

|| 讲透理论、分析重点
|| 详解应用实例、易学实用

CAN总线

设计及分布式控制



张培仁 编著

·理论与实践相结合

·硬件与软件相结合

·底层与上层软件相结合

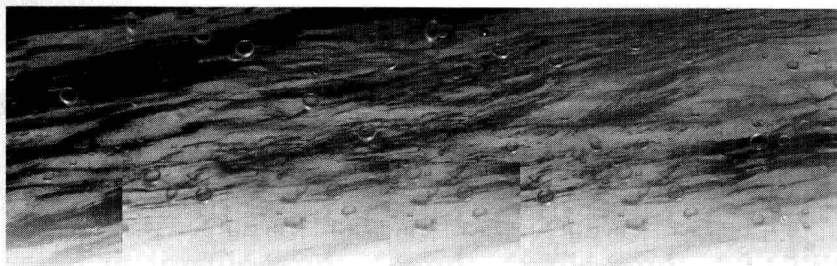
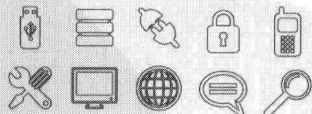
·控制与算法相结合



清华大学出版社

CAN总线

设计及分布式控制



张培仁 编著

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

现场总线能同时满足过程控制和制造业自动化的需求,因而 CAN 总线在国内现场总线中的占有率达近七成。本书以理论结合实践、硬软件相结合的方式,遵循感性到理性再到感性认识的规律,使读者能知其然也知其所以然,通过经验证使用的各成熟示例讲述 CAN 总线的设计及分布式控制技术。

本书内容包括:大中型分布式控制网络系统的发展、CAN 总线技术规范、带有 CAN 总线控制器的 MCU、CAN 总线控制器和通信设计、远程通信网络搭建及实验设计、CAN 总线主节点和底层模块设计、分布式控制系统设计和控制算法、CAN 总线中继器及网关设计、大型 CAN 总线控制系统实例、CAN 总线控制系统的上层软件功能模块等。

本书可作为计算机、自动控制、电子工程、机械工程等专业的研究生及本科生教材,也可作为相关专业技术人员的参考书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

CAN 总线设计及分布式控制 / 张培仁编著. -- 北京:清华大学出版社, 2012.1

ISBN 978-7-302-27542-8

I. ①C… II. ①张… III. ①总线—设计②总线控制: 分布控制 IV. ①TP336

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 261915 号

责任编辑:张楠

责任校对:闫秀华

责任印制:杨艳

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京艺辉印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:190×260 印 张:22.75 字 数:583 千字

版 次:2012 年 1 月第 1 版 印 次:2012 年 1 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:45.00 元

前 言

现场总线的应用已成为工业控制总线的热点。现场总线能同时满足过程控制和制造业自动化的需求，因而这一技术已成为工业数据总线领域的重要内容，将是 21 世纪自控系统主要研究和应用的方向之一，特别是在大中型控制系统中更是如此。

CAN 现场总线有报文自动过滤重发、极低的误码率和高通信速率等特点。在各种低成本、高抗干扰的多机远程监控系统中得到了广泛应用。正是由于它的卓越性能和相对较低的成本使它在各种现场总线控制系统竞争中占有重要地位。

大型远程 CAN 总线控制网络设计涉及到计算机硬件、软件、模拟电路、通信技术、传感器技术等多个学科，所以需要设计者具有多方面的专业知识。本书是硬软件相结合、底层软件与上层软件相结合、控制与算法相结合，并且分析在不同系统中如何使两者平衡协调。

中国科学技术大学嵌入式系统与控制网络实验室，从事嵌入式系统教学与科研已有 30 多年的时间，从事现场总线控制系统的研究也有 15 年的时间。本实验室的老师、工程师和研究生，在已有的教材基础之上重新编写此书。在编写过程中，做了大量的修改和增删，并把 15 年来的科研成果汇入本书，因此本书应是本实验室近年来科研教学的总结，也可以作为相关课程的教材，提供给读者借鉴与参考。

在长期的计算机、电子工程及自动控制技术的教学过程中，经常遇到学生在学习过程中出现“一看就懂、一放就忘、一用就错”的问题，因此本书以讲透理论、分析重点、举出实例、易学易用为原则，尽可能使读者知其然，也知其所以然。读者只有深刻理解 CAN 现场总线的产生环境和发展背景，设计多主竞争、仲裁和同步等原理，为实现原理而执行的操作，以及各种芯片、电路、系统设计者的思路和设计方法，才能更好的运用 CAN 现场总线系统及 RS-485、RS-422 分布式控制系统，也只有这样才能较好地完成大型远程监控系统程序、算法和硬件的设计。

本书分别以带有 CAN 总线接口的 MCU 芯片和外部 CAN 控制器为例设计 CAN 控制系统。C8051F 系列已是目前 8 位机中功能最齐全、性能最优的一种，它具有大量 SOC 片上系统，并且具有完整模拟和数字信号的混合系统，因此本书以它为主，兼顾其他 MCU 芯片。

本书是本实验室几个科研项目的总结，由张培仁教授总结审定，参加本书编写工作的还有许波、张恩亮、蒋渊、王津津、杜洪亮、王亮、颜进军、凌来根、崔军辉、赵松、潘可、杨一敏、张韶全、娄亮、段雄、高飞、史久根、黄捷等。

由于时间紧迫，作者水平有限，书中难免存在不足和错误之处，敬请读者批评指正。

编者

2011 年 12 月

目 录

第 1 章 大中型分布式控制网络系统的发展	1
1.1 控制网络的发展简史	1
1.2 控制系统的发展	2
1.3 现场总线的定义和技术特点	2
1.4 几种有影响的现场总线	3
1.4.1 CAN 总线	4
1.4.2 PROFIBUS 总线	4
1.4.3 LON 总线	4
1.4.4 基金会现场总线	5
1.4.5 RS-485、RS-422 和 RS-232 总线	5
1.5 CAN 总线与其他总线性能的比较	6
1.5.1 CAN 总线与 DCS、PLC 控制系统比较	6
1.5.2 CAN 总线与 RS-485 总线比较	7
1.5.3 专用和通用 CAN 总线系统性能比较	7
1.6 CAN 总线的发展前景和应用实例简介	8
1.6.1 拉西瓦水电站高边坡监控系统设计	8
1.6.2 辊道陶瓷窑应用实例	12
1.6.3 CAN 总线在汽车电子中的应用	14
第 2 章 CAN 总线技术规范	17
2.1 控制系统的发展和技术特点	17
2.2 CAN 总线的相关概念	18
2.3 CAN 总线的特性	20
2.4 CAN 总线的分层结构	21
2.5 CAN 总线的报文传输	22
2.6 CAN 总线的位数值表示	25
2.7 CAN 总线的传输距离与位速率	26

2.8	多节点接收	26
2.9	数据安全性	27
2.10	非破坏性的基于优先权的总线仲裁	28
第 3 章	带有 CAN 总线控制器的 MCU	30
3.1	CIP-51 模块特性	30
3.2	CIP-51 微控制器	33
3.2.1	存储器组织	34
3.2.2	特殊功能寄存器	35
3.2.3	FLASH 存储器	36
3.2.4	外部数据存储器 and 片内 XRAM	38
3.3	时序	41
3.4	时钟系统	43
3.4.1	时序与时钟	43
3.4.2	设计和使用时钟时应考虑的诸多问题	44
3.4.3	时钟控制寄存器	44
3.4.4	振荡器举例	45
3.5	复位电路	46
3.5.1	复位原理	46
3.5.2	复位源	47
3.6	中断系统	49
3.7	电源管理	51
3.8	JTAG 原理	52
3.9	在线实时自编程的原理和实现方案	53
第 4 章	CAN 总线控制器和通信设计	57
4.1	CAN 控制器的组成和工作模式	58
4.1.1	CAN 控制器的功能概述	58
4.1.2	C8051F 的控制器局域网	58
4.1.3	CAN 控制器的工作模式	59
4.2	CAN 特殊功能寄存器的分类	63
4.2.1	CAN 控制器协议寄存器	63
4.2.2	消息对象接口寄存器	63

4.2.3	消息处理器寄存器	63
4.2.4	CIP-51 MCU 特殊功能寄存器	64
4.3	CAN 特殊功能寄存器的详细功能说明	65
4.3.1	CAN 控制寄存器 (索引号: 0x00)	65
4.3.2	状态寄存器 (索引号: 0x01)	66
4.3.3	错误寄存器 (索引号: 0x02)	68
4.3.4	位定时寄存器 (索引号: 0x03)	68
4.3.5	测试寄存器 (索引号: 0x05)	68
4.3.6	BRP 扩展寄存器 (索引号: 0x06)	69
4.3.7	消息接口寄存器组	69
4.3.8	消息处理寄存器	74
4.4	CAN 总线在通信方面的应用	77
4.5	传输对象的配置	80
4.6	更新传输对象	80
4.7	接收对象的配置	81
4.8	接收消息的处理	81
4.9	先入先出 FIFO 缓冲器的设置	82
4.10	利用 FIFO 缓存的消息接收	82
4.11	中断的控制	83
4.12	位时序的配置	83
4.12.1	位时和位率	83
4.12.2	位时序参数的计算	84
4.12.3	位时序实例	85
4.13	CAN 通信程序软件设计	87
4.13.1	系统初始化和交叉开关引脚分配	87
4.13.2	CAN 初始化和位定时设置	90
4.13.3	系统 CAN 初始化程序	92
4.13.4	与 CAN 有关的其他程序	92
4.14	CAN 综合实例	95
第 5 章	远程通信网络搭建及实验设计	107
5.1	远程有线通信网络中等效电路的分析和通信测试平台的设计	107
5.1.1	多机测试平台的组建	107

5.1.2	上位机通信软件的设计	108
5.1.3	传输线的概述	109
5.1.4	传输线的物理模型和电路方程	110
5.2	调试实验及结果分析	111
5.2.1	单节点全速发送报文性能分析	112
5.2.2	多节点远程通信结果分析	113
5.2.3	多主通信方式的原理分析及实验结果	115
5.3	CAN 总线远程控制网络的性能总结	118
第 6 章	CAN 总线主节点和底层模块设计	120
6.1	CAN 总线主节点的设计及分析	120
6.1.1	USB 的功能和设计	120
6.1.2	硬件的电路设计	123
6.1.3	CAN 总线收发器 SN65HVD251	125
6.1.4	双通道数字隔离器 ADuM1201 芯片	125
6.1.5	CP2101 的特性和工作原理	126
6.1.6	主节点的其他电路	128
6.2	底层通信测量节点的设计及分析	128
6.2.1	底层节点的功能	128
6.2.2	A/D 转换模块设计	129
6.2.3	恒流源和放大器	131
6.2.4	继电器的选通	133
6.2.5	底层节点的系统软件设计	137
6.3	独立 CAN 总线控制器的智能节点设计及分析	144
6.3.1	独立 CAN 总线控制器 (SJA1000)	144
6.3.2	智能测控节点	146
6.3.3	C8051F350 微控制器	147
6.3.4	MCP2515	148
6.3.5	配置寄存器	151
6.3.6	C8051F350 和串 MCP2515 CAN 控制器芯片通信的流程	152
6.3.7	SN65HVD230 型 CAN 总线收发器	154
6.3.8	串行实时时钟芯片 S-3530A	155

第 7 章 分布式控制系统设计和控制算法	157
7.1 陶瓷窑控制系统的现状和发展目标	157
7.1.1 陶瓷窑控制系统的现状	157
7.1.2 陶瓷窑控制系统的控制方法	159
7.2 陶瓷窑现场总线专用成套控制系统	160
7.2.1 对数据传输实时性问题的研究	161
7.2.2 陶瓷窑单元模块的设计	165
7.3 陶瓷窑的控制算法设计	165
7.3.1 陶瓷窑智能温度控制单元	165
7.3.2 窑内氧含量控制单元	167
7.3.3 窑内压力控制单元	169
7.4 提高陶瓷产品质量的控制、优化与专家系统	170
第 8 章 CAN 总线中继器及网关设计	173
8.1 中继器的产生背景	173
8.2 CAN 总线中继器的设计	174
8.3 单个 MCU 的 CAN 中继器硬件设计要求	177
8.3.1 单个 MCU 中继器硬件的电路原理	177
8.3.2 单个 MCU 中继器程序的总体设计	178
8.3.3 中继器的调试与结果分析	186
8.3.4 部分源程序	188
8.4 双 MCU 的 CAN 总线中继器的硬件设计	203
8.4.1 CAN 总线中继器的外围芯片介绍	203
8.4.2 CAN 总线中继器的传输模块	204
8.4.3 双 MCU 间的 SPI 连线设计	205
8.5 双 MCU 的 CAN 总线中继器软件	206
8.5.1 CAN 总线中继器所在系统介绍	206
8.5.2 通信协议	207
8.5.3 中继器的源程序	208
8.6 CAN-LIN 网关的设计与实现	216
8.6.1 CAN-LIN 网关的硬件设计	216
8.6.2 CAN-LIN 网关的电路设计	221
8.6.3 CAN-LIN 网关的软件设计	223

8.7	工业以太网控制技术及其与 CAN 总线的连接.....	227
8.7.1	工业以太网控制技术	227
8.7.2	CAN 总线与工业以太网的连接.....	229
第 9 章	大型 CAN 总线控制系统实例.....	232
9.1	拉西瓦水坝高边坡 CAN 总线控制系统.....	232
9.1.1	自动化监测系统的监测内容	232
9.1.2	自动化监测系统的特点	232
9.1.3	自动化监控系统的设计原则	233
9.1.4	自动化监控系统的网络结构及功能	233
9.1.5	自动化监测系统的软件管理性能	236
9.1.6	仪器编号设想.....	237
9.1.7	拉西瓦右岸边坡远程监控系统的体系结构	239
9.1.8	其他技术问题设计	241
9.2	LAMOST 小焦面控制系统.....	248
9.2.1	采用 CAN 总线的有线驱动方式的小焦面系统.....	249
9.2.2	采用 CAN 总线的无线驱动方式的小焦面系统.....	257
第 10 章	CAN 总线控制系统的上层软件功能模块.....	260
10.1	数据库的管理特点	260
10.2	数据库的结构设计	261
10.3	软件的功能结构框图设计	262
10.4	利用 Visual C++ 开发语言对数据库进行开发.....	265
10.4.1	Visual C++ 开发数据库的优势.....	265
10.4.2	Visual C++ 提供的数据库访问技术.....	265
10.5	ADO 技术介绍.....	266
10.5.1	ADO 历史回顾.....	266
10.5.2	ADO 特点概述.....	266
10.5.3	ADO 数据模型.....	267
10.5.4	ADO 中的常用对象.....	268
10.6	ADO 技术访问数据库在 Visual C++ 中的具体实现.....	272
10.6.1	函数封装.....	272
10.6.2	ADO 的使用.....	273

10.7	输出数据库报表	274
10.8	上层软件的功能实现	276
10.9	人机交互的整体设计	277
10.9.1	用户管理设计	279
10.9.2	出线图管理设计	281
10.10	串口管理设计	287
附录 A	拉西瓦水坝边坡信息管理系统的安装与配置	288
A.1	软件介绍	288
A.2	操作结果提示	310
A.3	上层管理软件开发文档	312
A.4	Frame-Doc-View 框架说明	315
A.5	对话框说明	322
A.6	报表说明	340
A.7	绘图说明	343
附录 B	C8051F040 片内特殊寄存器 SFR	345
	主要参考文献	351

第 1 章 大中型分布式控制网络系统的发展

1.1 控制网络的发展简史

随着计算机技术的出现和发展,控制系统已从传统的模拟控制系统发展到计算机数字控制系统。而随着网络技术地不断发展以及微控制器芯片技术的进步,控制系统又从集中式控制逐渐向分布式控制发展,并将网络引入到控制系统中,组成网络控制系统,实现控制系统的全数字化、网络化。例如在我国,建设的大中型控制系统有青海拉西瓦水电站右岸高边坡安全监测项目,拉西瓦水电站工程为 I 等大型工程,枢纽安全监测的测点、仪器设备、测站多,因此,有助于快速、准确地了解、掌握右岸高边坡变形的特性。又例如自动化流水线车间和工厂整体控制、城市火灾报警系统、城市自来水供给系统、小区供暖系统等都会应用到控制系统。大中型控制系统对系统设计又提出如下要求。

- 系统控制区域大、环境复杂,人工测量困难或工作量大,特别是在气候恶劣和夜间监测的控制难度特别大,因此要求系统必须具有网络功能。
- 系统中要监测和控制的仪器节点多,仪器类型多,接口复杂。接口必须要标准化,并可以即插即用,同时要有大型数据库支撑系统。软件必须具有自检自校系统。大中型控制设备和系统必须使用多种先进的复杂分布式控制方法并开发相应的先进控制软件。这样系统的控制算法将是多变量强耦合的复杂控制算法。例如既要保证系统生产产品多、质量好,又要节能;控制大坝水位尽可能高、势能大,又要大坝安全;小区供热系统既要保证整个小区内供暖均衡都达到国家标准,又要尽可能节能,并且保证小区内不同用户有一定灵活性的要求。这种分布复杂控制算法不同于以往的集中控制算法,对通信速率和通信的长期稳定性都有较高要求。
- 监测和系统控制及维修人员众多,系统必须有分级权限,并利用操作记录保存系统。所有的数据操作记录自动进入大型数据库,用于适当管理和保存。
- 系统能保证监测数据的可靠性和完整性。如果数据不完整可靠,数据处理分析就会成为无本之木、无源之水。对大中型工程的理论分析都要建立在多年大量可靠的数据积累之上,而后进行分析、处理、验证设计。为日后的设计施工提供可靠的理论基础数据,因此保证数据不缺失、数据可靠可信是非常重要的。
- 大中型工程一般要使用几十年甚至几百年,例如水坝,在运行期间,很可能会遇到天灾(地震、水灾)和战争等的影响,此时就需要对系统进行分析、判断、处理及重新设计。精确可靠的数据、长期设备系统的稳定性及可靠性也是十分重要的。

1.2 控制系统的发展

控制系统的结构从最初的计算机集中控制系统 (Centralized Control System, CCS), 发展到第二代的集散控制系统 (Distributed Control System, DCS)。以计算机为核心的控制系统结构经历了“集中”、“分散”和“集散”几个变化。伴随着较流行的现场总线控制系统 (Field bus Control System, FCS) 的出现, 控制系统朝着网络化方向发展。控制系统经历了从简单到复杂、从低级到高级的发展过程, 在很大程度上提升了自动化控制水平。

随着 Internet 技术的发展和不断壮大, Internet 正在把世界范围内的办公系统和通信系统连接组合起来, 这使得底层信息的远程访问和控制成为可能。而现场总线也正在把底层控制网络 Infranet 集成起来, 为远程控制底层信息提供了基础。这样人们就可以通过 Internet 和 Infranet 的集成, 实现远程监控。现场总线控制系统作为底层控制的网络, 是自动监控和仪器仪表领域研究的热点, 到目前为止国际上还没有统一的现场总线标准, 现阶段的世界格局是多种总线并存。

1.3 现场总线的定义和技术特点

1. 现场总线的定义

国际电工委员会 IEC 1158 的定义是: 安装在制造或过程领域的现场装置与控制室内自动控制装置之间的数字式、串行、多点通信的数据总线称为现场总线。现场总线已经不单单是一种通信现场总线的定义。现场总线是安装在生产过程区域的现场设备/仪表与控制室内的自动控制装置/系统之间的一种串行数字式多点双向通信的数据总线, 其中“生产过程”包括断续生产过程和连续生产过程两类; 或者现场总线是以单个分散的数字化、智能化的测量和控制设备作为网络节点, 利用总线相连接实现互相交换信息, 共同完成自动控制功能的网络系统与控制系统。

现场总线技术产生的意义如下。

- 现场总线 (Fieldbus) 技术是实现现场级控制设备数字化通信的一种工业现场层网络通信技术; 是一次工业现场级设备通信的数字化革命。现场总线技术可使用一条通信电缆将现场设备 (智能化、带有通信接口) 连接, 用数字化通信代替 4-20mA/24VDC 信号, 完成现场设备控制、监测、远程参数化等功能。
- 基于现场总线的自动化监控系统采用计算机数字化通信技术, 使自控系统与设备加入工厂信息网络, 构成企业信息网络底层, 使企业信息沟通的覆盖范围一直延伸到生产现场。同时使传感器信号数字化, 最大化地避免微弱模拟信号因远程传递而受到环境干扰。现场总线是工厂计算机网络到现场级设备的延伸, 是支撑现场级与车间级信息集成的技术基础。
- 现场总线是公开、开放的系统, 具有统一格式, 各个公司可以互联、互接。这对于大中型复杂控制系统而言很有意义。现场总线技术, 也不仅仅是数字仪表代替模拟仪表, 关键是实现现场通信网络、计算机技术与控制系统的集成。以现场总线为基础的全数字控制系统称为现场总线控制系统 (Fieldbus Control System)。

2. 现场总线的技术特点

(1) 系统的开放性

开放是指对于相关标准的一致性、公开性,强调对标准的共识与遵从。一个开放系统,是指它可以与世界上任何地方遵守相同标准的其他设备或系统连接。通信协议一致公开,不同厂家的设备之间可实现信息交换。用户可按自己的需要和考虑,使用不同供应商的产品组成大小随意的系统,通过现场总线构建自动化领域的开放互连系统。现场总线开发者就是要致力于建立统一的工厂底层网络的开放系统。

(2) 互可操作性与互用性

互可操作性是指实现互连的设备之间、系统之间信息的传送和沟通。互用性则意味着不同生产厂家性能类似的设备可实现互相替换。

(3) 现场设备的智能化与功能自治性

现场设备的智能化与功能自治性是指将补偿计算、传感测量、工程数据处理与控制等功能分散到现场设备中完成,只需要靠现场设备即可完成自动控制的基本功能,并随时诊断设备的运行状态。

(4) 系统结构的高度分散性

现场总线构成一种新的具有全分散性的控制系统的体系结构,从根本上改变了现有集中与分散相结合的集散控制系统DCS,简化了系统结构,从而提高了可靠性。

(5) 对现场环境的适应性

作为生产现场前端的工厂网络底层的现场总线,是专门为现场环境而设计的,可支持电力线、双绞线、同轴电缆、光缆、射频、红外线等,具有较强的抗干扰能力,能采用两线制实现供电与通信,基本上可满足本质安全防爆等要求。

1.4 几种有影响的现场总线

自现场总线出现以来,有几种现场技术已逐渐形成其影响,并在一些特定的领域显示了自己的优势。

从世界范围来看,现场总线技术已经进入了一个蓬勃发展的时期,在当前工业控制领域多种控制网络、多种总线技术共存的局面下,广泛应用的现场总线技术就有十多种,加上已经发展成熟、应用广泛的其他工业总线(如RS-485/422、RS-232、SPI、IEEE 1394、I²C总线)等,它们各具特色,大量应用在各种不同的领域,显示了较强的生命力,因此在现场总线标准统一与完善之前,在实际的控制系统应用中,应对领域内各种常用的控制总线进行分析与比较,并合理的选择和综合应用。由于国际上主要的100多个自动控制公司各自的商业利益和发展历史不尽相同,完全统一现场总线标准很难在短期内达成协议,今后仍会延续各种总线并存的状况。

以下将对工业控制领域常见的几种总线，给出简要的介绍和比较。

1.4.1 CAN 总线

CAN 是控制器局域网 (Controller Area Network) 的简称，最早由德国 Bosch 公司推出，用于汽车内部测量与执行部件之间的数据通信。其总线规范现已被 ISO 国际标准组织定为国际标准。由于得到了摩托罗拉、英特尔、飞利浦、西门子、NEC 等公司的支持，广泛应用于离散控制系统。

在国内，主要应用的三种现场总线所占的市场份额分别为：CAN 总线超过 60%，LON 总线约 30%，基金会现场总线 (FF) 接近 10%。RS-422、RS-485 总线也有广泛应用。

CAN 总线突出表现在其结构简单、稳定性能高、抗干扰能力强、扩展性和开放性好，以及成本低廉等方面。目前正在向实现较为复杂的高级应用的方向发展。对 CAN 总线更深入地了解请参见第 2 章。

1.4.2 PROFIBUS 总线

PROFIBUS 是德国国家标准 DIN9245 和欧洲标准 EN50170 的现场总线标准。由 PROFIBUS-DP、PROFIBUS-FMS、PROFIBUS-PA 组成了 PROFIBUS 系列：DP 型用于分散外设间的高速数据传输，适合于加工自动化领域的应用；FMS 意为现场信息规范，适用于纺织、楼宇自动化、可编程控制器、低压开关等；而 PA 型则是使用于过程自动化的总线类型，它遵从 IEC1158-2 标准。该项技术是由以西门子公司为主的 13 家德国工业企业和 5 家科研机构联合制订的标准化规范，采用了 OSI 模型的物理层、数据链路层、用户应用层。总线传输速率为 9.6Kbps~12Mbps，最大传输距离在 12Mbps 时为 100m，在 1.5Mbps 时为 400m，可用中继器延长至 10km。其介质可以是双绞线或光缆。最多可挂接 127 个节点。可实现总线供电与本质安全防爆。

1.4.3 LON 总线

LonWorks 技术由美国 Echelon 公司开发研制，并由 Echelon 与摩托罗拉、东芝公司共同倡导，于 1990 年正式公布。它采用 ISO/OSI 模型的全部七层通信协议，采取了面向对象的设计方法，通过网络变量把网络通信设计简化为参数设置；通信速率从 300bps~1.5Mbps 不等，直接通信距离可达 2700m (78Kbps，双绞线)；支持双绞线、同轴电缆、光缆、射频、红外、电力线等多种通信介质，并开发了相应的本质安全防爆产品，被誉为“通用控制网络”。

LonWorks 技术所采用的 LonTalk 协议被封装在称为 Neuron 的神经元芯片中而得以实现。Neuron 芯片中有 3 个 8 位 CPU，其中第 1 个用于完成开放互连模型中的第 1 层、第 2 层，即物理层、数据链路层的功能，称作媒体访问控制处理器，实现介质访问的控制与处理；第 2 个 CPU 用于完成第 3~6 层功能，称作网络处理器，进行网络变量的寻址、处理、背景诊断、路径选择、软件计时、网络管理，并负责网络通信控制、收发数据包等；第 3 个 CPU 用于执行操作系统服务和用户代码，称为应用处理器。此外，芯片中还具有存储信息缓冲区，用以实现各 CPU 之间的信息传递，并作为网络缓冲区和应用缓冲区。

Echelon 公司的技术策略是鼓励各 OEM 开发商运用 LonWorks 技术和 Neuron 神经元芯片，来

开发自己的应用产品。据称目前已经有 2600 多家公司在不同程度上应用了 LonWorks 技术, 1000 多家公司已经推出了 LonWorks 产品, 并进一步组织起 LonMARK 互操作协会, 开发推广 LonWorks 技术与产品。LON 总线已经被广泛应用于楼宇自动化、家庭自动化、保安系统、办公设备、交通运输、工业过程控制等行业。另外, 在开发智能通信接口、智能传感器方面, Neuron 神经元芯片也有其独特的优势。

LonWorks 技术的优点, 主要在于协议高度集成、支持多种串行传输介质、提供完整的硬件和软件开发平台, 使得 LON 总线的应用开发非常便捷; 缺点则是结构复杂、价格较为昂贵, 不适用于注重成本和简单实用的工业控制领域, 并且开发者只能按照系统提供的开发模块进行开发, 在一定程度上限制了 LON 总线的应用。

1.4.4 基金会现场总线

除了 CAN 总线和 LON 总线以外, 基金会现场总线 (Foundation Fieldbus, FF) 也是实际应用较为广泛的一种现场总线技术。它在过程自动化领域得到了广泛支持, 具有良好的发展前景。其前身是以美国 Fisher-Rosemount 公司为首, 联合 Foxboro、横河、ABB 等 80 多家公司制订的 ISP 协议, 和以 Honeywell 公司为首, 联合欧洲等地的 150 多家公司制订的 World FIP 协议。这两大集团于 1994 年 9 月合并, 成立了现场总线基金会, 致力于开发出国际上统一的现场总线协议。

FF 总线以 ISO/OSI 开放系统互连模型为基础, 取其物理层、数据链路层、应用层为 FF 通信模型的相应层次, 并在应用层上增加了用户层。用户层主要针对自动化测控应用的需要, 定义了信息存取的统一规则, 采用设备描述语言规定了通用的功能块集。由于这些公司是该领域自控设备的主要供应商, 对工业底层网络的功能需求了解透彻, 也具备足以左右该领域自控设备发展方向的能力, 因此由他们组成的基金会所颁布的现场总线规范具有一定的权威性。

FF 总线分低速 H1 和高速 H2 两种通信速率。其中 H1 的传输速率为 31.25Kbps, 通信距离可达 1900m (可利用中继器延长), 支持总线供电、本质安全防爆环境。H2 的传输速率可为 1Mbps 和 2.5Mbps, 通信距离分别为 750m 和 500m, 物理传输介质支持双绞线、光缆和无线发射, 协议符合 IEC1158-2 标准, 物理媒介的传输信号采用曼彻斯特编码。

基金会现场总线的主要技术内容包括 FF 通信协议, 用于完成开放互连模型中第 2~7 层通信协议的通信栈 (Communication Stack), 描述设备特征参数属性以及操作接口的 DDL 设备描述语言、设备描述字典, 实现测量、控制、工程量转换等应用功能的功能块, 实现系统组态、调度、管理等功能的系统软件技术, 以及构筑集成自动化系统、网络系统的系统集成技术。

1.4.5 RS-485、RS-422 和 RS-232 总线

RS-232、RS-422 与 RS-485 都是串行数据接口标准, 最初都是由电子工业协会 (EIA) 制订并发布的, RS-232 在 1962 年发布, 命名为 EIA-232-E, 作为工业标准, 以保证不同厂家产品之间的兼容。

RS-422 由 RS-232 发展而来, 它是为弥补 RS-232 之不足而提出的。为改进 RS-232 通信距离短、速率低的缺点, RS-422 定义了一种平衡通信接口, 将传输速率提高到 10Mb/s, 传输距离延长到 1220M (即 400 英尺), 速率低于 100kb/s 时允许在一条平衡总线上连接最多 10 个接

收器。RS-422 是一种单机发送、多机接收的单向、平衡传输规范，被命名为 TIA/EIA-422-A 标准。

为扩展应用范围，EIA 又于 1983 年在 RS-422 的基础上制订了 RS-485 标准，增加了多点、双向通信能力，即允许多个发送器连接到同一条总线上，同时增加了发送器的驱动能力和冲突保护特性，扩展了总线共模范围，后被命名为 TIA/EIA-485-A 标准。由于 EIA 提出的建议标准都是以 RS 作为前缀，所以在通信工业领域，仍然习惯将上述标准以 RS 作前缀称谓。

RS-232、RS-422 与 RS-485 标准只对接口的电气特性做出规定，而不涉及接插件、电缆或协议，在此基础上用户可以建立自己的高层通信协议，因此在视频界的应用中，许多厂家都建立了一套高层通信协议，或公开或厂家独家使用。

1.5 CAN 总线与其他总线性能的比较

1.5.1 CAN 总线与 DCS、PLC 控制系统比较

CAN 总线是一种全数字化、全分散、全透明、标准化、规格化的总线，不同传感器和不同设备都可以与之相连接。改变了过去那种封闭的、集中式的、不灵活的控制体系，由于开放性导致网络中设备的增多，从而形成远比 PLC（可编程逻辑控制器）和分布式控制系统 DCS 功能更为强大的控制系统。CAN 总线控制系统与 DCS、PLC 系统性能比较如表 1.1 所示。

表 1.1 CAN 总线控制系统与 DCS、PLC 控制系统的比较

比较内容	CAN 总线	DCS 系统	PLC 系统
数字化	全数字化	半数字化	半数字化
开放性	全开放	封闭	半封闭
硬件分散型	全分散	集中和分散集合	集中
抗干扰	极强（误码率为 10^{-11} ）	较强（误码率为 10^{-7} ）	极强（误码率为 10^{-7} ）
通信协议硬化	全硬化	软件自定义	软件自定义
电缆	2 条	众多	众多
微信号损失	很小	较大	较大
校准方式	硬件 CRC	奇偶	奇偶
通信速率	1Mbps	100Kbps	—
有无控制器	无	有	无
通信距离	10km	1km	50m
软件分散程度	分散	集中	集中
与以太网接口	容易	较容易	较容易
总线方式	多主，主从	主从	集中
接收和发送缓冲区的大小	136×32 位	2×8 位	2×8 位
系统中增加模块的方式	即插即用	上位机指定	上位机指定