网络与通信系列丛书(二)

学苑出版社

WILEY

WILEY PROFESSIONAL COMPUTING

COMPUTER NETWORKING FOR INTERNET PROGRAMMERS

计算机网络

(适合于系统程序员)

Gerald D. Cole

WILEY SERIES IN DATA COMMUNICATIONS AND NETWORKING FOR COMPUTER PROGRAMMERS

网络与通信系列丛书(二)

COMPUTER NETWORKING FOR SYSTEMS PROGRAMMERS

计算机网络

(适合于系统程序员)

GERALD D. COLE 著

王福兰 译

高蒙 审校

学苑出版社

(京)新登字 151 号

内容提要

本书以读者具有计算机系统知识为背景，向计算机系统程序员介绍了计算机网络方面的基本概念以及网络的体系结构，着重介绍了当今网络实例、各种协议环境以及 OSI 的发展。本书在内容组织上，先简后繁，循序渐进地引出有关计算机网络方面的流控制、可靠性传输、冲突恢复、文件传输、远程注册以及其它方面的内容。内容全面，重点突出。对于初学者，尤其是计算机程序员来说，是一本很好的参考书。

需要本书的读者可与北京 8721 信箱书刊部联系。邮政编码：100080，**电话**：2562329。

版 权 声 明

网络与通信系列丛书(二)

计 算 机 网 络

(适合于系统程序员)

著　　者：GERALD D. COLE
译　　者：王福兰
审　　校：高蒙
责任编辑：陆卫民
出版发行：学苑出版社　　**邮政编码**：100036
社　　址：北京市海淀区万寿路西街 11 号
印　　刷：双青印刷厂
开　　本：787×1092　1/16
印　　张：11.25　**字数**：252 千字
印　　数：1～5000 册
版　　次：1994 年 9 月第 1 版第 1 次
ISBN7－5077－0973－6/TP・32
本册定价：19.00 元

前言

本书的目的是向计算机系统分析员、计算机系统程序员以及计算机系统工程师介绍数据通信和计算机网络有关方面的概念，其重点集中在当今网络实例以及开放系统互连(Open System Interconnection－OSI)的发展，然而，本书的内容不仅仅限于OSI，同时充分考虑了多协议方法中的开放环境。有关OSI方面的详细内容将在本系列丛书中的其它书籍中给出专门讨论。

本书主要关心的问题是工业和OSI标准的使用。因为在今天以及将来的多厂家网络中，它们处于关键的角色，所以是非常重要的。通过设备仿真，它可以避免网络中笨拙的形式以及形式上的限制，从实际上提供了真正的点对点相互通信的可能性。本书就计算机网络内容的组织上以假定读者已具有计算机系统的知识，但是尚缺计算机网络的知识为前提，所以在没有讨论有关位、字节以及缓冲等概念，而是直接强调计算机网络所涉及的内容，如流控制、可靠传输、冲突恢复、文件传输、远程注册以及其它一些网络的概念，这样可以节省读者的许多时间。

在结构上，本书先引入网络体系结构中相对简单的层的有关概念，继而，以这些概念为基础，扩展到高层协议中比较复杂的概念。内容涉及互操作性、安全性、实现事宜、移植策略以及将来的发展趋势。作者采用该方法在几所大学，如UCLA Extension，University of Southern California以及最近在Learning Tree International讲授计算机网络课程，都获得比较满意的效果。

感谢与Learning Tree International的合作，感谢他们允许作者使用在网络课程中开发的图形以及在本书中采纳这些图形。

Gerald D. Cole

目　录

第一章　概念介绍

本书向熟悉计算机系统的系统工程师、系统分析员、系统程序员提供有关数据通信及网络的知识，从而对计算机系统中增加的数据通信及网络的理解提供了一个很好的起点。

1.1　数据通信和网络

在数据通信和网络之间很难定义一个确切的界限。数据通信倾向于描述低级数据传送，通常是通过点对点的线路从一台计算机将数据传送到另一台计算机上。相反，计算机网络描述有关交换系统和使系统能互相协作的高级事宜。

也许可以认为数据通信就是从一个计算机环境将数据位或数据字节传输到另一个计算机环境，与使用软盘传输数据相比，性能大大提高。但是，计算机网络提供了互连及互相协调工作的机制，以实现网络上各种资源的共享。这些资源包括计算机、外围设备以及数据库或文件形式的数据，其最终目标是提供企业范围内的互相协调性及访问所需要的资源的能力。

在网络上以各种各样的方式提供了有效的资源。以电子邮件或广告板形式出现的电子信息，提供了交流思想的方便性，远程事务提供了数据库的及时修改，并保证分布数据的一致性。数据采集系统能实时地整理数据，以说明当前公司或企业的状况。远程文件访问则允许用户存储或使用数据信息，而不必顾及其在网络上的位置。

许多网络是包括网络上的进间程通信能力(IPC)，这些 IPC 方便地被用在完成文件传输、远程注册及电子邮件传送。另外，远程通信还可以进一步地实现对等的远程过程调用，这样的远程调用除网络传输的延时外，其形式及函数与本地的过程调用完全类似。除此之外，在一些网络上，还可以提供资源的透明访问，例如，不管是访问本地数据文件还是访问远程数据文件完全一样(透明的概念是指用户不需要知道网络的存在性，以及明确地处理网络的事务)。

数据通信和网络应用的基础是一组硬件及软件机制，一般分为两部分：

1. 硬件/软件设备，它们是网络上的组成成份。
2. 运行于 MAINFRAME 主机上或其它终端系统上的软件，这些终端系统通常被称为主机。

网络上的硬件/软件设备包括终端、多路复用器、终端访问结点、主机、前端处理器，路由器、桥以及其它的各种部件，我们先来描述终端设备。

终端可以是字符模式或页模式的。字符模式的终端一次发送一个字符，接收方的计算机为了便于处理，将这些字符组织成行的形式，而对于其它系统则是一个字符一个字符地处理。另一种模式的终端是页模式终端，在这种情况下，终端上所做的编辑只有在用户按下“传输”键，说明要做发送的情况下，才将数据发送到计算机。

许多终端都将其输出口与多路复用器(multiplexer)相连,以共享昂贵的点对点通信信道,此时在计算机一方也要安装一个同样的设备,用以将收到的信息进行分类,并把不同终端的信息分别发送到计算机的输入端口。输出信息的处理方法与输入信息的处理方法相类似。

许多终端可以通过终端集中器(terminal concentrator)实现与点对点等价的网络共享。集中器有时也称为分组装配/拆卸(Packet Assembler/Disassembler),简称为 PAD,其原因是它把一组单一的字符组装成为一个称之为信息包(Packet)为单位的方式进行传输,在接收方又将信息包拆卸为一组字符。

由 PAD 形成的消息包首先要送往称之为服务器的计算机,我们一般称之为主机(host),主机可以是从 PC 机到大型机的任何计算机,其不同点在于它们对网络上的用户提供不同的服务。

一些主机,特别是大型机,是通过称之为前端处理器(front-end processor)与网络接口的。前端处理器可以从主机上下卸数据通信和网络处理工作。

还有许多不同的网络互连设备,包括路由器,实现任意网络的互连,桥实现类似的局域网络(LANs)的互连,中断器实现共享的 LAN 技术段间的互连。所有这些互连设备都要解决下面的两个问题:

1. 如何互连网络。
2. 如何设置一堵"屏蔽墙",将问题分离,从而阻止将问题扩散到互连系统的另一部分。

所有这些设备都将在后面的章节中加以详细讨论。

在考虑到典型网络系统不同的厂商的时侯,我们必须考虑提供相互可操作标准的影响。标准是非常重要的,如果没有灯泡的标准,没有胶卷的标准等等,没有日常生活中所需要的标准,可以想象将是如何一团糟。在数据通信和网络中需要,并且正在开发一些标准,以解决相互操作的问题。但是这些标准与目前灯泡、胶卷等方面存在的标准相去甚远,好在不断地制定并完善这些方面的标准。一些重要的标准包括:美国信息交换标准编码(ASCII),高级数据链路控制协议(HDLC),X. 25 网络服务及接口规范,计算机交换协议和局域网协议。这些协议都适合于主要计算机厂商为了解决相互可操作性而提出的开放系统互连(OSI)的概念,关于这些协议将在后面的章节中给出详细的讨论。

在实现网络数据通信的过程中,除了考虑相互可操作性外,还有其它需要考虑的东西。由于电话公司提供的通信线路还比较昂贵,所以许多决策在增加计算能力和更有效地使用通信线路的权衡中,以更有效地使用通信线路为最终结果。但是在局域网络的情况下是例外的,在局域网中,通信非常便宜,特别是在 PC 的情况下,经常实现简单的计算机资源的共享。通信与处理之间的权衡过程与过去程序员权衡计算机内存和处理的方式非常类似。本书在讲述数据通信及网络的过程中,以计算机和计算机程序设计作为知识基础,将会有许多类似的权衡过程。

1.2 数据通信和网络开发的基础

读者可能在计算机系统开发中具有实时性要求的，很多输入/输出并且强调嵌入系统的经验，如果是这样，在已有知识的基础上，你将会发现数据通信和网络与它们有很多相似之处。我们将建立在这些现有知识基础上，因为这种类同为我们学习数据通信和网络提供了相当有用的基础。本书中用到的基础知识如下：

中断句柄(interrupt handler)对于数据通信程序是非常重要的，数据包的到来通常是由中断来处理的，中断使得中断服务程序建立新的数据缓存区，并且将新到来的数据存入数据缓存队列中，以便由可调度的任务或进程进行处理。如果传输速度高的话，在中断服务程序中是没有时间建立缓存区的，所以硬件设备必须有第二个或者更多的缓存区，用于处理一个接一个到来的数据包。

缓存区(buffering)在数据通信中同样是一个非常重要的概念，当新数据到来时，一般将其放入缓存区。缓存可以以环形的方式组织，也可以组织成一组固定尺寸的块。如果组织成一组固定尺寸的块，那么块的尺寸一般就为数据包中的最大尺寸，这样可以避免在处理一个数据包的过程中做缓存区的切换。

终端句柄(terminal handler)同样包括缓存区，但是其处理速度较慢。另外的终端处理事务包括是否做字符的回应，即回送到终端上去。此时有两种模式：

1. 局部回应或半双工(local echo 或 half-duplex)。此时当输入字符时，它们被打印在屏幕上。
2. 远程回应(remote echo)。此时，只有输入的字符先送回到计算机，然后由计算机返回到终端时，字符才被回应到屏幕上。远程回应的目的是让终端上的用户可以确信输入的字符在传输过程中没有出错。

在命令和编辑模式中，经常使用回应，但是在口令的输入过程中，要禁止回应，所以使得口令不能在屏幕上显示出来。

终端处理的另外一个主要任务是处理控制码。由于终端处理器有两个任务：处理用户的数据和处理用户的命令，所以要有一套方法来区别数据和命令。一般来说，先定义换码字符(escape character)，在换码字符之后的字符将作为控制字符。通常换码字符是一个用户在其数据中不会使用的字符，如“^]”。

除终端输入的控制外，还有计算机产生的控制，这种控制一般为控制块的形式，即包含控制信息而不是用户数据的缓存区。

进程间通信(interprocess communication)。英文缩写为 IPC，进程间的通信是计算机操作系统的扩充。网络中的 IPC 一般包括连接(长项合作)或远程过程调用(短时的合作)，无论哪一种情况，进程间的通信都是通过传输信息块，而不是内存共享的方式完成的。

计时(timer)是数据通信和网络的重要的概念，在网络中，有许多计时情况(如重传包)和许多不同计时的实现方法过程。例如，可以在每个信息包后设定一个重复传输的时间片，也可以使同一连接中的所有的包共享一个时间片。

对于数据通信方面的硬件支持，包括板子级和芯片级的产品。板子级的产品通常执行一个或多个协议，进而向系统传输封装好的数据包，当然，它们也发送数据包，而且在协议包含

的情况下，还要实现重复传输。这类硬件的软件接口通常是以 I/O 驱动程序的方式出现的。

芯片级的产品向用户提供数据通信开发的接口，这些芯片从支持最基本的数据通信到支持完整的协议，它们通常作为微处理器的协处理器操作，以完成数据通信的功能。

上述的描述是希望在读者已有知识的基础上，做一些数据通信和网络方面的扩充。下面我们将以传统的引入术语和概念的方式，介绍数据通信和网络的基础。

第二章　数据通信和网络的基本概念

在这一章中，我们介绍一些数据通信及网络方面的重要概念，并用例子和图示说明它们与计算机系统和系统程序设计之间的关系，这种说明对于在现有知识上的提高将成为基础，数据通信和网络处理与我们过去所做的工作相比，没有什么不同。然而，许多系统的出现将带来新的概念，这些概念在说明中将被指出来。

2.1　通信信道

数据通信和网络的重要概念之一是通信信道。毫无疑问，我们已经熟悉计算机的I/O通道，在计算机通道和数据通信信道之间有许多共同点，它们都被共享(很复杂)，都包括控制信息、数据传输以及建立在专门硬件上的I/O处理软件。

然而，在计算机通道和数据通信信道之间有一些重要不同点。最重要的不同点之一是在抽象概念的不同层次上信道概念的出现方式。从最低层看，信道可能是物理上的一对导线或是一段具有数据载波能力的同轴电缆。从抽象概念的较高层次看，信道可能是在两台直接连接的计算机上的软件。这个软件实现的信道可以有某些物理(硬件)信道不具有的特点，如非常低的出错率。

通道的初始化通常包括一个通道两端点之间的“握手”过程，在这个“握手”过程中，通过交换信息，使通道两边端点达成一个有关通道特性的协议，如通道上输出的最大包的尺寸，同时建立很多配置参数。这些内容将在后面的章节中讨论。

2.2　虚拟电路和数据包服务

我们通常使用虚拟这个词，虚拟电路具有物理电路上不存在的特性，这一点与虚拟内存的概念类似。在虚拟内存中，不管硬件实际内存有多少，程序员能开发使用很大地址空间的程序。虚拟电路的典型的特点是传输信息的可靠性和连续性(如：很少的错误位，不丢失信息，以正确的顺序传输信息)。虚拟电路通常具有其它的特点，如对发送方实际传输数据的速度，接受方有能力给于控制。虚拟电路中具有三个基本机制：

1. 错误控制。
2. 顺序控制。
3. 流控制。

每一个机制将在具有虚拟电路的各个不同的抽象层次上作详细介绍。

虚拟电路要求对通信双方建立连接。与每个连接相关的是一组可选择的在建立连接过程中达成的协定，这些协定一般包括非缺省参数的设置，如被交换的最大包的尺寸。

虚拟电路，即通常的连接，包括“状态信息”，如下一个包的顺序号码。这种状态信息是面向连接的通信信道区别于无连接信道的基本特征。

通过无连接通道发送数据的单位通常被称之为数据报(datagrams)。数据报提供一个“最有效的传送”服务。数据报服务称作“无连接”是因为它没有包含连接(或状态信息)服务，而且不保证数据的可靠性和连续性。相反，无连接的数据报被传输到设备力所能及的范围内，这个范围由网络来决定。那么什么时候选择无连接网络呢？

1. 传输少量的数据，不需要调整在其上建立的连接。
2. 当网络包含在通信提供的不同层次的服务中时。
3. 通过少量丢弃数据包来处理拥塞等网络问题时。

2.3 位串行传送和段内控制

典型的计算机 I/O 通道和数据通信信道之间的不同之一就是数据传送的性质的不同。计算机的 I/O 通道经常以并行的方式传送一个或多个字节，并具有单独的控制信息线。由于控制线和数据线是独立的，所以被称为超带控制(out of band control)。在另外一些计算机的 I/O 通道中，控制和数据可以共享相同的线路，而接收设备根据所接收的控制/数据信息传输序列中的相对时间来区别数据信息或控制信息，这就是带内控制(in-band control)。

电话公司提供了一个很好的带内控制的例子，而且已投入使用很多年了。当我们拨一个电话号码时，在老式的脉冲式电话系统中，总是听到卡嗒声，而在当前的电话系统中，听到音频声，这些都是带内控制，因为我们在话音信道中能听到它们。但是，带内控制不仅限于电话号码，也可以包括其它信息，如免费的“800”号码。带内控制在过去的年代里，给电话公司带来了不少的麻烦，因为窃用电话者现在已经能在适当的时间产生出这种信号，因此可以与世界上任何一个电话通话，而不需要付费。我们将会看到，带内的数据通信和网络将忍受这种潜在的严重的影响。

计算机 I/O 通道和数据通信之间的另一个不同点是，计算机的 I/O 通道是并行的数据传送，而数据通信信道是以位串行的方式进行，控制和数据共享同一个通信介质，这样的控制是带内的，所有的位看上去都是一样的，问题是怎样区别控制位和数据位，把它们区别出来的关键是要有一个方法去识别位序列的开始，然后对位组成的模式要有一个共识的解释协议，如图 2－1 中的例子，说明一个简单的在字符异步传输中一个字符的传输过程。

从稳定状态(标志级 mark level)到空间级(space level)的一个位的状态转换表明一个字符的到来，此位称为起始位(Start bit)。对于少于一个位时间的状态转换将视为噪音脉冲而丢弃。起始位之后是由七个数据位组成的字符位序列(Character bits)，然后是一个控制位，在当前的情况下，该控制位是一个错误控制位，称之为奇偶校验位(Parity bit)，该校验位后是最少一个位的标志级，它被称之为终止位(Stop bit)。终止位也可以认为是控制信息，但它的主要目的是把线路上的信号恢复到标志级状态，从而可以识别下一个起始位(Next Start)的状态转换。被传输的两个字符之间的时间是不定的，下一个字符可以在终止位之后马上到来，也可以在一个规定的时间内到来，这便是熟知的异步传输，但这仅仅是对字符而言。例

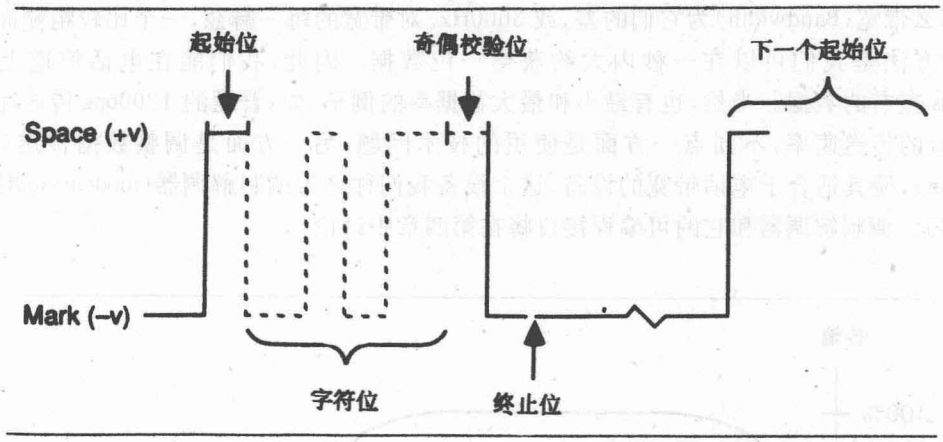

图 2—1　字符异步通信是自同步

如:字符中的位之间的时间是已知的,因为是一个位后面紧接着后面的另一位。

2.4　异步传输和同步传输

"异步"在数据通信中的应用与实时系统和其它计算机系统一样,异步事件发生是不定时的。在我们当前讨论的数据通信中,"事件"是一个字符的到来,但在另外一些情况下也指一组字符的到来,字符组可能是一个独立的信息包,也可能是一个电子邮件信息的到达或阅读一个电子邮件。

与异步通信相对应的是同步通信,"同步通信"的典型应用是在字符组成的包中,一个字符接另一个字符地传输,因此,两个字符之间的传输时间是已知的。由于字符是连续地到达,所以接收方知道何时接收字符,这一点与前面的示例中一个字符内的位的情形是一样的。和前面讲述的一样同步应用于字符,但是在这种情况下,同步也应用于位。我们把通信的这种形式也归结为"字符同步"或"位同步"。

2.5　数据流的方向

在某一时刻,通过计算机 I/O 通道的信息流通常是同一方向的,向磁盘控制器发送完控制(命令)之后,接着就返回与数据方向相反的信息流,这相当于在数据通信中的"半双工"传送,与此相对应的是在线路上同时存在有可能是相互独立的两个方向上的信息流,我们称它为"全双工"传送,或有时简称为"双工"。当然,也有可能是只有一路通道,我们称之为"单工通道",事实上,我们可以将双工通道想象为两个相反方向的单工通道。

除了半工或双工之外,通道的另一个重要特性是它的数据率。在数据通信中,数据率是以位/秒或 bps 为单位(有时,单位可能是字节/秒或 Bps),通道的数据率是由物理电路的带宽限制的,通道的带宽是电流能通过的频率范围。例如:在图 2—2 中是一个典型的电话信道

的带宽说明。

这个电话信道通过的频率(Frequency)是在 300Hz～3300Hz(Hz (hertz)赫兹,或周期/秒),那么带宽(Bandwidth)为它们的差,或 3000Hz。对带宽的每一赫兹,一个比较粗糙而有用的度量方法是我们可以在一秒内大约获得一位数据。因此,我们能在电话信道上传送 3000bps 左右的数据。当然,也有最小和最大数据率的例子,如:普通的 1200bps 传送速率或 9600bps 的传送速率,不同点一方面是使用的技术问题;另一方面是调整数据传送(Transimission),使其适合于电话带宽的设备,这个设备我们称之为调制解调器(modem)(调制器/解调器)。调制解调器和它的可编程接口将在第四章中讨论。

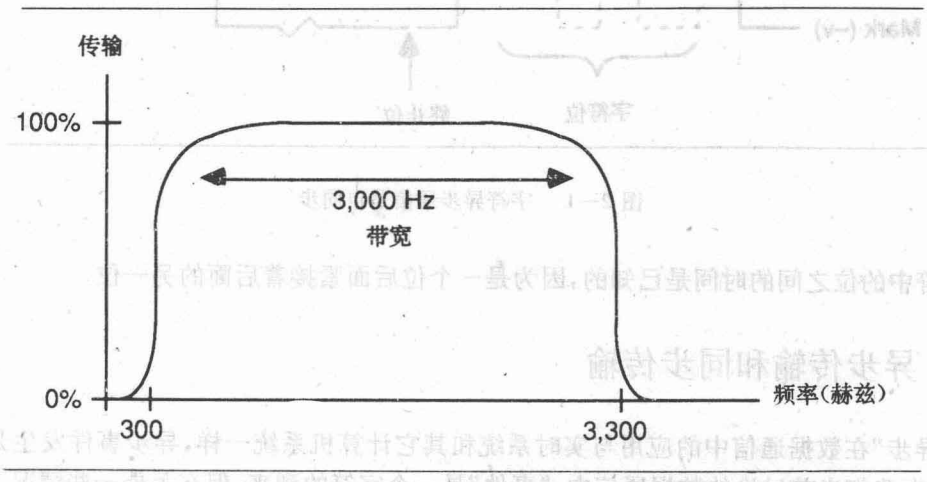

图 2—2　提供 3000Hz 带宽的电话信道

2.6　数据率、带宽和错误率

从上述电话信道上的有效数据率的例子能看到,在数据率和带宽之间存在一个关系,由任意给定的带宽能获得数据率的宽度范围。在给定带宽的信道上,最大数据率理论上可通过 Shannon 定律获得:

$$\text{最大数据率(bps)} = BW\log[1+S/N]$$

这里的 log 是以 2 为底的对数,S/N 是信号与噪音的比率。例如:如果 S/N 的值是 15,说明信号量在噪音量的 15 倍的级别上;对于这个 S/N 的值,上述方程表明最大理论数据率是带宽的 4 倍。较高的信号和噪音的比率将产生较高的数据率与带宽比。

噪音的存在有时引起以坏位形式出现的传输错误,所谓坏位即指从二进制的 1 变成 0 或相反的情形。数据通信信道的出错特性是由位错误率(BER)来度量,即出错位的比率,例如,在一个电话信道中,平均的位错误率是每传输 100,000 位,出现一个位的错误,那么 BER 为 10^{-5}。其它的介质,如 LAN 中使用的介质,通常有非常低的 BER,如同轴电缆是 10^{-9},光