

普通高等学校计算机专业系列教材



数据通信

郭亚军 章必雄 主编

华中科技大学出版社
<http://press.hust.edu.cn>

普通高等学校计算机专业系列教材

数 据 通 信

主 编 郭亚军 章必雄
副主编 陈先桥 郭羽成 林 珊

华中科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

数据通信/郭亚军 章必雄 主编

武汉:华中科技大学出版社,2005年8月

ISBN 7-5609-3463-3

I. 数…

II. ①郭… ②章…

III. 数据通信-高等学校-教材

IV. TN919

数据通信

郭亚军 章必雄 主编

责任编辑:谢燕群

封面设计:潘 群

责任校对:吴 晗

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:华中科技大学惠友文印中心

印 刷:湖北恒泰印务有限公司

开本:787×960 1/16

印张:16

字数:282 000

版次:2005年8月第1版

印次:2005年8月第1次印刷

定价:22.80元

ISBN 7-5609-3463-3/TN·89

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内 容 简 介

本书系统地论述了数据通信的基本原理以及关键技术,同时也介绍了数据通信的最新技术和应用。全书共分8章,包括了数据通信的基础知识、数据编码与调制、数据通信接口、数据复用技术、检错纠错编码、数据链路控制技术以及数据交换技术等方面的内容。

为了让读者充分理解每一章节内容以及它们之间的联系,每一章都设有“本章导读”和“知识要点”,并配有大量的习题,在附录里还给出了数据通信术语及其详细解释和部分习题的参考答案。

本书层次分明,内容详实,论述严谨,具有系统性、新颖性以及可读性等特点,便于教学和自学,适合作为计算机、电信等非通信专业本科生的教科书,对于通信专业学生和从事通信方面工作的工程技术人员也是一本很有价值的参考读物。

前 言

数据通信涉及许多复杂的概念和技术。为了处理这种复杂性,本书从两个方面让读者“看透”数据通信。一是让读者了解数据通信系统的基本构成以及这些组成部分在数据通信系统中的作用,了解数据通信这门课的外貌;二是让读者透过数据通信的复杂性来了解每一个组成部分是如何完成其任务的,从而真正理解数据通信的内部与结构。

本书系统地论述了数据通信的基本原理以及关键技术,同时也介绍了数据通信最新的技术和应用。全书共分8章,包括了数据通信的基础知识、数据编码与调制、数据通信接口、数据复用技术、检错纠错编码、数据链路控制技术以及数据交换技术等方面的内容。

本书充分体现以读者为中心的思想。为了让读者充分理解每一章节内容以及它们之间的联系,每一章设有“本章导读”和“知识要点”,并配有大量的习题,在附录里还给出了数据通信术语及其详细解释和部分习题的参考答案。

本书的宗旨是向读者通俗地、系统地介绍数据通信的基本原理与关键技术。为了方便教师授课,我们还专门为本书配备了课件以及本书习题的全部参考答案。

本书适合作为计算机、电信等非通信专业本科生的教科书,对于通信专业学生和从事通信方面工作的工程技术人员也是一本很有价值的参考读物。

在编写本书的过程中得到了许多同行的热情帮助和支持,在此一并表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,书中难免有不足之处,敬请读者提出宝贵意见。作者电子邮箱地址:yj.guo@mail.ccnu.edu.cn。

郭亚军

2005年7月于华中师范大学

目 录

第 1 章 引言	(1)
1.1 数据通信	(1)
1.2 数据通信模型	(2)
1.3 协议	(3)
1.3 数据通信基本概念	(4)
1.3.1 信道	(4)
1.3.2 延时	(4)
1.3.3 传输系统	(5)
1.3.4 传输模式	(7)
1.4 标准化组织	(9)
1.5 本书的结构	(10)
1.6 关键词	(11)
1.7 知识要点	(12)
习题	(12)
第 2 章 传输媒体	(14)
2.1 导向传输媒体	(15)
2.1.1 双绞线	(15)
2.1.2 同轴电缆	(17)
2.1.3 光纤	(18)
2.2 非导向传输媒体	(20)
2.2.1 无线传输	(21)
2.2.2 无线传播	(23)
2.3 传输损耗	(25)
2.3.1 衰减和衰减失真	(25)
2.3.2 延时失真	(25)
2.3.3 噪声	(25)
2.4 信道容量	(26)
2.4.1 数字信道的信道容量	(26)
2.4.2 模拟信道的信道容量	(26)

2.5	关键词	(27)
2.6	知识要点	(27)
	习题	(28)
第3章	数据编码与调制	(31)
3.1	数据与信号	(32)
3.2	模/数转换	(33)
3.2.1	采样	(33)
3.2.2	脉冲编码调制	(34)
3.2.3	增量调制	(36)
3.2.4	增量脉码调制(DPCM)	(38)
3.3	数字基带传输编码	(38)
3.3.1	不归零码	(39)
3.3.2	多电平二进制	(41)
3.3.3	双相位	(41)
3.3.4	数据率与调制率	(43)
3.3.5	扰码技术	(43)
3.4	模拟调制	(45)
3.4.1	调幅	(45)
3.4.2	角度调制	(51)
3.5	数字调制	(57)
3.5.1	二进制数字调制	(57)
3.5.2	近代多进制数字调制	(60)
3.5.3	扩频	(63)
3.5.4	正交频分复用	(65)
3.6	关键词	(66)
3.7	知识要点	(67)
	习题	(69)
第4章	数据通信接口	(73)
4.1	传输模式	(73)
4.1.1	串行和并行传输	(74)
4.1.2	异步传输和同步传输	(75)
4.1.3	单工、半双工和全双工通信	(78)
4.2	接口标准	(80)
4.2.1	RS-232 接口	(81)

4.2.2 RS-422 标准	(86)
4.2.3 RS-485 标准	(88)
4.2.4 USB 接口	(93)
4.3 关键词	(101)
4.4 知识要点	(102)
习题	(103)
第 5 章 复用	(107)
5.1 频分复用	(108)
5.2 时分复用	(110)
5.2.1 同步时分复用	(111)
5.2.2 异步时分复用	(114)
5.3 波分复用	(118)
5.4 码分多址	(121)
5.5 关键词	(126)
5.6 知识要点	(127)
习题	(128)
第 6 章 差错控制编码	(131)
6.1 差错类型和差错控制方式	(131)
6.2 差错控制编码分类	(136)
6.3 检错和纠错的基本原理	(137)
6.4 常用简单检错码	(139)
6.4.1 奇偶校验码	(140)
6.4.2 群计数和水平群计数	(144)
6.4.3 恒比码	(144)
6.5 线性分组码	(146)
6.5.1 基本概念	(146)
6.5.2 监督矩阵	(148)
6.5.3 生成矩阵	(149)
6.5.4 校正子	(150)
6.5.5 汉明码	(151)
6.5.6 循环码	(151)
6.5.7 BCH 码	(160)
6.5.8 法尔码	(160)
6.5.9 RS 码	(161)

6.6	卷积码	(161)
6.7	关键词	(163)
6.8	知识要点	(163)
	习题	(164)
第7章	数据链路控制	(167)
7.1	流量控制	(167)
7.1.1	停-等协议	(168)
7.1.2	滑动窗口的概念	(171)
7.1.3	一位滑动窗口协议	(174)
7.1.4	全部重发流水线协议	(175)
7.1.5	选择重发流水线协议	(176)
7.1.6	窗口最大尺寸的确定	(176)
7.2	差错控制	(177)
7.2.1	停止等待 ARQ	(178)
7.2.2	返回 N ARQ	(179)
7.2.3	选择重传 ARQ	(181)
7.3	HDLC 协议	(181)
7.3.1	HDLC 协议规程的特点	(182)
7.3.2	HDLC 协议的基本概念	(182)
7.3.3	帧结构	(184)
7.3.4	控制字段和参数	(187)
7.3.5	HDLC 协议的运行	(190)
7.4	其他数据链路控制协议	(194)
7.4.1	LAPB 协议	(194)
7.4.2	LAPD 协议	(194)
7.4.3	LLC 协议	(195)
7.4.4	帧中继	(196)
7.4.5	异步传输模式(ATM)	(196)
7.5	关键词	(196)
7.6	知识要点	(197)
	习题	(198)
第8章	数据交换	(202)
8.1	电路交换	(202)
8.1.1	电路交换的概念	(203)

8.1.2 电路交换网	(204)
8.1.3 电路交换的优缺点	(205)
8.2 分组交换	(206)
8.2.1 数据报	(207)
8.2.2 虚电路	(207)
8.2.3 虚电路方式与数据报方式的比较	(210)
8.3 帧中继	(210)
8.3.1 帧中继的层次	(210)
8.3.2 帧中继的操作	(212)
8.4 异步传输模式	(213)
8.4.1 ATM 的主要特点	(214)
8.4.2 ATM 协议体系结构	(215)
8.4.3 ATM 协议的逻辑连接	(216)
8.4.4 ATM 适配层	(216)
8.4.5 ATM 层	(220)
8.4.6 物理层	(222)
8.5 关键词	(223)
8.6 知识要点	(223)
习题	(224)
附录 A 术语表	(230)
附录 B 部分习题答案	(238)
参考文献	(244)

第 1 章 引 言

本章导读

- 数据通信是计算机技术和通信技术相互渗透与结合的一种通信方式。
- 从数据通信模型可以大致了解数据通信要研究的内容。
- 协议是数据通信的一种“语言”，数据通信离不开协议。
- 数据传输需要经过一条路径，信道就是传输数据的通道。
- 延时是指将数据从通信网的一端传输到另一端所花费的时间。
- 数据通信模型中的传输系统提供数据传输的通路，它可能是直接连接的形式，也可能是一个通信网络，还可能由许多网络互相连接而成。
- 两个设备之间的数据传输具有方向性和时间性。根据这两个方面的不同，传输模式可分为单工、半双工和全双工 3 类。
- 国际标准化组织制定了数据通信的一系列标准。

通信的目的是传递和交换消息。在人类社会里，人们总是离不开消息的传递。消息传递的形式多种多样：从古代的烽火到 19 世纪出现的用电信号传送文字和语言的电报和电话通信，再到 20 世纪由计算机技术和通信技术相互渗透与结合而兴起的数据通信方式经历了各种各样的传递消息的方法。这些通信方式极大地方便了人们的工作和生活。本章主要介绍数据通信的一些基本知识，并在简单数据通信模型基础上概述本书每一章节的内在联系。

1.1 数据通信

数据是事实或观察的结果，可以是符号、文字、数字、语音、图像、视频等。在计算机系统中，数据以二进制信息单元 0、1 的形式表示。

数据通信是 20 世纪 50 年代随着计算机技术和通信技术的迅速发展，以及二者之间的相互渗透与结合而兴起的一种新的通信方式。它是计算机与通信技术相结合的产物。数据通信是指通过某种传输媒体在两个设备之间交换数据的技术。

1.2 数据通信模型

数据通信系统的基本任务是使通信双方完成数据交换。图 1-1 所示的是一个简单的数据通信系统模型,它主要由 5 个部分组成。



图 1-1 数据通信系统模型

图 1-2 所示的是常见的拨号上网的一个数据通信模型的例子,工作站和服务器的通过公用电话网进行通信。

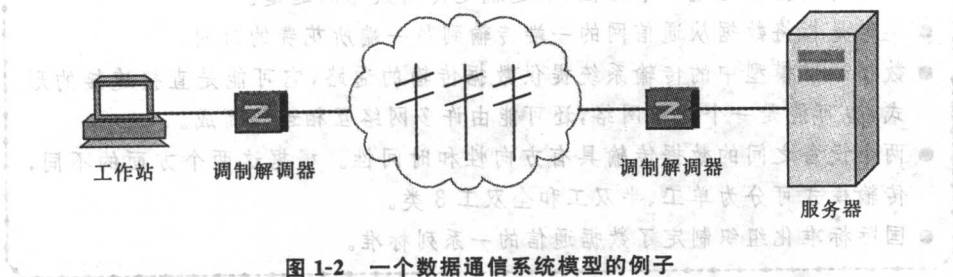


图 1-2 一个数据通信系统模型的例子

1. 源站

源站生成要传输的数据。数据可以分成两大类:一类是数字数据,另一类是模拟数据。数字数据是离散数据,如符号、文字、数字等。模拟数据是连续数据,如连续变化的语音、图像、视频等。常用的源站有电话机、摄像机、传真机、个人电脑等。

2. 发送器

源站生成的数据不能直接在传输系统中进行传输,传输系统中只能传输信号。信号是运载数据的工具。信号也可以分为两大类:模拟信号和数字信号。模拟信号是连续的,数字信号是离散的。发送器的作用是将源站产生的数据转换成适合传输系统传输的信号。具体如何转换,将在第 3 章详细介绍。在图 1-2 所示中发送器就是调制解调器,它将工作站生成的数字数据转换成适合公用电话网传输的模拟信号。

3. 传输系统

传输系统是将源站和目的站连接起来的系统。它可能是直接连接,也可能是通过一个或者多个网络系统进行连接。

4. 接收器

接收器将来自传输系统的信号(数字信号或者模拟信号)转换成目的站能够处理的数据(数字数据或者模拟数据),它与发送器进行着相反的转换。图 1-2 所示的第二个调制解调器将来自公用电话网的模拟信号转化为目的站能够处理的数字数据。

5. 目的站

目的站接收来自源站的数据。

1.3 协 议

协议即行为规则。在数据通信领域中,协议就是保证数据传输设备之间有序地交换信息的一组规则。

当两个数据处理设备进行数据交换时,它们之间一定要达成一个协议。一个协议定义了通信内容是什么,通信如何进行以及何时进行。协议与人类的语言类似。人类使用自然语言来交流信息,数据处理设备使用协议进行数据交换。协议的基本要素是语法、语义和时序。

1. 语法

语法是指数据的结构或格式,它是数据表示的顺序。例如,一个简单的协议可定义数据的前 8 位是发送端地址,第二组的 8 个比特是接收端地址,而剩下的比特就是数据本身,如图 1-3 所示。

发送端地址	接收端地址	数据
-------	-------	----

图 1-3 一个简单的协议结构

2. 语义

语义是指构成数据格式的每一部分的含义,即一个特定的比特模式该如何理解,基于这样的理解该采取怎样的动作等等。例如,一个地址指的是要经过的路由器地址还是数据的目的地址。

3. 时序

时序包括两方面的特性:数据何时发送以及以多快的速率发送。例如,若一方发送数据而另一方根本不知道对方在什么时间传输数据,则双方的通信是不能完成的,就像教师讲课时学生不到课堂,讲课不能进行一样。或者如果发送方以 100Mb/s 速率发送数据而接收方仅能处理 1Mb/s 速率的数据,这样的传输将使接收方负载过重并导致大量数据丢失。

1.3 数据通信基本概念

数据通信中有许多基本概念,理解这些基本概念有助于更好地掌握数据通信的基本知识。本章简单介绍几个常见概念。

1.3.1 信道

信道是传递信息的通道,它由发送信息的设备与接收信息的设备及传输媒体组成。具体地说,它是在传输媒体中为信号传输提供的一条通道。抽象地说,它是指允许信号通过的一段频带。信道有独占或共享两种使用方式,如图 1-4 所示。信息源和 A 以及 B 和信息源之间的信道是独占的,A 和 B 之间的信道是共享的。在数据通信中更常见的是共享信道方式。

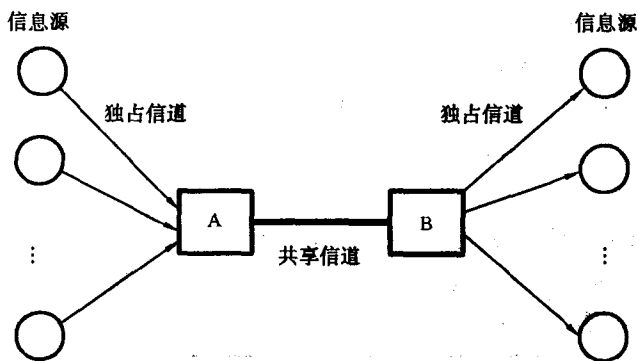


图 1-4 信道共享与独占

信道与传输媒体有紧密的关系,传输媒体提供通信双方传输信息的通道(即信道)。如果使用共享方式,则一个传输媒体可以同时提供多个信道。

一般传输媒体分为导向媒体(有线媒体,如双绞线、同轴电缆和光纤)和(无线媒体,如空气、真空和海水)两大类,信道也可分为有线信道和无线信道两大类。由于信道是信号的传输通道,故信道的特性对信号的传输有很大影响。

1.3.2 延时

延时是通信网络性能的一种度量方法。它指将数据从通信网的一端传送到另一端所花费的时间。延时由三个部分组成:传播延时、发送延时和节点延时,即

$$\text{延时} = \text{传播延时} + \text{发送延时} + \text{节点延时}$$

传播延时是指电磁波在链路上传输一比特数据所用的时间,也就是电磁波在

媒体上传播一定距离所用的时间,即

传播延时=信道长度/电磁波在媒体上的传播速度

信道长度的单位是 m,电磁波在媒体上的传播速度的单位是 m/s。

发送延时是发送一个数据单元所花费的时间,也就是把数据单元从节点发送到传输媒体所用的时间。

发送时间=数据单元的大小/发送速度

数据单元的单位是 b,发送速度的单位是 b/s。

节点延时是指节点在交换数据时完成必要的处理过程所需要的时间。如交换机的工作方式是从链路上接收一个完整的包缓存起来,然后再将分组转发到下一站。如果交换机的分组到达率大于其输出率,或者输出端口忙,交换机要用缓冲区暂时保存这些分组,因此要花费一段存储分组的时间。该时间的长短取决于网络中当时的通信量,网络的通信量越大,存储分组的时间就越长。

有时人们更关注将数据从一端传输到另一端,并返回所用的时间。这个时间称为往返时间(Round-Trip Time, RTT)。一般情况下,RTT 等于传播延迟的两倍。

1.3.3 传输系统

图 1-1 所示的传输系统可能是用下面几种连接方式之一连接的。

1. 直接链路

链路通常是指数据从一个设备传输到另一个设备的一段物理介质,中间没有其他设备。为了实现通信,两个通信设备必须以某种方式连接起来。最简单的连接方式是直接链路。直接链路主要有两种连接方式:点对点链路和多点访问链路。

(1) 点对点链路

点对点链路是指两个设备之间的直接连接,如图 1-5(a)所示。两个设备之间的媒体可能是有线的,也可能是无线的。个人用户使用调制解调器拨号上网时,电脑与调制解调器之间的连接是点对点链路。用遥控器控制电视机时,遥控器和电视机之间也建立了点对点链路。

(2) 多点访问链路

多点访问链路是指两个以上的设备共享一条链路,如图 1-5(b)所示。

2. 通信网络

一般来说,设备之间用直接连接的方式是不现实的,直接链路存在以下局限性。

① 所连接的主机数量有限。点对点链路只能连接两个通信设备,多点访问链路连接的是设备共享媒体,也不可能连接很多设备。

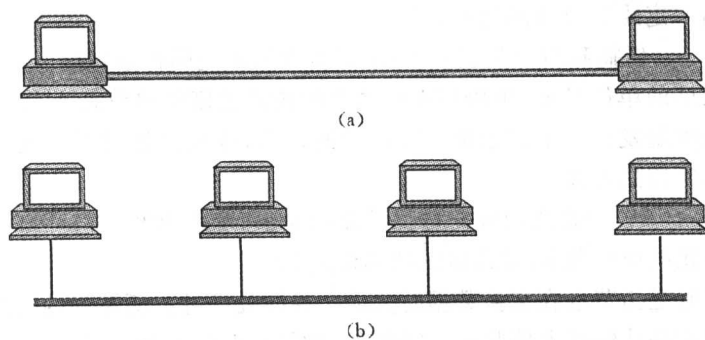


图 1-5 点对点连接与多点访问连接

② 连接的地理范围有限。如果两个设备之间的距离很远,用专线连接的花费是非常大的。

另外也不可能在所有通信设备中的每两个设备之间建立一条专门的链路,因为这样连接的结果是链路数量惊人。

解决这个问题的方法是将所有的设备连接到通信网络上,由通信网络负责对数据进行交换。图 1-6 所示的是一个通信交换网络。

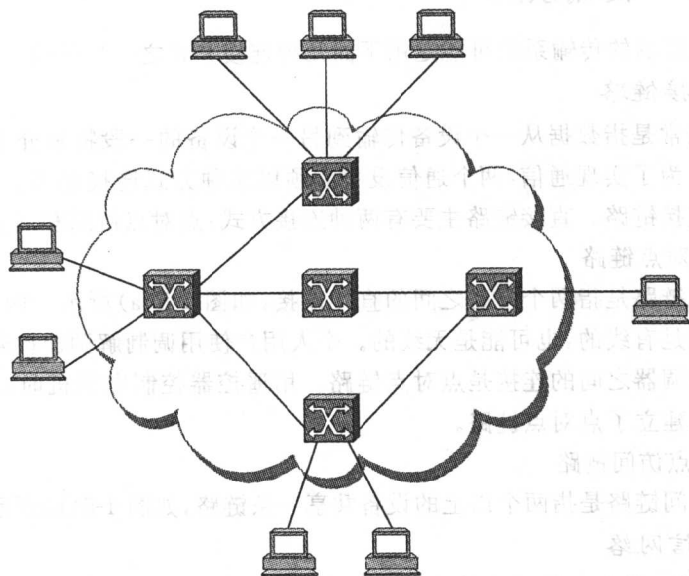


图 1-6 一个通信交换网络

在通信网络中,数据传输往往要经过若干中间节点。这些中间节点主要起到数据交换的作用,即把数据从一个节点传到另一个节点,直到数据到达目的地。这

些交换节点称为交换机。常见的交换技术有两种:电路交换和分组交换。

(1) 电路交换

电路交换就是在两个站点之间有一条专用的通信通路。这条通路是由网络节点之间的链路首尾相接形成的链路序列。在每条物理链路上都由该连接建立一条专用的逻辑信道。电路交换的效率可能非常低。在连接期间,信道的容量是专用的,即使是没有数据可传输,也不能给其他站点传输信息。对于话音连接,其利用率可能比较高。电路交换最常见的例子是电话网,在一次通话中,一旦电路建立成功,它将在这次会话过程中保持连接,因此它比较适合语音通信。但对于其他非语音数据传输的效率比较低,一般的数据通信不可能一直持续使用链路,在两次数据传输之间可能存在空闲,因此电路交换不适合数据传输。更好的方法是采用分组交换技术。

(2) 分组交换

分组交换与电路交换不同,它没有在建传输的双方之间建立一条贯穿网络的专门通道。分组交换中的数据被分割成一串小块(即分组),每个分组从一个节点经过另一个节点最后到达目的地。分组交换采用存储转发的方式,每个交换节点先通过某条链路接收一个完整的分组,并将这个分组存储起来,然后再将完整的分组转发给下一个交换节点。分组交换常用于计算机之间的通信。

3. 网络互连

在数据通信模型中,传输系统也可能是由许多独立的网络互相连接而成的。如图 1-7 所示的是由一些独立网络通过路由器连接形成的一个互连网。以小写 i 开头的 internet 称为互联(连)网,以大写 I 开头的 Internet 称为因特网。因特网是专指一个全球最大的、开放的由许多规模不等的计算机网络互相连接而成的网络,它是 1969 年由美国军方的高级研究计划局的 ARPANET 网发展起来的,主要采用 TCP/IP 协议。它是一个特定网络的专有名称。

1.3.4 传输模式

如果通信仅在两个设备之间进行,那么按信息流向与时间关系的不同,传输模式可分为单工、半双工和全双工 3 类。

1. 单工传输模式

单工传输方式就是指信息只能向一个方向传输的传输方式。一条链路中的两个站点只有一个可以进行发送,另一个只能接收,如图 1-8 所示。例如,在显示器和键盘之间进行通信时,键盘只能发送信号,显示器只能接收信号,因此它是单工传输模式。广播、电视也是单向传输模式,收音机、电视机只能分别接收来自电台、电视台的信号,不能进行相反方向的传输。