ELECTRONIC ENGINEER

XIDIAN UNIVERSITY PRESS

TCP/IP Protocol and Network Programming

TCP/IP协议与网络编程

任泰明 编著

西安电子科技大学出版社

http://www.xduph.com

TCP/IP 协议与网络编程

任泰明　编著

西安电子科技大学出版社
2004

内 容 简 介

Internet 的核心技术是 TCP/IP 协议，由于当前 Internet 的普及，TCP/IP 程序设计已经成为当前最热门和应用最广泛的程序设计技术。

本书用浅显易懂的语言，试图通过大量的实例引导读者快速掌握 TCP/IP 程序设计的基本知识。本书在内容的安排上注意系统性和循序渐进性，首先介绍了进行 TCP/IP 程序设计所必须掌握的 TCP/IP 协议的有关知识，然后就网络程序设计的 API 进行了全面和系统的讲解，并且每一章都有一些简单易懂的实例，最后通过几种典型的 TCP/IP 程序设计实例的介绍和分析，使没有 TCP/IP 知识或对 TCP/IP 知识了解较少的读者通过本书的学习，也能在短期内掌握 TCP/IP 知识，并能进行一些简单实用的 TCP/IP 程序的开发工作。因此，本书是一本非常适合网络程序设计初学者和中级读者使用的书籍。

图书在版编目（CIP）数据

TCP/IP 协议与网络编程 / 任泰明编著. —西安：西安电子科技大学出版社，2004.3

ISBN 7-5606-1360-8

Ⅰ.T… Ⅱ.任… Ⅲ.①计算机网络—通信协议 ②计算机网络—程序设计

Ⅳ.①TN915.04 ②TP393.09

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2004）第 003841 号

策　　划　臧延新

责任编辑　张晓燕　臧延新

出版发行　西安电子科技大学出版社（西安市太白南路 2 号）

电　　话　(029)88242885　88201467　邮　编　710071

http: //www.xduph.com　　E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

经　　销　新华书店

印　　刷　陕西画报社印刷厂

版　　次　2004 年 4 月第 1 版　2004 年 4 月第 1 次印刷

开　　本　787 毫米×1092 毫米　1/16　印张 20.125

字　　数　478 千字

印　　数　1～4000 册

定　　价　30.00 元

ISBN 7-5606-1360-8 / TP・0722

XDUP 1631001-1

前　言

当前，人类社会已经进入了以计算机网络技术为基础的信息化时代，人们在工作和日常生活中都离不开计算机网络，甚至把不会使用计算机网络的人叫新一代“文盲”。因此，作为21世纪的大学生和各类计算机网络的使用和维护人员，仅仅能简单地操作和使用计算机网络是远远不够的，还应该具有计算机网络应用软件的开发能力。

众所周知，我国当前计算机网络的硬件基础设施建设已经比较完备了，但计算机网络上应用软件的开发却严重不足，这使很多企事业单位和学校在网络硬件系统建设好后，无法展开Web、电子商务、ERP等网络应用工作，使计算机网络不能发挥应有的作用。造成这种局面的主要原因是缺少计算机网络应用软件的开发人员。现在一些高校已经意识到了网络软件开发的重要性，开设了一些这方面的课程，很多大学生也在自学基于TCP/IP协议的网络软件开发知识，但很难找到一本比较合适的书籍。当前出版的有关基于TCP/IP网络软件开发技术的书籍有两类：一类是从国外翻译过来的书籍，如由Comer等合著的《用TCP/IP进行网际互联》，共三卷，这是一套比较好的经典书籍，但这类书籍一般不适合初学者使用；另一类是国内出版社出版的书籍，这类书籍要么只是单独讲TCP/IP知识，要么只是单独讲TCP/IP编程知识，很少有从Internet和TCP/IP的原理开始，系统地讲述TCP/IP网络程序设计技术的书籍。因此，本书的写作目标是让那些没有TCP/IP知识的读者，或者是对TCP/IP知之甚少的读者，也能通过本书的学习，在短时间内掌握基于TCP/IP协议的网络程序设计知识。

本书的内容分为两大部分。第一部分为第1～5章，主要讲述了TCP/IP协议的工作原理；第二部分为第6～10章，讲述了如何设计基于TCP/IP协议的网络应用程序。

第一部分的第1章讲述了TCP/IP协议产生的原因、TCP/IP协议的结构和工作过程。第2章和第3章对IP、UDP和TCP协议做了比较详细的介绍。第4章主要讲述了当前TCP/IP协议应用层常用的Telnet、FTP、SMTP、POP3和HTTP协议的工作原理。第5章详细分析了TCP/IP协议的代码实例，以进一步提高读者对TCP/IP协议工作原理的理解。

第二部分的第 6 章讲述了进行网络程序设计应该掌握的一些基本知识。第 7 章介绍了 TCP/IP 网络程序的基本框架，并列举实例进行说明。网络程序的设计是基于各种 API 进行的，第 8 章和第 9 章较为详细地介绍了当前常用的各种网络程序设计 API，尤其是 Winsock API。第 10 章通过实例介绍了几种典型的网络程序设计方法。

本书可以作为各类院校计算机网络程序设计方面的教材。本书在编写时非常注意内容的浅显易懂性，尽量不使用一些读者理解起来比较困难的专业术语，并且每章都有一些典型的实例，以帮助读者理解有关理论。因此，本书也很适合读者自学使用。

网络程序设计是实践性很强的一门课程，对学习者来说，只有在理解有关理论的基础上进行大量的上机实践，才能学好网络程序设计，因此，读者在学习的过程中一定要注意多上机练习。

最后，感谢西安电子科技大学出版社各位编辑对作者的帮助，通过他们的辛勤工作，才使本书得以出版。由于作者水平有限，错漏之处在所难免，欢迎广大读者批评指正。

编著者

2003 年 11 月

目　录

第 1 章　Internet 与 TCP/IP 协议

本章应重点掌握以下一些在网络系统中常用的概念：

- ☺ 通信协议；
- ☺ TCP/IP 协议的四个层次；
- ☺ 端对端通信；
- ☺ 数据封装与拆封；
- ☺ TCP/IP 协议中的操作系统边界和地址边界；
- ☺ 虚通信和实通信。

1.1　Internet 中的“世界语”——TCP/IP 协议

1.1.1　Internet——“冷战”的产物

从 20 世纪 50 年代开始，由美国领导的西方阵营和以前苏联领导的东方阵营，为了争霸世界，进行了长达三四十年不见硝烟的“冷战”，“冷战”的背后是双方军事、科技力量的竞争。竞争初期，由于前苏联在 1957 年的 10 月份和 11 月份，先后有两颗叫“Sputnik”的人造地球卫星发射上天，使美国人感觉到了自己在太空技术上的落后，由此联想到军队的指挥和通信网络系统，这种中央控制式网络，一旦网络控制中心受到原子弹的攻击，将使全美军事指挥系统瘫痪，后果不堪设想。为了改变这种状况，在 1958 年由当时的美国总统艾森豪威尔正式向美国国会提出要建立“国防部高级研究计划署”，英文缩写为 DARPA(Defense Advanced Research Project Agency)，也常被人们简称为 ARPA。成立 DARPA 的目的非常明确，就是要“保持美国在技术上的领先地位，防止潜在的对手不可预见的技术进步(摘自美国国防部高级研究计划署网站 http://www.arpa.mil)。”他们公开宣称，DARPA 的任务是：“为美国国防部选择一些基础研究和应用研究以及发展计划，并对这些研究计划进行管理和指导。追踪那些危险性和回报率都很高的研究和技术，而这些技术的成功将使传统军队彻底改变面貌。”

由于美国对 DARPA 的巨额资金投入和 DARPA 其本身有效的管理体制，DARPA 取得了巨大的成功，使美国从 20 世纪 60 年代到现在一直保持着在全球军事技术上的绝对领先地位。在 DARPA 的所有项目中，对当今世界影响最大，与普通人关系最密切，改变了人们日常交往和通信方式的是 1968 年 6 月提出的“资源共享的计算机网络”(Resource Sharing

Computer Networks)研究计划。该计划的最初目的是让 DARPA 的所有电脑都能互连起来，使大家可以共享研究成果。由于当时该研究是在美国国防部高级研究计划署的组织下进行的，因而人们就把这个网络叫做“ARPAnet”，国内有些资料音译为“阿帕网”，这个网就是现在 Internet 最早的雏形。

1969 年，在 ARPAnet 上连接了 4 个实验性的结点，它们是和 ARPA 有大量科研合同的加州大学洛杉矶分校、斯坦福研究院、加州大学圣大比分校和犹他大学。由于 ARPAnet 在通信方面取得了很大成功，此后，连接在 ARPAnet 上的结点不断增加，但连入的结点都是和 ARPA 有研究合同的机构。直到 1986 年美国国家科学基金会(NSF)建立了用来连接 ARPAnet 的 6 个超级计算机中心的快速主干网 NSFNET 后，把由 NSF 资助的一些地区性网络与主干网 NSFNET 相连，才使数以千计的大学、研究院、图书馆等普通用户可以访问任何超级计算机，并且能进行相互通信。NSFNET 的形成和发展奠定了 Internet 的基础。后来，很多国家相继建立了本国的主干网并接入 Internet，形成了真正意义上的全球互联网。1992 年 NSF 宣布不再给 NSFNET 的运行、维护提供经费支持，由 MIC、Sprint 等公司运行、维护，这样，商业用户和普通家庭就可以接入 Internet，这标志着 Internet 的大发展时期。

1.1.2 网络互联促成了 TCP/IP 协议的产生

ARPAnet 由专门负责进行数据传输的通信子网和由用户主机组成的资源子网组成，通信子网由通信介质和用来进行通信处理的结点信息处理机 IMP(Interface Message Processor)组成，如图 1-1 所示。

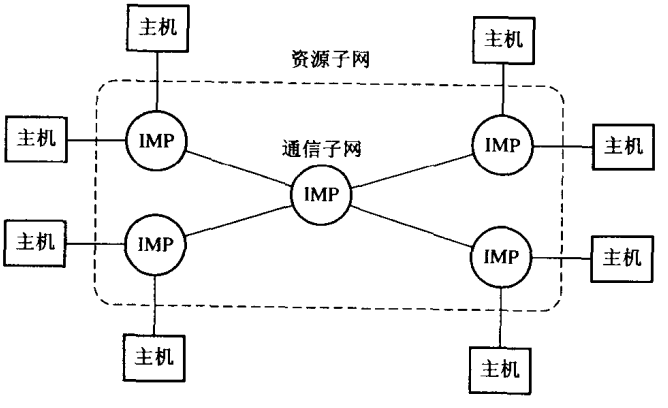

图 1-1 ARPAnet 组成结构

ARPAnet 在工作过程中要解决的主要问题是：用来连接主机(Host)的结点信息处理机 IMP 在相互通信过程中什么时候应该接收信号，什么时候应该结束通信，以及如何识别通信的源端传输的各种符号的含义等。正如日常生活中两个人要谈话一样(相当于计算机中的通信)，谈话双方所使用的语言、谈话的内容和节奏等都要以双方共同认可的方式进行，否则就没有办法进行交流(通信)。当时人们把通信双方应该共同遵守的这种约定就叫“协议”(Protocol)。早期 ARPAnet 使用的是网络控制协议 NCP(Network Control Protocol)。网络控制协议 NCP 是一台主机直接对另一台主机的通信协议，实质上是一个设备驱动程序，它不能使不同类型的电脑和不同类型的操作系统连接起来。另外，网络控制协议 NCP 还有一个很大的缺陷，就是没有纠错功能，只要在数据传输中出现了差错，协议就规定网络停止传输

数据，这次通信就失败了，这样，通信的可靠性就很难保证。

随着连入 ARPAnet 的电脑日益增多，让不同类型的电脑连接起来的问题变得越来越迫切，也就是说，如何让结构不同、操作系统不同的电脑按照共同的工作方式和共同的标准连接起来成了 ARPAnet 的关键性问题。这就需要人们设计出一种新的协议，以解决不同电脑或不同网络之间的互联问题，当时人们为这种新的协议确定了一些基本设计原则：

(1) 每一个独立的网络必须按自己的标准建立起来，当这个网络和互联网连接时，不需要对其内部做任何改动。

(2) 网络应该在最佳的状态下完成通信。

(3) 如果一个信包没有到达目的地，最初发出信包的结点将很快重发该信包。

(4) 网络之间由叫做“黑匣子”的设备进行互相连接。这里所谓的“黑匣子”，就是后来被人们称为网关和路由器的设备。

(5) 整个互联网不需要在操作层面上进行任何总体控制。

按照这些设计原则，在 1973 年由研究操作系统通信原理的 Kahn 和参与过网络通信协议 NCP 设计的 Vinton Cerf 两人一起为 ARPAnet 开发了具有以上特点的网络互联协议。1974 年 5 月，Vinton Cerf 和 Kahn 两人合作在 IEEE(电气和电子工程师协会)刊物上发表了题为“分组网络互联的一个协议”的论文。同年 12 月，他们正式发表了第一份 TCP 协议的详细说明，该协议负责在互联网上传输和转发信包。由于在后来的实验中证实这种 TCP 协议有时在信包丢失时不能得到有效的纠正，因此，他们认识到应该把这一协议分成两个不同的协议：一个是用来检测网络传输中差错的传输控制协议(TCP)，当检测到传输中有差错时，它能产生重发信号，源端收到该信号后就重新传输发生差错的信包，通过这种差错重传机制保证数据能够正确传输到目的地；另一个是专门负责对不同网络进行互联的互联网协议(IP)。为了实现不同类型的局域网可以互联，它在各种局域网地址标准之上，为互联网络中的所有主机设定了统一的互联网地址(IP 地址)，以保证不同网络中的主机(当然也可以是同一个网络中的主机)只要接入互联网，它们之间就可以相互识别，进行通信。这两个协议就是我们现在所说的 TCP/IP 协议，它达到了当初设计时提出的原则，Vinton Cerf 和 Kahn 两人也因在 TCP/IP 协议设计中的杰出贡献而被人们称为“互联网之父”，在 1997 年获得了美国授予的“国家技术金奖”。

TCP/IP 协议因其在后来不同网络的互联时的出色表现而被美国军方看中(因为这样一种没有中心控制结点的分布式网络，即使网络中的任何一点或一部分被破坏，都不会造成整个网络的瘫痪，这正迎合了战争的需要)，于是，在 1982 年做出了在 ARPAnet 上使用 TCP/IP 协议代替原来使用的网络控制协议(NCP)的决定。1983 年 1 月 1 日，在 ARPAnet 上停止使用网络控制协议 NCP，从此互联网上的主机都使用 TCP/IP 协议，TCP/IP 协议成了 Internet 中的“世界语”。

综上所述，TCP/IP 协议是人们在网络建设中边实践边开发研究的一个产物，它不是由某一国际标准化组织机构提出的标准协议(如大家比较熟悉的 OSI/RM 就是由 ISO 提出的协议)，但它已经成了人们公认的，在 Internet 上使用的事实上的工业标准协议。我们可以这样说，Internet 的大发展得益于 TCP/IP 协议的提出和使用，反过来，Internet 又促进了 TCP/IP 协议的普及和应用。学习并理解 TCP/IP 协议是人们深入使用 Internet，研究 Internet 和进行 Internet 应用开发的必备知识。

1.2 TCP/IP 协议的体系结构

1.2.1 网络体系结构的概念

网络系统是一个庞大而复杂的系统。网络技术发展的初期，人们主要考虑的问题是如何进行网络硬件的设计，后来随着网络硬件技术的不断成熟，如何进行网络软件系统的设计就显得越来越重要了。对一个复杂系统进行分析和设计时，人们常用的方法是“分而治之”，即把一个大的问题分解成若干个子问题或子部分进行设计，然后把它们有机地组织在一起，完成对整个系统的设计。把这一思想应用到网络软件的设计上，人们将网络系统的软件按层的方式来划分，一个网络系统分解成若干个层，一般少的可分成四层，多的则可达七层，每层负责不同的通信功能。每一层好像一个“黑匣子”，它内部的实现方法对外部的其他层来说是透明的。每一层都向它的上层提供一定的服务，同时可以使用它的下层所提供的功能。这样，在相邻层之间就有一个接口以把它们联系起来，显然，只要保持相邻层之间的接口不变，一个层内部可以用不同的方式来实现。一般把网络的层次结构和每层所使用协议的集合称为网络体系结构(Network Architecture)，一个具体的网络系统其所包含的层数和每层所使用的协议是确定的。在这种层次结构中，各层协议之间形成了一个从上到下类似栈的结构的依赖关系，通常叫协议栈(Protocol Stack)。

1.2.2 TCP/IP 协议的四个层次

TCP/IP 协议的体系结构分为四层，这四层由高到低分别是：应用层、传输层、网络层和链路层，如图 1-2 所示。其中每一层完成不同的通信功能，具体各层的功能和各层所包含的协议说明如下。

应用层(Telnet、FTP、HTTP、DNS、SNMP和SMTP等)
传输层(TCP和UDP)
网络层(IP、ICMP和IGMP)
链路层(以太网、令牌环网、FDDI、IEEE802.3等)

图 1-2 TCP/IP 协议的层次结构

1. 链路层 (Link Layer)

链路层在 TCP/IP 协议栈的最低层，也称为数据链路层或网络接口层，通常包括操作系统中的设备驱动程序和计算机中对应的网络接口卡。链路层的功能是把接收到的网络层数据报(也称 IP 数据报)通过该层的物理接口发送到传输介质上，或从物理网络上接收数据帧，抽出 IP 数据报并交给 IP 层。TCP/IP 协议栈并没有具体定义链路层，只要是在其上能进行 IP 数据报传输的物理网络(如以太网、令牌环网、FDDI(光纤分布数据接口)、*IEEE802.3* 及 RS-232 串行线路等)，都可以当成 TCP/IP 协议栈的链路层。这样做的好处是 TCP/IP 协议可

以把重点放在网络之间的互联上，而不必纠缠物理网络的细节，并且可以使不同类型的物理网络互联。也可以说，TCP/IP 协议支持多种不同的链路层协议。ARP(地址解析协议)和RARP(逆地址解析协议)是某些网络接口(如以太网和令牌环网)使用的特殊协议，用来进行网络层地址和网络接口层地址(物理地址)的转换，具体内容将在第 2 章讲述。

2．网络层(Network Layer)

网络层也称为互联网层，由于该层的主要协议是 IP 协议，因而也可简称为 IP 层。它是 TCP/IP 协议栈中最重要的一层，主要功能是可以把源主机上的分组发送到互联网中的任何一台目标主机上。我们可以想像，由于在源主机和目标主机之间可能有多条通路相连，因而网络层就要在这些通路中做出选择，即进行路由选择。在 TCP/IP 协议族中，网络层协议包括 IP 协议(网际协议)、ICMP 协议(Internet 互联网控制报文协议)以及 IGMP 协议(Internet 组管理协议)。

3．传输层(Transport Layer)

我们通常所说的两台主机之间的通信其实是两台主机上对应应用程序之间的通信，传输层提供的就是应用程序之间的通信，也叫端到端(End to End)的通信。在不同的情况下，应用程序之间对通信质量的要求是不一样的，因此，在 TCP/IP 协议族中传输层包含两个不同的传输协议：一个是 TCP(传输控制协议)；另一个是 UDP(用户数据报协议)。TCP 为两台主机提供高可靠性的数据通信，当有数据要发送时，它对应用程序送来的数据进行分片，以适合网络层进行传输；当接收到网络层传来的分组时，它对收到的分组要进行确认；它还要对丢失的分组设置超时重发等。由于 TCP 提供了高可靠性的端到端通信，因此应用层可以忽略所有这些细节，以简化应用程序的设计。而 UDP 则为应用层提供一种非常简单的服务，它只是把称作数据报的分组从一台主机发送到另一台主机，但并不保证该数据报能正确到达目标端，通信的可靠性必须由应用程序来提供。用户在自己开发应用程序时可以根据实际情况，使用系统提供的有关接口函数方便地选择是使用 TCP 还是 UDP 进行数据传输，这些内容将在第 3 章中进行讲解。

4．应用层(Application Layer)

应用层向使用网络的用户提供特定的、常用的应用程序，如使用最广泛的远程登录(Telnet)、文件传输协议(FTP)、超文本传输协议(HTTP)、域名系统(DNS)、简单网络管理协议(SNMP)和简单邮件传输协议(SMTP)等。要注意有些应用层协议是基于 TCP 协议的(如 FTP 和 HTTP 等)，有些应用层协议是基于 UDP 协议的(如 SNMP 等)。尽管应用层提供了较多的应用程序，但这些程序只能满足普通用户在一般情况下使用网络的需求，如果用户要在网络上进行一些特殊的应用，如网吧管理或需要在一个公司内部使用的邮件系统等，应用层并没有提供这样的程序，这就要求由网络用户根据自己的实际需要开发所需的应用程序。本书的主要目的就是讲解用户如何自己来开发网络应用程序，从第 6 章以后的所有内容都是教大家如何进行网络程序设计的。

1.2.3 TCP/IP 协议模型中的操作系统边界和地址边界

TCP/IP 协议分为四层结构，这四层结构中有两个重要的边界：一个是将操作系统与应用程序分开的边界，另一个是将高层互联网地址与低层物理网卡地址分开的边界，如图 1-3 所示。

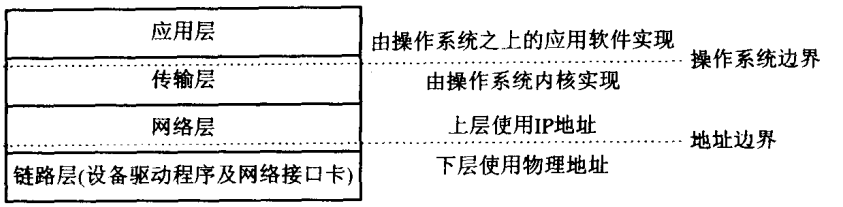

图 1-3　TCP/IP 协议模型的两个边界

1．操作系统边界

操作系统边界的上面是应用层，应用层处理的是用户应用程序(用户进程)的细节问题，提供面向用户的服务。这部分的程序一般不包含在操作系统内核中，由一些独立的应用程序组成，我们在本书中设计的网络程序就属于这一层。操作系统边界的下面各层包含在操作系统内核中，是由操作系统来实现的，它们共同处理数据传输过程中的通信问题。

2．地址边界

地址边界的上层为网络层，网络层用于对不同的网络进行互联，连接在一起的所有网络为了能互相寻址，要使用统一的互联网地址(IP 地址)。而地址边界的下层为各个物理网络，不同的物理网络使用的物理地址各不相同，因此，在地址边界的下面只能是各个互联起来的网络使用自己能识别的物理地址。当然，在实际通信时可以使用 ARP(第 2 章介绍)协议把互联网地址转换成物理地址。

1.3　TCP/IP 协议的工作过程

Internet 是全球最大的、开放的、由众多网络互联而成的计算机互联网，TCP/IP 协议是该互联网中所使用的“语言”。下面我们以一个具体的小互联网为例，说明 TCP/IP 协议是如何工作的。图 1-4 是由一个以太网和一个令牌环网通过路由器互联的网络，左边的以太网有三台编号分别为 A、B 和 C 的主机，右边的令牌环网有两台编号为 1 和 2 的主机。假设以太网中的主机 A 要与令牌环网中的主机 1 使用文件传输协议 FTP 完成一次文件传输过程，主机 A 中的 FTP 客户程序就要向主机 1 中的 FTP 服务器程序提出请求，由此开始了在 TCP/IP 协议控制下的主机 A 与主机 1 之间的通信过程。

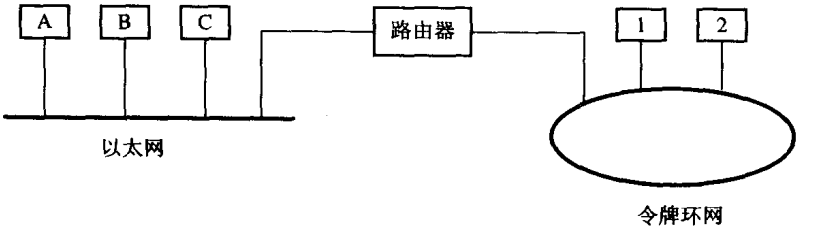

图 1-4　网络互联示意图

1.3.1　TCP/IP 协议通信模型

对于图 1-4 所示的以太网中主机 A 与令牌环网中主机 1 的通信过程，为了便于分析问

题，我们可以暂时不考虑网络中与本次通信过程无关的内容，并把以太网用一条直线来表示，令牌环网用一个椭圆表示。主机 A 和主机 1 都使用 TCP/IP 协议，由前面所述的四层协议栈组成。但要注意主机 A 的物理网络是以太网，链路层使用的是以太网网卡和以太网驱动程序；主机 1 由于在令牌环网中，因而使用令牌环网网卡及驱动程序。路由器是一个具有多个接口的网络互联设备，它的功能是把分组从一个网络转发到另一个网络。在 TCP/IP 协议中，网络互联是通过网络层(IP 层)来实现的(不同的网络可以通过不同的 IP 地址来识别)，因此路由器通常只处理与互联网数据传输有关的低两层协议。该例中的路由器有一个与以太网相连的接口和一个与令牌环网相连的接口。与以太网相连的接口要能处理在以太网中传输的数据帧，与令牌环网相连的接口要能处理在令牌环网中传输的数据帧，这两种类型的数据帧通过路由器的网络层(IP 层)相互转发。综上所述，我们可以把主机 A 和主机 1 通过路由器进行通信的过程抽象成如图 1-5 所示的 TCP/IP 协议通信模型，这个模型尽管是由分析主机 A 和主机 1 通信而来的，但该模型是一个一般的模型，也适合于网络中其他主机之间的通信描述。

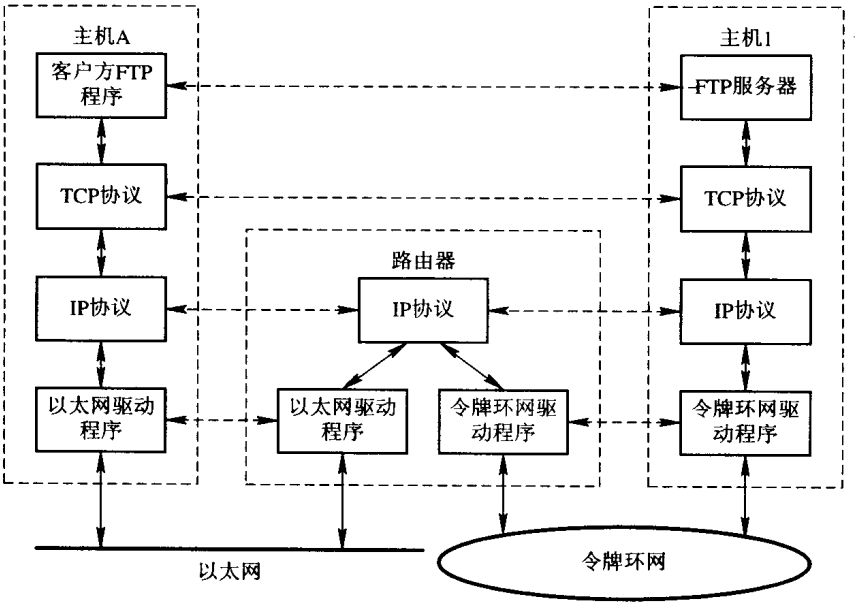

图 1-5　TCP/IP 协议的通信模型

该模型中，主机 A 和主机 1 组成了端到端(End to End)的系统。前面我们分析过，传输层(这里使用的是 TCP 协议，在其他类型的通信中也可以使用 UDP 协议)完成的是端到端的通信，在端系统中必须具有 TCP/IP 协议的完整的四层结构。中间的路由器在有些资料中也称为中间系统(Intermediate System)，中间系统一般只把网络中传输的数据包从一个网络转发到另一个网络，它只需有网络接口层和网络层就可以进行工作。

1.3.2　数据的封装与传递过程

在本节我们所举的例子中，当主机 A 的 FTP 客户程序向主机 1 的 FTP 服务器程序提出服务请求时，我们可以把由用户输入的 FTP 命令和参数看成是要由主机 A 传到主机 1 的“数

据包”，该数据包由图 1-6 所示的两部分组成。

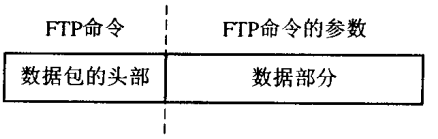

图 1-6　数据包结构

数据包的头部是 FTP 命令，数据部分是 FTP 命令的参数。该数据包通过网络由主机 A 送到主机 1 后，由主机 1 的应用层解释并执行该命令，主机 1 又把该命令执行后的结果通过网络传到主机 A 的应用层(结果可能是把某一文件下载到主机 A)。因此，在图 1-5 所示的模型中有一条由主机 A 的 FTP 客户程序到主机 1 的 FTP 服务器程序的双向线来指示它们的通信过程，该线画成虚线的原因是它们之间的通信是一个对等层之间进行的“虚通信”。顾名思义，它们之间不能直接进行通信，实际的通信过程是应用层把图 1-6 所示的数据包传输到 TCP 层，因此应用层与 TCP 层之间画的是双向实线。TCP 层为了进行可靠性控制和识别数据从源主机的哪个程序(进程)来，要送到目标主机的哪个程序(进程)去，应加上一些 TCP 层的控制信息(常称为 TCP 报文头)。这些控制信息由目标端的 TCP 层进行识别，以查看是否有差错，以及应把该 TCP 报文送到哪个目标程序。这样，源端和目标端的 TCP 对等层之间也有一个虚通信过程，在图 1-5 中用虚线表示。实际的通信也是 TCP 层把加了 TCP 报文头的报文送到 IP 层，IP 层再加上用于识别互联网中源主机和目标主机的 IP 地址以及上层协议类型等，组成 IP 层数据报头后送到网络接口层；网络接口层把从 IP 层收到的数据报加上以太网数据帧头后(主要为 48 位的以太网地址和上层协议类型)，通过以太网网卡向物理介质中传输比特流，只有数据传到这里时才进行真正意义上的物理信号传输，一般叫“实通信”。

上面所说的当应用程序用 TCP 传送数据时，数据被送入协议栈中，然后逐个通过每一层直到被当作一串比特流送入物理网络，其中每一层对从它的上层收到的数据都要增加一些头部信息(有时还要增加尾部信息)，这种增加数据头部(和尾部)的过程叫数据封装或数据打包。数据送到接收方对等层后，接收方将识别、提取和处理发送方对等层所加的数据头，这个过程叫数据的解封或拆包。封装与解封的整个过程如图 1-7 所示，当然实际处理过程是比较复杂的，具体细节我们将在第 3 章中详细分析。

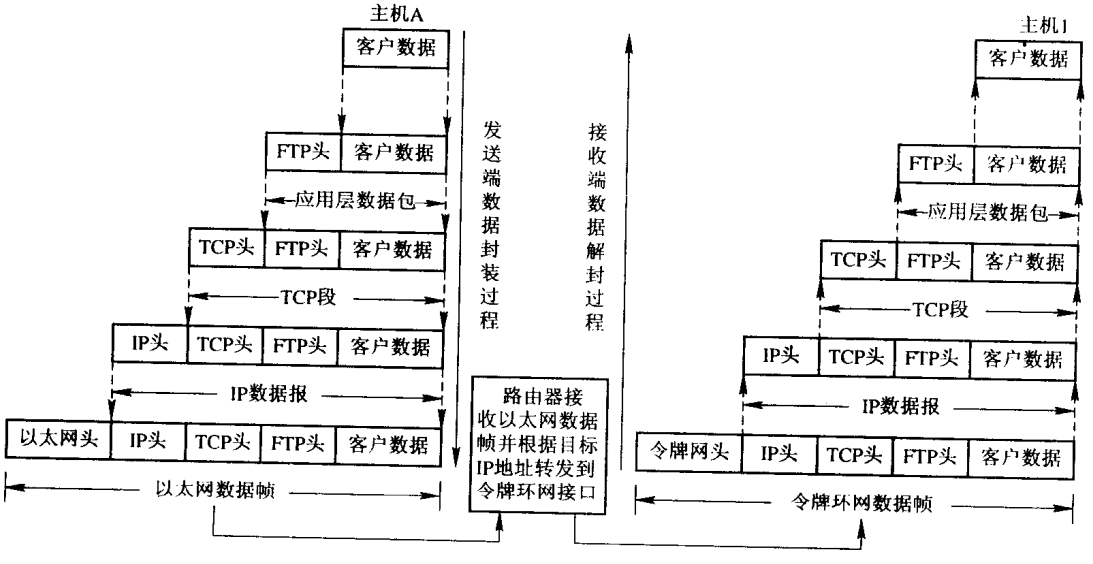

图 1-7　TCP/IP 协议数据封装与解封过程