高等学校教材

TCP/IP网络原理与技术

陈庆章　赵小敏　编著

高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

高等学校教材

TCP/IP 网络原理与技术

陈庆章　赵小敏　编著

高等教育出版社

内容提要

本书是一本系统介绍TCP/IP网络运作原理和网络建设相关技术的教材。本书以TCP/IP主要协议为主线，详细介绍了TCP/IP协议和TCP/IP网络基本概念，以及网络接口层、网络互联层、传输层和应用层的协议，并给出了TCP/IP网络实现的相关技术，包括地址解析与分发、路由算法和实现、域名和目录管理、TCP/IP网络管理和TCP/IP网络安全等。本书内容丰富，并注重原理、技术和工程的有机结合。

本书可作为高等学校计算机专业和电子信息类专业高年级本科生或低年级研究生的教材或教学参考书。对于从事网络研究、网络工程、网络技术服务等科研和工程技术人员来说，本书也是一本很好的基础性参考读物。

图书在版编目(CIP)数据

TCP/IP网络原理与技术/陈庆章，赵小敏编著．—北京：高等教育出版社，2006.2
ISBN 7-04-018824-4

Ⅰ.T... Ⅱ.①陈...②赵... Ⅲ.计算机网络-通信协议-高等学校-教材 Ⅳ.TN915.04

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第009059号

策划编辑 倪文慧 **责任编辑** 倪文慧 **封面设计** 王凌波 **责任印制** 孔 源

出版发行	高等教育出版社	**购书热线**	010—58581118
社 址	北京市西城区德外大街4号	**免费咨询**	800—810—0598
邮政编码	100011	**网 址**	http://www.hep.edu.cn
总 机	010—58581000		http://www.hep.com.cn
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司	**网上订购**	http://www.landraco.com
印 刷	北京四季青印刷厂		http://www.landraco.com.cn
		畅想教育	http://www.widedu.com
开 本	787×1092 1/16	**版 次**	2006年2月第1版
印 张	24	**印 次**	2006年2月第1次印刷
字 数	500 000	**定 价**	29.90元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题，请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 18824—00

前　言

承担研究生“TCP/IP 网络原理与技术”课程的教学已有 5 个年头，期间对自己编写的讲义进行了三次更新和改写。每次教学过程中，同学和同事们都向我提出很多好的改进建议，这本书的出版，凝聚着这些同学和同事们的智慧。

从事 TCP/IP 网络方面的研究已有很多年头了。首次接触 TCP/IP 协议是 1990 年的事情，那时我在香港中文大学从事一项网络互联方面的学习和研究，工作目标是将 3COM 网、Novell 网、AppleTalk、DECnet 和 IBM 的大型主机相互连接起来，就这样我深入到 TCP/IP 协议之中了。之后，我开始从事网络方面的研究，尤其是浙江省自然科学基金多个项目的资助，使得我在 TCP/IP 网络方面有了许多值得捧给大家的心得。1990 年以来，我发表了百余篇文章，其中大多与该领域有关。可以说，这本书的出版要感谢香港中文大学给予的磨炼机会，更要感谢浙江省自然科学基金给予的信任和支持。

其实，写一本教材是非常不容易的事情，也是压力比较大的事情。前者源于技术发展较快，需要作者花大量时间甚至彻夜不眠的思考来及时消化这些内容；后者来源于同类教材也有许多，教材之优劣的参照系随手拈来，必须面对更多的评头论足。无奈我是一位老师，有责任将学习获得的认识、思考的心得和研究的收获，以教材的方式展现给同学。

关于教材的内容体系和特点还是不在前言说了，内容体系从目录中一目了然，特点应该由读者评价。愿这本书能获得读者认可，并在大家的帮助下进一步发展、成熟。

参与本书编写的还有赵小敏、何文秀、毛科技、高家全等；浙江工业大学网络技术和信息安全研究所的同事们也多次参与讨论，对他们的贡献表示谢意。

本书的撰写和出版获得浙江工业大学研究生教学建设项目的支持，在此表示感谢。

陈庆章

2005 年 9 月 18 日

目　录

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

第1章　概念、体系和历史

TCP/IP 协议是使网络互联成为现实的一个重要协议，是运行在 Internet 上的核心协议，也是日常网络工作环境涉及的主要协议。本章将给出 TCP/IP 协议的初步概念。为了讲清楚相关概念，本章也将复习关于 OSI/RM 的知识。本章主要要掌握：TCP/IP 究竟是什么；从 OSI/RM 来理解 TCP/IP 协议的体系结构；TCP/IP 协议的组成初步认识；TCP/IP 协议的起源和发展，以及支持 TCP/IP 协议标准形成和发展的 RFC 文档。

1.1　TCP/IP 概念

1.1.1　TCP/IP 的定义

TCP/IP 是使计算机能互相通信的一组协议。计算机的应用从机器与机器之间的关系上看，总体有 3 个阶段。第一阶段是计算机的单机（Stand - Alone）应用，人们利用它进行一些数据计算和事务处理，计算机与计算机之间没有任何交互；第二阶段是局域网（LAN）阶段，人们发现有一些计算机的资源需要共享，例如，打印机或一些高档外部设备，此时就设法将计算机与计算机进行连接，使它们之间可以进行通信；第三阶段即网络互联阶段，随着计算机局域网络应用的深入，人们不仅可以在局域网络上进行硬件设备的共享，还可以进行软件和数据的共享，甚至可以进行一些协同事务处理，此时人们就产生了在更大范围内共享资源的愿望和需求，于是就设法将许多局域网络再互联起来，形成了网络互联（Networking of Network）。TCP/IP 协议就是顺应这种发展而诞生的。换句话说，TCP/IP 是实现网络互联的一种协议。

TCP/IP 协议是网络互联协议的一种标准。实际上，要实现网络的互联，有许多协议可以选用，而 TCP/IP 是使用最广泛的、业界公认的一种协议。这主要是由于 TCP/IP 是 Internet 上选用的协议，而 Internet 是世界上用户群最多的、规模最大的网络。如果一台计算机要在 Internet 上通信，则必须选用 TCP/IP，几乎所有厂商在设计硬件和软件时，都是按照支持 TCP/IP 标准来考虑的。所以也可以说，TCP/IP 是 Internet 通信协议的标准。

TCP/IP 协议并不是一个协议，它是许多协议的总称。当多个协议一起工作时，这一组协议统称为协议集或协议栈。TCP/IP 就是一个协议集，它包括 IP（Internet Protocol）、TCP（Transmission Control Protocol）、ARP（Address Resolution Protocol）、ICMP（Internet Control Message Protocol）、UDP（User Datagram Protocol）、RIP（Routing Information Protocol）、FTP（File

Transfer Protocol)、HTTP(HyperText Transfer Protocol)等。

TCP/IP是一个非常重要的协议。该协议几乎得到所有主要单机操作系统和网络操作系统的支持,例如,Windows 98/2000/XP、Windows NT、Linux、Unix、OS2和Netware。该协议更得到几乎所有硬件和软件厂商的支持,例如,Microsoft、Novell、IBM、Apple和Red Hat公司等。无论是计算机软硬件开发者还是普通的计算机应用者,学习、理解和在一定程度上掌握TCP/IP协议都是非常有益于工作、学习和生活的。

同时,也可以从其他角度来理解TCP/IP协议及相关概念。例如,TCP/IP协议是定义TCP/IP网络上通信的一个规则系统;TCP/IP工具是个软件组件,用于执行相应的功能,使计算机加入一个TCP/IP网络;TCP/IP标准是由一些国际权威的标准组织或机构定义的TCP/IP语义、语法和交互的具体文本描述,它常常和TCP/IP协议不加区分,TCP/IP标准的作用是确保所有TCP/IP工具能够相互兼容,而不管它们是什么版本或者属于哪个供应商。

1.1.2　TCP/IP的特性

时间已证明,TCP/IP协议是经受过考验并且稳定的协议集,它有着众多特性和优点。从协议应用的角度看,该协议有以下特点:

(1) 得到生产厂商的支持

如前所述,TCP/IP得到很多硬件和软件厂商的支持。这意味着TCP/IP并不局限于单个公司的开发成果。在网络上使用TCP/IP可以根据实际网络应用的目的,而不是根据已经购买的硬件和软件,不会受到单一厂商的技术约束。

(2) 互操作性

TCP/IP如此流行,得到如此广泛地接受,一个主要原因是它可以安装、使用于每个现实平台。例如,使用TCP/IP,一个Unix主机可以与一个DOS主机或一个Windows主机通信,向它们传送数据。所谓主机(Host),就是网络上的计算机或设备,可以是小型计算机、个人计算机(Personal Computer)、服务器(Server)、工作站(Network Station)。TCP/IP消除了跨平台障碍。

(3) 灵活性

TCP/IP是一个极灵活的协议集。TCP/IP的灵活性包括管理员在分配地址和重新分配地址时所拥有的弹性。管理员可以使用自动或手工两种方式给一个主机分配IP地址,而一个TCP/IP主机可以把一个容易记忆的名字,例如,www.zjut.com转变成一个TCP/IP地址。

(4) 可以进行路由选择

很多协议的局限在于它们很难把数据从一个网段传送到另一个网段。TCP/IP却特别适应数据传送的过程,它可以把数据从一个网段搬到另一个网段,也可以从世界某处网络上的一个主机传送到世界另一处网络上的主机。

从技术的角度看,TCP/IP协议有以下特性:

(1) 逻辑编址

从计算机网络课程中已经知道,每个网卡有一个独一无二的永久性物理地址,也称为MAC(Media Access Control)地址。这个物理地址是生产厂商分配给网卡的一个号码。在一个局域网上,计算机与计算机的通信是通过 MAC 地址来识别发送信息源和传送目的地的。而在一个大型的、有许多网络互联的网络系统中,每个网卡无法监听每一路信息。此时的解决方法就是将网络通过路由器(Router)之类的设备将网络分割成网段,分割形成的较小的网络称为子网络(Subnet)。对这种子网采用一种分层逻辑编址设计方案,使信息能够有效地传送到目的地。TCP/IP 协议就可以方便地实现逻辑编址。所谓逻辑地址,就是通过网络软件设置的一个地址。在 TCP/IP 中,计算机的逻辑地址称为 IP 地址。IP 地址可以包括:

- 一个网络 ID 号,用于标识网络;
- 一个子网络 ID 号,用于标识网络上的一个子网络;
- 一个主机 ID 号,用于标识子网络上的一台计算机。

(2) 路由选择

路由选择不仅从应用角度看是 TCP/IP 的一个特点,从技术角度看也是其他协议不具备的重要特性。路由器是负责读取逻辑地址信息并使数据通过网络传送到目的地的专用设备。简单地说,路由器将许多局部子网络互联起来。在局部子网络内部传送的数据并不经过路由器,因此不会影响较大网络的传输线路。如果数据是传送到子网络外面的一台计算机或网络上,路由器就相应地转发该数据。TCP/IP 协议中包含了许多用于定义路由器如何找到网络路径的协议,例如,前面提到的 RIP。

(3) 域名转换

对于用户来说,虽然数字式 IP 地址比网卡上预先设置的物理地址更容易理解,但是 IP 地址的设计方式基本上是为了计算机而不是为了人使用上的便利。用户很难记住需要远程访问的计算机的地址,从 IP 地址表面也很难理解该 IP 地址究竟包含哪些信息,例如,172.6.1.10 是浙江工业大学一台域名服务器地址,但仅从 172.6.1.10 这个数字上是看不出来的。因此,TCP/IP 提供了一种面向人的字母地址结构,称为域名或 DNS(Domain Name Server/Service)。它可以将域名映射为 IP 地址,这种操作称为域名转换。

(4) 错误检查与流控制

TCP/IP 协议组具有可以确保数据在网络上可靠传递的特性。这些特性包括检查数据的传输错误,以确保到达目的地的数据与发送的数据完全一致,并确认网络上传输的信息已成功地接收。同时,TCP/IP 还具有流量控制、拥塞控制等功能。

(5) 对应用程序的支持

协议集必须为计算机上的应用程序提供一个接口,使得这些应用程序能够访问协议软件,并因此而能访问网络。在 TCP/IP 中,这个从网络到运行在本地计算机上的应用程序之间的接口是通过称为端口(Port)的逻辑通道系统来实现的。每个端口有一个端口号,用于标

此为试读,需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com

识该端口。通过这些管道,数据可以从应用程序传送到协议软件,也可以从协议软件流向应用程序。

1.1.3　TCP/IP 协议的目标

随着 TCP/IP 应用得日益广泛,它在实践过程中也在不断地得到测试、修改和提高,并且继续发展。要成为技术不断发展的大型网络通信的协议,TCP/IP 协议原有和今后的设计目标主要集中在以下方面:

1. 硬件独立性

协议集可以使用于任何计算机上。

2. 软件独立性

协议集可被各软件生产厂商和应用程序使用。这样,一个站点的主机与另一个站点的主机不需要有相同的软件配置就可相互通信。

3. 故障恢复并有能力处理高误差率

协议集的一个特性是能从丢失数据中自动恢复。该协议必须能从任何主机的停机中恢复,不论该主机处于网络的哪个位置,也不论停机发生在数据传输过程中的哪个点上。

4. 低开销的高效率协议

在协议集传送数据时,要有最少限度的"额外"数据跟着传送。这些"额外"数据被称为"开销"。它的作用是将要传输的数据分组并使数据得以传输。开销类似于邮寄信件时使用的信封或邮寄大物品的包装盒。开销过大就像是用大盒子给某人寄小东西。

5. 能将新网络增加到大网络上而不引起服务恶化

协议集有能力在新的独立网络加入该网络时不引起大网的性能降低。

1.2　OSI/RM 体系结构

1.2.1　网络协议的分层

在讲述 TCP/IP 协议的体系结构前,先回顾一下 OSI/RM。计算机网络在 20 世纪 70 年代迅速发展起来后,世界上许多计算机大公司都先后推出了自己的计算机网络体系结构,例如 IBM 公司的系统网络结构 SNA 和 DEC 公司的分布式网络结构 DNA 等。但这些网络体系结构具有封闭的特点,它们只适合于本公司的产品连网,其他公司的计算机产品很难入网,这就不利于实现异种计算机互联或异种计算机网络的互联。客观需求迫使计算机网络体系结构由封闭走向开放式。国际标准化组织 ISO 经过多年努力于 1984 年提出了"开放系统互联基本参考模型"ISO/OSI - RM,从此开始有组织有计划地制定一系列网络国际标准。

OSI/RM 是一种分层协议结构,它把涉及源(Source)与目(Object)之间方方面面的复杂通信问题分解为若干层次来定义。这样做的好处是:容易解决通信的异质性(Heterogeneity)问题;上下层分工清晰,高层解决不同种语言的相互翻译(数据的不同表示),底层解决信息传递;使复杂问题简化,上层屏蔽下层细节问题;每层只关心本层的内容,不用知道其他层如何实现;使设计容易实现;每个层次向上一层提供服务,向下一层请求服务;等等。

分层肯定是有原则的。一般在考虑将问题分层研究时,主要掌握以下原则:当需要有一个不同等级的抽象时,就应当有一个相应的层次;每一层的功能应当是非常明确的;层与层的边界应使通过这些边界的信息量尽量少;层数要适当,太少会使每一层的协议太复杂,但太多又会在描述和综合各层功能的系统工程任务中遇到较多的困难。

1.2.2 OSI/RM 的 7 层协议

OSI/RM(ISO 7498, Information Processing Systems - Open Systems Interconnection - Basic References Model)从体系结构方面规定了开放系统在分层、相应层对等实体的通信、标识符、服务访问点、数据单元、层操作和管理等方面的基本元素、组成和功能等,并从逻辑上把每个开放系统划分为功能上相对独立的 7 个有序的子系统。在所有互联的开放系统中,对应的各子系统结合起来构成开放系统互联基本参考模型中的一层。这样,OSI 体系结构就由功能上相对独立的 7 个层次组成:物理层 PH(Physical)、数据链路层 DL(Data - link)、网络层 N(Network)、传输层 T(Transport)、会话层 S(Session)、表示层 P(Presentation)和应用层 A(Application)。如图 1.1 所示。

下面简单介绍一下各层主要功能。

1. 物理层(Physical Layer)

提供相邻设备间的比特流传输。它是利用物理通信介质,为上一层(数据链路层)提供一个物理连接,通过物理连接透明地传输比特流。所谓透明传输,指经实际电路传送后的比特流没有变化,任意组合的比特流都可以在这个电路上传输,物理层并不知道比特的含义。

物理层要考虑的是如何发送“0”和“1”,以及接收端如何识别。

2. 数据链路层(Data - link Layer)

负责在两个相邻节点间的线路上无差错地传送以帧(Frame)为单位的数据,每一帧包括一定的数据和必要的控制信息,当接收点接收数据出错时要通知发送方重发,直到这一帧无误地到达接收节点。

数据链路层就是把一条有可能出错的实际链路变成让网络层看来好像不出错的链路。

3. 网络层(Network Layer)

网络中通信的两个计算机之间可能要经过许多节点和链路,还可能经过几个通信子网。网络层数据的传送单位是分组(Packet),网络层的任务就是要选择合适的路由,使发送端发

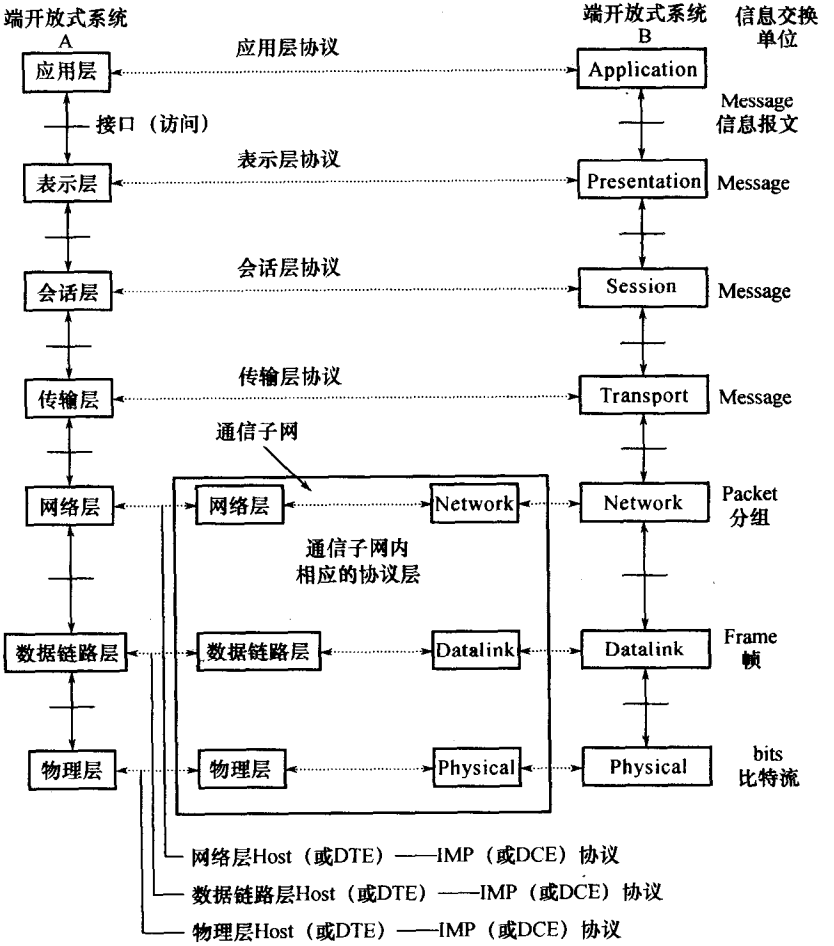

图 1.1　ISO/OSI 基本参考模型

送的分组能够正确无误地按照地址找到目的端并交付目的端传输层，这就是网络层的寻址功能。

对于由广播信道构成的通信子网，其路由问题很简单，因此这种子网的网络层非常简单，甚至没有。

物理层、数据链路层和网络层构成了通信子网，也称 OSI/RM 的底层协议或底三层协议。

4. 传输层（Transport Layer）

传输层的任务是根据通信子网特性最佳地利用网络资源，并以可靠和经济的方式为两个端系统的会话层之间建立一条传输连接，透明地传输报文。传输层向上一层提供一个可

靠的端到端的服务,使会话层不知道传输层以下的数据通信的细节。传输层只存在于端系统(主机)中,传输层以上层就不再管信息传输问题了。

5. 会话层(Session Layer)

会话层虽然不参与具体的数据传输,但它对数据进行管理,它向互相合作的表示进程之间提供一套会话设施,组织和同步它们的会话活动,并管理它们的数据交换过程。这里,"会话"的意思是指两个应用进程之间为交换进程信息按一定规则建立起来的一个暂时联系。

6. 表示层(Presentation Layer)

表示层提供端到端的信息传输。处理的是 OSI 系统之间用户信息的表示问题。在 OSI 中,端用户(应用进程)之间传送的信息数据包含语义和语法两个方面。

7. 应用层(Application Layer)

应用层是 OSI 参考模型的最高层。应用层确定进程之间通信的性质以满足用户的需要;负责用户信息的语义表示,并在两个通信者之间进行语义匹配,就是说应用层不仅要提供应用进程所需要的信息交换和远程操作,而且还要作为互相作用的应用进程的用户代理(User Agent),来完成一些为进行语义上有意义的信息交换所必需的功能。

会话层、表示层和应用层构成了资源子网,也称 OSI/RM 的高层协议或高三层协议。而传输层则是通信子网和资源子网的接口(Interface),负责两个子网之间的沟通。

各层次间数据的传输都有一定的格式标准,只有彼此间互相理解,数据才能进行传输,否则网络就不通。

上述简单叙述 OSI 参考模型,读者可能未必完全理解。没有关系,只要知道两个计算机或两个网络要相互通信,必须要制定标准,就如同两个人会话要讲同一种语言一样。由于标准涉及许多方面,把这些方面划分为 7 个部分,也就是 7 层协议。

1.2.3 7 层协议的通信过程

两个不相兼容的主机,只要都支持 OSI/RM,就能互相通信。下面结合图 1.2 说明通信过程。现在假定计算机 1 的某个进程 AP1 和计算机 2 的某个进程 AP2 之间要进行通信,从逻辑上讲,两台主机的对等层直接通信。而实际上,每一层都只与相邻的上下两层直接通信。当计算机 1 的进程 AP1 需要发送信息时,它把数据交给应用层。应用层对数据进行加工处理后,传给表示层。再经过一次加工处理后,数据被送到会话层。这一过程一直延续到物理层接收数据后进行实际的传输(这里的加工处理是指,对第 2 ~ 7 层加首部,尾部只加在第 2 层)。在计算机 2 处,顺序刚好相反,物理层接收比特流后把数据由下往上传给数据链路层,后者提取对应层次的首部和尾部,并执行某一特定功能后,把数据送往网络层。这一过程一直持续到应用层最终得到数据,并送给计算机 2 的进程 AP2。这两个进程以及网络节点中的各个对等层,都好像是在直接进行通信。事实上,所有的数据都被分解为比特流,

并由物理层实现传输。上面的过程有点像发信。只要在信封上写好收信人的地址姓名，把信扔进邮筒就行了。信自然会被送到收信人手里。不管信件如何转发，也不管信件是用卡车、飞机、火车、轮船，还是信鸽传送，发信者都不必关心，要做的只是等待回音而已。

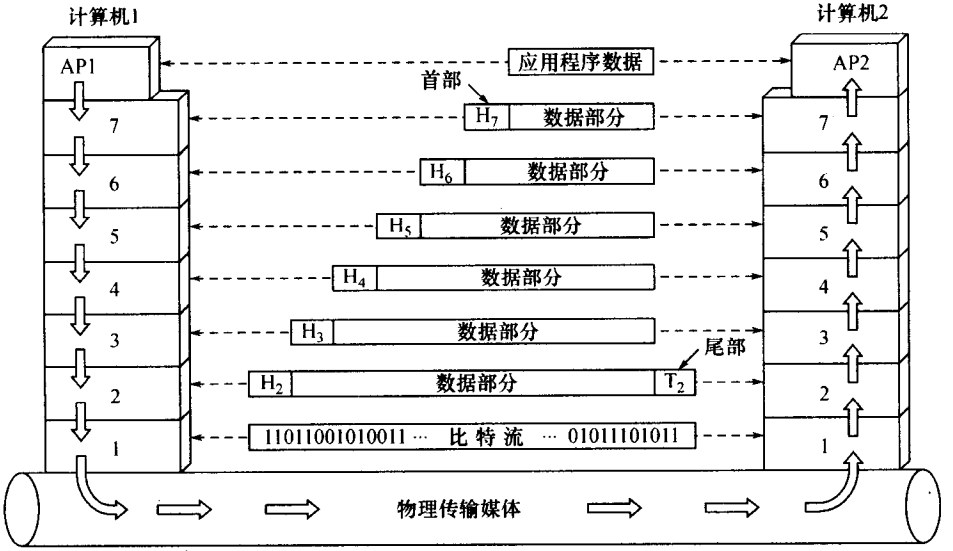

图 1.2　两个进程间的通信过程

1.2.4　涉及 OSI/RM 几个概念

1. 进程(Process)

是指在运行着的计算机软件。

2. 实体(Entity)

是指任何可发送或接收信息的硬件和软件进程，实际上是在不同层次上对等的通信单元。

3. 协议和服务(Protocol and Service)

协议是控制对等实体之间通信的规则的集合，是指“水平”的；服务是由下一层向上一层通过层间接口提供的，是指“垂直”的。

4. 服务原语(Service Primitive)

指上层通过与下层交换一些命令来使用下层为它提供的服务，这些命令被称为服务原语。

5. 接口和服务(Interface and Service)

上层通过接口向下层传递服务原语,下层通过接口向上层提供服务。

6. 服务访问点(Service Primitive)

在同一系统中相邻两层的实体进行交互的地方。

7. 协议数据单元(Protocol Data Unit)

指在对等层上传输的数据单元。

其他的网络体系结构其实都和 OSI/RM 相类似,只是这些体系结构会将某些层次的功能合并让层次减少。但是有关功能、所提供的服务同样都会达到。例如,本书所讲述的 TCP/IP 协议就只有 4 层,但各层协议所提供的服务和功能与 OSI/RM 所提供的功能都可以找到相对应的位置。

1.3 TCP/IP 协议体系结构

1.3.1 TCP/IP 协议模型

TCP/IP 协议共分为 4 层,即网络接口层、网络层、传输层和应用层,如图 1.3 所示。作为一个运行在网络上的协议,TCP/IP 协议肯定有物理层,只不过物理层与 OSI/RM 以及其他协议中描述的物理层作用和规定是一致的,例如,采用细缆、RJ-45 等建立物理连接。网络接口层则有相当于数据链路层的功能,负责将 IP 数据报以数据帧的格式发送出去和接收下来,那么这就意味着在计算机网络课程中介绍的 IEEE 802.3 这样的以太(Ethernet)协议,在 TCP/IP 协议中一样被使用,对于其他类似的数据链路层协议也是一样。网络层提供计算机间的 IP 分组传输,包括高层数据的分组生成、底层数据报的分组组装,以及路由处理、流量控制、拥塞处理等问题。传输层提供应用程序间的通信,包括格式化信息流和提供可靠传输。应用层提供常用的应用程序,例如,HTTP 服务、SMTP 服务等。

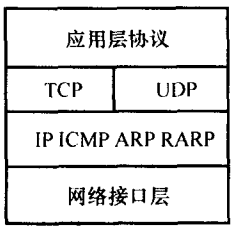

图 1.3 TCP/IP 协议模型

图 1.3 给出的只是主要协议,实际上网络层并不仅仅只包括这几个协议,传输层也不是只有 TCP 和 UDP 协议,还有许多其他辅助工作的协议。这些协议将在后面进行介绍。

1.3.2 TCP/IP 与 OSI 模型的比较

图 1.4 描述了 TCP/IP 与 OSI 模型的层次对应关系:

(1) TCP/IP 的应用层大致对应于 OSI 模型的应用层、表示层和会话层。借助于

此为试读,需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com