

工业控制现场总线技术丛书

CAN 现场总线系统

设计技术

史久根 张培仁 陈真勇 编著

国防工业出版社

<http://www.ndip.cn>

工业控制现场总线技术丛书

CAN 现场总线系统设计技术

史久根 张培仁 陈真勇 编著

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

CAN 现场总线系统设计技术/史久根等编著. —北京:国防工业出版社,2004.10

(工业控制现场总线技术丛书)

ISBN 7-118-03572-6

I. C... II. 史... III. 总线—控制系统
IV. TP336

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 088768 号

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

新艺印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 19½ 446 千字

2004 年 10 月第 1 版 2004 年 10 月北京第 1 次印刷

印数:1—5000 册 定价:39.00 元(含光盘)

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: 68428422

发行邮购: 68414474

发行传真: 68411535

发行业务: 68472764

前 言

随着计算机网络技术和芯片技术的发展，控制芯片的性能大幅度提高，成本不断减低，网络几乎深入到我们生活的每一个角落，以现场总线为代表的控制网络也在工业以及其他控制系统中扮演着不可缺少的角色。自从 20 世纪 90 年代以来，自动控制系统已经开始从集散控制系统（DCS）向现场总线控制系统（FCS）过渡。在 21 世纪，现场总线控制系统将会成为控制领域的主流。CAN 总线由于具有可靠性高、成本低、容易实现等优点，在现场总线的实际工程应用中占据了较大的份额；汽车电子在我国正方兴未艾，作为其主要组成部分的 CAN 总线也得到了广泛的使用，并且 CAN 在工业控制、小区智能监控等热点领域有着广泛的应用前景；由于 CAN 总线协议的完全透明性、可扩展性以及组建系统的灵活性，使得 CAN 总线成为教学和科研方面极好的范例和基础课题。

我们写这本书的主旨在于系统介绍 CAN 总线的概念、相关的技术、系统所用的芯片、系统的设计理念以及近几年来我们在 CAN 总线的应用和研究方面所做的工作。使读者可以从最基本的概念学起，直到学会怎样自行设计生产满足自己需要的 CAN 总线系统。同时本书也是我们在研究和实践 CAN 总线系统的经验的总结，因为到目前为止，国内较少有人在做 CAN 总线方面的研究工作，对感兴趣的读者，我们的工作也许能起到抛砖引玉的作用。

本书面向的读者：对 CAN 尚不清楚，但有一定的单片机和 C++/C 知识的人群。全书包含的内容有：1.现场总线的概述、CAN 总线的概念及其相关的协议、人们在 CAN 协议上层所做的工作；2.对目前通用的一些 CAN 相关的控制芯片、器件的介绍（重点介绍 SJA1000 和 DSP 上的集成 CAN 接口）；3.CAN 系统的组成；4.具体的 CAN 接口模块的设计；5.应用介绍。

本书是由中国科学技术大学自动化系嵌入式网络控制系统实验室的同志们编写的。其中第 3 章由张培仁教授执笔；陈真勇老师撰写了第 1 章、第 5 章以及第 9 章的第 2 节，并且在软件调试方面作了大量的工作；孙辉教授负责第 4 章的写作工作；史久根博士撰写了第 2 章、第 6 章、第 7 章、第 8 章、第 9 章的其他部分以及第 10 章。感谢张培仁教授对全书整体设计方面给予的悉心指导，同时也对中国科技大学自动化系孙珊珊、孙宁同学在资料调研方面所作的工作表示感谢。

由于时间仓促，书中难免有不足之处，欢迎读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 现场总线概述	1
1.1 计算机网络和局域网	1
1.1.1 计算机网络概述	1
1.1.2 计算机网络体系结构	5
1.1.3 局域网概述	6
1.1.4 局域网的有关协议	8
1.2 通信网络和现场总线	9
1.2.1 通信网络概述	9
1.2.2 通信网络的特性	9
1.2.3 现场总线的概念	10
1.2.4 现场总线的发展现状及应用	11
1.3 几种现场总线的介绍及其性能的比较	13
1.3.1 几种现场总线的介绍	13
1.3.2 6 种著名现场总线的性能比较	15
1.3.3 现场总线的应用领域	17
1.4 小结	18
第 2 章 CAN 总线的概念及其相关的协议	20
2.1 CAN 总线的概念	20
2.2 CAN 的特点	21
2.3 CAN 的分层结构和通信协议	22
2.3.1 CAN 的分层结构	22
2.3.2 CAN 的通信协议	23
2.4 CAN 报文的帧结构	24
2.4.1 CAN 报文的帧类型	24
2.4.2 CAN 报文的帧格式	26
2.5 位定时与位同步	28
2.5.1 位定时与位同步的概念及原理简述	28
2.5.2 位定时与位同步的作用	30
2.6 CAN 的位仲裁技术	32
2.6.1 位仲裁技术及其原理概述	32
2.6.2 位仲裁的作用	33
2.7 CAN 的报文滤波技术	34

2.7.1	报文滤波的原理及其用途	34
2.7.2	单滤波技术	34
2.7.3	双滤波技术	36
2.8	有关 CAN 总线的通信错误及其处理	37
2.8.1	CAN 总线的通信错误成因及其状态描述	37
2.8.2	错误检测及处理	38
2.9	小结	39
第 3 章	CAN 总线系统的结构原理	41
3.1	CAN 总线系统的构成	41
3.2	CAN 总线系统的节点	42
3.2.1	节点的概念	42
3.2.2	节点的组成	42
3.3	CAN 总线系统的拓扑结构	43
3.3.1	基于 CAN 的拓扑概念	43
3.3.2	常用的 CAN 总线系统的拓扑结构	43
3.4	基于 CAN 总线构建复杂拓扑结构的工业控制系统	45
3.5	CAN 总线系统的通信方式	46
3.5.1	多主式结构	46
3.5.2	主从式结构	47
3.6	小结	47
第 4 章	CAN 网络控制器及相关芯片	48
4.1	CAN 总线收发器 PCA82C250/PCA82C251	49
4.1.1	简介	49
4.1.2	结构和功能	49
4.1.3	工作模式	50
4.2	独立的控制芯片 SJA1000 及其使用	51
4.2.1	SJA1000 简介	51
4.2.2	主要端口说明	53
4.2.3	Basic CAN 模式	54
4.2.4	Peli CAN 模式	55
4.2.5	波特率的设置	64
4.3	带有 CAN 接口的芯片 DSP2407 及其使用	66
4.3.1	DSP240XA 系列的描述	66
4.3.2	TMS320LF240XA 系列 DSP 的特点	67
4.3.3	与 CAN 接口的模块	69
4.3.4	编程介绍	71
4.4	小结	76
第 5 章	开发 CAN 模块的单片机及 C51 编程语言基础	77
5.1	8051 单片机系列	77

5.2	8051 单片机的引脚描述	78
5.3	8051 的存储空间	80
5.3.1	程序存储器	80
5.3.2	数据存储器	80
5.3.3	专用寄存器	81
5.3.4	8051 的控制寄存器	83
5.4	看门狗	86
5.5	C51 程序设计	89
5.5.1	关键字	90
5.5.2	存储区域	90
5.5.3	存储模式	93
5.5.4	存储类型	93
5.5.5	数据类型	94
5.5.6	绝对变量定位	99
5.5.7	指针	100
5.5.8	函数	112
5.6	小结	121
第 6 章	最小的 CAN 通信系统	122
6.1	CAN-EPP 接口设计与实现	122
6.1.1	EPP 的概念	122
6.1.2	EPP 并行口结构及引脚定义	123
6.1.3	并行口逻辑	124
6.1.4	EPP 和 CAN 的连接	124
6.1.5	SJA1000 读/写逻辑的设置	125
6.2	底层模块的设计与实现	127
6.2.1	CAN 控制器 SJA1000 的连接	128
6.2.2	模块地址以及通信波特率设置电路	130
6.2.3	电源	130
6.3	应用层协议的定义	131
6.4	最小 CAN 系统模块的软件设计	133
6.4.1	电路描述文件	133
6.4.2	软件延时	134
6.4.3	看门狗	136
6.4.4	CAN 控制器 SJA1000 的编程	139
6.4.5	模块主函数	143
6.4.6	文件的编译和程序的烧写方法	146
6.5	通信系统的调试	147
6.5.1	系统的连接	147
6.5.2	调试软件 (Windows 版)	147

6.5.3	调试软件 (Linux 版)	163
6.6	小结	182
第 7 章	CAN 接口模块的设计	183
7.1	模拟量输入模块 (AD7703)	183
7.1.1	芯片介绍	183
7.1.2	硬件构成	187
7.1.3	AD7703 编程	189
7.2	模拟量输入模块 (AD7710)	197
7.2.1	芯片介绍	197
7.2.2	硬件构成	201
7.2.3	AD7710 编程	203
7.3	开关量输入模块	211
7.3.1	芯片介绍	211
7.3.2	硬件构成	212
7.3.3	软件构成	213
7.4	计数器输入模块	217
7.5	模拟量输出模块	222
7.5.1	芯片介绍	222
7.5.2	电路设计	224
7.5.3	软件编程	225
7.6	开关量输出模块, 继电器输出模块	227
7.6.1	电路设计	227
7.6.2	软件编程	228
7.7	控制模块	230
7.7.1	硬件构成	230
7.7.2	软件设计	232
7.8	小结	239
第 8 章	应用介绍——陶瓷辊道窑 CAN 总线监控系统的设计与实现	240
8.1	陶瓷辊道窑 CAN 总线监控系统	240
8.1.1	陶瓷辊道窑	240
8.1.2	陶瓷烧成的烧成制度	241
8.1.3	陶瓷辊道窑控制系统	242
8.1.4	选择 CAN 现场总线控制系统方案的优势	243
8.2	CAN 现场总线控制系统的组成结构	243
8.2.1	控制系统的结构	243
8.2.2	通信系统的组成结构	245
8.3	系统程序结构	246
8.4	小结	249
第 9 章	CAN 应用层协议	250

9.1	CAN 基本协议的应用	250
9.1.1	CAN 基本协议及其应用	250
9.1.2	基本协议的扩展	250
9.2	CAN 应用层协议——CANopen	251
9.2.1	概述	251
9.2.2	CAL (CAN Application Layer)	252
9.2.3	CANopen 协议介绍	253
9.2.4	对象字典	253
9.2.5	CANopen 通信模型	254
9.2.6	预定义的连接设置	258
9.2.7	设备模型	260
9.2.8	位定时(Bit Timing)	260
9.2.9	CANopen 消息格式	262
9.2.10	附录	264
9.3	DeviceNet	267
9.3.1	概述	267
9.3.2	物理层规范	268
9.3.3	数据链路层	269
9.3.4	DeviceNet 的网络通信	269
9.3.5	DeviceNet 对象模型	272
9.3.6	设备描述 (Profile) 和 EDS	274
9.4	SAE J1939	274
9.4.1	CAN 2.0B 扩展帧结构	274
9.4.2	SAE J1939 编码定义规则	275
9.5	小结	277
第 10 章	CAN 总线实时性研究以及实时性解决方案	278
10.1	CAN 总线系统的信息帧队列	278
10.2	CAN 信息帧的最坏传送时间	279
10.2.1	正常情况下, CAN 协议帧的传送时间	280
10.2.2	考虑到 CAN 的错误处理机制时 CAN 协议帧传送时间的计算	282
10.2.3	位插入技术对传送时间的影响	282
10.2.4	远程请求帧传送时间的计算	283
10.3	CAN 信息帧的平均传送时延	284
10.3.1	一般非抢占式 M/G/1 优先级队列的时延	284
10.3.2	CAN 报文的传输时延	287
10.4	CAN 实时性的解决方案	288
10.5	改进的时分解决方案	289
10.6	运用优先级晋升的信息调度方案	293
10.6.1	CAN 协议帧的标识和其优先级的分离	293

10.6.2 利用协议帧优先级晋升算法来重新分配总线带宽	293
10.6.3 优先级晋升算法及其基于 CAN 网络控制器芯片的算法实现	294
10.7 小结	295
附录	296
参考文献	298

第 1 章 现场总线概述

1.1 计算机网络和局域网

1.1.1 计算机网络概述

在 21 世纪的今天,世界经济正从工业经济向知识经济转变,知识已经逐步成为支持一个国家经济的主导力量。知识数字化、网络化、全球化的呼声日益高涨,使得计算机、网络、通信等技术获得不断发展,特别是 20 世纪 90 年代以来,以 Internet 为代表的计算机网络获得了飞速的发展。毫不夸张地说,计算机网络正逐步渗透到我们工作和生活的每一个领域,并给我们的生活带来了翻天覆地的变化。

简单地说,计算机网络就是把多种形式的计算机用通信线路连接起来,并使其能够相互进行信息交换的系统。随着社会的发展和科技的进步,人们对信息应用的要求越来越高,单台计算机和独立的计算机群已不能满足这种需求,计算机之间需要交换信息,共享资源。这就要求把单台计算机、独立的计算机群和一些网络通信设备用传输媒体连接在一起,并附以网络运行所需要的各种软件,形成一个网络体系。实际上,计算机网络包括了计算机、各种硬件、各种软件、组成网络的体系结构、网络传输介质和网络通信技术。因此,计算机网络是计算机与通信技术相结合的产物。

世界上的第一台数字电子计算机诞生于 1946 年。在发明之初,计算机和通信并没有什么联系,它只是用于处理大量的数据。但是,在 1954 年,人们通过一种叫做收发器(Transceiver)的终端,可以将穿孔卡片上的数据通过电话线发送到远方的一台计算机上,从而实现了计算机和网络的结合。

下面我们来了解一下计算机网络的发展过程与技术演变。

1. 以单计算机为中心的联机网络

为了适应计算机和远程终端的连接,出现了线路控制器(Line Controller)。在通信线路的两端还必须各加上一个调制解调器,才能实现计算机使用的数字信号和电话线上传输的数字信号之间的转换。为了避免一台计算机使用多个线路控制器,在 20 世纪 60 年代出现了可以和许多个远程终端相连接的多重线路控制器(Multiline Controller)。这种最简单的联机系统也称为面向终端的计算机通信网,是计算机网络的最初形式。在这种以单计算机为中心的联机终端网络中,计算机是网络的中心和控制者,终端围绕中心分布在各处,计算机的任务也还是进行成批处理。一台主机连接着若干台终端,终端一般不具有 CPU,没有处理能力。各终端为了共享主机的硬、软件资源和进行信息的采集及综合处理,通常采取通信线路的连接来实现。

在以单计算机为中心的联机网络中,已涉及到了数据传输和数据交换等通信技术。

从技术上看，已由单用户独占一个系统发展到分时多用户系统。这种方式的网络存在的缺点主要是：第一，主机负荷太重。既要担负通信工作，又要完成数据处理，网络的效率不高。第二，通信线路的利用率低且费用高。分散的终端都要占用一条独立的通信线路，当没有数据进行通信时，造成了线路浪费，尤其是在远距离通信时。第三，网络的结构为集中控制方式，网络系统的可靠性低。为了提高通信线路的利用率并减轻主机的负担，应使用多点通信线路、集中器或前端处理机。

为了解决主机负荷过重的问题，人们认识到应该设计一种硬件结构的设备来完成数据通信的任务，这就导致了具有较多智能的通信处理机的出现。通信处理机也称为前端处理机（Front End Processor, FEP），有时也可简称为前端机。前端处理机分工完成全部的通信任务，而让主机（即原来的计算机）专门进行数据的处理，这样就大大提高了主机进行数据处理的效率。

为了节省通信费用，可在远程终端较密集处加一个集中器（Concentrator）。集中器的一端用多条低速线路与各终端相连，其另一端则用一条较高速率的线路与计算机相连接。由于集中器不是简单的多路复用器而是一个智能复用器，它可以利用一些终端的空闲时间来传送其他处于工作状态的终端的数据。这样，与计算机相连的高速线路的容量就可以小于与终端相连的低速线路的容量的总和，从而明显地降低了通信线路的费用。

这种计算机网络最初形式的结构如图 1.1 所示。

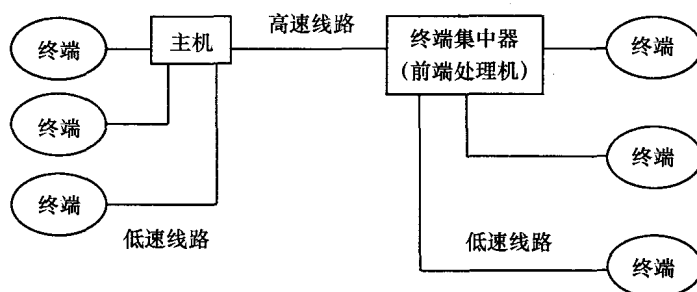


图 1.1 使用终端集中器的单主机系统

2. 以多处理机为中心的网络

大约在 20 世纪 60 年代~70 年代，随着计算机技术和通信技术的发展，利用通信线路把多个单主机联机的终端网络互联起来，形成以多处理机为中心的网络，为用户提供服务。

这个时期的网络主要有两种形式。

第一种形式是通过通信线路将各主机连接起来，主机承担数据处理和通信的双重任务，其结构如图 1.2 所示。

第二种形式是把通信系统从主机当中分离出来，设置专用的通信控制处理机（Communication Control Processor, CCP），主机间的通信通过通信控制处理机的中继功能间接进行，其具体结构如图 1.3 所示。

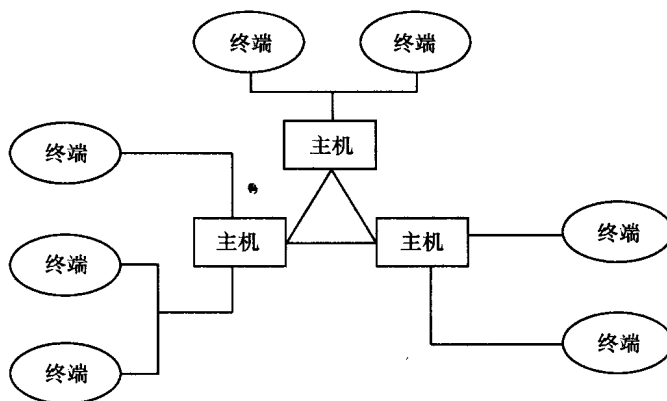


图 1.2 主机直接互联的网络

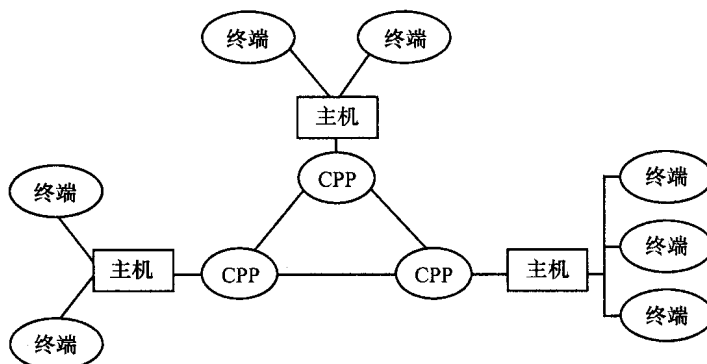


图 1.3 通过 CPP 连接的网络

通信控制处理机承担网上各主机间的通信控制和通信处理任务，由它们组成的通信子网，称为网络的内层或骨架层，是网络的重要组成部分；网络上的主机负责数据处理，是网络资源的拥有者，它们组成网络的资源子网，是网络的外层。通信子网为资源子网提供信息传输服务，资源子网上的用户之间的通信是建立在通信子网的基础之上的。没有通信子网，网络是不能工作的；反过来，没有了资源子网，通信子网的存在也就没有了意义；只有通信子网和资源子网的结合才能组成统一的资源共享的网络。因此，任何现代意义上的计算机网络必然包含通信子网和资源子网这两层结构。

3. 利用公用数据通信网组成的计算机网络

如果将通信子网的规模进一步扩大，利用社会公用数据通信网将组成广域网，特别是可组成国家级的或全球性的计算机网络。这种网络允许各种类型的计算机和不同结构的计算机网络之间进行联网，即异种机入网。它兼容性能优良，通信线路利用率高。此时，终端的概念也扩展了，它包含了独立的计算机系统，称为工作站，联网的范围也已扩大到了局域网，并且实现了网络体系结构的标准化，制定了“开放系统互联参考模型 (Open System Interconnection, OSI)”作为国际标准。OSI 规定了可以互联的计算机系统及计算机网络之间的通信协议。全球性的因特网(Internet)就是这种形式的计算机网络，它是计算机网络中应用各种技术和联网设备最为复杂的一种形式。

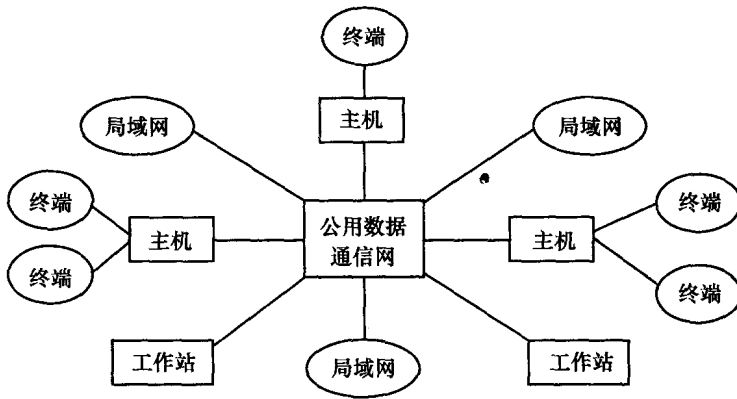


图 1.4 由公用数据网组成的广域计算机网

随着电子技术和计算机技术的发展，信息传递手段已由电话网、电报网发展到数据通信网和计算机网。在计算机网中，计算机技术和通信技术融为一体，互相渗透，使信息的收集、传输、存储及处理更加综合化。

计算机数据通信网的关键技术是信息交换技术，它经历了电路交换、报文交换和分组交换的演变过程。电路交换原理与普通电话交换网的交换方式类似，信息交换时独占线路，线路利用率低，但在传输速度和传输质量上要比普通电话交换高很多。报文交换的原理是将整个信息包作为一个报文，并在到达某个站点后先存储起来，当有合适的线路时再转发出去。它的优点是线路利用率高，缺点是数据传输延时加长了，实时性较差。分组交换是报文交换的发展，它的核心是将报文先进行分组然后再进行交换，发送方将信息或文本分组后在网上传送，接收方将收到的分组重新组装成原来的信息，同一条线路上能够传输来自多台计算机的不同分组，同一时刻许多分组在网上流动，因此传输线路的利用率非常高。这样，既保留了报文交换的优点，又具有差错少、信息流量大、交换效率高、延时小及网络总体成本低等诸多优点，因此分组交换是较为理想的交换技术，它奠定了现代计算机网络“存储—转发”的基础。

20 世纪 80 年代，数据通信进入了局域网时代。这一时期的最大特点是微处理器的高速发展。个人计算机得到广泛使用，并有了相互间进行通信的要求，使局域网迅速发展起来。局域网解决了一定范围内对信息交换的需求。同时，由于局域网信息交换规范和接口技术做到了标准化，局域网得到迅速发展，并加速了局域网之间的互联，促进了远程网的发展。

进入 20 世纪 90 年代，传统文字和数字已不能完全满足社会各方面的需要，声音、图形、甚至动态影像的传输都要求达到实时化，仅靠原有的网络通信技术已不能实现。为此单独建立新的通信网络不仅造成浪费而且也难于管理，于是综合业务数字网(Integrated Services Digital Network, ISDN)产生了，它是用一个网来适应所有业务发展的需要，将各种业务信号都数字化，然后通过一个网络进行交换处理。ISDN 不但经济，而且管理方便，它一出现就得到社会各界的极大重视，显示出强大的生命力并获得飞速地发展。

20 世纪 90 年代，计算机通信网络技术的另一突出成就是因特网(Internet)的迅速成长。因特网是全球范围内的广域计算机通信网络，它使处在世界各个地域的人们通过网络获取所需要的各种信息资料，打破了国别和地域的界限。

1.1.2 计算机网络体系结构

在计算机网络的基本概念中，最基本的就是分层次的体系结构。

在计算机网络中要做到有条不紊地交换数据，就必须遵循一些事先约定好的规则，这些规则明确规定了所交换的数据的格式以及有关的同步问题。这些为进行网络中的数据交换而建立的规则、标准或约定称为网络协议。具体说来，一个网络协议主要由以下 3 个要素组成：

- ① 语法，是指数据与控制信息的结构或格式；
- ② 语义，即需要发出何种控制信息，完成何种动作以及做出何种应答；
- ③ 同步，事件实现顺序的详细说明。

协议是计算机网络中不可缺少的组成部分。

接口是为两个分开的系统、设备或部件进行通信服务的，它是数据流要穿越的界面。接口的类型可以是硬件，也可以是软件。

我们将计算机网络的各层次及其协议的集合称为网络的体系结构（Architecture）。也就是说，计算机网络的体系结构是这个计算机网络及其部件所应完成的功能的精确定义。但是，这些功能究竟是用何种硬件或软件完成的，则是一个遵循这种体系结构的实现（Implementation）的问题。总之，体系结构是抽象的，而实现则是具体的，是真正在运行的计算机硬件和软件。

在计算机网络的层次划分上，OSI 的七层协议体系结构虽然既复杂又不实用，但优点是概念清楚。TCP/IP 的协议得到了全世界的承认，但是实际上它并没有一个完整的体系结构。因此我们学习的时候应该综合 OSI 和 TCP/IP 各自的优点。本书采用的是原理体系结构，它只有五层，既简明又易于将概念阐述清楚，网络的原理体系结构如图 1.5 所示。

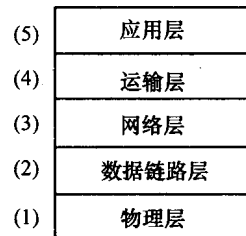


图 1.5 网络的原理体系结构

下面我们简单地介绍一下各层的主要功能。

① 物理层 物理层的任务就是透明地传送比特流。物理层上传输数据的单位是比特。这里需要说明的是，传递信息所用的物理媒体，如双绞线、电缆等，并不包含在物理层之内，而是在物理层的下面。

② 数据链路层 数据链路层的任务是在两个相邻节点间的线路上无差错的传输以帧（Frame）为单位的数据。帧的内容包括数据和必要的控制信息。传送数据时，如果接收节点检测到接收到的数据中有错误，就会要求发送节点重发这一帧，直到这一帧没有错误的到达接收节点为止。这样，数据链路层就把一条实际可能出错的链路转变成对网络层来说好像是不错的一条链路。

③ 网络层 在网络层，数据的传送单位是分组或包。网络层的任务就是要选择合适的路由，使发送站的运输层所传下来的分组能够正确无误的按照地址找到目的站，并交付给目的站的运输层。这也就是我们所说的网络层的寻址功能。

④ 运输层 在运输层，信息传送的单位是报文。运输层的任务是根据下面通信子网的特性，最佳的利用网络资源，并以可靠的和经济的方式为源站和目的站之间的进程建

立起一条运输连接，以透明的传送报文。或者说，运输层向上一层进行通信的两个进程之间提供一个可靠的端到端的服务，使它们看不见运输层以下的数据通信的细节。在通信子网内的各个交换节点以及连接各通信子网的路由器上，都没有运输层。运输层只能存在于通信子网外面的主机之中。运输层以上的各层就不再关心信息传输的问题了。正因为如此，运输层就成为计算机网络体系结构中非常重要的一层。

⑤ 应用层 应用层是原理体系结构中的最高层。应用层确定进程之间通信的性质以满足用户的要求。应用层不仅要提供应用进程所需要的信息交换和远地操作，而且还要作为互相作用的应用进程的用户代理，来完成一些为进行语义上有意义的信息交换所必须的功能。应用层直接为用户的应用进程提供服务。需要注意的是，应用层协议并不是解决用户各种具体应用的协议。

图 1.6 所示的是计算机 1 的应用进程 AP1 向计算机 2 的应用进程 AP2 传送数据。AP1 先将其数据交给第五层。第五层加上必要的控制信息 H_5 就变成了下一层的数据单元。第四层收到这个数据单元以后，加上本层的控制信息 H_4 ，再交给第三层，成为第三层的数据单元，依此类推。需要注意的是，到了第二层，也就是数据链路层以后，控制信息分成两部分，分别加到本层数据单元的首部 (H_2) 和尾部 (T_2)，而第一层（物理层）由于是比特流的传送，所以不再加上控制信息。

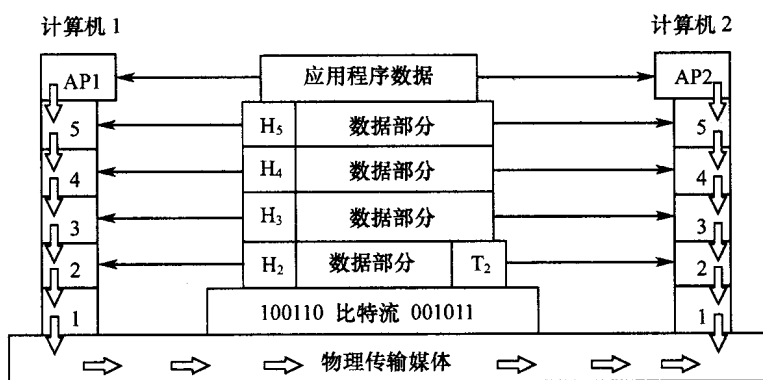


图 1.6 数据的传输过程

可以用一个简单的例子来比喻上述过程。有一封信从最高层向下传。每经过一层就包上一个新的信封。包有多个信封的信传送到目的站以后，从第一层开始，每层拆开一个信封后就交给它的上一层。传到最高层后，取出发信人所发送的信息交给收信用户。

虽然应用进程数据要经过如图 1.6 所示的复杂过程才能送到对方的应用进程，但是这些复杂的过程对用户来说已经被屏蔽掉了。所以对于进程 AP1 来说，好像是直接把数据交给了应用进程 AP2。同样的，任何两个同样的层次之间，也好像是将数据通过水平的直线直接传递给对方。这就是所谓的“对等层 (Peer Layer)”之间的通信。我们以前经常提到的各层协议，其实就是在各个对等层之间传递数据时的各项规定。

1.1.3 局域网概述

从 20 世纪 70 年代至今，随着计算机的广泛应用，局域网 (Local Area Network, LAN)

技术得到了飞速发展，在计算机网络中起到越来越重要的作用。下面我们简单地介绍一下局域网的基本特点。

局域网简称 LAN，是同一建筑、同一学校或几千米范围内的专用网络。局域网常用于连接商业机构、办公室、学校各个部门里的工作站或个人计算机。局域网以实现资源共享、信息交换为主要目标。局域网的典型代表是以太网。现在，世界上每天都有成千上万个局域网在运行，数量大大超过广域网。局域网具有与其他网络不同的 3 个特征：(1)范围；(2)传输技术；(3)拓扑结构。

LAN 的覆盖范围相对较小，其两端点间的传输时间是有限的，并且可以预先知道传输的时间。LAN 通常应用这样的传输技术，即用一条电缆连接所有的计算机。传统的 LAN 的传输速率为 10Mb/s~100Mb/s，传输延迟小(几十毫秒)，并且出错率低。新的 LAN 的传输速率更高，可达到数百兆甚至上千兆比特每秒的传输量。

局域网通常按照网络拓扑结构进行分类。图 1.7(a)为星形网，它是集中控制的。近年来由于集线器 (Hub) 的出现和双绞线的大量应用，星形网以及多级结构的星形网获得了广泛地应用。图 1.7(b)为环形网，其中最典型的是令牌环网 (Token Ring)，它又被称为令牌环。图 1.7(c)为总线网，各站直接连在总线上。在总线型网络中，任意时刻只有一台计算机是主站的身份并可进行发送，而其他机器则不能发送。当两台或更多的计算机想要发送信息时，需要一种仲裁机制来解决冲突。总线网可以使用两种协议，一种是以以太网使用的 CSMA/CD 协议，另一种是令牌传递总线协议。后一种方法综合了令牌环和总线网的优点，即对物理上的总线网，通过协议使它在逻辑上相当于一个令牌环。图 1.7(d)是树形网，它是总线网的变型，属于使用广播信道的网络，主要用于频分复用的宽带局域网。

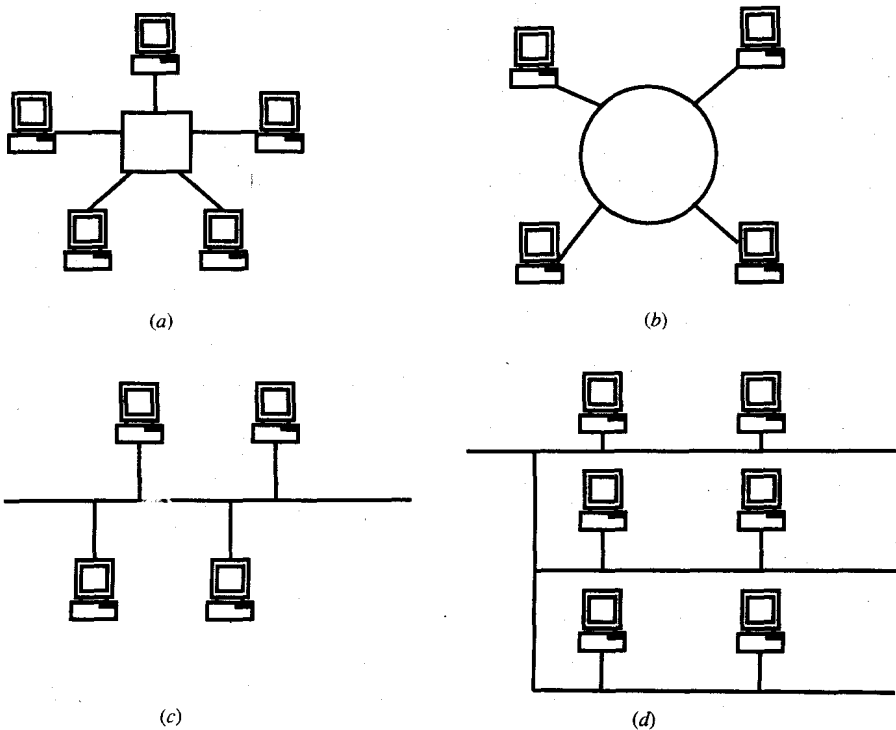


图 1.7 局域网的拓扑结构

(a)星形网；(b)环形网；(c)总线网；(d)树形网。