

K-Bus donanımının işlemci ile etkileşeceği sinyaller oluşturulurken, işlemci yazılımının kesmeye dayalı olarak çalışabilmesine izin vermesi göz önünde bulundurulmuştur.

K-Bus şu niteliklere sahiptir.

- Bir ağ paketi içerisinde birden çok modülde bulunan farklı verilere ulaşılabilir;
- Birçok konuşucu modül aynı veri yolu üzerinde bulunabilir; Bu özellik redundant denetim sistemlerinde önemlidir.
- Veri paketleri için öncelik (priority) desteği vardır;
- Paket çarpışmaları donanımsal düzeyde belirlenir;
- Hatalı veya çarpışan paketler otomatik olarak, yazılım tarafından tekrar yollanır;
- Bir paket aynı anda birden çok modüle iletilir (yayın);
- Standart veri tanımları ile temel İHA büyüklüklerine modül adresi kullanılmadan ulaşılabilir;
- Blok tanımları ile bir K-Bus paketi içerisinde birden çok veri taşınarak paket yapısının getirdiği ek yük azaltılır;

Birden çok K-Bus arasında iletişim desteklenerek, pratik olarak sınırsız büyüme sağlanmıştır.

Çarpışma önleme kabiliyetli bir donanım seviyesi ve bunun üzerinde, tek çevrim içerisinde, ağ modüllerinden veri okunmasına imkan tanıyan bir protokol sunulmuştur. RS-485 seri kanalına donanım ilavesi yapılarak güvenli ve yazılım yükü çok olmayan bir ağ üzerinde veri çarpışma önleme sistemi kurulmuştur. Sunulan donanım modeli ilgilenilmeyen veri paketlerini belirleyerek işlemciye iletimi kesme, bir paket iletimi boyunca hatta erişimi engelleme kabiliyetine sahiptir. Yüksek gerçek zaman performanslı, bağıl olarak az işlemci gücü tüketen bir mimari anahtar tasarım istekleridir.

Tanımlanan K-Bus kullanılarak örnek bir İHA için kontrol sistemi donanımı tasarımı verilmiştir. Tasarlanan sistemlerin imalat aşamaları gerçekleştirilmemiştir.

İleriki çalışmalarda, önerilen kontrol mimarisinin tasarım, imalat ve test süreçlerinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

MODULAR CONTROL SYSTEM ARCHITECTURE DESIGN FOR UNMANNED AERIAL VEHICLES

SUMMARY

In this study, modular, scalable and flexible control system architecture around a serial communication bus is proposed to fulfill onboard navigation and control tasks of unmanned aerial vehicles (UAV).

Although there have been control systems for UAV's with very small dimensions and qualities or with advanced qualities, we believe that there is a gap for modular and open architecture systems with scalable performance and low cost.

During the last 20 years, control systems are increasingly being designed around serial communication busses. As the industrial purpose serial communication busses are widely used, the cost of control systems developed around these busses are getting to the levels of custom designed, stand-alone control systems. Various control systems, interfaces for measurement and actuator devices, programming and analyses tools can be found for different real time networks.

The necessity of serial communication standard is also noticed in the aircraft industry. To fulfill this necessity, various attempts have been made for developing standards. In the commercial aircraft industry, most widely known of these standards is ARINC.

NMEA 0183 standard is widely used to connect GPS, magnetic compass, gyroscope and similar devices to a control computer with serial communication channel. Although NMEA 0183 is a standard developed as a result of studies for marine requirements, it is used in UAVs and other airborne vehicles.

A number of data buses, like CAN and ProfiBus, are used in industrial environments. These data busses have higher data rates and better data collision avoidance and data collision detection properties than data busses designed for aircraft industry. In addition, these data busses allow more than one master device to be connected to a serial data bus and can have more modules on the data bus when compared to NMEA or ARINC standards.

The UAV control system architecture proposed in this study is given around a real time network. This network is architecturally a simplified version of CAN standard. It is adapted to unmanned vehicles. The software protocol on the network is given in detail. The proposed network architecture can be added to most of the available microprocessors with little hardware and software load. The proposed data bus is open for expansion. The serial transfer rate may not be sufficient for some UAV's where too many measurement data have to be collected in high speed or where data transfer applications demanding high band width like high quality picture transfer over serial communication bus. This bus is called K-Bus.

The designed data bus enables different hardware modules to communicate in real time with priority. Adding different hardware into the system has been an issue in the design

of the proposed data bus. The proposed data bus has been designed specifically for UAVs.

Two differentiating features of K-Bus are its capability to access data on multiple modules in a single transaction and its capability to access standard data without module or other address knowledge.

The proposed architecture can be used both in simple UAV applications with microprocessors having low clock speed and little memory, and in complex applications where more than one UAV have to be controlled cooperatively. This allows K-Bus to be scalable through a range of UAV's. Proposed architecture enables K-Bus to be used in different applications with variety of modules.

Signals between K-Bus hardware and microprocessor are designed to allow interrupt driven software for network interfacing.

K-Bus has following properties.

- Different data from multiple modules can be accessed in a single transaction;
- Multiple master modules can be present on the same data bus;
- Hardware priority is given for data packages;
- Data package collisions are detected at hardware level;
- Erroneous or collided data packages are automatically resend by software;
- One data package can be broadcasted to more than one module;
- By the help of standard data concept, fundamental UAV parameters can be reached without using module address;
- By the help of block data transfer, more than one data can be transferred in single K-Bus package and the overhead coming from package structure is reduced.

By supporting communication between multiple K-Bus networks, virtually unlimited growth is obtained.

K-Bus provides network data collision avoidance by adding hardware components around RS-485. Priorities of network messages are obtained with sender's identification number in the protocol. Priorities are used by hardware layer to decide the winner in case of a collision. The lock provided by the hardware layer blocks accessing to the bus during a transaction and modules replying to a high priority master will be able to produce their response in the same package cycle, without the need to wait for the next available slot. With this feature, high priority master modules can rapidly access to low priority modules, like sensors, within master module's priority. This allows predictable access times to resources in multi-mastered networks. Hardware layer is designed to transfer minimal protocol related load to the processor. Hardware layer is capable of blocking non-interesting data packages to interrupt processor. K-Bus also allows acknowledgement to be transferred in the same package cycle. High real time performance and relatively less processor bandwidth consumption are key design requirements.

A sample UAV is described and control system hardware design is given using K-Bus. The designed system is not manufactured or prototyped.

In future studies, design, simulation, production and test processes of the proposed architecture have to be performed.

1. GİRİŞ

Bu çalışmada insansız hava aracı, İHA, (unmanned aerial vehicle, UAV) için bir kontrol sistemi mimarisi önerilmiştir. Çalışma ile ortaya çıkan dökümanın gerçekleştirilebilir bir İHA denetim sistemi için tasarım dokümanı olması amaçlanmaktadır.

Modern bir İHA tasarımı, imalatı, test uçuşlarının tamamlanması ve ticari veya askeri olarak kullanılabilmesi yıllar sürecek bir süreçtir [1]. İHA tasarımı, yapı, aerodinamik, kontrol, elektronik ve yazılım gibi mühendislik disiplinlerinde çalışmalar gerektirir [2, 3]. Bu çalışma, sivil amaçlı bir İHA geliştirme hedefi belirlemiş ekibe, kontrol mimarisi tasarımı ve gerçekleştirilmesinde yol gösterici olarak düşünülebilir.

Bu çalışma içerisinde İHA'lar küçük boy ve büyük boy İHA'lar olarak iki sınıfa ayrılmıştır. Genelde sınıflamaların hepsinde olduğu gibi, sınıflar arasındaki sınır çok keskin değil, bulanıktır. Küçük boy İHA sınıfına, sivil amaçlı ve bağıl olarak düşük fiyatlı araçlar alınmıştır. Büyük boy İHA sınıfı ise, askeri amaçlı veya maliyeti bağıl olarak yüksek araçları kapsamaktadır. Burada büyük ve küçük sınıflaması yapılırken, fiziksel boyutlar, yük kapasiteleri, menziller ve uçuş süreleri kullanılmamıştır. Bu çalışmanın amaçları açısından bu büyüklükler ayırıcı özellikler değildirler.

Bu çalışma ile geliştirilen mimari, küçük boy İHA'larda kullanılmak üzere düşünülmüştür. Mimari yaygın olarak kabul görür ve küçük boy İHA'larda uzun süre denenebilirse, büyük boy İHA'larda da kullanılabilir. Önerilen sistem, sadece hava değil, insansız kara, deniz ve deniz altı araçlarında da kullanılabilir. İnsansız uzay araçları için uygunluğunun incelenmesi bu çalışma kapsamının dışındadır. Çatışma ortamı için gerekli elektronik önlemler de bu çalışmada incelenmemiştir.

Günümüzde İHA'lar sivil havacılık endüstrisinde gittikçe önem kazanmaktadırlar [4]. İHA'lar için çok küçük boyut ve küçük nitelikli kontrol sistemleri ve son derece gelişmiş nitelikleri olan kontrol sistemleri olmasına rağmen, ölçeklenebilir performanslı, düşük maliyetli, modüler ve açık mimarili sistemler konusunda önemli bir boşluk olduğunu düşünmekteyiz. Burada ölçeklenebilirlik, performans, işlemci hızı,

hafıza boyutları ve yazılım geliştirme ortamlarının, uygulamaya göre çok geniş aralıklarda seçilebilmesi anlamına gelmektedir.

İHA ile uzaktan kumandalı araç arasındaki ayırım tam olarak belirli değildir. Genelde, aracı kumanda eden kişi veya sistemin görüş mesafesi dışında kontrollü uçuş yeteneğine sahip araçlar İHA olarak adlandırılmaktadır. Görüş mesafesi dışında, uçuş kontrolünün uzaktan kumanda ile veya İHA üzerinde bulunan bir borda bilgisayarı ile gerçekleştirilebilmesi mümkündür. Ticari ve askeri amaçlı olarak kullanılan birçok İHA'nın kontrol işlemi yerde veya başka bir araçta bulunan bir operatör tarafından gerçekleştirilmektedir. Yani bu cihazlar yine bir insan pilot tarafından kontrol edilmektedirler, ancak, pilot araç üzerinde değildir ve araç üzerindeki kontrol sistemi ile bir radyo kanalı vasıtası ile iletişim kurmaktadır. Yerde bulunan operatör tarafından kontrol edilen İHA'ların bir kısmında, radyo kanalında ve alternatif iletişim kanallarında arıza olması durumunda aracı bir istasyona geri yönlendirecek ek yazılım mevcuttur.

Günümüzde kullanımda bulunan İHA'larda, çoğunlukla, yer istasyonuna görüntü iletebilme kabiliyeti bulunmaktadır. Yer istasyonunda bulunan operatörün İHA'ya kumanda etmesi sırasında, iletilen görüntüde bulunan nokta sayısı ve saniyede iletilen görüntü adedi önem kazanmaktadır. Yapılan çalışmalarda, saniyede 4 görüntüden daha az görüntü iletildiğinde, ciddi performans azalmaları olduğu bulunmuştur [5]. Önerilen veri yolu mimarisinin amacı yüksek kalitede ve yüksek hızda görüntü taşımak değildir. Modüller arasında bu tip görüntülerin taşınması gerekirse, farklı iletişim kanallarının kullanılması gerekmektedir.

Bu çalışma içerisinde, modül terimi ağ üzerinde bulunan ve bir adres atanmış donanım olarak tanımlanmaktadır. Tanımlanan protokol ile, ağ üzerinden her modülde en fazla 256 adet veri adreslemesi yapılabilmektedir.

Kendisine verilen görevi kalkıştan inişe kadar insan müdahalesi olmadan gerçekleştiren tasarımlar çok azdır ve bu konu üzerinde çeşitli akademik ve ticari araştırmalar sürmektedir. Bu tip cihazlar hava robotları olarak adlandırılmaya daha yakın olacaklardır.

Son 20 yılda kontrol sistemleri gittikçe daha fazla olarak standart seri veri yolları çevresinde tasarlanmaya başlandılar. Endüstriyel amaçlı olarak geliştirilen standart seri veri yollarının geniş kullanım alanı bulmaları sebebi ile bu veri yolları çevresinde

geliştirilen kontrol sistemleri maliyet olarak, özel tasarlanmış tek başına çalışan sistemlerle aynı seviyelere inmişlerdir. Standart seri veri yolları çevresinde tasarlanmış kontrol mimarileri kurulmasının en önemli avantajlarından biri, kontrol sistemini oluşturan modüllerin farklı kaynaklardan temin edilebilmesinin mümkün olmasıdır. Örneğin, bir ana kontrol sistemi tasarımı ve yazılımı üzerinde yoğunlaşmak isteyen bir ekibin, tüm kontrol sistemini oluşturmak için gerekli jiroskop, ölçme sistemleri, radyo alıcı/vericileri gibi diğer modüllerin tasarımı veya bunların tasarlanan sisteme eklenmesi için gerekli arabirimlerin oluşturulması ile uğraşmasına gerek kalmayacaktır. Bu modüllerin kontrol sistemine eklenmesi, belirli elektrik seviyeleri ve yazılım protokolleri kullanıldığından dolayı, hızlı ve güvenli olacaktır.

İHA kontrol donanımı ve yazılımı gerçekleştirilmesi için çeşitli alternatifler mevcuttur. Bu alternatifleri üç kategoride topladık.

- İHA kontrol sistemi özgün ve atanmış olarak gerçekleştirilebilir (embedded).
- Ticari olarak mevcut gerçek zamanlı bir ağ çerçevesinde İHA kontrol sistemi kurulabilir. Örneğin, ARINC [6], Profibus, CAN [7].
- Esnek bir bilgisayar mimarisi çevresinde giriş ve çıkış modülleri kullanılarak İHA kontrol sistemi gerçekleştirilebilir. Örneğin, CompactPCI veri yolu ve Intel marka Pentium işlemciler veya VME veri yolu ve Motorola marka 68000 serisi işlemciler.

Bu kategoriler arasındaki sınırlar net olarak belli değildir. Tasarımlarda bunların birkaçının bir arada kullanılması sıkça rastlanılan bir durumdur.

Her kategorinin kendi avantajları ve dezavantajları mevcuttur.

Özgün tasarımın genelde avantajları malzeme maliyeti, güç tüketimi, ağırlık ve hacim parametrelerinin düşük olmasıdır. Dezavantajları ise geliştirme ve test süresinin uzunluğu, geliştirme maliyetlerinin yüksekliği, ortaya çıkan mimarinin esnek olmaması ve ortaya çıkan mimarinin ölçeklenememesidir. Özgün tasarımı gerçekleştirecek ekibin ana kontrol bilgisayarı, ölçüm, tahrik ve radyo haberleşmesi gibi, İHA'da kullanılacak tüm elektronik donanımın gerektirdiği, çok geniş alanlarda çalışma yapması lazımdır. Ayrıca özgün tasarım bir ağ çevresinde tasarlanmadığı durumda, esnek değildir ve tasarım bittikten sonra belirecek ihtiyaçların sisteme eklenmesi zordur. Malzeme maliyeti düşük gibi görünse de, genelde az sayıda (<100 adet) imal edileceğinden dolayı imalat maliyetleri yüksek olabilir. Küçük boy İHA'lar için, özgün kontrol

sistemleri ticari olarak mevcuttur. Bu sistemler üzerlerinde çeşitli seri iletişim standartları ve çeşitli analog giriş kabiliyetleri bulundurarak belli esneklik ve modülerliği sağlamayı amaçlamışlardır. Ancak, programlama yöntemleri ve kontrol mimarisi tanımının açık olmaması, sağlanan esnekliğin ve modülerliğin kısıtlı olmasına neden olmaktadır. Ayrıca, ticari olarak mevcut özgün İHA tasarımları ölçeklenebilme kabiliyetine sahip değildirler, tasarım başlangıcında hedeflenen performans kriterleri için oluşturulan bir mimari, daha farklı performans kriteri olan bir İHA üzerinde kullanılmak istendiğinde, önemli donanım ve yazılım değişikliklerine ihtiyaç duyulur.

Ticari olarak mevcut gerçek zamanlı ağlar çevresinde çeşitli kontrol sistemleri, ölçüm ve tahrik cihazları için arabirimler, programlama ve analiz araçları bulunmaktadır. Bu tip bir ağ çevresinde ticari olarak mevcut birimleri kullanarak kontrol mimarisi kurmanın avantajları, denenmiş ürünleri kullanmak, programlama, hata bulma ve analiz araçlarının mevcudiyeti, geliştirme zamanının hızlı olmasıdır [8]. Bu yöntemin dezavantajları ise, ticari olarak mevcut modüllerin tasarımlarının hava araçları düşünülerek gerçekleştirilmemiş olması ve programlama ortamlarının genelde sınırlı olmasıdır. Endüstriyel amaçlar için tasarlanan modüllerde, güç tüketimi ve ağırlık kriterleri hava araçları için tasarlanan modüller kadar kısıtlayıcı değildir. İHA üzerinde genelde tek bir gerilim referans seviyesi bulunduğundan dolayı, İHA'lar için önemli olmayan giriş/çıkış sinyallerinin yalıtımı ise endüstriyel amaçlı modüller için hayati önem taşımaktadır. Endüstriyel amaçlı olarak üretilen kontrol sistemlerinin büyük çoğunluğunun programlama yöntemleri PLC mantığıyla çalışmaktadır. Bu programlama yöntemi fabrika otomasyonu gibi konularda kullanışlı olmasına rağmen bir İHA yazılımı için yeterli esnekliği sağlayamamaktadır. Ayrıca bu programlama yöntemi, yarı iletken teknolojisinin fabrikalarda kontrol amacı ile uygulanmaya başlamasının ilk zamanlarından ve hatta röleler ile kontrol mantığının gerçekleştiği zamanlardan kaldığı için, modern programlama yöntemlerine göre kullanımı ve bakımı daha zordur. Çeşitli firmalar gerçek zamanlı işletim sistemine sahip ve C, C++ ve Basic gibi modern diller kullanılarak programlanan cihazlar üretmeye başlamışlardır. Ancak, genelde, bu cihazlar maliyet, güç tüketimi ve ağırlık olarak daha yüksek değerlere sahiptirler.

Ayrıca, kabul görmüş ticari olarak mevcut gerçek zamanlı ağ standartları insansız hava aracında ihtiyaç duyulan tüm gereksinimleri karşılamamaktadır. Örneğin, CAN ağında eklenen modüllerin otomatik olarak bulunması [9], iletişim güvenilirliği [10], yüksek

hız [11] özellikleri çeşitli uygulamalarda yetersiz kaldığı durumlarda ek donanım ve protokol standartları eklenilerek bu eksiklikler giderilmektedir.

Esnek bilgisayar mimarisi çevresinde kontrol sistemi oluşturmanın avantajları, denenmiş ve güvenilir donanım, yüksek işlemci gücü ve hafıza, açık işletim sistemleri, geniş programlama ve hata bulma ortamları ve esnekliktir. Dezavantajları ise maliyet, ağırlık ve güç tüketimi noktalarındadır. Büyük boy İHA'lar için kontrol mimarisi bu tip yapılar kullanılarak gerçekleştirilmektedir [12]. Ancak bu mimarinin maliyeti ticari amaçlı küçük/orta boy bir İHA'nın toplam maliyeti üzerinde önemli bir orana sahip olacaktır. Ayrıca, sadece bu kontrol mimarisinin ağırlığı ve/veya güç tüketimi bile, küçük boy bir İHA tarafından karşılanamayabilir.

Havacılık sanayisinde de, seri veri iletim standardının gerekliliği fark edilmiştir. Bu amaçla çeşitli standartlar oluşturma girişimleri mevcuttur. Sivil havacılık alanında bu standartların en bilineni ARINC'dir.

Hava taşımacılığı endüstrisi için geliştirilen, ARINC olarak adlandırılmış seri iletişim veri yolu standardı çeşitli uçaklarda kullanılmaktadır. ARINC, havacılıkta kullanılan elektronik cihazlar arasında sayısal veri iletimi standardıdır. ARINC tanımlamasında kullanılan seri veri yolu "açık çevrim" bir veri yoludur. Veri yolu üzerinde bir konuşucu ve birçok dinleyicinin olduğu durumda, veri yolu açık çevrim olarak adlandırılmaktadır. Açık çevrim yapısı modüler bir kontrol mimarisi kurulmasında önemli bir engeldir. Açık çevrim yapısı kullanıldığında, her veri yolunda sadece tek bir konuşucu olacağından dolayı, konuşucu haricindeki modüller arası iletişim ya konuşucu üzerinden geçmek zorundadır veya bu modüller arasında başka bir iletişim ortamı olmasına gerek duyulmaktadır. ARINC tanımlaması birden çok veri yolu kullanımını desteklemekte olmasına rağmen, birçok ARINC veri yolu kullanımı, kablo sayısını ve yazılım üzerindeki iletişim yükünü arttıracaktır [13]. Bu sebeplerden dolayı, küçük boy İHA'larda ARINC veri yolu kullanımı uygun değildir.

NMEA 0183 standardı GPS, manyetik pusula, jiroskop ve benzeri cihazların kontrol bilgisayarına seri iletişim kanalı ile bağlanması amacı ile sıkça kullanılmakta olan bir standarttır. NEMA 0183 denizcilik ile ilgili çalışmalar sonucu oluşmuş bir standart olmasına rağmen İHA'larda ve diğer hava araçlarında da geniş kullanım alanı bulmuştur. Bu standart da ARINC gibi açık çevrim bir veri yolunu belirtmektedir. NEMA 0183 standardını kullanan her cihaz için ayrı bir seri iletişim kanalı ve kablosu gerektiğinden dolayı, bir İHA üzerindeki çeşitli algılayıcılardan gelen ölçme

sinyallerinin hepsinin tek bir kontrol bilgisayarına bağlanması istendiğinde, bu kontrol bilgisayarında çok fazla sayıda, algılayıcı adedi kadar, seri iletişim kanalı olması gerekmektedir.

Küçük boy İHA'ların borda bilgisayarı mimarileri özgün tasarım olarak veya seri iletişim yolu çevresinde gerçekleştirilmektedirler. Özgün tasarım durumu bu çalışmada incelenmeyecektir. Küçük boy İHA'lar için, özel olarak oluşturulmuş ve yaygın olarak kabul edilen bir seri iletişim veri yolu olmadığından dolayı, seri veri yolu çevresinde geliştirilen borda bilgisayarı mimarilerinde, çoğu zaman, endüstriyel ortamlar için veya kara veya deniz araçları için geliştirilen iletişim yolu standartları kullanılmaktadır [6].

Endüstriyel ortamda kullanılan CAN, ProfiBus ve benzeri birçok veri yolu mevcuttur. Bu veri yolları, havacılık endüstrisi için özel olarak belirtilmiş veri yollarından daha yüksek veri hızlarına, daha nitelikli veri çarpışma önleme veya veri çarpışma fark etme özelliğine sahiptirler. Ayrıca bu veri yolları, birden çok konuşucunun aynı veri yoluna bağlanmasına da izin vermektedirler ve bağlanabilecek modül sayıları NMEA veya ARINC standartlarında belirtilenden daha fazladır.

Endüstriyel alanda en çok kabul görmekte olan iletişim standardı olarak CAN gözlemlenmektedir. Bu standart, başlangıçta kara taşıtları üzerinde ölçme ve tahrik elemanları ile bilgisayar sistemlerinin bağlantısını sağlamak üzere oluşturulmuş, daha sonraları endüstriyel uygulamalarda da kullanılmaya başlanmıştır [14].

Yukarıdaki noktalar göz önüne alındığında küçük boy bir İHA için en uygun kontrol sistemi mimarisi çözümünün, gerçek zamanlı bir ağ çevresinde yapılacak bir tasarım olduğu ortaya çıkmaktadır. Mevcut ağ sistemleri kullanılarak bir tasarım yapılmak istenirse CAN standardının özellikleri son derece uygun görünmektedir. Ancak bazı dezavantajlar nedeni ile CAN standardının kullanımı yerine, yeni bir gerçek zamanlı ağ önerilmiştir. Bu dezavantajlar şunlardır:

- Gerçek zamanlı verilerin zamanında iletilebileceği garantilenememektedir [15, 16];
- Paketler içerisindeki veri uzunluğu 8 bayt ile sınırlıdır;
- Özel Can Bus donanımına ihtiyaç duyulmaktadır;
- Uygulanması bağıl olarak zordur;

- Uygulama seviyesinde kabul gören tek bir standart yoktur, CanOpen, CanKingdom, DeviceNet, vs. gibi birçok standart mevcuttur;
- Bağlı olarak pahalıdır;
- İHA'larda kullanılan, dümen, jiroskop gibi sistemler için özel tanımlamalar mevcut değildir.

Bu çalışmada ortaya konulan İHA kontrol sistemi gerçek zamanlı bir ağ çevresinde kurulmuştur. Bu ağ, yapı olarak CAN standardının basitleştirilmiş ve insansız araçlara uyarlanmış şeklindedir. Ağ üzerinde çalışacak olan yazılım protokolü ayrıntılı olarak ortaya konmuştur. Önerilen ağ yapısı mevcut işlemcilerin çoğuna donanım ve yazılım olarak az yük ile uygulanabilecek boyuttadır. Önerilen veri yolu mimarisi CAN standardı kadar geniş kapsamlı değildir, ancak küçük boy bir İHA için yeterlidir ve genişlemeye açıktır. Çok fazla ölçüm cihazı verisinin dağınık olarak, yüksek hızlarda okunmasını gerektiren büyük İHA'lar için veya seri iletişim yolu üzerinde yüksek kaliteli görüntü gibi, fazla bant genişliğine ihtiyaç duyulan veri iletimi uygulamaları için, seri iletişim hızı yeterli gelmeyebilir.

Günümüzde kullanılan en yaygın ve modern veri yolları için hala uygulamaya yönelik veya ağın çeşitli özelliklerini geliştirme amaçlı eklemeler yapılmaktadır. Örneğin, CAN bus için otomatik modül bulma [9], gerçek zamanlı haberleşme güvenilirliğini artırma [10], performansını artırma [11] konularında çalışmalar son yıllar içerisinde gerçekleştirilmiştir. Benzer şekilde, bu çalışma da veri ağları üzerinde İHA denetlenmesi için bir protokol eklemesi olarak sınıflandırılabilir.

Tasarlanan mimari, donanımsal olarak RS-485 seri kanalına çok az bir donanım ilavesi ile gerçekleştirilebilir. Bu donanım ilavesi güvenli ve yazılım yükü çok olmayan bir çarpışma önleme sistemi kurmak için gerekmiştir. Bu çalışmada çarpışmadan kasıt, veri yolu üzerinde birden çok aygıtın aynı anda iletişim hattına çıkması ile oluşabilecek problemdir. Tasarlanan mimari için gerekli ek yazılım yükü azdır ve birçok işlemcide rahatlıkla uygulanabilir. Düşük maliyetli, yüksek gerçek zaman performansı, bağlı olarak az işlemci gücü tüketen bir mimari, anahtar tasarım istekleridir.

Castro ve Sebastian, CAN ile RS-485 arasında bir karşılaştırma yapmışlardır [17]. Bu karşılaştırmada gerçek zamanlı saat eşlemesi ve gerçek zamanlı nesne değişimi gibi özelliklerinden dolayı CAN tabanlı çözümün daha üstün olduğu sonucuna varılmıştır.

Bu çalışmanın ağırlığı kontrol mimarisi tasarımı üzerindedir. Kontrol mimarisi bir veri yolu çevresinde oluşturulmuştur. Oluşturulan kontrol mimarisi esnek olarak tasarlanmıştır. Kontrol sistemi çerçevesinde kontrol, ölçüm, tahrik, seri iletişim, yük bilgisayarlarının fonksiyonları ve mimari olarak farklılıkları tanımlanmıştır.

Önerilen ağ mimarisinin önemli özellikleri şunlardır:

- Modüler
- Gerçek zamanlı
- Ölçeklenebilir
- Hızlı (bağıl olarak)
- Temel büyüklüklere kolay erişim

Bu özellikler sonuçlar kısmında diğer kabul görmüş gerçek zamanlı ağ mimarileri ile karşılaştırılmıştır.

Önerilen mimarinin kısıtlamaları ise aşağıdaki şekildedir:

- Bir ağda en fazla 224 modül olabilir
- Her modülde en fazla 256 adet veri olabilir
- 500KHz K-Bus hızı (50 KBayt / saniye)
- En kısa paket boyu 6 bayt
- En uzun paket boyu 261 bayt (Blok veri transferi haricinde)
- En fazla 15 adet veri grubu (bloğu) adresi desteklenmektedir

Ayrıca bu çalışma sırasında dağınık modüller arasında saat eşleminin nasıl yapılacağı tartışılmamıştır. Saat eşlemesi farklı bir üst seviye protokol ile yazılım seviyesinde ileride tanımlanabilir. Ancak bu tanımlama donanım seviyesinde bir saat eşlemesi tanımlaması kadar hassas olmayacaktır.

Bu çalışma içerisinde örnek olarak kullanılmak üzere bir İHA görevi tanımlanmış ve bu görevi gerçekleştirmek üzere İHA gövdesi, ölçüm ve yük sistemleri tartışılmıştır. Verilen örnek görevi gerçekleştirecek kontrol mimarisi tasarımı referans tasarım olarak adlandırılmıştır. Referans tasarım çerçevesinde, önerilen sistem mimarisi ile oluşturulmuş büyük ölçekli bir tasarım örneği verilmiştir.

Referans tasarım olarak, üç modülün tasarımı yapılmıştır. Bu modüller ve yüklendikleri görevler şunlardır:

- Ana kontrol bilgisayarı: görev planlanması ile otomatik ve manüel modlarda komuta ve kontrol sinyallerinin üretilmesinden sorumludur. Bu bilgisayar, normal olarak sistem içerisindeki tek karar mekanizmasıdır. Ancak tekrarlı (redundant) denetim mimarisinde kararları başka kontrol bilgisayarları tarafından doğrulanacaktır.
- Ölçüm ve tahrik bilgisayarı: ölçüm cihazlarından (gps, jiroskop, pitot tüpü, vs.) veri okuyarak, bunları süzmek ve istek üzerine kontrol bilgisayarına aktarmaktan sorumludur. Ayrıca tahrik sistemleri arabirimi de bu modül üzerinde tasarlanmıştır. Kontrol bilgisayarıdan gelen komutlar çerçevesinde kontrol güç katına analog veya ileride yaygınlaşabilecek sayısal girişli eylemcilere kumanda etmek üzere sayısal, referans sinyali üretmektedir.
- Haberleşme ve yük bilgisayarı: radyo alıcı/vericisi ile yük ve kontrol bilgisayarı arasında köprü görevi yapmaktadır. Bu modül üzerinde biri K-Bus, biri radyo alıcı verici bağlantısı ve biri de yük bağlantısı olmak üzere üç seri iletişim kanalı kullanılmaktadır.

Referans tasarımda belirtilen ölçüm ve tahrik bilgisayarı ile haberleşme ve yük bilgisayarı donanımları birbirlerinin aynı olarak verilmiştir. Bu işlemleri gerçekleştirecek donanımda, sayısal ve analog giriş çıkış bağlantılarına ve seri haberleşme bağlantı noktalarına standart veri atamaları yapılması ile farklı modüller elde edilebilmiştir. Bu modülün genel amaçlı olarak analog giriş/çıkış, sayısal giriş/çıkış ve seri iletişim arabirimi fonksiyonlarını gerçekleştirebilmesi için gerekli standart veri numaraları atanmamış bir moduna ait tanımlama da verilmiştir. Bu çalışma modu kullanılarak, sadece ana kontrol bilgisayarı ve bu modülden gerektiği kadar kullanılarak bir İHA'nın uçuş kontrol donanımının gerçekleştirilmesi sağlanabilir.

Önerilen kontrol mimarisinin avantajlarını ortaya çıkarmak için referans amaçlı bir donanım tasarımı Bölüm 6'da sunulmuştur.

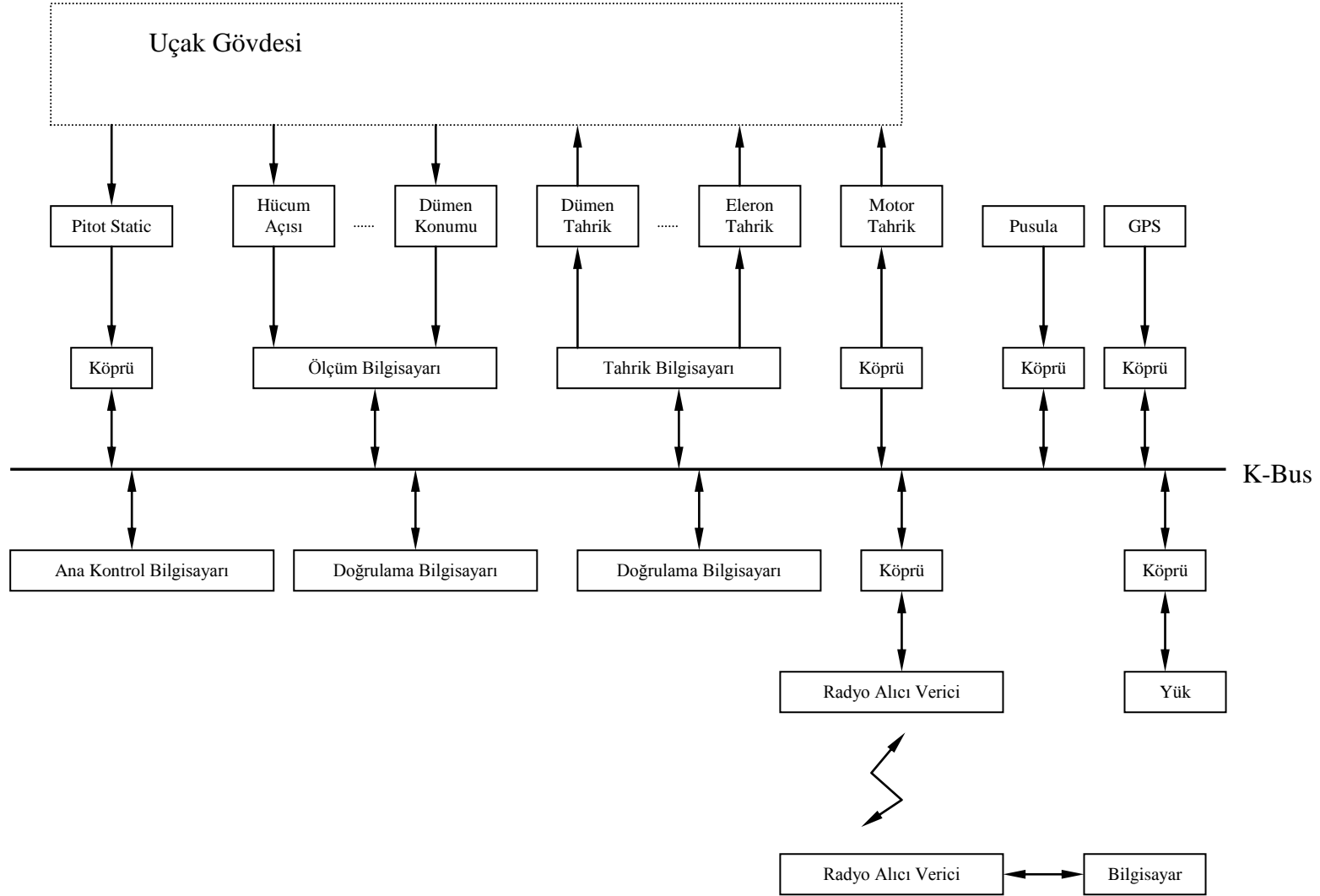
Örneğin, İHA'nın tasarım süreci veya işletme süreci sırasında başlangıçta seçilmiş olan radyo alıcı verici sisteminin değiştirilmek istendiğini varsayalım. Yeni seçilen radyo alıcı verici de araç üzerinde bulunan haberleşme ve yük bilgisayarı donanımı ile uyumlu olmasın. Bu durumda mevcut haberleşme ve yük bilgisayarı üzerinde bulunan donanım anahtarları vasıtası ile bu modülün haberleşme ile ilgili standart verileri kapatılacak ve yeni radyo alıcı verici için K-Bus üzerine yeni bir modül eklenecektir. Değişiklik

yapılmadan önceki referans tasarımda İHA kontrol sistemini oluşturan modüllerin hiç biri üzerinde yazılım ayarı yapılması gerekmeyecektir. Yapılacak tek donanım ayarı, yukarıda bahsedilen donanım anahtarının konumunun değiştirilmesi olacaktır. Yeni K-Bus modülünün eklenmesinden sonra, araç farklı haberleşme donanımı ile çalışma hayatını eksiksiz sürdürebilecektir. Yeni modülün yazılım ve donanım tasarımı, geliştirilmesi, imalatı, birim testi ve hata giderilmesi bağımsız olarak gerçekleştirilebilecektir. Yapılan değişiklik sonucunda, mevcut modüller üzerinde, ideal durumda, bir değişiklik olmaması gerekmektedir. Ancak, yeni oluşturulmuş sistemin, olası uyumsuzlukların belirlenmesi için, entegrasyon testinden geçmesi gerekir. Entegrasyon testi süreci uzun olmayacaktır.

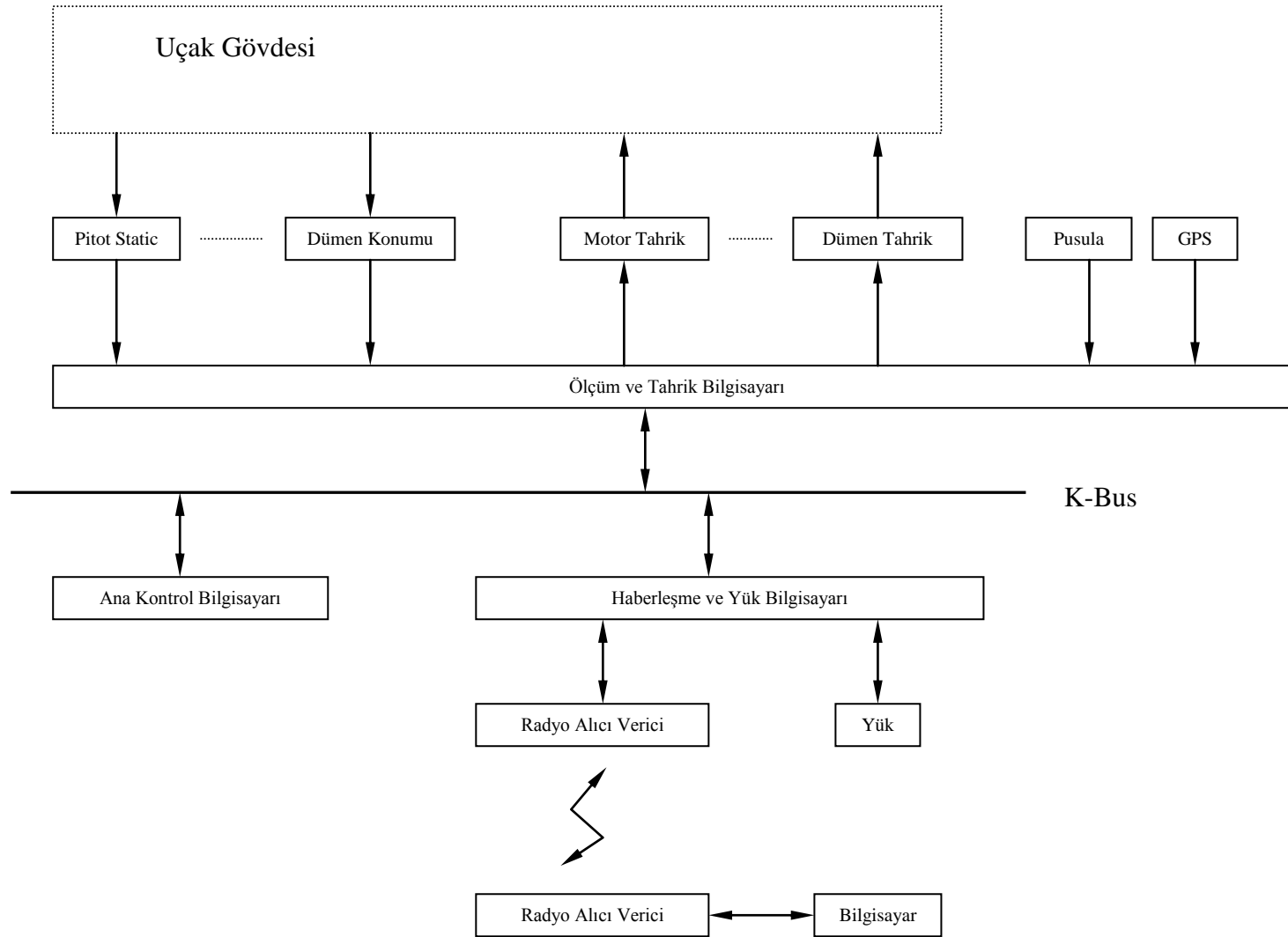
Tasarlanan veri yolu farklı donanımlardaki modüllerin gerçek zamanlı ve öncelikli (priority) olarak haberleşmelerine imkân sağlamaktadır. Teklif edilen veri yolu ile farklı donanımların rahatlıkla sisteme eklenebilmesi amaçlanmıştır. Teklif edilen veri yolu özel olarak bir İHA için düşünülmüştür. En fazla 224 modülün takılmasına izin vermektedir. Veri yolu tasarımı birden çok kontrol bilgisayarlarının, ölçme modüllerinin, tahrik modüllerinin bağlanmasına imkân sağlamaktadır. Bu sayede modüler tasarım, paralel işleme ve kontrol bilgisayarlarının birbirlerini doğrulamaları imkânları sağlanmaktadır.

Önerilen mimari esnek, farklı şekillerde olası isteklere bağlı olarak uygulanabilir.

Büyük bir İHA'nın kontrol gereksinimi, bir ana kontrol bilgisayarı, iki doğrulama bilgisayarı, bir haberleşme modülü, bir yük kontrol modülü, iki ölçme modülü, bir tahrik modülü biçiminde ortaya konabilir. Bu boyutta bir uygulama Şekil 1.1'de gösterilmiştir.



Şekil 1.1: Dağıtık veri toplamalı bir tasarım örneği



Şekil 1.2: Referans Tasarım

Küçük boy ve düşük maliyetli bir İHA'da, tek bir ana kontrol bilgisayarı modülü ve bu modülün üzerinde bulunan fiziksel giriş çıkışlar kullanılarak tüm uçuş kontrolü fonksiyonları yerine getirilebilir. Bu şekilde, veri yolu kullanılmadan temel bir sistem gerçekleştirilebilir.

Orta boy ve düşük maliyetli bir İHA'da ise bir ana kontrol bilgisayarı, bir ölçme ve tahrik modülü, bir haberleşme ve yük modülü olabilir. Referans tasarım bu model ile yapılmıştır. Bu model Şekil 1.2'de gösterilmiştir.

Önerilen donanımın elektromanyetik özellikleri bu çalışmada incelenmemiştir. Bu çalışma sonrasında elde edilen bilgilerin hayata geçirilmesi sırasında elektromanyetik özellikler deneysel olarak gözlemlenmelidir. Bu deney sonuçlarına göre gerekirse elektromanyetik özellikler değiştirilebilir. Kullanılan donanım RS-485 ve onunla aynı elektrik özelliklerine sahip RS-422 donanımlarını kullandığından dolayı bu donanımların elektromanyetik özellikleri ve hava araçlarına uygunluğu ile ilgili literatür araştırması yapılmıştır.

Hava araçlarının elektromanyetik etkileşim karakteristikleri için kabul gören uluslararası bir standart, RTCA/DO-160D ile aynı olan, ISO-7137'dir [18]. Bu standart hava araçlarında kullanılan modüllerin çevre şartlarını belirtmektedir. Hava araçlarında kullanılan cihazların nem, titreşim gibi birçok çevre koşu yanı sıra elektromanyetik etkileşim ve yayılım şartları da bu standart aracılığı ile belirtilmiştir. Erik Borgstrom [19]'da bu standardın elektromanyetik kısmının bir özetini sunmuştur. Bu standartta tanımlandığı şekli ile hava araçları elektronik donanımlarının elektromanyetik etkileşim karakteristikleri aşağıdaki şekilde sınıflandırılmıştır:

- Manyetik etki: Test edilen elektronik cihazın bir pusula iğnesini ne kadar saptırdığını ölçmektedir.
- Güç girişi: Hava aracı işletimi sırasında meydana gelebilecek alternatif ve doğru akım güç kaynağı değişikliklerinde test edilen elektronik cihazın işleyebileceğini belirlemektedir.
- Voltaj sıçramaları: Elektronik cihazın, doğru veya alternatif akım güç girişlerinde belirlenen voltaj sıçramaları uygulandığı sırada ve voltaj sıçramasından sonra işleyebileceğini ölçmektedir.

- Güç girişlerinde iletimle ses frekansı girişimi: Doğru ve alternatif akım güç girişlerine ses frekansı aralığında girişim uygulandığında elektronik cihazın çalışacağını belirlemektedir.
- Güç girişlerinde indükleme ile ses frekansı girişimi: Elektronik cihaz ve cihazın bağlantı kabloları ses frekansı elektrik alanlarına maruz olduğu durumlarda elektronik cihazın çalışacağını belirlemektedir.
- Işınım ve iletimle radyo frekansı girişimi: Elektronik cihaz ve cihazın bağlantı kabloları belirtilen radyo frekansı elektrik alanlarına maruz olduğu durumlarda elektronik cihazın çalışacağını belirlemektedir.
- Radyo frekansı yayını: Elektronik cihazın belirlenenin üzerinde radyo frekansı yaymayacağını belirlemektedir.
- Şimşegin sebebi ile oluşan geçici girişim: Şimşekler tarafından oluşturulan geçici muhtelif dalga şekillerine maruz kaldığı sırada ve sonrasında elektronik cihazın çalışabileceğini belirlemektedir. [20]'de Lutz M., bu sınıf için bir test sonucu vermektedir.
- Şimşegin doğrudan etkileri: Hava aracı dışarısına monte edilmiş elektronik cihazların şimşek çarpması sırasında gelen doğrudan etkilere dayanıklılığı test edilmektedir.
- Elektrostatik boşalım: Hava elektrostatik boşalımı sırasında ve sonrasında elektrik cihazının çalışabileceğini belirlemektedir.

Bölüm 4'de verilen referans tasarımda kullanılmış olan RS-485 elektrik seviyesinin ISO-7137 uyumluluğu ile ilgili doğrudan bir çalışmaya literatür taraması sırasında rastlanmamıştır.

Caniggia S., [21]'de RS-422 seri iletişim hattı tarafından oluşturulan elektrik radyasyonunu incelemiştir. RS-422, bu çalışmada kullanılan RS-485 ile aynı elektrik karakteristiklerine sahip olduğundan bu çalışmanın sonuçları önerilen referans donanım tasarımına uygulanabilir. Caniggia, RS-422 seri hatlarının yüksek diferansiyel yapılarından dolayı yüksek korumaya sahip olduğu sonucuna varmıştır. Ancak karşılaştırılan diğer seri iletişim devrelerinden daha yüksek seviyede ortak kip akımları oluşturmakta ve oluşan yayınımlar FCC ve CISPR seviyelerinin üzerinde olmaktadır. RS-422 seri iletişim hattında, çeşitli ekranlama teknikleri kullanılarak bu

elektromanyetik etkiler STP CAT5 kablosu ile aynı performansı sağlayabilecek hale getirilebilmektedir.

[22]'de Kumar A.V. RS-485 seri iletişimde veri bozunumlarını engelleme yollarını tartışmaktadır. Bu çalışmada RS-485 elektrik seviyesi bozunumları genel olarak iletim hattı etkileri, empedans çiftindeki eşitsizlikler, yetersiz ekranlama ve yetersiz topraklama olarak belirtilmektedir. Bu çalışma sonucunda seri iletişimde kullanılacak kablo ve topraklama ile ilgili bir dizi öneriler sunularak elektrik hattının elektromanyetik dayanıklılığının artırılması sağlanmaktadır.

Wang W., [23]'de, RS-485 seri iletişim hattını nükleer radyoaktif ortamlarda 1.2 km uzunluğunda bir hatla iki bilgisayar sistemini bağlamak için kullanmıştır.

[24]'de Kim J-S., yüksek güç, yüksek enerji uygulamasında RS-485 seri iletişim elektrik seviyesini elektrik etkilere ve manyetik etkilere olan güvenilirliğinden dolayı tercih etmiştir.

Çalışmanın organizasyonu aşağıdaki gibidir.

Bölüm 2'de, bu çalışma içerisinde kullanılacak olan çeşitli konular özetlenmiştir. Bu bölümde, kontrol yüzeyleri ve kontrol büyüklükleri tanımlanmıştır. Bölüm 2'de İHA üzerinde bulunan bazı ölçme cihazlarından bahsedilmiştir. Bu bölümde son olarak İHA için kontrolör tasarımı yöntemleri özetlenmiştir.

Bölüm 3'de, önerilen veri yolunun karakteristikleri verilmiş ve ağ protokolleri arasındaki yeri tartışılmıştır. Bölüm 3.2'de, oluşturulan mimari diğer İHA kontrol mimarileri ve dağıtık kontrol mimarileri ile karşılaştırılmıştır.

Bölüm 4'de gerçek zamanlı denetim sistemini gerçekleştirmek üzere bir ağ seviyesi protokol ve donanım önerilmiştir. Önerilen donanım tek bir çevrim içerisinde ağ üzerinde bulunan modüllerden verileri okuyabilme kabiliyeti sayesinde gerçek zamanlı sistemler için önemli bir avantaj sağlamaktadır.

Bölüm 5'de, önerilen dağıtık mimarinin, ağ protokolleri üzerinde daha yüksek seviyede bulunan yazılım özellikleri verilmiştir. Bu bölümde önerilen mimarinin mevcut gerçek zamanlı veri yolları ile karşılaştırmaları yapılmıştır. Veri yolu üzerinde paket tanımları, modül sınıfları, öncelikler, zamanlamalar, hata modları, özel durumlar tanımlanmıştır.

Bölüm 6'da referans tasarım gerçekleştirilmiştir.

Bölüm 6.1'de, örnek bir sivil amaçlı İHA görevi tanımlanmıştır.

Bölüm 6.2’de, referans tasarımda kullanılan hava aracı üzerinde bulunan ölçme cihazları ana hatları ile verilmiş ve bu hava aracının kontrol yüzeyleri belirtilmiştir. Referans tasarımda kullanılacak olan yük, radyo alıcı verici, jiroskop, GPS alıcısı, ölçme cihazları ve tahrik elemanları bu bölümde tanımlanmıştır.

Bölüm 6.3’de, analog ve sayısal giriş/çıkış sinyallerini ve farklı protokollerdeki seri iletişim kanallarını önerilen K-Bus’a adapte edecek bir tasarımın elektronik devre şeması verilmiştir. Bu şematik tasarım, daha sonra Bölüm 6.4 ve Bölüm 6.5 içerisinde donanım tasarımı verilen iki farklı modülde de kullanılmıştır. Bu modüllerden biri referans tasarımda ana kontrol bilgisayarı olabilecek kapasitede, diğeri ise haberleşme ve yük bilgisayarı veya ölçüm ve tahrik bilgisayarı olabilecek niceliktedir.

2. TEMEL KAVRAMLAR

2.1 Hava Aracı

İHA’larda çok farklı hava aracı yapıları kullanılabilir. Döner kanat, sabit kanat, çift kanat, uçan kanat İHA’larda kullanılan hava aracı yapılarından sadece bir kaçıdır. Hava aracı seçimi, İHA tasarımının en kritik noktasıdır.

Genelde hava aracı tasarımı iki aşamada yapılmalıdır. İlk aşama ön tasarım olarak adlandırılır. Ön tasarımda amaç, uçak yapısının oldukça detaylı bir şekli çıkartmaktır. Burada görev tanımı sırasında ortaya konan tüm önemli isteklerin karşılanabileceği bir yapının bulunabilmesi amaçlanmaktadır [25].

Ayrıntılı hava aracı tasarımında ise yapısal dinamik, imalat teknikleri, ısı ve basınç etkileri, gibi önemli konularında incelenmesi gerekir.

Hava aracı seçimi ve tasarımı aşamalarının hepsi uzmanlık gerektirmektedir.

Bu çalışmada, uçak yapısı seçiminde bir kısıtlama getirilmemiştir. Verilen örneklerde sabit kanatlı uçak yapılarında mevcut kontrol yüzeyleri kullanılmıştır, ancak önerilen kontrol mimarisi tüm küçük İHA yapılarında kullanılabilir.

2.2 Ölçme Cihazları

Hava araçları üzerinde birçok ölçme ile ilgili cihaz bulunmaktadır. Bu elemanların bir kısmı aşağıda verilmiştir.

- Uçuş Cihazları
 - Pitot-statik tüpü
 - Hava hızı göstergesi
 - Altimetre
 - Tırmanma hızı göstergesi
 - Dönüş ve yatma göstergesi
- Seyrüsefer Cihazları
 - Manyetik pusula

- Jiroskop
- Oto pilot
- Motor Cihazları
 - Manifold basıncı göstergesi
 - Yağ basıncı göstergesi
 - Yakıt ve yağ miktarı göstergeleri
 - Yakıt tüketimi göstergeleri
 - Motor analizörü
 - Motor hızı göstergesi

İnsanlı bir uçakta bu cihazların benzerleri bulunacaktır [26]. Uçak ve uçuş amacına göre, yukarıdaki verilenler haricinde de, birçok farklı cihaz kullanılabilir. İnsanlı bir uçakta bu bilgiler pilota göstergeler vasıtası ile iletilecektir. İHA'arda ise, bu bilgilerin ana kontrol bilgisayarına veya yerdeki operatöre iletilmesi gerekmektedir.

2.3 Kontrol Yüzeyleri

Bir uçak gövdesinin mevcut hareket durumunun değiştirilebilmesi için harici kuvvetlerin veya momentlerin veya her ikisinin birden uygulanması gerekir. Uygulanan kuvvet ve momentler sonucunda oluşan ivme vektörü, Newton'un ikinci hareket kanunu ile elde edilir. Her hava aracı, belirlenmiş hedefine doğru uçuş yolu üzerinde yönlendirilmesine imkan tanıyan kontrol yüzeylerine veya başka araçlara sahiptir [27].

Geleneksel uçak üzerinde, genelde, elevatör, eleron ve dümen olarak adlandırılan üç kontrol yüzeyi bulunmaktadır. Böyle bir uçağın, dördüncü kontrolü de, motorlardan elde edilebilen itkiyi değiştirebilme kabiliyetidir. Birçok modern uçak üzerinde, oldukça daha fazla kontrol yüzeyi bulunmasına rağmen, İHA tasarımlarında, genelde, belirtilen kontrol yüzeyleri kullanılmaktadır [27].

Önerilen veri yolu mimarisi ile İHA üzerinde bulunan kontrol yüzeylerine ulaşmak mümkündür. Farklı yapılardaki İHA'larda, değişik kontrol yüzeyinin veya hareketi değiştirecek araçların, kontrol mimarisi içerisinde kullanılması desteklenmektedir.

2.4 Hava Aracı İçin Kontrolör Tasarımı

Otomatik modda uçuş sırasında, İHA üzerinde bulunan ölçme cihazlarından veriler okunarak, İHA'nın hareketinde değişiklikler yaratmak üzere kontroller üretilmesi

gerekecektir. Bir hava aracı üzerinde bulunabilecek çeşitli kontrol sistemleri aşağıda verilmiştir.

- Durum Kontrol Sistemleri
 - Yalpa açısı kontrol sistemi
 - Yunus açısı kontrol sistemi
 - Kanat seviye ayarlayıcı
 - Eşgüdümlü dönüş sistemleri
 - Yana kayma engelleme sistemleri
- Uçuş Güzergahı Kontrol Sistemleri
 - Yükseklik kontrol sistemleri
 - Hız kontrol sistemleri
 - Yönelme kontrol sistemleri
 - Otomatik iniş sistemi

Bu kontrol sistemleri K-Bus üzerinde farklı modüller üzerinde bulunabilir.

Bu kontrol sistemlerinde kullanılacak kontrol metodu, kutup yerleştirme, model izleme, frekans cevabı gibi geleneksel yöntemlerle veya adaptif kontrol ve optimal kontrol gibi daha modern yöntemlerle gerçekleştirilebilir [27, 28, 29].

3. VERİ YOLU

Bu çalışmada modüler bir kontrol mimarisi teklif edilmektedir. Yani ölçme, kontrol, seri iletişim gibi fonksiyonları gerçekleştirecek bloklar yazılım ve/veya donanım olarak giriş çıkışları belirli bloklar halinde tasarlanacak ve gerçekleştirileceklerdir.

Teklif edilen mimari bir seri veri yolu çevresinde gerçekleştirilmiştir.

Genel olarak kontrol donanım ve yazılımlarına ait test işlemleri birim ve entegrasyon testi olarak ikiye ayrılmaktadır. Birim testi sırasında kontrol sistemine ait donanımı ve/veya yazılımı oluşturan bir parça diğer parçalardan ayrı olarak test sürecinden geçirilir. Entegrasyon testinde ise birim testinden geçmiş olan parçalar birleştirilerek, çalışma ortamına mümkün olduğu kadar benzeyen ortamlarda, tüm kontrol donanımı ve yazılımına ait testler gerçekleştirilir.

Kontrol sisteminin birim testinden geçmiş ve mümkün olduğu kadar güvenilir hale getirilmiş parçalardan oluşması durumunda, İHA kontrol sistemini oluşturacak çalışma grubu, test aşamalarında sadece entegrasyon testi üzerinde yoğunlaşacaktır. Bu yoğunlaşma ile İHA kontrol sistemi test sürecinin önemli kısmı entegrasyon testi olarak yapılabilecek, test ve geliştirme zamanlarında, masraflarında ve insan gücünde önemli avantajlar sağlanabilecektir [30].

Bu üniteler arası iletişimin gerçek zamanda, güvenli, esnek ve standart olarak sağlanabilmesi için bir seri iletişim sisteminin yapısı ileriki bölümlerde oluşturulmuştur. Oluşturulan seri iletişim veri yolu “K-Bus” olarak adlandırılmıştır.

Bu yapı için önemli kriterler şunlardır:

- Bir İHA'nın komuta ve kontrolüne yönelik ölçüm, tahrik, komuta, haberleşme ve diğer benzeri veri iletimini sağlayacak hız ve yapıda olmalıdır;
- Birden çok ölçme bilgisayarı, kontrol bilgisayarı ve benzeri modüllerin aynı veri yolu üzerinde bulunabilmesine izin vermelidir;

- Ölçeklenebilir bir mimari olmalıdır. Küçük sistemlerde kullanılabilir kadar düşük maliyetli olarak kurulabilmeli ve büyük sistemlerde gerekli performansı sağlayacak kadar nitelik gelişimini destekleyebilmelidir;
- Basit olmalıdır;
- Genişlemeye izin vermelidir;
- Tüm modüller için yedek veya doğrulama modülü desteği sağlamalıdır;
- Her modülün yedekleri ile operasyon sırasında yer değiştirmesine izin vermelidir;
- Esnek bir kontrol mimarisi olmalıdır, yeni ölçüm veya kontrol sistemlerinin donanım ve yazılım olarak eklenebilmesi kolay olmalıdır;
- İHA'larda kullanılan temel büyüklüklere, veri yolu üzerinde modül adresi kullanılmadan ulaşılmayı desteklemelidir.

Teklif edilen sistem iletişim donanımından büyük ölçüde bağımsıdır. Aşağıdaki özellikleri sağlayan iletişim donanımları bu sistem için kullanılabilirler:

- Gerçek zaman kısıtı: Her veri paketinin verilen bir süre içerisinde adrese teslim edileceği kesin olmalıdır
- Her paket teslimi için bir onay gelmelidir.
- Paket teslimi gerçekleşmezse veya gerçek zaman kısıtı sağlanamazsa, paket için bir hata oluşmalıdır.

Günümüzdeki birçok modern ağ gerçek zaman kısıtını doğrudan sağlayamamaktadır.

Birçok endüstriyel ağ gerçek zaman kriterini sağlamaktadır. Örneğin, CAN veri yolu bugün otomasyon endüstrisinde en çok kullanılan veri yollarından biridir, otomotiv sanayisinde ise en çok kullanılan veri yoludur. CAN veri yolunun donanım özelliğinin en ayırt edici kısmı çarpışma engelleme (collision avoidance) özelliğidir. Rakipleri genellikle sadece çarpışma algılama (collision detection) yapabilmektedir. Bu özellik sayesinde, veri yolu üzerinde birden çok konuşucu olması durumunda dahi güvenli iletişim garanti edilebilmektedir. Birden çok konuşucu durumunda, yazılım olarak jeton oluşturularak konuşucular arasında dolaştırılması gereği ortadan kalkmaktadır [31]. Bu çalışmada verilen referans donanım modeli kurulurken CAN veri yolunun tüm özellikleri aynen kullanılmamıştır. Önerilen modelde RS-485 standardında belirtilen

elektrik seviyeleri kullanılmıştır. K-Bus için istenen çarpışma önleme ve paket yönetimi özelliklerini elde etmek için RS-485 seri iletişim hattı çevresine çeşitli entegre devreler eklenmiştir.

Önerilen sistemin modern mikro işlemcilerde, mikro denetleyicilerde veya sayısal işaret işlemcilerinde bulunan seri iletişim arabirimlerine basit donanım eklemeleri ile gerçekleştirilmesi mümkündür. Bu bölüm içerisinde bu modülün çalışma mantığı açıklanmıştır. Bölüm 4'te, çeşitli tip işlemcilerde bulunan seri iletişim arabirimlerine ve sayısal giriş çıkışlara, K-Bus bağlantısının yapılabilmesi için örnek bir tasarım verilmiştir. Bu örnek tasarımda, anlaşılabilirliği arttırmak amacı ile standart entegre devreler tercih edilmiştir. Örnek tasarımda toplam dört adet entegre devre kullanılmıştır. Bu tasarımın kaplayacağı baskılı devre kartının alanı bir kaç santimetre kare olacaktır. PAL (Programmable Logic Array), FPGA (Field Programmable Gate Array) veya ASIC (Application Specific Integrated Circuit) tipi teknolojilerin kullanılması ile gerekli olan entegre devre sayısını bir veya iki adede düşürmek ve baskılı devre için kullanılan alanı daha da azaltmak mümkün olabilecektir.

Önerilen tasarım CAN veri yolu ile karşılaştırıldığında hız ve adresleme kapasitesi daha düşüktür. Ancak uygulanması daha basittir ve yazılım özellikleri daha önce tanımlanan küçük boyutlu İHA için tasarlanmıştır. Önerilen mimarinin küçük boyutlu İHA için özellikle uygun olmasının nedenleri bu çalışma içerisinde detaylı olarak verilmiştir. Bunları aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- a) Düşük ölçeklenebilirlikli bir mimari önerilerek benzer ağlardan daha yüksek performanslı gerçek zaman karakteristikleri sağlanmıştır. Önerilen protokol ile K-Bus üzerinde en fazla 224 modül olabilmektedir. Her modül üzerinde en fazla 256 adet veri bulunabilir. Bu çalışmada hedeflenen İHA'larda bu ölçeklenebilirlik sınırı yeterli olacaktır.
- b) Standart Veri: İHA'larda kullanılan temel büyüklüklere modül adresinden bağımsız olarak erişim desteklenmektedir.
- c) İHA'larda ve genel olarak hava araçlarında kullanılması arzu edilen tekrarlı (redundant) sistemleri desteklemektedir.

Önerilen mimarinin yukarıdakiler haricindeki özellikleri, sadece İHA'larda değil, genel olarak tüm gerçek zamanlı ağlarda olması beklenen niteliklerdir:

- a) Modüller

- b) Gerçek zamanlı
- c) Ölçeklenebilir
- d) Yüksek hız (bağıl olarak)

Yazılım özelliklerinin İHA için tasarlanmış olmasından dolayı İHA kontrol mimarisi K-Bus ile kurulmak istendiğinde yazılım ve donanım olarak hızlı bir geliştirme süreci mümkün olacaktır.

Önerilen tasarımın orta boy bir İHA için yeterliliği Bölüm 4.1’de analiz edilmiştir.

3.1 Önerilen Veri Taşıtı K-Bus’ün Özellikleri

K-Bus şu niteliklere sahiptir.

- Birçok konuşucu modül aynı veri yolu üzerinde bulunabilir;
- Veri paketleri için öncelik (priority) desteği vardır;
- Paket çarpışmaları donanımsal düzeyde belirlenir;
- Hatalı veya çarpışan paketler otomatik olarak, yazılım tarafından tekrar yollanır;
- Bir paket aynı anda birden çok modüle iletilebilir;
- Standart veri tanımları ile temel İHA büyüklüklerine modül adresi kullanılmadan ulaşılabilir;
- Blok tanımları ile bir K-Bus paketi içerisinde birden çok veri taşınarak paket yapısının getirdiği ek yük azaltılır;
- Birden çok K-Bus arasında iletişim desteklenerek, pratik olarak sınırsız büyüme sağlanır.

Bu özelliklerin bir kısmı CAN standardında belirtilen özelliklere benzemektedir [32].

K-Bus donanımı RS-485 elektrik seviyelerini kullanmaktadır. RS-485 standardına eklenen çarpışma algılama ve çarpışma engelleme donanımı ve oluşturulan paket mantığına dayalı veri iletim protokolü sayesinde, K-Bus üzerinde birden çok konuşucu modül bulunmasına izin verilmektedir.

K-Bus üzerinde modül veri numaraları, modülün önceliğini belirtmektedir. K-Bus’a paket yollamak isteyen modüller, veri yolunun boşalmasını bekleyerek paketlerini yollamaktadırlar. Birden çok modülün aynı anda veri yollamaya başlaması durumunda

çarpışma meydana gelir. K-bus donanımı, çarpışma durumunda, düşük öncelikli modüllerin iletimini keserek, yüksek öncelikli modülün yolladığı paketin bozulmadan veri yoluna aktarılmasına imkan tanımaktadır. Çarpışmayı kaydeden modüller, K-Bus donanımından aldıkları sinyallerle bu durumu algılayarak, tekrar K-Bus'ün boşalmasını beklemeli ve paket yollamayı denemelidirler.

K-bus adreslemesi, paketin alıcı adresinin tek bir modül olmasını veya bir modül grubu olmasını desteklemektedir. Tüm modüller, tüm doğrulama modülleri, tüm haberleşme bilgisayarları modülleri, ana kontrol bilgisayarları modülü gibi modül grupları K-Bus üzerinde tanımlıdır. Ayrıca, çalışma esnasında 16 adet modül grubu oluşturularak, istenen modüller bu gruplara eklenebilmekte veya çıkarılabilmektedir. Grup adreslemesi GPS yayını yapan modüllere benzer modüllerin amaçları için kullanışlıdır. GPS yayını yapan modül, her bir saniyede bir, GPS uydularından aldığı konum ve zaman bilgisini K-Bus'a yollayacaktır. Bu bilgiye, K-Bus üzerindeki birçok modülde ihtiyaç olacaktır. Bu bilginin, GPS bilgilerine ihtiyacı olan her modüle ayrı bir K-Bus paketi ile iletilmesi yerine, tüm modüllere bir kerede iletilebilmesi daha uygundur. GPS verilerini taşıyan paket tüm modüller tarafından alınacak, anlamı değerlendirilecek ve bu bilgiye ihtiyacı olmayan modüller tarafından ihmal edilecektir.

Oluşturulan K-Bus standardında, çeşitli modüller çeşitli veri paketi iletimi talep etmektedirler. Bu veri paketlerinin anlamlarının tüm modüller tarafından anlaşılabilmesi için K-Bus üzerinde standart veri kavramı geliştirilmiştir.

Standart veri İHA'larda kullanılan temel büyüklükleri kapsamaktadır. Bu çalışmada sadece referans tasarımda kullanılan veriler için standart veri tanımları yapılmıştır. Farklı İHA verileri olduğu veya gerektiği takdirde eklenerek standart veri tanımının genişletilmesi gerekmektedir. Standart veri kavramı, önerilen mimarinin çeşitli uygulamalarda çok az ayar yapılarak çalışabilmesini desteklemektedir.

Örneğin, bir İHA üzerinde bulunan ana kontrol bilgisayarında çalışacak yazılımın İHA'nın kontrol yüzeylerini, parametre ve değişkenlerini, ölçülen büyüklükleri, İHA'nın kontrol yüzeyi yer değiştirmeleri ile durumu arasındaki bağlantıyı veren matematiksel modelini ve uçuş görevini bilmesi gerekir. Standart veri kullanılan modüllerle gerçekleştirilen bir K-bus mimarisinde, bu ana kontrol bilgisayarının, GPS verisinin bulunduğu modül adresi, hücum açısı ölçme sisteminin ADC çözünürlüğü ve kalibrasyon verileri, dümen açısı tahrik sisteminin DAC çözünürlüğü ve benzeri bilgilerden haberdar olmasına gerek olmayacaktır.

K-Bus mimarisi, bloklar oluşturulmasına ve verilerin bloklar halinde iletilebilmesine imkan tanımaktadır. Blok tanımı performansın artması açısından önemlidir. Bloklar aynı K-Bus paketi içerisinde birden çok verinin transferine imkan tanımaktadırlar. Bu sayede, K-Bus üzerinden her veriye ayrı bir K-Bus paketi ile ulaşılmışından doğacak ek yük azaltılmış olur ve K-Bus iletişim bant genişliğinin daha verimli kullanılması sağlanır.

K-Bus'lar arası iletişim için K-Bus köprüsü tanımı getirilmiştir. Bu köprü tanımı ile verilen donanım ve yazılım kullanılarak iki K-Bus arasında veri iletimi gerçekleştirilebilir. Bir K-Bus üzerinde pratik olarak sınırsız adet K-Bus köprüsü kullanılabilir. Bu şekilde, pratik olarak, sınırsız adet K-Bus arasında veri iletimi sağlanabilir. K-Bus köprüsü donanım modeli verilirken veri iletim ortamı sınırlandırılmamıştır. Büyük boy bir İHA'da, kuyruk ve burun bölgelerinde ayrı K-Bus'lar oluşturularak dağınık bir kontrol mimarisi oluşturulabilir. Ayrıca, birden çok İHA'nın ortak bir görev için eşgüdümlü olarak çalışması durumunda, K-Bus köprüsü kullanılarak, İHA'ların K-Bus'larından diğer İHA'ların K-Bus'larına erişim imkanı sağlanır. Aynı araç içerisinde K-Bus köprüsü kullanıldığında veri iletim ortamı bakır kablo olabilirken, farklı İHA'lar arasında kullanılan K-Bus köprüsü durumunda veri iletim ortamı radyo frekansı iletişim kanalları veya optik iletişim kanalları olacaktır.

3.2 Protokol seviyesi içerisinde K-Bus

ISO protokol modeli ile 7 seviye tanımlanmıştır:

Tablo 3.1: ISO/OSI ağ modeli

Seviye	İsim	Açıklama
1	Fiziksel	Ağ donanımını ve araç sürücülerini tanımlar.
2	Veri Bağı	Veri bağı, verinin ağ üzerindeki formatını belirler. Örneğin, bir ağ yapısı, veya paketi, alıcının adresi, veri, toplam kontrol baytı gibi alanları içerebilir. Örneğin Ethernet bu seviyededir.
3	Ağ	Bu seviye temel iletişim ve adresleme için kullanılır. Örneğin TCP/IP bu seviyede IP'yi kullanmaktadır
4	İletim	Ağ üzerindeki modüller arasındaki iletişimi sağlar. TCP ve UDP bu seviyededir.
5	Oturum	Bağlantıları tutar. Bu seviye şu anda internet protokolünde kullanılmamıştır. Örneğin Netbios bu seviyededir.
6	Sunum	Sıkıştırma ve şifreleme bu seviyede yapılır.
7	Uygulama	Son kullanıcılara ağ hizmetleri sağlar. Örneğin, http ve FTP bu seviyededir.

Bu yedi seviyeli sınıflandırma görsel olarak iletişim sistemi parçasının nerede olduğunu tanımlamak amaçlıdır. Birçok sistem parçası analiz sonucunda bu yedi seviyenin sadece biri olarak sınıflandırılmaz [33].

K-Bus donanım modeli, bu seviyeler içerisinde fiziksel ve veri bağı seviyelerini kapsamaktadır. K-Bus yazılım modeli ağ, iletim ve oturum seviyeleri arasında dağılmıştır. Bölüm 3.4'de donanım için bir referans tasarım örneği verilerek çalışmada tüm seviyeler kapsanmıştır.

K-Bus protokolü CAN protokolüne çok yakındır. K-Bus, verilen referans donanım tasarımı ile, ikinci seviyeden bir paketi doğrudan veya basit bir adaptör vasıtası ile dördüncü veya beşinci seviyeye iletebilir. Ama, örneğin Ethernet donanım seviyesi ile K-Bus kullanılmak istenirse üç ve dördüncü seviyelerde çevirim yapacak alt protokoller gerekecektir.

Kontrol sistemlerinde kullanılan yaklaşımları, bu çalışmanın amaçları için, üç sınıfa ayırdık:

- Sunucu/İstemci
- Yayınlayıcı/Alıcı
- Nesne/Gözlemleyici

Önerilen mimari her üç sistemi de desteklemektedir.

Sunucu/İstemci yaklaşımında, kontrol bilgisayarı yazmak (veya okumak) istediği her değer için gerekli modüle bir mesaj yollayarak değeri güncelleştirmektedir.

Yayınlayıcı/Alıcı modelinde modüller ayarlanan sıklıklarda verileri seri hatta yayınlamaktadırlar.

Nesne/Gözlemleyici modeli yayınlayıcı/alıcı modeline benzemektedir. Farklı olarak, nesne veriyi hattaki tüm modüllere yayınlamak yerine gözlemleyiciye yollamaktadır.

Önerilen gerçek zamanlı ağ bu üç modelinde kurulmasına izin vermektedir. Bölüm 4'de K-Bus'ın fiziksel seviyesi donanım modeli olarak sunulmuştur. Bu bölüm ayrıca veri bağı seviyesinin bir kısmını da kapsamaktadır. Takip eden Bölüm 5'de, veri bağı seviyesi tanımı tamamlanmış ve ağ seviyesi verilmiştir.

4. DONANIM MODELİ

Bu bölümde önerilen ağ için bir donanım seviyesi tanımlanmaktadır.

4.1 Ağ Seviyesi

K-Bus diferansiyel bir seri iletişim standardı olan RS-485 elektrik tanımlamalarını kullanmaktadır. K-Bus donanım modeli tanımlanırken ilk önce iki kısma bölünmüştür. RS-485 standardı ile uyumlu kısımlar ve K-Bus'ün özelliklerini elde etmek için gerekli mantık kısmı birbirinden ayrılmıştır. Şekil 4.1'de *KBCL* (K-Bus Circuitry Logic, K-Bus mantığı devre şeması) ile K-Bus'ün mantıksal kısmı gösterilmiştir. RS-485 standardını uygulamak üzere bu çizimde SN75LBC176 entegre devresi kullanılmıştır. Şekil 4.1 *KBC* (K-Bus Circuitry, K-Bus devresi) olarak adlandırılmıştır.

Şekil 4.1 bir işlemciye bağlanmak üzere tüm K-Bus sinyallerini göstermektedir. Bu çizimde *A* ve *B* sinyalleri K-Bus bağlantılarıdır.

Tablo 4.1: KBC kısaltmalarının özet açıklamaları

Kısaltma	Açıklama
BPI	Bu paketle ilgilenilmiyor
HM	Hat müsait
HM2	Hat müsait 2
CP	Çarpışma
PB	Paket bekleniyor
RxD	Received Data
RxD0	Received Data 0
TxD	Transmitted Data
E	Enable
E2	Enable 2
A	K-Bus verisi
B	K-Bus verisinin değili
A1	<i>KBCL</i> 'ye giren <i>A</i>
A2	<i>KBCL</i> 'den çıkan <i>A</i>
VCC	Besleme gerilimi
VSS	Referans gerilimi

Çizimde kullanılan sinyallere ait kısaltmaların özet açıklamaları Tablo 4.1’de verilmiştir.

Önerilen K-Bus yapısının temel sinyallerinin anlamları aşağıda açıklanmaktadır.

BPI sinyali *KBC* ile etkileşen işlemci tarafından üretilmektedir. Bu sinyal aktif olduktan sonra, *HM2* aktif olana kadar *KBC* devresi *RxD* çıkışını üretmeyecektir. İşlemci, Şekil 5.1’de belirtilen yapıda, gelen bir K-Bus paketinin *RID* (hedef kimliği) alanını aldıktan sonra, bu paketle ilgisi olmadığına karar verirse bu sinyali üreterek bu paket içerisindeki takip eden baytların alınmasını engelleyebilir. Bu şekilde işlemci kendisi ile ilgili olmayan bir pakette sadece iki veya üç bayt tarafından kesmeye uğramış olur: Birinci bayt *SID*, ikinci bayt *RID*, üçüncü bayt ise *CMD*’dir. İşlemci *RID* iletiminden sonra *CMD* başlamadan ilgilenmediği paketi belirleyip *BPI* sinyalini aktif hale getirebilirse *CMD* tarafından kesmeye uğramayacaktır. *RID* bir FPGA veya benzeri bir mantık devresi ile süzgeçten geçirilerek *BPI* sinyali oluşturulduğunda bu sinyal *CMD*’den önce aktif hale getirilerek işlemcinin sadece ilk iki bayt tarafından kesintiye uğraması elde edilebilir. Ayrıca işlemci K-Bus’a veri transfer ederken de *BPI* sinyalini üreterek kendi transfer ettiği verilerin kendisi tarafından okunmasını engelleyebilir. Ancak işlemciler veri transfer ederken paketin ilk baytı (*SID*) sırasında bu sinyali üretmemelidirler. Eğer çarpışma olursa ve işlemci kaybederse, kazanan modüle ait *SID* okunmuş olmalıdır.

HM sinyali *KBCL* tarafından üretilmektedir. Bir K-Bus paketinin *RID* alanında kendisine hitap edildiğine karar veren bir işlemci *HM* sinyali aktif olduktan sonra bu paketin *SID* alanında kimliği belirtilen modüle cevap vermek üzere K-Bus’a paket transferine başlayabilir. *HM* sinyali K-Bus üzerinde belli bir süre hareket olmadıktan sonra üretilir. Bu sinyal sayesinde bir modülden veri okumak isteyen bir diğer modül, araya başka K-Bus paketi girmeden veri okuyabileceğini garantileyebilir.

HM2 sinyali de *KBCL* tarafından *HM* sinyaline benzer şekilde üretilmektedir. *HM2* sinyalinin gecikmesi *HM* sinyalinin gecikmesinden daha fazladır. Bir önceki veri paketine cevap verme dışında tüm veri transferlerinden önce *HM2* sinyalinin aktif olduğu işlemci tarafından kontrol edilmelidir. Aksi takdirde K-Bus üzerinde bir veri transferinin ortasında yeni bir transfer başlatılıp transfer edilen paketin bozulmasına sebep olunabilir.

CP sinyali *KBCL* tarafından çarpışma oluştuğunda ve kaybedildiğinde üretilir. Bu sinyal, işlemci *E* sinyalini pasif hale getirene kadar tutulur. *KBCL* devresi *CP* sinyalini üretirken RS-485 entegre devresini de kapar ve K-Bus'a veri iletimini engeller. Çarpışma sinyali alan işlemci *E* sinyalini pasif hale getirip, *HM2* sinyalini beklemeli ve veri transferini tekrar denemelidir.

PB sinyali *KBCL* tarafından *BPI* sinyali alındığında aktif hale getirilmekte ve *HM2* sinyali aktif hale geldiğinde pasif hale geçmektedir. Bu sinyalin aktif olması şu anda K-Bus üzerinde bir transfer olduğunu ama bu transferin işlemciye iletilmediğini göstermektedir.

RxD sinyali, K-Bus donanımı aracılığı ile iletişimde olan donanımın işlemcisi tarafından değerlendirilmesi gereken K-Bus verisidir. Bu sinyal K-Bus üzerindeki çarpışmalar sırasında oluşan kısa süreli yanlış durumlardan arındırılmıştır ve *PB* aktif olduğu sürece pasiftir.

TxD sinyali, K-Bus aracılığı ile iletişimde olan donanımın işlemcisi tarafında üretilen K-Bus verisidir. *E* sinyali aktif ve *CP* sinyali pasif iken bu veri *KBC* tarafından K-Bus'a transfer edilir.

E sinyali, işlemci K-Bus'a veri transferine başlamadan önce üretilmelidir. İşlemci bu sinyal üretmeden önce *HM* veya *HM2* sinyallerini kontrol etmelidir. İşlemci K-Bus paketi biter bitmez, *HM* sinyali aktif olmadan önce, *E* sinyalini pasif hale getirmelidir.

A sinyali *KBC* tarafından K-Bus'a sürülen veya K-Bus'dan okunan veridir.

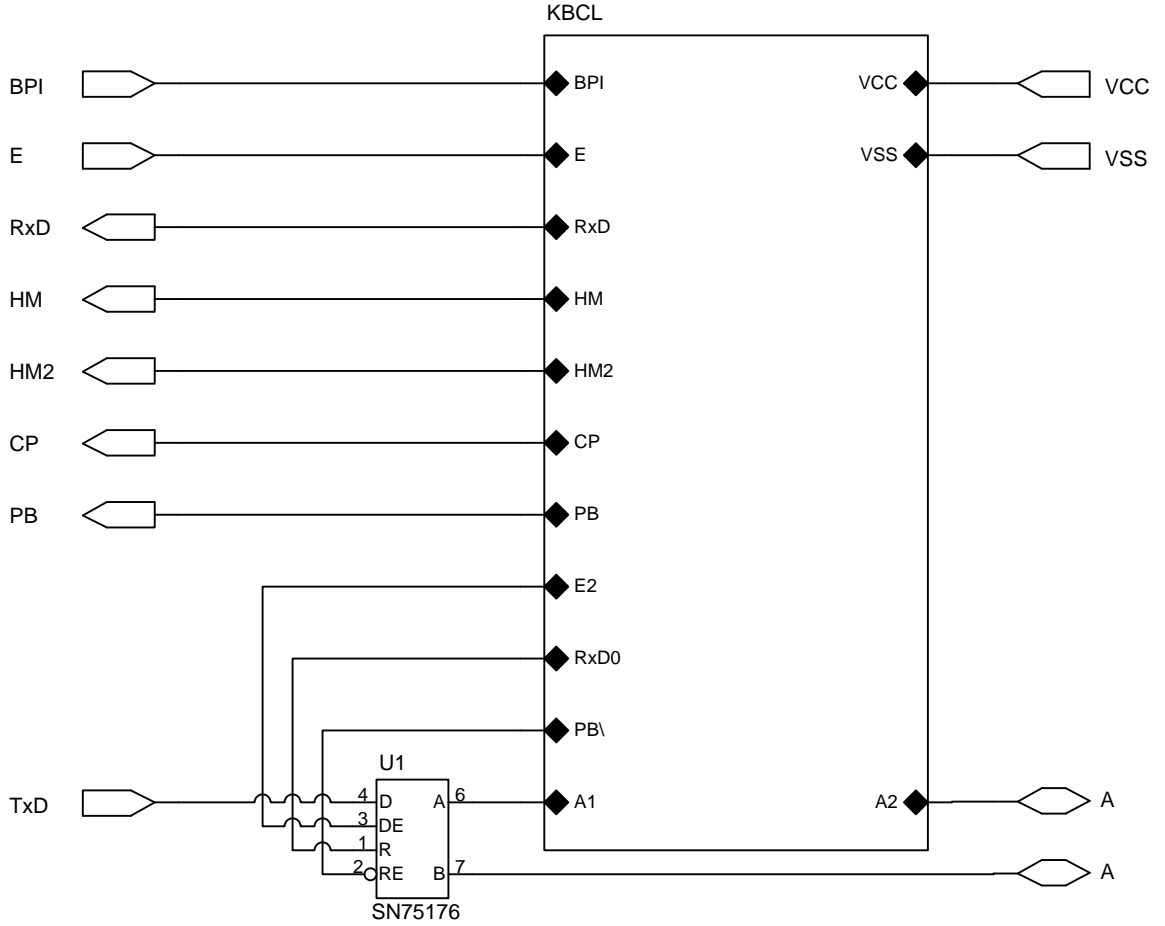
B sinyali *A* sinyalinin değildir.

KBC'nin güç bağlantısı *VCC* ile gösterilmiştir.

VSS referans gerilimidir. Bu çalışmada tüm gerilim seviyeleri *VSS* sinyaline göre verilmiştir. İHA üzerinde tek bir *VSS* seviyesi olduğu kabul edilmiştir. *VCC* gerilimi ve toleransları (4.1)'de verilmiştir.

$$VCC \equiv 5 V \pm 0.25 V \quad (4.1)$$

RxD0, *E2*, *A1* ve *A2* sinyalleri *KBC* içerisinde *KBCL* ile hat sürücü arasında kullanılmaktadır.



Şekil 4.1: K-Bus devresinin mantıksal şeması

KBCL devresi, açıklanmasını kolaylaştırmak için dört bloğa ayrılmıştır. Bu blokların aralarındaki ilişkiler Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Şekil 4.2’de besleme gerilimleri çizilmemiştir.

KBC1 bloğu *RxD0* ve \overline{PB} sinyallerini giriş olarak almaktadır. *RxD0* girişi K-Bus üzerinde bulunan veri, \overline{PB} sinyali ise paket bekleniyor sinyalinin değildir. \overline{PB} sinyali aktif değil iken (1 mantık seviyesi) *RxD* çıkışı *RxD0* girişine eşit olmaktadır. \overline{PB} sinyali aktif iken ise, *RxD* çıkışı 0 mantık seviyesinde kalmaktadır. Bu blok, paket bekleniyor sinyali aktif iken işlemciye K-Bus sinyallerinin iletilmesini engellemektedir. *KBC1* bloğu *RxD0* girişini süzmektedir. K-Bus üzerinde çarpışmalar sırasında veya başka nedenlerle oluşabilecek 100 ns ’ye kadar olan yanlış verilere izin verilmektedir. *KBC1* bloğu, 100 ns ’den küçük sinyalleri süzerek işlemciye yanlış veri iletimini engellemektedir.

KBC2 bloğu *BPI* ve *HM2* sinyallerini giriş olarak kabul etmekte ve *PB* ve \overline{PB} sinyallerini ise çıkış olarak üretmektedir. *BPI* sinyalinin aktif hale geçmesi ile *PB*

sinyali aktifleştirilmekte ve $HM2$ sinyali aktif hale geçince de PB sinyali pasifleştirilmektedir. \overline{PB} sinyali PB sinyalinin değili olarak üretilmektedir. Bir K-Bus paketi alan modül, bu paketin ikinci baytı olan RID alanını aldığıında, paket ile ilgilenip ilgilenmediğine karar verebilir. Modül paketle ilgilenmediğine karar verirse, BPI sinyali üreterek bu paketin kalan baytlarının, KBC tarafından işlemciye iletilmesini durdurur ve işlemci üzerinde gereksiz kesmeler oluşmasını engellenmiş olur. Düşük performanslı işlemciler kullanılarak basit giriş çıkış işlemlerini gerçekleştiren K-Bus modülleri tasarlandığında, BPI ve PB sinyalleri çok önem kazanır. Bu sinyaller modül üzerinde her K-Bus baytında kesme oluşmasını engeller. BPI ve PB sinyalleri kullanılmadığı durumda, sadece K-Bus aktivitesini gözlemlemek için, önemli bir işlemci gücü gerekecektir. Bu sinyaller, çok düşük performanslı işlemcilerle K-Bus modülleri gerçekleştirilebilmesine imkân tanır.

$KBC3$ bloğu HM ve $HM2$ sinyallerini üretmektedir. RxD sinyalinde belli bir süre hareket olmayınca ilk önce HM sinyali daha sonra $HM2$ sinyali üretilmektedir. K-Bus frekansı

$$F \equiv 500 \text{ kHz} \quad (4.2)$$

olarak tanımlanmaktadır. K-Bus üzerinde RS-485 standardında belirtilen elektriksel büyüklük seviyeleri kullanıldığıından dolayı ve orta boy bir İHA üzerinde kullanılacak en fazla K-Bus uzunluğunun 100 metre'den kısa olması bekleneceğinden dolayı daha yüksek iletişim hızları mümkündür. Ancak tanımlanan F frekansı günümüzde kullanılmakta olan mikro kontrolör mimarisine sahip orta performanslı birçok işlemcinin üzerinde bulunan seri iletişim donanımının ulaşabileceği en yüksek hızdır. Önerilen standardın mevcut işlemcilerde yaygın kullanılabilmesine olanak tanımak amacı ile yukarıda tanımlanan iletişim hızı belirlenmiştir.

Verilen K-Bus iletişim hızında bir bitin iletim süresi

$$t \equiv 1/F = 1/500,000 = 2 \mu s \quad (4.3)$$

olarak bulunur. K-Bus üzerinde her bayt 8 veri biti, 1 başlangıç biti ve 1 dur biti olmak üzere toplam 10 bitten oluşmaktadır.

$$N_{kb} = 10 \quad (4.4)$$

Bu durumda K-Bus üzerinde bir bayt süresi

$$T = 10t = 20 \mu s \quad (4.5)$$

olarak elde edilir.

HM gecikme süresi

$$T_{HM} \equiv 2T = 40 \mu s \quad (4.6)$$

olarak tanımlanmıştır. Bu süre bir bayt süresinin iki katı olarak seçilmiştir. K-Bus üzerinde veri transferi gerçekleşirken, bir bayt içerisinde bulunan tüm bitler aynı olsa bile, başlangıç ve dur bitlerinden dolayı en az her T süresinde bir kez *RxD* sinyalinde değişim oluşacaktır. *HM* sinyalini kontrol eden işlemci K-Bus üzerinde şu anda iletilmekte olan paketle ilgili bir modül içerisinde bulunmaktadır. Bu modül yazılım olarak iletilmekte olan paketin sonunun geldiğini algılayacak ve daha sonra *HM* sinyalini kontrol ederek veri iletimine başlayabilecektir.

HM2 gecikme süresi

$$T_{HM2} \equiv 4T = 80 \mu s \quad (4.7)$$

olarak tanımlanmıştır.

K-Bus üzerinden yeni bir paket iletimi başlatmak isteyen modüller *HM2* sinyalinin aktif olmasını beklemektedirler. Modüller ilgili olmadıkları paketleri, paket iletiminin ikinci baytında belirleyip paketin kalan kısmını yazılım olarak analiz etmeyebilirler. Yeni iletim başlatmak için bekleyen modül sadece *HM2* sinyalini kontrol edecektir. Bu sebeple K-Bus'a veri transfer eden modüller, veri paketi içerisinde ardışık baytlar arasında en fazla $3 T$ gecikme olacağını garanti etmek zorundadırlar.

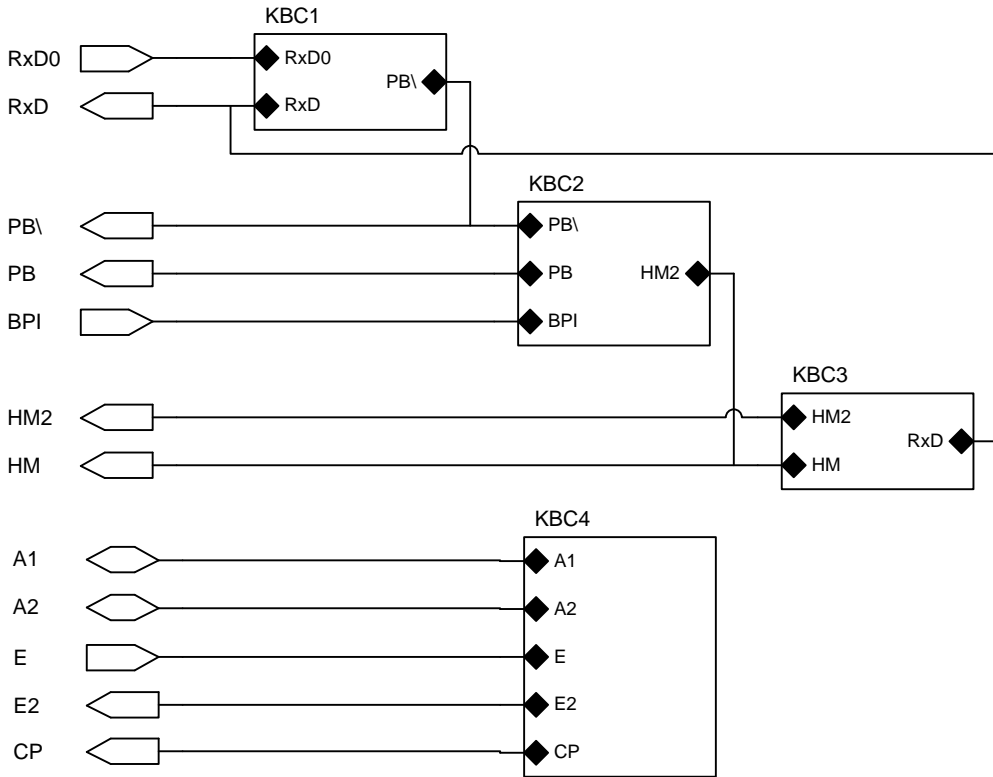
KBC4 bloğu diğer üç bloktan bağımsızdır. Bu blok K-Bus üzerinde oluşabilecek çarpışmaları algılayarak veri yolu sürücü entegresine giden *E2* sinyalini pasif hale getirmekten sorumludur. *KBC4* bloğu *E* giriş aktif hale geldiğinde *E2* sinyalini aktif hale getirmektedir. *KBC4* bloğu içerisinde *A1* ve *A2* girişleri 1Ω değerinde bir direnç ile birbirlerine bağlıdırlar. *A1* hattından *A2* hattına doğru pozitif olarak 100 mA veya üzeri bir akım, K-Bus üzerinde bir çarpışma olduğu ve bu modülün çarpışmayı kaybettiği anlamına gelmektedir. Bu durumda *KBC4* bloğu en geç 35 ns içerisinde *E2* çıkışını pasif hale getirmek zorundadır. *E* girişi aktif halde kalmaya devam etse bile *E2* çıkışı pasif halini koruyacaktır. *E2* çıkışını tekrar aktif hale geçmesi için *E* girişinin ilk önce pasif duruma geçmesi gerekmektedir.

Çarpışma durumunda kaybeden modül, akım yönü $A1$ 'den $A2$ 'ye doğru olan modül olduğundan dolayı, düşük modül adresleri daha önceliklidir.

Şekil 4.1'de kullanılan RS-485 hat sürücü entegre devresi, çıkışını kapatma sinyalini aldıktan sonra, en kötü durumda 65 ns içerisinde K-Bus çıkışlarını yüksek empedans durumuna geçirebilmektedir. $KBC4$ bloğunun kısa devre oluşması ile RS-485 hat sürücü entegre devresine kapatma sinyalini üretmesi arasında, en fazla 35 ns gecikme olması gerekmektedir. Bu durumda en uzun kısa devre süresi bu iki sürenin toplamı olan

$$T_0 = 100 \text{ ns} \quad (4.8)$$

olarak elde edilmektedir. Bu kısa devre süresince K-Bus üzerinde bulunan verinin hatalı olma ihtimali vardır. $KBC1$ bloğunda bulunan süzgeç T_0 'dan daha küçük süreli sinyalleri süzmektedir.



Şekil 4.2: KBCL blokları arasındaki ilişkiler

KBCL için bloklar arasındaki şematik ilişki Şekil 6.1'de referans bir tasarım ile gösterilmiştir.

PB sinyalinin gerekliliğini göstermek için örnek bir işlemci tanımı ve K-Bus yoğunluğu verilmiştir ve işlemcinin K-Bus ile ilgili işlemlerinin toplam işlemci kapasitesine oranı hesaplanmıştır. K-Bus'ün ortalama

$$R_N = 0.3 = \%30 \quad (4.9)$$

doluluk oranı ile çalıştığı ve K-Bus üzerinde ortalama paket boyunun

$$N_{PL} = 30 \text{ bayt} \quad (4.10)$$

olduğu kabul edilmiştir. Modül üzerinde bulunan işlemcinin

$$\Phi_{CPU} = 16 \text{ MHz} \quad (4.11)$$

saat hızında çalıştığı, her seri ara birim kesmesinin

$$N_{CPU} = 100 \quad (4.12)$$

makine komutu ile işletildiği ve bu makine komutlarının ortalama

$$N_{\Phi N} = 2 \quad (4.13)$$

saat çevrimi sürdüğü kabul edilmiştir. Ayrıca işlemci üzerinde bulunan seri arabirim devresinin 1 bayt alım tampon bölgesi olduğu düşünülmektedir. Seri iletişim biriminde alıma ait tampon bölge 1 bayt olduğundan dolayı, K-Bus'dan gelen her bayt işlemcide bir kesme yaratacaktır. İşlemci için verilen değerler örnek tasarımda kullanılan Hitachi marka H8S serisi işlemci için gerçekçi değerlerdir.

Bu modüle saniyede

$$N_{PCPUN} = 50 \quad (4.14)$$

adet K-Bus paketi geldiği kabul edilmektedir.

Öncelikle en zorlayıcı durum analizi gerçekleştirilecektir. K-Bus üzerinde en fazla saniyede

$$N_{KBMax} = F / N_{Kb} = 50,000 \quad (4.15)$$

bayt transfer edilebilecektir. En uzun paket boyutu 261 bayt olarak sınırlıdır ve iki paket arasında en az 2 T kadar gecikme olmak zorundadır. Bu paketler arası gecikme en kötü durum hesabını %1 mertebesinde etkilediğinden dolayı ihmal edilmiştir. K-Bus'ün tam

olarak kullanıldığı durumda, işlemcinin K-Bus veri paketlerinden dolayı oluşan kesmelere harcayacağı saat çevrimi adedi

$$N_{clk} = 50,000 \cdot 100 \cdot 2 = 10,000,000 \quad (4.16)$$

dur.

En zorlayıcı durumda örnekte verilen işlemcinin toplam kapasitesinin

$$CPU_{KM} = \frac{N_{clk}}{\Phi_{CPU}} = \frac{10,000,000}{16,000,000} = \%62.5 \quad (4.17)$$

kadarı harcanacaktır. Örnek olarak verilen orta performanslı işlemci ve zorlayıcı durumda K-Bus aktivitesini karşılayacak kapasiteye sahiptir.

Verilen örnekte K-Bus doluluk oranı %30 olduğundan dolayı, *PB* sinyali kullanılmadığı durumda bu örnek için ortalama olarak işlemci kapasitesinin

$$CPU_{KN} = CPU_{KM} \times \frac{30}{100} = \%18.75 \quad (4.18)$$

kadarı kullanılacaktır.

Harcanan bu işlemci gücü önemli bir miktardır ve her hangi bir işe yaramadan heba edilmekte olan işlemci gücüdür.

PB sinyali kullanıldığı durumda, işlemci kendisine yöneltilmeyen paketlerin sadece ilk iki baytında kesmeye uğrayacaktır. Tüm K-Bus kapasitesi kullanıldığında saniyede paket sayısı en fazla

$$N_{PMax} = N_{KBMmax} / N_{PL} = 50,000 / 30 \approx 1,667 \quad (4.19)$$

adettir. K-Bus doluluk oranı R_N olduğundan, ortalama saniyede paket adedi

$$N_{PN} = N_{PMax} \cdot R_N = 500 \quad (4.20)$$

olacaktır. İşlemciye saniyede ortalama N_{PCPUN} adet K-Bus paketi geldiği kabul edildiğine göre, işlemci her saniye içerisinde ortalama olarak $(N_{PN}-N_{PCPUN})$ adet paket için 2 kesmeye ve N_{PCPUN} paket için N_{PL} kesmeye maruz kalacaktır. İşlemcide ortalama olarak her saniye oluşacak kesme sayısı

$$N_{ICPUN} = (N_{PN} - N_{PCPUN}) \cdot 2 + N_{PCPUN} \cdot N_{PL} = 450 \cdot 2 + 50 \cdot 30 = 2,400 \quad (4.21)$$

olarak hesaplanır. Eğer PB kullanılmıyaydı işlemcinin servis vermesi gereken kesme adedi

$$N_{ICPUN2} = N_{PN} \cdot N_{PL} = 15,000 \quad (4.22)$$

olacaktı. Verilen örnekte, PB sinyalinin kullanılması işlemcinin kesmelere servis vermektan doğan yükünü yaklaşık 6 kez azaltmaktadır. Verilen örnek için PB sinyali kullanıldığı durumda K-Bus analizinin işlemciye getirdiği ek yük toplam işlemci kapasitesinin

$$CPU_K = CPU_{KN} \cdot \frac{N_{ICPUN}}{N_{ICPUN2}} = \%3 \quad (4.23)$$

kadarını oluşturmaktadır.

4.2 Örnek okuma paketi

Bu bölümde tek çevrim ile K-Bus üzerinden bir okuma paketinin örneği verilmiştir. Örnekte K-Bus üzerinde bulunan 3 modülün RxD , TxD ve BPI sinyalleri gösterilmiştir. Ayrıca tüm modüllerde ortak olarak bulunan HM ve $HM2$ sinyalleri de verilmiştir. Bu örnek, K-Bus'ın en önemli ve özgün özelliklerinden biri olan tek veri paketi çevrimi içerisinde bir yollayıcının veriyi alabilmesi kabiliyetini göstermektedir. Bu özellik gerçek zamanlı dağıtık denetim sistemleri için önemli bir kazanımdır.

Bu örnekte, paketin toplam çevrim süresi yollayıcının SID baytını hatta sürmesi ile başlamakta ve $HM2$ sinyalinin tekrar aktif hale geçmesi ile bitmektedir.

Toplam paket çevrimi süresini hesaplamak için, arka arkaya gelen baytlar arasındaki bekleme süresi ve HM sinyalin aktif hale geçmesi ile bu sinyali bekleyen modülün hatta veri sürmesi arasında geçen süre ihmal edilmiştir. Bu durumda toplam paket çevrim süresi:

$$T_{Paket} = T_{SID} + T_{RID} + T_{CMD} + T_{LEN} + T_{DTA0} + T_{DTA1} + T_{HM} + T_{CD0} + T_{CD1} + T_{HM} + T_{CSM} + T_{EOF} + T_{HM2} \quad (4.24)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. (4.6) ve (4.7)'de T_{HM} ve T_{HM2} süreleri, sırası ile $2T$ ve $4T$ olarak verilmiştir. Diğer bayt sürelerinin hepsi de T olacaktır. Bu durumda, toplam paket çevrim süresi

$$T_{Paket} = T + T + T + T + T + T + 2T + T + T + 2T + T + T + 4T = 18T \quad (4.25)$$

şeklinde ortaya çıkmaktadır. (4.5)'i kullanarak

$$T_{Paket} = 18T = 18 \cdot 20 \mu s = 360 \mu s = 0.36ms \quad (4.26)$$

şeklinde hesaplanmaktadır.

Bu paketin transferi sırasında (4.24)'de bulunan iki adet T_{HM} ve bir adet T_{HM2} süresi boyunca seri iletişim yolu üzerinde veri transferi yapılmamaktadır. Bu süreler dağıtık sistemde ağı kilitlemek için ayrılmıştır. Bir paket içerisinde veri transferi için kullanılmayan süre

$$T_{Bos} = T_{HM} + T_{HM} + T_{HM2} = 2T + 2T + 4T = 8T = 8 \cdot 20 \mu s = 160 \mu s = 0.16ms \quad (4.27)$$

olarak hesaplanmaktadır. Bu paket çevrimi içerisinde veri ağının bant genişliğinin kullanım oranı

$$R_{Kullanim} = \frac{T_{Paket} - T_{Bos}}{T_{Paket}} = \frac{18T - 8T}{18T} = \frac{10T}{18T} \cong 0.56 = \%56 \quad (4.28)$$

dır. Bu bölümün sonuçlarında hat kullanım oranının tartışması verilmiştir.

4.3 Örnek yazma paketi

Bu bölümde K-Bus üzerinde ACK beklenen bir yazma paketi örneği sunulmuştur. Bir önceki bölümde verilen kabuller ile yazma paketinin toplam çevrim süresi:

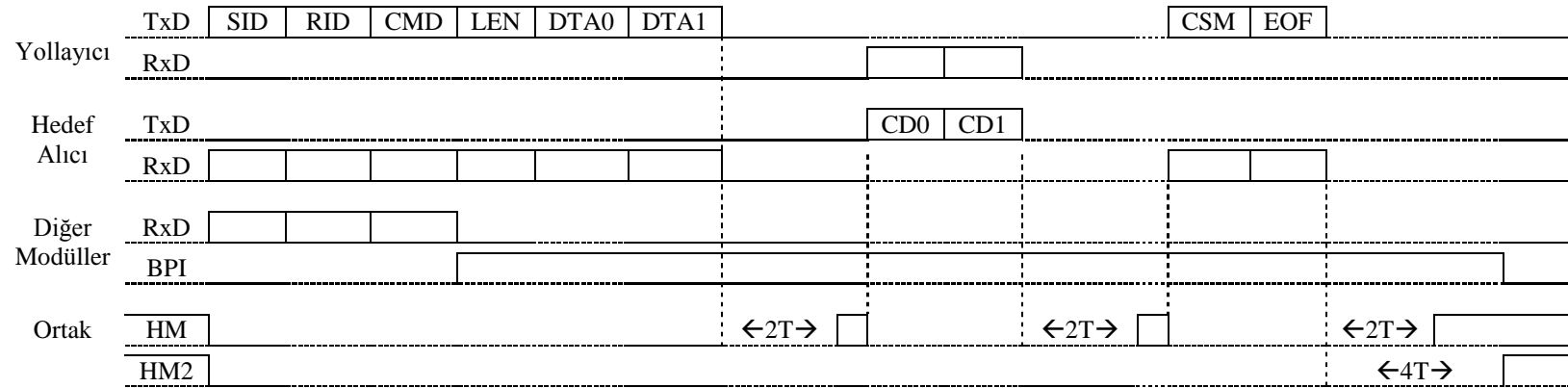
$$T_{Paket} = T_{SID} + T_{RID} + T_{CMD} + T_{LEN} + T_{DTA0} + T_{DTA1} + T_{DTA2} + T_{DTA3} + T_{HM} + T_{ACK} + T_{HM} + T_{CSM} + T_{EOF} + T_{HM2} \quad (4.29)$$

şeklinde bulunmaktadır. (4.5), (4.6) ve (4.7)'yi uygulayarak:

$$T_{Paket} = T + T + T + T + T + T + T + T + T + 2T + T + 2T + T + T + 4T = 19T = 19 \cdot 20 \mu s = 380 \mu s = 0.38ms \quad (4.30)$$

olarak bulunur.

Bu örnek, önerilen K-Bus donanımının tek bir çevrim içerisinde iletilen paketin alındığına dair onay alması özelliğini göstermektedir. Bu özellik modern gerçek zamanlı ağlarda mevcuttur [7].



Şekil 4.3: K-Bus üzerinde örnek bir okuma paketi

4.4 Paket uzunlukları

K-Bus ile ağ üzerinden N bayt uzunluğunda bir $CD_0...CD_N$ verisini yollayıcı tarafından M baytlık bir $DTA_0...DTA_M$ verisi üretmek için gereken süre, Şekil 4.3'den

$$\begin{aligned} T_{Oku}(M, N) &= T_{SID} + T_{RID} + T_{CMD} + T_{LEN} + M \cdot T + T_{HM} + N \cdot T + T_{HM} + T_{CSM} + T_{EOF} + T_{HM2} \\ &= T + T + T + T + M \cdot T + 2T + N \cdot T + 2T + T + T + 4T \\ &= (14 + M + N) \cdot T \end{aligned} \quad (4.31)$$

olarak bulunmaktadır.

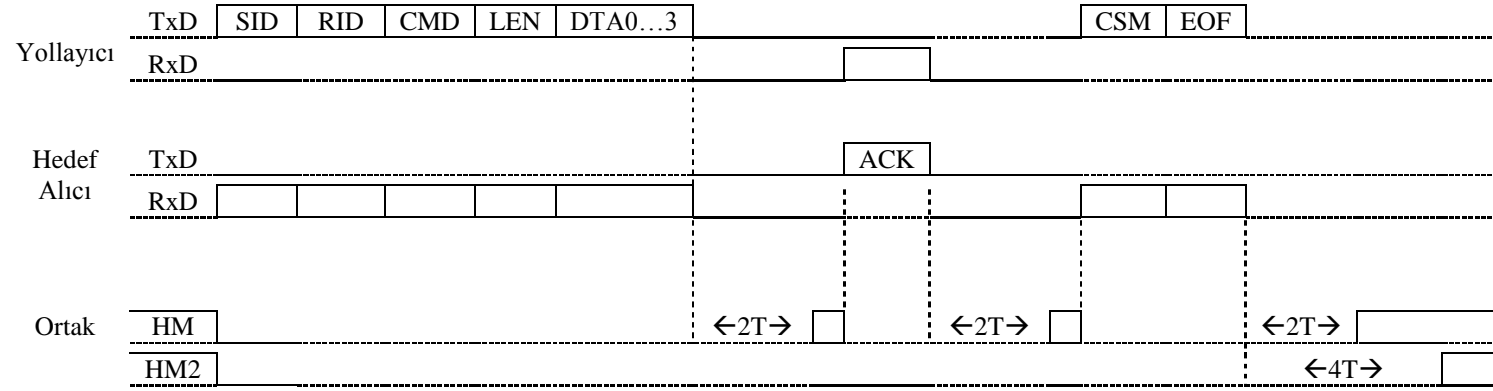
K-Bus ile ağ üzerinden N bayt uzunluğunda bir $DTA_0...DTA_N$ verisini yazmak ve aynı çevrim içerisinde ACK sinyalini almak için gereken süre, Şekil 4.4'den

$$\begin{aligned} T_{Yaz}(N) &= T_{SID} + T_{RID} + T_{CMD} + T_{LEN} + N \cdot T + T_{HM} + T_{ACK} + T_{HM} + T_{CSM} + T_{EOF} + T_{HM2} \\ &= T + T + T + T + N \cdot T + 2T + T + 2T + T + T + 4T \\ &= (15 + N) \cdot T \end{aligned} \quad (4.32)$$

olarak bulunmaktadır.

4.5 Sonuç

Bu bölümde K-Bus için bir donanım seviyesi önerilmiştir. Önerilen donanım seviyesi uygulama seviyelerinden bağımsız olarak tasarlanmıştır. Sunulan donanım modelinin belirleyici özellikleri önerilen sistemin tek çevrimde içerisinde okuma yapma kabiliyeti ve çarpışma önleme kabiliyeti olarak ortaya çıkmaktadır. Bu iki özellik aynı ağ içerisinde birden çok konuşucu modül olduğu durumda verilere erişim sırasında önceliklerin belirlenmesini sağlar. Bu sayede daha düşük öncelikli cevaplayıcı modüller yüksek öncelikli konuşucu modülün başlattığı çevrim içerisinde verilerini iletebilmektedirler. Bu özellik kontrol sistemlerinde arzu edilir bir husustur.



Şekil 4.4: K-Bus üzerinde yazma paketi örneği

Bahsedilen gerçek zaman özelliklerini sağlamak için, tek çevrimde okuma yapan paketlerin içerisine veri iletimi için kullanılmayan bir süre eklenmiştir. Bu süre (4.27)'de $8T$ uzunluğunda olarak hesaplanmaktadır. Bu zaman ağın dağınık kilit denetimi için kullanılmaktadır. Bu zaman bir dezavantaj olarak görülse de, aynı paket içerisinde cevap iletilebilmesi bunu telafi etmektedir. Bu sayede, cevap için ayrı bir paket oluşturulmasına gerek kalmamakta ve cevap paketinin başlangıç ve bitişi için gereken zaman elimine edilmektedir. Mevcut birçok protokolda, elimine edilen bu süre, önerilen protokolda ki $8T$ süresi ile karşılaştırılabilir uzunluktadır. Bu sayede toplam ağ kullanım oranı önemli ölçülerde zayıflatılmadan, önemli gerçek zaman kazanımları sağlanmıştır.

Genişletilebilir ağ mimarisi ve gerçek zamanlı özellikleri, önerilen mimarinin endüstriyel ortamlarda ve insansız hava araçları gibi otonom cihazlarda kontrol sistemlerinin gerçekleştirilebilmesinde kullanılmasına imkan vermektedir. Verilen frekans değeri ve tek bir ağ üzerindeki modül sayısı sınırı, önerilen model ile büyük ölçekli uygulamaların tüm ağ ihtiyaçlarının karşılanmasını engellemektedir. Ancak, büyük ölçekli sistemlerde gerçek zaman özelliklerinden feragat edilmesi beklenmelidir.

Verilen örneklerle önerilen K-Bus donanım seviyesinin aynı paket çevrimi içerisinde veriye ulaşabilme ve yazılan verinin onaylanmasını destekleme özellikleri gösterilmiştir. Önerilen donanım seviyesinin paket çevrimi içerisinde okuma yapabilme kabiliyeti gerçek zamanlı ağlar için önemli bir özelliktir.

Önerilen donanım mimarisinin bir kısıtlaması, birden çok modüle paket yollandığı durumlarda (yayın paketi) aynı paket çevrimi içerisinde tüm veya bazı modüllerden onay almayı desteklememesidir. Önerdiğimiz model ile karşılaştırdığımız CAN ağında da bu kısıtlama benzer şekilde mevcuttur. CAN yayın paketleri için en az bir modül tarafından alındığı onayını desteklemektedir, ancak herhangi bir modül tarafından yayın alınamazsa bu yollayıcıya iletilememektedir.

5. YAZILIM MODELİ

K-Bus üzerinde modüller arası veri ve komut alışverişi, paket iletişimi ile sağlanmaktadır. Her paket yollayanın ve alıcının kimliği, paket tipi (komut), paket verisi uzunluğu, paket verisi, toplam kontrolü ve paket sonu alanlarından oluşmaktadır. Paketi yollayan modül “konuşucu”, paketi alan modül veya modüller ise “dinleyici” olarak adlandırılmaktadırlar.

K-Bus mimarisinde modül ve standart veri tanımlamaları mevcuttur.

Tanımlı olan K-Bus komutları kullanılarak sadece modül verilerine veya standart verilere ulaşılabilir. Bu yüzden modül tasarımlarında, K-Bus’dan ulaşılabilmesi muhtemel tüm arabirimlere modül veri numaraları veya standart veri numaraları atamaları yapılmalıdır. Modül ayarları, modül durumu, fiziksel giriş/çıkışlar ve benzeri büyüklükler modül veya standart veri numarası atanması gereken arabirim örnekleridir.

Modül verileri kullanılarak kurulacak bir kontrol mimarisinde, K-bus üzerinden veri okumak isteyen modüllerin bu verinin bulunduğu modülün K-Bus adresini, modül veri numarasını ve veri tipini bilmesi gerekir. Bu gereklilik kontrol mimarisi modülerliğini kısıtlamaktadır. Ancak, bu tip veri erişimi, serbest bırakılan komutlarında yardımı ile son derece esnek bir mimari ortaya çıkarmaktadır. Yazılım ayarlarını en aza indirmek ve adres üretmeden verilere ulaşabilmek için standart veri kavramı ortaya konmuştur. Standart veri, farklı donanımların birleştirilerek bir İHA kontrol sisteminin ortaya çıkarılmasında önemli bir adımdır. Standart veri kullanan modüllerden oluşmuş bir sistemde modüllerin adres ayarları, birimler, ADC/DAC çözünürlükleri gibi ayarların yapılmasına gerek olmadan kontrol sistemi oluşturulabilecektir.

5.1 K-Bus Paketi

Yazılım modeli paket mantığı ile oluşmaktadır. Paket başlangıcından önce *HM* veya *HM2* hat müsait sayısal girişlerinden birinin işlemci tarafından kontrol edilmesi gerekir. Bu sayısal girişler K-Bus donanımını oluşturan *KBC* devresinden alınmaktadır. Her paket yollayanın kimliği (8 bit) ile başlar (sıfırıncı bayt). Bu alan *SID* olarak

adlandırılmıştır ve sıfırıncı bayttır. CAN veri yolu gibi çarpışma önleme kabiliyetine sahip donanımlarda yollayanın kimliği çarpışma anında kazananı belirlemek için kullanıldığından dolayı ilk veridir. Profibus veya LAN gibi veri yollarında bu bilginin ilk olmasının bir önemi olmayacaktır. Birinci bayt alıcının kimliği, ikinci bayt komut, üçüncü bayt takip eden veri baytlarının sayısı (*LEN*), dördüncüden $3+LEN$ 'inciye kadar olan baytlar veri alanı (*DTA*), $4+LEN$ 'inci bayt toplam kontrol baytı ve son bayt paket sonu işaretidir. *LEN* alanı sıfır olduğu durumda veri alanı bulunmayacaktır. Her bayt yollandıktan sonra çarpışma biti kontrol edilmelidir. *KBC* devresi *CP* sinyalini aktif hale geçirdiğinde, iletişim kesilerek *HM2* sinyali tekrar aktif olana kadar beklenmelidir. *CP* sinyalinin aktif hale geçmesi, K-bus üzerinde bir çarpışma olduğu ve kaybedildiğini göstermektedir. Yollayıcı kimliği (*SID*) yollanırken *CP* sinyalinin aktif hale geçmesi daha öncelikli birinin iletişim başlattığına işarettir. Normal şartlar altında, *SID* haricindeki herhangi bir baytın yollanması sırasında *CP* sinyalinin aktif hale geçmemesi gerekir. Eğer *SID* baytı haricinde bir bayt yollanırken *CP* sinyali aktif hale geçmiş ise veri yolunda veya veri yoluna bağlı modüllerden birinde hata oluşmuş olabilir. Mesaj doğru olarak yollanamamıştır. Modülün mesajı tekrar yollamayı denemesi gerekir.

Bayt No	0	1	2	3	4...3+LEN	4+LEN	5+LEN
Sembol	SID	RID	CMD	LEN	DTA	CSM	EOF

Şekil 5.1: K-Bus paketi

Tablo 5.1: K-Bus paketi alanları

Bayt No	Uzunluk	İsim	Değer	Açıklama
0	1	SID	-	Vericinin kimliği. Veri yolu üzerinde her modülün bir kimlik numarası bulunmaktadır. Kimlik numaraları veri yolu üzerinde tek olmak zorundadır. (Sender identification)
1	1	RID	-	Alıcının veya alıcı grubunun kimliği. (Receiver identification)
2	1	CMD	-	Komut. (Command)
3	1	LEN	-	Bayt olarak takip eden veri uzunluğu. En sondaki toplam kontrol ve EOF alanları hariç. (Length)
4	LEN	DTA	-	Veri alanı. En fazla 255 bayt olabilir. LEN sıfır olduğu durumda bu alan olmayacaktır. (Data)
4+LEN	1	CSM	-	Toplam kontrol baytı. (Check sum)
5+LEN	1	EOF	26	İletişim sonu işareti. (End of file)

Bu durumda en kısa paket boyu LEN alanı sifira eşit olduğunda oluşmaktadır ve 6 bayttır. En uzun paket boyu ise LEN alanının alabileceği en yüksek değer için oluşur. LEN alanın alabileceği en yüksek değer 255'dir ve buna karşılık gelen en uzun paket boyu 261 bayttır.

Şekil 5.1'de K-Bus paketi içerisinde bulunan alanlar gösterilmiştir. Burada LEN alanının sıfır olduğu durumda DTA alanının yer almayacağına dikkat etmek gerekir. Tablo 5.1'de bu alanların açıklamaları bulunmaktadır. K-bus paketi içerisinde EOF alanının değeri her zaman 26'dır. Diğer alanların değerleri değişken olduğu için Tablo 5.1'de gösterilmemişlerdir.

5.2 Toplam Kontrol Baytı

Her K-bus paketinin en son baytından bir önce, CSM olarak adlandırılan, toplam kontrol baytı bulunmaktadır. Bu bayt

$$CSM = \left[SID + RID + CMD + LEN + \sum_{i=0}^{LEN} DTA_i \right] \text{ mod } 256 \quad (5.1)$$

şeklinde hesaplanır. (5.1)'te kullanılan mod operatörü, sol tarafındaki sayının sağ tarafındaki sayıya tam sayı olarak bölünmesinden kalan değeri ifade etmektedir. CSM alanının değeri, K-Bus paketi içerisinde kendinden önce gelen tüm baytların toplamının 256'ya bölünmesinden kalan sayıdır.

5.3 Seri Veri İletiminde Bit ve Bayt Sıraları

K-Bus paketinin iletimi sırasında, SID haricindeki tüm alanlarda, baytlar ilk önce LSb , en son MSb sıralaması ile veri yoluna iletileceklerdir.

Bu sıralama işlemciler üzerinde daha yaygın olarak kullanıldığı için seçilmiştir. Ayrıca IBM uyumlu PC tipi bilgisayarlar da bu sıralamayı kullanmaktadırlar.

SID alanı ise, ilk önce MSb en son LSb sıralamasını kullanacaktır. Modül önceliklerinin numara sırasına göre çarpışma kazananlarının belirlenebilmesi için bu sıralanış gereklidir. K-Bus üzerinde çarpışma olduğu anda, kaybeden modülün ilettiği bayt durdurulmaktadır. Olası bir çarpışma durumunda, kazananı belirlemede veri yoluna önce sürülen bitler daha baskın olmaktadır. Çarpışma galiplerinin adres değerlerine

göre sıralı olabilmesi için veri yoluna *MSb* önce, *LSb* sonra sırası ile veri iletilmesi gerekir.

SID alanının, diğer alanlara göre ters sıralanışı modül yazılımına çok az yük getirecektir. Doğru bir yazılım tasarımı ile bu ters sıralanışın hiç bir ek yük getirmemesi sağlanabilir. Modül üzerinde çalışan yazılım, dahili olarak tüm adresleri ters bit dizilimi ile tutabilir. Örneğin, modül içerisinde 2 numaralı K-bus adresi, 64 sabit sayısı ile temsil edilebilir. 64 sayısı, iki tabanında, 2 sayısının bitlerinin ters sıra ile dizilmiş halidir. Sadece K-Bus adresleri üzerinde aritmetik işlemler ve büyük küçük karşılaştırmaları yapılırken veri yolundan gelen veya veri yoluna iletilen modül adreslerinin bit sıralamalarının değişmesi gerekecektir. Normal koşullar altında, modüller K-Bus adresleri ile aritmetik işlemler veya eşitlik dışında karşılaştırmalar yapmayacaktır ve *SID* alanlarının bit sıralamalarını değiştirmelerine gerek kalmayacaktır.

Bit sıralamasının özeti olarak, *SID* alanı haricinde, her zaman en önemsiz bit ilk önce, en önemli bit ise en son olarak veri yoluna iletilmektedir. *SID* alanının sıralaması terstir, yani, ilk önce en önemli bit, en son en önemsiz bit iletilir.

DTA alanı içerisinde, tam sayı veya gerçek sayı gibi birden çok ardışık bayt ile temsil edilen veriler bulunabilmektedir. Bu tip verilerde bayt sıralaması her zaman en önemsiz bayt ilk önce ve en önemli bayt en sonra veri yoluna sürülecek şekilde olacaktır.

5.4 K-Bus Komutları

K-Bus paketi içerisinde CMD alanı paketin manasını belirten baytı içermektedir. Bu bayt “komut” olarak adlandırılmıştır. Bu baytın 7. ve 6. bitleri komutun sınıfını belirtmektedir. Bu bitler 0 olduğunda komut Tablo 5.3’de verilen yapıdadır. CMD alanının 7. bitinin 1 olduğu durum henüz tanımlanmamıştır. Bu durum ayrılmıştır ve kullanılmaması gerekir. CMD alanının 6. biti komutun veri iletimi ile ilgili bir komut olup olmadığını belirtmektedir. CMD alanının 6. ve 7. bitlerinin anlamları Tablo 5.2’de verilmiştir.

Tablo 5.2: CMD alanın en önemli iki biti

CMD Bit No		
<u>7</u>	<u>6</u>	<u>Acıklama</u>
0	0	Veri iletimi ile ilgili komutlar.
0	1	Durum, hata ve diğer konularla ilgili komutlar.
1	0	Ayrılmış; Kullanılmaması gerekiyor.
1	1	Ayrılmış; Kullanılmaması gerekiyor.

Veri iletimi ile ilgili komutlarda CMD alanının önemsiz 6 bitinin açıklamaları Tablo 5.3’de verilmiştir. Bu tabloda “-” işareti bu bitin değerinin bu satır için önemi olmadığını belirtmektedir.

Tablo 5.3: Veri iletimi sırasında CMD alanında bit açıklamaları.

CMD Bit No								<u>Acıklama</u>
<u>7</u>	<u>6</u>	<u>5</u>	<u>4</u>	<u>3</u>	<u>2</u>	<u>1</u>	<u>0</u>	
0	0	0	0	-	-	-	-	Veri oku komutu (read).
0	0	0	1	-	-	-	-	Veri yaz komutu (write).
0	0	0	-	0	-	-	-	Modül verisi ile işlem yapılıyor.
0	0	0	-	1	-	-	-	Standart veri ile işlem yapılıyor.
0	0	0	-	-	0	-	-	Veri değeri ile ilgili işlem.
0	0	0	-	-	1	-	-	Veri opsiyonu ile ilgili işlem.
0	0	0	-	-	-	0	-	Tek veri ile işlem yapılıyor.
0	0	0	-	-	-	1	-	Veri bloğu ile işlem yapılıyor.
0	0	0	-	-	-	-	0	Komutun alındığına dair mesaj beklenmiyor.
0	0	0	-	-	-	-	1	Komutun alındığına dair mesaj bekleniyor.
0	0	1	0	-	-	-	-	Veri değeri gönderiliyor.
0	0	1	1	-	-	-	-	Birden çok K-Bus paketi ile veri gönderiliyor.

K-Bus paketi içerisinde, *CMD* alanında kullanılacak komutlar ve açıklamaları Tablo 5.4’de verilmiştir. Bu tabloda verilmeyen komut numaraları ayrılmış numaralardır ve kullanılmamaları gerekmektedir.

Serbest olarak tanımlı *srb* komutları için herhangi bir kısıtlama getirilmemiştir. Bu komutlar, modüller tarafından serbest olarak tanımlanabilirler. Ancak, bu komutları kullanan modüllerin tanımını bilmeleri gerekmektedir.

İstenirse, *ack*, *nak* ve *err* komutlarında *DTA* alanı kullanılarak ek bilgi iletilebilir.

Veri erişimi için, iki farklı adresleme tipi tanımlanmıştır. Normal adresleme kullanılarak, *RID* alanında adresi verilen modül veya modül grubu içerisinde bulunan ve bir bayt boyunda adresi olan veri adreslenmektedir. Standart adresleme ise *stdIn*, *stdOut* ve benzeri komutlarda kullanılmaktadır. Standart adresleme durumunda,

ulaşılmak istenen verinin standart adresi üretilmektedir. Standart veri iletimi komutunu alan modüller bu standart veri ile ilgileri yoksa K-Bus paketini dikkate almayacaklardır. Standart veriler 2 bayt adresle belirtilmektedir ve toplam 65,536 farklı standart adres üretilebilmektedir. Hız, konum, yönelme, pitot statik gibi İHA verileri için standart adres tanımlamaları yapılmıştır. Standart veri kullanılması ile K-Bus üzerinde kullanılacak yazılımlarda modül ve veri adreslerine erişim için ayar yapmaya gerek kalmayacaktır.

Tablo 5.4: K-Bus komutları

Değer	Sembol	Açıklama
0	Read	Hedeften veri okuma isteği. Bu komut üretildiğinde DTA alanının ilk baytı, bir bayt olarak okunmak istenen verinin modül veri numarasını belirtecektir.
1	readA	Read komutu gibi ancak, HM sinyali ile HM2 sinyali arasında hedeften ack paketi veya istenen veriyi yollaması isteniyor.
2	readB	Blok olarak veri oku. Bu komut ile LEN alanında 1, DTA alanında ise okunmak istenen bloğun numarası yazacaktır.
3	readBA	readB komutu gibi ancak, HM sinyali ile HM2 sinyali arasında hedeften ack sinyali isteniyor.
4	read2	Modül verisi opsiyonu okuma komutu. DTA alanının ilk baytı modül veri numarasını, takip eden baytları da modül verisi opsiyonunu belirtmektedir.
8	stdRead	Standart veri oku. İstenen verinin bulunduğu modülün bilinmediği durumda tüm modülleri veya modül gruplarını (örneğin tüm ölçme cihazlarını) adresleyerek veriyi okuyabilme kabiliyeti için kullanılmaktadır. LEN alanında 2 yazacak, DTA alanında iki bayt olarak standart veri numarası bulunacaktır.
9	stdReadA	stdIn komutu gibi ancak, HM sinyali ile HM2 sinyali arasında hedeften ack sinyali isteniyor.
16	write	Hedefte veri yaz. Bu komut üretildiğinde LEN alanında veri uzunluğunun bir fazlası yazacak. DTA alanının ilk baytı yazılan verinin numarası, kalan baytları ise verinin kendisidir.
17	writeA	write komutu gibi ancak, HM sinyali ile HM2 sinyali arasında hedeften ack sinyali isteniyor. Bu komut ile veri hedefe yazılacak. Hedef, periyodik olarak güncellenen bir fiziksel çıkış olsa bile, güncelleme periyodu gelmeden yollanan veri yazılacak. Hedef seri iletişim kanalı ise, çıkış tamponun dolması beklenmeden gönderilen veri yazılacak.
18	writeB	Blok olarak veri yaz. DTA alanının ilk baytı blok numarasıdır. Takip eden baytlar blok verilerini oluşturmaktadır. Her blok verisi, blok içerisinde veri sırasını belirten bayt ile başlar. Bu baytı bu veriye ait veri uzunluğunu belirten, uzunluk baytı takip eder. Her blok verisinin kalan kısmı veridir.
19	writeBA	writeB komutu gibi ancak, HM sinyali ile HM2 sinyali arasında hedeften ack paketi isteniyor.

Tablo 5.4: K-Bus komutları (devamı)

20	write2	Hedefe modül verisi opsiyonu yaz. DTA alanının ilk baytı modül veri numarası, takip eden baytlar ise, sırası ile opsiyon ve yazılacak değerdir.
24	stdWrite	Standart veri yaz. DTA alanında ilk önce iki bayt standart veri numarası, daha sonra standart veriye yazılmak istenen değeri içeren baytlar olacaktır.
25	stdWriteA	stdOut komutu gibi ancak, HM sinyali ile HM2 sinyali arasında hedeften ack sinyali isteniyor.
28	stdWrite2	Hedefe standart veri opsiyonu yaz. DTA alanının ilk iki baytı standart veri numarası, takip eden baytlar ise, sırası ile opsiyon ve yazılacak değerdir.
32	dta	Veri iletimi. Modüller verilerini karşı tarafa dta komutu ile ileteceklerdir. DTA alanının ilk baytı modül veri numarası, takip eden baytlar ise verinin değerini içermektedir.
34	dtaB	Veri bloğu. Bu komutta, DTA alanı writeB komutunun DTA alanı gibidir.
36	dta2	Modül verisi opsiyonu iletimi.
40	stdDta	Standart veri.
44	stdDta2	Standart veri opsiyonu iletimi.
48	dtaM	Birden çok K-Bus paketinden oluşan bir veri iletiliyor. DTA alanının ilk dört baytı bu paketin numarası, takip eden dört baytı toplam K-Bus paketi adedini belirtmektedir.
49	dtaMA	dtaM komutu gibi, ancak alıcıdan, aldığına dair ack paketi isteniyor.
64	chk	Modülden ack paketi yollamasını talep eden komut.
96	ack	Sağlıklı olarak hattayım veya son yollanan sinyali aldım paketi.
98	nak	Veri transferi hatası bildiren paket.
99	err	Modül arızası bildiren paket.
104	addStd	Bloğa standart veri ekle. DTA alanındaki ilk bayt blok numarası, takip eden iki bayt standart veri numarasıdır.
105	delStd	Bloktan standart veri çıkart. DTA alanı addStd komutundaki gibidir.
106	addMdl	Bloğa modül verisi ekle. DTA alanı 3 bayttan oluşmaktadır. DTA alanındaki ilk bayt blok numarası, ikinci bayt ise blok içerisinde veri sırasını belirtir. DTA alanının 3'üncü ve son baytı ise, bloğa eklenecek modül veri numarasıdır. Modül numarası RID içerisinde verilmektedir. Bu komut ile toplu adresleme yapılamaz.
107	delMdl	Bloktan modül verisini sil. DTA alanı 2 bayttan oluşmaktadır. DTA alanında, ilk bayt blok numarası, ikinci bayt ise blok içerisinde veri sırasını bildirmektedir.
108	addGrp	Grup adreslemesi yapmak üzere modül grubuna modül ekle. DTA alanı bir bayttır ve modül grubu numarasını belirtmektedir. Bu alanın değeri, Tablo 5.5'de belirtildiği gibi, 16 ile 31 arasında olmak zorundadır. Eklenecek modül RID alanı ile belirlenmektedir. RID alanı grup adresi içerebilir.
109	delGrp	Modül grubundan modül çıkart. DTA ve RID alanlarının manaları addGrp komutu gibidir.
112	srb0	0. serbest komut.
:	:	:
127	srb15	15. serbest komut.

K-Bus üzerinde birden çok modülde aynı standart veri mevcut ise ortaya bir problem çıkmaktadır. Bu durumda okuma sırasında hangi standart verinin transfer edileceği garanti edilemez. Okuma sırasında, modüllerde çalışan programların iç durumlarının anlık değerlerine veya modül hızlarına bağlı olarak, ilk olarak hatta ulaşan modül hattı kazanacaktır ve belirsiz bir durum ortaya çıkabilir. Yazma sırasında ise tüm standart veriler güncellenecektir.

Bu tip problemleri ortadan kaldırmak için iki yöntem mevcuttur. Birinci yöntemde, açılış sırasında bir denetleyici tüm modüllere standart verileri yollamalarını söyler ve aynı veriden birden çok mevcut ise biri hariç hepsini kapatır. İkinci yöntemde ise, modül donanım tasarımlarında standart veriler için açma kapama anahtarları konular ve modül kurulumu ve sistem oluşturulması sırasında kullanılmayan ve çakışma olan standart veriler kapatılır.

Birinci yöntemin kullanılabilmesi için, standart veriler üzerinde açma kapama yapacak modülün, fiziksel bağlantılardan haberdar olması gerekmektedir. Ancak, bu durum standart veri kullanımının avantajını ortadan kaldırır.

Modüllerin üzerinde donanım olarak aç/kapa anahtarı kullanmak, yazılımda ayar yapmayı ortadan kaldıracığı için tercih edilmesi gereken yöntemdir.

K-Bus paketi içerisinde, komut tipine göre veri alanının yapısı değişebilir.

5.5 K-Bus Adresleri

K-Bus'a bağlanmış her modülün en az bir adet K-Bus adresi olması gerekmektedir. Birbirinden farklı fonksiyonları yerine getiren modüllerde, ihtiyaç duyulması durumunda, aynı fiziksel modüle birden çok K-Bus adresi atanabilir. K-Bus adres uzunluğu bir bayttır. Bir bayt ile en fazla 256 farklı adres oluşturulabilmektedir. Ancak, K-bus üzerinde 32 adres özel anlamlar ve grup adreslemesi için ayrılmış olduğundan dolayı, bir K-Bus üzerinde, modüllere atanabilecek adres sayısı 224 adettir. Bu sebeple, bir K-Bus üzerinde en fazla 224 adet modül bulunabilir.

K-Bus adresleri Tablo 5.5'de görülmektedir.

İHA'nın uçuşunu düzenleyen kontrol yüzeylerinin durumlarına ve motor hızı gibi diğer büyüklüklere karar vermek durumunda olan modül veya modül kısmı, ana kontrol bilgisayarıdır. Ana kontrol bilgisayarı, verdiği kararı doğrudan tahrik elemanlarına

iletebileceği gibi, tahrik elemanlarını geri beslemeli kontrol eden yükselticilere veya daha alt seviyeli kontrol sistemlerine de, verdiği kararları iletebilir. Otomatik uçuş sırasında, ana kontrol bilgisayarı, görev planlayıcı, yörünge üretici gibi daha üst seviyeli kontrol sistemleri ile haberleşerek, uçuş bilgilerini alabilir. Uzaktan kumandalı uçuş modunda, ana kontrol bilgisayarı, haberleşme modülünden gelen komutları değerlendirerek, tahrik elemanlarına kumanda edecektir.

Tablo 5.5: K-Bus üzerinde adres atamaları

ID	Açıklama
0	Tüm modüller.
1	Ana kontrol bilgisayarı.
2	Yerel K-Bus arabirimi.
3	Tüm doğrulama bilgisayarları.
4	Tüm haberleşme modülleri.
5	Tüm tahrik modülleri.
6	Tüm ölçme modülleri.
7	Tüm yedek durumdaki modüller.
8	Standart veriler
9	Ayrılmış.
:	
15	
16	Grup 0
:	:
31	Grup 15
32	Giriş/çıkış, haberleşme, yük, ana kontrol
:	bilgisayarı, doğrulama bilgisayarı ve benzeri
195	modüller.

Ana kontrol bilgisayarı için özel bir durum mevcuttur. Ana kontrol bilgisayarı adresi 1'dir. Bu adres, ana kontrol bilgisayarını içeren K-Bus modülünün adresinden farklıdır. K-Bus üzerinde aynı anda sadece bir tane ana kontrol bilgisayarı olmalıdır. Her hangi bir modül ana kontrol bilgisayarı rolünü üstlendikten sonra 1 numaralı K-Bus adresini *SID* alanında kullanma hakkını kazanmış olur ve *RID* alanında 1 olan paketleri değerlendirmek durumundadır. Uçuş sırasında yedek veya doğrulama rolü üstlenen modüllerden biri ana kontrol bilgisayarı rolünü üstlenmek istediğinde, o anda ana kontrol bilgisayarı rolünü üstlenen modül ile haberleşerek, o modülün ana kontrol bilgisayarı rolünü bırakmasını sağlaması gerekmektedir.

K-Bus paketi içerisinde *SID* ve *RID* alanları, sırası ile bu paketi yollayan ve bu paketi alması istenen modülün adresini göstermektedir.

K-Bus üzerinde bazı modül grupları için varsayılan grup adres belirlemeleri yapılmıştır. Örneğin, tüm ölçme modülleri grubu için bir adres vardır. Tüm ölçme modüllerine yollanmak istenen bir K-Bus paketinin *RID* alanında bu adresin bulunması yeterli olacaktır. K-bus adreslerinden 16 adedi de önceden tanımlanmamış modül grupları için ayrılmıştır. Grup adreslemesi *addGrp* ve *delGrp* komutları ile güçlendirilmiştir. K-Bus paketlerinin *SID* alanı grup adresi içermemelidir.

5.6 Veri Tipleri

K-Bus modülleri arasında veri iletişimi sırasında değiştirilen büyüklükleri standartlaştırmak amacı ile bazı veri tipleri Tablo 5.6’da gösterilmiştir. Bu veri tipleri standart verilerde kullanılmaktadırlar. Modül verilerinde bu tabloda verilen veri tiplerinin kullanılması zorunlu değildir.

Tablo 5.6: K-Bus veri tipleri

Değer	İsim	Veri Tipi	Bayt Adedi	Açıklama
16	bit	Bit	1	0 veya 1 değeri alabilen bir bit. Veri taşıyan baytın en önemsiz bitinde bulunmaktadır. Veriyi taşıyan baytın en önemsiz biti dışındaki bitleri göz önüne alınmayacaktır.
17	bayt	Bayt	1	8 adet 0 veya 1 değeri alabilen bir bayt. Baytın bitlerine çeşitli manalar yüklenebilir veya 0..255 arası değer içerebilir.
18	sint	Kısa Tam sayı	1	-128 ile +127 arası değer alabilen tam sayı veri tipi.
32	int	Tam sayı	2	-32,768 ile +32,767 arası değer alabilen tam sayı.
33	lint	Uzun Tam sayı	4	-2,147,483,648 ile +2,147,483,647 arası değer alabilen tam sayı veri tipi.
64	float	Reel sayı	4	IEEE standart formatında 4 bayttan oluşan reel sayı.
128	double	Uzun Reel sayı	8	IEEE standart formatında 8 bayttan oluşan reel sayı.
196	ascii	Karakter dizisi	-	Her baytın bir ASCII karakterine karşılık geldiği, karakter dizisi.
197	array	Bayt dizisi	-	
198	number	ASCII formatında sayı	-	Karakterlerden oluşan sayı. Rakamlar “0”, “1”, “2”, “3”, “4”, “5”, “6”, “7”, “8”, “9” karakterleri ile gösterilir. Ondalık hane ayrımı için nokta, gruplama için virgül, negatif sayılar için “-”, 10 sayısının üstü gösterimi için “e” veya “E” karakterleri kullanılabilir.

Tablo 5.6: K-Bus veri tipleri (devamı)

199	nmea	NMEA cümlesi	-	NMEA 0183 standardında tanımlanmış veya bu standardı kullanan cihazların tanımladığı ASCII cümle.
200	date	ASCII olarak tarih	6	“aaggyy” formatında tarih. “aa” alanı ay, “gg” alanı gün, “yy” alanı yıldır.
201	time	ASCII olarak zaman	6	“ssddnn” formatında zaman. “ss” alanı saat, “dd” alanı dakika, “nn” alanı saniyedir.
224	serial	Seri iletişim kanalı	-	Genel amaçlı seri iletişim kanalı.
225	kBridge	K-Bus köprüsü	-	Başka bir K-Bus ile bağlantı noktası.
226	kInterface	Lokal K-Bus arabirimi	-	PC veya benzer genel amaçlı bir bilgisayarın K-Bus’a bağlandığı seri iletişim kanalı.
227	nmeaI	NMEA standardı seri iletişim kanalı	-	NMEA standardında cihazların bağlandığı seri iletişim kanalı.

Tablo 5.7: Veri opsiyonları

Değer	İsim	Veri Tipi	Açıklama
32	optStat	Word	0 ise problem yok anlamında geliyor. 0 haricindeki değerler hata kodu.
33	optInp	Bit	Veri bir girişe karşılık geliyor.
34	optOut	Bit	Veri bir çıkışa karşılık geliyor.
35	optOn	Bit	Veri açık. Veri çıkış ise yazma sonucunda güncelleştiriliyor. Eğer veri giriş ise periyodik olarak okunuyor.
36	optFreqS	number	Örnekleme sıklığı.
37	optFreqB	number	Veriyi K-bus üzerinde yayınlama frekansı.
38	optRID	bayt	K-Bus üzerinde veri yollanması sırasında alıcı adresi.
39	optPer	Bit	K-Bus’a periyodik olarak yollanacak.
40	optChg	Bit	Veri değiştiğinde K-Bus’a yollanacak.
41	optR	Bit	Veri K-Bus üzerinden okunabilir.
42	optW	Bit	Veriye K-Bus üzerinden yazılabilir
43	optLEN	bayt	Bit Uzunluğu. ADC veya DAC tipi verilerde gerçek çözünürlük veri tipinin içerdiği toplam bit sayısından daha az olabilir.

Tablo 5.7’de veri opsiyonları verilmiştir. Bu tabloda, bit tipindeki opsiyonların açıklamaları yapılırken, 1 değerinin anlamı verilmiştir. 0 değerinin anlamı verilen anlamın tersidir.

Tablo 5.8: Seri iletişim kanalı için opsiyonlar

Değer	İsim	Veri Tipi	Açıklama
64	serStat	word	0 ise problem yok anlamında gelmektedir. 0 haricindeki değerler hata kodudur.
65	serBaud	lint	Saniyedeki bit adedi.
66	serLen	bit	0 ⇒ 8 bit bayt boyu kullanılıyor. 1 ⇒ 7 bit bayt boyu kullanılıyor.
67	serMSb	bit	0 ⇒ İlk önce LSb yollanıyor. 1 ⇒ İlk önce MSb yollanıyor.
68	serStart	bit	0 ⇒ Başlangıç biti uzunluğu bir bit süresi kadar. 1 ⇒ Başlangıç biti uzunluğu bir buçuk bit süresi kadar.
69	serStop	bit	0 ⇒ Bitiş biti uzunluğu bir bit süresi kadar. 1 ⇒ Bitiş biti uzunluğu iki bit süresi kadar.
70	serParity	bayt	0 ⇒ Bayt sonlarına eşlenik biti eklenmiyor. 1 ⇒ Bayt sonlarına tek eşlenik biti ekleniyor. 2 ⇒ Bayt sonlarına çift eşlenik biti ekleniyor.
71	serMaxInBuf	lint	Geliş tamponu kapasitesi.
72	serMaxOutBuf	lint	Gidiş tamponu kapasitesi.
73	serInBuf	lint	Geliş tamponunda bulunan bayt adedi.
74	serOutbuf	lint	Gidiş tamponunda bulunan bayt adedi.
75	serProt	bayt	Seri iletişim protokolü. 0 ⇒ Protokol yok 11 ⇒ NMEA 0183 12 ⇒ TCP/IP 13 ⇒ Open ASCII
76	serExecBuf	bayt	Tampon işlemleri. 0 ⇒ Çıkış tamponunun içeriğini yolla.. 11 ⇒ Çıkış tamponunu sil. 12 ⇒ Giriş tamponunu sil.

Seri iletişim kanalı için opsiyonlar Tablo 5.8’de gösterilmiştir. İşlem gerektiren veri opsiyonlarında, işlemi gerçekleştirmek için, veri opsiyonuna işlem numarası ile yazma yapmak gerekmektedir.

5.7 Veri Önceliği

Veri önceliği bu veriyi taşıyan paketin iletiminden önce, K-Bus paketleri arasında bekleme süresini belirler. Düşük öncelikli veriler iletilirken, K-Bus paketleri arasında uyulması gereken en az bekleme süresini belirten *HM2* sinyalinden sonra da 3000 bit süresine kadar beklemeler yapılabilir. Düşük öncelikli verilerin beklemesi sırasında daha yüksek öncelikli veriler veri yolunu kazanarak iletimlerini gerçekleştirirler. Veri önceliği yazılım olarak gerçekleştirilmektedir ve donanım olarak sağlanan modül önceliği ile karıştırılmamalıdır. Özellikle birden çok K-bus paketi ile iletilen verilerde, düşük veri önceliği kullanılmasında fayda vardır. Birden çok K-bus paketi ile iletilen veriler için yüksek öncelik kullanılırsa, diğer modüllerin veri yoluna erişimi engellenebilir.

Tablo 5.9: Veri öncelik tanımlamaları

Öncelik	Açıklama
0	Veri iletimi sırasında HM sinyali aktif olduktan sonra beklemeden K-Bus'a paket iletimine başlanacak.
1	HM2 sinyali beklenecek, HM2 sinyalinden sonra modül adresinin değeri kadar bit süresi beklenerek K-Bus'a paket iletimine başlanacak.
2	HM2 sinyali beklenecek, HM2 sinyalinden sonra 2 bit süresi kadar beklenerek K-Bus'a paket iletimine başlanacak. Bekleme sırasında, araya giren her K-Bus paketinde, bekleme süresi bir bit süresi kadar azaltılacak.
3	HM2 sinyali beklenecek, HM2 sinyalinden sonra 3 bit süresi kadar beklenerek K-Bus'a paket iletimine başlanacak. Bekleme sırasında, araya giren her K-Bus paketinde, bekleme süresi bir bit süresi kadar azaltılacak.
:	:
254	HM2 sinyali beklenecek, HM2 sinyalinden sonra 254 bit süresi kadar beklenerek K-Bus'a paket iletimine başlanacak. Bekleme sırasında, araya giren her K-Bus paketinde, bekleme süresi bir bit süresi kadar azaltılacak.
255	HM2 sinyali beklenecek, HM2 sinyalinden sonra 3000 bit süresi kadar beklenerek K-Bus'a paket iletimine başlanacak. Bekleme sırasında, araya giren her K-Bus paketinde, bekleme süresi 10 bit süresi kadar azaltılacak.

Standart veriler ile kullanılmak üzere veri öncelikleri Tablo 5.9'da tanımlanmıştır. Modül verileri önceliklerinin belirlenmesinde de bu tabloda verilen tanımlamalar kullanılabilir, ancak bu tanımlamaların modül verileri ile kullanılması zorunluluk değildir. Modül verilerinin öncelik tanımlaması, modül tasarımı sırasında serbest olarak yapılabilir.

Tablo 5.9’da “*Öncelik*” kolonu veri önceliği numarasını göstermektedir. Öncelik bir baytlık bir değerdir. 0, 1 ve 255 değerli öncelikler özel durumlardır. 2 ile 254 arası öncelik değerleri benzer şekilde değerlendirilmektedir.

0 öncelik değerli veriler, mümkün olan en kısa sürede iletmeye çalışılır. Mümkün olan en kısa sürenin gerçekleştirilebilmesi için, diğer öncelik durumlarından farklı olarak, *HM* sinyali beklenmektedir. *HM* sinyalinin kullanılabilmesi için, *HM* sinyalinden önceki K-Bus paketinin *RID* alanında, *HM2* sinyali pasif iken K-Bus’ı ele geçirmek isteyen modülün K-Bus adresi bulunmalıdır. 0 veri önceliği sayesinde modül önceliği ne olursa olsun, kendisine bir K-bus paketi gelen modül, bu paket süresini uzatarak, bu paket içerisinde konuşma hakkına sahip olacaktır.

1 öncelik değerli verilerde, bekleme süresi sabit değildir. Her modül, *HM2* sinyali aktif hale geçtikten sonra, kendi modül önceliği değeri kadar bit süresi bekleyecektir. Örneğin, K-Bus adresi 154 olan bir modül, veri önceliği 1 olan bir veriyi K-Bus’a yayınlarken, *HM2* sinyalinden sonra 154 bit süresi kadar bekleyecektir. Bu veri önceliği değeri, aynı anda K-Bus’a birden çok veri sürülme ihtimali olduğu durumlar için kullanışlıdır. K-Bus donanımı çarpışma bulma ve önleme özelliğine sahip olduğu halde, çarpışma oluşma ihtimali yüksek verilerde bu öncelik değeri kullanılarak, çarpışmanın başlaması engellenir. Örneğin, hata bulma görevli modüllerden biri, periyodik olarak, K-Bus üzerindeki tüm modüllerin durumlarını okumak isteyebilir. Modül durum verisinin varsayılan öncelik değeri 1 olduğundan dolayı, her modül K- Bus erişimi için farklı sürelerde bekleyecek ve çarpışma süreci başlamayacaktır.

Veri öncelik değeri 255 olduğu durumlarda, veri iletiminden önce son K-Bus paketine ait *HM2* sinyalinden sonra 3000 bit süresi kadar beklenmesi gerekmektedir. Ancak, bekleme sırasında, araya giren her K-Bus paketi ile bekleme süresi 10 bit süresi kadar kısaltılmaktadır. Bekleme sırasında 30 kere K-Bus paketi araya girerse, bu veri *HM2* sinyalinden hemen sonra iletmeye çalışılacaktır. Bekleme süresi eksi değerler almayacaktır, yani, bekleme süresi 0 olduktan sonra eksiltme işlemine devam edilmeyecektir.

Veri öncelik değeri 2 ile 254 arasında ise, veri iletiminden önce son K-Bus paketine ait *HM2* sinyalinden sonra veri öncelik değeri kadar bit süresi beklenmesi gerekmektedir. Ancak, bekleme sırasında, araya giren her K-Bus paketi ile bekleme süresi 1 bit süresi kadar kısaltılmaktadır. Bekleme süresi eksi değerler almayacaktır, yani, bekleme süresi 0 olduktan sonra eksiltme işlemine devam edilmeyecektir.

Veri önceliği özelliği, yazılım için ek bir yük getirecektir. Bu özelliğin kullanımı mecburi değildir. Modüller bu özelliği desteklemeden de tasarlanabilir.

5.8 Modül Verisi

Modül verisi, bir modül için özel olarak belirlenmektedir. Modül tasarımı sırasında bu veriye ait tip, modül veri numarası, erişim şekli, öncelik, çoklu paket desteği, anlam, birim gibi tanımlamalar yapılır. Bu veriyi kullanacak diğer modüllerin bu tanımlamalardan haberdar olması gerekmektedir.

Modül veri tipleri için bit, bayt, tam sayı, gerçek sayı, resim, K-Bus köprüsü, NMEA 0183 cihazı, serbest seri iletişim kanalı, ASCII, bayt dizisi ve benzeri tanımlamalar yapılabilir. Modüller üzerinde 256 adete kadar modül verisi tanımlanabilir. Bunların bir kısmı için, K-bus tasarımı sırasında, özel tanımlamalar yapılmıştır, geri kalanlar ise serbest bırakılmıştır. Serbest bırakılan modül veri numaralarından gerekli miktarının, modül tasarımı sırasında K-Bus arabirimi olarak anlamlandırılması gerekmektedir. Modül verilerinin veri tipi açıktır ve bir K-Bus paketinin *DTA* alanına sığabilecek kadar parametre alabilmektedirler. Modül verilerinin parametrelerini değerlendirerek, pratik olarak sınırsız miktarda genişlemek mümkündür.

Resim gibi uzun modül verilerinin yollanması, *dtam* olarak tanımlanan K-Bus komutu ile mümkündür.

Modül verisine erişim şekli, okuma, yazma veya çalıştırma erişim şekillerinin tüm kombinasyonları olarak belirtilebilmektedir. Modül tasarımı sırasında, K-Bus arabirimi oluşturulan modül verisinin anlamını ve gerektiği durumlarda modül verisine farklı erişim şekilleri ile ulaşılan verinin birimi de verilmelidir.

5.9 Standart Veri

K-Bus'ı, diğer kontrol amaçlı seri iletişim tanımlamalarından ayırt eden önemli bir özellik standart veri tanımlamasıdır. K-Bus üzerinde tanımlı olan standart veriler kullanılarak oluşturulan kontrol mimarilerinde, bir modül K-Bus üzerinde standart veriye, verinin bulunduğu modülün adresini bilmeden ulaşabilmektedir. Standart verilerin K-Bus arabirimi tanımlı olduğundan dolayı, bu verinin okunma, yazılma, parametrelerinin ayarlanma ve çalıştırılma yöntemleri modül tasarımından bağımsızdır.

Tablo 5.10: Standart veri tanımları

Değer	Veri Tipi	Birim	Açıklama
0	-	-	Tüm standart veriler.
1	-	-	1,000 ile 1,999 arasındaki tüm standart veriler.
:			
64	-	-	64,000 ile 64,999 arasındaki tüm standart veriler.
			GPS'den elde edilen veriler
1001	nmea	-	GPS'den elde edilen GPGGA cümlesi. Bu cümle üç boyutlu konum bilgilerini içermektedir.
1002	nmea	-	GPS'den elde edilen GPVTG cümlesi. Bu cümle iki boyutlu hız bilgilerini içermektedir.
1003	nmea	-	GPS'den elde edilen PGRMV cümlesi. Bu cümle üç boyutlu hız bilgilerini içermektedir.
1004	nmea	-	GPS'den elde edilen PGRME cümlesi. Bu cümle konum bilgilerinin tolerans tahminini içermektedir.
1101	number	Derece	GPS'den elde edilen enlem. Negatif değerler güney yarım küreyi göstermektedir.
1102	number	Derece	GPS'den elde edilen boylam.
1103	number	Metre	GPS'den elde edilen ortalama deniz seviyesinden yükseklik.
1104	number	Metre	GPS'den elde edilen jeodal yükseklik.
1105	number	metre/saniye	GPS'den elde edilen gerçek doğu hızı.
1106	number	metre/saniye	GPS'den elde edilen gerçek kuzey hızı.
1107	number	metre/saniye	GPS'den elde edilen yukarı hızı
1108	bayt	-	GPS kalitesi. 0 ⇒ Bilinmiyor. 1 ⇒ Diferansiyel olmayan GPS. 2 ⇒ Diferansiyel GPS. 6 ⇒ Tahmin.
			Jiroskop ve yönelme cihazından elde edilen veriler
2001	number	Derece	Manyetik pusulada elde edilen gerçek kuzey yönelmesi.
2002	number	Derece	Jiroskoptan elde edilen yunus açısı.
2003	number	Derece	Jiroskoptan elde edilen yalpa açısı.
2004	number	Derece	Jiroskoptan elde edilen sapma açısı.
			Ölçüm değerleri
3001	number	Derece	Eleron açısı ölçüm değeri.
3002	number	Derece	Dümen açısı ölçüm değeri.
3003	number	Derece	Elevatör açısı ölçüm değeri.
3004	number	devir/saniye	Motor devri ölçüm değeri.
3005	number	Litre	Yakıt miktarı ölçüm değeri.
3006	number	Yüzde	Akü seviyesi ölçüm değeri.

Tablo 5.10: Standart veri tanımları (devamı)

3007	number	metre/saniye	Hava hızı ölçüm değeri.
3008	number	Metre	Barometrik yükseklik ölçüm değeri.
3009	number	Derece	Hücum açısı ölçüm değeri.
			Tahrik çıkışları
4001	number	Derece	Eleron açısı referans değeri.
4002	number	Derece	Dümen açısı referans değeri.
4003	number	Derece	Elevatör açısı referans değeri.
4004	number	devir/saniye	Motor devri referans değeri.
			Haberleşme bilgisayarları ile ilgili veriler
6001	bit	-	Mod seçimi. 0 ⇒ Otomatik moda geç. 1 ⇒ Manüel moda geç.
6002	word	-	Görev numarasını çalıştırmaya başla.
6003	-	-	Başlangıç konumuna git.
6004	ascii	-	Verilen koordinatlara git. Parametre içerisinde, enlem, boylam ve yükseklik koordinatları verilmektedir.
6005	number	derece/saniye	Dön. Verilen hızda sağa dön. Negatif hız sola dönüş anlamına gelmektedir.
6006	number	metre/saniye	Yüksel. Verilen hızda yüksel. Negatif hız alçal anlamına gelmektedir.
6007	number	metre/saniye	Hız. Verilen hızda ilerle.

5.10 Blok Veri Transferi

K-Bus üzerinde mevcut veri iletim bant genişliğini daha verimli kullanabilmek amacı ile blok veri transferi tanımı getirilmiştir. Bu yöntem ile bir K-Bus paketi içerisinde birden çok veri istemek ve veri yollamak mümkün olabilmektedir. Blok veri transferi, modül verilerinin ve standart verilerin bloklar içerisinde istenildiği gibi kullanılmasına izin vermektedir.

Blok veri transferi *addMdl*, *delMdl*, *addStd*, *delStd*, *dtab*, *readB* ve *writeB* K-Bus komutları ile desteklenmektedir. Bu komutların, alıcı modül veya modüller tarafından alındığının onaylaması için, *ack* K-Bus paketi isteyen şekilleri de kullanılabilir.

Blok veri transferi yapılan K-Bus paketlerinin ortak özelliği, *DTA* alanının ilk baytının blok numarasını içermesidir. Bu alanda 256 farklı blok numarası yazılabilir. Uygulamalar 0 ile 127 arasındaki blok numaralarını serbest olarak kullanabilirler. 128 ile 255 arasındaki blok numaraları ileride anlamlandırılmak üzere ayrılmışlardır ve uygulamalar tarafından kullanılmamalıdır.

Blok içerisinde bulunan veriler farklı modüllerde olabilirler.

readB K-Bus komutun içerisinde, iletmesi gereken veriler olduğunu fark eden bir modül, bu verilere ait *dtab* K-Bus komutunu oluşturarak iletacaktır. Birden çok modülün, aynı *readB* komutuna cevap vermeye kalkışması, K-Bus'ın çarpışma önleme özelliği sayesinde, problem yaratmayacaktır.

Bu veri transferi yönteminin, K-Bus bant genişliğinin kullanımında verimi arttırmasını göstermek için şu örnek verilmektedir: Bir İHA üzerinde, ana kontrol bilgisayarı, 0.1 saniye süren her çevrimi sırasında, 10 adet ölçüm cihazı verisi okuyarak, yapılan hesaplamalar sonucunda 10 adet tahrik elemanı verisini üretsin. Blok veri transferi kullanılmadığı durumda, her çevrimde 10 adet *read* K-Bus komutu, 10 adet *dtab* K-Bus komutu ve 10 adet *write* K-Bus komutu üretilecektir. Her komut için ayrı bir K-bus veri paketi oluşturulacağından dolayı, her çevrimde 30 adet K-Bus paketi iletilecektir. Ölçüm cihazı verilerinin bir bloğa ve tahrik elemanları verilerinin de başka bir bloğa toplanması ile eğer tüm ölçüm elemanları aynı modül tarafından K-Bus'a veriliyor ise, her çevrimde sadece 3 adet K-Bus paketi üretilerek aynı işlem yapılabilir. Tahrik elemanlarının farklı modüllerde bulunması, blok veri transferinde herhangi bir ek yük getirmeyecektir. Ancak, ölçüm cihazlarının farklı modüllerde bulunması durumunda, bu modüllerden her biri ayrı bir *dtab* K-Bus komutu üretecektir. Bu örnekte, blok veri transferi kullanılması sayesinde, 10 kez daha az K-Bus paketi ile veri iletimi gerçekleştirilmiştir.

6. REFERANS TASARIM

Önceki bölümlerde sunulan İHA kontrol mimarisinin bir kullanım örneğini sunmak amacı ile bu bölümde referans tasarım verilmiştir.

6.1 Görev

Bu bölümde verilen görev kurgudur.

50 km çapında ormanlık bir bölge içerisinde, toplam 100 km² alanda kaçak yapı kontrolü yapılmak istenmektedir.

Bu görevi gerçekleştirmek için çeşitli seçeneklerin karşılaştırılmaları Tablo 6.1’de verilmiştir.

Tablo 6.1: Görevin gerçekleştirilebilmesi için seçenekler.

<u>Seçenek</u>	<u>Avantajları</u>	<u>Dezavantajları</u>
Uydu	<ul style="list-style-type: none">• Her hava koşulunda çalışabilir.• Az personel ile işletilebilir.• Yerden görülemez.	<ul style="list-style-type: none">• İlk kurulumu pahalıdır.• İşletme giderleri yüksektir.• Uzman personel istihdamı gerektirir.
Yerden gözlem	<ul style="list-style-type: none">• İlk kurulum giderleri düşüktür.• Personel maliyeti düşüktür.• İşletme maliyetleri orta seviyededir.	<ul style="list-style-type: none">• İşletme organizasyonu zordur.• Kalitede sürekliliği sağlamak zordur.
İnsanlı Uçak	<ul style="list-style-type: none">• İlk kurulum giderleri orta seviyededir.• Hızlı ve esnek veri toplama kabiliyeti sunar.	<ul style="list-style-type: none">• İlk kurulumu pahalıdır.• Her hava koşulunda çalışamaz.• Uzman personel istihdamı gerektirir.
Küçük İHA	<ul style="list-style-type: none">• İlk kurulum giderleri düşüktür.• İşletme maliyetleri orta seviyededir.	<ul style="list-style-type: none">• Her hava koşulunda çalışamaz.• Uzman personel istihdamı gerektirir.

Martinez-Val ve Hernandez [4]'de burada tanımladığımızı benzer bir sivil bir uygulama örneğinde İHA'ları uzun vadede rakiplerinden daha karlı olarak bulmaktadır.

Tablo 6.1'de özetlenen niteliklerin karşılaştırılması sonucunda, istenilen görevi gerçekleştirmek amacı bir İHA görevlendirilmesine karar verilmiştir.

Haftada iki kere kaçak yapıların gözlemlenmesi amacı ile kontrol yapılması yeterlidir.

İHA'nın hava fotoğrafları çekmesi istenmektedir. Hava fotoğraflarını sayısal bir fotoğraf makinesi ile çekmek yeterli olacaktır. Fotoğraflar yer istasyonunda analiz edileceklerdir.

İHA'nın iniş ve kalkış işlemleri, kontrol sistemi uzaktan manuel modda çalışırken, yer istasyonunda bulunan operatör tarafından gerçekleştirilecektir. İHA havalandıktan sonra, operatör tarafından otomatik moda geçirilecek ve daha önceden belirlenmiş bir, görev programı çalıştırılmaya başlanacaktır.

İHA üzerinde otomatik modda çalışacak görev programı, önceden belirlenmiş bir yörüngede uçuşu sağlayacak ve fotoğraf çekme noktalarında fotoğraf makinesinin fotoğraf çekmesini sağlayacaktır. Çekilen fotoğrafların analizinde, fotoğraf çekimi sırasında İHA'nın koordinatları, durumu ve fotoğraf çekim zamanı kullanılmaktadır. Bu bilgilerin, İHA üzerinde, fotoğrafla ilişkilendirilerek, kaydedilmesi gerekmektedir.

İHA'nın yerden 300 metre yükseklikte seyretmesi istenmektedir.

İHA'nın yer üzerinde 500 metre eninde ve 500 metre boyunda alanı kaplayan fotoğrafları 1400 nokta en ve 1400 nokta boy çözünürlüğü ile çekmesi istenmektedir. Çekilen fotoğrafların birbirleri ile örtüşmedikleri kabul edilirse, kontrol edilmek istenen 100 km² alanın tümünün görüntüsünün alınabilmesi için 400 adet fotoğraf çekilmesi gerekir. Bu istekleri gerçekleştirebilecek genel amaçlı sayısal fotoğraf makineleri ticari olarak mevcuttur.

Görev bitiminde fotoğraflar yer istasyonunda analiz edileceklerdir. Analiz sonucunda, belli bölgelerde kuşku durumu tespit edilirse, yeni görevler oluşturularak İHA bu bölgelere daha yüksek çözünürlüklü fotoğraflar çekmek üzere gönderilebilecektir.

6.2 Hava Aracı

Referans tasarımda kullanılacak hava aracı gövdesi seçimi bu çalışmada yapılmamıştır. Bu bölümde, referans tasarımda kullanılacak kontrol büyüklükleri ve ölçme sistemleri tanımlanmıştır.

Referans tasarımda seçilen hava aracında, elevatör açısı, eleron açısı, dümen açısı ve motor devri referansları üretilerek hava aracının hareketleri yönlendirilebilmektedir.

Elevatör açısı, eleron açısı, dümen açısı ve motor devri verileri, hava aracı üzerinde bulunan algılayıcılarla ölçülebilmektedir. Ayrıca hava hızı ve hücum açısı ölçümü için, hava üzerinde ölçüm donanımı bulunmaktadır. Hava aracı üzerinde bulunan GPS ve jiroskop cihazları, hava aracının konum ve durum verilerinin elde edilebilmesine imkan tanımaktadır.

Hava aracı üzerinde toplam bulunan tüm ölçme ve tahrik verilerinin iletimi sırasında geçecek süreleri hesaplamak için (4.31) ve (4.32)'de verilen okuma ve yazma süreleri bağlantıları kullanılacaktır. Bu bağlantılar

$$T_{Oku}(M, N) = (14 + M + N) \cdot T \quad (6.1)$$

$$T_{Yaz}(N) = (15 + N) \cdot T \quad (6.2)$$

şeklinde tanımlanmışlardır. Burada okuma sırasında yollayıcı tarafından sensör modülünün içerisinde adresleme için 2 bayt boyunda $DTA_0...DTA_1$ verisi ürettiğini kabul edeceğiz. Böylece bu bölüm içerisinde (6.1) eşitliğinde $M=2$ olacaktır. Yazma sırasında ise K-Bus modüllerine 2 bayt modül içerişi adres ve 2 bayt veri değeri olmak üzere 4 bayt uzunluğunda $DTA_0...DTA_3$ verisi iletildiğini kabul edeceğiz. Aşağıdaki tabloda örnek tasarım aracı üzerinde bulunan sensör ve tahrik modüllerine veri iletmek için geçen süre verilmiştir. Burada “Hat kullanım süresi (T)” kolonu, sensörler için (6.1) kullanılarak ve tahrik elemanları için (6.2) kullanılarak elde edilmiştir.

Bir kontrol çevrimi içerisinde tüm verilere ulaşılabileceği kabul edilirse, kontrol çevrimi içerisinde verilere ulaşmak için K-Bus üzerinde ihtiyaç duyulacak süre Tablo 6.2’de “Hat kullanım süresi (T)” kolonunun değerlerinin toplamıdır:

$$\begin{aligned}
T_{ToplamVeriletimi} &= (18+18+18+18+116+116+19+19+19+19) \cdot T \\
&= 380 \cdot T = 380 \cdot 20\mu s = 7600\mu s \\
&= 7.6ms
\end{aligned} \tag{6.3}$$

burada T 'nin değeri (4.5)'den alınmıştır.

Normal bir İHA sistemi içerisinde kontrol çevrimi sıklığının saniyede 25 kez veya daha az olması yeterli olacaktır [4]. Verilen örnek tasarımda üst sınır olan saniyede 25 çevrim kullanıldığını kabul edersek, Hattın doluluk oranı:

$$R_{Doluluk} = \frac{T_{ToplamVeriletimi}}{(1/25) \cdot 1000} = \frac{7.6ms}{40ms} = \%19 \tag{6.4}$$

olarak bulunmaktadır. Önerilen sistem örnekteki İHA'nın ihtiyaç duyduğundan yaklaşık 5 kat daha fazla bant genişliğine sahiptir.

Tablo 6.2: Örnek tasarımda modüllere veri iletim için geçen süreler. ($T=20\mu s$)

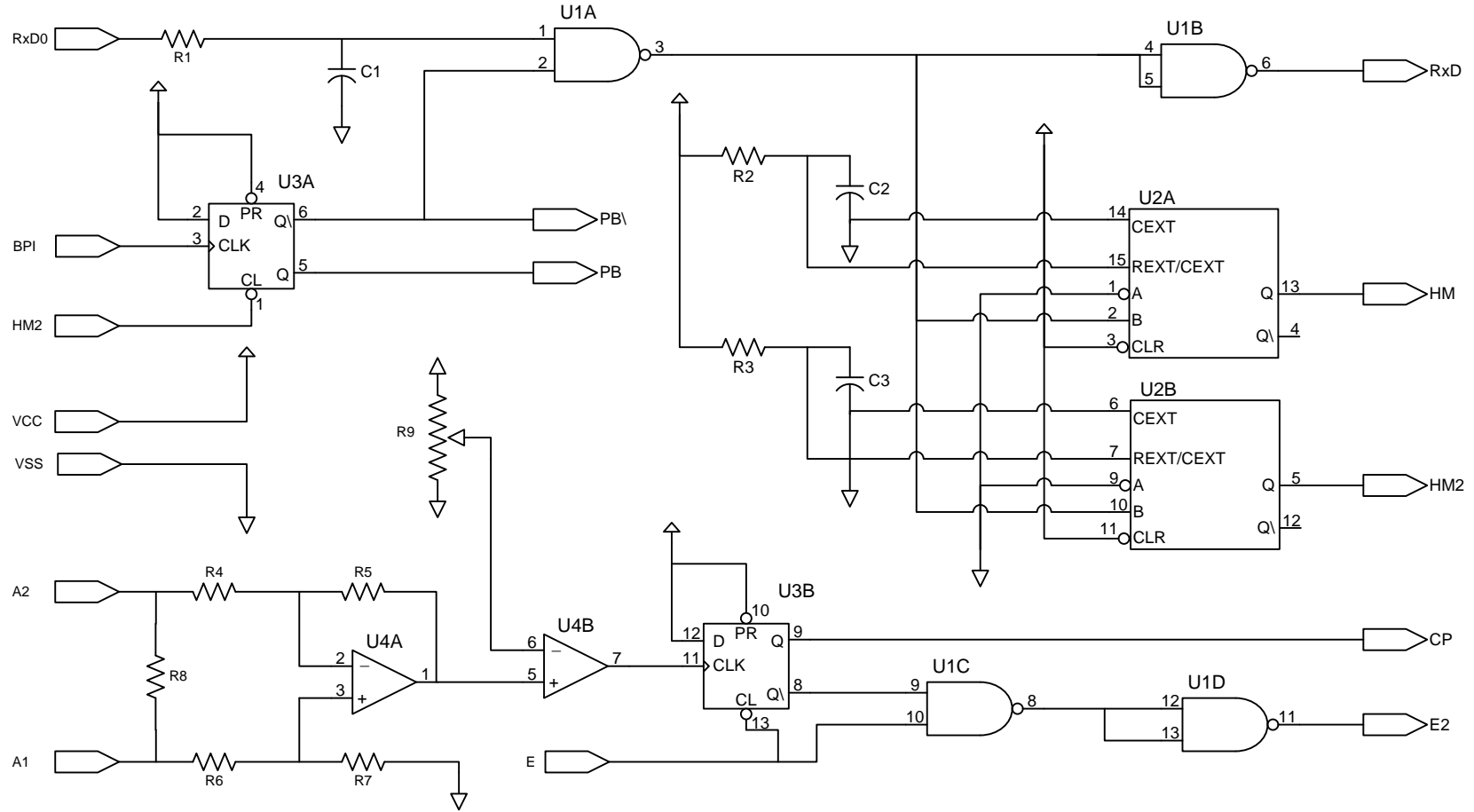
Sensör/Tahrik	Açıklama	Veri uzunluğu (bayt)	Hat kullanım süresi (T)
Sensör	Elevatör Açısı	2	18
Sensör	Eleron Açısı	2	18
Sensör	Dümen Açısı	2	18
Sensör	Motor Devri	2	18
Sensör	GPS	100	116
Sensör	Jiroskop	100	116
Tahrik	Elevatör	4	19
Tahrik	Eleron	4	19
Tahrik	Dümen	4	19
Tahrik	Motor	4	19

6.3 KBCL Bloğu Tasarımı

Şekil 4.1'de gösterilen ve Şekil 4.2'de ayrıntısı verilen *KBCL* bloğunun gerçekleştirilmesi için eleman seçimi ve şematik çizim bu bölümde yapılmıştır.

Tasarıma ait şematik çizim Şekil 6.1'de gösterilmiştir. Bu şematik çizim, ileriki bölümlerde *KBC* olarak kullanılan ve Şekil 4.1'de gösterilen bloğun tasarımını tamamlamaktadır.

Tasarımda entegre devre olarak 74AHC serisi entegreler ve bir adet işlem yükselteci kullanılmıştır. Bu şematik çizimde kullanılan malzemeler Tablo A.1'de belirtilmiştir.



Şekil 6.1: Referans KBCL şematik tasarımı

6.4 Ölçme, Tahrik, Haberleşme ve Yük Bilgisayarları Tasarımları

Orta boy bir İHA üzerinde 10 ile 50 adet arası ölçme cihazı ve 2 ile 10 adet arası tahrik edilecek hareket sistemi bulunabilmektedir. Bu sistemlerin kontrol sistemi ile bağlantısı için çok farklı arabirimler mevcuttur. Genellikle analog giriş ve çıkışlı bağlantılar kullanılmasına rağmen yeni sistemlerde birçok sayısal standart da kullanılmaya başlamıştır.

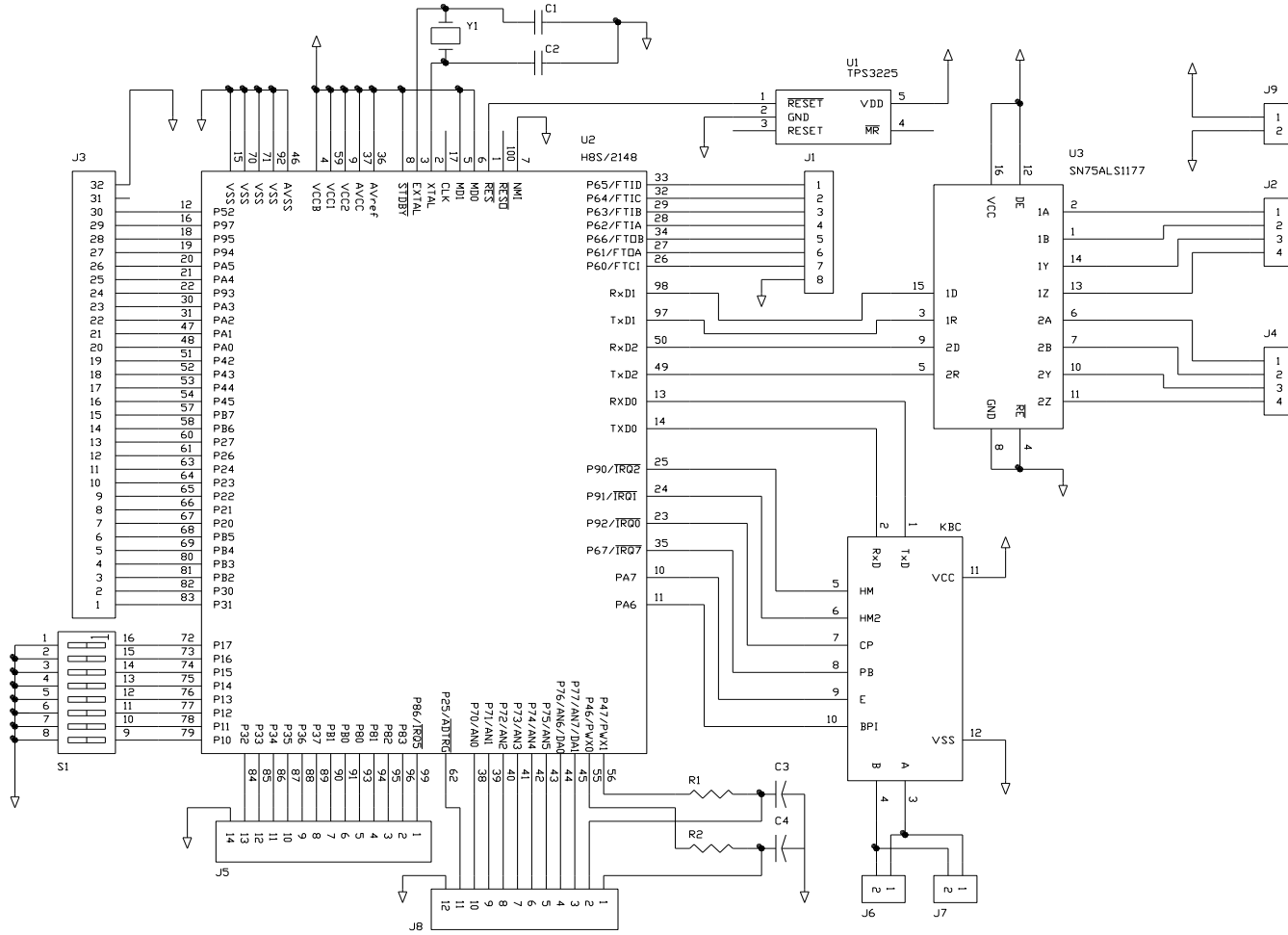
Bu bölümde, referans tasarımda kullanılmak üzere bir ölçme bilgisayarı tasarımı yapılmaktadır. Ölçme bilgisayarının işlemci gücü bağlı olarak düşük olabilir. Ayrıca bu bilgisayarın hafıza gereksinimi de fazla değildir.

Ölçme bilgisayarının bir adet K-Bus ve iki adet NMEA 0183 seri iletişim kanalı olması istenmektedir.

Şekil 6.2’de bir ölçme bilgisayarı için referans tasarım verilmiştir.

Şekil 6.2’de kullanılan malzemelerin değerleri ve açıklamaları Tablo A.2’de verilmiştir.

Ölçme bilgisayarı referans tasarımı için işlemci seçimi sırasında, hızlı prototip geliştirilmesine imkan sağlamak amacı ile tarafımızdan daha önce başka sistemlerde kullanılmış işlemciler arasından seçim yapılmıştır. Günümüzde ticari olarak ulaşılabilen çok geniş bir işlemci yelpazesi bulunmaktadır. Bu yelpazedeki bazı işlemcilerin bu uygulamada daha uygun olması beklenebilir. Tarafımızdan kullanılan işlemciler arasında karşılaştırma Hitachi firmasının H8S serisi mikro denetleyici sınıfındaki işlemcisi ile Texas Instruments firmasının TMS320C260 serisi sayısal işaret işleyici sınıfındaki işlemcisi arasında olmuştur. Ölçme bilgisayarı referans tasarımında Hitachi firmasının H8S serisi işlemcisi seçilmiştir. Bu işlemcinin seçilmesinde en önemli kriter üzerinde üç adet seri iletişim arabirimi içermesidir. Üç adet seri iletişim arabirimi sayesinde, bu işlemci önerilen mimari için köprü modülü tasarımını harici seri iletişim arabirimi kullanmadan gerçekleştirebilmektedir.



Şekil 6.2: Referans ölçme bilgisayarı şematik tasarımı

Seçilen işlemci 20 MHz saat hızına kadar çalışma hızına sahiptir. Ancak, bu işlemci ile 20 MHz saat hızında 500 KHz olarak belirtilen K-Bus seri iletişim hızı elde edilememektedir. 500 KHz seri iletişim hızını hassas olarak elde edebilmek için işlemci 16 MHz saat hızında çalıştırılmaktadır. Şekil 6.2’de görülen *Y1* elemanı 16 MHz saat sinyalini üretmek için işlemcinin gerek duyduğu kristal osilatördür.

Seçilen işlemcinin özellikleri şunlardır:

- İşlemcinin Hitachi kodu: HD64F2144. Yeni kodu: H8/3297
- İşlemci üzerinde 3 kanal asenkron seri iletişim arabirimi,
- İşlemci üzerinde 128 Kbayt Flash tipi hafıza,
- İşlemci üzerinde 4 Kbayt Ram tipi hafıza,
- 8 kanal 10 bit analog/sayısal dönüştürücü,
- 2 kanal 8 bit sayısal/analog dönüştürücü,
- 2 kanal 14 bit PWM zamanlayıcı mevcuttur.
- Sayı içerikleri yazmaçlarda olduğu durumda 16 bit sayı ile 16 bit sayı çarpma işlemi 20 saat çevrimidir.

Bu bölümde verilen referans tasarımın düşük işlemci gücü gerektiren yerlerde kullanılabilir olması amaçlanmaktadır. Referans tasarımda kullanılan parça adedi mümkün olduğunca az tutulmaya çalışılmıştır. Kullanılan işlemcinin dahili Flash tipi ve RAM tipi hafızaları amaçlanan ölçekteki görevlerin gerçekleştirilebilmesine yeterli kapasitede olduklarından dolayı, harici hafıza elemanı kullanılmamıştır.

İşlemci üzerinde bulunan sayısal ve analog giriş ve çıkış kabiliyeti hedeflenen görevler için yeterlidir. Bu giriş ve çıkış noktaları Şekil 6.2’de *J1*, *J3*, *J5* ve *J8* ile gösterilen konektörlere bağlanmıştır. Burada konektörlerin şekli tam olarak belirtilmemiş ve baskılı devre tasarımcısına bırakılmıştır. İHA içerisinde tüm elektrikli modüllerin ortak bir gerilim kaynağını paylaştıkları ve sayısal giriş çıkış sinyal seviyelerinin TTL veya CMOS elektrik seviyeleri, analog sinyal aralığının 0-5 V olduğu kabul edildiğinden dolayı modül üzerinde giriş çıkış noktalarında optik veya galvanik izolasyon kullanılmamıştır.

PWX0 ve *PWX1* kodlu *PWM* çıkışlarına bir direnç ve süzgeç bağlanarak sayısal *PWM* çıkışı bir analog çıkışa dönüştürülmüştür.

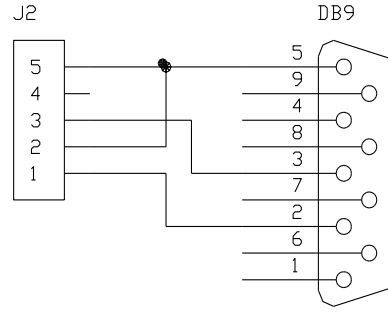
Ölçme bilgisayarının şematik tasarımının gösterildiği Şekil 6.2’de *UI* kodu ile Texas Instruments firmasının üretimi olan TPS3825-50 kodlu entegre devre gösterilmiştir. Bu entegre devre besleme gerilimini gözlemekte ve ilk açılış sırasında \overline{RESET} çıkışını 0 seviyesinde tutmaktadır. Besleme gerilimi 4.75 V eşik değerini geçtikten sonra 0.2 saniye süresince \overline{RESET} çıkışını 0 seviyesinde tutmaya devam ederek işlemci için gerekli sıfırlama sinyalini üretmektedir.

Şekil 6.2’de *U3* kodu ile Texas Instruments firmasının SN75ALS1177 numaralı entegre devresi gösterilmiştir. Bu entegre devre üzerinde RS-422 standardında elektriksel büyüklük seviyeleri için seri iletişim hat sürücü devresi bulunmaktadır. Bu entegre devrede iki kanal mevcuttur. Tasarımda, NMEA 0183 standardı seri iletişim elektrik seviyelerini RS-422 standardında tanımladığından dolayı, RS-422 standardı uygulanmıştır. Kullanılan işlemcinin seri iletişim hızı NMEA 0183 standardında belirtilen 4800 Hz seri iletim hızına ayarlanabilmektedir. Şekil 6.2’de *J2* ve *J4* konektörlerine RS-422 hatları bağlanmıştır. Tablo 6.3’de *J2* ve *J4* konektörleri bağlantıları gösterilmiştir.

Tablo 6.3: J2 ve J4 konektörü bağlantılarının açıklamaları

<u>Pin No</u>	<u>Sembol</u>	<u>Açıklama</u>
1	RxD	Seri veri girişi
2	RxD\	Seri veri girişinin değili
3	TxD	Seri veri çıkışı
4	TxD\	Seri veri çıkışının değili
5	GND	Gerilim referansı

Kişisel bilgisayarlarda en çok kullanılan seri iletişim elektriksel büyüklük seviyeleri RS-232 standardıdır. RS-422 ile tanımlanan seri iletişim elektrik seviyeleri kişisel bilgisayarlarda kullanılan RS-232 ile doğrudan uyumlu değildir. Buna rağmen, hiç bir çevirici kullanılmadan bu iki elektrik seviyesi birbirine çoğu zaman problemsiz olarak bağlanabilmektedir. Şekil 6.3’de RS-232 ile RS-422 arası bağlantı gösterilmiştir.



Şekil 6.3: RS-422 sinyalleri ile RS-232 sinyallerinin bağlantısı

Şekil 6.2’de KBC bloğu ile işlemci arasındaki bağlantılar da belirtilmiştir. KBC bloğunun dört çıkışı da (*HM*, *HM2*, *CP* ve *PB*) işlemci üzerinde kesme yaratma kabiliyetine sahip girişlere bağlanmıştır. Bu bağlantı şekli, işlemci üzerinde bulunan işletim sistemi yazılımını kolaylaştırma açısından önemlidir. İşlemci üzerinde gerçek zamanlı bir işletim sistemi bulunmadığı durumda bile, K-Bus arabirimini sağlayacak yazılım modülü kesmeleri kullanarak arka planda K-Bus paketlerini almayı ve yollamayı başarabilecektir. K-Bus hareketleri sırasında seri iletişim arabiriminin sürekli olarak kontrol edilmesine gerek kalmamaktadır. Yazılım modeli ile ilgili ayrıntılar K-Bus Yazılım Modeli bölümündedir.

KBC bloğu *J6* ve *J7* konektörleri ile K-Bus’a bağlanmaktadır. Bu iki konektör paralel bağlıdır. K-Bus konektörlerinde gerilim referansı bulunmamaktadır. Bir İHA içerisinde tüm elektrik sisteminin ortak bir gerilim referansı olacağı düşünülmüştür. Modüller arasındaki olası ufak referans gerilimi farkları da RS-485 elektrik standardının diferansiyel yapısından dolayı bir problem oluşturmayacaktır.

Şekil 6.2’de *J9* kodu ile besleme gerilimi giriş konektörü gösterilmiştir.

Şekil 6.2’de, çizimi daha anlaşılır kılmak amacı ile entegre devrelerin besleme sinyallerinin bağlandığı bacaklarda kullanılması gereken kondansatörler çizilmemiştir. Baskılı devre tasarımında her entegre devrenin her besleme bacağı için bir adet 100 nF hızlı kondansatör kullanılması gerekmektedir.

Şekil 6.2’de görülen *S1* elmanı 8 konumlu bir anahtardır. *S1* anahtarının bağlandığı işlemci girişlerinde işlemci dahilinde yukarı çekme dirençleri olduğundan dolayı, anahtarda yukarı çekme dirençleri kullanılmamıştır. *S1* elmanındaki anahtarlarının açık devre olduğu durumda işlemci ilgili girişinde 1 mantık seviyesi okuyacaktır, kısa

devre durumunda ise işlemci 0 mantık seviyesi okuyacaktır. Bu anahtar farklı uygulamalarda farklı amaçlar için kullanılabilir. Referans tasarımda *P10*, *P11*, *P12* ve *P13* numaralı işlemci girişleri, modülün K-Bus adresini seçmek için kullanılmaktadır. *P14* ve *P15* numaralı işlemci girişleri modülün farklı çalışma modlarını seçmek amacıyla kullanılmaktadır. *P16* ve *P17* numaralı işlemci girişleri ise modülün seçili çalışma modunda standart veri olduğu durumda, bu standart verileri aktif hale getirmek veya kapatmak için kullanılmaktadır.

Seçilebilecek K-Bus adresleri Tablo 6.4’de verilmiştir.

Tablo 6.4: K-Bus adres seçimi

P13	P12	P11	P10	K-Bus Adresi
0	0	0	0	32
0	0	0	1	33
0	0	1	0	34
0	0	1	1	35
0	1	0	0	36
0	1	0	1	37
0	1	1	0	38
0	1	1	1	39
1	0	0	0	128
1	0	0	1	129
1	0	1	0	130
1	0	1	1	131
1	1	0	0	132
1	1	0	1	133
1	1	1	0	134
1	1	1	1	135

İşlemci çalışma modlarının seçim atamaları Tablo 6.5’de yapılmıştır.

Tablo 6.5: İşlemci çalışma modları seçimi

P15	P14	Çalışma modu
0	0	Lokal K-Bus arabirimi
0	1	Genel amaçlı köprü
1	0	Ölçüm ve tahrik bilgisayarı
1	1	Haberleşme ve yük bilgisayarı

6.4.1 Lokal K-Bus Arabirimi

Bu modda modül herhangi bir bilgisayar için K-Bus arabirimi olarak çalışmaktadır. Program yükleme, K-bus analizi ve benzeri işlemler için K-Bus'a genel amaçlı bir bilgisayar ile bağlanılmak istenirse modül bu modda kullanılabilir. İşlemcinin *P16* ve *P17* numaralı girişleri genel amaçlı bilgisayarın bağlanacağı işlemci üzerindeki 2 numaralı seri iletişim kanalının bit hızının seçiminde kullanılmaktadır. Tanımlı olan iletişim hızları Tablo 6.6'da verilmiştir.

Tablo 6.6: Genel amaçlı bilgisayara seri bağlantı için bit hızı seçimi

<u>P17</u>	<u>P16</u>	<u>Bit Hızı</u>
0	0	4,800
0	1	38,400
1	0	115,200
1	1	500,000

Lokal K-Bus arabirimi olarak kullanıldığı durumda modül parametreleri için yaklaşık 512 bayt yeterli olacaktır. Modül hafızasının kalan 3,584 baytı gelen ve giden K-Bus paketleri için tampon bölge olarak kullanılabilir.

IBM uyumlu PC (Personal Computer) standardında seri iletişim için en yüksek bit hızı 115,200 bit/saniyedir. Lokal K-Bus arabirimi seri iletişim bit hızı K-Bus hızı olan 500,000 bit/saniyeden daha düşük seçildiği durumlarda K-Bus doluluk oranı ve Lokal K-Bus'a iletilmesi gereken paket miktarı ve boyutlarına bağlı olarak tüm paketlerin iletilmesi mümkün olmayabilir. Örneğin, K-bus analizi için, 115,200 bit/saniye hızı ile bağlı bir lokal K-Bus, tüm K-Bus paketlerini lokal K-Bus'a aktarmak üzere bu modülü kullanabilir. Bu durumda Lokal K-Bus'a tüm K-bus verilerinin iletilebilmesi için ortalama K-Bus doluluk oranının en yüksek değeri

$$R_{DK} = \frac{115,200}{500,000} = 0.2304 \approx \%23 \quad (6.5)$$

şeklinde hesaplanır. Bu ortalama doluluk oranı aşılmadığı durumlarda bile, kısa süreli K-Bus yoğunlukları, modül işlemcisindeki tampon bölgeyi doldurarak veri kaybına sebep olabilir.

6.4.2 Genel Amaçlı Giriş Çıkış

Bu modda modül üzerinde bulunan sayısal ve analog giriş ve çıkışlara ve seri iletişim kanallarına K-Bus üzerinden ulaşılabilmesine izin verilmektedir. Bu modda standart parametre yoktur. *P17* ve *P16* anahtarları işlemcinin 1 ve 2 numaralı seri iletişim kanallarını NMEA 0183 standardı veya K-Bus köprüsü olarak tanımlamak için kullanılmaktadır. Tablo 6.7’de bu modda *P17* ve *P16* anahtarlarının ayarları gösterilmiştir. Seri iletişim kanallarında K-Bus köprüsü veya NMEA 0183 standardı haricinde bir iletişim protokolü kullanılmak istenirse, bu seri iletişim kanalını kullanmak isteyen modül, seri iletişim kanalının bulunduran genel amaçlı giriş/çıkış modülüne K-Bus üzerinden ulaşarak seri iletişim protokolünü serbest olarak ayarlayabilir.

Tablo 6.7: K-Bus köprüsü veya NMEA 0183 seçimi

P17	P16	Seri İletişim Kanalı 2	Seri İletişim Kanalı 1
0	0	K-Bus köprüsü	K-Bus köprüsü
0	1	K-Bus köprüsü	NMEA 0183 standardı
1	0	NMEA 0183 standardı	K-Bus köprüsü
1	1	NMEA 0183 standardı	NMEA 0183 standardı

K-Bus köprüsü durumunda paket tanımlaması Veri Yolu – Yazılım Modeli bölümünde verilmiştir.

Tablo 6.8: Modül veri numaraları atamaları

No	Ad	Kon	No	Ad	Kon	No	Ad	Kon	No	Ad	Kon
101	P86	J5-1	117	PB3	J3-4	133	PA0	J3-20	149	P61	J1-6
102	P83	J5-2	118	PB4	J3-5	134	PA1	J3-21	150	P60	J1-7
103	P82	J5-3	119	PB5	J3-6	135	PA2	J3-22	151	P47	J8-1
104	P81	J5-4	120	P20	J3-7	136	PA3	J3-23	152	P46	J8-2
105	P80	J5-5	121	P21	J3-8	137	P93	J3-24	153	P77	J8-3
106	PB0	J5-6	122	P22	J3-9	138	PA4	J3-25	154	P76	J8-4
107	PB1	J5-7	123	P23	J3-10	139	PA5	J3-26	155	P75	J8-5
108	P37	J5-8	124	P24	J3-11	140	P94	J3-27	156	P74	J8-6
109	P36	J5-9	125	P26	J3-12	141	P95	J3-28	157	P73	J8-7
110	P35	J5-10	126	P27	J3-13	142	P97	J3-29	158	P72	J8-8
111	P34	J5-11	127	PB6	J3-14	143	P52	J3-30	159	P71	J8-9
112	P33	J5-12	128	PB7	J3-15	144	P65	J1-1	160	P70	J8-10
113	P32	J5-13	129	P45	J3-16	145	P64	J1-2	161	P25	J8-11
114	P31	J3-1	130	P44	J3-17	146	P63	J1-3			

115	P30	J3-2	131	P43	J3-18	147	P62	J1-4
116	PB2	J3-3	132	P42	J3-19	148	P66	J1-5

İşlemci üzerinde bulunan giriş/çıkış bacaklarına atanan bit tipi modül veri numaraları Tablo 6.8’de gösterilmiştir.

Bu tabloda *No* kolonu atanan modül veri numarasını, *Kon* kolonu modül üzerinde sinyalin bağlı olduğu konektörü ve konektörün bacak numarasını, *Ad* kolonu ise sinyalin işlemci üzerindeki adını belirtmektedir. Tablo 6.8’de, modül üzerinde bulunan, K-Bus üzerinden ulaşılabilecek tüm sayısal ve analog giriş ve çıkışlar belirtilmiştir. Modül açıldığında tüm modül verilerinin veri tipleri “Bit” ve giriş/çıkış seçimi “Giriş” olacaktır. Çalışma sırasında P75, P74, P73, P72, P71 ve P70 haricindeki tüm modül verileri giriş veya çıkış olarak seçilebilir, bu modül verileri sadece giriş olabilmektedir. Ayrıca, P75, P74, P73, P72, P71 ve P70 adlı modül verileri için veri tipleri “Analog” olarak seçilebilir. P46, P47, P76 ve P77 adlı modül verilerinde, giriş çıkış seçimi “Çıkış” seçildiği durumda, veri tipi “Analog” olarak seçilebilir. P76 ve P77 adlı modül verilerinde “Bit” veri tipi için “Giriş” seçimi yapılamaz.

Tablo 6.9: Bayt modül verileri için modül veri numaraları atamaları

<u>No</u>	Bit							
	<u>7</u>	<u>6</u>	<u>5</u>	<u>4</u>	<u>3</u>	<u>2</u>	<u>1</u>	<u>0</u>
11	P17	P16	P15	P14	P13	P12	P11	P10
12	P27	P26	P25	P24	P23	P22	P21	P20
13	P37	P36	P35	P34	P33	P32	P31	P30
14	-	-	P45	P44	P43	P42	-	-
15	-	-	P52	-	-	-	-	-
16	P67	P66	P65	P64	P63	P62	P61	P60
17	P77	P76	P75	P74	P73	P72	P71	P70
18	-	P86	-	-	P83	P82	P81	P80
19	P97	-	P95	P94	P93	-	-	-
20	-	-	PA5	PA4	PA3	PA2	PA1	PA0
21	PB7	PB6	PB5	PB4	PB3	PB2	PB1	PB0

Tablo 6.9’da “Bayt” tipi modül verileri gösterilmiştir. Bu tabloda *No* kolonu modül veri numarasını, *Bit* kolonları modül verisinin karşılık gelen biti ile ulaşılabilecek sinyalin işlemci ismini göstermektedir. Burada gösterilen her modül verisi sayısal giriş veya çıkıştan oluşmaktadır. Bazı alanlar işlemci üzerinde tanımlı olmadıklarından dolayı veya modül üzerinde atanmış amaçlarla kullanıldıklarında dolayı boş bırakılmışlardır. Bu modül verileri K-bus üzerinden okunurken modül verisi üzerinde bulunan sinyallerden “Çıkış” olarak veya “Analog” veri tipi olarak seçilmiş olan sinyallerin

değerleri manasız olacaktır. Benzer şekilde bu modül verilerine K-Bus üzerinden yazma yapılırken “Giriş” olarak veya “Analog” veri tipi olarak seçilmiş olan sinyallere yapılan yazma işlemi modül tarafından dikkate alınmayacaktır.

Tablo 6.10: Seri iletişim kanallarına ait modül veri numaraları

No	Veri Tipi	Açıklama
201	serial	1 nolu seri iletişim kanalı
202	serial	2 nolu seri iletişim kanalı

Modül üzerinde, K-Bus seri iletişim kanalı haricinde, iki adet seri iletişim kanalı bulunmaktadır. Bu seri iletişim kanallarının modül veri numaraları Tablo 6.10’da verilmiştir. Veri Yolu – Yazılım Modeli bölümünde verilen yöntemler kullanılarak, bu kanallara bağlı olan NMEA 0183 uyumlu cihazlara veya diğer K-bus modüllerine erişebilmek mümkündür. Bu iki seri iletişim kanalının her biri modül üzerinde bulunan anahtarlar kullanılarak K-Bus köprüsü veya NMEA 0183 kanalı olarak ayarlanabilmektedir. Bu ayarlar açılış değerleridir, çalışma sırasında seri iletişim kanallarının veri tipleri değiştirilebilir.

6.4.3 Ölçüm ve Tahrik Bilgisayarı

Modülün ölçüm ve tahrik bilgisayarı modu genel amaçlı giriş çıkış moduna benzemektedir. Modül ölçüm ve tahrik bilgisayarı modunda iken P17 ve P16 anahtarlarının manası değişmekte ve bazı modül giriş ve çıkışlarına standart parametre atamaları yapılmaktadır.

Tablo 6.11: Ölçüm ve tahrik bilgisayarı modunda P17 ve P16 ayarları

P17	P16	Standart Veriler
0	0	Tüm standart veriler kapalı
0	1	Ölçüm standart verileri açık, diğerleri kapalı
1	0	Tahrik standart verileri açık, diğerleri kapalı
1	1	Tüm standart veriler açık

Standart verilerin bağlandığı modül noktaları Tablo 6.12’de gösterilmiştir. Bu tabloda *SNo* kolonu standart veri numarasını, *Bağlantı* kolonu işlemci üzerinde fiziksel bağlantı noktası ismini göstermektedir.

P16 ve P17 anahtarlarının yeni anlamları Tablo 6.11’de verilmiştir.

Bu tasarımda yakıt ve pil sensörleri işlemci üzerinde düşük çözünürlüğe sahip analog girişlere bağlanmıştır. Diğer analog girişlerde çözünürlük

$$n_{ADC} = 10 \text{ bit} \quad (6.6)$$

olarak verilmiştir. Bu durumda analog girişlerde veri kademesi

$$N_{ADC} = 2^{n_{ADC}} = 2^{10} = 1024 \quad (6.7)$$

olmaktadır.

Tablo 6.12: Ölçüm ve tahrik bilgisayarı standart veri atamaları

SNo	Bağlantı	Açıklama
4001	P46	Eleron açısı çıkışı.
4002	P47	Dümen açısı çıkışı.
4003	P76	Elevatör açısı çıkışı.
4004	P77	Motor devri çıkışı.
3007	P70	Hava hızı göstereci.
3008	P71	Barometrik altimetre.
3009	P72	Hücum açısı.
3001	P73	Eleron sensörü.
3002	P74	Dümen sensörü.
3003	P75	Elevatör sensörü.
3006	CIN8	Pil sensörü.
3005	CIN9	Yakıt sensörü.
2001	Seri kanal 1	Manyetik pusula ölçüm değeri.
2002	Seri kanal 1	Jiroskoptan elde edilen yunus açısı ölçümü.
2003	Seri kanal 1	Jiroskoptan elde edilen yalpa açısı ölçümü.
2004	Seri kanal 1	Jiroskoptan elde edilen sapma açısı ölçümü.
1001	Seri kanal 2	GPS'den elde edilen "GPGGA" cümlesi.
1101	Seri kanal 2	Enlem.
1102	Seri kanal 2	Boylam.
1103	Seri kanal 2	Ortalama deniz seviyesinden yükseklik
1104	Seri kanal 2	Jeodal yükseklik.
1105	Seri kanal 2	Gerçek doğu hızı
1106	Seri kanal 2	Gerçek kuzey hızı
1107	Seri kanal 2	Gerçek yukarı hızı
1108	Seri kanal 2	GPS kalitesi

Seri kanal 1'e Crossbow firmasının HDX-AHRSCA400-100 modeli veya benzeri bir cihazın takılacağı kabul edilmektedir. Bu cihaz durum ölçme cihazıdır. Cihaz içerisinde yarı iletken bir jiroskop ve bir manyetik pusula bulunmaktadır. Bu tip jiroskoplar lazer ışınları ve hassas ölçüm teknikleri kullanarak durum bilgisini elde edebilmektedirler [32]. Cihazdan elde edilen yönelme açısı bilgisi mutlak bir veridir, yunus ve yalpa

açılar bilgileri ise bağıl verilerdir. Cihazın ölçme verileri analog olarak veya seri iletişim kanalı ile okunabilmektedir. Bu çalışmadaki tasarımda seri iletişim kanalı tercih edilmiştir. Jiroskoptan seri iletişim kanalı ile okunan ölçüm bilgilerine, standart veri olarak K-Bus üzerinden erişilebilmektedir.

Kullanılan durum ölçme cihazının ölçme toleransları belirlidir. Yönelme açısının en kötü durumda dinamik doğruluğu ± 5 derecedir. Yunus ve yalpa açılarının en kötü durum için verilen dinamik doğruluk değerleri ± 2 derecedir. Statik doğruluk değerleri ise yönelme açısı için ± 1.5 derece, yunus ve yalpa açıları için ise ± 0.5 derece olarak verilmiştir. Bu değerler referans tasarım için amaçlanan hedefleri gerçekleştirecek hassaslıkları sağlamaktadırlar. Daha yüksek hassaslıkların farklı yöntemlerle elde edilmesi mümkündür [34].

Tasarlanan ölçüm ve tahrik bilgisayarında seri kanal 2'ye NMEA 0183 standardı ile uyumlu bir GPS cihazı bağlanması gerekmektedir. Bu tip cihazlar konum, hız, zaman, alıcı ve uydu durumları, geometri ve hata tahminleri ve benzeri verileri sağlayabilme kabiliyetine sahiptir. Ancak bu tasarımda sadece konum, hız ve zaman bilgilerine ihtiyaç duyulduğundan dolayı sadece bu veriler için modül üzerinde standart veri numarası belirlenmiştir. Dolayısı ile K-Bus üzerinden sadece bu verilere ulaşılabilir.

GPS cihazından elde edilen konum verilerinin hassaslığı çok farklı olabilmektedir. Cihazın ve kullanılan bölgenin özelliklerine bağlı olarak hassaslık değeri 5 metre ile 100 metre arasında değişebilmektedir. Genel olarak DGPS (differential global positioning system) yayınlarının aktif olduğu bölgelerde 5 metreye kadar hassaslık elde edilebilmekte, bu yayının aktif olmadığı bölgelerde hassaslık 15 metreye kadar düşebilmektedir. GPS uydularını işleten kurum dünyanın bazı bölgelerine yaptığı yayınlarda kasıtlı olarak bozuntular eklediğinden dolayı bu bölgelerde hassaslık zamanın %95'inde 100 metreye kadar %5'inde ise 300 metreye kadar düşmektedir. Bu cihazdan elde edilecek en kötü hassaslıktaki mutlak konum bilgisi hedeflenen İHA ve görev için yeterlidir.

GPS ve durum ölçme cihazları verilerini periyodik olarak üzerlerinde bulunan seri kanal vasıtası ile aktarmak üzere programlanabilmektedir. GPS cihazı her 1 saniyede verilerini güncelleyerek modüle aktarmak üzere programlanabilmekte iken, durum ölçme cihazında bu hız saniyede 60 kereye kadar çıkabilmektedir. Bu veriler modül ayarlarına göre K-Bus'a periyodik olarak veya istenildiği durumda aktarılabilir.

6.4.4 Haberleşme ve Yük Bilgisayarı

Bu bölümde tasarlanan modül, haberleşme ve yük bilgisayarı modunda çalışırken, 1 numaralı seri iletişim kanalına sayısal radyo alıcı verici, 2 numaralı seri iletişim kanalına ise yük bağlanmalıdır. Bu seri iletişim kanallarına ait modül veri numaraları, modülün bu modunda Tablo 6.10’da verildiği gibi kullanılmıştır.

Tablo 6.13: 201 numaralı modül verisinin yazma opsiyonları.

oN	Açıklama
1	Çözünürlük ve resim kalitesi ayarı. Bir bayt parametresi mevcut. Parametre anlamları: 0 En yüksek çözünürlük ve kalite. 1 1600x1400 çözünürlükte yüksek kalite. 2 1600x1400 çözünürlükte normal kalite. 3 1024x768 çözünürlükte yüksek kalite. 4 1024x768 çözünürlükte normal kalite. 5 800x600 çözünürlükte normal kalite. 6 640x480 çözünürlükte normal kalite. 7 320x200 çözünürlükte normal kalite
2	Yakınlaştırma ayarı. Bir bayt parametresi mevcut. Parametre anlamları: 0 Optik olarak en çok yakınlaştırılmış fotoğraf. 1 En geniş açılı fotoğraf. 2..255 Yakınlaştırma çarpanı.
3	Fotoğraf çek komutu. Bir bayt parametresi mevcut. Parametre anlamları: 0 Hemen görüntü kaydet. 1 İlk GPS yayını görüntü kaydet.
100	İşlem yok. Parametresi yok.

Referans tasarımın amacı hava fotoğrafları çekmek olarak belirlenmişti. Bu amacı gerçekleştirmek üzere İHA üzerinde bir adet sayısal fotoğraf makinesi olması gerekmektedir. Sayısal fotoğraf makinesi, yakınlaştırma, fotoğraf çözünürlüğü ve fotoğraf kalitesi gibi ayarların yapılabileceği ve fotoğraf çekme komutlarının uygulanabileceği bir seri iletişim kanalı olan bir model olmalıdır. Bu tip makineler çeşitli üreticiler tarafından yaygın olarak üretilmektedir.

K-Bus üzerinden fotoğraf makinesine *out2* komutu ile yazılabilecek parametrelerin ve komutların tanımları Tablo 6.13’de verilmiştir. Tablo 6.13’de *oN* kolonu *out2* komutunda opsiyon numarasını göstermektedir. Bu tabloda *Açıklama* kolonunda opsiyonların ve opsiyon parametrelerinin açıklamaları yapılmaktadır.

Bu çalışmada İHA için tanımlanan görevin doğru olarak gerçekleştirilebilmesi için görüntü ile birlikte görüntünün kaydedildiği zamanın ve koordinatların da kaydedilmesi gerekmektedir. Modül her fotoğraf çekme işlemini gerçekleştirirken, GPS modülünden yapılmış son yayını ve İHA durum verileri olan yönelme, yunus ve yalpa açılarını da fotoğraf numarası ile ilişkilendirerek tutacaktır. GPS modülü normal şartlar altında yaklaşık olarak saniyede bir kere yayın yapmakta olduğundan dolayı, görüntü ile ilişkilendirilmiş zaman verilerinde bir saniyeye varan hatalar oluşabilecektir. Ayrıca İHA hareket halinde olduğundan dolayı fotoğrafa ait GPS verilerinde de İHA hızına ve zaman gecikmesine bağlı konum hataları oluşacaktır.

En kötü zaman hatasını yaklaşık olarak

$$T_{FHE} \approx 1 \text{ saniye} \quad (6.8)$$

kabul edersek, İHA'nın fotoğraf çekme sırasında bulunduğu seyir hızına bağlı olarak, en kötü konum hatası

$$P_{FHE} = V_F \cdot T_{FHE} \quad (6.9)$$

olarak elde edilir. Burada V_F , İHA'nın yer hızıdır. Fotoğraf çekme sırasında İHA yer hızının

$$V_{FMax} \leq 30 \text{ m/saniye} = 108 \text{ km/saat} \quad (6.10)$$

ile sınırlı olacağını düşünürsek, bu hızda oluşabilecek en kötü konum hatası

$$P_{FHEM} = V_{FMax} \cdot T_{FHE} = 30 \cdot 1 = 30 \text{ m} \quad (6.11)$$

olarak bulunur. Alçak uçuş durumlarında yüksek yakınlaştırmalı fotoğraf çekimleri sırasında bu hata önemli olabilir.

Bu hataları mümkün olduğunca küçük tutabilmek için bir sonraki GPS verisini bekleyerek fotoğraf çekme özelliği tanımlanmıştır. Bu komut GPS verisi gelmeye başladığı anda fotoğraf makinesine görüntüyü kaydet komutunu üretecektir. Bu yöntemle, zamanda oluşacak hata K-Bus gecikmeleri mertebelerine indirilmiş olacaktır. K-Bus üzerinde GPS modülüne yüksek öncelik tanınırsa, GPS modülü verisi en fazla bir K-bus paketi kadar gecikebilir. En uzun K-Bus paketi boyu 261 bayt, her bayt 10 bit ve K-Bus bit hızı 500,000 bit/saniye olarak verildiğine göre en kötü durumda gecikme

$$T_{FG} = 261 \cdot 10 \cdot \frac{1}{500,000} = 0.00522 \text{ saniye} = 5.22 \text{ ms} \quad (6.12)$$

olarak hesaplanır. Diğer kaynaklardan gelen belirsizlikler olacağı da düşünülerek, zaman üzerindeki toleransı, yaklaşık olarak,

$$T_{FGT} \leq 10 \text{ ms} \quad (6.13)$$

mertebesinde sınırlamak mümkün olacaktır. Bu şekilde, 1 saniye zaman toleransı ile karşılaştırıldığında, zaman ve konum verilerinde 100 kat daha kesin sonuçlar elde etmek mümkün olacaktır. Bu durumda konum hatası

$$P_{FT} = V_{FM_{max}} \cdot T_{FGT} = 30 \cdot 0.01 = 0.3 \text{ m} \quad (6.14)$$

şeklinde bulunur.

Ana kontrol bilgisayarının fotoğraf çekmek için üreteceği komuta bir örnek Şekil 6.4'de verilmiştir.

Bayt	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Sembol	SID	RID	CMD	LEN	DTA			CSM	EOF
Değer	100	101	20	3	201	3	1	173	26

Şekil 6.4: Örnek fotoğraf çekme komutu.

Verilen örnek fotoğraf çekme komutu 9 bayt uzunluğundadır. Bu örnek komutta sıfıncı bayt komutu yollayan modülün, birinci bayt ise fotoğraf makinesinin bağlandığı modülün K-Bus adresidir. Komutu yollayan ve fotoğraf makinesinin bağlı olduğu modülün K-Bus adreslerinin, sırası ile 100 ve 101 oldukları kabul edilmiştir. *CMD* alanında komut kodu bulunmaktadır. Burada bulunan 20 kodlu komut K-bus komutlarında *write2* komutuna karşılık gelmektedir. *LEN* alanının değeri, *DTA* alanının bayt uzunluğu olan 3'dür. Bu modüle *write2* komutu yollandığından dolayı, *DTA* alanının ilk baytı modül veri numarasını belirtmektedir. Bu modül tasarımında 201 seri iletişim kanalı 1'e karşılık gelmektedir ve bu kanala bir fotoğraf makinesi bağlanmış olmalıdır. Bu seri kanalın tasarımında opsiyon numaraları tanımlanmıştır ve *DTA* alanının ikinci baytının değeri olan 3 görüntü kaydetme komutuna karşılık gelmektedir. Görüntü kaydetme komutunun bir bayt uzunluğunda bir parametresi vardır. Bu parametre *DTA* alanının üçüncü baytındadır. Bu parametrenin değeri olan 1, fotoğraf makinesinin bir sonraki GPS modülü yayını sırasında görüntü kaydetmesini

sağlamaktadır. *CSM* alanı, K-Bus paketinin bozulmadan iletildiğinin sağlamasını yapmak üzere eklenen toplam kontrolü baytıdır. *CSM* baytı

$$\begin{aligned}
 CSM &= \left[SID + RID + CMD + LEN + \sum_{i=4}^{LEN+3} DTA_i \right] \text{ mod } 256 \\
 &= [100 + 101 + 81 + 3 + 201 + 3 + 1] \text{ mod } 256 \\
 &= 490 \text{ mod } 256 = 234
 \end{aligned}
 \tag{6.15}$$

şeklinde hesaplanmıştır. (6.15)'de kullanılan *mod* operatörü, sol tarafındaki sayının sağ tarafındaki sayıya tam sayı olarak bölünmesinden kalan değeri ifade etmektedir. Şekil 6.4'de verilen örnekte, K-Bus komutunda son baytın değeri, paket sonunu belirten 26'dır.

Modül her fotoğraf makinesi komutunu bir önceki bittikten sonra işleyecektir. Yakınlaştırma işlemi, fotoğraf makinesi üzerinde vakit alacak bir işlemdir. Bu işlem bitmeden K-Bus üzerinden başka bir komut gelirse modül bu komutu bekletecektir.

Bu modülde, fotoğraf makinesi modül verisine *write* komutu ile yazma yapılırsa, modül “*nak*” cevabı üretecektir.

201 numaralı modül verisinden *read2* K-Bus komutu ile okunabilecek veriler Tablo 6.14'de verilmiştir.

K-Bus üzerinden, yük modülünden okuma yapmak için örnek bir komut Şekil 6.5'de verilmiştir.

Tablo 6.14: 201 numaralı modül verisinin okuma opsiyonları.

oN	Açıklama
4	Fotoğrafın GPS ve durum bilgilerini oku. Bir bayt parametresi mevcut. Parametre anlamları: 1..255 Fotoğraf numarası.
6	Son çekilen fotoğraf numarasını oku. Parametresi yok.

Bayt	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Sembol	SID	RID	CMD	LEN	DTA			CSM	EOF
Değer	100	101	4	3	201	4	3	160	26

Şekil 6.5: Örnek bir K-Bus read2 komutu

Bayt	0	1	2	3	4	5	6	7	...	65	66	67
Sembol	SID	RID	CMD	LEN	DTA						CSM	EOF
Değer	101	100	36	62	201	4	3	49	...	50		26

Şekil 6.6: Örnek bir K-Bus dta2 komutu

Daha önceki örneğe benzer şekilde, Şekil 6.5’de de, K-Bus adresi 100 olan modül, fotoğraf makinesinin bağlandığı modülden opsiyonlu bir veri istemek üzere *read2* komutunu üretmektedir. Fotoğraf makinesinin bağlandığı modülün K-Bus adresi 101 kabul edilmiştir. Okunmak istenen veri, *DTA* alanında, 201 nolu modül verisinin 4 numaralı opsiyonu olarak verilmiştir ve bu opsiyonda 3 numaralı parametre kullanılmıştır. Bu modülün tasarımında, Tablo6.10’da verildiği üzere, 201 numaralı modül verisi fotoğraf makinesi anlamına gelmektedir. Tablo 6.14’de, 201 numaralı modül verisinde 4 numaralı opsiyonunun, parametre alanında verilen fotoğraf numarasına ait GPS ve durum verilerini okumaya karşılık geldiği görülmektedir. Şekil 6.5’de verilen örnek K-Bus paketi içerisinde parametre olarak verilen değer 3’dür. *CSM* alanı, daha önce olduğu gibi, K-Bus paketindeki 0’dan 8’inci bayta kadar olan baytların 256 tabanındaki toplamı olarak hesaplanmıştır. Paket sonu işareti paketin son baytına yazılmıştır.

Örnek tasarım olarak verilen haberleşme ve yük bilgisayarının Şekil 6.5’te gösterilen *read2* komutuna vereceği cevap için bir örnek Şekil 6.6’da verilmiştir. Şekil 6.6’da gösterilen örnek K-Bus paketinde, K-Bus adresi 101 olan modülden, K-Bus adresi 100 olan modüle bir veri aktarılmaktadır. Bu paket içerisinde *DTA* alanı 62 bayt uzunluğundadır. K-bus paketini yollayan modülün 201 numaralı modül verisinin 4 numaralı opsiyonu yollanmaktadır. Bu opsiyonun parametresi 3’tür. K-Bus paketi içerisinde 7. bayt ile 65. bayt arasındaki tüm baytlar, yollanan karakter dizisinin ASCII olarak karşılığıdır. Yollanan ASCII dizisi

$$A_{R2} = "140201,143 543,4116.6 545, N,2905.450 0, E,500.7,60 .2,-0.1,0. 0,2" \quad (6.16)$$

olarak kabul edilmiştir. Şekil 6.6’da bu karakter dizisinin sadece ilk ve son karakterlerinin değerleri görülmektedir. Şekil 6.6’da görülen K-Bus paketinin 7. baytının değeri olan 49 “1” karakterinin, 65. baytının değeri olan 50 ise “2” karakterinin ASCII değerleridir. Bu karakterler yollanan ASCII karakter dizisinin, sırasıyla, ilk ve son karakterleridir. Şekil boyunu çok uzatmamak için, tüm karakter dizisi şekilde

gösterilmemiştir. CSM alanının değeri Şekil 6.6'da belirtilmemiştir. Bu alan, K-Bus paketini yollayan modül tarafından hesaplanacaktır.

Yollanan karakter dizisinden, fotoğrafın 14 Şubat 2001 tarihinde, saat 14:35:43'de, 41 derece 16.6545 dakika kuzey enleminde ve 29 derece 5.45 dakika doğu boylamında, ortalama deniz seviyesinden 500.2 metre yükseklikte, İHA'nın yönelmesi manyetik kuzey ile 60.2 derecelik bir açı yaparken, İHA'nın yunus açısı -0.1 derece, yalpa açısı 0 derece iken çekildiği, GPS verilerinin DGPS hassasiyetinde olduğu anlaşılmaktadır.

Referans tasarımda İHA ile yer kontrol merkezi arasındaki haberleşme kanalı tektir. Bu haberleşme bir RF (Radio Frequency) iletişim cihazı ile sağlanmaktadır. Modül üzerinde bulunan yazılım RF iletişim cihazından gelen komutları tanıyarak K-Bus formatına çevirecek ve K-Bus üzerinden RF iletişim cihazına gönderilen komutları da çözerek, bu cihazın algılayacağı biçime dönüştürecek ve seri iletişim kanalından yollayacaktır. Bu modülün haberleşme yazılımı, Tablo 5.10'da gösterilen 6001, 6002, 6003, 6004, 6005, 6006 ve 6007 numaralı standart verileri K-Bus üzerinde temin etmek ile yükümlüdür.

6.5 Ana Kontrol Bilgisayarı Donanımı Tasarımı

Referans tasarımda gerçekleştirilen İHA üzerinde aşağıda verilen fonksiyonları gerçekleştirecek bir modül tasarlanması gerekmektedir.

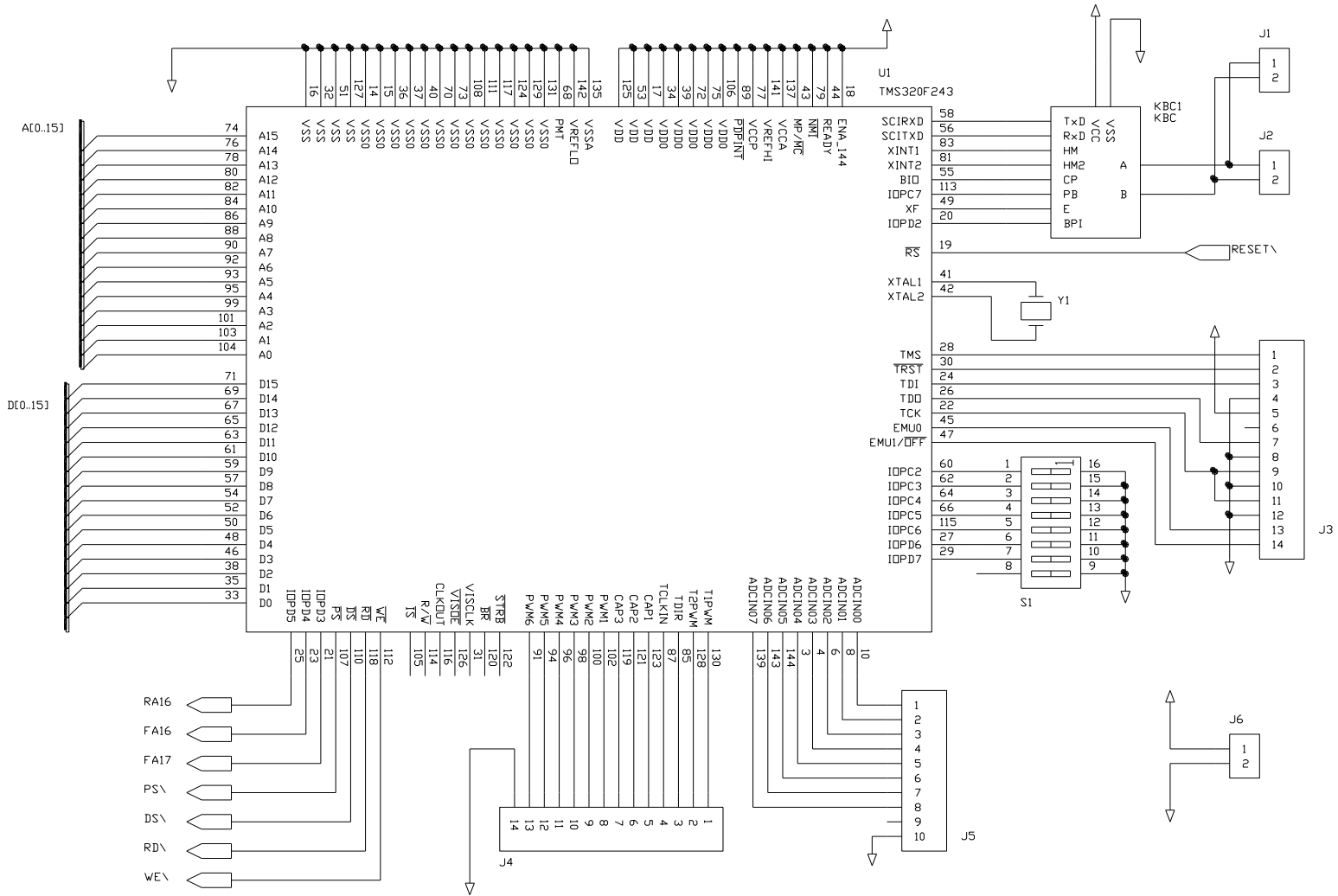
- Yer istasyonundan gelen komutları yorumlamak;
- Görev programını yorumlamak;
- Düz uçuş ve manevra için İHA'nın kontrol yüzeylerine kumanda etmek;
- Yük bilgisayarına görüntü kaydetme komutları yollamak.

Verilen fonksiyonların gerçekleştirilebilmesi için, ölçme, tahrik, haberleşme ve yük bilgisayarından daha yüksek işlemci hızına ve daha fazla hafıza kapasitesine sahip bir modüle ihtiyaç vardır.

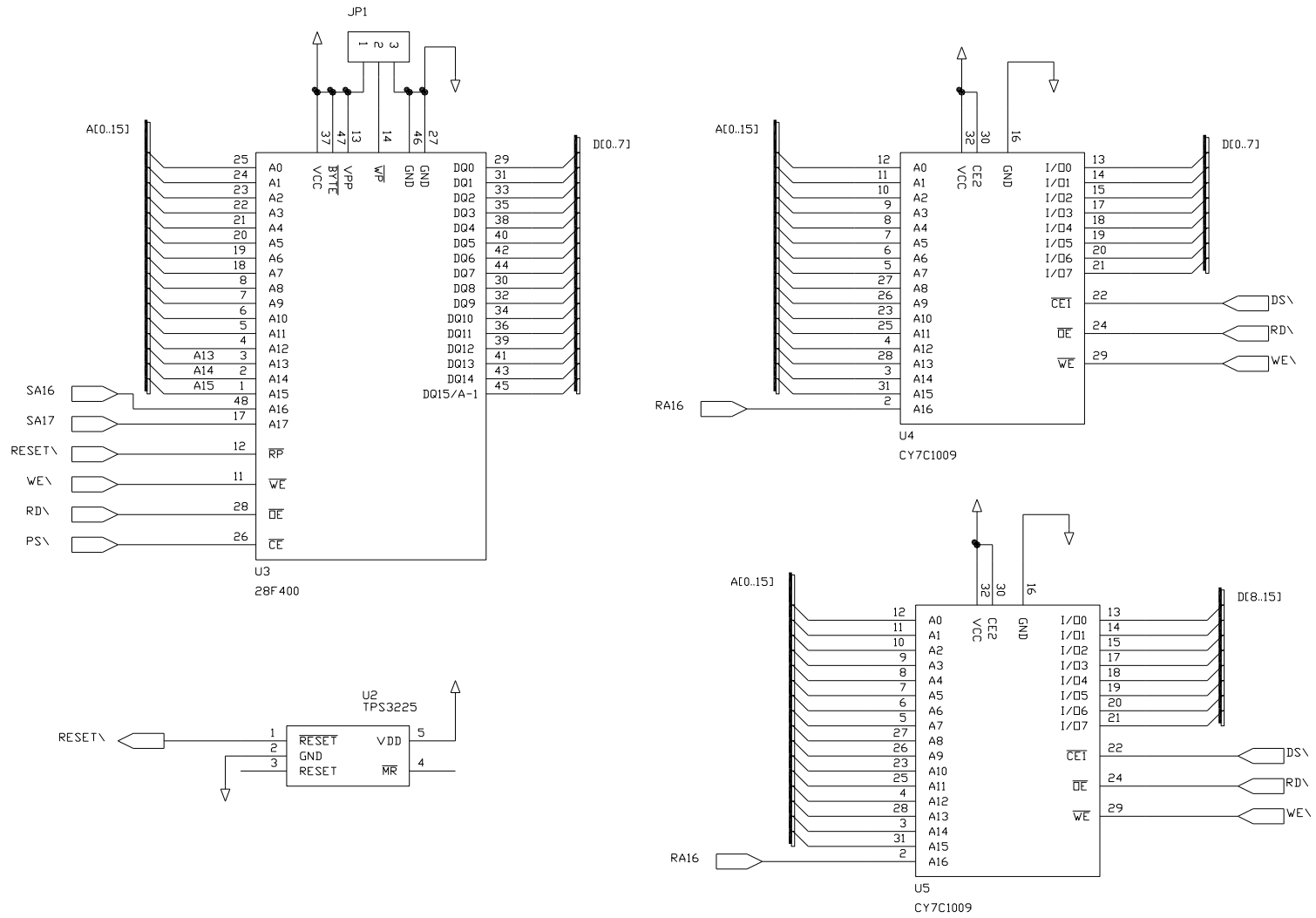
Ana kontrol bilgisayarını gerçekleştirebilmek için, Texas Instruments firmasının, TMS320F243 kodlu, sayısal işaret işlemci tipindeki işlemcisi çevresinde bir K-Bus modülü tasarlanmıştır. Modülün hafıza kabiliyeti, 512 KBayt kapasitesinde Flash tipi ve 256 KBayt kapasitesinde RAM tipi hafıza entegreleri eklenerek arttırılmıştır.

Ana kontrol bilgisayarı referans tasarımı Şekil 6.7 ve Şekil 6.8'de verilmiştir. Bu tasarımda kullanılan malzeme listesi Tablo A.3'de bulunmaktadır.

Verilen tasarımda, işlemci ile *KBC* arasındaki tüm işlemci girişlerini kesme üretme kabiliyetine sahip girişlere bağlamak mümkün olmamıştır. Kesme üreten girişlere bağlanamayan sinyaller *CP* ve *PB* sinyalleridir. *PB* sinyalinin kesme yaratmasına gerek yoktur. *CP* sinyalinin, işlemci K-Bus'a yeni bir bayt transfer etmeye girişmeden hemen önce kontrol edilmesi yeterlidir. Bu yüzden bu sinyalin kesme üretmemesi, kesmeye dayalı programlama yöntemi ile K-Bus fonksiyonlarının gerçekleştirilmesine engel olmayacaktır.



Şekil 6.7: Referans tasarımın işlemci kısmı



Şekil 6.8: Referans tasarım harici hafıza kısmı

7. SONUÇLAR

İHA'ların kullanımı gittikçe yaygınlaşmaktadır. Sivil amaçlı İHA'lar üzerinde kullanılan borda bilgisayarı mimarilerinin standartlaşması bu gelişmenin sürekliliği için önemlidir.

Bu çalışmada, İHA'lar üzerinde kullanılması amaçlanan, seri iletişim veri yolu çevresinde kurulmuş bir kontrol sistemi mimarisi önerildi. Çalışma içerisindeki tüm sonuçlar hesaplama ile elde edildi, ölçüm sonuçları kullanılmadı. Önerilen mimarinin oluşturulmasında, endüstriyel alanda, uzun süre kullanım sonucu güvenilirliği kanıtlanmış seri iletişim veri yollarına ait donanım ve yazılım özellikleri kullanılmıştır.

Kapalı çevrim kontrol sistemleri, en genel halde, algılayıcı bilgilerini okuyarak işlemekte ve tahrik bilgilerini oluşturmaktadır. Bu çalışmada odak noktası böyle bir kontrol sistemini modüler olarak gerçekleştirebilmek için bir ağ mimarisi tasarımı yapmak olmuştur.

Önerilen ağ mimarisinin önemli özellikleri şunlardır:

- Modüler
- Gerçek zamanlı
- Ölçeklenebilir
- Hızlı (bağıl olarak)
- Temel büyüklüklere kolay erişim

Önerilen mimarinin kısıtlamaları ise aşağıdaki şekildedir:

- Bir ağda en fazla 224 modül olabilir
- Her modülde en fazla 256 adet veri olabilir
- 500KHz K-Bus hızı (50 KBayt / saniye)
- En kısa paket boyu 6 bayt
- En uzun paket boyu 261 bayt (Blok veri transferi haricinde)
- En fazla 15 adet veri grubu (bloğu) adresi desteklenmektedir

Önerilen donanımın elektromanyetik özellikleri bu çalışmada incelenmemiştir. Bu çalışma sonrasında elde edilen bilgilerin hayata geçirilmesi sırasında elektromanyetik özellikler deneysel olarak gözlemlenmelidir. Bu deney sonuçlarına göre gerekirse elektromanyetik özellikler değiştirilebilir.

Günümüzde önerilen ağ mimarisine yakın bir çok gerçek zamanlı ağ bulunmaktadır. K-Bus'ın önemli özellikleri ile CAN ve Profibus'ın karşılaştırılması aşağıda gerçekleştirilmektedir. Profibus'ın değişik standartları bulunmaktadır. Aşağıdaki karşılaştırmalarda Profibus-DP kullanılmıştır.

a) Modüller: Ağ çevresinde kontrol sistemi gerçekleştirmenin en önemli gerekliliklerinden birisi kontrol sistemi elemanlarını modüller halinde tasarlayabilmektir. Modüler kontrol sistemlerini destekleme açısından K-Bus, Profibus ve CAN arasında fark bulunmamaktadır.

Önerilen mimarinin kullanılması sonucunda, kontrol sistemi modüller halinde kurulabilecektir. Modüler yapı sayesinde, modüller üzerinde değişiklik, geliştirme veya hata giderilmesi işlemleri veya kontrol sistemine yeni modül eklenmesi işlemi sırasında tüm kontrol sistemi üzerinde değişiklik yapılmasına gerek olmayacaktır. Bu özellik CAN ve Profibus gibi kontrol sistemleri içinde geçerlidir ve bu tip mimarilerin yaygın olarak kabul görmesinin önemli nedenlerinden birisidir.

b) Gerçek Zamanlı: Dağınık ağların gerçek zamanlı özelliklerine katkı sağlayan birçok faktör bulunmaktadır [35]. Bu bölümde ağ erişimi sırasında önceliğin belirlenmesi ve ayrı veriye ulaşma özellikleri karşılaştırılmıştır.

Bir modülün ağ üzerindeki başka modüllerden veri okuması, ayrı veri okuma olarak adlandırılmaktadır. Profibus standardı, jeton sistemini kullanmakta ve uzaktan veri okunması sırasında ağı kilitleme kabiliyetine sahip bulunmamaktadır [35].

CAN standardı, tek bir ağ paketi içerisinde uzaktan bir modülden veri okunmasını sağlamaktadır [7]. Fakat tek bir ağ paketi içerisinde birden çok modülden veri okunmasına izin vermemektedir.

Bu çalışmada önerilen K-Bus, bir ağ paketi içerisinde bir veya birden çok modülden veri okunmasına imkân sağlamaktadır. Bir ağ paketi içerisinde birden çok ayrı modülden veri okuyabilme özelliği, literatür taramalarından gördüğümüz kadarı ile başka ağlarda yoktur.

Önerilen K-Bus, bir ağ paketi içerisinde birden çok modülde bulunan verilere farklı değerler yazabilmeye imkân tanımaktadır.

Algılayıcı verilerini okuyarak işleyen ve tahrik bilgilerini yazan bir kapalı çevrim kontrol sistemini göz önüne alalım. Önerilen K-Bus kullanılarak, her çevrim, iki ağ paketi ile gerçekleştirilebilecektir. Can ve Profibus kullanıldığında ise, her çevrimde, ağ paketlerinin sayısı giriş ve çıkış verilerinin toplamı ile orantılı olacaktır. Önerilen mimari, sadece ağ paketi sayısını azaltarak performans iyileştirmesi sağlamanın yanı sıra bu tip kapalı çevrim sistemlerine doğal olarak daha uygun bir ağ olmayı amaçlamaktadır.

Bir ağ çevrimi içerisinde birden çok modülde bulunan verilere erişim için donanım tabanlı iki adet dağınık kilit kullanılmıştır. Bu kilitlerin kullanılması ağın toplam bant genişliğinin kullanımını düşürmektedir. Bu kilitler tek modülde bulunan veriye ulaşılırken bile kullanıldıkları için, CAN ve Profibus'a göre bir dezavantajdır. K-Bus'ın tasarımı sırasında bu tek çevrim içerisinde ayrı modüllerde bulunan verilere ulaşabilmek bant genişliğini etkin kullanmaktan daha üstün tutulmuştur.

Gerçek zamanlı ağların önemli özelliklerinden birisi de çarpışma algılama kabiliyetleridir.

Profibus bir çok donanım seviyesi belirlemektedir. Fakat Profibus donanım seviyesinde çarpışma önleme için herhangi bir standart belirtmemektedir.

CAN donanım seviyesini net olarak tanımlamaktadır [7]. CAN'ın önemli özelliklerinde biri donanım seviyesinde ağ üzerinde oluşan çarpışmaları önleme kabiliyetine sahip olmasıdır. Önerilen mimari CAN standardında verilen çarpışma algılama ve önleme özelliklerini donanım olarak gerçekleştirmektedir.

K-Bus, tek bir ağ paketi içerisinde birçok modüle ulaşması haricinde gerçek zamanlı özellik olarak CAN'a çok yakındır. Profibus ise jeton tabanlı bir sistem kullanmaktadır. Uygulanan bir kontrol sisteminin gerçek zamanlı karakteristiklerinin analizi yapılmak istenildiği durumda, CAN'ın analizini yapmak, basit donanım seviyesi tasarımından dolayı Profibus'dan daha kolaydır [35].

Önerilen donanım modelinin belirleyici özellikleri önerilen sistemin tek çevrimde içerisinde okuma yapma kabiliyeti ve çarpışma önleme kabiliyeti olarak ortaya çıkmaktadır. Bu iki özellik aynı ağ içerisinde birden çok konuşucu modül olduğu durumda verilere erişim sırasında önceliklerin belirlenmesini sağlamaktadır. Bu sayede

daha düşük öncelikli cevaplayıcı modüller yüksek öncelikli konuşucu modülün başlattığı çevrim içerisinde verilerini iletebilmektedirler. Bu özelliğin gerçek zamanlı sistemlerde bir katkı sağladığı kanaatindeyiz.

c) Ölçeklenebilir: Modüler kontrol sistemlerinin önemli özelliklerinden birisi mimarinin belirli büyüklük aralığında genişlemeye imkân tanınmasıdır. Bu tüp sistemler sadece birkaç giriş çıkıştan oluşan küçük sistemlerde kullanılacakları gibi, yüzlerce veya daha fazla giriş çıkışı olan sistemlerde de kullanılabilir. Bu çalışma içerisinde, modül terimi ağ üzerinde bulunan ve bir adres atanmış donanım olarak tanımlanmaktadır. Tanımlanan protokol ile, ağ üzerinden her modülde en fazla 256 adet veri adresleme yapılabilir. Örneğin bir kontrol bilgisayarı üzerinde ağ üzerinden okunabilen veya yazılabilen bir veri bulunmaz iken, bir algılayıcı arabirimi modülü üzerinde ağ üzerinden 256'ya kadar veri adreslenebilir.

Profibus-DP ile en fazla 226 modül kullanılabilir. Her modül üzerinde en fazla 244 bayt giriş ve çıkış bulunabilir.

CAN, Profibus'tan farklı olarak, ağ üzerindeki verilere ulaşırken modül adresi mantığını kullanmamaktadır. CAN protokolünde, her ağ paketi bir mesaj olarak tanımlanmaktadır. CAN ile kurulan bir kontrol ağı üzerinde 2048 adet mesaj tanımlanabilir. Her mesaj boyu en fazla 8 bayt uzunluğunda olabilir.

Önerilen K-Bus mimarisi ile kurulan ağlarda en fazla 224 adet modül olabilir. Modüller fonksiyonlarına göre 0 ile 256 adet arasında veriyi ağa sağlayabilir.

Önerilen mimari küçük ve orta boyuttaki İHA'lar için düşünüldüğünden dolayı, CAN, Profibus ve K-Bus'ın üst ölçeklenebilirlik sınırları bu tip hava araçlarının gereksinimlerinin üzerindedir.

CAN, Profibus ve K-Bus ölçeklenebilirlik için bir alt sınırı olmayıp, sadece birkaç giriş ve çıkıştan oluşan bir İHA kontrol sisteminde kullanılmaları mümkündür.

d) Hızlı: Profibus-DP elektrik seviyesi olarak RS-485 kullanmaktadır. Profibus için önerilen hızlar toplam ağ uzunluğuna göre değişmektedir. 1200 metre uzunluğunda bir ağda 9,600 KHZ önerilirken, 400 metre uzunluğunda bir ağda 500 KHZ önerilmektedir. Bu hız 100 metre uzunluğunda bir ağda 12 MHz'e kadar çıkabilmektedir.

CAN da benzer şekilde, uygulamada bulunan ağın uzunluğuna göre, birkaç KHZ'den 1 MHz'e kadar ayarlanabilir.

Önerilen K-Bus'da donanım tasarımı ve örnek görev tanımı 500 KHz ağ hızı için yapılmıştır. Bu hız birçok orta boylu İHA görevi için yeterli olabilecektir. Ancak hızlı kontrol çevrimleri gerçekleştirilmesi gereken çeşitli İHA'larda bu hız yeterli olmayabilir. Bu tip İHA'lara bir örnek, alçaktan hızlı uçan ve çok sayıda algılayıcıdan veri okuyarak hızlı geri beslemeli kontrol döngüsü sağlaması gereken araçlar olabilir.

e) Temel büyüklüklere kolay erişim: CAN ve Profibus veri tipleri hakkında bir tanımlama veya sınırlama getirmemektedirler. Bu ağların kullanıldıkları uygulamalarda modül adresleri veya mesaj öncelikleri uygulama tarafından belirlenmelidir.

K-Bus üzerinde tanımlanan yazılım özellikleri ile veri yolu üzerinde İHA bilgilerine erişim kolaylaştırılmıştır. Tanımlanan veri erişim yöntemi ile veri iletiminde kullanılan birim ve verinin temsil şekline bir standart getirilmiştir. Bu çalışmada, önceden tanımlanmış veriler standart veri olarak adlandırılmıştır. İHA üzerinde önerilen protokol ile en fazla 65,536 adet standart veriye ulaşılabilmesi mümkündür. Bu çalışma sırasında bu standart verilerden 36 adedi tanımlanmış, diğerleri ileriki kullanımlar için ayrılmıştır. Standart verilerin özelliği, bu verilere modül adresinden ve modül içerisinde veri adresinden bağımsız olarak ulaşılabilmesidir.

K-Bus ile, verilere erişimin yanı sıra, veri özelliklerine erişim için de bir protokol tanımlanmıştır. Bu protokol kullanılarak verilerin birimi, standart verim numarası, erişilme yöntemi gibi özellikleri okunabilir veya değiştirilebilir.

CAN ve Profibus'da standart veri benzeri bir kavram bulunmamaktadır.

Bu çalışmanın önemli bir katkısı İHA kontrol sistemleri için açık bir ağ protokolü önermesidir. Kontrol mimarisi kurulmasında kabul görmüş bir standarda uyulması ile, geliştirilen donanım ve yazılım modüllerinin tekrar kullanılabilmesi mümkün olacaktır. Bu çalışma sonucu ortaya çıkarılan kontrol mimarisi, modüller arasında veri iletimini, mümkün olduğunca, modül ayarlarından bağımsız kılmaya ve yazılım ve donanımda tekrar kullanımı desteklemeye yönelik olarak tasarlanmıştır.

Önerilen mimarinin detaylı tasarım, simülasyon, imalat, test ve gerçek görevlerde kullanım aşamalarından geçmesi gerekmektedir.

Önerilen mimaride birçok tanım, gelecekte ortaya çıkabilecek ihtiyaçların giderilebilmesi için açık bırakılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] **Clarke, R., Burken, J.J., Bosworth, J.T. and Bauer J.E.**, 1996. X-29 Flight Control System: Lessons Learned, *Advances in Aircraft Flight Control*, pp 345-367, Taylor & Francis, London.
- [2] **Halberg, E., Kaminer, I. and Pascoal, A.**, 1999. Development of a Flight Test System for Unmanned Air Vehicles, *IEEE Control Systems Magazine*, **19**, 55-65.
- [3] **Batill, S.M., Stelmack, M.A. and Yu, X.Q.**, 1999. Multidisciplinary Design Optimization of an Electric-Powered Unmanned Air Vehicle, *Aircraft Design*, **2-1**, 1-18.
- [4] **Martinez-Val, R. and Hernandez, C.**, 1999. Preliminary Design of a Low Speed, Long Endurance Remote Piloted Vehicles for Civil Applications, *Aircraft Design*, **2-3**, 167-182.
- [5] **Korteling, J.E. and Borg, W.**, 1997. Partial Camera Automation in an Unmanned Air Vehicle, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans*, **27**, 256-262.
- [6] **Mircescu, A. and Renken, M.**, 1999. Investigations of a Distributed Real-Time Information system for Flight Measuring Applications, *Aerospace Science and Technology*, **1**, 29-38.
- [7] **Farsi M, Ratcliff K and Barbosa M.**, 1999. An Overview Of Controller Area Network, *Computing and Control Engineering Journal*, **10- 3**, 113-120.
- [8] **Ford, T.**, 1998, Software Techniques for IMA, *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, **70**, 113-116.
- [9] **Cena, G., Valenzano, A.**, 2003. A Protocol for Automatic Node Discovery in CANopen Networks, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, **50-3**, 419-430.
- [10] **Pinho, L.M., Vasques, F.**, 2003. Reliable Real-Time Communication in CAN Networks, *IEEE Transactions on Computers*, **52-12**, 1594-1607.
- [11] **Cena, G., Valenzano, A.**, 2000. FastCan: A High-Performance Enhanced Can-Like Network, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, **47-4**, 951-963.
- [12] **Sterling T., Katz, S.D., and Bergman, L.**, 2001. High Performance Computing Systems for Autonomous Spaceborne Missions, *The International Journal of High Performance Computing Applications*, **15-3**, 282-296.
- [13] **Ford, T.**, 1998. Actuation Systems Development, *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, **70**, 265-270.
- [14] **Zeltwanger, H.**, 1995. An Inside Look at the Fundamentals of CAN, *Control Engineering*, **42-1**, 81-87.

- [15] **Zuberi, K.M. and Shin, K.G.**, 2000. Design and Implementation of Efficient Scheduling for Controller Area Network, *IEEE Transactions on Computers*, **49**, 182-188.
- [16] **Hong, S.H., and Kim, W.H.**, 2000. Bandwidth Allocation Scheme in CAN Protocol, *IEE Proc.-Control Theory Appl.*, **147**, 37-44.
- [17] **Castro, M., Sebastian, R., Yeves, F., Peire, J.; Urrutia, J., Quesada, J.**, 2002. Well-known serial buses for distributed control of backup power plants. RS-485 versus controller area network solutions, *The 28th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, **3**, 2381 - 2386
- [18] **ISO-7137**, 1995. Aircraft - Environmental conditions and test procedures for airborne equipment Edition, American National Standards Institute, USA.
- [19] **Borgstrom, E.J.**, 1998. An overview of the EMC requirements in RTCA/DO-160D, *1998 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, **2**, 702 - 707.
- [20] **Lutz, M., Casanova, R., Revesz, T.**, 2003. Induced lightning testing of avionics - with single stroke, multiple stroke and multiple burst, *INCEMIC 2003. 8th International Conference on Electromagnetic Interference and Compatibility*, 333 - 338.
- [21] **Caniggia, S., Santi, P.**, 2003. Common-mode radiated emissions from UTP/STP cables with differential high-speed drivers/receivers, *2003 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, **2**, 564 - 569.
- [22] **Ajay Kumar, V.**, 1995. Overcoming data corruption in RS485 communication, *International Conference on Electromagnetic Interference and Compatibility*, 9 - 12.
- [23] **Wang Wei, Yuan Kui**, 2004. Teleoperated manipulator for leak detection of sealed radioactive sources, ICRA '04. *2004 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, **2**, 1682 - 1687.
- [24] **Kim, J.-S.; Rim, G.-H.; Jin, Y.-S.; Lee, H.-S.; Suk, H.-Y.; Kim, K.-S.; Jung, J.-W.; Sung, G.-Y.**, 2001. A flexible control scheme for current wave forming using multiple capacitor bank units, *Pulsed Power Plasma Science, 2001. PPS-2001. Digest of Technical Papers*, **2**, 1512 - 1515.
- [25] **Goraj, Z., Frydrychewicz, A. and Winiecki, J.**, 1999. Design concept of a High-Altitude Long-Endurance Unmanned Aerial Vehicle, *Aircraft Design*, **2-1**, 19-44.
- [26] **Fishbein, S.B.**, 1995. Flight Management Systems: the Evolution of Avionics and Navigation Technology, Praeger, London.
- [27] **McLean, D.**, 1990. Automatic Flight Control Systems, Prentice Hall, London.
- [28] **Bossert, D.E.**, 1992. Design of Robust Quantitative Feedback Theory Controllers for Pitch Attitude Hold Systems, *Journal of Guidance*, **17**, 217-219.
- [29] **Fontenrose, P.L., and Hall, C.E.**, 1996. Development and Flight Testing of Quantitative Feedback Theory Pitch Rate Stability Augmentation System, *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, **19**, 1109-1115.

- [30] **Favre, C.**, 1996. Fly-By-Wire for Commercial Aircraft: the Airbus Experience, *Advances in Aircraft Flight Control*, 211-294, Taylor & Francis, London.
- [31] **Cena, G., and Valenzano, A.**, 1997. An Improved CAN Fieldbus for Industrial Applications, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, **44**, 533-564.
- [32] **Biezad, D.J.**, 1999. Integrated Navigation and Guidance Systems, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., Reston.
- [33] **Tanenbaum, A.S.**, 2002. Computer Networks, Fourth Edition, Prentice Hall
- [34] **Oshman, Y. and Isakow, M.**, 1999. Mini-UAV Attitude Estimation Using an Internally stabilized Payload, *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, **35**, 1191-1203.
- [35] **Santos, M.M.D.; Stemmer, M.R.; Vasques, F.**, 2003. Evaluation of the timing properties of two control networks: CAN and PROFIBUS, *Industrial Electronics, 2003. ISIE '03*, **2**, 874-879.

EK A

Tablo A.1: Referans KBCL tasarımında kullanılan malzemelerin değerleri

Sıra	Değer	Şematik ismi	Açıklama
1	1 K Ω	R1	Direnç.
2	4 K Ω	R2	Direnç.
3	20 K Ω	R3	Direnç.
4	40 K Ω	R4, R5, R6, R7	Direnç.
5	1 Ω	R8	Direnç.
6	50 K Ω	R9	Potansiyometre. Çıkışı 0.1 V olacak şekilde ayarlanacak ve mühürlenecek.
7	500 pF	C1	Kondansatör.
8	10 nF	C2, C3	Kondansatör.
9	74AHC00	U1A, B, C, D	Dört adet VE DEĞİL mantıksal kapısı içeren entegre devre.
10	74AHC123	U2A, B	İki adet gecikme devresi içeren entegre devre.
11	74AHC74	U3A, B	İki adet kapan içeren mantıksal entegre.
12	OPA2634	U4A, B	İki adet işlemsel yükselteç içeren entegre devre.

Tablo A.2: Referans ölçme bilgisayar tasarımı için kullanılan malzeme listesi

Sıra	Değer	Şematik ismi	Açıklama
1	1 K Ω	R1	Direnç.
2	4 K Ω	R2	Direnç.
3	20 pF	C1, C2	Kondansatör.
4	1 μ F	C3, C4	Kondansatör.
5	16 MHz	Y1	Kristal osilatör.
6	CON8	J1	8 kutuplu konektör.
7	CON5	J2, J4	5 kutuplu konektör.
8	CON32	J3	32 kutuplu konektör.
9	CON14	J5	14 kutuplu konektör.
10	CON2	J6, J7, J9	2 kutuplu konektör.
11	CON12	J8	12 kutuplu konektör.
12	SWITCH8	S1	8 kutuplu köprü tipi anahtar.
13	TPS3825-50	U1	Reset entegre devresi.
14	H8S/2148	U2	Mikro kontrolör tipi işlemci.
15	SN75ALS1177	U3	RS-422 seri arabirimi hat sürücü entegre devresi.
16	KBC	KBC1	KBC bloğu.

Tablo A.3: Ana kontrol bilgisayarı tasarımında kullanılan malzeme listesi

Sıra	Değer	Şematik ismi	Açıklama
1	5 MHz	Y1	Kristal osilatör
2	CON2	J1, J2, J6	2 kutuplu konektör
3	CON14	J3, J4	14 kutuplu konektör
4	CON10	J5	10 kutuplu konektör
5	SWITCH8	S1	8 kutuplu köprü tipi anahtar
6	JUMPER3	JP1	3 kutuplu köprü
6	TMS320F243	U1	DSP tipi işlemci
7	TPS3225-50	U2	Reset entegresi
8	28F400	U3	Flash tipi hafıza
9	CY7C1009	U4, U5	RAM tipi hafıza
10	KBC	KBC1	KBC bloğu

ÖZGEÇMİŞ

Gökay Kadir HURMALI 1969 yılında İzmir’de doğdu. Kadıköy Anadolu Lisesi’nden 1986 yılında mezun oldu. 1990 yılında İ.T.Ü. Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Hava Uzay Mühendisliği Bölümü’nü bitirdi. Aynı yıl İ.T.Ü. Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uzay Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı. Aynı yıl İ.T.Ü. Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uzay Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans eğitime de başladı. 1992 yılında İ.T.Ü. Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Uçak Mühendisliği Programı’nda doktora çalışmasına başladı. 1993 ile 1999 yılları arasında Altınay Robotik ve Otomasyon firmasında yazılım geliştirme mühendisi olarak görev yaptı. 2001 yılından itibaren Microsoft firmasında yazılım geliştirme mühendisi olarak çalışmaktadır.