

CAN总线技术 与嵌入式应用研究

CAN ZONGXIAN JISHU
YU QIANRUSHI YINGYONG YANJIU

陈海红 著

内蒙古出版集团
内蒙古科学技术出版社

CAN 总线技术与嵌入式应用研究

陈海红 著

内蒙古出版集团
内蒙古科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

CAN总线技术与嵌入式应用研究 / 陈海红著. — 赤峰 : 内蒙古科学技术出版社, 2015. 12

ISBN 978-7-5380-2643-6

I. ①C… II. ①陈… III. ①总线—技术—研究
IV. ①TP336

中国版本图书馆CIP数据核字 (2015) 第304185号

出版发行: 内蒙古出版集团 内蒙古科学技术出版社

地 址: 赤峰市红山区哈达街南一段4号

邮 编: 024000

电 话: (0476) 8225264 8224848

邮购电话: (0476) 8224547

网 址: www.nm-kj.com

责任编辑: 许占武

封面设计: 永 胜

印 刷: 赤峰金源彩色印刷有限责任公司

字 数: 202千

开 本: 700 × 1010 1/16

印 张: 10.375

版 次: 2015年12月第1版

印 次: 2015年12月第1次印刷

定 价: 58.00元

前 言

控制器局域网(controller area network 简称CAN)总线技术属于现场总线(FieldBus)的范畴,最早被用于飞机、坦克等武器电子系统的通讯联络上。将这种技术用于民用汽车最早起源于欧洲,它是一种能有效支持分布式控制和实时控制的串行通讯网络。在北美和西欧,CAN总线协议已经成为汽车计算机控制系统和嵌入式工业控制局域网的标准总线。在我国,目前CAN-BUS技术重点应用在车身控制系统、楼宇监控和电梯的控制系统、机器人的分布式控制系统、舰船上的控制系统和医疗仪器主监控系统、轴承检测系统、矿井监控系统等等诸多领域,正处于起步阶段,呈现出一片欣欣向荣的景象。

近几年来,能源匮乏、全球变暖等环境问题日益突出,节能减排成为促进可持续发展的重要措施。而我国能源效率不高导致我国公共建筑存在巨大能源浪费。因此,节能减排迫在眉睫。本书将CAN技术应用到智能楼宇中,书中叙述了CAN总线技术的特点,并将其应用到暖气的智能化控制中,该实例贯穿始终,做到软件与硬件相结合,理论与实战相结合,避免了单独讲解CAN枯燥、难以理解的状态。

本书是作者多年研究结果的总结和项目设计经验的总结,能够为致力于嵌入式CAN总线通信技术的研发者提供实战化的软、硬件技术参考。书中的源程序都是使用Java开发,可以直接拿来参考运用,大大提高研发工程师的工作效率,减少不必要的重复劳动,缩短研发时间,因此也可以为致力于提高Java实战能力的程序设计者提供参考。

本书共分7章,主要内容如下:

第1章:绪论。本章简要叙述了现场总线技术的产生与特点,CAN的历史,CAN的特点和CAN的优势。

第2章:CAN协议。介绍CAN的分层结构,CAN的各种帧结构以及CAN的错误处理方法。

第3章:CAN智能器件分析。一个CAN器件包括微控制器、控制器、收发器。结合暖气节能智能化控制系统分别介绍了这几部分的内容及ARM微控制器的内容。

第4章:CAN智能节点的硬件设计。以暖气节能智能化控制系统为依托,介绍了

该系统的网络结构图,以及所需的各种硬件的特性。

第5章: CAN智能节点的软件设计。暖气节能智能化控制系统的软件使用Java技术实现,应用到了Java技术中的很多知识点,如: Java串口通讯技术、Swi技术、文件、数据库、线程技术等。介绍了为什么要使用以及如何使用该知识点,本章也可以作为以Java为主要学习方向学生的实习实训参考。

第6章: 数据库优化。数据库是第5章中使用的一个重要知识点。本章是对上一章所使用数据库的优化设计,是作者多年经验的总结,也可以作为数据库学习者的参考。

第7章: 未来发展。分析了我国目前的环境及建筑节能现状及相关的政策法规。低碳建筑是未来发展的必然趋势,基于CAN的建筑节能产品有很大的发展空间,并可以以此为基础设计更多的节能产品。除此之外,还可以将CAN技术应用在智慧农业、智能家居等多个领域中。

在此感谢赤峰学院及内蒙古自治区高等学校科学技术研究一般项目(课题编号: NJZY236)的支持和资助。感谢赤峰学院提供的科研和工作条件,以及院系领导和同事们的大力支持。

本书内容涉及多个学科方向,内容相对较大,由于作者的个人能力限制,书中难免有不足之处,敬请各位读者和专家批评指正。

作者

2015年6月

目录

第1章 绪 论	1
1.1 现场总线技术概述	1
1.1.1 现场总线的产生	1
1.1.2 现场总线的特点	3
1.1.3 现场总线的优势	5
1.1.4 工业控制网络和计算机网络	6
1.1.5 典型的现场总线技术	9
1.2 CAN总线简介	12
1.2.1 CAN总线的特点	13
1.2.2 CAN总线的优势	13
1.2.3 CAN的应用领域	16
1.2.4 CAN学习方法	17
1.3 嵌入式技术及发展	18
第2章 CAN协议	21
2.1 CAN模型	21
2.2 CAN报文	22
2.2.1 基本术语	22
2.2.2 帧结构	24
2.3 CAN总线的电气特性	27
2.4 CSMA/CD和逐位仲裁机制	27
2.5 通信同步	28
2.6 CAN总线错误处理	29
2.7 故障界定	30
2.8 CAN网络拓扑	31

第3章 CAN器件分析	34
3.1 微控制器	34
3.2 CAN控制器	35
3.3 CAN收发器	38
3.4 嵌入式ARM微控制器	39
3.5 LPC2109和CTM1050	41
第4章 CAN智能节点的硬件设计	47
4.1 系统结构图	48
4.2 硬件设计	50
4.2.1 K-7110	50
4.2.2 K-8510	52
4.2.3 K-8511	58
4.2.4 K-8518	60
4.2.5 K-8515	62
4.2.6 控制阀	65
4.2.7 温度传感器	65
第5章 CAN智能节点的软件设计	69
5.1 串口通信简介	69
5.1.1 java串口包	69
5.1.2 串口API	70
5.1.3 串口通信	71
5.2 界面设计	73
5.3 数据库	77
5.4 线程	90
5.5 文件操作	92
5.6 监控	93
5.6.1 热电偶采集	93
5.6.2 继电器输出	99
5.7 房间模式	102

第6章 系统优化	105
6.1 程序优化	105
6.1.1 时间和空间	105
6.1.2 程序的运行计时	106
6.1.3 运行效率改进策略	108
6.1.4 空间效率改进策略	114
6.1.5 Java程序的优化	116
6.2 数据库优化	124
6.2.1 调整代码	124
6.2.2 数据库安全	126
6.2.3 三层开发	131
6.2.4 事务	135
6.2.5 数据库连接的优化	139
第7章 未来发展	145
参考文献	151

第1章 绪 论

1.1 现场总线技术概述

1.1.1 现场总线的产生

随着计算机网络技术的发展,人们将计算机网络技术应用到了各行各业,控制系统中也应用了网络技术,控制仪表仍然完成自己的控制任务,但它与上位机之间的数据传输采用网络技术实现,这样的系统称为DCS (Distributed Control System),即分布式控制系统,又称为集散控制系统。它于20世纪70年代产生,经历了三个阶段的发展,组合了计算机技术(computer)、通信技术(Communication)、显示技术(CRT)和控制技术(control),即4C技术。广泛应用于各个工业控制领域,开辟了工业自动化控制领域的新纪元。

DCS的中心思想是集中管理、分散控制,使管理与控制相分离,上位机用于集中监视,并发布管理指令,多个下位机则分布到各个控制现场,形成分布式控制,其中上位机与各个下位机通过网络相连,传递信息。典型的DCS结构包括:管理站、监控站和控制站。管理站完成整个系统的管理功能。监控站主要完成监视、报警和记录各种数据的功能,根据具体情况,监控站应该配有显示器、键盘和各功能齐备的计算机硬件设备和功能强大的软件支撑,以便操作员监视DCS网络上各个节点的运行情况。控制站主要完成数据采集和执行控制命令的功能,一般由传感器、变送器和执行器等设备构成,控制站接收这些设备传来的信号,并通过基本控制单元按照控制策略计算出控制量送回执行器中。图1-1是DCS的典型结构。

但自DCS发展以来,各大厂商出于垄断经营的目的,独立设计各自标准、网络结构等内容,不同厂家的DCS系统及信息传输系统都是不同的,因此DCS系统实际是一个封闭式的、专用的、不能互操作的分布式控制系统,且造价很高,这非常不利于DCS的发展。历史发展遵循分久必合,合久必分。DCS的发展也遵循这个规律,用户希望使用开放的、价格低廉的自动控制系统。

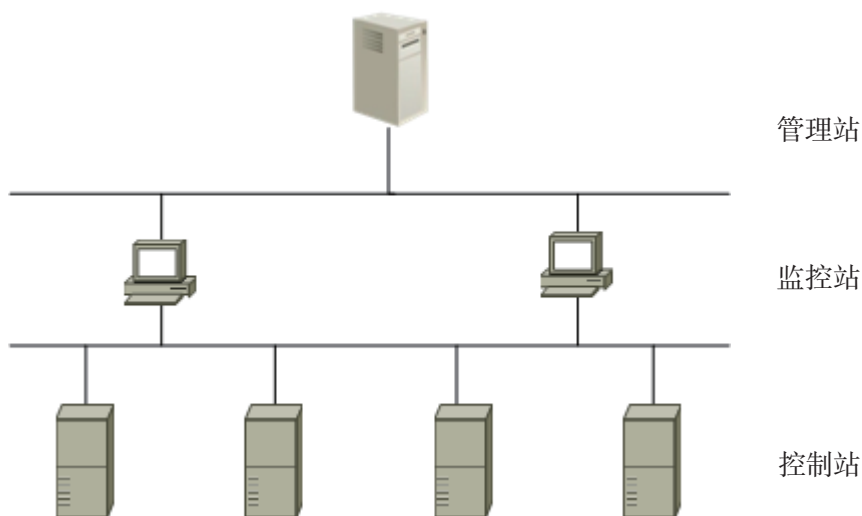


图 1-1 DCS 典型结构

随后几年,工业生产规模不断扩大,信息技术飞速发展,信息交互的领域不断扩大,逐步覆盖了车间、工厂、企业以及全球各地的市场。这种信息技术的变化,又引起了自动控制系统结构的变化,逐步形成了以网络为载体的自动化信息系统。同时,自动控制系统的复杂程度也越来越高,于是现场总线技术应运而生。

1984年,ISA/SP50 (Instrument Society of America/Standard and Practice 50) 美国仪表学会治下的标准与实施第50工作小组,开始起草制定现场总线的标准。

1986,德国开始制定Profibus (Process Field Bus),即过程现场总线标准,1990年,完成该标准的制定,这在德国的DIN19245中也有相关的论述。1994年,Profibus用户组织推出了Profibus-SA (Process Automation)自动化的基于过程控制的现场总线。

1992年,IEC (International Electrotechnical Commission) 国际电工委员会批准了第50工作小组的关于现场总线的物理层标准。

1992年,由Siemens、FoxPro、Rosemount、Fisher、Yokogawa、ABB等几大公司成立了ISP组织,以Profibus为基础开始制定现场总线标准。

1993年,由Honeywell、Bailey等公司牵头,成立了WorldFIP,约有120多个公司加盟,他们以法国标准FIP为基础制定现场总线的标准。

1994年,ISP和world FIP两大组织合并,并建立现场总线基金会FF (Fieldbus Foundation),总部设在美国的德克萨斯州。1996年,该组织颁布了低速总线H1标准,

H1低速总线开始步入实用阶段,但是FF现场总线仍未成为真正意义上的国际标准。

在此期间,各大公司互不相让,纷纷推出自己领域的现场总线技术,如德国的Bosch公司推出了CAN(控制器局域网)、美国的Fchelon公司推出了Lonworks技术等。据统计,世界上各种各样的现场总线就有100多种,其中最具影响力的有40多种,由此引发了现场总线的国际标准大战。

虽然从20世纪80年代开始国外机构就已经提出了现场总线的概念,但是一直进展缓慢,没有形成产业化的应用,也没用制定出国际化的标准。经过几年的努力,多方的妥协,终于在20世纪90年代末期正式通过了IEC61158国际标准,该标准包含了8种现场总线协议。除此之外,一些国际大公司仍然使用自己的标准,因此仍然存在很多的现场总线协议。直到2003年,IEC61158第3版经过了修订正式成为国际标准。现场总线控制系统FCS(Fieldbus Control System)正式取代了DCS系统。表1-1是DCS系统和FCS系统的区别。

表 1-1 集散控制系统和现场总线控制系统的比较

	集散控制系统	现场总线控制系统
结构	1:1,即一对传输线连接一台仪表,单向传送一个信号	1:n,只需要一对传输线既可连接多台仪表,又可以双向传送多个信号
可靠性	差:采用模拟信号传输,抗干扰能力差	强:采用数字信号传输,抗干扰能力强
可控性	差:若不在现场,管理人员无法得知设备的运行状况,也不能对设备进行参数的设置,更不能预测故障	强:管理人员在监控室就可以了解现场设备的运行状况,也可以对设备进行参数的设置,还可以预测故障
冗余	为了加强抗干扰和可靠性,采用了冗余结构	无冗余
成本	高:布线复杂,成本较高	低:布线简单,成本较低

1.1.2 现场总线的特点

现场总线技术的出现,标志着工业自动化控制领域的新篇章,它必然会对该领域的发展产生重大的影响,但一直以来,都没有形成一个统一的现场总线技术标准,因此也就出现了多个现场总线技术的定义。几个具有代表性的定义如下:

(1) IEC/ISA(International Electrotechnical Commission/Instrument Society of America)国际电工委员会:现场总线技术是指连接测量、控制仪表和设备,如传感器、执行器、控制设备的全数字化、串行、双向式的通信系统^[1-3]。

(2) SP50(Standard and Practice 50)美国仪表协会ISA下的标准与实施第50工

作小组：现场总线是一种串行的数字数据通信链路，它沟通了过程控制领域的基本控制设备之间以及更高层次自动控制领域的自动化控制设备之间的联系^[4]。

(3) 现场总线是被应用在生产现场的，用于连接各个控制设备的，能够实现双向数字通信的系统。属于多节点、开放式的底层控制网络。

FCS是工业自动控制领域中的一种计算机局域网，它以高度智能化的智能仪表和设备为基础，在现场实现彻底的分散，并以这些现场分散的测量点、控制设备作为网络节点，将这些网络节点以总线的形式连接起来，形成一个现场总线网络。FCS的实质是一个开放的、具有可互操作性的、全分布式控制系统。多数情况下，FCS由控制部分（主站）、测量部分（从站）、软件以及网络的连接及集成设备组成。FCS突破了DCS采用专用通信网络的局限，采用了基于公开化、标准化的解决方案，克服了封闭系统所造成的缺陷；同时把DCS的集中与分散相结合的集散控制系统变成了新型的全分布式结构。它具有体系结构开放、系统集成灵活方便、硬件智能化、传输数字化、控制计算高品质化的特点。

总之，现场总线技术相对于传统的控制系统有很多的优势，主要表现在以下几个方面：

(1) 开放性

所谓开放性，是指公开统一的标准。现场总线技术强调对标准的共识与遵从，任何厂商生产的设备，如果它遵循公认的标准，都可以互连互通，通讯协议一致公开，用户则可以按照自己的实际需求，把来自不同厂商的设备随意组合，组成任意的系统，极大地方便了用户，也有利于自动控制领域的发展。现场总线的开发者的最终目的就是建立一个统一的开放式系统。

(2) 交互性

这里的交互性可包含三方面的含义：一是指上层管理网络可与现场设备之间进行信息交互；二是指设备之间也可以进行信息交互；三是指如果某一设备坏了，可以用不同厂家生产的产品替换。

(3) 安全性

现场总线技术专门为工业生产现场使用，因此具有极强的抗干扰性、极高的可靠性。可以支持双绞线、同轴电缆、光缆、射频、红外线、电力线等传输介质，能采用二线制实现供电与信息传输。在某些条件下，还可以具有安全防爆的能力。

(4) 灵活性

传统控制系统采用一对一设备连接，使得系统的布线复杂，施工维护的成本较

高,可变性较差,而在现场总线技术中,使用了高度智能化的现场设备和通讯技术,在一条电缆上就能将所有的设备进行连接,即一对传输线,N台控制仪表(节点),施工简便,去掉或增加节点也很方便,如需增加节点时,只需并联到电缆上即可,无需单独添加新的电缆。

(5) 自治性

在现场总线技术中,现场设备可以完成对传感信号的测量、计算、信号量处理等功能,最终完成自动控制,还可以随时诊断设备运行状况。

(6) 分散性

在DCS(集散控制)系统中,集中与分散是相互结合的,但在现场总线控制系统中,是一种全新的完全分散性的控制体系结构,简化了系统的结构,提高了设备的可靠性。

(7) 可控性

管理员在监控室即可了解设备或仪表的当前运行状态是否正常,还可以对其进行参数调整,预测或预防事故发生。实际上,现场设备一直处于管理员的远程监视和控制之下,提高了系统的控制性、可靠性、可维护性。

(8) 互换性

由于现场总线设备遵循统一的标准,用户可以随意选择任意厂商生产的设备,当某一设备坏了或不能满足用户的需求时,用户可以根据需求选择不同的产品,而无需更改系统的任何设计,轻松替换。

(9) 统一性

所有厂商都使用相同的功能模块,采用统一的组态方法,因此,用户无需因为现场设备或者仪表的不同而更换不同的组态方法。

但现场总线技术在网络通信中数据包的传输存在延迟,整个通信系统存在瞬时错误和数据包的丢失情况,发送和到达的顺序不一致,这些都会破坏传统控制系统本身具有的确定性,使得整个系统的分析和控制变得更加复杂,使得控制系统的性能受到一些负面的影响。

1.1.3 现场总线的优势

由于现场总线的特点,使其在设计、安装等方面都有极大的优势。

(1) 硬件数量减少

连接在现场总线终端的智能设备可以自己进行计算、报警、通信等功能,因此,节

约了整个系统的计算单元、转换单元、传送单元等,大大减少了系统中硬件的数量。

(2) 安装费用降低

现场总线系统在安装的时候,只需要一条双绞线或电力线即可,其他的设备都是挂接在该双绞线上,节省了很多的桥架、槽盒等设备,且增加和删除节点也非常容易,只需要就近挂接到双绞线上或直接摘除即可。安装校对的工作量大大减少。大大节省了投资、安装的费用,据有关资料研究表明,约可节约费用50%以上^[8]。

(3) 维护开销降低

现场总线的维护包括两个部分:一部分是对整个系统的运行状况的维护,另一部分是对硬布线的维护。第一部分中,管理人员在监控室中即可看到整个系统的运行状况,同时由于系统中的一些智能设备具有自诊断功能,并能将诊断及处理的信息发送回监控室,管理人员在控制终端即可查看这些信息,可以分析故障的原因,并给出快速的排查处理,大大缩短了维护时间。第二部分中,由于系统的布线简单,出现故障的可能性较小,因此也大大降低了系统的维护开销。

(4) 用户的主动权增高

如果没有统一的标准,市场上的产品各不相同,那么用户在最初设计时,选了某个厂商的产品,那么今后就必须一直选用该厂商的产品,选用其他厂商的产品是不兼容的,因此被束缚了手脚。但在现场总线系统中,用户可以选择任意厂商的产品,不会存在不兼容的协议、接口等问题,因此大大提高了用户的主动权,所有厂商都是为用户服务的,不存在垄断现象。

(5) 系统的可靠性高

与模拟信号相比,数字信号具有更高的精度,且现场总线设备具有更高的智能性,传输的准确率较高,去掉了不必要的冗余信息,整个系统的布线结构简单,因此,大大提高了系统的可靠性。

(6) 重构简单

由于现场总线设备遵循统一的标准,功能都模块化,因此,相较传统的技术,设计简单,比较容易重新构建整个系统。

1.1.4 工业控制网络和计算机网络

计算机网络就是指把分布于不同地理位置的计算机和外部设备通过通信介质进行连接,使得这些计算机和设备可以互相通信、共享软硬件和数据资源。工业控制网络技术来源于计算机网络技术,因此两者有很多的共同特点,但也存在着本质

的区别。

两者的共同特点有:

(1) 拓扑结构

普通计算机网络中常用的拓扑结构: 总线型、环型、星型、树型等, 工业控制网络的拓扑结构也可以任意选择, 如图1-2至图1-5所示为工业控制网络的常用拓扑结构图。



图 1-2 总线型结构

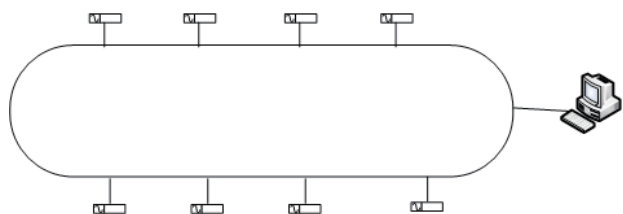


图 1-3 环型结构

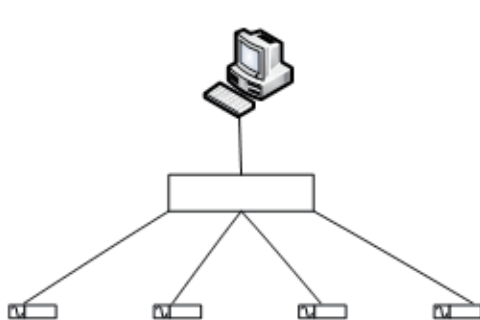


图 1-4 星型结构

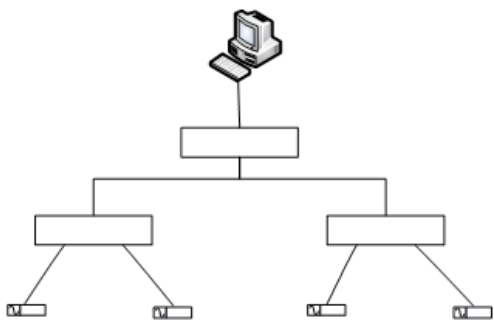


图 1-5 树型结构

(2) 协议

不管是何种网络类型, 都需要遵循某种特定的协议, 使得在特定的网络范围内各个设备之间可以互联互通。因此, 这两种网络类型都需要遵循协议, 只不过遵守的协议各不相同。

(3) 参考模型

普通计算机网络的参考模型是7层：物理层、数据链路层、网络层、传输层、会话层、表示层和应用层。在研究工业控制网络的时候也有参考模型，只不过多数情况下，这个参考模型被简化成为3层：物理层、数据链路层和应用层。

工业控制网络和普通的计算机网络的区别：

(1) 实时性

工业控制网络中的设备大多要分布到工业现场，对生产现场进行监控与管理，因此，实时性要求较高，需要系统做出及时的反应与处理。但是普通的计算机网络多数情况下用来传输数据信息或资源共享，对实时性要求不高。一般来讲，过程控制系统的实时响应时间要在0.01~0.5s，制造自动化系统的实时响应时间要在0.5~2.0s，而普通计算机网络的响应时间在2.0~6.0s。

(2) 传输的数据量

工业控制网络所传输的数据基本上是由于控制需求的，如用于检测的信息、用于控制的信息、用于查看状态信息等，因此传输的数据量较小，而普通的计算机网络主要目的就是共享资源，因此，需要传输大批量的数据。

(3) 传输的速率

普通计算机网络需要传输的信息量较大，又有专门的传输介质，因此传输的速率较高；而工业控制网络传输的数据量小，一般只使用普通的传输介质，传输的速率相对较低。

(4) 通信介质

工业控制网络可以采用各种通信介质，如双绞线、普通的电力线、光纤、红外线、无线射频等，实现的成本较低，但普通计算机网络系统除了上述介质外，一般还需要铺设专用的电缆，如同轴电缆、光纤等。所需传输介质较多、较复杂，造价相对较高。

(5) 通信环境

普通计算机网络中的设备大多数情况下安装在办公室，但工业控制网络中的设备一般安装在生产现场，环境比较恶劣，因此要求这些设备具有抗高温、潮湿、腐蚀、震动、电磁干扰等性能，甚至在可燃、易爆的环境下也能够可靠、长时间地传输完整的数据。

(6) 通信的方式

普通的计算机网络中，一个自治系统与另一自治系统一般都建立一对一的通信

连接,但在工业控制网络中,分散的单个用户要借助控制网络进入某个系统,因此通信方式多采用广播或组播的方式进行。

(7) 硬件设备

普通计算机网络中的硬件设备一般包括计算机、打印机、工作站、显示终端等;而工业控制网络中的设备也会包含上述设备,除此之外还有开关、阀门、传感器、PLC (Programmable Logic Controller)可编程逻辑控制器、数字控制器、数模转换器、变送器等,是内嵌了CPU、单片机或其他专用芯片的设备,或者功能单一简单的非智能设备等。

(8) 通信任务

普通计算机网络的通信任务是传输语音、视频、文件、图片等,多数情况下有人的参与,但是工业控制网络的通信任务是传输工业现场的实时采集数据、命令等,承担的是自动监测与控制任务,多数情况下要求在无人参与的情况下完成。

(9) 成本

普通计算机网络传输的内容、所需介质多,甚至需要专门的介质,所需成本较高;而工业控制网络中由于其为某一个特定的目的而研发,不需要专门的介质,有时候甚至不需要人的参与,因此实现的成本较低。

1.1.5 典型的现场总线技术

目前,国际上影响较大的现场总线有40多种,比较流行的有RS422、RS485、CAN、Ethernet/IP、ControlNet、LonWorks等。各总线自身特点不同、优势不同、使用的场合也各不相同,因此,用户在选择的时候需要根据自己的实际需求、布线的复杂程度以及造价等方面进行综合考量。下面将对本书的重点CAN技术进行深入讲解。

(1) RS422

RS422由RS232发展而来,RS232的传输距离短,通常小于15m,传输速率低,一般在20KB/s,而RS422采用差动传输方式,从根本上克服了上述缺点。

RS422采用4线接口,具有单独的发送和接收通路,不必控制数据的传输方向。RS422的最大传输距离大约是1200m,最大的传输速率是10MB/s,最大驱动输出电压在-0.25~+6V,接收器输入电压范围在-10~+10V,接收器的输入门限是 $\pm 200\text{mV}$ 。其平衡双绞线的长度与传输的速率成反比,只能在很短的距离下才能达到最大的传输速率。RS422需要连接终接电阻,该电阻值大约等于传输电缆的特性阻抗,连接在传输电缆的最末端。在短距离传输时,比如300m以下的传输,不需要接终接电