YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MİKRODENETLEYİCİLİ ENDÜSTRİYEL SERİ PROTOKOL ÇÖZÜMLEYİCİ SİSTEMİNİN PROGRAMI

Elektronik ve Haberleşme Müh. Kemal GÜNSAY

FBE Elektronik ve Haberleşme Anabilim Dalı Elektronik Programında Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Tuncay UZUN (YTÜ)

İSTANBUL, 2009

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MİKRODENETLEYİCİLİ ENDÜSTRİYEL SERİ PROTOKOL ÇÖZÜMLEYİCİ SİSTEMİNİN PROGRAMI

Elektronik ve Haberleşme Müh. Kemal GÜNSAY

FBE Elektronik ve Haberleşme Anabilim Dalı Elektronik Programında Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Tuncay UZUN (YTÜ)

İSTANBUL, 2009

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KISALTMA LİSTESİ v

ŞEKİL LİSTESİ viii

ÇİZELGE LİSTESİ x

ÖNSÖZ xi

ÖZET xii

ABSTRACT xiii

1. GİRİŞ 1

1.1 Veri İletişim Protokolleri 1
1.1.1 Senkron seri veri iletişimi 1
1.1.2 Asenkron seri veri iletişimi 1
1.2 Endüstride Kullanılan Bazı Haberleşme Protokolleri 2
1.2.1 Tümleşik devreler arası protokol (I^2C) 3
1.2.2 Ethernet 5
1.2.3 Seri ileri teknoloji bağlantısı (SATA) 7
1.2.4 Modbus protokolü 9
1.2.5 İşlem alanı veri yolu protokolü (PROFIBUS) 10

2. I^2C STANDARDI 13

2.1 I^2C Veri yolu Tarihçesi 13
2.2 I^2C Veri yolu Özellikleri 15
2.3 Tasarımcı Açısından Faydaları 16
2.4 Üretici Açısından Faydaları 17
2.5 Tümleşik Devre Tasarımcıları Açısından Faydaları 17
2.6 I^2C Veri yolu Protokolü 17
2.6.1 SDA ve SCL işaretleri 19
2.6.2 SDA ve SCL lojik seviyeleri 19
2.6.3 Veri Geçerliliği 19
2.6.4 START - STOP Koşulları 20
2.6.5 Bayt Formatı 20
2.6.6 Onay (ACK) ve Onay Yok (NACK) 21
2.6.7 Saat Eşleme 21
2.6.8 Uzlaşma 22
2.6.9 Saat Yayma 23
2.6.10 Slave Adres ve Okuma/Yazma Biti 23
2.6.11 10-bit Adresleme 25
2.6.12 Saklı Adresler 27
2.6.13 Genel Çağrı Adresi 27
2.6.14 Yazılımsal Reset 28
2.6.15 START Baytı 29
2.6.16 Hattı Temizleme 30

2.7 I^2C Hattının diğer Haberleşme Protokolleri ile Kullanımı 30
2.7.1 CBUS ile Uyumluluk 30
2.7.2 Sistem Yönetim Veri yolu (SMBus) 30
2.7.3 Güç Yönetim Veri yolu (PMBus) 30
2.7.4 Akıllı Platform Yönetim Ara yüzü (IPMI) 30
2.7.5 Gelişmiş Telekomünikasyon İşleme Mimarisi (ATCA) 31
2.8 I^2C Protokolü Uygulaması 31
2.8.1 I^2C Master Uygulaması 32
2.8.2 I^2C Slave Uygulaması 32

3. TÜMLEŞİK DEVRELER ARASI PROTOKOL ÇÖZÜMLEYİCİ ÖRNEK SİSTEMLER 36

3.1 BusBee Seri Protokol Çözümleyici 36
3.2 MCC Tümleşik Devreler Arası/Sistem Yönetim Veriyolu Protokol Çözümleyici 38
3.3 Jupiter Instruments Tümleşik Devreler Arası Protokol Çözümleyici 40
3.4 Beagle Tümleşik Devreler Arası/Seri Çevre Birimi Arayüzü Protokol Çözümleyici 42
3.5 Seri Protokol Çözümleyici Yazılımlarının Tablo halinde Karşılaştırılması 45

4. LABVIEW GELİŞTİRME ORTAMI ve TÜMLEŞİK DEVRELER ARASI PROTOKOL UYGULAMALARI 47

4.1 LabVIEW 47
4.1.1 LabVIEW Ortamı 48
4.1.1.1 Ön panel 48
4.1.1.2 Blok şema 48
4.1.2 LabVIEW Geliştirme Paketleri 49
4.2 LabVIEW Destekli Tümleşik Devreler Arası Protokol Yazılımları 49
4.2.1 ARM Mikrodenetleyiciler için NI Gömülü Modülü 49
4.2.2 NI–8451 Genel Amaçlı Seri Haberleşme Modülü 52
4.2.3 Telos Veri yolu Okuyucu 54

5. MİKRODENETLEYİCİLİ ENDÜSTRİYEL SERİ PROTOKOL ÇÖZÜMLEYİCİ SİSTEM 58

5.1 Seri Protokol Çözümleyici Sisteminin Donanımı 59

6. MİKRODENETLEYİCİLİ ENDÜSTRİYEL SERİ PROTOKOL ÇÖZÜMLEYİCİ SİSTEMİNİN YAZILIMI 61

6.1 Kişisel Bilgisayar Yazılımı 61
6.1.1 Seri Protokol Çözümleyici Yönetim Paneli 61
6.2 Mikrodenetleyici Yazılımı 66
6.2.1 Ana Döngü ve Tuş İşleme Yazılımı 68
6.2.2 Yönetim Katmanı ile Haberleşme Yazılımı 71
6.2.3 Veri yolu Örnekleyici Yazılımı 72
6.2.4 Protokol Çözümleyici Yazılımı 73

7. SONUÇLAR ve TARTIŞMA 75

KAYNAKLAR 78

EKLER 80

EK 1 DS89C450 Datasheet 81

EK 2 DS89C450 User's Guide 84

EK 3 I^2C Bus Specification 85

EK 4 ADuC812 Datasheet 86

EK 5 NI-8451 Datasheet 87

ÖZGEÇMİŞ 88

KISALTMA LİSTESİ

AGP	Hızlandırılmış Grafik Portu, (Accelerated Graphics Port)
ATA	İleri Teknoloji Bağlantısı, (Advanced Technology Attachment)
ATCA	Gelişmiş Telekomünikasyon İşleme Mimarisi, (Advanced Telecomunications Computing Architecture)
CAN	Denetleyici Alanı Ağı, (Controller Area Network)
CRC	Çevrimli Fazladan Kontrol, (Cyclic Redundancy Check)
DCS	Dağıtılmış Denetim Sistemi, (Distributed Control System)
DPTR	Veri İşaretçisi, (Data Pointer)
DSP	Sayısal İşaret İşleyici, (Digital Signal Processor)
EIA	Elektronik Endüstrileri Anlaşması, (Electronic Industries Alliance)
EMC	Elektromanyetik Uyumluluk, (Electromagnetic Compatibility)
FDL	Alan Yolu Veri Bağlantısı, (Field Bus Data Link)
FOIRL	Tekrarlayıcı Arası Fiber Optik Bağlantı, (Fiber Optic Inter Repeater Link)
FPGA	Alan Programlanabilir Kapı Dizisi, (Field Programmable Gate Array)
GB/s	Saniyedeki Gigabayt Sayısı, (GigaBytes per second)
GHz	Gigahertz
GPIB	Genel Amaçlı Ara yüz Yolu, (General Purpose Interface Bus)
GT/s	Saniyedeki GigaTransfer Sayısı, (GigaTransfer per second)
GUI	Grafiksel Kullanıcı Ara yüzü, (Graphical User Interface)
HDLC	Yüksek seviyeli Veri Bağlantı Denetimi, (High Level Data Link Control)
I^2C	Tümleşik Devreler Arası, (Inter Integrated Circuits)
I^2S	Tümleşik Devreler Arası Ses, (Integrated Interchip Sound)
IEC	Uluslar arası Elektroteknik Komisyonu, (International Electrotechnical Commission)
IEEE	Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü, (Institute of Electrical and Electronic Engineer)
IP	Internet Protokolü, (Internet Protocol)
IPMI	Akıllı Platform Yönetim Ara yüzü, (Intelligent Platform Management Interface)
KB	Kilobayt, (Kilobyte)
Kb/s	Saniyedeki Kilobit Sayısı, (Kilobits per second)
KHz	KiloHertz
Km	Kilometre, (Kilometers)

LCD	Sıvı Kristal Gösterge, (Liquid Crystal Display)
LED	Işık Yayan Diyot, (Light Emitting Diode)
LLC	Mantıksal Bağlantı Denetimi, (Logical Link Control)
mA	MiliAmper
MAC	Ortam Erişim Denetimi, (Media Access Control)
MB/s	Saniyedeki Megabayt Sayısı, (Megabyte per second)
Mb/s	Saniyedeki Megabit Sayısı, (Megabit per second)
MBP	Manchester kodlanmış Güç Yolu, (Manchester-Encoded Bus Powered)
MHz	Megahertz
MIPS	Saniyedeki Komut Sayısı, (Million Instruction per second)
ms	Milisaniye
OSI	Açık Sistemler Ara bağlantısı, (Open Systems Interconnection)
PATA	Paralel ATA, (Parallel ATA)
PCB	Baskılı Devre Kartı, (Printed Circuit Board)
PCI	Çevresel Eleman Ara bağlaşımı, (Peripheral Component Interconnect)
PCIe	Hızlı Çevresel Eleman Ara bağlaşımı, (Peripheral Component Interconnect Express)
PLC	Programlanabilir Mantıksal Denetleyici,(Programmable Logical Controller)
PMBus	Güç Yönetim Veri yolu, (Power Management Bus)
PXI	Enstrümantasyon için PCI Uzantısı, (PCI eXtensions for Instrumentation)
RAM	Rastgele Erişim Belleği, (Random Access Memory)
SATA	Seri ATA, (Serial ATA)
SCL	Seri Saat, (Serial Clock)
SDA	Seri Veri, (Serial Data)
SMBus	Sistem Yönetim Veri yolu, (System Management Bus)
SNAP	Alt Ağ Erişim Protokolü, (Subnetwork Access Protocol)
SPI	Seri Çevre Elemanı Ara yüz Yolu, (Serial Peripheral Interface Bus)
SRAM	Durağan RAM, (Static RAM)
TCP	İletim Denetimi Protokolü, (Transmission Control Protocol)
TIA	Telekomünikasyon Endüstrisi Derneği, (Telecommunications Industry Association)
USB	Evrensel Seri Yol, (Universal Serial Bus)
V	Volt
VISA	Sanal Enstrüman Yazılım Mimarisi, (Virtual Instrument Software Architecture)

VLAN	Sanal Yerel Alan Ağı, (Virtual Local Area Network)
VME	Tersine Modüler bir Baskı Devre Standardı, (VersaModular Eurocard)
VXI	Enstrümantaston için VME Uzantısı, (VME eXtensions for Instrumentation)

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 I^2C veri yolu bağlantı şekli. 4
Şekil 1.2 I^2C protokolü bit akış örneği. 4
Şekil 1.3 Cat-5 tipi kablo ile bağlı RJ-45 konnektör. 5
Şekil 1.4 Fiber optik kablo SC/LC. 6
Şekil 1.5 802.3 MAC çerçevesi. 6
Şekil 1.6 SATA kablosu örneği. 7
Şekil 1.7 Protokol çeşitleri ve maksimum veri transfer hızları. 8
Şekil 1.8 SATA türleri ve bazı veri aktarım protokolleri karşılaştırması. 9
Şekil 1.9 Modbus ağı mimari örneği. 9
Şekil 1.10 Modbus protokolü etkileşim katmanları. 10
Şekil 1.11 PROFIBUS protokolü etkileşim katmanları. 11
Şekil 1.12 PROFIBUS ağı. 12
Şekil 2.1 Örnek bir I^2C veri yolu uygulaması. 16
Şekil 2.2 İki mikrodenetleyicili veri yolu bağlantı şekli. 17
Şekil 2.3 I^2C protokol özelliklerinin uygulanabilirliği 19
Şekil 2.4 I^2C veri yolunda bit transferi. 20
Şekil 2.5 START ve STOP koşulları. 20
Şekil 2.6 I^2C hattında veri transferi. 21
Şekil 2.7 Uzlaşma prosedürü anında saat eşleme. 22
Şekil 2.8 İki master' ın uzlaşma prosedürü. 23
Şekil 2.9 Bir veri transferi. 23
Şekil 2.10 START prosedüründen sonraki ilk bayt. 24
Şekil 2.11 Bir master-verici bir slave-alıcıya 7-bit adres ile erişmesi. 24
Şekil 2.12 Master ilk bayttan sonra slave' den okur. 24
Şekil 2.13 Birleştirilmiş biçim. 25
Şekil 2.14 Master-verici 10-bit adresleme ile bir slave-alıcıya erişir. 25
Şekil 2.15 Master-alıcı 10-bit adresleme ile bir slave-vericiye erişir. 25
Şekil 2.16 Genel çağrı adres biçimi. 27
Şekil 2.17 Donanımsal master-vericiden veri transferi. 28
Şekil 2.18 Yönetimsel master donanımsal master' a boş adres gönderir. 28
Şekil 2.19 Donanımsal master slave aygıta veri gönderir. 28
Şekil 2.20 START bayt prosedürü. 29
Şekil 2.21 Tek master çoklu slave uygulaması örnek blok diyagramı. 31
Şekil 2.22 I^2C master uygulaması ana akışı. 33
Şekil 2.23 I^2C master uygulaması alma ve gönderme akışı. 34
Şekil 2.24 I^2C slave uygulaması akışı. 35
Şekil 3.1 BusBee seri protokol çözümleyici. 36
Şekil 3.2 MCC I^2C/SMBus protokol çözümleyici. 38
Şekil 3.3 Bilgisayar yazılımı mesaj akış penceresi. 39
Şekil 3.4 Model JI-210 I^2C protokol çözümleyici. 40
Şekil 3.5 Bilgisayar yazılımı ana penceresi. 41
Şekil 3.6 Beagle I^2C /SPI protokol çözümleyici. 42
Şekil 3.7 Bilgisayar yazılımının I^2C protokolü akış penceresi. 43
Şekil 3.8 I^2C protokolü kaydı veri akış penceresi. 43
Şekil 3.9 I^2C protokolü kaydı zaman akış penceresi 44
Şekil 3.10 Beagle ve diğer çözümleyicilerin karşılaştırması 44
Şekil 4.1 National Instruments ARM mikrodenetleyicili donanım modülü. 49

Şekil 4.2 ARM I^2C konfigürasyon referansı yaratma sanal cihazı. 50
Şekil 4.3 ARM I^2C referans kapatma sanal cihazı. 50
Şekil 4.4 ARM I^2C yazma okuma sanal cihazı. 51
Şekil 4.5 National Instruments genel amaçlı donanımı. 52
Şekil 4.6 I^2C haberleşmesi temel programlama modeli. 52
Şekil 4.7 I^2C referans yaratma sanal cihazı. 53
Şekil 4.8 I^2C okuma sanal cihazı. 53
Şekil 4.9 I^2C yazma sanal cihazı. 53
Şekil 4.10 I^2C yazma okuma sanal cihazı 53
Şekil 4.11 Cihaz referans kapatma sanal cihazı. 53
Şekil 4.12 Telos Conii MM 2.0. 54
Şekil 4.13 I^2C yazma sanal cihazı blok şeması. 55
Şekil 4.14 I^2C yazma sanal cihazı ön paneli. 55
Şekil 4.15 I^2C referans yapılandırma sanal cihazı. 55
Şekil 4.16 I^2C referans kapatma sanal cihazı. 55
Şekil 4.17 I^2C yazma okuma sanal cihazı 56
Şekil 4.18 I^2C okuyucu etkinleştirme sanal cihazı. 56
Şekil 4.19 I^2C okuyucu veri aktarıcı sanal cihazı. 56
Şekil 5.1 Seri protokol çözümleyici sistemin fiziksel görünümü. 60
Şekil 6.1 Kişisel bilgisayar yönetim paneli. 62
Şekil 6.2 Seri port ayar sekmesi. 62
Şekil 6.3 Cihaz yönetim sekmesi. 63
Şekil 6.4 Yönetim haberleşmesi mesaj yapısı. 63
Şekil 6.5 Protokol çözümleyici sekmesi. 64
Şekil 6.6 Veri yolu okuyucu sekmesi. 65
Şekil 6.7 Yazılım blok diyagramı. 66
Şekil 6.8 Mikro denetleyici giriş/çıkış yapısı. 67
Şekil 6.9 Ana döngü akışı. 69
Şekil 6.10 Tuş işleme akışı. 70
Şekil 6.11 Mesaj işleme akışı. 72
Şekil 6.12 I^2C çözümleyici durum makinesi. 73

ÇİZELGE LİSTESİ

Tablo 2.1 Saklı adresler. 27
Tablo 3.1 Protokol çözümleyici sistemlerin genel olarak karşılaştırması 45
Tablo 3.2 Protokol çözümleyici sistemlerin teknik açıdan karşılaştırması..... 46
Tablo 3.3 Protokol çözümleyici sistemlerin ekonomik açıdan karşılaştırması..... 46
Tablo 4.1 LabVIEW geliştirme paketleri karşılaştırılması 49
Tablo 7.1 Tasarlanan seri protokol çözümleyici sistemin özellikleri 76

ÖNSÖZ

Endüstri geliştikçe veri aktarımı ve haberleşme yetenekleri de gelişmektedir. Bununla birlikte elektronik cihazlardaki bilgi aktarımı daha da önemli hale gelmektedir. Pek çok mikro denetleyici ve mikro işlemcinin çevre birimleri ile haberleşmesinde seri protokollerin kullanılması seri protokol çözümleyicileri bir ihtiyaç haline getirmektedir. Seri protokol çözümleyiciler ile hatalar ayıklanarak tasarımların hızlı bir şekilde tamamlanması sağlanmaktadır. Tez çalışmasında, günümüzde çokça kullanılan seri haberleşme protokollerinden bazıları tanıtılmış, bu protokoller içinden özel olarak I^2C seri protokolünü izleyen ve çözümleyen bir yazılım tasarlanmıştır. Tasarım, I^2C protokolüne uygun çözümleme yapan ayrıca elde edilen verileri hem donanım üzerinde kullanıcıya aktaran hem de bilgisayar ortamında LabVIEW programı ile izlenip yönetilen bir yazılım tasarımı olarak özelleşmiştir.

Yüksek lisans tez çalışmam için birlikte çalışmayı kabul eden, çalışmama yön veren ve kısıtlı zamanına rağmen yardımcı olan Yrd. Doç. Dr. Tuncay UZUN' a, tez aşamasına gelmeden ders aldığım ve Yüksek Lisans eğitimimde bilgi birikimlerinden istifade ettiğim tüm hocalarıma, özellikle her dersinde öğrendiklerimizi farklı bakış açısıyla yeniden sorgulatan Prof. Dr. Vedat Tavşanoğlu' na, ortak çalışma ile ortaya koyduğum tezimin fikir sahibi olan ve tezin donanımıyla ilgili her konuyu üstlenip kalan zamanında yazılımda yardımcı olan Elektronik ve Haberleşme Müh. Cihan TORUN' a teşekkür ederim.

ÖZET

Mikroişlemcili sistem tasarımlarında tümleşik devrelerin haberleşme ihtiyacının kolay, hızlı ve güvenilir bir şekilde karşılanması gerekliliği seri haberleşmenin yaygın bir şekilde kullanılmasında etken olmuştur. Endüstri geliştikçe bu gelişime uygun seri protokoller tasarlanmış ve ihtiyaca göre farklı endüstriyel sektörlerde kullanılmıştır. Bu tez çalışması ile seri protokol çözümleyici bir yazılım tasarımı amaçlanmıştır.

Tez metninin birinci bölümünde endüstriyel sistemlerde kullanılan seri iletişim protokolleri araştırılmış ve bu protokollerden bazıları hakkında bilgi verilmiştir. İkinci bölümde I^2C protokol standardı hakkında detaylı bilgi sunulmuştur. Üçüncü bölümde seri protokol çözümleyici uygulamalar araştırılmıştır. Bunlardan seçilen bazı seri protokol çözümleyici cihazlar tanıtılmış ve yetenekleri ortaya konmuştur. Dördüncü bölümde LabVIEW geliştirme ortamı ve uygulamaları hakkında bilgi verilmiştir. Beşinci bölümde tasarımın çalışma şekli ve yapısı genel olarak anlatılmıştır, sistemin donanımı genel olarak tanıtılmıştır. Donanım tasarımı, ortak çalıştığım Elektronik ve Haberleşme Müh. Cihan Torun tarafından yapılmıştır. Beşinci bölümde yönetim ara yüzü tanıtılmıştır. LabVIEW geliştirme ortamı ile ilgili genel bilgi verilmiş ve yönetim paneli tasarımı anlatılmıştır. Altıncı bölümde seri protokol çözümleyici mikro denetleyicisi tanıtılmıştır. Yazılımı akış diyagramlarıyla ortaya konmuş, yazılım blokları tanıtılmıştır. Seri protokolü örnekleyen, I^2C protokolüne göre çözümleme yapan akış diyagramı bu bölümde sunulmuştur. Son bölümde ise tasarımın başarısı, avantaj ve dezavantajları ortaya konmuştur. Araştırılmış seri protokol çözümleyici sistemlerin yazılımı ile tez çalışması arasında karşılaştırmalı bilgiler sunulmuştur.

Mikro denetleyicili endüstriyel seri protokol çözümleyici sistemin programı ile amaçlanan basit, geliştirilecek yazılımlara taban oluşturacak, taşınabilir bir seri protokol görüntüleyici ve çözümleyici bir yazılım tasarlamaktır. Tasarım özelleştirilerek I^2C protokolüne uygun çözümleme yapan bir yazılım olarak gerçeklenmiştir. Hem donanım üzerinde izleme hem de bilgisayar ile izleme yeteneklerinin tasarımı birlikte amaçlanmıştır. Sistemin donanımı ile sistem üzerinde yönetim ara yüzü bir başka tez konusu olarak tamamlanmıştır. Yazılım ve kişisel bilgisayar yönetim katmanı bu tezin konusudur.

Anahtar Kelimeler: Seri protokol çözümleyici, LabVIEW, Mikrodenetleyici

ABSTRACT

The necessity of simple, fast and reliable communication between integrated circuits in system designs with microprocessor, became a factor in using serial communication widespread. When industry grows up, matching serial protocols are implemented and used in different industrial areas. The scope of this thesis is to design a serial protocol analyzer software.

In the first chapter, some serial communication protocols, which are used in industrial systems, are studied and explained. In the second chapter I^2C protocol specifications are given. In the third chapter, serial protocol analyzer applications are studied and some chosen serial protocol analyzer devices are introduced with narrating abilities of these devices. In the fourth chapter general knowledge about LabVIEW development platform is given and applications are introduced. In the fifth chapter, system design in general and method of operation are explained and hardware design of the system is also explained generally. Hardware design and all implementation of it is done by Electronics and Communication Engineer Cihan Torun. In the sixth chapter, user interface of serial protocol analyzer is introduced and microcontroller, which is used in serial protocol analyzer hardware, is also introduced and its software is explained with flow charts and software block diagrams. Serial protocol sampler and I^2C protocol analyzer flow chart are introduced in this chapter. In the last chapter, design accomplishment, advantages and disadvantages are explained. Comparison between previously studied serial analyzer software and this thesis are given in this section.

The main aim with this microcontrolled industrial serial protocol analyzer system is to design a simple, available for improving software, portable serial protocol monitor and analyzer system. The design is specialized and implemented according to I^2C protocol. Both in system monitor and computer based monitor are intended. Hardware design and in system monitor design are discussed in other thesis. Software design and computer based monitoring are discussed in this thesis.

Keywords: Serial protocol analyzer, LabVIEW, Microcontroller

1. GİRİŞ

Veri iletişim teknolojileri, endüstrideki yerini ve önemini arttırarak gelişmeye devam etmektedir. Bununla birlikte iletişimin özünde yatan, en uzağa, en az güç harcayarak, en az hata veya gürültü ile bilginin aktarılması kanunu değişmemektedir. Bu kıstaslar bilgi aktarımının kalitesini belirleyen ana unsurlardır. Veri iletişim sistemlerinde veri iletim şekli paralel ve seri olmak üzere iki ana grupta toplanabilir. Paralel iletişim, verilerin bir darbe zamanlaması ile bir bütün olarak bir anda iletilmesi şeklinde tanımlanır. Bu iletişim genelde kısa mesafelerdeki veri aktarımlarında kullanılır. Seri iletişim ise her iletilen veri biti için bir zamanlama darbesi kullanılır. Bu haberleşme şekli uzun mesafedeki veri iletişimlerinde kullanılır.

1.1 Veri İletişim Protokolleri

Veri gönderme ve alma işleminde ortaya konan kurallar protokol şeklinde tanımlanır. Bu protokoller iki ana grupta sınıflandırılırlar:

- Senkron İletişim (Eş zamanlı olan)
- Asenkron İletişim (Eş zamanlı olmayan)

1.1.1 Senkron seri veri iletişimi

Senkron Seri Veri İletişiminde haberleşecek olan iki cihaz veya uç birim öncelikle birbirleriyle eş olmak, başka bir deyişle, eş zamanlı çalışmak için özel karakterler atarak anlaşmaya çalışırlar. Bu şekilde eş kalabilmek için sürekli senkronizasyon karakteri atılır. Veri transferi olmasa bile sabit bir veri akışı daima bulunur. Bu şekilde her iki uç birim, birbirinin eşleşme durumlarını bilirler.

Senkron iletişim, Asenkron iletişime göre daha hızlı veri transfer hızlarına erişebilir çünkü her gönderilen verinin başına ve sonuna konan başlangıç ve bitiş karakterleri senkron haberleşmede yoktur. Blok halinde bir çerçeve yapısında transfer edilerek daha hızlı bir veri iletişimi sağlanmış olur.

1.1.2 Asenkron seri veri iletişimi

Asenkron Seri Veri İletişiminde ise eşleşmeye, senkronize olmaya gerek yoktur. Dolayısıyla senkronizasyon karakterleri atılmadığından sürekli veri akışı da yoktur. Bu şekilde işlemciler senkronizasyon karakterlerinin işlemek için güç harcamazlar. Buna rağmen her gönderilen

verinin başlangıcı ve sonu işaretlenmelidir. Bu şekilde yapılan işaretlemeler transfer hızının düşmesine sebep olur.

1.2 Endüstride Kullanılan Bazı Haberleşme Protokolleri

Endüstride sıkça kullanılan haberleşme protokollerinden bazıları aşağıdaki gibidir[1]:

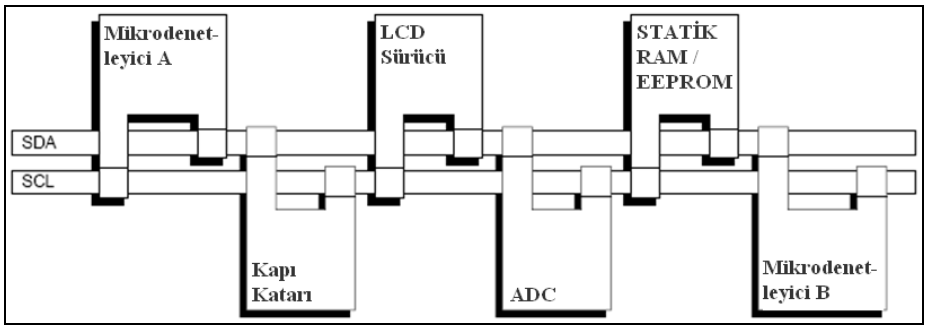
- İşlem Alanı Veri yolu (PROFIBUS, Process Field Bus)
- Denetleyici Alanı Ağı (CAN, Controller Area Network)
- Kontrol Otomasyon Teknolojisi için Ethernet (EtherCAT, Ethernet for Control Automation Technology)
- Veriyollar Arası Protokol (InterBus)
- Anayol Adreslenebilir Uzak Çevirici Protokol (HART Protocol, Highway Addressable Remote Transducer Protocol)
- Modbus
- Mekatronik Hareket Alanı Ağı (Mechatrolink)
- Mitsubishi Electric tarafından geliştirilen bir protokol (MelsecNet/10)
- Seri Gerçek Zamanlı Haberleşme Sistemi (SERCOS, SErial Real-time COmmunication System)
- Hizmet İsteği Transfer Protokolü (SRTP, Service Request Transfer Protocol)
- Siemens tarafından geliştirilen bir protokol (Sinec H1)
- Bir Hareket Alanı Ağı Protokolü (SynqNet)
- TTTech Computertechnik AG tarafından geliştirilen klasik ethernet protokolüne ek servis protokolü (TTEthernet)
- Bristol Babcock Inc. tarafından geliştirilen Asenkron Protokol (BSAP, Bristol Standard Asynchronous Protocol)
- Ev Otomasyonu ve Denetleme Ağı (BACnet, Building Automation and Control network)
- Kapalı çevrim Kontrol Ağı (C-Bus, Clipsal Bus)
- Sayısal Adreslenebilir Aydınlatma Arayüzü (DALI, Digital Addressable Lighting Interface)

- Sayısal İşaret Arayüzü (DSI, Digital Signal Interface)
- Ev Otomasyonu Bilgi Alışveriş Arayüzü (oBIX, Open Building Information Exchange)
- Kablosuz Ağ Protokolü (ZigBee)
- Uluslar arası Elektroteknik Komisyonu 61850 Güç Sistemleri Standardı (IEC 61850, International Electrotechnical Commission 61850)
- Uluslar arası Elektroteknik Komisyonu 60870-5-101 Güç Sistemleri Görüntüleme, Yönetimi ve Haberleşme Standardı (IEC 60870-5-101, International Electrotechnical Commission IEC 60870-5-101)
- Uluslar arası Elektroteknik Komisyonu 60870-5-101 Güç Sistemleri Görüntüleme, Yönetimi ve Haberleşme Standardı ek Protokolü (IEC 60870-5-104, International Electrotechnical Commission IEC 60870-5-104)
- Dağıtılmış Ağ Protokolü (DNP3, Distributed Network Protocol)
- Yerel Bağlantı Ağı (LIN, Local Interconnect Network)
- Otomotiv Ağı Haberleşme Protokolü (FlexRay)
- Çoklu Ortam Amaçlı Sistemleri Bağlama Protokolü (MOST, Media Oriented Systems Transport)
- Taşıt Alanı Ağı (VAN, Vehicle Area Network)

Yukarıda maddelenmiş protokol türlerini çeşitlendirmek mümkündür. Bunların içinde en yaygın olanlarından birkaçı aşağıdaki gibidir.

1.2.1 Tümleşik devreler arası protokol (I^2C)

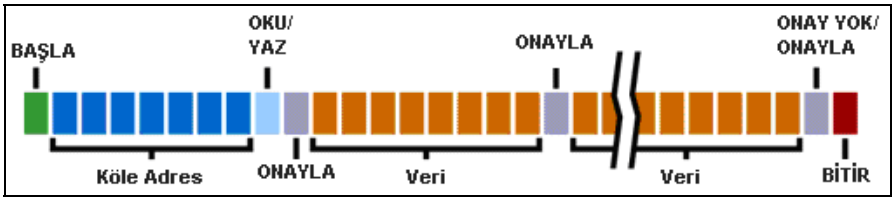
Tümleşik devreler arası (I^2C, Inter Integrated Circuit) protokolü ve donanımı Philips adlı elektronik firması tarafından geliştirilmiştir. Amaç aynı kart üzerinde bulunan tümleşik devrelerin haberleşmesini sağlamaktır. 1982'de geliştirilen protokolün 1992 yılında teknik tanımlamaları yayınlanmıştır. Sürüm 1.0 olarak yayınlanan bu tanımlamalar eksikleri görüldükçe ve teknoloji ile yeni yetenekler eklenip 2007'de Sürüm 3.0 ile son halini almıştır[2].



Şekil 1.1 I^2C veri yolu bağlantı şekli.

Kısaca bazı özellikleri aşağıdaki gibidir:

- Veri yolu sadece 2 telden oluşmaktadır. Biri saat işaretini (SCL, Serial Clock Line), diğeri veriyi (SDA, Serial Data Line) sürmektedir.
- Veri yoluna bağlanan her cihaz kendisine atanan bir eşsiz adres üzerinden yazılım ile erişilebilir.
- Aynı anda iki cihaz Master olmak isteyebilir. Bu durumu karşılayıp sadece bir master seçilmesini sağlayacak şekilde tasarlanmıştır.
- Veriler 8 bit üzerinden seri bir şekilde aktarılır.
- 4 hız seçeneği vardır. Standart Mod' da en çok 100 Kb/s, Hızlı Mod' da 400Kb/s, Geliştirilmiş Hızlı Mod' da 1Mb/s ve Yüksek Hızlı Mod' da 3.4Mb/s hızda veri aktarılır [3][19].



Şekil 1.2 I^2C protokolü bit akış örneği.

Tasarımcı açısından avantajları aşağıdaki gibidir:

- Blok diyagramların gerçeklenmesi çabuk olur. Tasarımcı 2 tel üzerine bağlı fonksiyonel blokları basitçe ekleyip çıkarabilir.
- I^2C veri yolu için ayrıca bir bağlantı ara yüzü tasarlamaya gerek yoktur. Veri yolu ara yüz bağlantısı zaten tümleşik devrelerin kendinde mevcuttur.

- Adresleme ve veri aktarım protokolü, hattın tümünü yazılımın kontrolünde bırakmaktadır. Bu da yazılım ile istenilen cihaza, protokol dâhilinde istenilen komutun verilebilmesini sağlamaktadır.
- Donanım ve yazılım olarak oldukça basit olması hat üzerinde hata ayıklamayı kolaylaştırmaktadır.

1.2.2 Ethernet

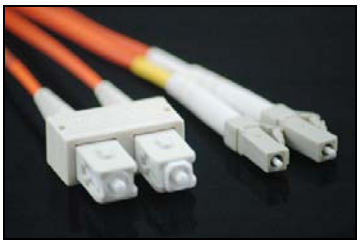
Ethernet, belli sayıda telin kullanıldığı ve sinyalleşme kuralları ışığında verinin iki yönlü olarak bir çerçeveye konup iletildiği bir ağ teknolojisidir. Ethernet ilk olarak 1973 ile 1975 yılları arasında Xerox PARC adlı araştırma ve geliştirme merkezinde ortaya atılmıştır. "Çok noktalı ve Girişim Algılamalı Veri Haberleşme Sistemi" olarak adı konan ve Amerika' da patentleşen bu teknolojiyi geliştiren Robert Metcalfe, Xerox' da araştırma ve geliştirme bölümünde çalışan biridir. Kendisinden istenen, yeni üretecekleri ilk lazer yazıcıya tüm bilgisayarların bağlanarak çıktı almalarını sağlayan bir sistem geliştirmesiydi. Bu durumda en iki konunun zorluğu ortaya konmaktaydı: tüm bilgisayarların erişebileceği bir ağ kurmak ve bu ağın tüm bilgisayarların erişimi için altyapının yeterli hızda olmasıydı. Şimdi ise uluslar arası alanda bilgisayar endüstrisinde bir standart olan Ethernet bilgisayar ağlarında yaygın olarak kullanılmaktadır[4].



Şekil 1.3 Cat-5 tipi kablo ile bağlı RJ-45 konnektör.

Ethernet' in kablo tipi ile bu kablolarda taşınacak verinin nasıl bir çerçeve yapısında olacağı gibi pek çok soru IEEE tarafından standart hale getirilmiş ve bu kurallar üzerine pek çok yeni haberleşme çerçeve tanımları üretilmiştir. Bu üretilen tanımlar daha çok verinin nasıl bir şekilde dizileceği veya verinin önünce konacak başlığın nasıl düzenleneceği ile ilgili yapılan geliştirmelerdir. Farklı ortamlardan ve farklı hızlarda verileri iletmek için yöntemler vardır. Bunların en çok kullanılanları şunlardır: 10BASE-T, 100BASE-TX ve 1000BASE-T. Her üçü de bükülü tel çiftlerinden oluşur ve 8P8C modüler konnektör tipindedir (RJ-45). Her biri sırasıyla 10Mb/s, 100Mb/s ve 1Gb/s hızlarında veri iletebilirler. 1000BASE-T standardı daha

çok kısa mesafede kullanılır. Bir diğer veri iletim ortamı ise Fiber Optik' tir. Daha çok alt yapı yatırımlarında ve yüksek veri trafiğinin olduğu ana hatlarda kullanılır. Son kullanıcıya kadar Fiber optik malzemenin taşınması maliyeti oldukça arttırdığından yalnızca bu şekilde altyapıda kullanılır. Avantajları, veri transfer hızının yüksek olması (1Gb/s – 100Gb/s), izolasyon olarak iyi yalıtılması ve uzun mesafelerde kullanılabilir olmasıdır (10km).



Şekil 1.4 Fiber optik kablo SC/LC.

Hat üzerindeki veri paketi bir çerçeveyi oluşturur. Veri paketinden önce ve sonra başlık ve kuyruk eklenir. Bunlar; Preamble, Start-of-Frame-Delimiter ve CRC-32' dir. Aşağıdaki şekilde bir Ethernet çerçevesi görülmektedir. Paketin soldan başlamaktadır. Sağa doğru kuyruğa uzanmaktadır. Sonuna eklenen CRC-32, paketin doğrulaması için kullanılır.

Başlangıç	Çerçeve Başlangıç Ayırıcı	Hedef MAC	Kaynak MAC	OrtamTipi/Uzunluk	Veri Yükü ve Dolgu	CRC32	Çerçeve arası Boşluk
7 Bayt 10101010	1 Bayt 10101011	6 Bayt	6 Bayt	2 Bayt	46 - 1500 Bayt	4 Bayt	12 Bayt
		64 - 1518 Bayt					
72 - 1526 Bayt							

Şekil 1.5 802.3 MAC çerçevesi.

Bazı çerçeve tipleri aşağıda standartlaşmış adlarıyla sıralanmıştır.

- Ethernet Version 2
- IEEE 802.3
- IEEE 802.2 LLC
- IEEE 802.2 LCC/SNAP
- IEEE 802.1Q VLAN

Bazı veri aktarım ortam standartları aşağıdaki gibi sıralanabilir[5].

- İlk Geliştirilen Standartlar: 10BASE5, 10BROAD36, 1BASE5
- 10Mb/s Ethernet: 10BASE2, 10BASE-T, FOIRL, 10BASE-F, 10BASE-FL, 10BASE-FB, 10BASE-FP,

- Hızlı Ethernet: 100BASE-T, 100BASE-TX, 100BASE-T4, 100BASE-T2, 100BASE-FX
- Gigabit Ethernet: 1000BASE-T, 1000BASE-SX, 1000BASE-LX, 1000BASE-CX
- 10 Gigabit Ethernet: 10GBASE-SR, 10GBASE-LX4, 10GBASE-LR, 10GBASE-ER, 10GBASE-SW, 10GBASE-LW, 10GBASE-EW, 10GBASE-T

1.2.3 Seri ileri teknoloji bağlantısı (SATA)

Seri ileri teknoloji bağlantısı (SATA, Serial Advanced Technology Attachment), bilgisayar donanımı içerisinde bir veri taşıma teknolojisidir. 2003 yılında endüstriye sunulmuştur. Veri depolama cihazlarını (Hard-disk), optik sürücüleri ortak veri yoluna bağlayan ve uyumlandıran bir ara yüzdür. Günümüzde SATA ara yüz uyumlandırıcıları neredeyse tüm diz üstü ve masaüstü bilgisayarların ana kartlarında bulunmaktadır[6].

PIN #	Fonksiyon
1	Toprak
2	A+ (Gönderme)
3	A - (Gönderme)
4	Toprak
5	B - (Alma)
6	B+ (Alma)
7	Toprak
8	Kodlama Çentiği



7-pin Seri ATA Veri Kablosu

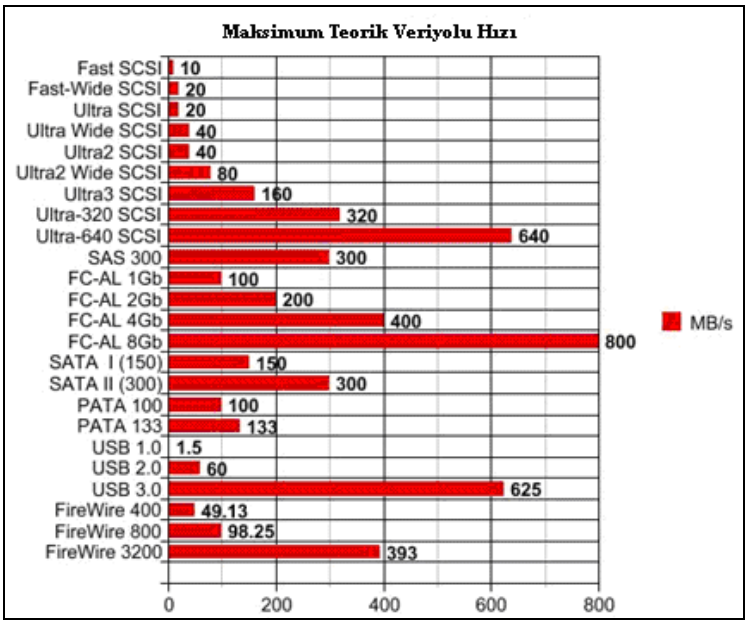
Şekil 1.6 SATA kablosu örneği.

SATA, eski tasarım ATA standartlarının yerini alması için tasarlanmıştır. Bundan önceki ara yüz PATA yani Paralel ATA standardı idi.

SATA ile PATA arasındaki farklar kısaca aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir[7].

- PATA paralel bir veri yolu üzerinden bilgi taşır. SATA ise seri bir veri yoludur.
- PATA 40/80 pin, SATA 7 pin kullanır. Böylece kablo fazlalığından kurtulmuş olunur. Ayrıca maliyet düşer.

- Veri transfer hızı ve verinin güvenli taşınması açısından SATA ara yüzü üstündür.
- SATA ile Full Duplex veri iletişimi sağlanabilir.
- SATA ile bağlı cihazlar "How Swap" ile çalışma anında sökülüp takılabilir.



Şekil 1.7 Protokol çeşitleri ve maksimum veri transfer hızları.

Alt seviye komutların hepsi SATA ve PATA için aynıdır. Dönüştürücü kullanarak birbirine dönüştürülebilir. Şekil 1.7' de görüldüğü gibi SATA I, 150 MB/s hızda veri transferi, 1.5 Gb/s hızda sinyalleşme yeteneğine sağlamaktadır. Günümüzde kullanılan mekanik hard disk sürücüleri en fazla 127 MB/s hızında veri aktarabilir. SATA I burada yeterli görülebilir ancak yüksek performans Flash Disk sürücüleri 200 MB/s hızında veri transferi yapabilir. Sonraları geliştirilen SATA II, bu ihtiyacı karşılayabilir. 300 MB/s hızında veri transferi, 3 Gb/s hızında sinyalleşme yeteneğine sahiptir[8]. Ayrıca Dahili Komut Sıralama yeteneği ile hard disk okuyucu kafasının en yakın olduğu bölgedeki komutu öne çekip etkin komut yürütme özelliği eklenmiştir.

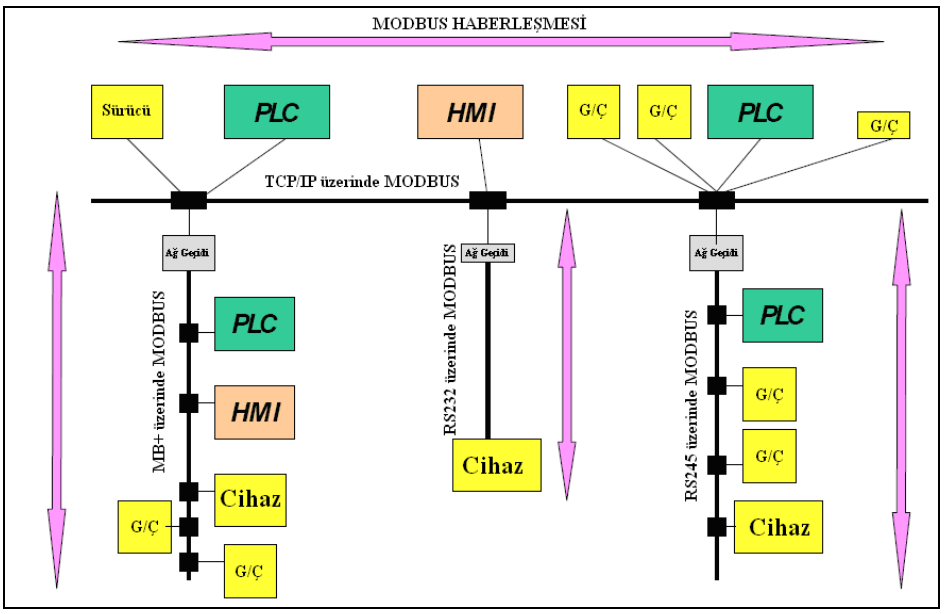
İsim	Ham Bantgenişliği (Mb/s)	Transfer Hızı (MB/s)	Maksimum Kablo Uzunluğu (m)	Sağlanan Güç	Kanal başına düşen cihaz
eSATA	3,000	300	e SATA HBA ile 2 Pasif Uyumlandırıcı ile 1	Yok	1 (Port Çoğullayıcıyla 15)
SATA 300	3,000	300	1	Yok	1 (Port Çoğullayıcıyla 15)
SATA 150	1,500	150	1	Yok	Hat Başına 1
PATA 133	1,064	133	0.46	Yok	2
SAS 300	3,000	300	8	Yok	1 (Genişletici ile 16k)
SAS 150	1,500	150	8	Yok	1 (Genişletici ile 16k)
FireWire 3200	3,144	393	100, Alternatif kablolar ile 100 metrenin üzerinde	15 W, 12–25 V	Dağıtım soketiyle 63
FireWire 800	786	98.25	100	15 W, 12–25 V	Dağıtım soketiyle 63
FireWire 400	393	49.13	4.5	15 W, 12–25 V	Dağıtım soketiyle 63
USB 3.0	5,000	625	3	4.5 W, 5 V	Dağıtım soketiyle 127
USB 2.0	480	60	5	2.5 W, 5 V	Dağıtım soketiyle 127
Ultra-320 SCSI	2,560	320	12	Yok	15
Optik Fiberli Fiber Kanal	10,520	2,000	2 - 50.000	Yok	126
Bakır Kablolu Fiber Kanal	4,000	400	12	Yok	126
InfiniBand 12 x (4'lü Hız)	120,000	12,000	5 (Bakır Kablo) < 10.000 (Fiber Kablo)	Yok	Uçtan uca 1, Dağıtım sistemiyle artar

Şekil 1.8 SATA türleri ve bazı veri aktarım protokolleri karşılaştırması.

1.2.4 Modbus protokolü

Modbus, bir seri haberleşme protokolü olup OSI Modeline göre uygulama katmanında yer alır. İstemci ve sunucu arası haberleşmeyi pek çok farklı fiziksel veri yolu veya ağ üzerinden sağlayabilir.

Modicon PLC' ler için geliştirilen bu haberleşme protokolü 1979' da endüstride kullanılmaya başlanmıştır.



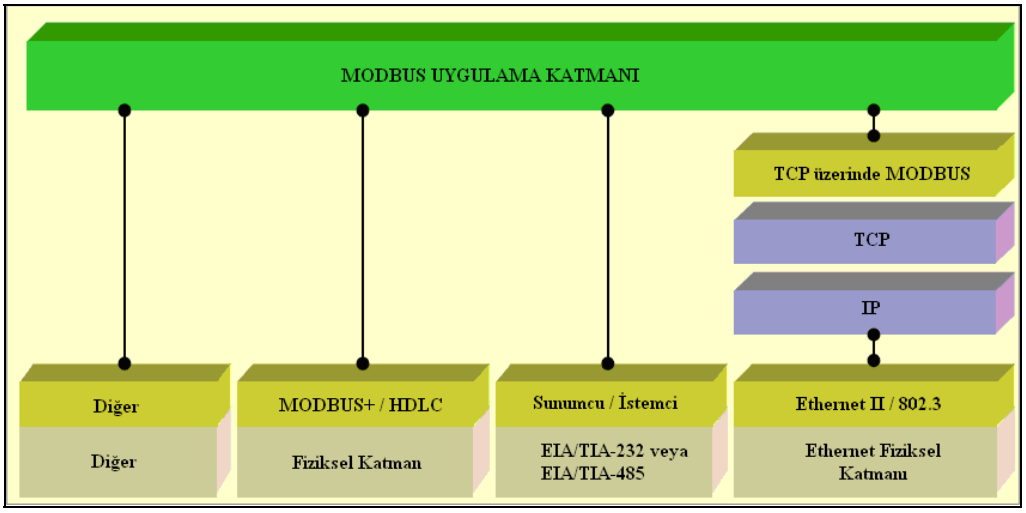
Şekil 1.9 Modbus ağı mimari örneği.

Modbus bir istek/cevap protokolü olup fonksiyonel kodlar ile sistem yönetimini sağlar. Sistemde yalnızca bir adet yönetici bulunur. 247 adet istemci (slave) bulunabilir[9].

İstemcilerde oluşacak hata durumları yöneticiye geri besleme olarak iletilemez. Yönetici istemcileri tarayarak bu durumdan haberdar olabilir.

Ethernet üzerinden TCP/IP ile taşınabilir[10].

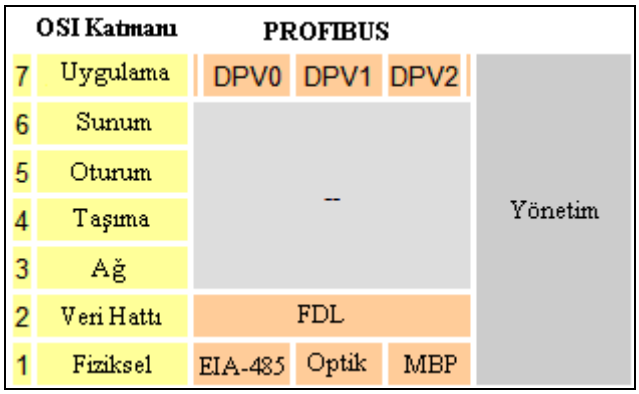
Asenkron veri haberleşmesinin kullanıldığı pek çok katman üzerinden bu protokol koşturulabilir. (EIA/TIA-232-E, EIA-422, EIA/TIA-485-A; fiber, radyo)



Şekil 1.10 Modbus protokolü etkileşim katmanları.

1.2.5 İşlem alanı veri yolu protokolü (PROFIBUS)

İşlem alanı veri yolu (PROFIBUS, Process Field Bus), bir özelleşmiş Field Bus çözümüdür. 1989 yılında Almanya' da geliştirilmiştir. Hem ayrık hem de işlem (proses) uygulamalarını eşsiz bir şekilde tümüyle kapsar. İki tip PROFIBUS çeşidi bulunur: PROFIBUS DP (Decentralized Peripherals), PROFIBUS PA (Process Automation). Yaygın olarak DP çeşidi kullanılır[11].



Şekil 1.11 PROFIBUS protokolü etkileşim katmanları.

PROFIBUS DP çözümü daha çok ayrık otomasyonda kullanılır. Örneğin bir fabrika içinde algılayıcılar, röleler gibi yönetilmesi gereken cihazlarla ana kumanda denetleyiciler arasında kullanılır.

Bükülü çift kablolar ile Fiber optikler üzerinden 12Mb/s hızda veri transferi yapılabilir.

126 Cihaz bir PROFIBUS DP kablosuna bağlanabilir[12].

Üretim Otomasyonu, Taşıyıcı Sistemler, Montaj Hatları, Karmaşık Baskı Makineleri ve Robot Hücrelerinde kullanılır.

Donanım olarak az bir maliyeti vardır ve standart ara yüzler kullandığından güncelleme ve başka melez sistemlere uydurulabilir.

PROFIBUS PA çözümü daha çok ölçüm cihazlarının gözlemi ve işlem sırasındaki verilerin elde edilmesi gibi proses mühendisliğinin alanına giren konularda kullanılır. Patlama tehlikesi bulunan bölgelerde kullanılacak en iyi çözümdür.

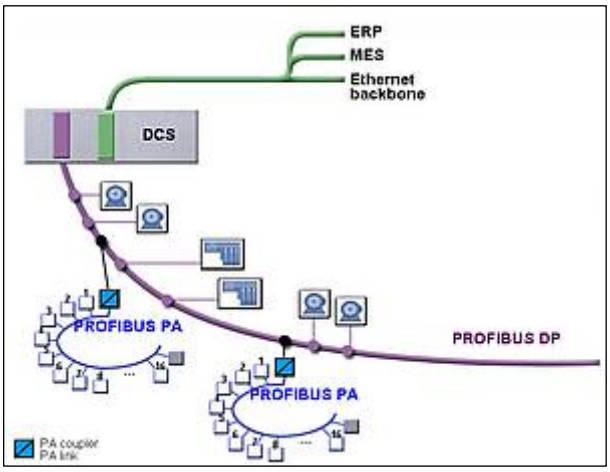
Hattan geçen düşük akım, çevreyle etkileşimi en aza indirerek veri yolundan gönderilen sinyallerle oluşabilecek bir elektrik arkını engeller.

Kötü yanı düşük veri transferidir. Yaklaşık 31.25Kb/s hızda veri aktarımı sağlanır.

Uygulamaya bağlı olarak en fazla 32 cihaz bir PROFIBUS PA segmentine bağlanabilir.

'Intrinsically Safe' (IS), IEC 61158-2 gibi veri yolu güç gereksinimleri standartlarını karşılamaktadır.

Daha çok basınç, sıcaklık gibi ölçüm değerlerinin iletiminde ve yönetiminde kullanılır.



Şekil 1.12 PROFIBUS ağı.

2. I^2C STANDARDI

I^2C veri yolu, 50'den fazla şirket tarafından üretilen 1000'in üzerinde tümleşik devre için uygulanan, bir dünya standardıdır [2]. Buna ek olarak, Sistem Yönetim Veri yolu (SMBus), Güç Yönetim Veri yolu (PMBus), Akıllı Platform Yönetme Ara yüzü (IPMI) ve Gelişmiş Telekomünikasyon İşleme Mimarisi (ATCA) gibi değişik kontrol mimarileri için kullanılmaktadır.

Bu bölümde, I^2C veri yolunun nasıl çalıştığı ve çalışan bir sisteme nasıl uygulanacağı anlatılmıştır. Çeşitli işletim modları tanımlanmış ve I^2C veri yolu veri transfer, anlaşma ve uzlaşma şemaları hakkında bilgiler verilmiştir.

2.1 I^2C Veri yolu Tarihçesi

İlk tanımlamalar 1982 yılına kadar uzanmaktadır [2]. Standart Mode (100 Kb/s' a kadar) ve 7-bit adresleme özelliklerini içermektedir. Hızlı Mod, Yüksek Hızlı Mod ve 10-bit adresleme gibi geliştirmeler sonraki sürümlerinde yayınlanmıştır.

Sürüm 1.0 – 1992

Bu sürüm aşağıdaki özellikler ile geliştirilmiştir:

- Yazılımla slave adres programlaması kaldırılmıştır. Bu özelliğin gerçeklenmesi oldukça karmaşıktır ve kullanılmamıştır.
- "Düşük Hızlı Mod" kaldırılmıştır. Bu mod aslında I^2C standardının içeriğinde yer almaktadır ve bir defa daha belirtilmesine ihtiyaç kalmamıştır.
- Hızlı Mod eklenmiştir. Bu şekilde 4 kat hızlanarak 400 Kb/s hıza erişilmiştir. Hızlı Mod cihazları geriye doğru uyumludur. Bir I^2C sisteminde 0' dan 100 Kb/s' a kadar olan tüm hızlarda çalışabilirler.
- 10-bit adresleme eklenmiştir. Bu şekilde 1024 adet slave adres eklenmiştir.
- Eğim kontrol ve Hızlı Mod cihazlar için giriş filtreleme eklenerek EMC davranışı geliştirilmiştir.

Sürüm 2.0 – 1998

I^2C veri yolu dünyaca tanınan bir standart olduğunda 1000' den fazla tümleşik devrede yer almaktadır ve 50' den fazla firmaya lisans verilmiştir. Yeni uygulamalar için gerek yüksek hız ve düşük gerilim seviyeleri bir ihtiyaç olarak ortaya çıkmıştır. Bu sürümde aşağıdaki geliştirmeler yapılmıştır.

- Yüksek Hızlı Mod eklenmiştir. 3.4 Mb/s hıza kadar veri iletişimi yapılabilir. Yüksek Hızlı Mod cihazları Hızlı ve Standard Mod cihazları ile aynı I^2C hattına bağlanabilir.
- Yüksek gerilim gerektiren cihazlar ile uyumluluk açısından 2 V gerilim ve altında besleme gerilimi gerektiren cihazların çıkış seviyeleri ve eğrileri adapte edilmiştir.
- Hızlı Mod cihazları için gereklilik olarak tanımlanan 6 mA akımda 0.6 V çıkış seviyesi kaldırılmıştır.
- Yeni cihazlar için sabit giriş seviyesi, hatta bağlı giriş seviyeleri ile değiştirilmiştir.
- Çift yönlü seviye yükselteci için uygulama bilgi eklenmiştir.

Sürüm 2.1 – 2000

Bu sürüm I^2C veri yolu tanımlamalarında aşağıdaki ufak değişiklikleri içermektedir:

- Yüksek Hızlı Mod' da tekrarlı START sonrasında SCL saat sinyali yayılabilir.
- Yüksek Hızlı Mod' daki zamanlama parametreleri biraz gevşetilmiştir.

Sürüm 3.0 – 2007

Bu sürüm I^2C standardının son sürümüdür.

- Bölümler yeniden düzenlendi ve çoğu gereklilik daha da netleştirildi.
- Geliştirilmiş Hızlı Mod eklendi.
- Hattı temizleme prosedürü eklendi.
- Seviye yükleltme bilgileri ayrı bir dökümana eklendi (AN10441).
- R_P ayarlama işlemi netleştirildi.
- $t_{DV;DAT}$ ve $t_{DV;ACK}$ sürelerine sınır getirildi.

2.2 I^2C Veri yolu Özellikleri

Tüketici elektroniği, haberleşme ve endüstriyel elektronik alanlarında, birbiriyle ilgisi yokmuş gibi görünen tasarımlar arasında benzerlikler vardır. Her sistem aşağıdaki özelliklerine sahiptir.

Akıllı kontrol devresi: Tek çipli mikrodenetleyici.

Genel amaçlı devreler: LED-LCD sürücüleri, RAM, EEROM, A/D ve D/A dönüştürücüleri.

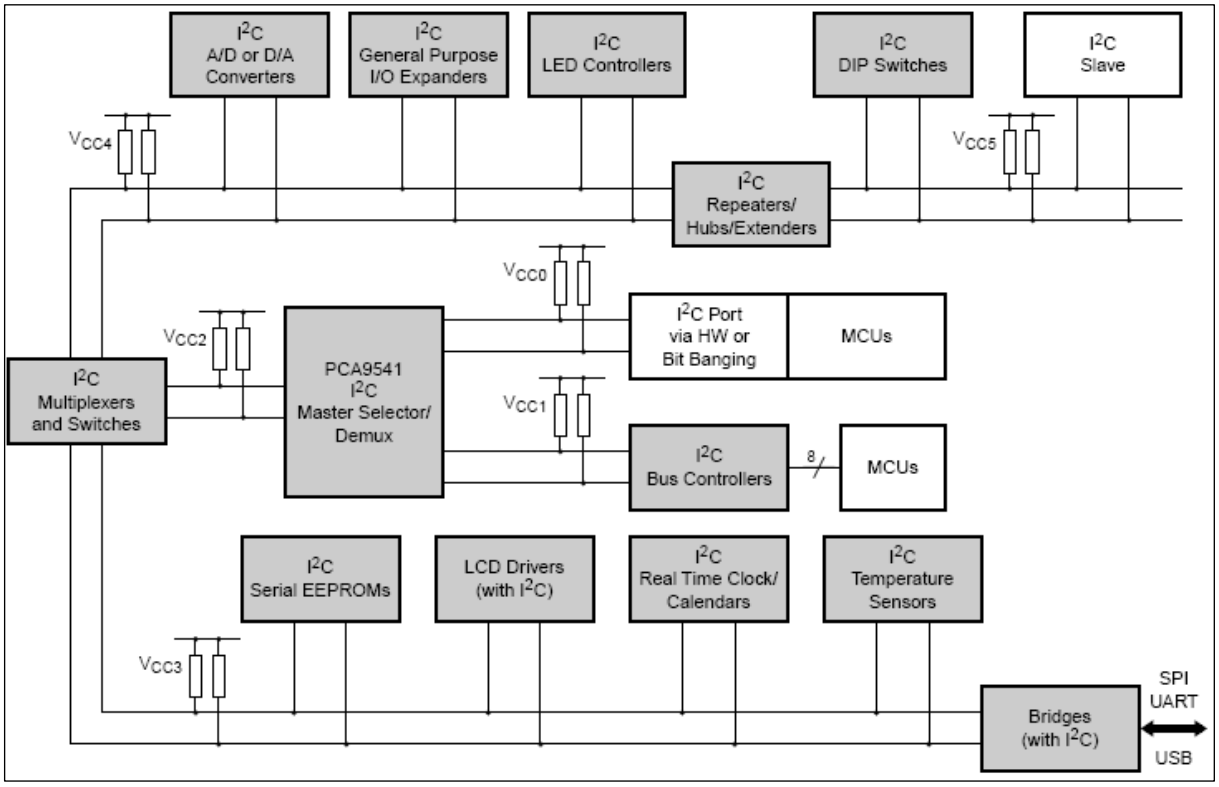
Uygulama tabanlı devreler: Radyo, video sistemleri için işaret işleme devreleri, sıcaklık sensörleri ve akıllı kartlar.

I^2C veri yolu, başka I^2C veri yolları ile haberleşme yapılmasını sağlayan çip üzerinde ara yüzü bulunan aygıtlarla uyumlu bir şekilde çalışır. Bu tasarım yapısı, sayısal kontrol devrelerinin tasarımı sırasında karşılaşılan ara yüz problemlerinin çözümünü gerçekleştirir.

I^2C veri yolunun özellikleri:

- Seri Veri Hattı (SDA) ve Seri Saat Hattı (SCL) olarak isimlendirilen sadece iki veri yolu hattı gereklidir.
- Veri yoluna bağlanan bütün aygıtlar, tek bir adresle erişilebilir olmadır ve master/slave ilişkisi her zaman gerçekleştirilebilmelidir.
- İki veya daha fazla master cihazın veri transferi başlatması durumunda çakışma algılaması ve uzlaşma yapan ve veri kayıplarının önlenmesini sağlayan özellikler çoklu master veri yolu yapısıdır.
- Seri, 8 bitlik çift yönlü veri transferi, Standart Mod'da 100 Kb/s, Hızlı Mod'da 400 Kb/s, Geliştirilmiş Hızlı Mod'da 1 Mb/s ve Yüksek Hız Mod'unda 3.4 Mb/s'a kadar çıkan hızlarda yapılabilmektedir.
- Çip üzerinde filtreleme, veri hattındaki veri bütünlüğünü korumak için, gürültünün hatta girmesini engeller.
- Aynı veri yoluna bağlanacak olan tümleşik devre sayısı, maksimum veri yolu kapasitesi ile sınırlandırılmıştır.

Şekil 2.1' de I^2C veri yolu uygulamalarına ait bir örnek görülmektedir.



Şekil 2.1 Örnek bir I^2C veri yolu uygulaması.

2.3 Tasarımcı Açısından Faydaları

I^2C veri yolu ile uyumlu tümleşik devreler, bir fonksiyon bloğundan, bir prototipe kadar hızla gelişen bir sistem tasarımının yapılmasına olanak sağlar.

I^2C veri yolu uyumlu tümleşik devrelerin özellikleri:

- Blok diyagramlarındaki, fonksiyon blokları gerçek tümleşik devrelerle uyumludur.
- I^2C veri yolu ara yüzü çip üzerine entegre durumda olduğundan, veri yolu ara yüzlerinin tasarımını yapmak gerekli değildir.
- Tümleşik adresleme ve veri transfer protokolleri, sistemlerin daima yazılım tanımlı olmasını sağlar.
- Aynı özelliklerdeki tümleşik devreler değişik amaçlı uygulamalar için kullanılır.
- Tümleşik devreler, veri yolu üzerindeki hiçbir devreyi etkilemeden sisteme eklenebilir veya sistemden çıkartılabilir.
- Hata tanımlama ve hata bulma işlemleri kolaydır.

2.4 Üretici Açısından Faydaları

- İki kablolu, seri I^2C veri yolu, ara bağlantıları en aza indirger bu nedenle tümleşik devreler daha az bacağa sahiptir ve çok fazla PCB yolu yoktur. Tüm bu nedenlerden dolayı, PCB' ler daha küçüktür ve daha ucuza elde edilir.
- Tamamen tümleşik I^2C veri yolu protokolü, sistemin adres kod çözücülerine olan gereksinimini ortadan kaldırır.
- I^2C veri yolu uyumlu tümleşik devreler, sistem tasarımının esnek olmasını sağlar. Bu sayede, temel bir model üzerinden gidilerek yeni modellerin geliştirilmesi yapılır.

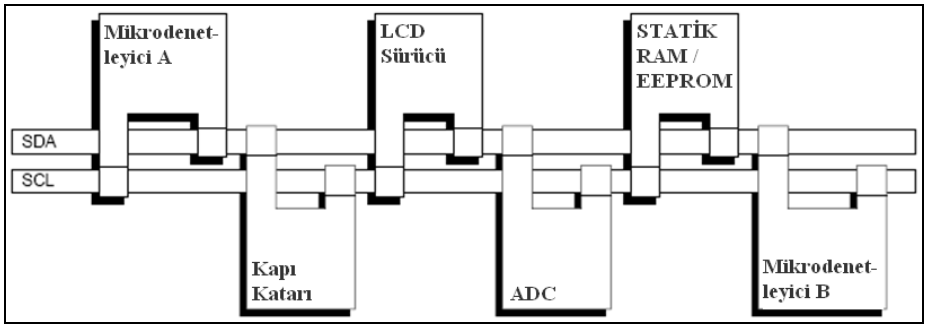
2.5 Tümleşik Devre Tasarımcıları Açısından Faydaları

Mikrodenetleyici tasarımcıları, çıkış bacaklarını muhafaza etmekte zorlanırlar. I^2C protokolü, ayrık adresleme olmaksızın değişik çevresel donanımların bağlantılarına olanak sağlar.

2.6 I^2C Veri yolu Protokolü

Seri Veri Hattı (SDA) ve Seri Saat Hattı (SCL), veri yoluna bağlanan aygıtlar arasında bilgi taşırlar. Her aygıt, tek bir adresle tanımlanır, bu adres sadece bir aygıt için kullanılır ve bunlar özelliklerine göre alıcı veya verici olarak çalışabilirler. Aygıtlar, veri transferi yaparken alıcı ve verici olarak kabul edilselerde, master ve slave olarak da düşünülebilirler. Veri yolu üzerinde, veri transferi başlatan master bir aygıt, veri transferinin gerçekleşmesi için saat işaretleri üretir. Bu durumda, adreslenen diğer aygıtlar slave olarak kabul edilir.

I^2C veri yolu, çoklu master veri yoludur yani veri yolunu kontrol eden birden fazla aygıt, veri yoluna bağlanabilmektedir. Master olarak seçilen aygıtlar genellikle mikrodenetleyicilerdir. Bu durumda, I^2C veri yoluna bağlanan iki mikrodenetleyici arasında veri transferi yapıldığı düşünüldüğünde elde edilen konfigürasyon Şekil 2.2' de görülmektedir.



Şekil 2.2 İki mikrodenetleyicili veri yolu bağlantı şekli.

Master-slave ve alıcı-verici bağlantıları I^2C veri yolu üzerinde bulunur. Bu bağlantılar kalıcı olmamakla birlikte, veri transferinin yönüne bağlı olarak değişim göstermektedir. Veri transferi, aşağıdaki şekilde devam eder;

1. Mikrodenetleyici A'nın, mikrodenetleyici B'ye doğru bilgi göndermek istediği düşünülürse:
    - Mikrodenetleyici A (master), mikrodenetleyici B (slave)'yi adresler.
    - Mikrodenetleyici A (master-verici), mikrodenetleyici B (slave-alıcı)'ya verileri gönderir.
    - Mikrodenetleyici A, veri transferini sonlandırır.
2. Mikrodenetleyici A'nın, mikrodenetleyici B'den bilgi almak istediği düşünülürse:
    - Mikrodenetleyici A (master), mikrodenetleyici B (slave)'yi adresler.
    - Mikrodenetleyici A (master-alıcı), mikrodenetleyici B (slave-verici)'den verileri alır.
    - Mikrodenetleyici A, veri transferini sonlandırır.

Bu incelenen durumda, zamanlamadan ve veri transferinin sonlandırılmasından master olan aygıtın sorumlu olduğu görülmektedir.

I^2C veri yoluna birden fazla mikrodenetleyici bağlanması, master olan birden fazla aygıtın aynı anda veri transferi başlatabilmesine olanak sağlamaktadır. Bu durumda bir problemin oluşmasını engellemek için bir yönetim oluşturulmuştur. Bu yöntem, I^2C veri yolundaki, I^2C ara yüz bağlantılarının Lojik "Ve" lenmiş yapıda olmasına dayanır.

Bir veya daha fazla master aygıt, veri yoluna bilgi koymak istediğinde, ilk olarak "1" işaretini üreten aygıt, diğer aygıtlardan biri "0" işaretini ürettiği zaman yönetimi kaybeder. Yönetim süresince saat işaretleri, Lojik "Ve" bağlantıları yapan master aygıtları tarafından üretilen saatlerin senkronize edilmiş birleşimidir. I^2C veri yolundaki saat işaretlerinin üretimi, master aygıtların yönetimindedir.

Şekil 2.3' de, I^2C veri yoluna ait zorunlu ve seçimlik özellikler özetlenmiştir.

M = mandatory; O = optional; n/a = not applicable.

Feature	Configuration		
	Single master	Multi-master	Slave
START condition	M	M	M
STOP condition	M	M	M
Acknowledge	M	M	M
Synchronization	n/a	M	n/a
Arbitration	n/a	M	n/a
Clock stretching	O	O	O
7-bit slave address	M	M	M
10-bit slave address	O	O	O
General Call address	O	O	O
Software Reset	O	O	O
START byte	n/a	O	n/a
Device ID	n/a	n/a	O

Şekil 2.3 I^2C protokol özelliklerinin uygulanabilirliği

2.6.1 SDA ve SCL işaretleri

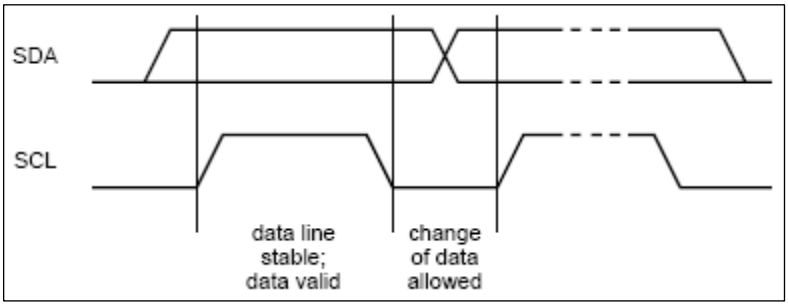
SDA ve SCL hatları çift yönlü hatlardır ve akım kaynağı veya pull-up direnç üzerinden, pozitif voltaj kaynağına bağlanırlar. Veri yolunun boş olduğu durumda, bütün hatlar "HIGH" durumundadır. Veri yoluna bağlanan aygıtların çıkış seviyeleri, Lojik "Ve" fonksiyonunu gerçekleştirebilmek için bir open-drain veya bir open-collector'e sahip olmalıdır.

2.6.2 SDA ve SCL lojik seviyeleri

I^2C veri yoluna bağlanabilen farklı teknolojilerdeki (CMOS, NMOS) aygıtların çeşitliliğinden dolayı, lojik 0 "LOW" ve lojik 1 "HIGH" seviyeleri sabitlenememiştir ve VDD seviyesine bağlıdır. Giriş referans seviyeleri VDD' nin %30 ve %70' ine göre ayarlanmıştır.

2.6.3 Veri Geçerliliği

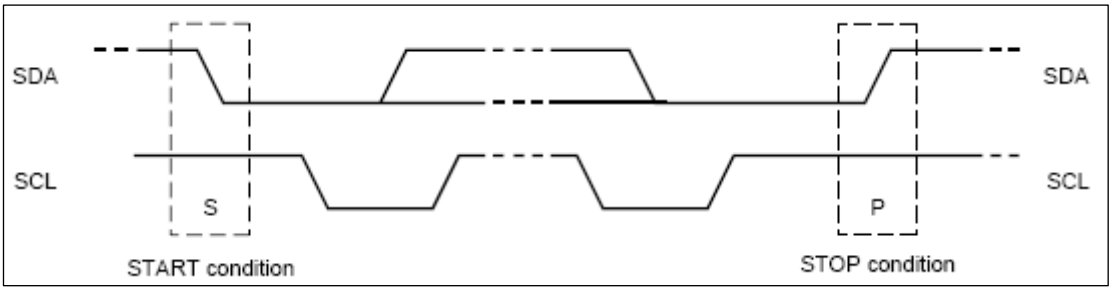
SDA hattı üzerindeki veri, saat işaretinin "HIGH" durumunda olduğu sırada sabit olmalıdır. Veri hattının "HIGH" veya "LOW" seviyeleri sadece SCL hattındaki saat işaretinin "LOW" olduğu durumda değişiklik gösterir. Transfer edilen her bir veri biti için bir saat darbesi üretilir.



Şekil 2.4 I^2C veri yolunda bit transferi.

2.6.4 START - STOP Koşulları

Bütün hareketler, START (S) ile başlar ve STOP (P) ile sonlandırılır. SCL, "HIGH" durumundayken, SDA hattının HIGH' dan LOW' a geçişi, START koşuluyla tanımlanır. SCL, "HIGH" durumundayken, SDA hattının LOW' dan HIGH' a geçişi, STOP koşuluyla tanımlanır.

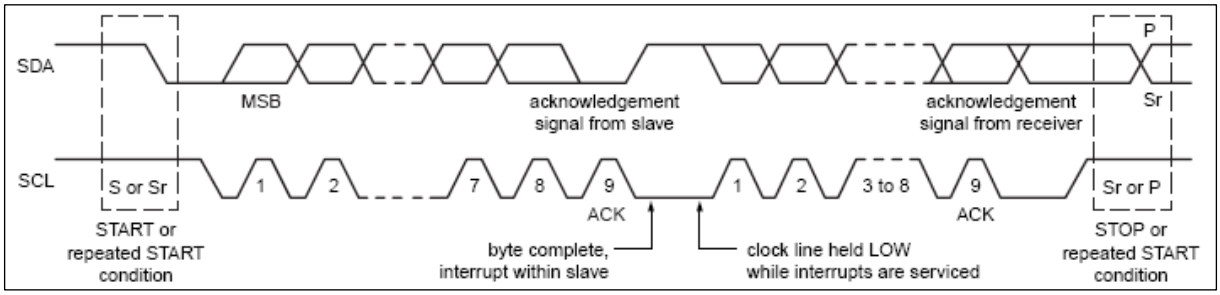


Şekil 2.5 START ve STOP koşulları.

START ve STOP koşulları, master tarafından belirlenir. START koşulu sağlandıktan sonra veri yolu meşgul durumuna geçer ve STOP koşulu sağlandıktan bir süre sonra veri yolu tekrardan iletim için hazır hale gelir.

2.6.5 Bayt Formatı

SDA hattına koyulan her bir bayt 8 bit uzunluğunda olmalıdır. Bir veri transferinde taşınabilecek bayt sayısı sınırsızdır. Her bir bayt, en sonunda onay biti içerir ve veri, en ağırlıklı bit (MSB) ile transfer edilir.



Şekil 2.6 I^2C hattında veri transferi.

2.6.6 Onay (ACK) ve Onay Yok (NACK)

Her bayt'tan sonra onay yer alır. Onay biti, alıcının gönderilen bayt'ı başarılı bir şekilde aldığını ve gönderilecek başka bayt varsa o bayt'ı da alabileceğini, vericiye gösteren işarettir. Onay için olan 9. Saat darbesini içeren bütün saat işaretleri, master tarafından üretilir.

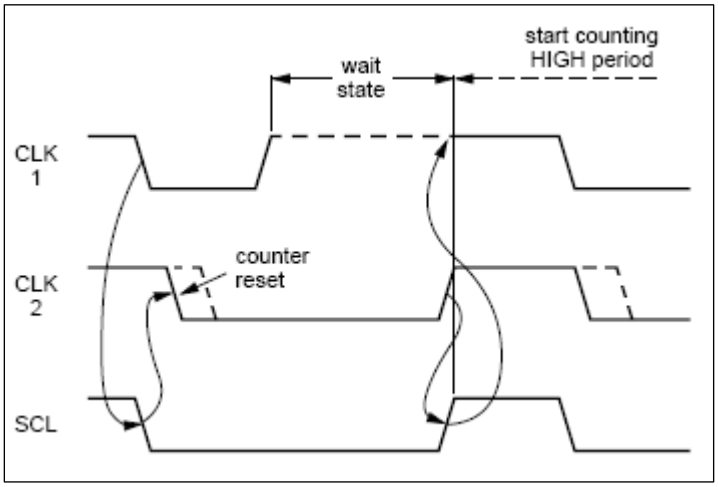
Onay işareti şu şekilde tanımlanır: Verici, SDA hattını onay saat darbesi süresince serbest bırakır böylece alıcı, SDA hattını LOW' a çeker ve saat işaretinin HIGH periyodu süresince LOW durumunda sabit kalmasını sağlar.

9. Saat darbesi süresince, SDA, HIGH durumunda kalır, bu durumdaki işaret Onay Yok işareti olarak tanımlanır. Master, veri transferini sonlandırmak için STOP işaretini ve yeni transfere başlamak için START işaretini üretir.

2.6.7 Saat Eşleme

Veri yolunda bulunan master aygıtlar aynı anda iletime başlayabilir, veri yolunun kontrolünü kimin yapacağına karar vermek ve iletimi tamamlayabilmek için bir metot belirlenmiştir. Bu metot saat senkronizasyonu ve yönetim ile oluşturulur. Sistemde tek bir master' ın bulunduğu durumda bu metodun kullanılmasına gerek yoktur.

Saat eşleme, I^2C ara yüzü ile SCL bağlantılarının Lojik "Ve" yapıda kullanılmasıyla gerçekleştirilir.



Şekil 2.7 Uzlaşma prosedürü anında saat eşleme.

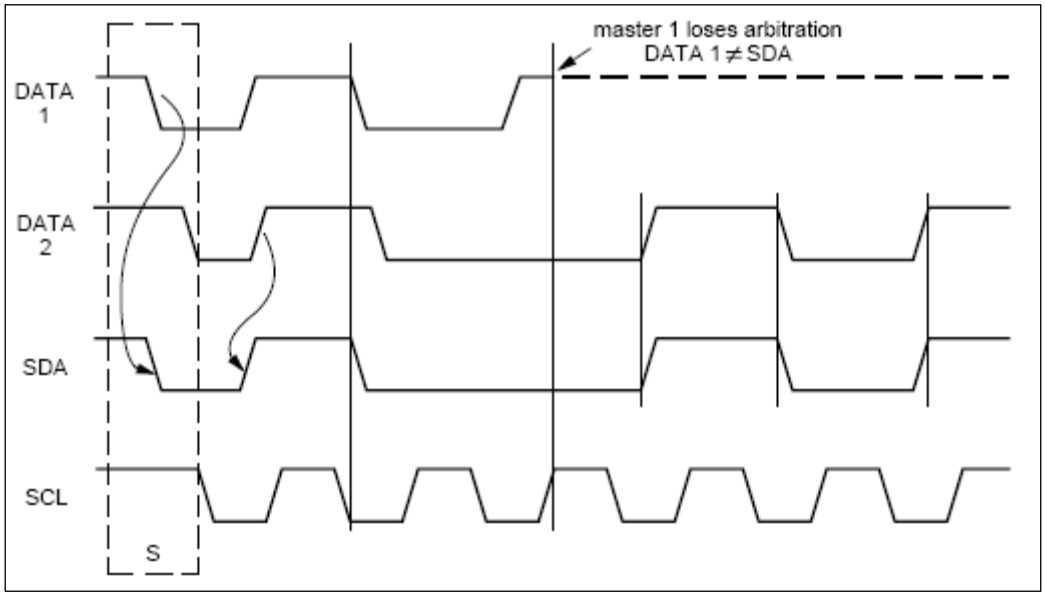
2.6.8 Uzlaşma

Sistemde birden fazla master bulunduğu durumda, saat eşleme gibi uzlaşma'da protokolün bir parçasıdır. Uzlaşma prosedürü, slave' ler için uygulanmaz. Uzlaşma, hangi master' ın iletimini tamamlayacağına karar verir.

Uzlaşma, bit bit ilerler. Bit süresince, SCL, HIGH durumdayken, her master gönderdiği seviye ile SDA seviyesinin birbirine uyup uymadığını kontrol eder. Bu işlem, birçok bit için uygulanmaya devam eder. Master aygıtlar, iletimler özdeş olduğu sürece hata oluşmadan başlangıç akışını tamamlar.

Uzlaşma işlemi süresince hiçbir bilgi kaybı yaşanmaz. Uzlaşma' yı kaybeden master aygıt, uzlaşma' nın kaybedildiği yerdeki en son bayt' a kadar saat işareti üretebilir. Bu aygıt veri yolu boş olduğu durumda akışı yeniden başlatmalıdır.

Şekil 2.8' de, 2 master' lı sistem için uzlaşma prosedürü gösterilmektedir.



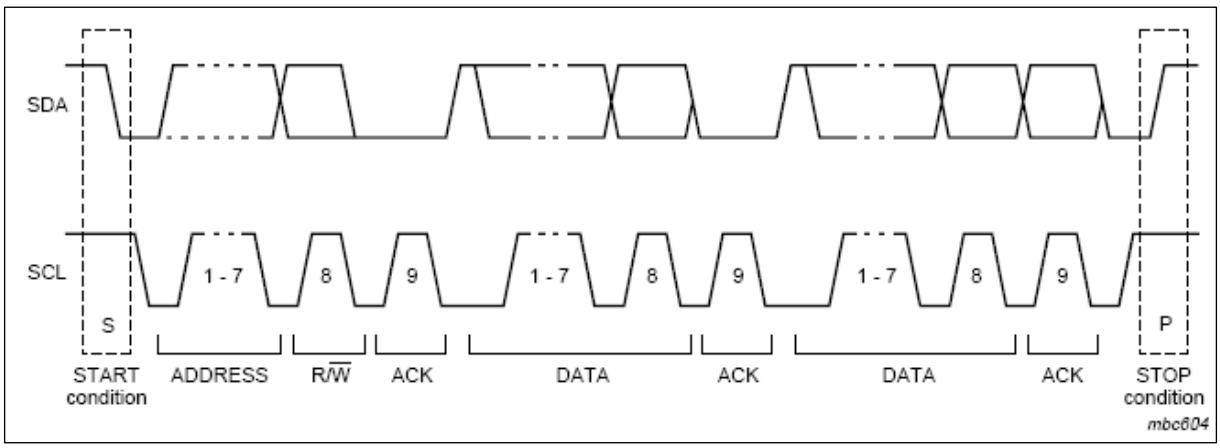
Şekil 2.8 İki master' ın uzlaşma prosedürü.

2.6.9 Saat Yayma

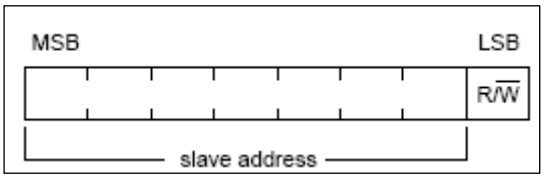
Saat uzatma, SCL hattını LOW seviyede tutarak bir akışı durdurmaktır. Hat tekrar HIGH seviyeye çekilmeden akış devam ettirilemez. Saat uzatma seçimliktir ve aslında çoğu slave cihazda SCL sürücüsü bu özelliği içermez dolayısıyla saat uzatmazlar.

2.6.10 Slave Adres ve Okuma/Yazma Biti

Şekil 2.9' da görülen şekil veri transfer biçimini göstermektedir. START (S) durumundan sonra bir slave adres gönderilir. Bu adres yedi bit uzunluğundadır ve sekizinci bit veri yönünü gösterir (Okuma/Yazma, $R/\overline{W}$). Bu bit "0" olursa yazma operasyonunu, "1" olursa okuma isteğini belirtir. Şekil 2.10' da bayt biçimi gösterilmiştir.



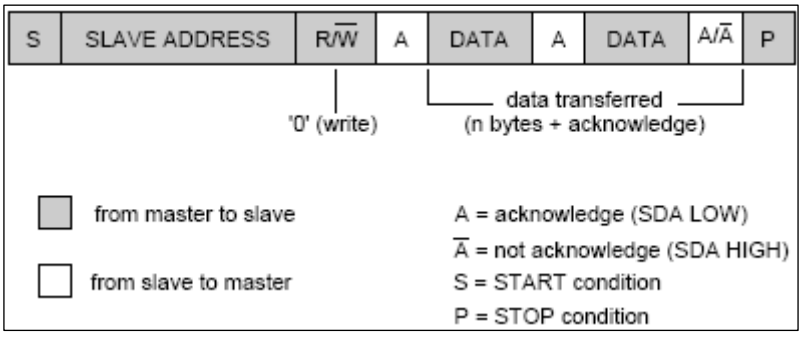
Şekil 2.9 Bir veri transferi.



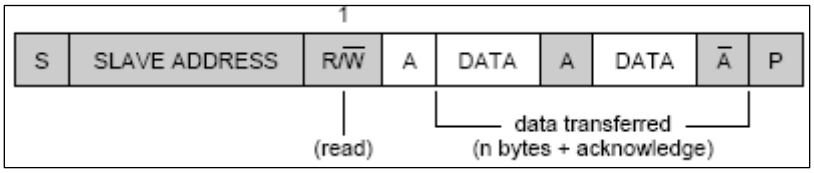
Şekil 2.10 START prosedüründen sonraki ilk bayt.

Bazı veri transfer biçimleri aşağıdaki gibidir:

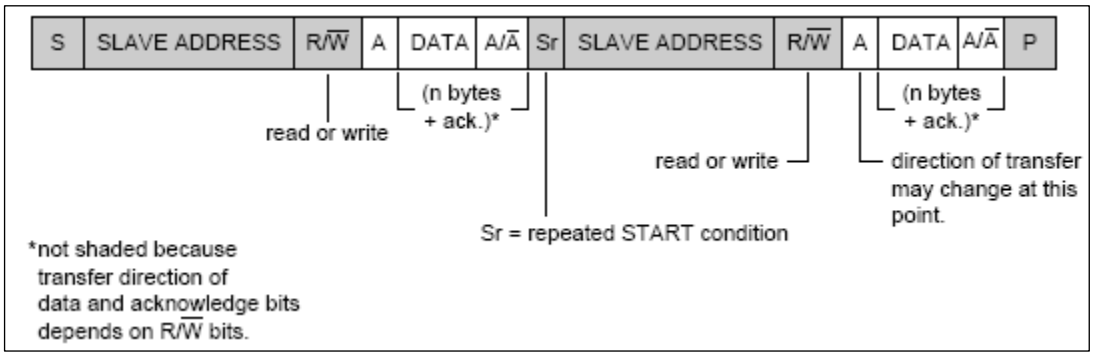
- Master-verici, slave-alıcıya gönderir. Transfer yönü değişmez. Slave alıcı her bayt sonunda onay yollar.
- Master cihaz, slave cihazı ilk bayttan sonra okur. İlk onaydan sonra master-verici, master-alıcıya dönüşür. Slave-alıcı da slave-verici' ye dönüşür. İlk onay slave tarafından üretilir. Sonraki onaylar ise master tarafından gönderilir. Master, STOP durumundan hemen önce onay göndermez.
- Birleşik biçimi de vardır. Transfer sırasında yön değişimi anında START durumu ve slave adres tekrarlanır ama $R/\overline{W}$ biti terslenerek yapılır. Eğer bir master-alıcı tekrarlı START gönderirse, tekrarlı START durumunun hemen öncesinde onay göndermez.



Şekil 2.11 Bir master-verici bir slave-alıcıya 7-bit adres ile erişmesi.



Şekil 2.12 Master ilk bayttan sonra slave' den okur.



Şekil 2.13 Birleştirilmiş biçim.

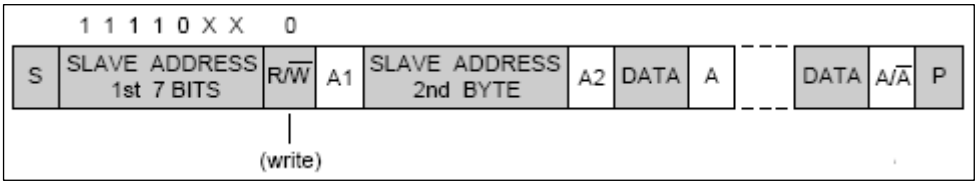
2.6.11 10-bit Adresleme

10-bit adresleme sayesinde muhtemel adres sayısı artar. 7-bit ve 10-bit adreslemeyi kullanan cihazların ikisi de I^2C veri yoluna bağlanabilir ve tüm hızlarda 7-bit ve 10-bit adresleme kullanılabilir. Halen 10-bit adresleme yaygın olarak kullanılmamaktadır.

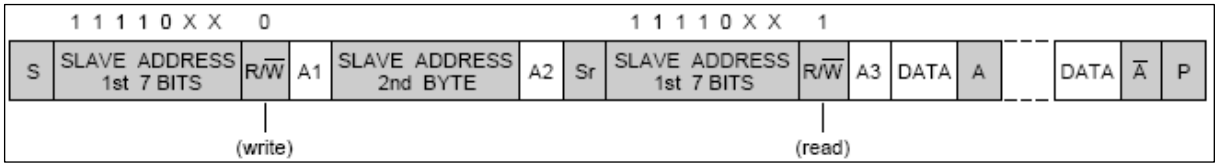
10-bit slave adres, START (S) durumundan veya tekrarlanmış START (Sr) durumundan sonra gelen 2 bayt ile oluşturulur.

İlk baytın 7 biti "1111 0XX" kombinasyonudur öyle ki son iki bit (XX) 10-bit adresin en ağırlıklı iki bitini oluşturur; ilk baytın sekizinci biti ise $R/\overline{W}$ bitini yani mesajın yönünü tayin eder.

10-bit adresleme için ayrılmış adres bitlerinden sekiz muhtemel kombinasyon "1111 XXX" olmasına rağmen sadece dört kombinasyonu "1111 0XX" kullanılmaktadır. Kalan dört kombinasyon "1111 1XX" gelecek I^2C geliştirmeleri için ayrılmıştır.



Şekil 2.14 Master-verici 10-bit adresleme ile bir slave-alıcıya erişir.



Şekil 2.15 Master-alıcı 10-bit adresleme ile bir slave-vericiye erişir.

7-bit adresleme için önceden tanımlanmış tüm okuma/yazma biçimleri 10-bit adresleme için de mümkündür. İki ayrıntı aşağıdaki gibidir:

- Master-verici 10-bit adresleme ile slave-alıcıya gönderir. Transfer yönü değiştirilmez. START durumunu takip eden 10-bit adreste, her alıcı slave adresin ilk baytının ilk yedi bitini (1111 0XX) kendi adresiyle karşılaştırır ve sekizinci biti ($R/\overline{W}$ yön biti) "0" ile karşılaştırır. Birden fazla cihazın eşleşmesi ve onay (A1) üretmesi muhtemeldir. Tüm eşleşen alıcılar ikinci baytın sekiz bitini (XXXX XXXX) kendi adresleriyle karşılaştırır, ancak sadece bir alıcı eşleşir ve onay üretir (A2). STOP (P) veya tekrarlı START (Sr) sonrası farklı bir slave adres üretilmediği sürece eş alıcı, verici tarafından adreslenecektir.

- Master-alıcı 10-bit adresleme ile slave-vericiden okur. Transfer yönü $R/\overline{W}$ biti sonrasında değişir.Onay biti A2' ye kadar ve A2 dahil olmak üzere master-verici, slave-alıcı adreslemesi ile aynı prosedür işler. Tekrarlı START (Sr) durumundan sonra eşleşen bir alıcı daha önceden adreslendiğini hatırlar. Bu alıcı, tekrarlı START (Sr) sonrası gelen ilk baytın ilk yedi bitini, START durumu (S) sonrası gönderilen ilk baytın ilk yedi biti ile karşılaştırır ve sekizinci biti "1" ile bir daha karşılaştırır. Eğer eşleşirse, slave-alıcı artık verici olarak adreslendiğini anlar ve onay üretir (A3). STOP durumu veya tekrarlı START durumunu oluşmadıkça slave-verici olarak adreslenir. Bir tekrarlı START durumundan daha sonra tüm diğer alıcılar ilk baytın ilk yedi bitini ve sekizinci biti kendi adresleri ile karşılaştırırlar. Ancak hiçbiri adreslenemez çünkü 10-bit adresleme için $R/\overline{W}$ biti "1"dir. 7-bit adreslenen alıcılar için de adreslenemez. 10-bit adreslenen Slave cihazlar, 7-bit adreslenen slave cihazlar gibi "genel çağrı"ya karşılık verecektir. Donanım yöneticileri kendi 10-bit adreslerini "genel çağrı"dan sonra iletebilirler. Bu durumda "genel çağrı" adres baytı, master-vericinin 10-bit adresi ile takiplenir. Şekil 15' de ilk DATA baytı master adresinin en düşük ağırlıklı 8 bitini içerir. START baytı 0000 0001 (01), 7-bit adreslemede olduğu gibi 10-bit adresleme öncesinde de kullanılabilir.

2.6.12 Saklı Adresler

İki grup sekiz adres Tablo 2.1' de gösterildiği gibi bazı amaçlar için ayrılmıştır.

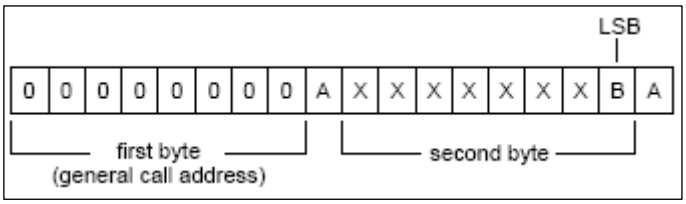
Tablo 2.1 Saklı adresler.

Slave Adres	$R/\overline{W}$ biti	Tanım
0000 000	0	Genel çağrı adresi
0000 000	1	START baytı
0000 001	X	CBUS adresi
0000 010	X	Diğer veri yolu biçimleri için ayrılmış
0000 011	X	Gelecek amaçlar için ayrılmış
0000 1XX	X	Yüksek hızlı mod master kodu
1111 1XX	X	Gelecek amaçlar için ayrılmış
1111 0XX	X	10-bit slave adresleme

Yerel bir sistemde bu adreslerin kullanılıp kullanılmayacağı sistem tasarımcısına bırakılmıştır. Ancak genel bir I^2C hattı ile bağlantı olması durumunda çakışmalar olacağı göz önünde bulundurulmalıdır.

2.6.13 Genel Çağrı Adresi

Genel çağrı adresi, I^2C hattındaki tüm cihazları adreslemek için kullanılır. Eğer bir çihaz genel çağrı adresi ile gelecek verilere ihtiyacı yoksa bu adrese onay üretmeyerek yoksayabilir. Eğer bir cihaz bu adres ile gelecek verilere ihtiyacı varsa bir onay üretecektir. Genel çağrı adresinin anlamı ikinci baytta saklıdır.



Şekil 2.16 Genel çağrı adres biçimi.

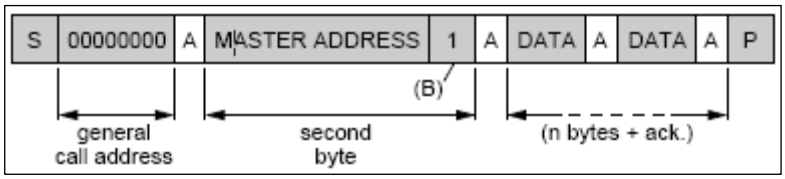
İncelenecek iki durum vardır:

- En düşük ağırlıklı bit B, “0” ise
- En düşük ağırlıklı bit B, “1” ise

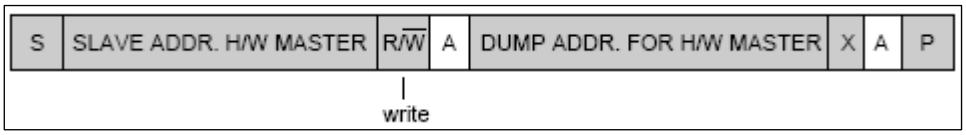
B biti “0” ise ikinci baytın tümü aşağıdaki gibi anlamlandırılır:

- 0000 0110 (06h): Reset ile yeniden başla ve slave adresin programlanabilir kısmına donanımsal adresini yaz.
- 0000 0100 (04h): Slave adresin programlanabilir kısmına donanımsal adresini yaz.
- 0000 0000 (0h): Bu kod ikinci bayt olarak kullanılamaz.

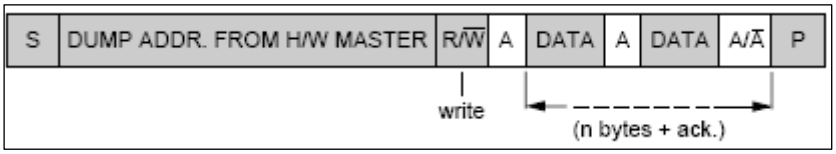
B biti “1” ise ikinci bayt bir “donanımsal genel çağrı” olur. Bunun anlamı, sistemde hangi cihaza veri iletmesi gerektiğini bilmeyen ancak kendisini sisteme slave adresi ile duyuran bir master cihaz var demektir. Klavye tarayıcısı buna bir örnektir.



Şekil 2.17 Donanımsal master-vericiden veri transferi.



Şekil 2.18 Yönetimsel master donanımsal master’ a boş adres gönderir.



Şekil 2.19 Donanımsal master slave aygıta veri gönderir.

2.6.14 Yazılımsal Reset

Bir Genel Çağrı sonrasında, (0000 0000), ikinci bayt olarak 0000 0110 (06h) baytını göndermek yazılımsal reset anlamına gelir.Bu özellik seçimliktir ve hiçbir cihaz buna cevap

vermek zorunda değildir. Bu adrese cevap verebilecek cihazlar ise reset alıp donanımsal adresleri ile yeniden açılırlar.

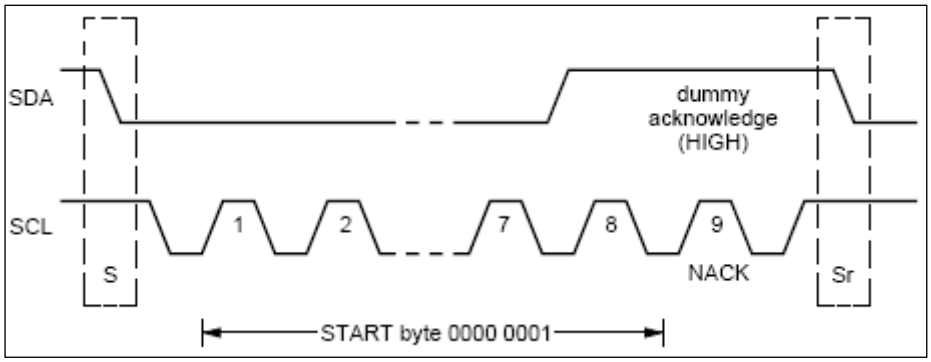
2.6.15 START Baytı

Mikrodenetleyiciler I^2C hattına iki şekilde bağlanabilirler. Bir I^2C ara yüz donanımına sahip mikrodenetleyici hattan gelen kesmeler ile veri akışını elde eder. I^2C ara yüz donanımına sahip olmayan bir cihaz ise hattı sürekli olarak taramak zorundadır. Böyle bir mikrodenetleyici ne kadar çok hattı tarmak zorunda kalırsa o kadar az gerşek amacı için çalışır.

Yavaş mikrodenetleyiciler ile hızlı olanlar arasında hattı tarama süresi açısından farklı lık görülür. Bu durumda veri transferi, normal başlangıç prosedüründen ayrı olarak daha uzun bir şekilde başlatılabilir. Bu başlangıç prosedürü 4 bölümden oluşur:

- START durumu (S)
- START baytı (0000 0001)
- Onay saat işareti (ACK)
- Tekrarlı START durumu (Sr)

Start durumu olarak tanımlanan S oluşturulduktan sonra START baytı master tarafından gönderilir. Diğer bir mikrodenetleyici de düşük hızda hattı örneklerken SDA' nın yedi defa "0" olduğu anları yakalamalıdır. Bu durum yakalandıktan sonra daha yüksek hızda örneklemeye geçerek bir sonraki "0" durumunu yakalamaya çalışır. Böylece hatta senkronize olur.



Şekil 2.20 START bayt prosedürü.

2.6.16 Hattı Temizleme

Eğer SDA hattı LOW seviyesinde takılı kalmışsa master 9 adet saat işareti üretir. SDA hattını sürekli LOW seviyede tutun cihaz bu 9 saat işareti içinde bir anda SDA hattı bırakmalıdır. Eğer bırakmıyorsa donanımsal reset veya yeniden güç vererek çözüm bulunabilir.

2.7 I^2C Hattının diğer Haberleşme Protokolleri ile Kullanımı

I^2C hattı birçok sistem mimarisi içinde haberleşme protokolü olarak kullanılmaktadır. Bu mimarilerde, temel I^2C özelliklerine, uygulamaya özgü komutlar veya uzantılar eklenmiştir. Genel olarak, protokolü, fiziksel altyapısı ve ara yüzleri aynı olmak şartıyla I^2C cihazlarına ek giriş/çıkış birimleri eklenerek bu mimariler ile haberleşme sağlanabilir.

2.7.1 CBUS ile Uyumluluk

CBUS alıcıları, Standart Mod I^2C hattına bağlanabilirler. Ancak üçüncü bir hat olan DLEN bağlanmalıdır ve onay biti yoksayılmalıdır. Normal şartlarda I^2C veri aktarımı 8 bayt üzerinden yürümektedir ancak CBUS uyumlu cihazlarda daha farklı bir format uygulanmaktadır.

2.7.2 Sistem Yönetim Veri yolu (SMBus)

SMBus, I^2C donanımını ve adresleme şeklini kullanıra ancak ikinci seviye bir yazılım daha ekler ve özel bir sistem kurar. Dinamik adres atmaları ve algılamaları için Adres Çözümleme Protokolü koşturur.

SMBus bugün birçok kişisel bilgisayarda sistem yünetim hattı olarak kullanılmaktadır.

2.7.3 Güç Yönetim Veri yolu (PMBus)

PMBus, güç dönüştürücüleri ile sistem konak birimini SMBus üzerinden haberleşme yöntemini daha akıllı bir şekilde yönetme olarak tanımlanır. SMBus üzerinden erişebildiği için I^2C ile aynı uyumluluk yapılarına sahiptir.

2.7.4 Akıllı Platform Yönetim Ara yüzü (IPMI)

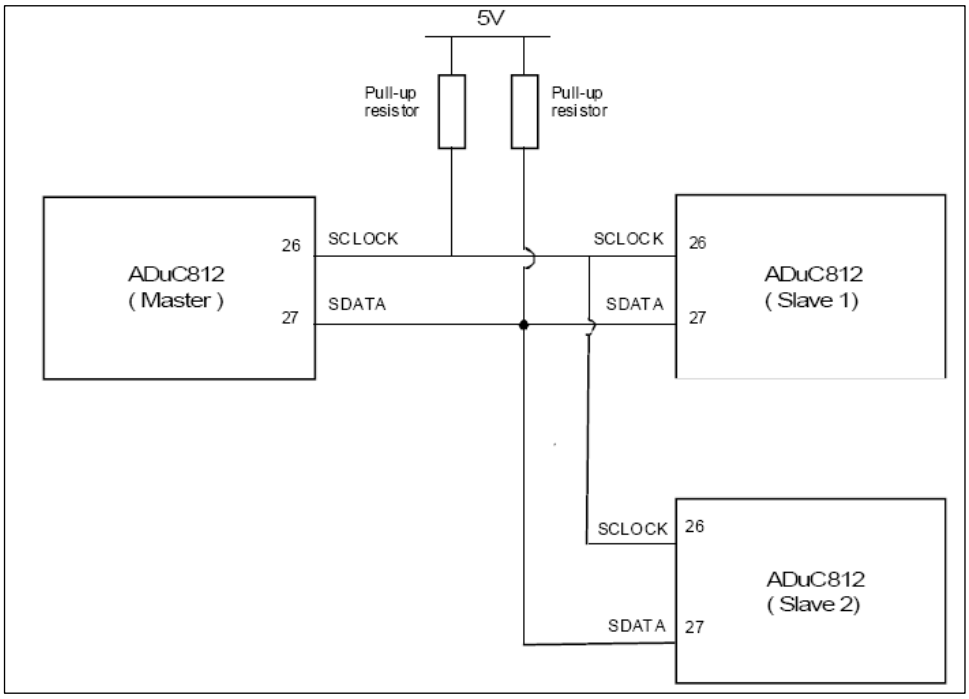
IPMI, akıllı platform yönetim donanımı üzerinde standart, özet, mesaj tabanlı bir ara yüz tanımlar. Bu standartlaşmış hat ve protokol genişletilerek izleme, kontrol, olay takibi gibi özellikler aynı şasede toplar. I^2C tabanlıdır.

2.7.5 Gelişmiş Telekomünikasyon İşleme Mimarisi (ATCA)

ATCA, kartlar arasında termal yönetimin sağlanması için hataya toleranslı bir I2C haberleşme şeması ortaya koymaktadır.

2.8 I^2C Protokolü Uygulaması

Bu bölümde, I^2C haberleşmesinin endüstrideki bir uygulaması verilmiştir. Analog Devices firmasını ürettiği MicroConverter adını verdiği mikrodenetleyicisinin I^2C ara yüzünde kullandığı yazılım incelenmiştir. I^2C master ve slave, donanım ve yazılım olarak geliştirilmiştir. ADuC812 mikrodenetleyicisinin içerisinde bulunan bu donanımın ayrıntısına kaynaklardan ulaşılabilir[23].



Şekil 2.21 Tek master çoklu slave uygulaması örnek blok diyagramı.

Donanımsal slave ve yazılımsal master olarak iki modda çalışmaktadır. 3 adet özel amaçlı kayıtçı (SFR) kullanılmıştır.

- I2CADD: MicroConverter cihazının 7-bit adresini saklar (Varsayılan: 55H). Bu SFR sadece slave modda iken kullanılır.
- I2CDAT: Slave-alıcı modundayken SDA hattından alınan veri bu SFR' de saklanır. Slave-verici durumda iken master cihazın kontrolünde verinin hatta sürülmesini sağlar.
- I2CCON: Kontrol bitleri, konfigürasyon, master/slave modu gibi ayarlar bu SFR' de saklanır.

Bu tanımlanan kayıtçıların şartlanmasından sonra MicroConverter cihazı master veya slave moddan birinde kullanılabilir.

2.8.1 I²C Master Uygulaması

Master program bir START durumu oluşturur, slave adres ve $R/\overline{W}$ biti gönderir ($R/\overline{W}$ = 1). Sonra slave cihazdan bir bayt alır ve onay göndermez (NACK). Ardından STOP durumu oluşturur. Alınan NACK ile slave, master'ın bu baytı aldığını bilir. Master, START, slave adres ve $R/\overline{W}$ biti gönderir ($R/\overline{W}$ = 0). Bu defa master, slave cihaza bir bayt gönderir. Gönderdikten sonra onay (ACK) bekler ve STOP durumunu oluşturur. Master tarafından önceden alınan bayt UART arayüzü ile kişisel bilgisayara iletilir. Daha sonra master, tekrar okuma ve yazma işlemi ile devam eder.

Eğer UART ara yüzünden (klavye kullanılarak) bir karakter alınmışsa master bu karakterin ASCII değerini slave cihaza gönderir. Eğer kullanıcı tarafından INT0 kesmesi ile bağlanan tuşa basılırsa çıkış karakteri bir artırılır.

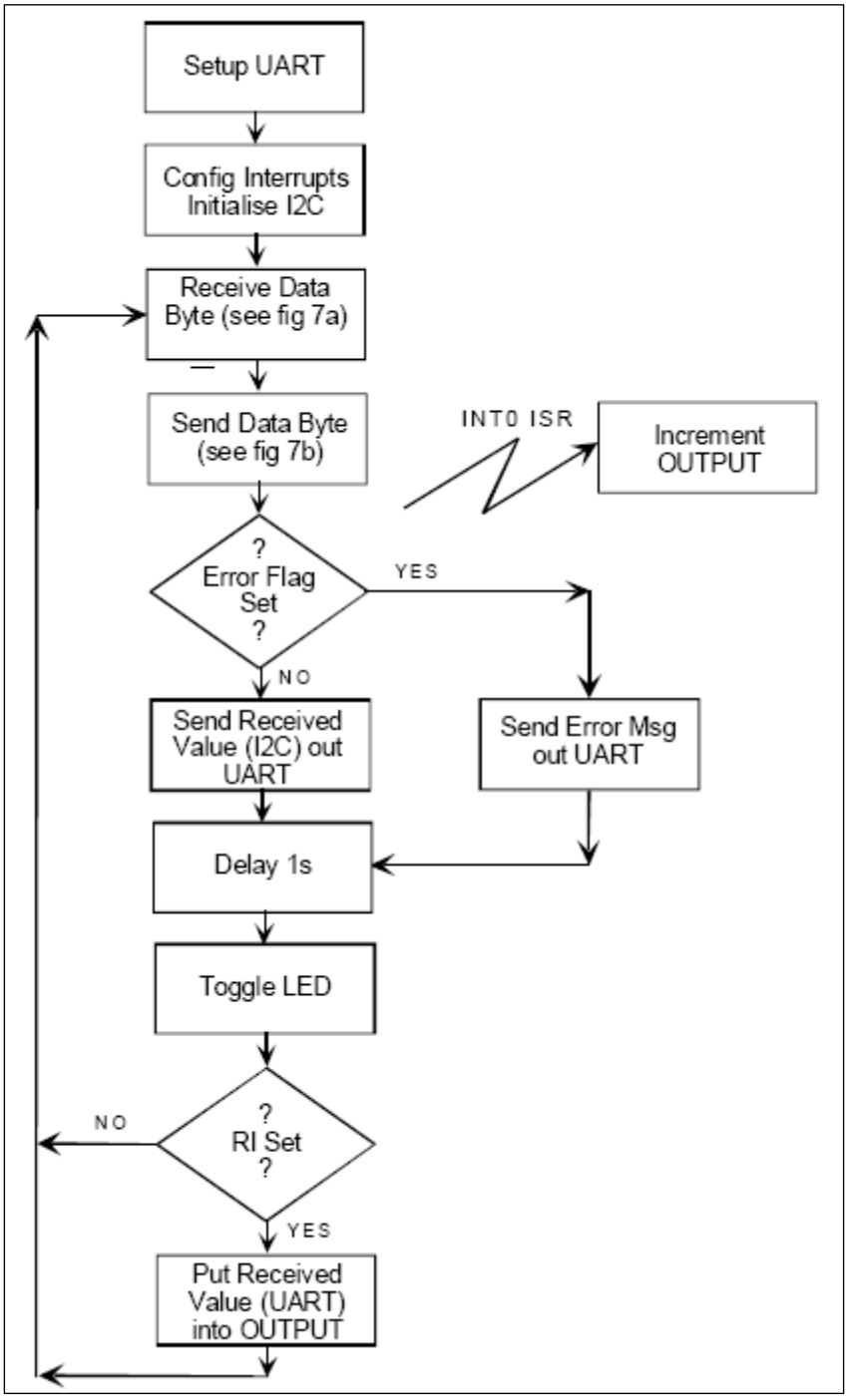
Bu uygulamanın akışları Şekil 2.22 ve Şekil 2.23' de gösterilmiştir.

2.8.2 I²C Slave Uygulaması

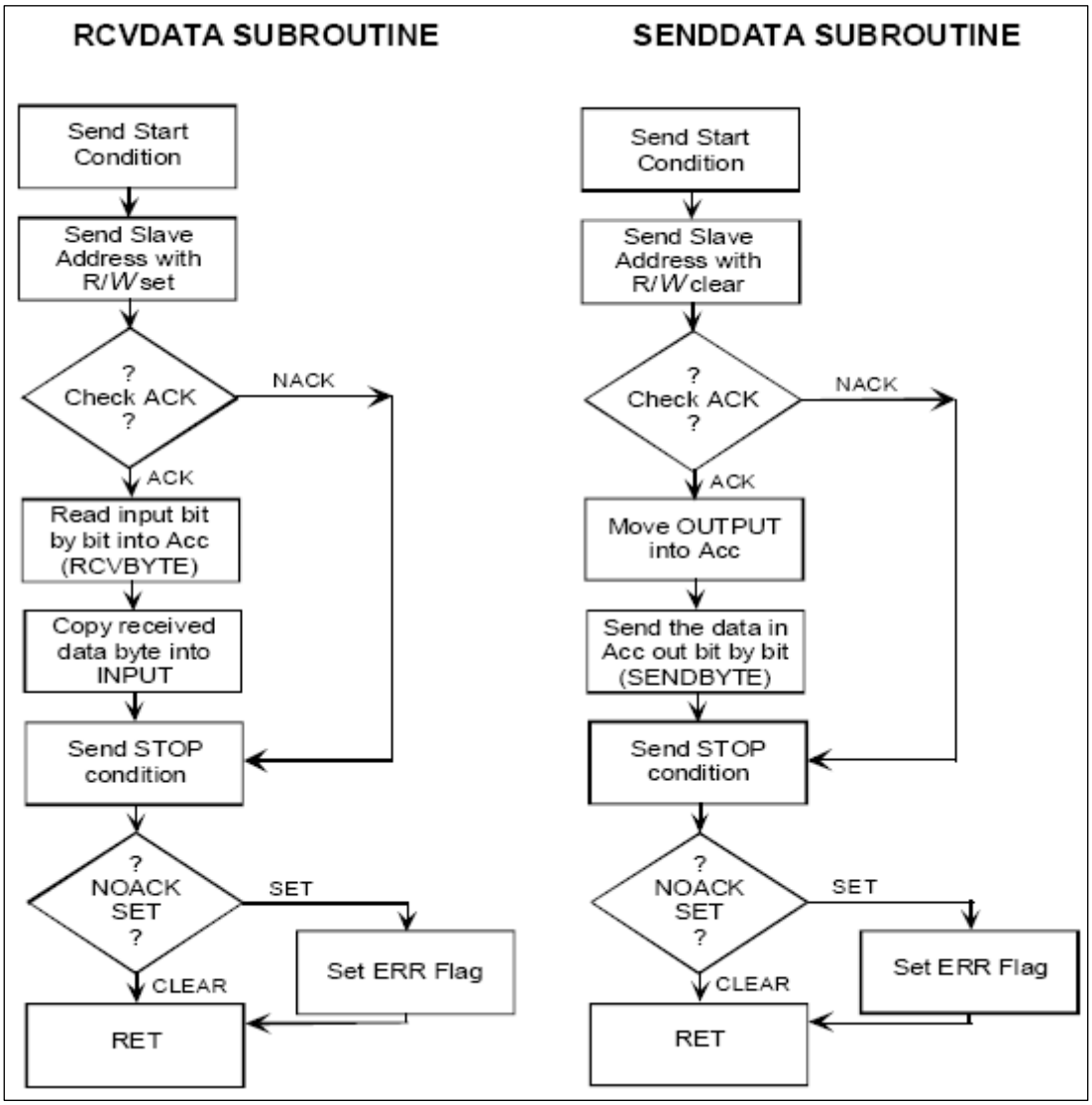
Slave program bir I²C kesmesi için bekler. Kesme oluştuğunda master cihaza bir bayt gönderilecek mi yoksa cihazdan bir bayt okunacak mı karar verilir. Eğer master cihaza bir bayt gönderilecekse I2CDAT kayıtçısındaki veri master kontrolünde hatta sürülür. Eğer master cihazın gönderdiği alınacaksa bir sonraki I²C kesmesi sonrasında okunur. Alım tamamlandıktan sonra slave cihazın UART arayüzünden veri kişisel bilgisayara iletilir. Program tekrar döngünün başına gider.

Eğer UART ara yüzünden (klavye kullanılarak) bir karakter alınmışsa slave bu baytı yeni çıkış karakteri olarak alır ve master tarafından okunur. Eğer kullanıcı tarafından INT0 kesmesi ile bağlanan tuşa basılırsa çıkış karakteri bir artırılır.

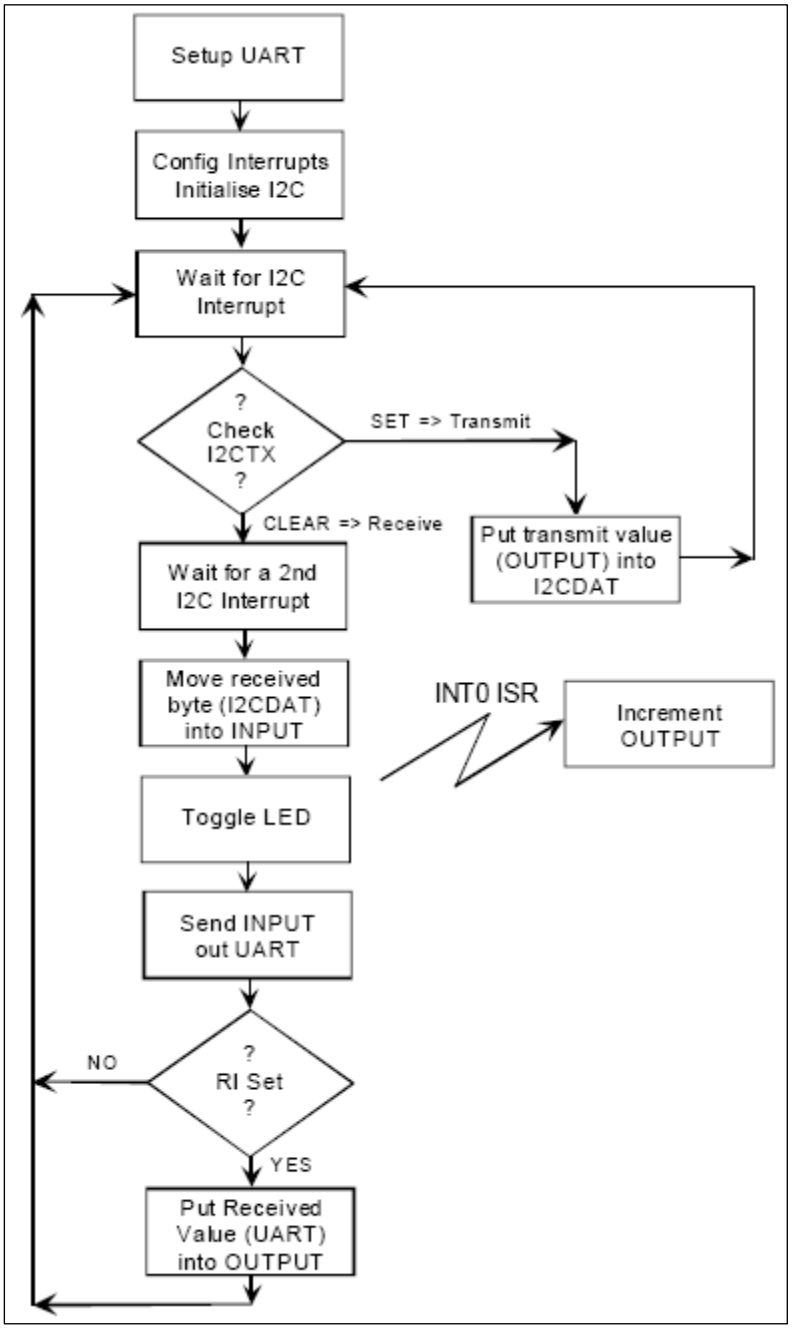
Bu uygulamanın akışı Şekil 2.24' de gösterilmiştir.



Şekil 2.22 I^2C master uygulaması ana akışı.



Şekil 2.23 I^2C master uygulaması alma ve gönderme akışı.



Şekil 2.24 I^2C slave uygulaması akışı.

3. TÜMLEŞİK DEVRELER ARASI PROTOKOL ÇÖZÜMLEYİCİ ÖRNEK SİSTEMLER

I^2C protokol analiz ve çözümleme sistemleri I^2C hattını örnekleyerek elektriksel sinyallerin durumunun izlenmesini sağlayan cihazlardır. Bu şekilde veri yolundan geçen bilgilerin donanım seviyesinden okunmasına ve çözümlenmesine olanak tanır.

Bu bölümde I^2C protokol çözümleyici sistemlerin yetenekleri ve yazılımları incelenmiştir.

3.1 BusBee Seri Protokol Çözümleyici



Şekil 3.1 BusBee seri protokol çözümleyici.

USBee Firmasının eğitim ve hobi amaçlı ürettiği bir seri veri yolu okuyucu cihazıdır.

Firmanın, profesyonel kullanıcılar için ayrıca bir ürün yelpazesi bulunmaktadır. Bu ürünlerde de seri veri yolu okuyucu özellikler bulunmaktadır.

Cihazın desteklediği veri yolları:

- Senkron Seri Veri yolu
- I^2C veri yolu, SPI veri yolu
- Asenkron seri veri yolu
- USB veri yolu, CAN veri yolu
- I^2S veri yolu
- SMBus
- 1-Wire veri yolu

Sınır Değerleri:

- SPI - 10MHz Saat İşareti
- Asenkron – 8MBaud

- 1-Wire için tanımlı değerler
- CAN – 2MBaud
- I^2C – 2MHz SCL
- Senkron – 8MHz
- I2S – 8MHz bit saat işareti
- SMBus – 2MHz saat işareti
- USB – Tam hızda

Genel Özellikleri:

- Veri yolundan elde edilen bilgiler kişisel bilgisayarın diskinde anlık olarak tutulur. Bu bilgiler USB üzerinden bilgisayara aktarılır.
- Terabaytlara kadar veri işleyebilir veya depolayabilir.
- Bilgisayar üzerindeki yazılım sayesinde istenilen protokol seçilebilir ve istenilen veri akışı kolaylıkla görüntülenebilir. Zaman bilgisi konarak değişim süreçleri izlenebilir.
- Cihaz üzerinde donanımsal yönetim imkanı yoktur. Sadece bilgisayar ile yönetilebilir.
- Bilgisayar yazılımı ile daha fazla bilgi edinilememiştir.
- Busbee' nin fiyatı 295$' dır[13]. USBee firmasının aynı özellikler dahil başka yetenekler de katılmış profesyonel cihazları 800$' dan başlamaktadır.

3.2 MCC Tümleşik Devreler Arası/Sistem Yönetim Veriyolu Protokol Çözümleyici

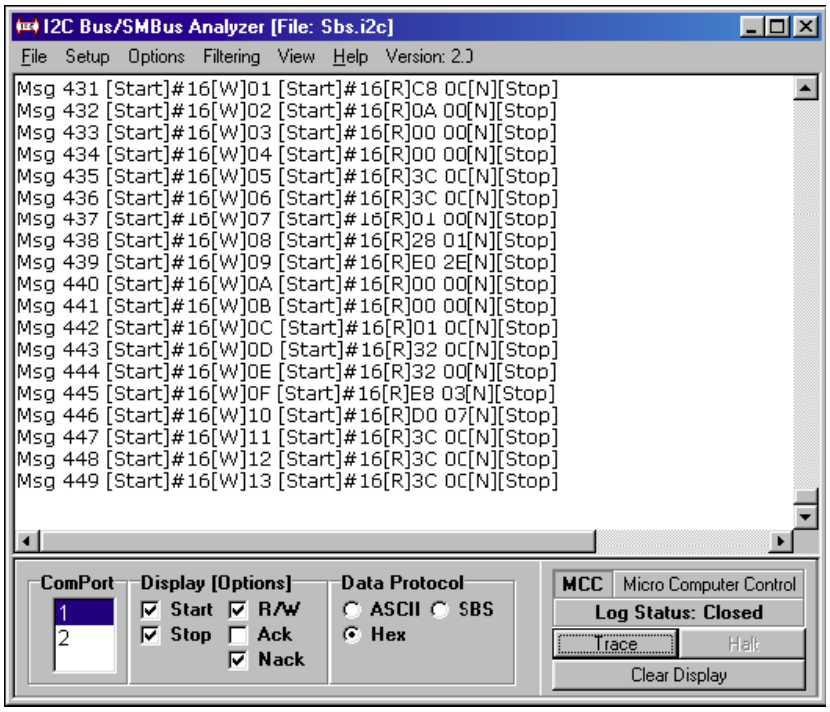


Şekil 3.2 MCC I^2C/SMBus protokol çözümleyici.

- Micro Computer Corporation (MCC) tarafından üretilen cihaz, I^2C ve SMbus veri yollarını okuyabilme, hem donanım üzerinde çözümleme hem de bilgisayar ile uzaktan yönetme özelliklerine sahiptir.
- 100 Kb/s hızda veriyi depolayabilir. Start/Stop durumları, Cihaz Adresleme, Read/Write İstekleri, Acknowledge ve Data durumlarını yakalayıp çözümleyebilmektedir.
- Çalışma Modları: Veri yolu Durumu İzleme, İleri/Geri Çözümleme, Donanım Üzerinde veya Uzaktan İzleme.
- İstenilen veri yolu adresini filtreleyerek sadece o adrese gönderilen verileri toplayabilir.
- Donanım üzerinde çalışırken 2700 mesaj depolayabilir[14]. Uzaktan yönetimde ise bilgisayar diski kapasitesince sınırlıdır. Bilgisayara RS232 seri veri yolu üzerinden bağlıdır.
- 7-bit adresleme ile yollanan verileri okuyabilir. 10-bit adresleme yeteneği mevcut değildir.
- Kendi içinde bataryası mevcuttur. 3.3V ve 5V uyumlu çalışabilir.
- Fiyatı 725$ ile 895$ arasındadır[15].
- Ayrıca MCC Plus versiyonu ile 400KHz' e kadar veri okuyabilir. 256kbayt veri depolayabilir. Örnekler mikro saniye mertebesinde zaman bilgisi ile işaretlenir. Fiyatı 4000$ ile 4500$ arasındadır.

Bilgisayar Yazılımı Özellikleri:

- Windows işletim sistemini desteklemektedir. Seri port üzerinden bilgi aktarımı 19200 veya 57600 baudda gerçekleşmektedir.
- 3 adet görüntüleme modu bulunmaktadır: Gerçek zamanlı görüntüleme, Depolanmış veriyi görüntüleme ve Kayıt dosyasından görüntüleme.
- Gerçek zamanlı görüntüleme modunda, cihazın ilk START durumunu yakalamasından sonraki tüm bilgiler bilgisayara aktarılır.
- Depolanmış veriyi görüntüleme modunda ise donanım üzerinde son saklanmış protokol akışını bilgisayara aktarır.
- Kayıt dosyasından görüntüleme modunda, bilgisayara aktarılan verilerin bir dosyada depolanmış hali ekrana yansıtılır.
- Slave Adres haritası sayesinde filtrelenmek istenen adresler görsel olarak işaretlenir. Mesaj akış penceresinde bu şekilde istenen protokol akışı gösterilebilir.



Şekil 3.3 Bilgisayar yazılımı mesaj akış penceresi.

3.3 Jupiter Instruments Tümleşik Devreler Arası Protokol Çözümleyici



Şekil 3.4 Model JI-210 I^2C protokol çözümleyici.

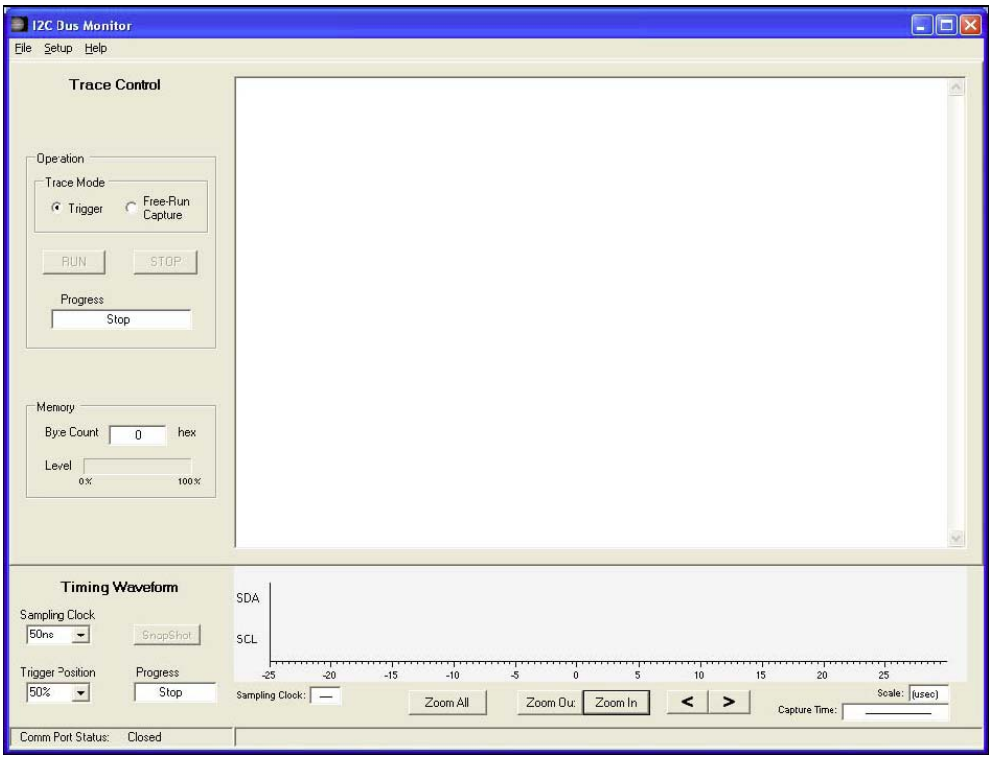
JI-210 I^2C Protokol Çözümleyici, kişisel bilgisayar kontrollü bir izleme ve çözümleme cihazıdır. Genel özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Kişisel bilgisayar ara yüzü RS232 üzerinden sağlanmaktadır.
- Donanım 32KB' a kadar veri depolayabilir.
- Adres, Veri, START/STOP, ACK/NACK, Çerçeve hatası durumlarını algılayabilir.
- Veri dalga şekilleri ve I^2C mesajları kişisel bilgisayar ile görüntülenebilir.
- Donanımı FPGA tabanlıdır.
- I^2C modlarından Standart Mod (100Kb/s), Yüksek Hızlı Mod (400Kb/s) dahil olmak üzere 700Kb/s hızına kadar veri örnekleyebilir.
- 50ns' de bir örnekleme yeteneğine sahiptir. Örnekleme hızı ayarlanabilir.
- 7-bit ve 10-bit veri adresleme özelliklerini çözümleyebilir.
- 3.3V ve 5V' da çalışabilir.
- Tetiklenme yeteneği ile bir sinyal geçişi ile kayıt başlatılıp durdurulabilir.
- Örneklere, mikro saniye mertebesinde zaman damgası konabilir.
- Fiyatı 299$' dır[16].

Bilgisayar Yazılımı Özellikleri:

- Bilgisayar yazılımı Windows işletim sistemini desteklemektedir. Seri port üzerinden bilgi aktarılmaktadır. 115200 baudda haberleşmektedir.
- Serbest çalışma ve tetiklenme olarak iki çalışma modu vardır.

- Serbest çalışma şeklinde kullanıldığında tüm paketler ayırt edilmeksizin 32 KB' lık RAM alanında depolanır.
- Tetiklenme ile çalışma şeklinde ise harici bir girişten alınan sinyal seviyesi geçişi ile kayıt başlatılır veya bitirilir. Bu anlar arasındaki kaydedilmiş paketler işaretlenerek kullanıcıya yansıtılır.
- Tetiklenme özellikleri arasında adres veya veri filtreleme, 7-bit/10-bit adresleme, yazma/okuma filtreleme, harici tetikleme kapatma/açma yetenekleri gösterilebilir[17].
- Ana pencerede hem sinyallerin zaman akışları hem de protokolün çözümlenmiş hali görülür.



Şekil 3.5 Bilgisayar yazılımı ana penceresi.

3.4 Beagle Tümleşik Devreler Arası/Seri Çevre Birimi Arayüzü Protokol Çözümleyici



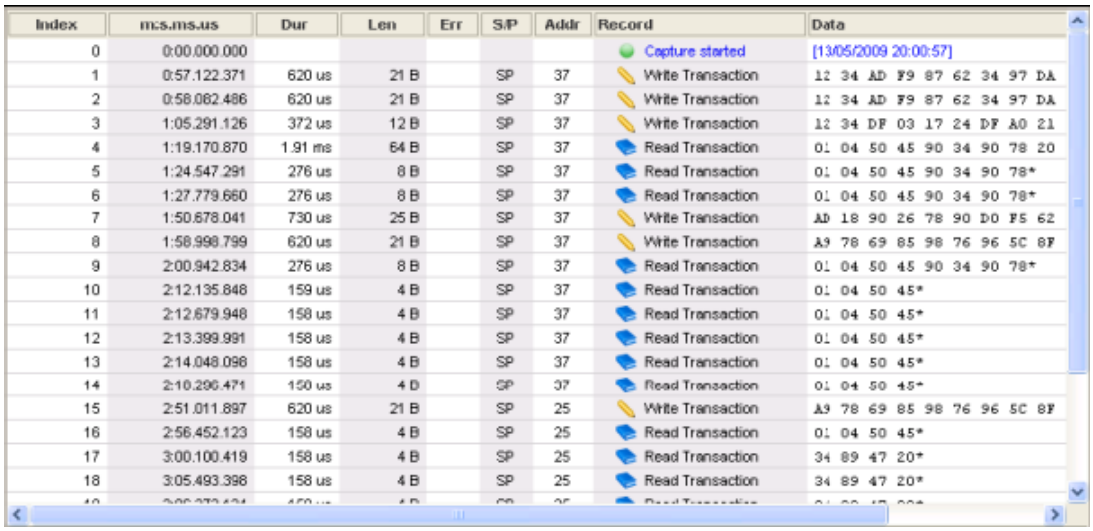
Şekil 3.6 Beagle I^2C /SPI protokol çözümleyici.

Genel Özellikleri:

- I^2C protokolünü 4 MHz' lik bit akışında örnekleyip çözümleyebilir.
- Harcanan güç 100-125 mA civarındadır. USB üzerinden beslenir.
- 3.3V ve 5V uyumludur.
- Örnekleme hızı ayarlanabilir. Genelde SCL hattının 2 katı ve üstü örnekleme uygundur ancak 4 veya 5 katında örnekleme tavsiye edilmektedir.
- Protokol çözümleyici yazılım kişisel bilgisayarda tutulmaktadır. Örneklenen veriler USB ara yüzü üzerinden bilgisayara aktarılır.
- Aşırı örnekleme durumunda USB' de veri akışı artacağından kullanıcı bunu dikkate alarak örnekleme frekansını seçmelidir. Çünkü aynı USB portu, başka USB ara yüzü ile çalışan cihazlarla da etkileşimde olduğundan veri hızı diğer cihazların ve Beagle' ın çalışmasında sorun yaşatabilir.
- Fiyatı 300$' dır[18].

Bilgisayar Yazılımı Özellikleri:

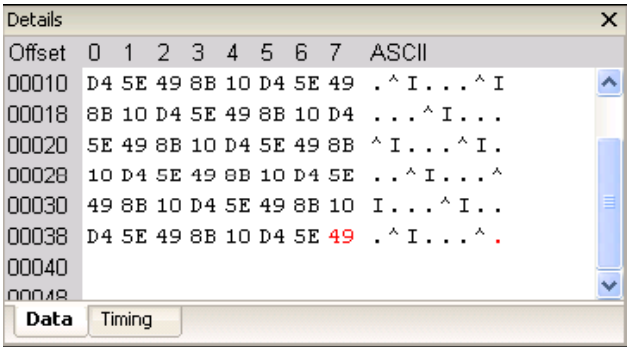
- "Data Center" adlı bir yazılım programı kullanılmaktadır. TotalPhase firmasının bir ürünü olup I^2C, SPI ve USB protokollerini çözümleyebilme yeteneğine sahiptir. Bu bilgisayar yazılımı sadece Beagle için değil başka cihazların da protokol çözümleyici programı olarak kullanılabilir. Windows, Linux, MAC OS X işletim sistemlerinde çalışabilir. Ayrıca LabVIEW geliştirme ortamını da desteklemektedir.
- Filtreleme ve arama özellikleriyle kullanıcıya istenilen verinin bulunmasında kolaylık sağlamaktadır. 256 MB' lık kayıt tutabilir.



Index	mm:ss.ms.us	Dur	Len	Err	S/P	Addr	Record	Data
0	0:00.000.000						Capture started	[13/05/2009 20:00:57]
1	0:57.122.371	620 us	21 B		SP	37	Write Transaction	12 34 AD F9 87 62 34 97 DA
2	0:58.082.486	620 us	21 B		SP	37	Write Transaction	12 34 AD F9 87 62 34 97 DA
3	1:05.291.126	372 us	12 B		SP	37	Write Transaction	12 34 DF 03 17 24 DF A0 21
4	1:19.170.870	1.91 ms	64 B		SP	37	Read Transaction	01 04 50 45 90 34 90 78 20
5	1:24.547.291	276 us	8 B		SP	37	Read Transaction	01 04 50 45 90 34 90 78*
6	1:27.779.660	276 us	8 B		SP	37	Read Transaction	01 04 50 45 90 34 90 78*
7	1:50.678.041	730 us	25 B		SP	37	Write Transaction	AD 18 90 26 78 90 D0 F5 62
8	1:58.998.799	620 us	21 B		SP	37	Write Transaction	A9 78 69 85 98 76 96 5C 8F
9	2:00.942.834	276 us	8 B		SP	37	Read Transaction	01 04 50 45 90 34 90 78*
10	2:12.135.848	159 us	4 B		SP	37	Read Transaction	01 04 50 45*
11	2:12.679.948	158 us	4 B		SP	37	Read Transaction	01 04 50 45*
12	2:13.399.991	158 us	4 B		SP	37	Read Transaction	01 04 50 45*
13	2:14.048.098	158 us	4 B		SP	37	Read Transaction	01 04 50 45*
14	2:10.296.471	150 us	4 B		SP	37	Read Transaction	01 04 50 45*
15	2:51.011.897	620 us	21 B		SP	25	Write Transaction	A9 78 69 85 98 76 96 5C 8F
16	2:56.452.123	158 us	4 B		SP	25	Read Transaction	01 04 50 45*
17	3:00.100.419	158 us	4 B		SP	25	Read Transaction	34 89 47 20*
18	3:05.493.398	158 us	4 B		SP	25	Read Transaction	34 89 47 20*

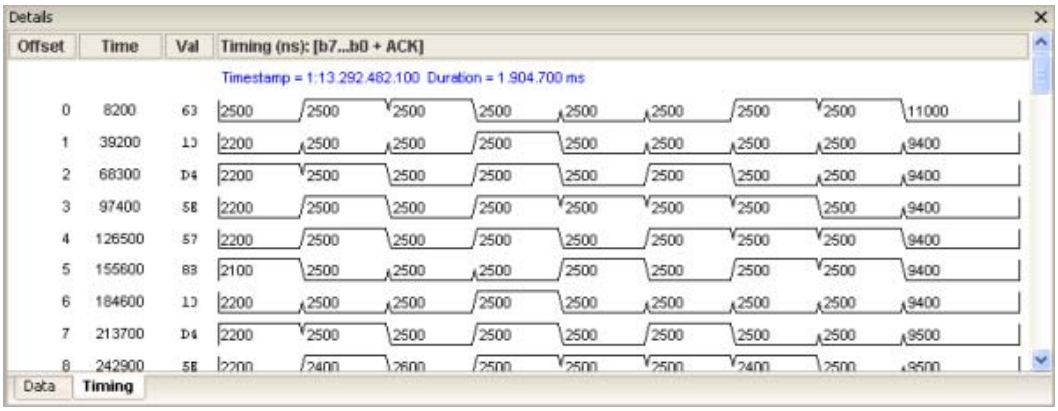
Şekil 3.7 Bilgisayar yazılımının I^2C protokolü akış penceresi.

- Protokol akış penceresi ile her kayıtın durumu görülebilmektedir. Yazma/okuma akışı olup olmadığı, Start/Stop anlarının yakalanıp yakalanmadığı, her kayıtın veri uzunluğu ve adresi Şekil 3.7' da görüldüğü gibi belirtilmektedir.
- Protokol akış penceresinde yapılacak seçim ile ilgili kayıtın zaman akış penceresi ve veri akış penceresi görüntülenebilir.



Şekil 3.8 I^2C protokolü kaydı veri akış penceresi.

- Veri akış penceresinde kayıtın Start/Stop ve Slave Adres değerleri tutulmaz. Onaylı veriler siyah, onaysız veriler kırmızı ile belirtilerek ekrana ASCII veya Hexadecimal tabanda yansıtılır.
- Zaman akış penceresinde ise Start/Stop durumlarına kadar tüm veri yolu akışı ekrana örnekleme zamanları ile yansıtılır.
- 7-bit ve 10-bit adresleme kullanılan protokol akışlarını filtreleme, onaylı/onaysız verileri filtreleme, okuma/yazma akışlarını filtreleme özellikleri mevcuttur.



Şekil 3.9 I²C protokolü kaydı zaman akış penceresi

	BEAGLE I²C/SPI/MDIO PROTOCOL ANALYZER	Telos Tracii 400	Telos Tracii XL	MCC I2C/SMBus Bus Monitor	MCC I2C/SMBus Bus Monitor Plus
Yüksek Hızlı USB	✔	Paralel	✔	RS-232	ISA, PCI, PC-Card (+ $500)
Veriyolu Güç Çıkışı	✔	Yok	✔	Yok	Kullanılmıyor
I2C Çözümleme	✔ 4+ MHz	✔ 800 kHz	✔ 3 MHz + $2463	✔ 100 kHz	✔ 400 kHz
SPI Çözümleme	✔	Yok	Yok	Yok	Yok
MDIO Çözümleme	✔	Yok	Yok	Yok	Yok
Bayt düzeyinde Zamanlama	✔	✔	✔	✔	✔
Bit düzeyinde zamanlama	✔	Yok	Yok	Yok	✔
Zamanlama çözünürlüğü	20 ns	?	333 ns	?	1000 ns
Windows desteği	✔	✔	✔	✔	✔
Linux desteği	✔	Yok	Yok	Yok	Yok
MAC OS X desteği	✔	Yok	Yok	Yok	Yok
Yazılım GUI	✔	+ $565	✔	+ $170	✔
Taban Fiyatı	**$300**	**$903**	**$1430**	**$725**	**$4000**
Son Fiyatı	**$300**	**$1468**	**$3893**	**$895**	**$4000 - $4500**

Şekil 3.10 Beagle ve diğer çözümleyicilerin karşılaştırması

3.5 Seri Protokol Çözümleyici Yazılımlarının Tablo halinde Karşılaştırılması

Tablo 3.1 Protokol çözümleyici sistemlerin genel olarak karşılaştırması

Özellik / Cihaz	Desteklenen protokoller	Donanım üzerinde yönetim ara yüzü	Bilgisayar ile yönetim ara yüzü	Bilgisayarda desteklenen işletim sistemi	LabVIEW Desteği
BusBee	I^2C, SPI, Senkron, Asenkron, USB, CAN, I^2S, SMBus	Yok	USB	Windows	Yok
MCC	I^2C, SMBus	Tuş takımı + Satır Gösterge (2 x 16)	RS–232	Windows	Yok
Jupiter Instruments	I^2C	Yok	RS–232	Windows	Yok
Beagle	I^2C, SPI	Yok	USB	Windows, Linux, MAC OS X	Var

Tablo 3.2 Protokol çözümleyici sistemlerin teknik açıdan karşılaştırması

Özellik / Cihaz	Maksimum I^2C saat hızı	Gerçek zamanlı izleme	Zaman damgası	Donanımda depolama kapasitesi	Bilgisayarda depolama kapasitesi
BusBee	2 MHz	Var	Var	Yok	Terabaytlar mertebesinde
MCC	100 KHz / 400 KHz	Var	Yok	2700 mesaj	Sınırsız
Jupiter Instruments	700 KHz	Yok	Var	32 KB	32 KB
Beagle	4 MHz	Var	Var	Yok	256 MB

Tablo 3.3 Protokol çözümleyici sistemlerin ekonomik açıdan karşılaştırması

Özellik / Cihaz	Fiyat
BusBee	299 $
MCC	725 $ - 4000 $
Jupiter Instruments	300 $
Beagle	295 $

4. LABVIEW GELİŞTİRME ORTAMI ve TÜMLEŞİK DEVRELER ARASI PROTOKOL UYGULAMALARI

Bu bölümde yönetim platformu olarak kullanılan LabVIEW geliştirme ortamının tanıtımı yapılmış ve uygulamalarından üç adet örnek sunulmuştur. Bu örnek uygulamaların LabVIEW' da geliştirilen sanal cihazlarının giriş/çıkış bilgileri ve fonksiyonları anlatılmıştır. Her uygulama için ayrıntılı bilgiye kaynak kısmından erişilebilir.

4.1 LabVIEW

LabVIEW veri toplama ve ölçüm sistemleri için yüksek üretkenliğe sahip bir grafik tabanlı programlama dilidir. Endüstriyel bir sistemin işlevselliğini tanımlamak için mühendislik nütasyonlara sadık kalarak kolaylıkla blok diyagramlar tasarlamaya olanak tanır. LabVIEW ortamının en büyük avantajı süreç kontrol sisteminizi hızlı bir şekilde gerçekleyebilmenize yardımcı olmasıdır.

LabVIEW GPIB, VXI, PXI ve seri haberleşme protokollerini kullanarak mikro bilgisayar tabanlı aletlerin yanı sıra National Instruments 'in ve diğer firmaların veri yakalama, görüntü işleme, hareket kontrolü kartları gibi ürünler ile sürücü yazılımları sayesinde haberleşerek etkileşimde bulunabilmeye olanak sağlar. Tüm bunlara ilaveten çeşitli tiplerdeki PLC' er için oluşturulan DLL kütüphaneleri yardımı ile PLC' erin kontrolüne de olanak tanır. LabVIEW çeşitli ölçüm, analiz, istatistik, regresyon, lineer cebir, işaret ve gürültü üretimi, sayısal filtreler ve benzeri destek kütüphanelerine de sahiptir.

LabVIEW aynı ya da farklı bilgisayarlarda çalışan uygulamalar ile ActiveX teknolojisi, Web, DLL, TCP/IP ve benzeri protokolleri kullanarak haberleşebilir. Farklı uygulamalar tarafından bileşen olarak kullanılabilir ve html tabanlı hata raporları üretebilir.

LabVIEW kullanım alanı olarak telekomünikasyon, üretim, otomotiv, yarı iletken endüstrileri, biyomedikal, uzay uçak, elektronik endüstrilerinde kullanılabilir bir ortamdır. Test, ölçüm, süreç kontrolü, fabrika otomasyonu, makine görme, araştırma ve analiz amaçlı ilave yazılım paket desteğini de içerir.

4.1.1 LabVIEW Ortamı

LabVIEW ortamında klasik programlama dillerindeki gibi yazılım yapmak yerine, mühendislik nütasyonlarına bağlı kalarak grafik tabanlı sanal cihazlar tasarlanır. Bir sanal cihaz iki ana bileşenden oluşur:

- Ön panel
- Blok şema

4.1.1.1 Ön panel

Kullanıcı ile etkileşimi sağlayan grafik ara-yüzüdür. Ön panelin üzerine çeşitli kontroller koyabilirsiniz. Bu kontrollerin her biri temelde ya kaynak ya da çıkış kontrolleridir. Kullanıcı ara-yüzündeki her bir giriş çıkış elemanı mutlaka blok şema üzerinde de temsil edilmektedir. Kullanıcı yürütme esnasında bu kontroller yardımı ile süreç değişkenlerinin değerlerini değiştirebilir ve izleyebilir. Bu kontrollerin her birisi aslında ActiveX paradigması ile programlanmış grafik kontrolleridir.

4.1.1.2 Blok şema

Sanal cihazı programlamak için gerekli olan şey cihaza ait bir blok şemadır. Fonksiyon paletinden çeşitli blok nesnelerini sürükleyip sanal kablolar ile birbirleri ile ilişkilendirebilirsiniz. Birbirlerine sanal kablolar ile bağlanan bu sanal cihazlar değişi tiplerde veri biçemlerine sahip verilerin alışverişinde bulunabilirler. Sanal kablolar ile oluşturulan grafik yönlüdür. Bir başka değişle verinin akış yönü tek taraflıdır.

Blok şemaları içinde aritmetik işlemlerden analiz, ağ giriş çıkış işlemlerine kadar bir çok işlevler gerçekleştirilebilir. LabVIEW de işlemlerin yürütme sırası veri bloklarının arasındaki akışa göre cereyan etmektedir. Metin tabanlı programlama dillerindeki gibi ardışık işleme söz konusu değildir. Birden fazla işi aynı anda paralel olarak yürüten diyagramlar yaratabilirsiniz.

LabVIEW ortamında modülerlik sanal cihazların yalnız başlarına ve birden fazla sanal cihaz ile birlikte çalışabilmeleri ile sağlanmıştır. Yürütme esnasında sanal cihazların test ederek hata ayıklama işlemlerini gerçekleştirebilmeniz için adım adım koşturma imkanları da mevcuttur.

4.1.2 LabVIEW Geliştirme Paketleri

LabVIEW geliştirme ortamı çeşitli paketler halinde tasarımcılara sunulmaktadır. Geliştirme paketleri arasındaki farklar bir tablo halinde aşağıda sunulmuştur:

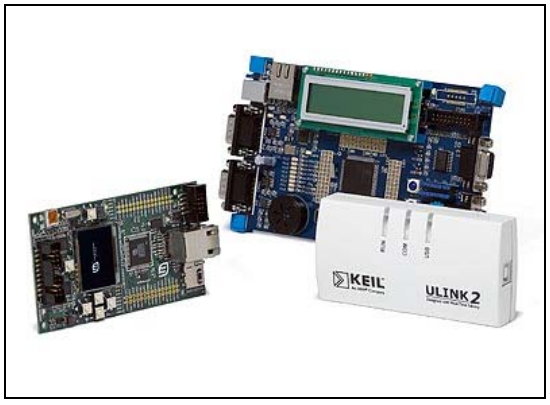
Tablo 4.1 LabVIEW geliştirme paketleri karşılaştırılması

İşlevler	Temel Paket	Tam Sürüm	Profesyonel	İleri
Temel veri yakalama ve analizi	x	x	x	x
Enstrüman kontrolü	x	x	x	x
Temel veri temsili	x	x	x	x
Ağ ve Internet teknolojileri	x	x	x	x
Hareket kontrol ve activeX desteği		x	x	x
Ölçüm analizi ve DSP		x	x	x
2 ve 3 boyutlu grafik ve animasyon		x	x	x
Tek başına çalışan uygulamalar			x	x
Çeşitli alet setleri			x	x
Farklı alet setleri ve dağıtım nesneleri				x

4.2 LabVIEW Destekli Tümleşik Devreler Arası Protokol Yazılımları

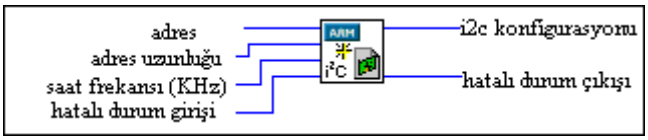
Bu bölümde endüstride kullanılan LabVIEW destekli I^2C protokol uygulamaları incelenmiştir. Uygulamaların LabVIEW yazılım blokları hakkında bilgi verilmiştir.

4.2.1 ARM Mikrodenetleyiciler için NI Gömülü Modülü



Şekil 4.1 National Instruments ARM mikrodenetleyicili donanım modülü.

National Instruments firmasının ürettiği bu modül, ARM mikrodenetleyicilerini içermektedir [20]. Bu modül ile LabVIEW uygulama yazılımları da kullanılabilmektedir. Pek çok endüstriyel alanda hazır yazılım sunulmuştur. Burada I^2C sanal cihazları incelenmiştir.



Şekil 4.2 ARM I^2C konfigürasyon referansı yaratma sanal cihazı.

Girişler:

U16 Adres, erişilecek cihazın adresini tanımlar.

I32 Adres uzunluğu, 7-bit/10-bit adreslemeden hangisinin seçileceği belirlenir.

U16 Saat frekansı, her I^2C transferinde kullanılacak hızın KHz cinsinden değeri olarak tanımlanır.

U32 Hatalı durum girişi, bu sanal cihaz öncesindeki hatalı durumu tanımlar. Normal çalışmada "0" olmalıdır. Eğer hatalı durum girişinde bir hata algılanırsa hatalı durum çıkışına iletilir. Hatalı durum girişi "0" olmadığı durumlarda bu sanal cihaz çalışmaz.

Çıkışlar:

U32 I^2C konfigürasyonu, erişilecek I^2C cihazına referans olarak tanımlanır.

U32 Hatalı durum çıkışı, sanal cihazın hata durumunu tutar. Normal çalışmada "0" olmalıdır. Eğer hatalı durum girişi bir hata üretmişse bu hatayı hatalı durum çıkışında gösterir.



Şekil 4.3 ARM I^2C referans kapatma sanal cihazı.

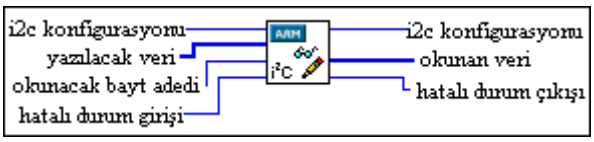
Girişler:

U32 I^2C konfigürasyon**,** I^2C cihazını yapılandırma referansıdır. ARM I^2C Referans Açma Sanal Cihazı ile bir I^2C konfigürasyonu yaratılabilir.

Hatalı durum girişi, bu sanal cihaz öncesindeki hatalı durumu tanımlar. Normal çalışmada "0" olmalıdır. Eğer hatalı durum girişinde bir hata algılanırsa hatalı durum çıkışına iletilir. Hatalı durum girişi "0" olmadığı durumlarda bu sanal cihaz çalışmaz.

Çıkışlar:

Hatalı durum çıkışı, sanal cihazın hata durumunu tutar. Normal çalışmada "0" olmalıdır. Eğer hatalı durum girişi bir hata üretmişse bu hatayı hatalı durum çıkışında gösterir.



Şekil 4.4 ARM I^2C yazma okuma sanal cihazı.

Girişler:

I^2C konfigürasyon**,** I^2C cihazının referansıdır. ARM I^2C Referans Açma Sanal Cihazı ile bir I^2C i2c konfigürasyonu yaratılabilir.

Yazılacak veri, I^2C cihazına yazılacak veri dizisini belirtir.

Okunacak bayt adedi, I^2C cihazından okunacak verinin bayt olarak sayısını belirtir.

Hatalı durum girişi, bu sanal cihaz öncesindeki hatalı durumu tanımlar. Normal çalışmada "0" olmalıdır. Eğer hatalı durum girişinde bir hata algılanırsa hatalı durum çıkışına iletilir. Hatalı durum girişi "0" olmadığı durumlarda bu sanal cihaz çalışmaz.

Çıkışlar:

I^2C konfigürasyonu, erişilecek I^2C cihazına referans olarak tanımlanır.

Okunan veri, I^2C cihazından okunan veri dizisini belirtir.

Hatalı durum çıkışı, sanal cihazın hata durumunu tutar. Normal çalışmada "0" olmalıdır. Eğer hatalı durum girişi bir hata üretmişse bu hatayı hatalı durum çıkışında gösterir.

4.2.2 NI–8451 Genel Amaçlı Seri Haberleşme Modülü

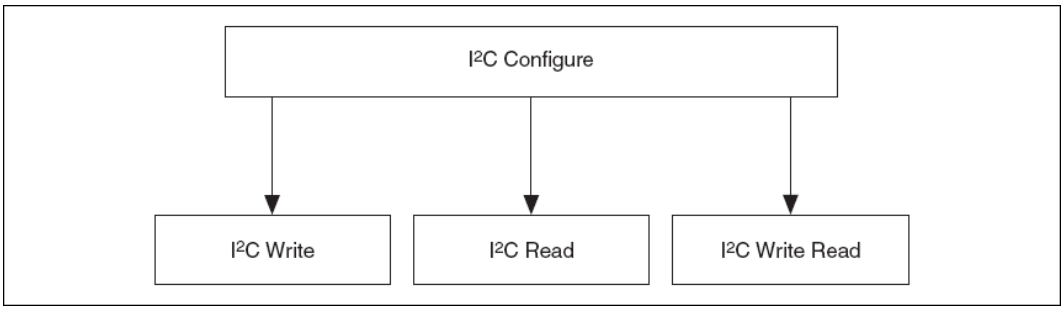


Şekil 4.5 National Instruments genel amaçlı donanımı.

NI-8451, National Instruments tarafından üretilen bir donanımdır [21]. Bu donanımın LabVIEW desteğinde temel I^2C haberleşme protokolü uygulaması da bulunmaktadır.

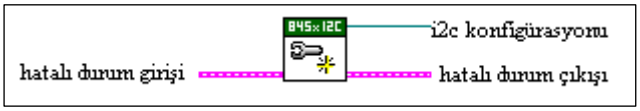
Temel I^2C protokolü uygulamasında aşağıdaki üç ana fonksiyon gerçeklenebilmektedir.

- I^2C Yazma
- I^2C Okuma
- I^2C Yazma ve Okuma

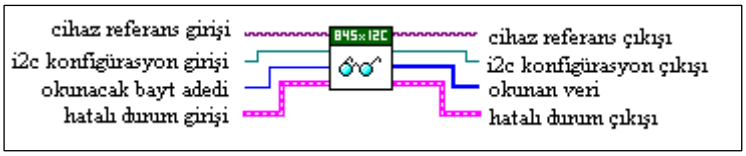


Şekil 4.6 I^2C haberleşmesi temel programlama modeli.

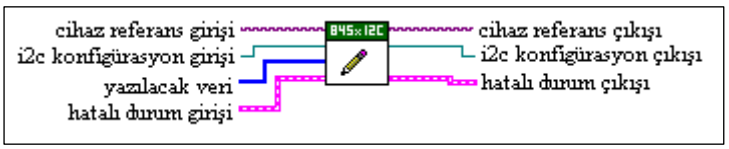
Temel I^2C Protokolü uygulamasını kullanabilmek için öncelikle bir konfigürasyon yaratılmalıdır. Bu konfigürasyon NI-8451 ile I^2C cihazı arasındaki haberleşme gereklerini tanımlar. Konfigürasyon yaratıldıktan sonra yazma, okuma gibi işlevler gerçeklenebilir.



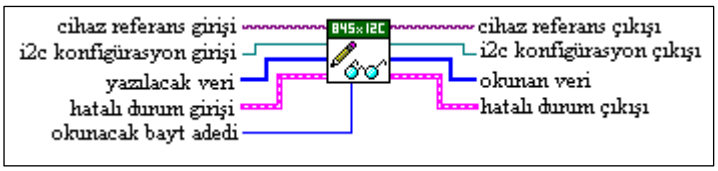
Şekil 4.7 I^{2}C referans yaratma sanal cihazı.



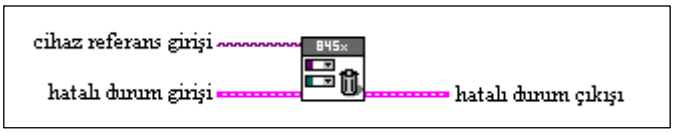
Şekil 4.8 I^{2}C okuma sanal cihazı.



Şekil 4.9 I^{2}C yazma sanal cihazı.



Şekil 4.10 I^{2}C yazma okuma sanal cihazı.



Şekil 4.11 Cihaz referans kapatma sanal cihazı.

Girişler:



Cihaz referans girişi, I^{2}C cihazını tanımlayan referansın girişidir.



I^{2}C konfigürasyon girişi, I^{2}C cihazı ile yapılacak haberleşmenin gereklilikleri tanımlar.



yazılacak veri, , I^{2}C slave cihazına yazılacak veri dizisini belirtir.



Hatalı durum girişi, bu sanal cihaz öncesindeki hatalı durumu tanımlar. Hata oluşması durumunda hatalı durum çıkışına iletilir.



Durum, hatalı durum oluştuğunda “TRUE” durumuna geçer ve sanal cihaz çalışmaz.

Kod, hatalı durumun kodunu tanımlar. Hatasız durumda “0” olur. Pozitif bir değer uyarı anlamına gelir ve sanal cihaz çalışır. Negatif bir değer ise hata anlamına gelir ve sanal cihaz çalışmaz.

Kaynak, hatanın oluştuğu sanal cihazı belirtir.

Okunacak bayt adedi, I^2C slave cihazından okunacak verinin bayt olarak uzunluğunu tanımlar.

Çıkışlar:

Cihaz referans çıkışı, I^2C cihazını tanımlayan referansın çıkışıdır.

I^2C konfigürasyonu, NI-8451 I^2C cihazının yapılandırılmasına referans oluşturur.

I^2C konfigürasyon çıkışı, I^2C cihazı ile yapılan haberleşme şeklinin referans çıkışıdır.

Okunan veri, I^2C slave cihazından okunan veri dizisini belirtir.

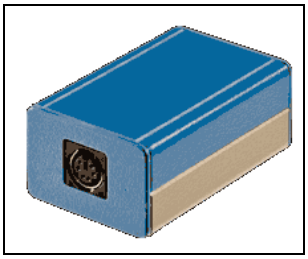
Hatalı durum çıkışı, bu sanal cihazda hatalı durumu tanımlar veya hatalı durum girişini yansıtır.

Durum, hatalı durum oluştuğunda “TRUE” durumuna geçer.

Kod, hatalı durumun kodunu tanımlar. Hatasız durumda “0” olur. Pozitif bir değer uyarı anlamına gelir ve sanal cihaz çalışır. Negatif bir değer ise hata anlamına gelir ve sanal cihaz çalışmaz.

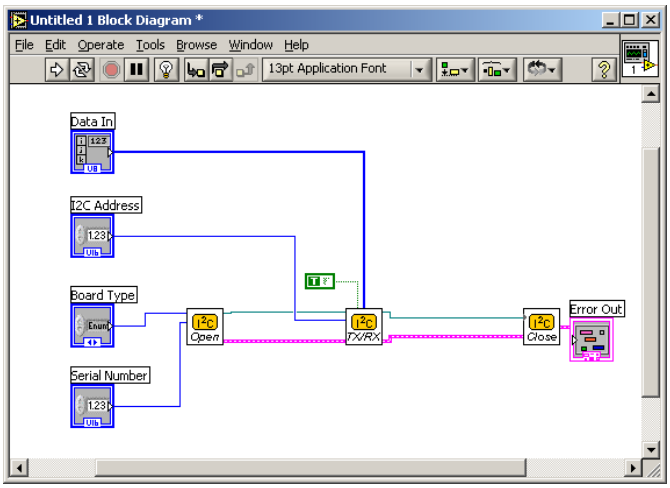
Kaynak, hatanın oluştuğu sanal cihazı belirtir.

4.2.3 Telos Veri yolu Okuyucu

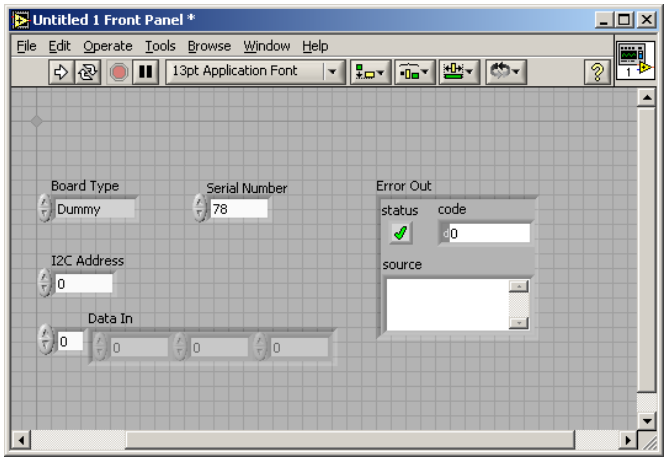


Şekil 4.12 Telos Conii MM 2.0.

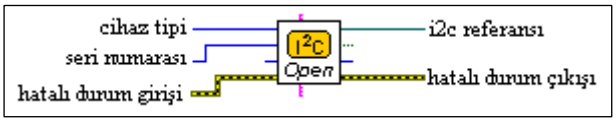
Telos veri yolu okuyucu cihazı ile I^2C veri yolu izlenebilir veya bir I^2C cihazı olarak veri alış verişi yapılabilir [22].



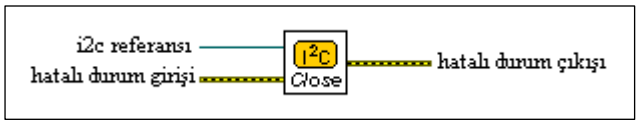
Şekil 4.13 I^{2}C yazma sanal cihazı blok şeması.



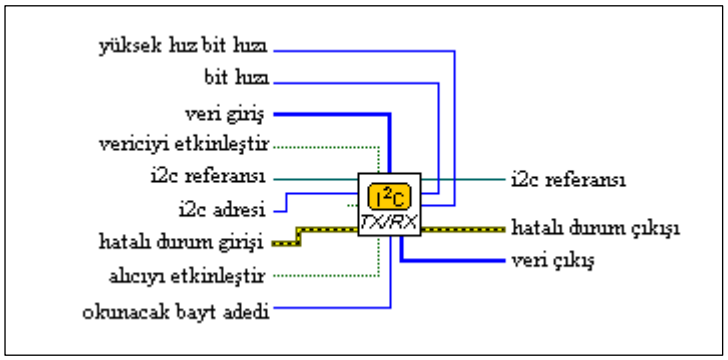
Şekil 4.14 I^{2}C yazma sanal cihazı ön paneli.



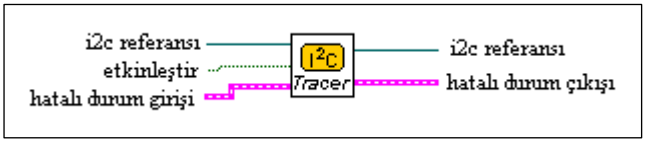
Şekil 4.15 I^{2}C referans yapılandırma sanal cihazı.



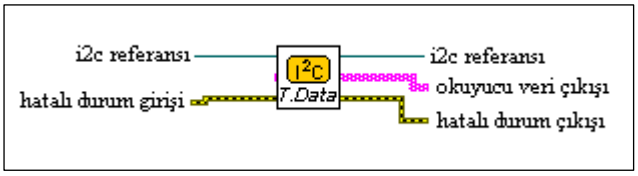
Şekil 4.16 I^{2}C referans kapatma sanal cihazı.



Şekil 4.17 I^2C yazma okuma sanal cihazı.



Şekil 4.18 I^2C okuyucu etkinleştirme sanal cihazı.



Şekil 4.19 I^2C okuyucu veri aktarıcı sanal cihazı.

Girişler:

U16 Seri numarası, her I^2C cihazına özel bulunan seri numarasıdır. Bu sayı girilmelidir.

Cihaz tipi, Ör: Telos Tracii XL

I^2C referansı, I^2C cihazı ile yapılan haberleşme şeklinin referansıdır.

U16 I^2C adresi, haberleşmede kullanılacak slave adresi tanımlar. 7-bit veya 10-bit adres girilebilir.

U32 Okunacak bayt adedi, slave cihazdan okunacak verinin bayt olarak adedini belirtir.

TF Vericiyi etkinleştir, bu giriş ile sanal cihazın gönderme yazılımı aktif hale gelir.

U8 Veri giriş, gönderilecek veri dizisini tanımlar.

TF Alıcıyı etkinleştir, bu giriş ile sanal cihazın alış yazılımı aktif hale gelir.

U32 Yüksek hız bit hızı, I^2C cihazının SCL hattında kullanılacak yüksek bit hızını tanımlar.

U32 Bit hızı, I^2C cihazının SCL hattında kullanılacak bit hızını tanımlar.

 Etkinleştir, I^2C okuyucu cihazını etkinleştirir.

Çıkışlar:

 I^2C referansı, I^2C cihazı ile yapılan haberleşme şeklinin referansıdır.

 Veri çıkış, alınan veri dizisini tanımlar.

 Okuyucu veri çıkışı, iki boyutlu bir dizi olarak I^2C okuyucu cihazından elde edilen veriyi içerir. Her satır bir I^2C mesajını içerir.

 Hatalı durum girişi, bu sanal cihaz öncesindeki hatalı durumu tanımlar. Hata oluşması durumunda hatalı durum çıkışına iletilir.

 Durum, hatalı durum oluştuğunda "TRUE" durumuna geçer ve sanal cihaz çalışmaz.

 Kod, hatalı durumun kodunu tanımlar. Hatasız durumda "0" olur. Pozitif bir değer uyarı anlamına gelir ve sanal cihaz çalışır. Negatif bir değer ise hata anlamına gelir ve sanal cihaz çalışmaz.

 Kaynak, hatanın oluştuğu sanal cihazı belirtir.

 Hatalı durum çıkışı, bu sanal cihazda hatalı durumu tanımlar veya hatalı durum girişini yansıtır.

 Durum, hatalı durum oluştuğunda "TRUE" durumuna geçer.

 Kod, hatalı durumun kodunu tanımlar. Hatasız durumda "0" olur. Pozitif bir değer uyarı anlamına gelir ve sanal cihaz çalışır. Negatif bir değer ise hata anlamına gelir ve sanal cihaz çalışmaz.

 Kaynak, hatanın oluştuğu sanal cihazı belirtir.

5. MİKRODENETLEYİCİLİ ENDÜSTRİYEL SERİ PROTOKOL ÇÖZÜMLEYİCİ SİSTEM

Seri Protokol Çözümleyici, tezin ilk bölümlerinde anlatıldığı gibi seri bir veri yolunda akan bilgiyi çözümleyebilir veya ham veriyi bit olarak yansıtabilir. Bu tez, örneklerini verdiğim seri protokol çözümleyicilerde bulunan I^2C, SPI, CANBus, SMBus, USB gibi pek çok seri protokolden sadece I^2C protokolünü çözümleyebilmektedir.

Seri Protokol Çözümleyici' nin ana bileşenleri şu şekilde sıralanabilir:

- Donanım Bloğu
- Örnekleyici ve Çözümleyici Yazılım Bloğu
- Donanım Üzerinde Yönetim Bloğu
- Kişisel Bilgisayar ile Yönetim Bloğu

Örnekleyici ve Çözümleyici yazılımının koşturulacağı uygun bir donanımın bulunması çok önemlidir. Önce çözümlenecek seri protokolün standartları araştırılır ve hangi sınırlarda bu standartların karşılanacağı belirlenir. Ardından bu sınırlar dahilinde sistem tasarımı şekillenir ve çalıştırılacak uygun bir donanım kurulur. Burada "uygun" donanımın tarifi çok önemlidir. Tasarımların ucuz, hızlı geliştirilebilme, basit, kolay anlaşılır özelliklere sahip olması kalitesini belirler. Bu tasarımın donanımını araştırma, gerçekleme ve çalıştırma aşamalarının hepsi Elektronik ve Haberleşme Müh. Cihan TORUN tarafından yapılmıştır. Donanım kurulumu en büyük aşamadır. Çünkü tasarımların geriye dönük hatalarının bulunması durumunda donanımda çıkabilecek bir hata maliyet ve zaman açısından büyük zararlar verebilir. Yazılımda yapılacak hatanın zararları ise tasarıma göre değişmekle beraber ancak zaman kaybı olabilir.

Donanım kurulumu ardından yazılım aşamasına geçilmiştir. Öncelikle en az gereksinimi karşılayarak basit bir çözümleyici yazılımı geliştirilmiştir. Ardından omurga yazılım oturtulmuş ve giriş/çıkış birimleri için yazılım belirlenmiştir.

Örnekleyici ve çözümleyici yapının tasarımı için pek çok farklı yazılım tarzları denenmiştir. En uygun yapı olarak örnekleyici ile çözümleyicinin aynı anda çalışmaması kuralı benimsenmiştir. Çünkü bu şekilde çalışabilmek için çok daha yüksek hızlı bir işlemci kullanma gerekliliği ortaya konmuştur. Önce örnekleyici yazılım çalıştırılıp veri deposu doldurulur ve ardından çözümleyici yazılım ile I^2C protokolüne göre çözümleme yapılır.

Çözümleyici yazılımı tezin ileriki bölümlerinde ayrıntılı olarak anlatılmaktadır. Sisteme adını veren asıl işlev gerçekleştirildikten sonra sıra yönetim birimlerinin tasarımına gelmiştir.

Burada iki ayrı yönetim birimi tasarlanmıştır:

- Donanım Üzerinde Yönetim
- Kişisel Bilgisayar ile Yönetim

Donanım üzerinde yönetim, kullanıcıya bilgisayarın olmadığı bir düzenekte seri protokol çözümleyiciyi yönetme imkanı tanımaktadır. Tuş takımı ve Grafik Gösterge' den oluşan donanım üzerinde yönetim katmanı, seri protokol çözümleyiciyi ayrıcalıklı kılan özelliklerinin başında gelmektedir. Bu şekilde bilgisayar ihtiyacı olmadan daha taşınabilir bir cihaz halini almakta ve kullanıcıya kolaylık sağlamaktadır. Donanım üzerinde yönetim ile ilgili tüm donanım ve sürücü kodları Elektronik ve Haberleşme Müh. Cihan TORUN tarafından tasarlanmıştır.

Kişisel bilgisayar yönetim için öncelikle bir yazılım dilini öğrenmek ve yönetim kodlarını bu dil ile geliştirmek gerekmektedir. Bu tezde ise yazılım dili yerine görsel programlama dili kullanılmış ve bunun geliştirme ortamı olan LabVIEW ile tasarım yapılmıştır. Tasarımın başlangıç aşamaları LabVIEW yazılımının yeteneklerini keşfetmekle ve basit bir giriş/çıkış yazılımı ortaya koymakla geçirilmiştir. Daha sonra sadece veri yolu izleme yazılımı konmuştur. İlerleyen aşamalarda ise protokol çözümleyici ön panel ve blok şema tasarlanmıştır. Son olarak yönetim için komut gönderme yazılımı geliştirilmiş ve tasarıma son şekli verilmiştir. Tezin ileriki bölümlerinde görsel yazılım dili ve LabVIEW ayrıntılı anlatılmaktadır.

5.1 Seri Protokol Çözümleyici Sisteminin Donanımı

Seri protokol çözümleyici sisteminin donanımı bir araştırma sürecinin sonucunda belirlenmiştir. Araştırma aşamasında amaçlananlar, istenilen sınır değerler ve sahip olunan bilgi birikimi göz önüne alınarak bir sistem tasarımı ortaya atılmıştır. Mikro denetleyicili bir donanım tasarlanmış, buna bağlı olarak mikro denetleyiciler araştırılmıştır. Mikro denetleyicini seçimi burada çok önemlidir çünkü yazılım ile oluşturulan seri protokol çözümleyici mekanizmasının sınırları bu şekilde belirlenmiş olur.

Seri protokol çözümleyici sisteminde donanım olarak amaçlanan bir başka özellik ise donanım üzerinde görüntüleme ve izleme yeteneğidir. Seri protokolü çözme ve veri yolunu izleme yeteneklerinin donanım üzerinde kullanıcı tarafından yönetilmesi için tuş takımı ve Grafik Gösterge kullanılmıştır. Tuş takımı kullanılarak bir menü yapısı üzerinden cihaza

erişilir ve istenilen komut menüden seçilerek verilir. Tuş takımı üzerinde “Sağa, Sola, Yukarı, Aşağı, OK ve ESC” tuşları bulunmaktadır. “OK” tuşu bir menüde bir seçim yaparken kullanılır. “ESC” tuşu ise üst menüye dönmek için kullanılır.

Mikro denetleyici seçildikten sonra derlenmiş makine kodu ile programlamaya sıra gelmiştir. Seçilen mikro denetleyicinin özelliği olan sistem üzerinde programlanma yeteneğinden faydalanmak amaçlanmıştır. Bunun için de bir devre kurulmuş ve sisteme bağlanmıştır. Tasarımcı için mikro denetleyiciyi yeniden programlama gerekliliği oluştuğunda basit bir şekilde bir tuşa basarak mikro denetleyiciyi sistem üzerinde programlama moduna geçirebilmektedir. Cihaz, RS–232 ara yüzü ile bilgisayardan programlanabilmektedir.

Tasarımdaki tümleşik devreleri beslemek için bir güç devresi oluşturulmuştur. Gereken gerilim seviyesi ve akım bu şekilde karşılanmaktadır.

Donanımın araştırılması, tuş takımı oluşturulması, Grafik Gösterge bağlantısı ve sürme işleri ortak çalıştığım Elektronik ve Haberleşme Müh. Cihan Torun tarafından yapılmıştır. Bu tez ile aynı dönemde yüksek lisans tezi olarak sunulmuştur.



Şekil 5.1 Seri protokol çözümleyici sistemin fiziksel görünümü.

6. MİKRODENETLEYİCİLİ ENDÜSTRİYEL SERİ PROTOKOL ÇÖZÜMLEYİCİ SİSTEMİNİN YAZILIMI

Yazılım tasarımı iki bölümden oluşmuştur. Biri Kişisel Bilgisayar Yazılımı, diğeri ise Mikro denetleyici Yazılımı' dır.

6.1 Kişisel Bilgisayar Yazılımı

Seri Protokol Çözümleyici' nin tasarımında yer alan iki adet yönetim bloğundan biri Kişisel Bilgisayar ile Yönetim' dir. Bilgisayar ortamı kullanıcıya görsel olarak ve kullanım kolaylığı açısından aşina olduğu bir ara yüz teşkil etmektedir. Ayrıca tasarımcıya da pek çok geliştirme ortamı sunarak bilgisayar tabanlı ara yüzler tasarlanmasında kolaylık sağlamaktadır. Bilgisayar üzerindeki işletim sistemlerine göre değişen farklı pek çok geliştirme ortamı bulunmaktadır. Bu tezde geliştirme ortamı olarak LabVIEW kullanılmıştır. LabVIEW ile hızlı bir şekilde oluşturulan yönetim bloğundan Seri Protokol Çözümleyici' ye bilgisayarın RS-232 seri giriş/çıkış biriminden erişilir. Seri Protokol Çözümleyici tarafında ise UART ara yüzünden bilgisayara erişilir. Aradaki fiziksel dönüşüm bir tümleşik devre ile sağlanır. Veri aktarımı iki yönlü olarak hem bilgisayardan çözümleyiciye, hem de çözümleyiciden bilgisayara doğru gerçekleşmektedir. Bilgi aktarımı sırasında verinin önüne kendisini tanımlayan bir başlık ve sonuna da toplam kontrolü eklenir. Bu şekilde bir mesaj yapısı tanımlanarak bilgi doğru ve tanımlanabilir bir şekilde iki yönlü iletilebilmektedir.

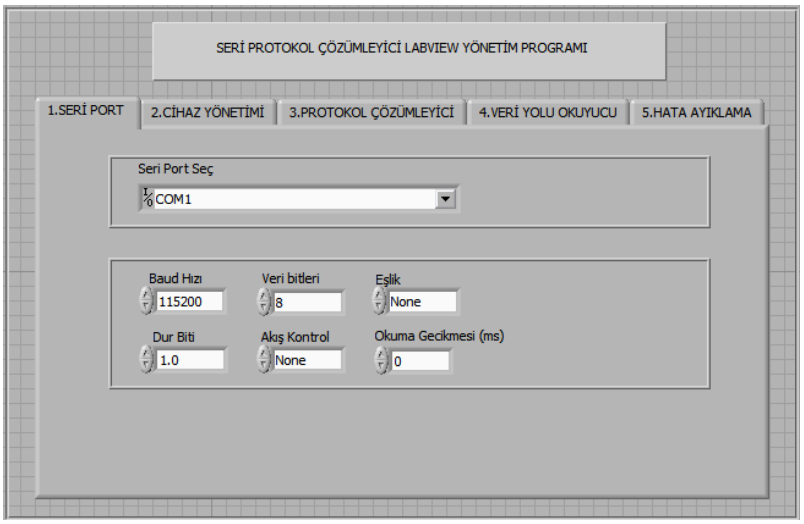
6.1.1 Seri Protokol Çözümleyici Yönetim Paneli

Yönetim ortamının geliştirilmesi aşamasında alt seviye erişimler için Sanal Enstrüman Yazılım Mimarisi (VISA, Virtual Instrument Software Architecture) kullanılmıştır. VISA, standartlaşmış bir endüstriyel yazılım olup giriş/çıkış uygulama programlama ara yüzüdür (I/O API). Bu yazılım sayesinde kolaylıkla alt seviye donanım veya giriş/çıkış birimi yönetilebilir. Daha çok test ve ölçüm endüstrisinde bilgisayar ile ölçüm cihazlarının haberleşmesi için gereken ara yazılımda kullanılır. VISA, GPIB, VXI, PXI, Seri, Ethernet, USB ara yüzleri üzerine geliştirilmiştir. National Instruments firması VISA standardını LabVIEW geliştirme ortamı ve kendi ürettiği yazılımlara adapte ederek kullanım kolaylığı sağlamıştır.

Yönetim Paneli 5 ana sekmeden oluşmaktadır.

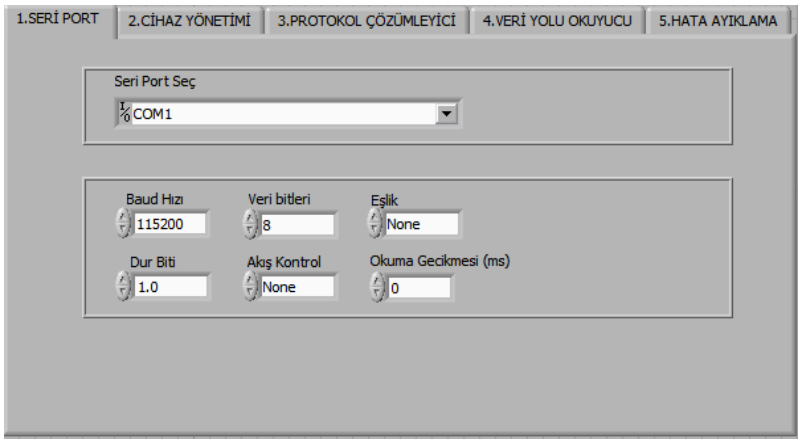
- Seri Port Kontrol
- Cihaz Kontrol

- Protokol Çözümleyici
- Veri yolu Görüntüleyici
- Hata Ayıklama Ekranı



Şekil 6.1 Kişisel bilgisayar yönetim paneli.

Seri port kontrolü için kullanılan sekmede kullanıcı tarafından belirlenen girdiler ile bilgisayarın RS-232 seri portu ayarlanır. Bilgisayarlarda seri iletişim kanallarından RS-232 olan seri port VISA resource name' e yazılmalıdır. Baud Rate ile seri port veri transfer hızı belirlenir. Data bits, parity, stop bits, flow control değerleri ile seri port ayarlanmış olur. Bilgisayara aktarılan verinin okunma gecikmesi yine seri port kontrolünde milisaniye cinsinden girdi ile belirlenebilir.

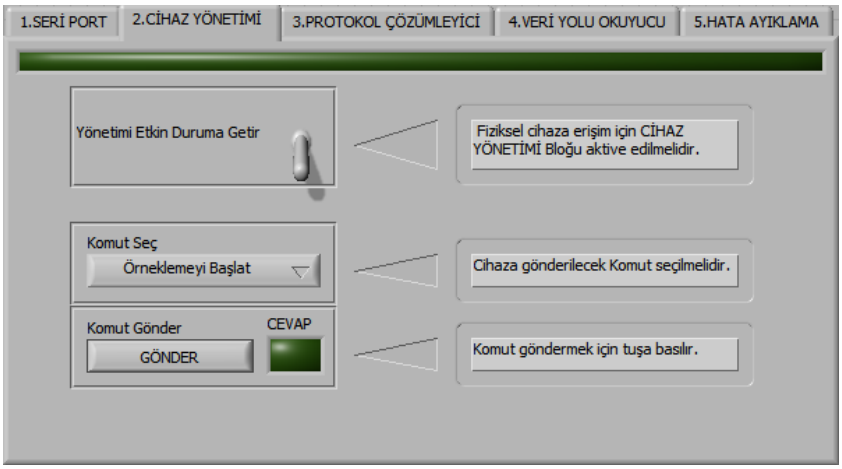


Şekil 6.2 Seri port ayar sekmesi.

Cihaz kontrol sekmesinde LabVIEW ortamını komut yollamaya açmak için bir kontrol düğmesi bulunmaktadır. Kontrol düğmesi aktif hale geldiğinde komut yollanabilir demektir.

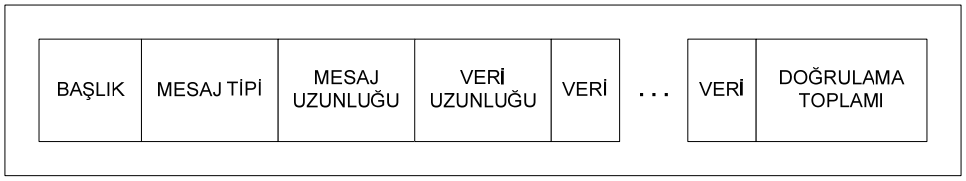
Aktif hale geliş üst kısımda bulunan işaretçinin yanması ile görülebilir. Ardından cihaza gönderilecek komut seçilmelidir. 3 adet komut bulunmaktadır.

- Örneklemeyi Başlat
- Veri Yolunu Oku
- Protokol Çözümle



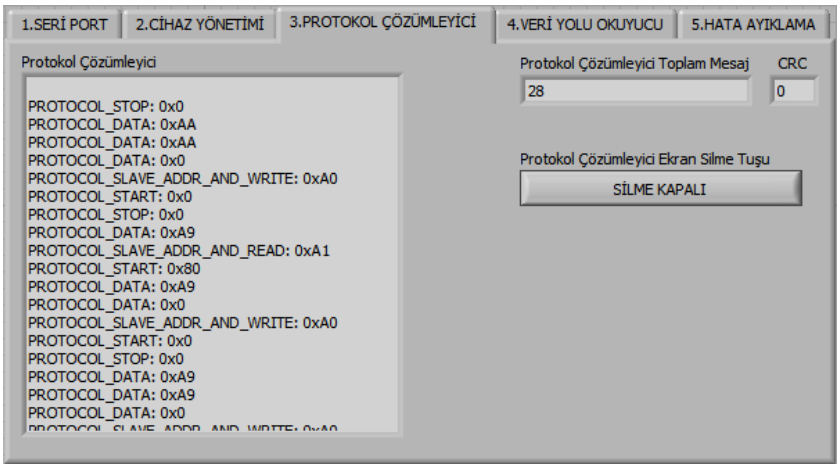
Şekil 6.3 Cihaz yönetim sekmesi.

"Örneklemeyi Başlat" komutu cihazın örneklemeye başlaması için gönderilir. Bu şekilde Seri Protokol Çözümleyici cihaz bütün işlem gücünü veri yolunu örneklemeye harcar ve 1024 adet adet örnek ile cihazın iç SRAM belleği doldurulur. Cihaza dur demedikçe yeni gelen örnekler eski örnekleri ezerek sürekli güncel örneği belliğinde tutar. "Veri Yolunu Oku" komutu verildiğinde ise cihaz örneklemeyi durdurur ve belleğinde bulunan veri yolu örneklerinden arka arkaya farklı olanları bilgisayara gönderir. Bilgisayara gelen veriler VERİ YOLU OKUYUCU sekmesinde çizdirilir. "Protokol Çözümle" komutu verildiğinde varsa örnekleme durdurulur ve bellekteki örnekler seri protokole göre çözümlenip bilgisayara gönderilir. Alınan veriler PROTOKOL ÇÖZÜMLEYİCİ sekmesinde yazdırılır. Komutlar seçildikten sonra komutun hazırlanıp gönderilmesi için mesaj gönderme tuşuna basılmalıdır.Bu şekilde mesaj hazırlanarak veri alanına seçilen komut yerleştirilir ve cihaza gönderilir.



Şekil 6.4 Yönetim haberleşmesi mesaj yapısı.

Yönetim haberleşmesi mesaj yapısının BAŞLIK kısmında sabit olarak 0xE0 karakteri kullanılır bu şekilde gelen mesajın bir yönetim mesajı olduğu anlaşılır. BAŞLIK hem komut gönderiminde hem de cihazın bilgisayara gönderdiği verilerde kullanılır. İkinci olarak MESAJ TİPİ alanı gelir. Bu bölge mesajın tipini belirler ve alan taraf bu mesaj tipine göre kalan kısımlarını okur. 3 mesaj tipi vardır: Komut Mesajı, Veri yolu Görüntüleme Mesajı, Protokol Çözümleyici Mesajı. Üçüncü bölge MESAJ UZUNLUĞU' dur. Buraya BAŞLIK dahil tüm paketin bayt olarak uzunluğu yazılır. Dördüncü kısım VERİ UZUNLUĞU ' dur. VERİ' nin kaç bayt uzunluğunda oldu buraya yazılır. Ardından VERİ gelir. Gönderilmek istenen bilgi burada taşınır. Son olarak DOĞRULAMA TOPLAMI yazılır. Tüm mesajın her baytı toplanır ve sonunda 0xFF değerinden çıkarılarak Doğrulama Toplamı elde edilir.

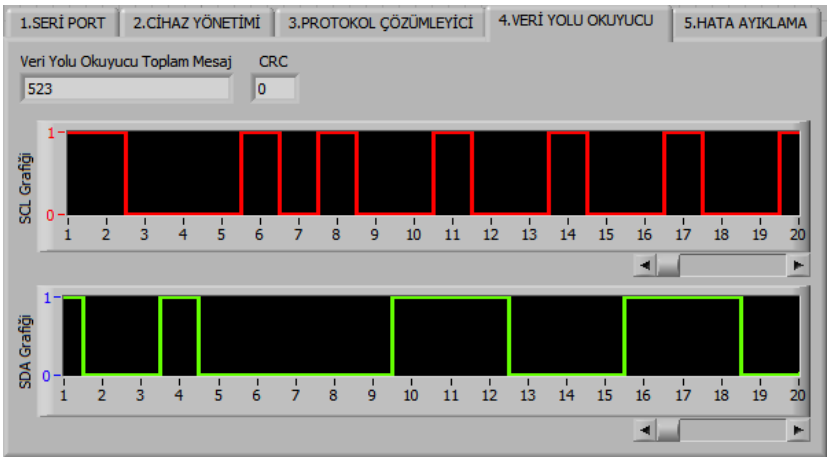


Şekil 6.5 Protokol çözümleyici sekmesi.

Protokol Çözümleyici sekmesinde bilgisayara, I^2C seri protokolüne göre çözümlenmiş veriler aktarılır. Protokol Çözümleyici ekranında 4 adet durum bulunur. Bunlar:

- PROTOCOL_START
- PROTOCOL_SLAVE_ADDR_AND_WRITE
- PROTOCOL_SLAVE_ADDR_AND_READ
- PROTOCOL_DATA
- PROTOCOL_STOP

Olarak sıralanabilir. Bu sekmede gelen toplam mesaj sayısı görülebilir. Ekranda bilgilerin birikmesini önlemek için silme tuşuna basarak bir daha gelecek olan aktarımın temiz bir ekrandan başlaması sağlanabilir.

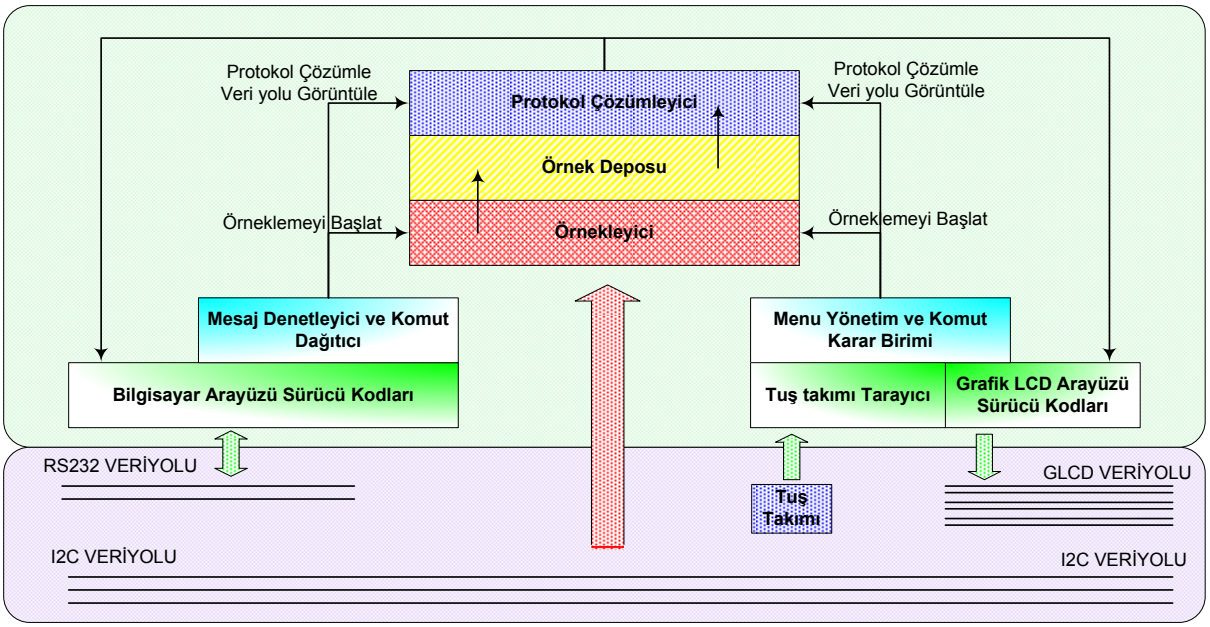


Şekil 6.6 Veri yolu okuyucu sekmesi.

Veri yolu Görüntüleyici sekmesinde ise cihazdan alınan SDA ve SCL bitleri çizilerek görsel bir şekilde veri yolundaki bilgi görüntülenir. Yine bu sekmede gelen toplam mesaj sayısı görüntülenebilir.

Hata Ayıklama Ekranında ise bilgisayara gönderilen tüm mesajlar görülür. Buna hata ayıklama için gönderilen mesajlar da dahil olduğundan bu ad verilmiştir.

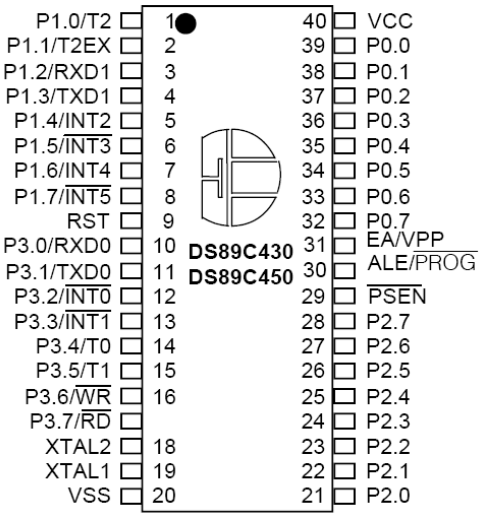
6.2 Mikrodenetleyici Yazılımı



Şekil 6.7 Yazılım blok diyagramı.

Seri Protokol Çözümleyici, donanım olarak şekillendikten sonra geriye bu donanımın nasıl bir yazılım ile çalıştırılacağı sorusu akla gelmektedir. Bu tezde donanımın ana işlevleri Mikro denetleyici tarafından gerçekleştirilmektedir. Mikro denetleyicinin çalıştırılması ise yazılım ile sağlanmaktadır. Yazılım, basitten karmaşığa doğru parça parça tasarlanmış ve uygulanmıştır. Öncelikle 8051 tabanlı bir mikro denetleyicide LabVIEW ile haberleşebilen basit bir yapı kurulmuştur. LabVIEW ile mikro denetleyicinin portlarının durumunu izleyen ve yöneten bir yazılım hem LabVIEW ortamında hem de mikro denetleyicide yazılmıştır. Ardından asıl kullanılacak mikro denetleyici bulunmuş, özellikleri incelenmiş ve basit bir LED yakma ve söndürme kodu yazılması kararlaştırılmıştır. Burada LED yakıp söndürmeden önce yazılımın hangi dilde olacağı ve hangi derleyici kullanılacağı araştırılmıştır. Sonuç olarak C yazılım dili ve Keil Derleyici Bilgisayar Programı kullanılması kararlaştırılmıştır. Başka yazılım dilleri de kullanılabilirdi ancak bu mikro denetleyici için en kolay bulunan ve en çok bilinen yazılım dili C olduğu için bu seçim yapılmıştır. Derleyici özellikleri ve koşullanmaları yapıldıktan sonra mikro denetleyiciye özel koşullanmalar ve açılış yazılımları geliştirilmiştir. Ardından kodun derlenip yüklenmesine gelinmiştir. Derleyici INTEL HEX formatında çıktı üretmektedir. Bu çıktının yüklenmesi için basit bir donanım kurulmuş ve sistem üzerinde yükleme yapılmıştır. Ardından beklenen LED yakıp söndürme işlevi gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde devam eden geliştirme süresince sırasıyla düşük hızda örnekleyici tasarımı, LabVIEW yönetim katmanı ile haberleşme ara yüzünün

olgunlaştırılması, protokol çözümleyici yazılımının geliştirilmesi, yüksek hızda örnekleme yazılımının tamamlanması, Grafik Gösterge yazılımının tamamlanması ve seri protokol çözümleyicinin tüm özellikleriyle çalıştırılması, konuları bitirilmiştir. Yazılım tasarımında Grafik Gösterge sürücü kodları ve menü yönetim kodları Elektronik ve Haberleşme Müh. Cihan TORUN tarafından tasarlanmış ve gerçeklenmiştir.



Şekil 6.8 Mikro denetleyici giriş/çıkış yapısı.

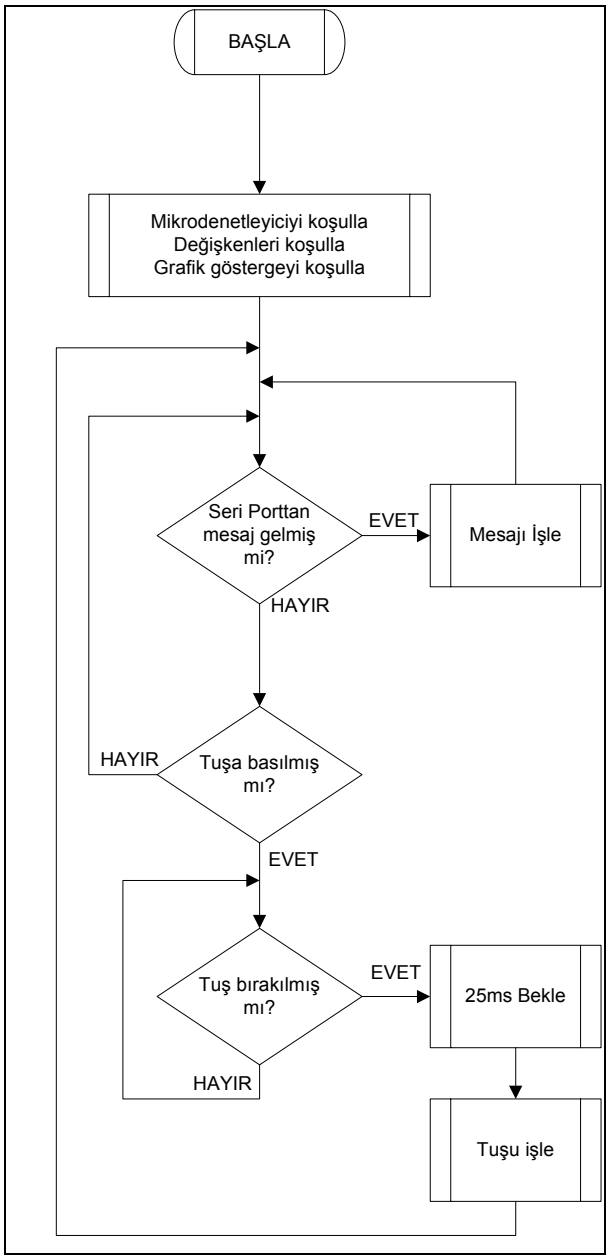
Mikro denetleyici seçiminde I^2C hız sınırları etkili olmuştur. Burada yüksek hız sınırı yani 400 Kb/s veri transfer hızı seçimi araştırma safhasında seçimi zorlaştırmıştır. Mikro denetleyici araştırmasında ve bulunmasında Elektronik ve Haberleşme Müh. Cihan TORUN sorumluluk almış ve MAXIM firmasının satın aldığı DALLAS Yarıiletken Firmasının bir ürünü olan 8051 tabanlı DS89C450 mikro denetleyicisi seçilmiştir. Mikro denetleyicinin genel özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Standart 8051 işlemcilerde ortalama 12 kat daha hızlı çalışabilir.
- 33 MHz kristal hızında 33 MIPS' e eşdeğer performans sağlayabilir.
- Her saat çevriminde bir makine çevrimi üretebilir.
- Tek çevrim komut 30 ns' de işleyebilir.
- Çevrimi ayarlanabilir MOVX komutu ile hızlı veya yavaş erişimler yönetilebilir.
- İki DPTR işaretçisi bulunur. Bunlar otomatik arttırma yeteneği ile her erişimde değerleri 1 artar.
- 64 KB Flash Kod belleğine sahiptir.
- Sistem üzerinde programlanabilir.

- Dahili 1KB SRAM' i bulunmaktadır. MOVX komutuyla erişilebilir.
- Geriye dönük 8051 uyumlu donanım ve komut seti
- 8 bitlik 4 adet giriş/çıkış portu
- 3 adet 16 bit zamanlayıcı sayaç
- 256 bayt kullanılabilir iç RAM bölgesi
- Programlanabilir saat bölücü ile istenilen hızda çalışma sağlanabilir.
- 2 adet Seri port
- Toplam 13 kesme kaynağı, 6' sı harici kesme
- 5 seviyeli kesme önceliği
- Yetersiz güç seviyesinin altında bir gerilimde yeniden açılma özelliği
- Yetersiz güç ön algısında kesme üretme

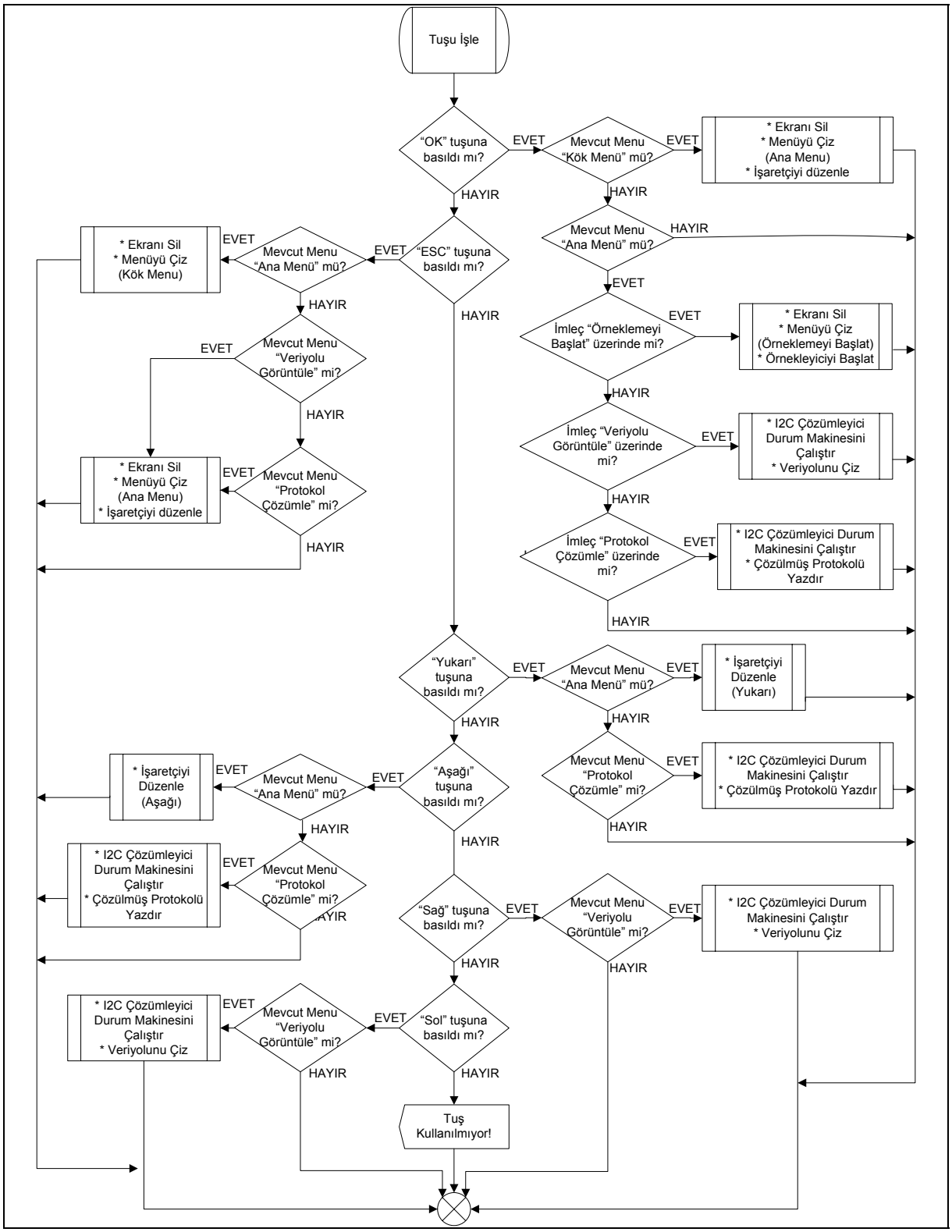
6.2.1 Ana Döngü ve Tuş İşleme Yazılımı

Mikro denetleyicinin diğer 8051 tabanlı işlemcilerden en büyük farkının hızı olduğu söylenebilir. Ancak burada hız ayarlaması için bir açılış yazılımı gerekmektedir. Kristal frekansı 22.1184 MHz seçilmiştir. Tek çevrim çalışma durumunda bile bu kristal hızı 400 Kb/s transfer hızını örneklemek için yeterli değildir. 400 Kb/s hızını saat hızında 400 KHz olarak düşünebiliriz. Çünkü bir periyotta bir bit aktarılmaktadır. Örneklemeyi doğru yapabilmek için bu hızın en az 4 katında örneklemek gerekir. Çünkü I^2C protokolüne göre yarım periyotta bir ACKNOWLEDGE üretilebilir. Dolayısıyla mikro denetleyici ilgili veri yolunu 4x400 KHz' de bir örnekleyebilir olmalıdır. Örnekleme işlemi için gereken okuma ve örnek deposuna yazma işlemleri de işin içine katıldığında kristal frekansının arttırılması gerekmektedir. Mikro denetleyicinin bir özelliği de saat hızını bölebilme yeteneğidir. Tek çevrim çalışma en fazla 4 kata kadar bölünebilir. 4 kat hızda mikro denetleyici çalıştırılamamıştır. 2 kat hızda çalıştırılmış ve yeterli olmuştur. Burada kristali değiştirip 33 MHz' lik bir kristal de kullanılabilirdi ancak seri port uygulamasında baud hızları ayarlanırken hatalı veri gönderme olasılığı oluşmaktadır.



Şekil 6.9 Ana döngü akışı.

Mikro denetleyicinin 2 kat hızda koşullanması tamamlandıktan sonra seri port koşullanır ve diğer kullanılan RAM alanları başlangıç koşullarına atanır. Ardından Grafik Gösterge koşullanır ve açılır. Koşullanma işlemi tamamlandıktan sonra yazılım, ana bir döngü içerisinde sürekli olarak mesaj alınıp alınmadığını ve tuş takımında bir tuşa basılıp basılmadığını kontrol eder. Mesaj gelmiş ise bilgisayarda gelen bu mesajı işlemek üzere alt fonksiyona dallanır. Tuşa basılmış ise tuş bırakılana kadar bekler ve bırakıldıktan sonra 25 ms bekleyerek gerilim dalgalanmasının durağan hale gelmesini bekler. Ardından basılan tuşun işlevine göre işlenecek olan alt fonksiyona dallanır. Tuş işleme tasarımı Elektronik ve Haberleşme Müh. Cihan TORUN tarafından hazırlanmıştır.



Şekil 6.10 Tuş işleme akışı.

Şekilde görüldüğü gibi önce tuş takımı taranır ve hangi tuşa basıldığı tespit edilir. Basılan tuşun anlamı o durumdaki menüye göre şekillenir. Örneğin "OK" tuşuna basıldığında kullanıcının hangi menüde olduğu ve varsa imlecin hangi satırda olduğu göstergede çizilecek

şekli belirler. Bilgisayar ara yüzünde olduğu gibi burada da üç ana komut verilebilmektedir: Örneklemeyi Başlat, Veri yolu Görüntüle, Protokol Çözümle.

6.2.2 Yönetim Katmanı ile Haberleşme Yazılımı

Mikro denetleyiciyi yönetmek için iki kaynak kullanılmaktadır:

- Donanım üzerindeki tuş takımı
- Bilgisayardan gönderilen mesajlar

Tuş takımı taraması ve işlemi sonucunda yapılacak işlem belirlenir. Her işlem için basitçe ilgili fonksiyon çağrılarak işletilir veya Grafik Gösterge' ye aktarılacak veri varsa bir RAM alanında hazırlanır. Geri dönüşte bu RAM alanı göstergeye yazdırılır.

Bilgisayar ile yönetimde ise gelen mesajlar ile haberleşme sağlanır. Seri ara yüzden gelen mesajlar bayt olarak bir RAM alanında biriktirilir. Mesaj sonu geldiğinde ise ana döngüdeki mesaj ayrıştırıcı fonksiyon çalışır. Gelen mesajın öncelikle doğrulama toplamı kontrol edilir. Hatalı toplam ile karşılaşılırsa mesaj iptal edilir. Doğru bir toplam varsa mesajın komut tipi çözülür ve ilgili alt fonksiyona dallanır.

Bilgisayardan gelen mesajlar ve tuş takımından girilen istekler yalnızca üç komuttan birini içerebilir.

- Örneklemeyi Başlat
- Veri Yolunu Oku
- Protokol Çözümle

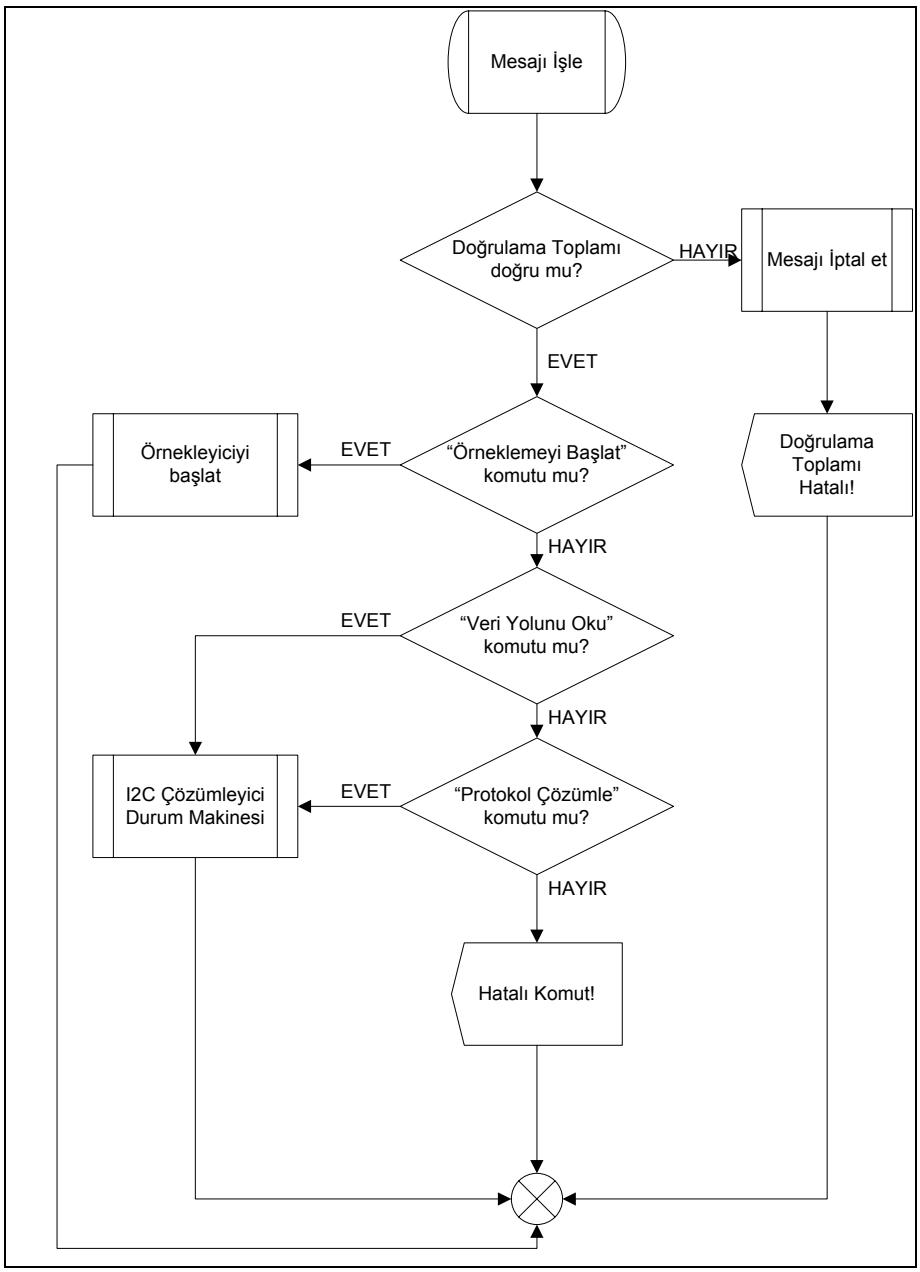
Aksi halde hatalı komut işlenmez ve mesaj iptal edilir. Veri yolu okuma ve protokol çözümleme için aynı alt fonksiyon çağrılır ancak fonksiyon çağrısında ayrıştırıcı komut parametre olarak geçildiğinden aynı kod farklı şekilde çalıştırılmış olur.

"Örneklemeyi Başlat" komutu alındığında veri yolu örnekleyici alt fonksiyon çağrılır. Mikro denetleyicinin tüm işlem gücü örnekleme için harcanır. Yalnızca kesmeler aktif durumdadır. 1 KB' lık SRAM bölgesi mikro denetleyici portundan alınan örneklerle doldurulur. Yeni bir mesaj geldiğinde örnekleme durdurulur ve doğru bir mesaj ise ilgili mesaj işleme alt fonksiyonu ile devam edilir. Hatalı bir mesaj ise örnekleme yeniden başlatılır.

"Veri yolunu Oku" komutunda I^2C çözümleyici durum makinesi çalışır ve 1 KB' lık SRAM içinde depolanmış tüm örnekleri okuyarak birbirinden farklı örnekleri ya seri port üzerinden

bilgisayara gönderir ya da grafik gösterge için hazırlanan bir RAM bölgesine doldurur. Grafik göstergeye yazdırılabilecek kadar örnek yollandıktan sonra kalınan yerden devam edilir.

"Protokol Çözümle" komutunda ise yine I^2C çözümleyici durum makinesi çalışır. Bu durumda her örnek tek tek incelenerek protokole göre durum makinesi geçişleri yapılır. Saptanan protokol durumları grafik göstergeye veya bilgisayar aktarılır.



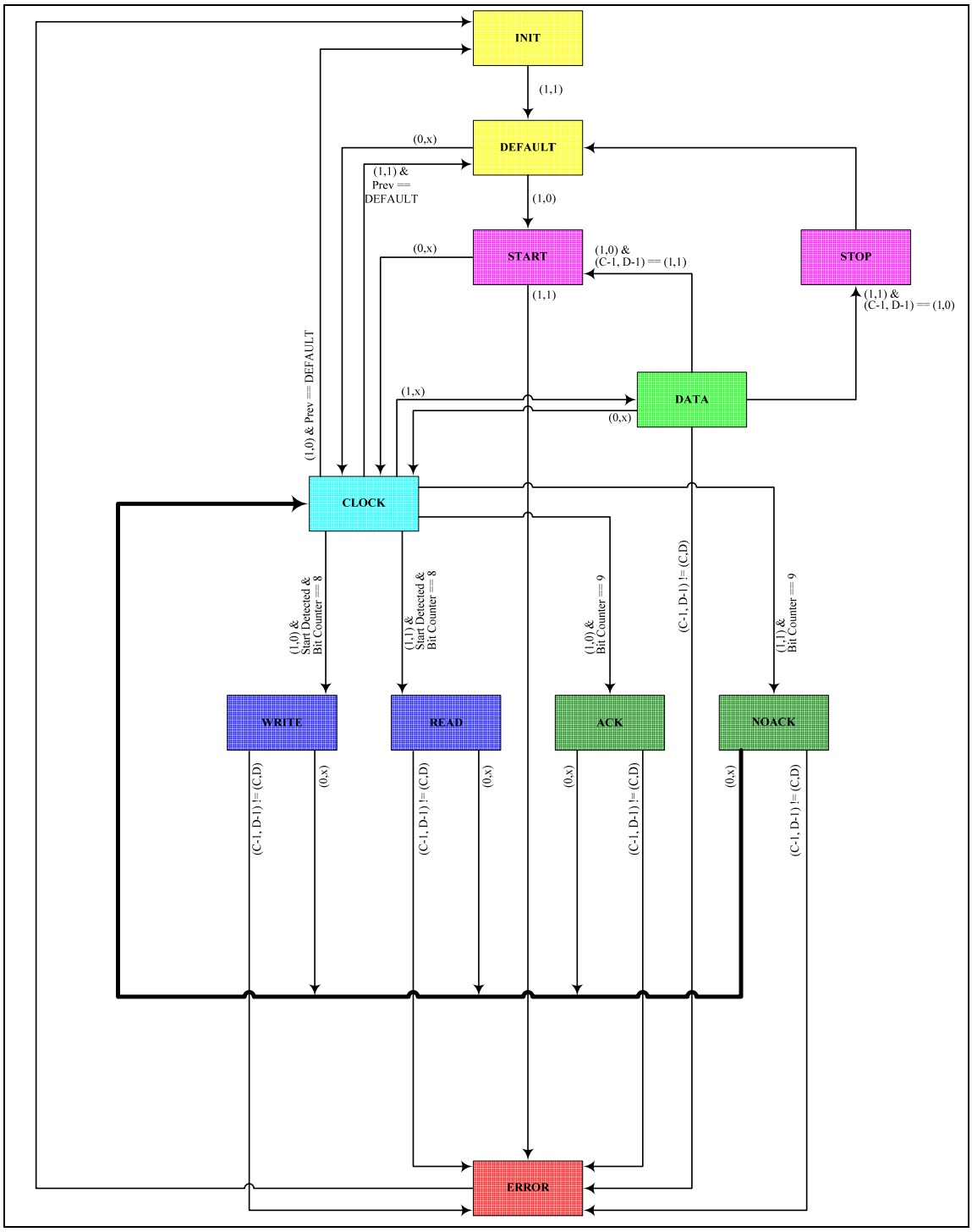
Şekil 6.11 Mesaj işleme akışı.

6.2.3 Veri yolu Örnekleyici Yazılımı

Bu yazılım özel olarak mikro denetleyici komut dilinde yazılmıştır. Çünkü C derleyicisi fazladan kod üreterek örnekleme hızını düşürmektedir. Örnekleme, yeni bir mesaj gelmedikçe

veya tuş takımında ESC' ye basılmakça devam eder. Böylece 1 KB' lık SRAM alınan örneklerle dolar. SRAM' de her bayt bir örnek olup SDA ve SCL ikilisini tutar. 1KB' lık alan aşılma noktasında geldiğinde eski örnekler üzerine yazılarak devam edilir. Ardı ardına gelen aynı örnekten yalnızca biri tutulur. İkinci aynı örnek SRAM' de tutulmaz.

6.2.4 Protokol Çözümleyici Yazılımı



Şekil 6.12 I^2C çözümleyici durum makinesi.

Bu yazılımın amacı örnek deposunda bulunan verileri I^2C protokolüne göre incelemek ve çözümlenmiş bilgiyi kullanıcı ara yüz katmanına iletmektir. Veri yolunu görüntüleme komutu verildiyse I^2C Çözümleyici Durum Makinesi çalışır. Ancak burada makine sadece birbiri ardına toplanmış olan farklı örnekleri ayırt eder ve geri dönüş olarak bu farklı örnekler basılır. Diğer mesaj olan protokol çözümleme komutu gelirse yine I^2C Çözümleyici Durum Makinesi çalışır. Burada asli görevi olan protokolü çözme işi gerçekleştirilir ve ilk bulunan START durumundan itibaren çözümlenen değerler bilgisayara veya Grafik Gösterge' ye aktarılır. Yazılım 7-bit ve 10-bit Adreslemeyi karşılayabilmektedir. Veri yolunda yazma ve okuma aktarımları çözülüp kullanıcıya yansıtılır.

Şekil 6.12' de gösterilen durum makinesinde parantez içerinde gösterilen sayıların ilki saat işaretini (SCL), ikincisi ise veriyi (SDA) göstermektedir. Saat işareti "Lojik 1" ve veri "Lojik 1" iken verinin (SDA) "Lojik 0"a düşmesi START durumunu oluşturmaktadır. Bunun gibi geçişler akışta belirtilmiştir. Şekil 6.12' da görülen (C, D) gösterimi o anda örneklenmiş SCL ve SDA ikilisini belirtmektedir. (C-1, D-1) şeklinde gösterilen değer ise SCL ve SDA' nın önceki örnekteki değerlerini belirmektedir. (0,x), (1,x) şeklindeki gösterimlerde "x" işareti, veri (SDA) ne olursa olsun dikkate alınmayacağını belirtmektedir.

7. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu çalışma ile endüstriyel sistemlerde önemli bir yer tutan I^2C protokolünün izlenmesi ve çözümlenmesi için bir tasarım yapılmıştır. Donanım tasarımı ve çevresel birimlerinden tuş takımı ile Grafik Gösterge ara yüzü tasarımları Elektronik ve Haberleşme Müh. Cihan Torun tarafından yapılmıştır.

Tez öncesi yapılan araştırmalarda görülmüştür ki bu şekilde hem kişisel bilgisayar ara yüzü ile hem de donanım üzerinde gerçeklenmiş sadece bir uygulama vardır. Seri protokol çözümleyici örnek sistemler bölümünde bahsedilen MCC firması tarafından üretilen I^2C/SMBus Protokol Çözümleyici sistem hem donanım üzerinde hem de bilgisayar ile izleme yeteneğine sahiptir. Bu tez ile gerçeklenen seri protokol çözümleyici sistemin farkı hem grafik gösterge kullanması hem de yazılım geliştirilebilir bir platform olan LabVIEW ile izlenmesidir.

Çoğu seri protokol çözümleyici cihaz ya donanım üzerinde ya da bilgisayar ile yönetilmektedir. Donanım üzerinde grafik gösterge ile izlenen bir uygulamaya veya bir yayına rastlanmamıştır. Bilgisayar ile izleme yöntemlerine bakıldığında farklı işletim sistemleri desteği veren, filtreleme, veri depolama yetenekleri olan pek çok cihaz mevcuttur. Seri protokol çözümleyici bilgisayar yazılımı diğer çözümleyicilerin bilgisayar yazılımlarına göre yetersiz kalmaktadır. Filtreleme ve veri depolama açısından geliştirilebilir. Buna rağmen pek çok sistemin kullanmadığı LabVIEW geliştirme ortamı kullanılmaktadır. Çoğu bilgisayar yazılımlarında derlenmiş programlar koşturulmakta ve kullanıcıya geliştirme imkanı tanınmamaktadır. LabVIEW ile kullanıcıya kendi istediği şekilde ara yüzü geliştirme ve özelleştirme imkanı tanınmaktadır. Ayrıca basit ve hızlı bir şekilde yazılım geliştirme özelliği endüstriyel uygulama geliştiren tasarımcılar için de önemli bir tercih nedeni olmaktadır. LabVIEW ile yapılmış uygulamalar araştırılmış ve I^2C protokolünü çözümleyen sadece bir uygulamaya rastlanmıştır. Beagle Seri Protokol Çözümleyici, bilgisayar ara yüzünde LabVIEW geliştirme ortamını da desteklemektedir.

Tasarım döneminde LabVIEW geliştirme ortamı ile bilgisayar ara yüzü tasarımı çabuk olgunlaşmıştır. Değişiklik durumlarında bile görsel yapıdan dolayı fonksiyonel bloklar kolayca güncellenebilmiştir. Yazılımda geliştirilen bir kodun ileriki zamanlarda unutulması muhtemeldir. Bu durumda hatırlamak istenildiğinde yeniden kod takibi yapmak gerekir. Oysa LabVIEW ile her fonksiyonel blok görsel olarak takip edilebilir. Bu şekilde bilgisayar ara yüzü tasarım süreci çabuk tamamlanmıştır.

Tablo 7.1 Tasarlanan seri protokol çözümleyici sistemin özellikleri

GENEL	Desteklenen protokoller	Donanım üzerinde yönetim ara yüzü	Bilgisayar ile yönetim ara yüzü	Bilgisayarda desteklenen işletim sistemi	LabVIEW Desteği
	I^2C	Tuş takımı + Grafik Gösterge (128 x 64)	RS–232	Windows	Var
TEKNİK	Maksimum I^2C saat hızı	Gerçek zamanlı izleme	Zaman damgası	Depolama Kapasitesi	
	400 KHz	Yok	Yok	1 KB	
EKONOMİK	Maliyeti 50 TL				

Tasarlanan sistemin özelliklerini diğer seri protokol çözümleyici sistemlerle genel anlamda karşılaştıracak olursak sadece I^2C protokolünü desteklemesi diğer çözümleyiciler yanında eksik tarafı olarak görülmektedir. BusBee, MCC ve Beagle seri protokol çözümleyicileri I^2C protokolü dışındaki bazı protokolleri de desteklemektedir. Bu konuda en fazla protokolü BusBee desteklemektedir.

Donanım üzerinde yönetim imkanı açısından bakıldığında Grafik Gösterge kullanılan tek çözümleyici olarak ön plana çıkmaktadır. Sadece MCC seri protokol çözümleyicisinde Satır Gösterge kullanılmaktadır. Grafik göstergenin sunduğu görsellik tasarlanan seri protokol çözümleyiciyi bir adım önde tutmaktadır.

Bilgisayar yönetiminde LabVIEW desteği sunan iki seri protokol çözümleyiciden biri Beagle seri protokol çözümleyici, diğeri de tasarlanan seri protokol çözümleyicidir.

Tasarlanan sistemin özelliklerini teknik açıdan karşılaştıracak olursak maksimum I^2C saat hızında 400 KHz ile sadece MCC seri protokol çözümleyicinin önünde yer almaktadır. Diğer seri protokol çözümleyiciler bu konuda daha öndedir. Gerçek zamanlı izleme ve zaman damgasının olmayışı tasarlanan seri protokol çözümleyici açısından bir eksiktir.

Depolama kapasitesi olarak 1 KB örnek saklanabilmektedir. Diğer çözümleyiciler düşünüldüğünde bu kapasite oldukça azdır. Burada donanım üzerinde yapılan depolama açısından MCC seri protokol çözümleyici 2700 mesaj, Jupiter seri protokol çözümleyici 32 KB örnek depolayabilmektedir.

Tasarlanan seri protokol çözümleyicinin maliyeti göz önüne alındığında en uygun seri protokol çözümleyici olduğu görülmektedir.

Bu tez ile seri protokol çözümleyici bir taban tasarım oluşturulmuştur. Tasarımın sınırları çizilmiş ve geliştirilmeye açık bırakılmıştır. I^2C protokol hızlarından standart hız olan 100 Kb/s desteklenmekte ayrıca yüksek hızlı (400 Kb/s) veri transfer hız sınırlarına kadar çözümleme yapılabilmektedir. 400 Kb/s üzerindeki hızlar çözümlenememektedir. Yüksek hızlı modun da üzerindeki hızlarda çözümleme yapılamamasının nedeni kullanılan mikro denetleyicinin bu hızları örneklemek için yetersiz olmasıdır. Makine çevrimi daha hızlı bir mikroişlemci, mikro denetleyici, DSP, FPGA kullanılarak bu sınır aşılabilir. Örnekleme kapasitesi bu tür izleme, görüntüleme ve çözümleme tasarımları için oldukça önemlidir. Bu tasarımda mikro denetleyicinin 1KB' lık SRAM bölgesi kullanılmıştır. En fazla 512 farklı örnek alınabilmektedir. SRAM kapasitesi arttırılarak örnek depolama hacmi arttırılabilir. Bilgisayar ara yüzüne erişim için seri port kullanıldığından yönetim katmanıyla iletişim sınırlı olmakta ve gerçek zamanlı olarak bilgi aktarılamamaktadır. Örnekler mikro denetleyicide depolanıp bilgisayara aktarılmaktadır. USB veya Ethernet ara yüzleri adapte edilerek anlık veri transferleri yapılabilir. Böylece bilgisayarın işlem gücü ve depolama kapasitesi kullanılarak kullanıcıya yönelik her türlü tasarım geliştirilebilir.

Seri protokol çözümleyici sisteminin piyasada var olan sistemlere göre üstünlüklerinden birinin taşınabilir ve bilgisayar destekli olmasının yanı sıra maliyetinin de az oluşudur. Yakın hızlarda örnekleme yapan diğer cihazlara göre oldukça avantajlıdır.

Seri protokol çözümleyici sistemin örnekleme performansını test etmek için bir düzenek hazırlanmıştır. Bir seri EEPROM' un tüm adreslerine 8-bit veri yazan ve okuyan bir donanım ve yazılım geliştirilmiştir. Bu test sistemine seri protokol çözümleyici sistem bağlanmış ve yapılan denemelerde sistemin 400 Kb/s veri transfer hızını çözümleyebildiği görülmüştür. I^2C protokolünün genel kullanımı 100 Kb/s hızı ve civarında olmaktadır. Dolayısıyla pek çok uygulama için yeterli bir kapasiteye sahiptir.

KAYNAKLAR

Edminister, J. A., Nahvi, M., (1999), Elektrik Devreleri Schaum's Outline Series, McGrawHill, New York

Kennedy, G., (1985), Electronic Communication Systems, McGrawHill, New York

Leblebici, D., (2001), Elektronik Elemanları, Seç Yayın Dağıtım, İstanbul

MacKenzie, I. S., (1995), The 8051 Microcontroller, Prentice-Hall, USA

Topaloğlu, N., (2004), x86 Tabanlı Mikroişlemci Mimarisi ve Assembly Dili, Seçkin Yayıncılık, Ankara

Uzun, T., (2005), "MikroİşlemciSistemleri", TOR OFSET, İstanbul

Yücel, M., (1991), Haberleşme Teorisi, Yıldız Teknik Üniversitesi Yayınları, İstanbul

YARDIMCI KAYNAKLAR

Bu kısımda yer alan kaynaklardan Haziran 2009 tarihinde yararlanılmıştır.

[1] http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_automation_protocols

[2] http://www.nxp.com/acrobat_download/usermanuals/UM10204_3.pdf

[3] http://en.wikipedia.org/wiki/I2C

[4] http://inventors.about.com/library/weekly/aa111598.htm

[5] http://en.wikipedia.org/wiki/Ethernet

[6] http://en.wikipedia.org/wiki/Serial_ATA

[7] http://gadgetophilia.com/sata-pata-and-scsi-a-comparison/

[8] http://tr.wikipedia.org/wiki/SATA#Seri_ATA.27n.C4.B1n_yenilikleri

[9] http://en.wikipedia.org/wiki/Modbus

[10] http://www.modbus.org/docs/Modbus_Application_Protocol_V1_1b.pdf

[11] http://en.wikipedia.org/wiki/Profibus

[12] http://www.profibus.com

[13] http://www.usbee.com/busbee.html

[14] http://www.mcc-us.com/MIIC-101-UG.pdf

[15] http://www.mcc-us.com/MIIC-101-DS.htm

[16] http://www.jupiteri.com/JI-210_Files/JI-210_Top.html

[17] http://www.jupiteri.com/JI-210_Files/I2C_Specifications_VER_2.pdf

[18] http://www.totalphase.com/products/beagle_ism/

[19] http://www.i2c-bus.org/

[20] http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/205040

[21] http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/202368

[22] http://www.telos.de/i2cfw/labview/

[23] http://www.analog.com/static/imported-files/application_notes/uC001_-_MicroConverter_I2C_Compatible_Interface.pdf

EKLER

EK 1 DS89C450 Datasheet

EK 2 DS89C450 User's Guide

EK 3 I^2C Bus Specification

EK 4 ADuC812 Datasheet

EK 5 NI-8451 Datasheet

EK 1 DS89C450 Datasheet

DALLAS SEMICONDUCTOR MAXIM

DS89C430/DS89C450
Ultra-High-Speed Flash Microcontrollers

www.maxim-ic.com

GENERAL DESCRIPTION

The DS89C430 and DS89C450 offer the highest performance available in 8051-compatible microcontrollers. They feature newly designed processor cores that execute instructions up to 12 times faster than the original 8051 at the same crystal speed. Typical applications will experience a speed improvement up to 10x. At 1 million instructions per second (MIPS) per megahertz, the microcontrollers achieve 33 MIPS performance from a maximum 33MHz clock rate.

The DS89C440 is a 32kB version of the DS89C450 that is no longer available. The DS89C450 can be used as a drop-in replacement.

The *Ultra-High-Speed Flash Microcontroller User's Guide* should be used in conjunction with this data sheet. **Download it at** www.maxim-ic.com/microcontrollers.

ORDERING INFORMATION

PART	FLASH MEMORY SIZE	PIN-PACKAGE
DS89C430-MNL	16kB	40 PDIP
DS89C430-MNL+	16kB	40 PDIP
DS89C430-QNL	16kB	44 PLCC
DS89C430-QNL+	16kB	44 PLCC
DS89C430-ENL	16kB	44 TQFP
DS89C430-ENL+	16kB	44 TQFP
DS89C440-xxx	Contact factory or replace with DS89C430 or DS89C450.	
DS89C450-MNL	64kB	40 PDIP
DS89C450-MNL+	64kB	40 PDIP
DS89C450-QNL	64kB	44 PLCC
DS89C450-QNL+	64kB	44 PLCC
DS89C450-ENL	64kB	44 TQFP
DS89C450-ENL+	64kB	44 TQFP

+ Denotes a lead-free/RoHS-compliant device.

Complete Selector Guide appears at end of data sheet.
Pin Configurations appear at end of data sheet.

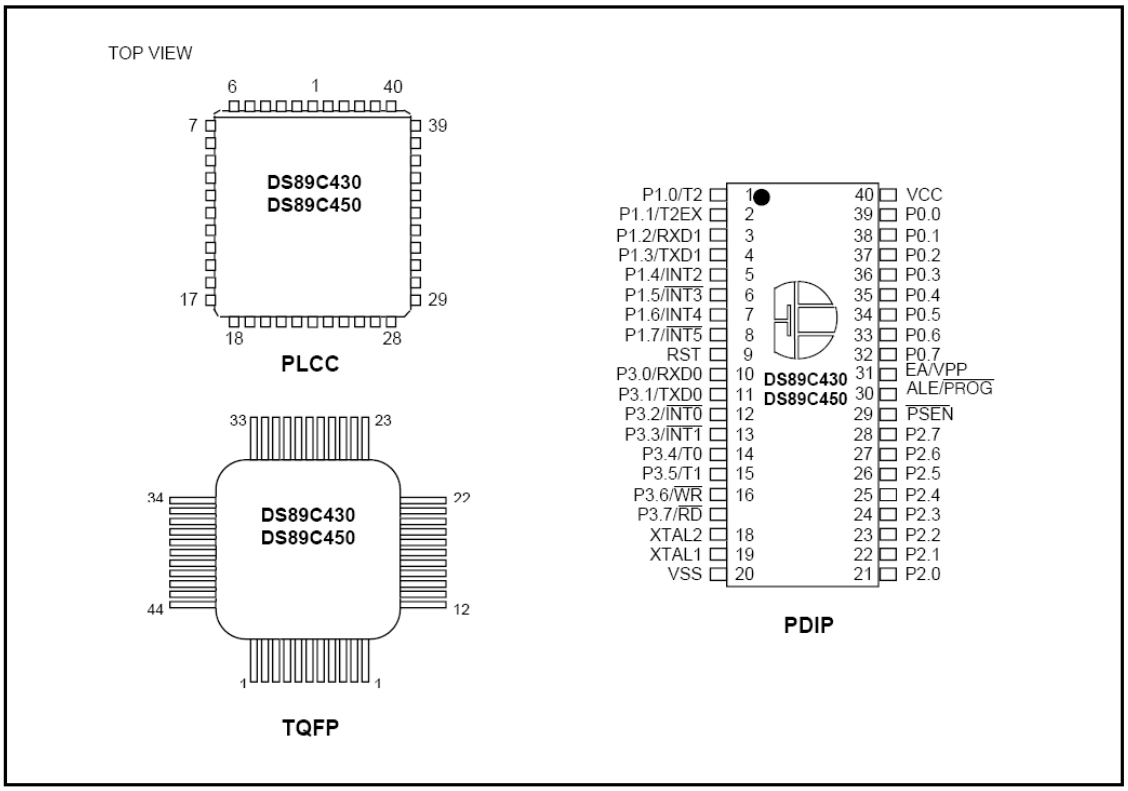
FEATURES

- **High-Speed 8051 Architecture**
  - One Clock-Per-Machine Cycle
  - DC to 33MHz Operation
  - Single Cycle Instruction in 30ns
  - Optional Variable Length MOVX to Access Fast/Slow Peripherals
  - Dual Data Pointers with Automatic Increment/Decrement and Toggle Select
  - Supports Four Paged Memory-Access Modes
- **On-Chip Memory**
  - 16kB/64kB Flash Memory
  - In-Application Programmable
  - In-System Programmable Through Serial Port
  - 1kB SRAM for MOVX
- **80C52 Compatible**
  - 8051 Pin and Instruction Set Compatible
  - Four Bidirectional, 8-Bit I/O Ports
  - Three 16-Bit Timer Counters
  - 256 Bytes Scratchpad RAM
- **Power-Management Mode**
  - Programmable Clock Divider
  - Automatic Hardware and Software Exit
- **ROMSIZE Feature**
  - Selects Internal Program Memory Size from 0 to 64kB
  - Allows Access to Entire External Memory Map
  - Dynamically Adjustable by Software
- **Peripheral Features**
  - Two Full-Duplex Serial Ports
  - Programmable Watchdog Timer
  - 13 Interrupt Sources (Six External)
  - Five Levels of Interrupt Priority
  - Power-Fail Reset
  - Early Warning Power-Fail Interrupt
  - Electromagnetic Interference (EMI) Reduction

APPLICATIONS

Data Logging
White Goods
Motor Control
Magstripe Reader/Scanner
Telephones
HVAC
Vending
Gaming Equipment
Building Energy Control and Management
Programmable Logic Controllers
Uninterruptible Power Supplies
Building Security and Door Access Control
Automotive Text Equipment
Consumer Electronics
Industrial Control and Automation

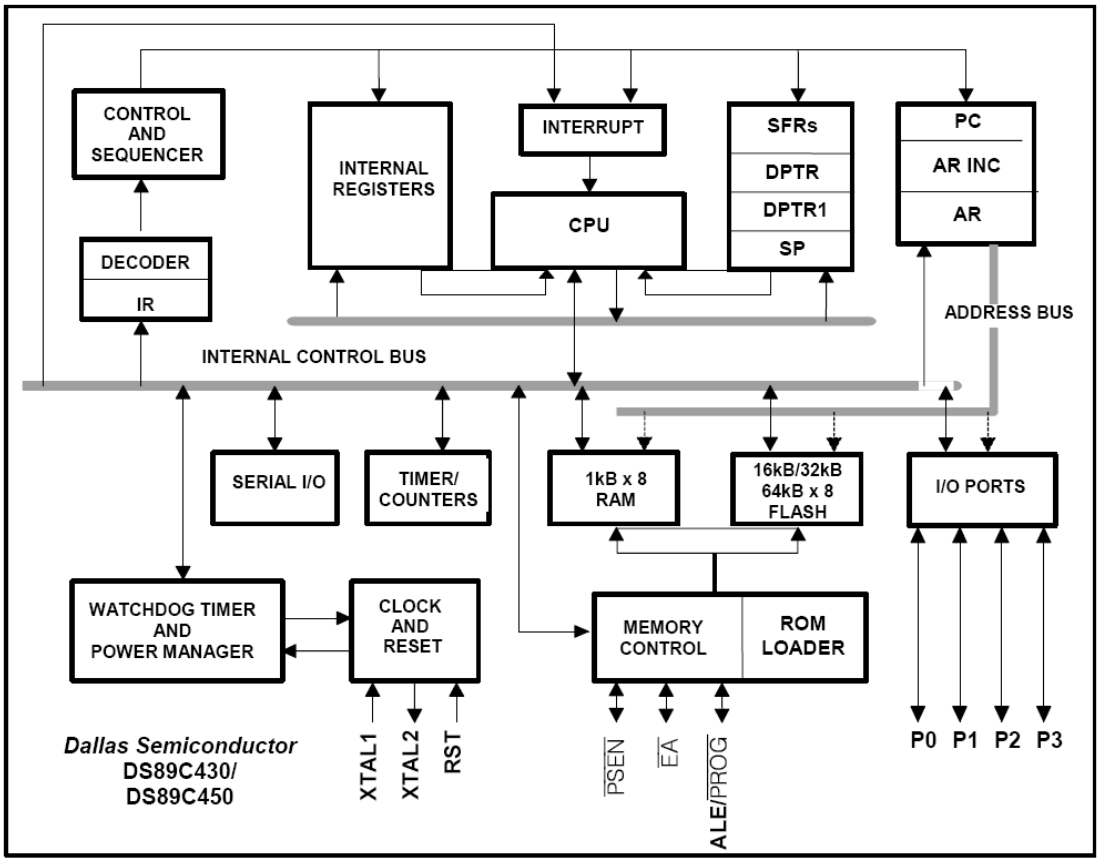
PIN CONFIGURATIONS



REVISION HISTORY

DATE	DESCRIPTION
111003	New product release.
032204	*DC Electrical Characteristics* table: Corrected typo—Under Supply Current for Active and Idle Mode, changed Units from "µA" to "mA." Note 15: Changed number of external clock cyles per system clock and minimum external clock speeds. *Flash Memory Programming Characteristics* table: Removed Note 20 (room temperature only) from the Data Retention parameter.
060204	Changed Write/Erase Endurance parameter from 20,000 cycles to 10,000 cycles. Removed original *Table 5. Parallel Programming Instruction Set*, and replaced it with a paragraph introducing the subject and advising interested parties to contact the factory for more information. Clarified IAP programming sequence.
060805	Added lead-free devices to *Ordering Information* table.
091906	Removed references to DS89C440 and/or added "Contact factory or replace with DS89C430 or DS89C450."
040507	Added clarification to the *Security Features* section and *Table 3* that flash security levels 1, 2, and 3 should not be used when executing external code (page 22); corrected Figure 8 to show PSEN high through the second machine cycle (page 28).

Figure 5. Functional Diagram



DETAILED DESCRIPTION

The DS89C430 and DS89C450 are pin compatible with all three packages of the standard 8051 and include standard resources such as three timer/counters, serial port, and four 8-bit I/O ports. The three part numbers vary only by the amount of internal flash memory (DS89C430 = 16kB, DS89C450 = 64kB), which can be in-system/in-application programmed from a serial port using ROM-resident or user-defined loader software. For volume deployments, the flash can also be loaded externally using standard commercially available parallel programmers.

Besides greater speed, the DS89C430/DS89C450 include 1kB of data RAM, a second full hardware serial port, seven additional interrupts, two extra levels of interrupt priority, programmable watchdog timer, brownout monitor, and power-fail reset. Dual data pointers (DPTRs) are included to speed up block data-memory moves with further enhancements coming from selectable automatic increment/decrement and toggle select operation. The speed of MOVX data memory access can be adjusted by adding stretch values up to 10 machine cycles for flexibility in selecting external memory and peripherals.

A power management mode consumes significantly lower power by slowing the CPU execution rate from one clock period per cycle to 1024 clock periods per cycle. A selectable switchback feature can automatically cancel this mode to enable normal speed responses to interrupts.

For EMI-sensitive applications, the microcontroller can disable the ALE signal when the processor is not accessing external memory.

EK 2 DS89C450 User's Guide

DALLAS SEMICONDUCTOR MAXIM

Ultra-High-Speed Flash Microcontroller User's Guide

Special-Function Register Locations

REGISTER	ADDRESS	BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0
P0	80h	P0.7	P0.6	P0.5	P0.4	P0.3	P0.2	P0.1	P0.0
SP	81h								
DPL	82h								
DPH	83h								
DPL1	84h								
DPH1	85h								
DPS	86h	ID1	ID0	TSL	AID	—	—	—	SEL
PCON	87h	SMOD_0	SMOD0	OFDF	OFDE	GF1	GF0	STOP	IDLE
TCON	88h	TF1	TR1	TF0	TR0	IE1	IT1	IE0	IT0
TMOD	89h	GATE	C/$\overline{T}$	M1	M0	GATE	C/$\overline{T}$	M1	M0
TL0	8Ah								
TL1	8Bh								
TH0	8Ch								
TH1	8Dh								
CKCON	8Eh	WD1	WD0	T2M	T1M	T0M	MD2	MD1	MD0
P1	90h	P1.7	P1.6	P1.5	P1.4	P1.3	P1.2	P1.1	P1.0
EXIF	91h	IE5	IE4	IE3	IE2	CKRY	RGMD	RGSL	BGS
CKMOD	96h			T2MH	T1MH	T0MH			
SCON0	98h	SM0/FE_0	SM1_0	SM2_0	REN_0	TB8_0	RB8_0	TI_0	RI_0
SBUF0	99h								
RID	9Ah								
ACON	9Dh	PAGEE	PAGES1	PAGES0					
P2	A0h	P2.7	P2.6	P2.5	P2.4	P2.3	P2.2	P2.1	P2.0
IE	A8h	EA	ES1	ET2	ES0	ET1	EX1	ET0	EX0
SADDR0	A9h								
SADDR1	AAh								
P3	B0h	P3.7	P3.6	P3.5	P3.4	P3.3	P3.2	P3.1	P3.0
IP1	B1h	—	MPS1	MPT2	MPS0	MPT1	MPX1	MPT0	MPX0
IP0	B8h	—	LPS1	LPT2	LPS0	LPT1	LPX1	LPT0	LPX0
SADEN0	B9h								
SADEN1	BAh								
SCON1	C0h	SM0/FE_1	SM1_1	SM2_1	REN_1	TB8_1	RB8_1	TI_1	RI_1
SBUF1	C1h								
ROMSIZE	C2h					PRAME	RMS2	RMS1	RMS0
PMR	C4h	CD1	CD0	SWB	CTM	4X/$\overline{2X}$	ALEON	DME1	DME0
STATUS	C5h	PIS2	PIS1	PIS0	—	SPTA1	SPRA1	SPTA0	SPRA0
TA	C7h								
T2CON	C8h	TF2	EXF2	RCLK	TCLK	EXEN2	TR2	C/$\overline{T2}$	CP/$\overline{RL2}$
T2MOD	C9h	—	—	—	—	—	—	T2OE	DCEN
RCAP2L	CAh								
RCAP2H	CBh								
TL2	CCh								
TH2	CDh								
PSW	D0h	CY	AC	F0	RS1	RS0	OV	F1	P
FCNTL	D5h	$\overline{FBUSY}$	FERR			FC3	FC2	FC1	FC0
FDATA	D6h								
WDCON	D8h	SMOD_1	POR	EPFI	PFI	WDIF	WTRF	EWT	RWT
ACC	E0h								
EIE	E8h	—	—	—	EWDI	EX5	EX4	EX3	EX2
B	F0h								
EIP1	F1h				MPWDI	MPX5	MPX4	MPX3	MPX2
EIP0	F8h	—	—	—	LPWDI	LPX5	LPX4	LPX3	LPX2

Note: Shaded bits are timed-access protected.

EK 3 I²C Bus Specification

NXP Semiconductors

UM10204

I²C-bus specification and user manual

1. Introduction

The I²C-bus is a de facto world standard that is now implemented in over 1000 different ICs manufactured by more than 50 companies. Additionally, the versatile I²C-bus is used in a variety of control architectures such as System Management Bus (SMBus), Power Management Bus (PMBus), Intelligent Platform Management Interface (IPMI), and Advanced Telecom Computing Architecture (ATCA).

This document will assist device and system designers to understand how the I²C-bus works and implement a working application. Various operating modes are described. It contains a comprehensive introduction to the I²C-bus data transfer, handshaking and bus arbitration schemes. Detailed sections cover the timing and electrical specifications for the I²C-bus in each of its operating modes.

Designers of I²C-compatible chips should use this document as a reference and ensure that new devices meet all limits specified in this document. Designers of systems that include I²C devices should review this document and also refer to individual component data sheets.

2. I²C-bus features

In consumer electronics, telecommunications and industrial electronics, there are often many similarities between seemingly unrelated designs. For example, nearly every system includes:

- Some intelligent control, usually a single-chip microcontroller
- General-purpose circuits like LCD and LED drivers, remote I/O ports, RAM, EEPROM, real-time clocks or A/D and D/A converters
- Application-oriented circuits such as digital tuning and signal processing circuits for radio and video systems, temperature sensors, and smart cards

To exploit these similarities to the benefit of both systems designers and equipment manufacturers, as well as to maximize hardware efficiency and circuit simplicity, Philips Semiconductors (now NXP Semiconductors) developed a simple bidirectional 2-wire bus for efficient inter-IC control. This bus is called the Inter IC or I²C-bus. All I²C-bus compatible devices incorporate an on-chip interface which allows them to communicate directly with each other via the I²C-bus. This design concept solves the many interfacing problems encountered when designing digital control circuits.

Here are some of the features of the I²C-bus:

- Only two bus lines are required; a serial data line (SDA) and a serial clock line (SCL).
- Each device connected to the bus is software addressable by a unique address and simple master/slave relationships exist at all times; masters can operate as master-transmitters or as master-receivers.
- It is a true multi-master bus including collision detection and arbitration to prevent data corruption if two or more masters simultaneously initiate data transfer.
- Serial, 8-bit oriented, bidirectional data transfers can be made at up to 100 kbit/s in the Standard-mode, up to 400 kbit/s in the Fast-mode, up to 1 Mbit/s in Fast-mode Plus, or up to 3.4 Mbit/s in the High-speed mode.

EK 4 ADuC812 Datasheet

ANALOG DEVICES

MicroConverter®, Multichannel 12-Bit ADC with Embedded Flash MCU

ADuC812

FEATURES

Analog I/O
- 8-Channel, High Accuracy 12-Bit ADC
- On-Chip, 100 ppm/°C Voltage Reference
- High Speed 200 kSPS
- DMA Controller for High Speed ADC-to-RAM Capture
- 2 12-Bit Voltage Output DACs
- On-Chip Temperature Sensor Function

Memory
- 8K Bytes On-Chip Flash/EE Program Memory
- 640 Bytes On-Chip Flash/EE Data Memory
- 256 Bytes On-Chip Data RAM
- 16M Bytes External Data Address Space
- 64K Bytes External Program Address Space

8051 Compatible Core
- 12 MHz Nominal Operation (16 MHz Max)
- 3 16-Bit Timer/Counters
- High Current Drive Capability—Port 3
- 9 Interrupt Sources, 2 Priority Levels

Power
- Specified for 3 V and 5 V Operation
- Normal, Idle, and Power-Down Modes

On-Chip Peripherals
- UART and SPI® Serial I/O
- 2-Wire (400 kHz I²C® Compatible) Serial I/O
- Watchdog Timer

Power Supply Monitor

APPLICATIONS

Intelligent Sensors Calibration and Conditioning
Battery-Powered Systems (Portable PCs, Instruments, Monitors)
Transient Capture Systems
DAS and Communications Systems
Control Loop Monitors (Optical Networks/Base Stations)

GENERAL DESCRIPTION

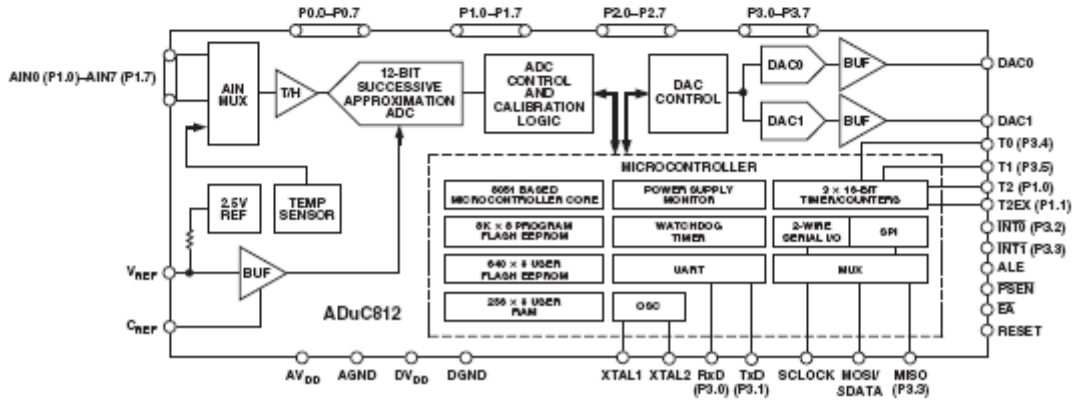
The ADuC812 is a fully integrated 12-bit data acquisition system incorporating a high performance self-calibrating multichannel ADC, dual DAC, and programmable 8-bit MCU (8051 instruction set compatible) on a single chip.

The programmable 8051 compatible core is supported by 8K bytes Flash/EE program memory, 640 bytes Flash/EE data memory, and 256 bytes data SRAM on-chip.

Additional MCU support functions include Watchdog Timer, Power Supply Monitor, and ADC DMA functions. Thirty-two programmable I/O lines, I²C compatible SPI and Standard UART Serial Port I/O are provided for multiprocessor interfaces and I/O expansion.

Normal, idle, and power-down operating modes for both the MCU core and analog converters allow flexible power management schemes suited to low power applications. The part is specified for 3 V and 5 V operation over the industrial temperature range and is available in a 52-lead, plastic quad flatpack package, and in a 56-lead, chip scale package.

FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM



REV. E

EK 5 NI-8451 Datasheet

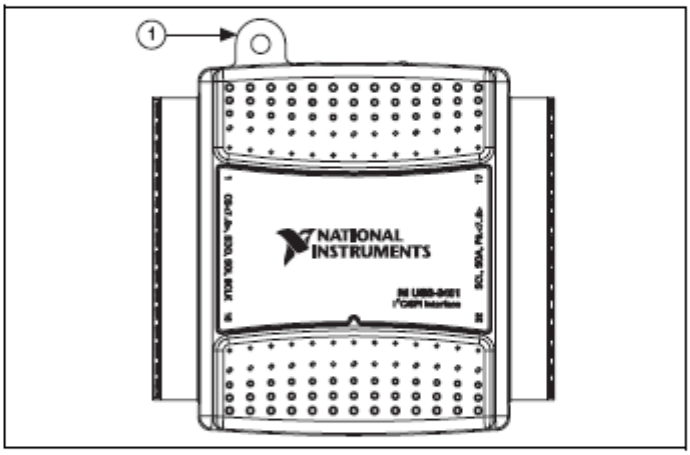
USER GUIDE AND SPECIFICATIONS

USB-8451

This user guide describes how to use the National Instruments USB-8451 I^2C and SPI device and lists the device specifications.

Introduction

The NI USB-8451 is a full-speed USB device that provides I^2C and SPI communication interfaces with eight SPI chip selects and eight general-purpose DIO lines.



1 USB Cable Strain Relief

Figure 1. USB-8451 Top View

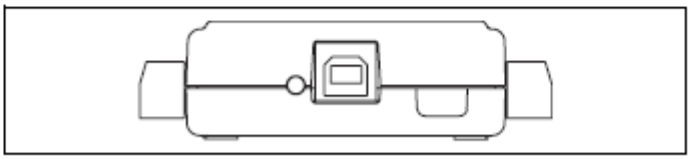


Figure 2. USB-8451 Back View

NATIONAL INSTRUMENTS

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	15.11.1983	
Doğum yeri	Üsküdar	
Lise	1994-2001	Kartal Köy Hizmetleri Anadolu Lisesi
Lisans	2001-2006	Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik Elektronik Fakültesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2006-2009	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Müh. Anabilim Dalı Elektronik Programı
Çalıştığı kurum(lar)		
	2006-2009	Nortel Netaş