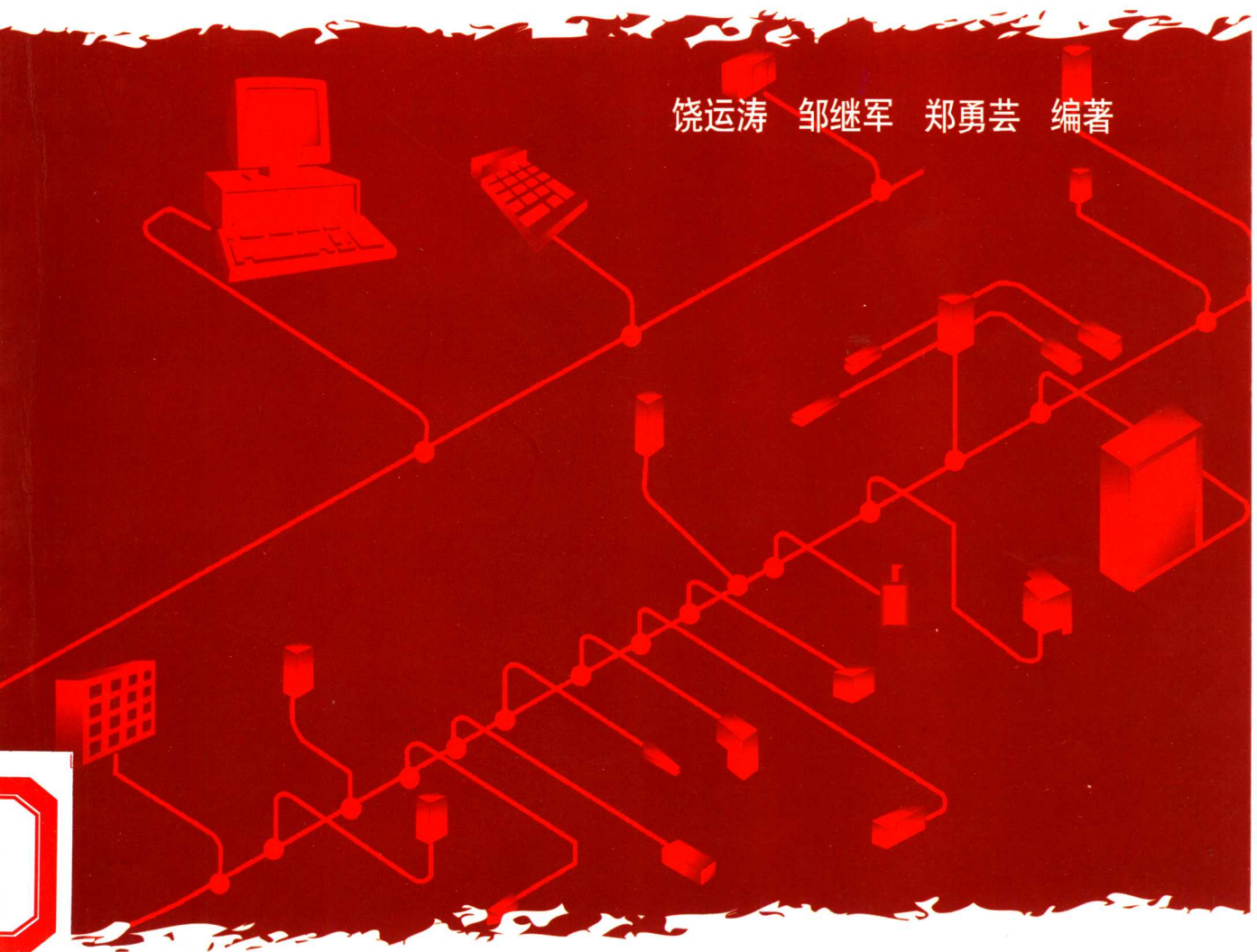


现场总线CAN 原理与应用技术

饶运涛 邹继军 郑勇芸 编著



北京航空航天大学出版社

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

现场总线 CAN 原理与应用技术

饶运涛 邹继军 郑勇芸 编著

北京航空航天大学出版社

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

内 容 简 介

CAN是一种具有国际标准而且性能价格比又较高的现场总线,它在当今自动控制领域的发展中能发挥重要的作用。本书内容包括:计算机网络技术与现场总线的基本原理、概念和它们之间的密切关系;CAN的2.0规范和几种功能典型且流行的CAN控制器和驱动器的详细资料;在作者实验和开发应用CAN技术的成果基础上,详细介绍了CAN的应用开发技术,从硬件的设计到各个基本软件功能模块的编写,其中包括CAN控制器与单片机、PC机的不同方式的接口技术等。这些资料可供读者直接参考使用(含源程序代码从汇编语言到Windows下的VxD和DLL),以便尽快进入实践阶段。书中还介绍了作者已完成并投入使用的一个CAN系统设计的实例。

本书力求理论密切联系实际,重点突出,学以致用,主要对象是现场总线CAN的初学者。它也可以作为大专院校电子技术和自控专业类师生的参考书以及相关专业技术人员的培训资料。

图书在版编目(CIP)数据

现场总线 CAN 原理与应用技术/饶运涛等编著. —北京:北京航空航天大学出版社,2003.6

ISBN 7-81077-310-0

I. 现… II. 饶… III. 总线—基本知识
IV. TP336

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 032642 号

现场总线 CAN 原理与应用技术

饶运涛 邹继军 郑勇芸 编著

责任编辑 王慕冰

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100083) 发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

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

E-mail: bhp@263.net

北京市云西华都印刷厂印装 各地书店经销

*

开本:787×1092 1/16 印张:21.75 字数:557千字

2003年6月第1版 2003年6月第1次印刷 印数:5000册

ISBN 7-81077-310-0

定价:34.00元

前 言

几年前,当我们从资料中初次了解到现场总线(Field Bus)CAN(Controller Area Network)时,就立即被描述的功能特性所吸引。因为,对从事单片机技术应用开发的人来说,对RS-485总线型“一主多从”式的多机串行通信模式太熟悉了。人们曾在不少控制系统的设计中应用过它;对它的不足既深有体会,又束手无策。CAN是多主对等系统,支持竞争。它是计算机网络技术在现代控制技术领域的应用和发展。

几年来,从对CAN的泛泛了解到做一些简单的实验,以至想把它投入到现实应用项目中去。时逢学院启动“校园一卡通”首期工程——建立新的校园消费管理系统,凭借多年积累的优势和对校园实际需求的切身了解,我们通过竞争承接了该项工程,并且要把CAN和非接触IC卡等新技术应用到其中。

在设计方案时,自然要考虑覆盖面积很大且分散的系统中CAN通信网络的建立、各节点随机接入总线访问的竞争、不同区域节点的速度与总线的长度的关系、系统的稳定性和纠错能力以及系统应提供给用户的功能和操作界面等等。经过两个多月的努力,工程按期完成,一次调试成功,技术指标完全达到设计要求。实验室的成果转变成了产品,孕育了多年的愿望终于变成了现实。如今这个系统已安全运行了一年多,而且在扩大范围。目前,有关CAN应用的新课题研究正在进行。我们想用亲身的经历告诉初学者:现场总线不神秘,CAN的应用技术不难掌握。俗话说“百闻不如一见”,应当再加上“百见不如一试”。

当我们在CAN的应用开发领域取得一点成绩时,就得到了来自北京航空航天大学出版社的鼓励和重视。马广云博士立即与我们联系,计划出版一本介绍CAN技术的书,这对我们来说又是一次机遇和挑战;我们只不过是某方面多走了一小步。为了让初次接触CAN的读者对它既有较全面的了解,又能较快地动手实践,减少开发中的盲目性,我们在认真总结经验的同时还尽可能去搜集、消化和归纳各类资料,其实这这也是一个重新学习的过程。

现在业界人士普遍看好现场总线的发展潜力,认为它将给自动控制领域的变革带来深远的影响。在我国,开发应用现场总线技术的热潮正在兴起,但是相关的实际资料比较缺乏,市面上能购买到的有关CAN的器件种类也很有限,而初入门者又希望有较详细的实践指导内容的出版物供参考。虽然本书能提供的经实践积累和收集到的资料不是很多,但它们还是可以有效地帮助想涉入这个领域的读者。何况CAN总线有统一的规范和国际标准,不管是哪个厂家生产的器件都遵循这些标准。只要掌握了某类器件的使用方法,就能触类旁通。目前,生产CAN器件的厂家不少,若要一一介绍,篇幅就非常大。在这里我们选择目前比较典型的、市场上容易购买到的、参考资料相对多且容易与51系列或摩托罗拉等单片机接口的器件予以介绍。还有一部分是我们认为功能方面有独到之处、在某些应用中能发挥重要作用的器件。这些都是在厂商提供的原始资料基础上,经加工、整理而成,让读者容易接受。我们认为,单从掌握CAN的原理和应用技术方面来说,主要基础还是对微型计算机接口技术和计算机网络知识的了解。

全书共分9章和5个附录。第1章简明扼要地介绍计算机网络和现场总线的一般原理和

概念,着重叙述了 CAN 的发展。第 2 章介绍了 CAN 2.0 规范的主要内容。第 3 章详细地介绍目前在我国市面上最有代表性的 CAN 控制器芯片——独立的单个 CAN 控制器 SJA1000。第 4 章主要介绍带 CAN 控制器的 51 系列单片机 P8xC591 中的 CAN 部分。第 5 章是有关 CAN 总线的驱动器和它的应用。第 6 章的重点是智能 CAN 节点的设计,即 CAN 控制器与单片机的接口技术。第 7 章分别介绍 CAN 控制器与 PC 机的不同形式的接口技术。第 8 章首先较详细地介绍一个实际应用系统 CAN 网的组建和 CAN 技术的应用举例,然后介绍一个供初学者实践参考的 CAN 实验装置。第 9 章介绍一种有较多独特功能的独立双 CAN 控制器。考虑到它比较复杂,同时篇幅又大,刚接触 CAN 的读者一时不必把注意力放在这方面,所以把它排在最后部分。

第 1、2、3、4 章和第 9 章的大部分是由饶运涛编写;第 5、6、7 章和第 8 章的大部分由邹继军编写;郑勇芸参加了第 8 章应用实例和第 9 章的部分编写,而且是 CAN 的应用开发项目的主要成员。附录内容是由周立功单片机公司提供的资料。全书由饶运涛负责策划、修改和定稿。高斌和张静参加了文稿的录入工作。在本书的策划和编写过程中,得到了何立民教授、周航慈教授的热情关心和指导,并且参考了业界许多公开发表的资料,在此一并表示衷心的感谢。周立功单片机公司在开发和推广 CAN 总线技术方面做了大量工作。该公司是我国首家加入 CiA(CAN in Automation)的企业,与德国的多家开发 CAN 技术的公司建立了联系,引进了部分先进技术。在国内,周立功单片机公司推销 PHILIPS 半导体公司的 CAN 器件,同时开发出了带 CAN 控制器的单片机 P87C591 的仿真器和有关 CAN 控制器的实验板,该公司的网站上也有专门的 CAN 网页介绍相关的资料。

现场总线技术正在给我们展现一个宽阔的新舞台,并且大有作为。学习 CAN 也可作为学习现场总线甚至是计算机网络技术的入门,因为它使你能深入了解到从低层到高层的功能实现过程,从中更好地体会网络的层次结构。书中介绍了我们实践中的思路和实例,包括基本源程序,目的是想帮助初学者尽快地进入学习 CAN 的实践阶段,也希望能起到抛砖引玉的作用。我们期待着更多同行的参与,共同推动这项事业在中国的发展。尽管我们如履薄冰,力求完善,但由于学识和能力上的限制,加上较繁重的教学任务,使本书脱稿日期一推再推,且它的内容还有较大的局限,也可能存在某些错误。诚恳希望读者和同行对本书的疏漏及其他问题不吝赐教,以期今后有机会改正。

编著者

于东华理工学院

2002 年 11 月

目 录

第 1 章 计算机网络与现场总线

1.1 计算机网络体系的结构	(1)
1.1.1 物理层	(2)
1.1.2 数据链路层	(5)
1.1.3 介质访问控制子层 MAC 和逻辑链路控制子层 LLC	(6)
1.1.4 网络层	(8)
1.1.5 传输层	(9)
1.1.6 会话层	(10)
1.1.7 表示层	(11)
1.1.8 应用层	(11)
1.2 现场总线	(11)
1.2.1 什么是现场总线	(11)
1.2.2 工业控制系统的发展	(11)
1.2.3 现场总线技术	(12)
1.2.4 现场总线的发展	(13)
1.3 CAN 总线	(14)
1.3.1 CAN 的发展历程	(14)
1.3.2 CAN 总线的特点	(18)
1.3.3 CAN 总线的位数值表示与通信距离	(19)

第 2 章 CAN 技术规范的介绍

2.1 简介	(20)
2.2 基本概念	(21)
2.3 报文传输	(25)
2.3.1 帧格式	(25)
2.3.2 帧类型	(25)
2.3.3 关于帧格式的一致性	(32)
2.3.4 发送器和接收器的定义	(32)
2.4 报文滤波	(33)
2.5 报文校验	(33)
2.6 编 码	(33)
2.7 错误处理	(33)
2.7.1 错误检测	(33)

2.7.2 错误信号的发出	(34)
2.8 故障界定	(34)
2.9 振荡器容差	(36)
2.10 位定时要求	(36)

第3章 CAN 控制器 SJA1000

3.1 CAN 控制器的作用	(39)
3.2 芯片 SJA1000 的概述	(39)
3.3 SJA1000 的内部结构及 SJA1000 引脚定义	(40)
3.3.1 SJA1000 的内部结构	(40)
3.3.2 芯片引脚排列与名称	(41)
3.3.3 引脚定义	(41)
3.4 CAN 控制器 SJA1000 在系统中的位置	(42)
3.5 CAN 的几个控制模块	(43)
3.5.1 接口管理逻辑	(43)
3.5.2 发送缓冲器	(43)
3.5.3 接收缓冲器	(43)
3.5.4 验收滤波器	(43)
3.5.5 位流处理器	(44)
3.5.6 位时序逻辑	(44)
3.5.7 错误管理逻辑	(44)
3.6 SJA1000 的详细介绍	(44)
3.6.1 与 PCA82C200 兼容性	(44)
3.6.2 BasicCAN 和 PeliCAN 模式的区别	(45)
3.6.3 BasicCAN 的寄存器及其功能描述	(46)
3.6.4 PeliCAN 的寄存器及其功能描述	(56)
3.6.5 公共寄存器	(77)
3.7 主要参数限额	(82)
3.8 SJA1000 与单片机的典型接口电路及其在 PeliCAN 模式中的地址分配示意图	(83)

第4章 带 CAN 控制器的单片机——P8xC591

4.1 P8xC591 在 80C51 基础上增加的特点和功能	(86)
4.2 概 述	(87)
4.3 引脚描述	(87)
4.4 存储器结构	(91)
4.4.1 扩展的数据 RAM 寻址	(92)
4.4.2 双 DPTR	(94)
4.4.3 AUXR1 页寄存器	(94)

4.5	I/O 功能	(95)
4.6	复 位	(95)
4.7	CAN 控制器局域网络	(95)
4.7.1	P8xC591 PeliCAN 特性(比 SJA1000 增加的部分)	(95)
4.7.2	PeliCAN 结构	(96)
4.7.3	PeliCAN 控制器与 CPU 之间的通信	(97)
4.7.4	PeliCAN 内部寄存器和报文缓冲区描述	(100)
4.8	CAN 报文的发送	(122)
4.8.1	查询控制的发送	(122)
4.8.2	中断控制的发送	(123)
4.8.3	中止发送	(123)
4.9	CAN 报文的接收	(125)
4.9.1	查询控制的接收	(126)
4.9.2	中断控制的接收	(126)
4.9.3	数据溢出处理	(128)
4.9.4	接收中断级或高优先级	(129)
4.10	自动位速率检测	(130)
4.11	CAN 控制器自检测	(134)
4.11.1	全局自检测	(134)
4.11.2	局部自检测	(135)
4.12	P8xC591 的节电功能(对原 51 系列节电功能的扩展)	(136)
4.12.1	电源关闭标志	(136)
4.12.2	设计中需要考虑的问题	(136)
4.12.3	ONCE 模式	(136)
4.12.4	降低 EMI 模式	(136)
4.12.5	装载看门狗允许位	(136)

第 5 章 CAN 总线驱动器

5.1	CAN 总线驱动器 82C250	(137)
5.1.1	总 述	(137)
5.1.2	82C250 功能框图	(137)
5.1.3	功能描述	(138)
5.2	CAN 总线驱动器 TJA1050	(140)
5.2.1	总 述	(140)
5.2.2	TJA1050 功能框图	(140)
5.2.3	功能描述	(141)
5.3	PCA82C250/251 与 TJA1040、TJA1050 的比较和升级	(142)
5.3.1	简 介	(142)
5.3.2	C250/251 与 TJA1050、TJA1040 之间的区别	(143)

5.3.3	引脚	(143)
5.3.4	工作模式	(144)
5.3.5	互用性	(145)
5.3.6	硬件问题	(147)
5.4	总线长度及节点数的确定	(149)
5.5	总线终端及网络拓扑结构	(151)
5.5.1	分离终端	(151)
5.5.2	多终端	(152)
5.5.3	单终端	(152)
5.5.4	非匹配终端	(152)
5.5.5	非终端支线电缆长度	(153)

第 6 章 CAN 控制器与 8051 系列单片机的接口技术

6.1	CAN 总线系统智能节点设计	(154)
6.1.1	CAN 总线系统智能节点硬件电路设计	(154)
6.1.2	CAN 总线系统智能节点软件设计	(155)
6.2	CAN 中继器(网桥)设计	(160)
6.2.1	CAN 中继器硬件电路设计	(160)
6.2.2	CAN 中继器软件设计	(161)
6.3	CAN 总线与 RS-485 总线转换网桥设计	(166)

第 7 章 CAN 控制器与 PC 机的接口技术

7.1	非智能型 ISA 总线 CAN 适配卡设计	(170)
7.1.1	ISA 总线简介	(170)
7.1.2	硬件电路设计	(171)
7.1.3	软件设计	(173)
7.2	智能型 CAN 适配卡设计	(193)
7.2.1	智能型 CAN 适配卡结构	(193)
7.2.2	CAN 适配卡软件设计	(194)
7.3	SJA1000 与 PC 机并行端口的接口	(195)
7.3.1	PC 机并行端口简介	(195)
7.3.2	SJA1000 与并行端口的接口电路设计	(201)
7.3.3	SJA1000 与并行端口接口的软件设计	(203)

第 8 章 CAN 总线应用与实验系统设计

8.1	CAN 总线在大型食堂售饭系统中的应用	(207)
8.1.1	食堂售饭系统基本网络结构	(208)
8.1.2	学院食堂售饭系统网络拓扑结构	(209)
8.1.3	系统网络参数配置	(209)

8.1.4	食堂售饭系统应用层通信协议	(212)
8.1.5	食堂售饭系统软件设计	(216)
8.2	CAN 总线技术在多个领域的应用综述	(220)
8.2.1	大型仪器设备	(220)
8.2.2	在传感器技术及数据采集系统中的应用	(221)
8.2.3	在工业控制中的应用	(221)
8.2.4	在机器人网络互联中的应用	(222)
8.2.5	现场总线适配器在冷库计算机分布式控制系统中的应用	(223)
8.2.6	在智能居室和生活小区管理中的应用	(224)
8.3	一个 CAN 实验系统的设计	(224)
8.3.1	CAN 实验系统硬件电路设计	(224)
8.3.2	CAN 实验系统实验内容及软件设计	(226)

第 9 章 独立双 CAN 控制器

9.1	独立双 CAN 控制器特征与结构	(234)
9.1.1	特征概述	(234)
9.1.2	芯片引脚定义和功能描述	(236)
9.1.3	82C900 寄存器地址分配	(239)
9.2	独立外壳寄存器	(240)
9.2.1	外壳寄存器概述	(240)
9.2.2	控制寄存器	(242)
9.2.3	端口寄存器	(250)
9.2.4	中断寄存器	(254)
9.3	双 CAN 核心寄存器	(255)
9.3.1	双 CAN 核心寄存器概述	(255)
9.3.2	CAN 节点 A/B 寄存器	(257)
9.3.3	CAN 报文对象寄存器	(266)
9.3.4	全局 CAN 控制/状态寄存器	(275)
9.4	独立双 CAN 控制器功能描述	(276)
9.4.1	主设访问 CAN RAM	(276)
9.4.2	页面模式的寄存器编址	(277)
9.4.3	时钟发生器	(278)
9.4.4	节电模式	(279)
9.4.5	中断控制	(280)
9.4.6	通过 CAN 总线初始化	(281)
9.5	端口控制单元	(281)
9.5.1	82C900 与主设(微控制器)的接口	(281)
9.5.2	用做通信通道的并行总线	(284)
9.6	通过 SSC 的通信	(286)

9.6.1	从属模式中的 SSC	(287)
9.6.2	主模式下的 SSC	(296)
9.6.3	SSC 的设置	(298)
9.7	双 CAN 模块描述	(299)
9.7.1	概 述	(299)
9.7.2	双 CAN 控制外壳	(301)
9.7.3	CAN 节点控制逻辑	(303)
9.7.4	报文处理单元	(308)
9.7.5	CAN 报文对象缓冲器(FIFO)	(313)
9.7.6	网关报文处理	(316)
9.7.7	双 CAN 模块的编程	(323)
附录 A	CANalyst CAN - bus 分析软件	(327)
附录 B	USBCAN 智能 CAN 接口卡	(330)
附录 C	PCI - 5121 智能 CAN 接口卡	(332)
附录 D	PCI - 9810 非智能 CAN 接口卡	(333)
附录 E	CAN232 智能 CAN 接口卡	(334)
参考文献		(336)

第 1 章 计算机网络与现场总线

由于现场总线与计算机网络密切相关,而 CAN 又属于现场总线类,为了使叙述的内容有较好的连贯性,特别是让初学者对后面要涉及到的有关网络的一些概念和术语有所了解,在本书的开始还是既概括又有侧重地介绍一下计算机网络的相关知识。

1.1 计算机网络体系的结构

计算机网络是计算机技术与通信技术相结合产生的新的技术领域。若干计算机用通信信道连接在一起,相互之间可以交换信息共享资源,就形成了计算机网络。

在社会生活中人们已习惯许多类型的网络,如交通网(铁路、公路等),通信网(电信、邮政等),商业网等等。这些网可以有不同规模,小到局限在一个办公室、一个单位、一个城市内部,大到可以在世界各地互通。不管是什么网,为了正常、高效地运作,都要制定它的各种规范。而且由于世界各部分联系日益密切,这些规范也就应当是开放型国际标准,以便于相互连通运作。这都是相当复杂的过程。计算机网络也有着类似的问题。

人们在处理庞大而复杂的系统问题时采用的方法往往是功能分解,把它划分为若干个比较容易处理的较小的问题,然后“分而治之”。这种结构设计要求确定系统由哪些模块组成,以及这些模块之间的关系。每个模块完成某一子功能,模块之间相对独立、“透明”。它们通过接口规则相互连接、请求或提供服务。现代网络采用分层的体系结构方法,就是将网络按照功能分成一系列的层次,每一层完成一个特定的功能,相邻层中的高层直接使用低层提供的服务来实现本层的功能,同时它又向它的上层提供服务。网络分层的好处是:各层之间相对独立,其功能实现的具体细节对外是不可见的(“透明”),相邻层间的交互通过接口处规定的服务原语(交互时所要求交换的一些必要信息)进行。这样每一层的功能易于实现和维护。而当某一层需要改动时,只要不改变它与上、下层的接口规则,其他层次都不受影响,因此具有很大的灵活性。这种思维模式与面向对象的程序设计是一致的,一层就是一个对象,服务实现的细节完全封装在层内,因此,各层之间具有很强的独立性。

在国际标准化组织(ISO)提出的“开放系统互连”(OSI)的参考模式中,网络系统结构划分为 7 层。从上到下依次是应用层、表示层、会话层、传输层、网络层、数据链路层、物理层,如图 1.1 所示。然而在实际中,使用的网络协议与这个参考模式都多多少少有些差异。这就是说,这种层次结构并不是严格和必须的,而是要看实际需要而定。例如风靡全球主宰 Internet 的 TCP/IP 体系就只划分为应用层、传输层、网络层(TCP)和网络接口层(IP)(在 TCP/IP 设计与具体的物理传输媒体无关。因此,在该标准中并没有对最低两层做出规定,这也就是 TCP/IP 协议可以运行于当前几乎所有物理网络之上的原因)。

为了理解网络体系的分层结构,不妨看一个日常用电话的例子。电话网早已是“国际互连”,也是分层结构。但是作为用户层的普通人无论是利用它通话还是传真、上网,都不会去考

虑和对方之间的联络实际上经过了若干个中间层环节(尤其是长途电话),例如信号的调制与解调、几级交换机的线路选择(相当于网络层)、信号的传送与接收(相当于数据链路层、物理层)等。用户层面只需知道摘机和拨号等简单规则,而其余的各层对他来说是“透明”(就像双方在直接对话)的。至于底层信号的传输方式(例如可以是电缆、光纤或卫星等)对于中间层的交换机来说也是“透明”的。

下面简要介绍网络系统各层的功能。

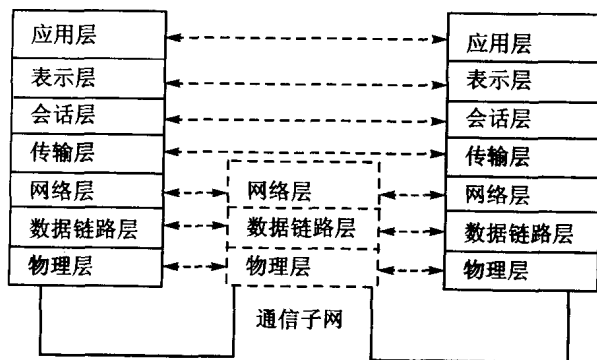


图 1.1 OSI 参考模式

1.1.1 物理层

物理层(Physical Layer)的作用是在物理传输媒体上传输各种数据的比特流,而不管数据的类型和结构如何。这一层除了规定机械、电气、功能、规程等特征外,主要考虑的问题还有:

1. 传输速率

这里有波特率(每秒传输的码元数)和比特率(每秒传输的二进制位数)之分。如果一个码元只携带一个比特的信息量,则波特率和比特率在数值上相等。

2. 信道容量

信道容量即信道能支持的最大数据传输速率。它由信道的带宽和信噪比来决定。

3. 传输媒体

传输媒体也就是传输电信号的物理介质。例如是无线还是有线,是双绞线还是同轴电缆,或是光纤等。

4. 调制/解调

调制/解调就是将一种数据转换成适合在信道上传输的某种电信号形式。例如把数字信号转换为模拟信号有调幅、调频、调相等方法。数字信号的信道编码方法有单极型脉冲和双极型脉冲编码(它们中又有归零码和不归零码之分)以及曼彻斯特编码等(信道编码)。

5. 交换技术

交换技术有 3 种:电路交换、报文交换和分组交换。

(1) 电路交换:要求在通信双方之间建立起一条实际的物理通路,并在整个通信过程中,这条通路被独占。例如电话交换系统就是这样。在这种条件下,数据在每个中间环节没有停留。优点是数据传输可靠,实时效应好;缺点是电路不能共享,资源浪费大,同时电路的建立和

撤除的时间较长。

(2) 报文交换：就是一个报文(长度无限制的数据块)在通过从源站到目的站之间的中间站时采用存储-转发方式(有缓冲区)。这样可以提高线路的利用率,但大报文延迟时间长,出错率高,一般很少采用。(注:这里的“报文”定义与 CAN 中的不尽相同)。

(3) 分组交换：就是将一个大报文分割成一定长度的信息单元(分组),各单元依次编号,以分组为单位进行存储-转发。其优点除了线路共享外,它要求中间环节的缓冲存储区减少,也减少了分组在网络中的延迟时间。由于各分组在网络中可以走不同路径,这种并行也降低了整个报文的传输时间。分组长度变短,使得出错重发率大为降低(若发现一组出错,重发它的所需时间也就短)。这是目前计算机网络中广泛使用的交换技术。所谓的 IP 电话也就是以这种方式在计算机网络上传输。

6. 网络拓扑

网络拓扑指网络中节点的互连结构形式,主要有以下几种:

(1) 星型拓扑：在星型拓扑中,每个站点通过点-点连接到中央节点,任何两站之间的通信都通过中央节点进行。星型拓扑采用电路交换,一个站点的故障只会影响本站,而不会影响到全网。但是在这种结构中,通信极大地依赖中央节点,对中央节点的可靠性和容量要求很高;另外每个站点都要同中央节点连接,耗费大量电缆。

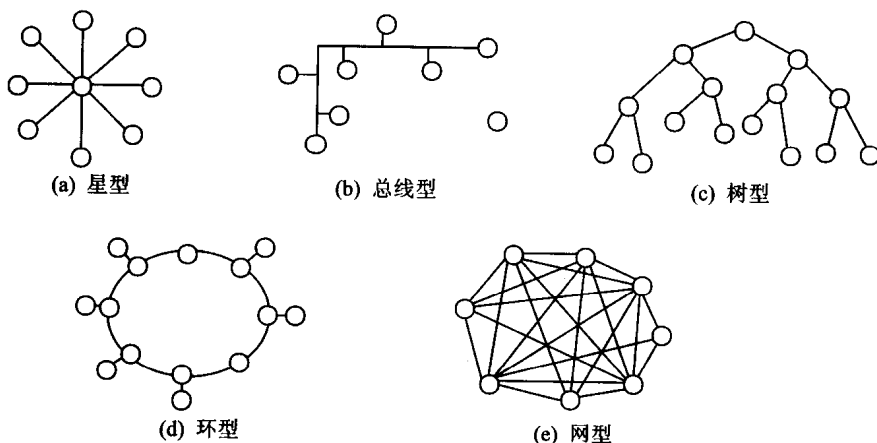


图 1.2 网络拓扑结构

(2) 总线型拓扑：采用单一信道作为传输介质,所有站点通过相应硬件接口接至这个公共信道(总线)上,任何一个站点发送的信息,所有其他站都能接收。因此,总线和后面要提到的树型拓扑的网称为多点式或广播式。信息也是按组发送,达到各站点后,经过地址识别(滤波),符合的站点将信息复制下来。由于所有节点共享一条公共信道,当多点同时发送信号时,信号会相互碰撞而造成传输失败。这种现象称为冲突。为了避免冲突,每次只能由一个站点发送信号,因此,必须有一种仲裁机制来决定每次由哪个站点使用信道,这是属于数据链路层的任务。总线网中通常采用分布式的控制策略,后面将要介绍的 CSMA/CD 协议就是常用的规范。

总线拓扑的优点是,所需电缆长度短,布线容易。总线仅仅是一个传输信道,没有任何处理功能,从硬件的角度看,它属于无源器件,工作的可靠性较高,增加和减少站点都很方便。缺

点是系统范围受到限制(由于数据速率和传输距离的相互制约关系)。一个站点的故障可能影响整个网络,故障的检测需要在各站点上进行,比较困难。

(3) 树型拓扑:树型拓扑是从总线拓扑演变而来的。从树根开始,每一个节点下都可以有多个分支。树型拓扑的许多特点与总线拓扑类似,但是它的故障比较容易隔离和检查。

(4) 环型拓扑:在环型拓扑中,站点和连接站点的点-点链路组成一个闭合环路,每个站点从一条链路上接收数据,然后以同样的速率从另一条链路发送出去。链路大多数是单方向的,即数据沿一个方向在网上环行。

环型拓扑也同总线拓扑一样,存在冲突问题,必须采用某种控制机制来决定每个站点在什么时候可以将数据送到环上。环型网络通常也采用分布式控制策略,这里主要包含后面要提到的一种特殊信息帧——“令牌”。

环型拓扑的优点是,所需介质长度较短;它的链路都是单方向性的,因而可以用光纤作为传输介质。环型拓扑的缺点是,一个站点的故障会引起全网的故障。

(5) 网型拓扑:每个站点都有一条或几条链路同其他站点相连。由于站点之间存在多条路径,在传输数据时就可能选择较为空闲的路由或绕开故障点,因而网络资源可以得到充分的利用。同时单个站点或线路的故障对网络的影响也较小,网络可靠性较高。网型拓扑通常用于广域网中。它的结构较复杂,成本较高。

7. 多路复用技术

在通信系统中,传输媒体的传输能力往往是很强的。如果在一条物理信道上只传输一路信号,将是对资源的极大浪费。采用多路复用技术,可以将多路信号组合在一条物理信道上进行传输,到接收端再将各路信号分离开来。

多路复用技术有多种形式,如频分多路复用(FDM)、时分多路复用(TDM)和码分多址(CDMA)等。

(1) 频分多路复用:就是将信道带宽按频率分割为若干个子信道,每个子信道用来传输一路信号。当信道带宽大于各路信号的总带宽时,信号的频谱在传输过程中不会被改变,在接收端通过一个相应带宽的滤波器可将信号完整地恢复出来。例如,有线电视网就是这样。

(2) 时分多路复用:就是将使用信道的的时间分成一个个时间片,按一定规律将这些时间片分配给各路信号,每路信号只能在自己的时间片内独占信道进行传输。当然,各路信号的数据传输率的总和只能小于信道能达到的最大传输率。例如,长途电话系统就是采用这种方式。

(3) 码分多址(使用所谓扩频技术):它允许所有站点在同一时间使用整个信道进行数据传输。在 CDMA 中,每个比特时间又再分成 m 个码片(Chip),每个站点分配一个惟一的 m 比特码序列。当某个站欲发送“1”时,它就在信道中发送它的码序列;当欲发送“0”时,就发送它的码序列的反码(例如:假设 $m=8$,某个站的比特码序列为 00110010,代表这个站的“1”,而它的反码“11001101”代表这个站的“0”)。当两个或多个站同时发送时,各路数据在信道中被线性相加。为了从中分离出各路信号,码序列必须具有一些特殊的性质。如果将码序列看成是一个矢量,那么不同的码序列之间是互相正交的。假设有两个不同的码序列 S 和 T ,用 $\bar{S}$ 和 $\bar{T}$ 表示各自的码序列的反码,那么应有下列关系式:

$$S \cdot T = 0, \quad S \cdot \bar{T} = 0, \quad S \cdot S = 1, \quad S \cdot \bar{S} = -1$$

当某个站想要接收站 X 发送的数据时,它首先必须知道 X 的码序列(设为 S)。假如从信道中收到的和矢量为 P ,那么通过计算 $S \cdot P$ 就可提取 X 发送的数据。这样, $S \cdot P = 0$ 表示 X

没有发送数据, $S \cdot P = 1$ 表示 X 发送了“1”, $S \cdot P = -1$ 表示 X 发送了“0”。CDMA 广泛应用于移动通信系统。

以上 3 类多路复用技术可以形象地比喻为多个人要发言讨论不同问题时, 如何使用同一个会议厅(信道)。可以把会议厅分成几组(好比频分多路), 各组同时进行各自不同的讨论, 互不干扰; 也可以在一个厅内让各议题在固定的时间片内轮流发言(好比时分多路); 还可以在一个厅内让各自议题同时发言, 但是要用不同的语言(好比码分多址), 对某个议题的人来说只能听懂自己的语言, 而其他语言被视为随机噪音, 可以排除。

1.1.2 数据链路层

在物理线路上, 由于噪音干扰、信号衰减畸变等原因, 传输过程中常常出现差错, 而物理层只负责透明地传输无结构的原始比特流, 不可能进行任何差错控制。因此, 当需要在一条线路上传送数据时, 除了必须有一条物理线路(链路)外, 还必须有一些必要的规程来控制这些数据的传输。把实现这些规程的硬件和软件加到链路上, 就构成了数据链路层(Data Link Layer)。

数据链路层最重要的作用就是通过一系列数据链路层协议, 在不可靠的物理链路上实现可靠的数据传输。为此, 通常将原始数据分割成一定长度的数据单元(帧), 一帧内应包含同步信号(例如帧的开始与终止)、差错控制(各类检错码或纠错码, 大多数采用检错重发的控制方式)、流量控制(协调发送方和接收方的速率)、控制信息、数据信息、寻址(在信道共享的情况下, 保证每一帧都能到达正确的目的站, 收方也能知道信息来自何站)等。这里主要介绍帧的结构和差错控制。

1. 组帧与帧同步

在组帧方式中, 关键问题是使接收方能够准确地从接收到的比特流中识别出帧的边界, 取出帧来, 这就是所谓帧同步。为此, 这种协议有两大类。一是面向字符的, 就是说, 在链路上所传送的数据都必须是由字符集(如 ASCII 码)中的字符所组成, 而且在链路上传送的控制信息(包括帧同步)也必须由同一字符集中的字符组成。这个协议的主要弱点是, 它只能对数据部分进行差错控制, 而对控制部分的差错就无法控制, 因此可靠性差。该协议也不易扩展, 每增加一项功能就需要设定新的控制字符。另一个是 1974 年出现的面向比特的规程, 后来修改为高级数据链路控制(HDLC)。它不依赖任何字符编码集, 采用比特填充法可以很容易地实现数据的透明传输, 且可以传输任意长度的二进制比特串。采用统一的帧格式来实现数据命令和响应的传输, 而且它通过改变一帧中控制字段的比特模式来实现各种规定的链路操作功能, 非常有利于程序的实现。因此, HDLC 被广泛用做数据链路层的控制协议。CAN 规范中采用的就类似这个规程。下面简单介绍 HDLC 的主要内容。

这种方法使用一个特殊的比特模式 01111110 作为帧的起始与结束标志 F。为了防止在传输过程中, 帧中其他地方出现与帧标志相同的比特模式, 发送方边发送边检查数据, 每连续发送 5 个“1”后, 在其后自动插入一个“0”。这样除了帧标志之外, 最多只会有 5 个“1”相连。接收方在收到 5 个连续的“1”后, 将后面紧跟的一个“0”删去, 恢复原来的数据。这种方法称为比特填充, 很容易由硬件来实现。采用这种方法组帧, 数据传输的基本单位是比特而不是字符, 因此可以用来传输任意长度的二进制比特串及任何编码长度的字符, 通用性很强。一个 HDLC 帧的结构如图 1.3 所示。

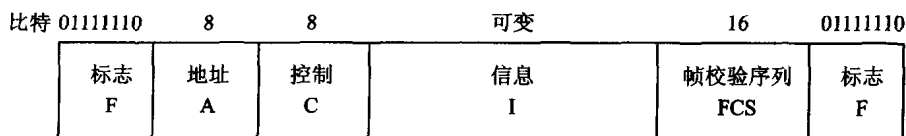


图 1.3 HDLC 的帧结构

在起始和结束标志 F 之间有：

地址字段 A：在点-多点线路中，它用于指明通信的地址。地址的种类有单地址、组地址、广播地址及无站地址（在后面可以看到，这里的地址字段相当于 CAN 帧中的标识码 ID）。

控制字段 C：它用于构成各种命令和响应，以便对链路进行监视和控制。

信息字段 I：它可以是任意的二进制比特串，其长度上限由 FCS 字段或站点的缓冲区容量来决定（这相当于 CAN 帧中的数据段，但其长度最多为 8 个字节）。

帧校验序列字段 FCS：使用 16 位的 CRC 对两个标志字段之间的内容进行校验，FCS 的生成多项式是 $CRC-CCITT: X^{16} + X^{12} + X^5 + 1$ 。

2. 差错控制

这里涉及到两个方面的问题：一是如何检测出错误；二是发现错误后，如何纠正错误。要判断一个数据块是否存在错误，发送端必须在数据块中加入一些冗余信息，使数据块中的各比特建立起某种形式的关联，接收端通过验证这种关联是否存在，来判断数据在传输过程中是否出错。在数据块中加入冗余信息的过程称为差错编码。有两种基本的差错编码策略：一种是使码字只具有检错功能，即接收方只能判断数据块有错，但不能确切地知道错误的位置，从而也不能纠错，这种码字称为检错码；另一种是使码字具有一定的纠错功能，即接收方不仅能知道数据块有错，还知道错在什么地方，这时只需将错误位取反即可，这种码字称为纠错码。任何一种检错码或纠错码，其检错或纠错的能力都是有限的，即不能检出所有的错误。一般是检错或纠错能力越强，所需冗余信息就越多，编码效率就越低。在这里简单介绍几种常见的差错编码。

(1) 海明码。海明码是由 R. Hamming 在 1950 年提出的，是一种可以纠正一比特错误的编码。

(2) 循环冗余码。在计算机和数据通信领域中使用最广泛的检错码是循环冗余码 CRC (Cyclic Redundancy Code)，又名多项式码，其漏检率很低，而且只要用一个简单的电路就可以实现。

(3) 奇偶校验码。最常见的检错码是最简单的奇偶校验码，只要一个比特，但它只能检出奇数个错，漏检率达 50 %。

(4) “校验和”码。这也是常用的检错方式，它是传输的数据块中各字节累加后得到的一个字节或按字节异或的结果。

1.1.3 介质访问控制子层 MAC 和逻辑链路控制子层 LLC

计算机网络按传输技术可分为点-点网和广播网（如总线网、环型网）两大类。在前面“数据链路层”介绍的内容是点-点链路协议（两方通信协议），但是在广播网中，所有站点共享一条