新编《信息、控制与系统》系列教材

Broadband Information Network

宽带信息网络

戴琼海 编著

Dai Qionghai

TUP
清华大学出版社

Springer

宽带信息网络

戴琼海　编著

清华大学出版社　　Springer

(京)新登字 158 号

内 容 简 介

本书共分 14 章，内容包括宽带 IP 网络、ATM 网络、宽带无线网络、宽带接入网络、信息论及其编码和信息安全等。其中对宽带网络与 QoS、宽带接入网络、信息编码与 MPEG 标准作了详细论述。

本书取材广泛，内容新颖，充分反映了国际上近年来先进的宽带信息网络的新理论、新技术、新方法和新应用，可以帮助读者尽快地跟踪宽带信息网络学科的最新发展。

本书可作为理工科研究生和高年级本科生的教材及参考书，亦可作为对宽带信息网络领域感兴趣的专业人员的基本参考书。

图书在版编目(CIP)数据

宽带信息网络/戴琼海编著. —北京：清华大学出版社，2002
ISBN 7-302-05305-7

Ⅰ. 宽… Ⅱ. 戴… Ⅲ. 宽带通信系统—计算机通信网 Ⅳ. TN915.142

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 013384 号

出 版 者：清华大学出版社(北京清华大学学研大厦，邮编 100084)
http：//www. tup. tsinghua. edu. cn
责任编辑：王一玲
版式设计：韩爱军
印 刷 者：北京通县大中印刷厂
发 行 者：新华书店总店北京发行所
开　　本：787×1092 1/16　**印张**：27.75　**字数**：591 千字
版　　次：2002 年 9 月第 1 版　2002 年 9 月第 1 次印刷
书　　号：ISBN 7-302-05305-7/TP・3116
印　　数：0001～4000
定　　价：35.00 元

新编《信息、控制与系统》系列教材

出版说明

信息、控制与系统学科是在20世纪上半叶形成和发展起来的一门新兴技术科学。在人类探索自然和实现现代化的进程中，信息、控制与系统学科的理论、方法和技术始终起着重要的和基础的作用。基于信息、控制与系统科学的自动化的发展和应用水平在一定意义上是一个国家和社会的现代化程度的重要标志之一。本系列教材是关于信息、控制与系统学科所属各个领域的基本理论和前沿技术的一套高等学校系列教材。

本系列教材所涉及的范围包括信号和信息处理、模式识别、知识工程、控制理论、智能控制、过程和运动控制、传感技术、系统工程、机器人控制、计算机控制和仿真、网络化系统、电子技术等方面。主要读者对象为自动控制、工业自动化、计算机科学和技术、电气工程、机械工程、化工工程和热能工程等系科有关的高年级大学生和研究生，以及工作于相应领域和部门的科学工作者和工程技术人员。

10多年前，清华大学出版社会同清华大学自动化系，曾经组编出版过一套《信息、控制与系统》系列教材，产生了较大的社会影响，其中多数著作获得过包括国家级教学成果奖和部委优秀教材奖在内的各种奖励，至今仍为国内众多院校所采用，并被广大相关领域科技人员作为进修和自学读物。我们现在组编的这套新编《信息、控制与系统》系列教材，从一定意义上说，就是先前那套教材的延伸和发展，以反映近些年来学科的发展和在科学研究与教学实践上的新成果和新进展，以适应当前科技发展和教学改革的新形势和新需要。列入这套新编系列教材中的著作，大多是清华大学自动化系开设的课程中经过较长教学实践而形成的，既有多年教学经验和教学改革基础上的新编著的教材，也有部分原系列教材的更新和修订版本。这套新编系列教材总体上仍将保持原系列教材求新与求实的风格，力求反映所属领域的基本理论和新近进展，力求做到学科先进性和教学适用性统一。需要说明的是，此前我们曾以《信息技术丛书》为名组编这套教材，并已出版了若干种著作。现为使“书”和“名”更为相符，这些已出版的著作将在重印或再版时列入这套新编系列教材。

我们希望，这套新编系列教材，既能为在校大学生和研究生的学习提供内容先进、论述系统和教学适用的教材或参考书，也能为广大科学工作者与工程技术人员的知识更新与继续学习提供适合的和有价值的进修或自学读物。我们同时要感谢使用本系列教材的广大教师、学生和科技工作者的热情支持，并热忱欢迎提出批评和意见。

新编《信息、控制与系统》系列教材编委会

2002年6月

新编《信息、控制与系统》系列教材

编 委 会

前言

网络与信息安全是21世纪世界各国竞争最激烈的科学技术领域，也是新思想、新理论、新技术的汇聚。今天，在全世界范围内，信息技术(IT)正在社会生产力范畴掀起一场革命，这场革命的基础就是信息，它已成为人类赖以生存的三大重要资源(信息、物质和能源)之一。信息技术包括信息的采集、加工处理、存储、传输、转换、接收和再现。以因特网(Internet)为代表的宽带信息网络是现代社会最重要的信息基础，它已渗透到社会的各个领域。宽带信息网络大致可以分为以下几个层次。网络的基础是物理传输层，当前最重要的物理传输网是光纤网，另一发展快速并且影响力日益显著的则是无线网和移动网，它们的发展使得接入和传输更具灵活性。在基本物理网之上，可以构成多种网络，如因特网、电信网、有线电视网等。宽带信息网络中信息的编码是一个重要的核心科学技术问题，多媒体技术中的一个关键部分是多媒体信息处理技术，为了有效地存储和传输这些媒体信息，就需要进行多媒体信息编码与描述，编码一般要求高压缩率、高容错性以及高保真度。

宽带网络、信息编码和信息安全是本书讨论的重点。我们将主要讨论IP网络、ATM网络、无线与移动通信网络、信息论及其多媒体编码、网络安全与信息安全。目的是为这些领域提供一个最新的概述，以方便读者系统地了解宽带信息网络这一交叉学科的结构和研究的热点课题。作为教材，本书适合研究生及高年级学生使用。本书讨论了许多当前国际上正在研究的课题，各篇相对独立，可根据课时进行安排。

全书共包括6篇14章。在第1篇中，对传统的TCP/IP协议进行了相当详尽的分析，并且着重讨论了新一代网络协议——IPv6的内容，介绍的重点包括地址策略、路由协议与算法以及多路广播。在此基础上，详细介绍了IP协议中的QoS技术。第2篇从ATM网络的体系结构、组网技术两方面对ATM网络进行了透彻的分析和讲解，并且系

统地归纳了 ATM 网络中的质量控制技术。第 3 篇讲述的主要内容是无线信息网络和无线通信网络。无线信息网络部分以无线局域网为重点，同时讲述了目前存在的绝大多数无线信息网络技术。无线通信网络部分则系统地介绍了该技术的发展过程和技术特点，对现有技术的发展趋势进行了推断。第 4 篇首先从传统电信网络的角度阐述了接入网的概念、协议以及体系结构，然后从综合信息网络（三网融合）的发展趋势出发，详细介绍了目前主要的几类接入网技术，同时对接入网技术的发展前沿进行了适当的讲解。第 5 篇讲述了信息论的主要内容，介绍了信息理论的重要概念和基本理论；针对宽带网络应用，详细地、逐个地分析讲解了运动专家图像组制定的 MPEG 标准簇。第 6 篇从网络安全和信息安全两个方面详细介绍了信息系统安全领域的内容。网络安全领域主要包括网络安全原则、网络安全缺陷、网络进攻手法以及实用的防范进攻技术等内容；信息安全领域则包括了密码理论、经典密码算法、验证算法等。作为相关技术的实际应用，在本篇的最后讲述了应用于数字广播中的有条件接收系统设计方案。

限于作者的水平，不妥及错误之处在所难免，恳切希望读者给予批评指正。

作　者

2002 年 1 月

目 录

第 1 篇 IP 网 络

第 2 篇 ATM 网络

第 3 篇 无线网络

第 4 篇 宽带接入网

第 5 篇 信息编码技术

第 6 篇 网络安全与信息安全

第1篇

IP 网 络

具有100年历史的电路交换技术，尽管有其不可磨灭的历史功勋和内在的高质量、严格管理优势，但基本设计思想是以恒定的对称话路量为中心，采用复杂的、分等级的时分复用方法，语音编码和交换速率为64kbps。对于以突发性数据为主的业务而言，效率较低，传输成本和交换成本较高，网络资源浪费以及必须采用复杂的信令、计费方法和网管。当网络的业务量以数据为主时，这种低效率状态将变得不可容忍，建设新一代网络势在必行。这个网络必须具有统一的通信协议和巨大的传输容量，能以最经济的成本，灵活、可靠、持续地支持一切已有的和将有的业务和信号。显然，这样的新一代网只能是以ATM/IP特别是以IP为基础的分组化网。分组化网有着传统电路交换网所无法具备的优势，例如，无复杂的时分复用结构；有信息才占用网络资源，效率高，成本低；信令、计费和网管简单；可适应非对称的突发数据业务等。随着网络中数据业务量逐步成为主导，从传统的电路交换技术逐步转向以数据特别是IP为基础的整个电信新框架将是历史的必然。当然，这种转变不是一朝一夕就能完成的，可能需要10～15年时间，但其对电信业的影响却是100年来最重大和最深刻的一次，也势必对电信产业结构产生重大的影响。在未来10～15年内，电信公司的主要任务是同时支持两种网络，解决两网之间的互通以及各自业务和应用之间的互操作性，从而最终完成由传统电路交换为基础的电信网向分组

化的 ATM/IP 为基础的数据网的平滑过渡。

进入 20 世纪 90 年代中期以来，Internet 业务量的增长已构成数据业务的主要增长因素。从 1990 年到 2000 年这 10 年间，用户数增长了大约 2 个数量级。除了用户数量的指数式增长外，业务带宽也呈现了指数式增长态势。例如，在 1990 年左右，主要业务是 E-mail，带宽仅 1kbps 左右。到了 1995 年，主要业务是 Web 浏览，所用的带宽已增长到大约 50kbps。到 2000 年左右，活动图像成为重要业务，所占用的带宽可达 5Mbps。这 10 年间，业务带宽的增长达 4 个量级。两者的结合使 IP 所需的网络带宽急剧增长，形成了新时期网络带宽的主要驱动力量。近几年来，大量投资集中在这一领域，新概念、新技术不断出现，如浏览器、Java、Internet/Intranet、Inferno 操作系统等层出不穷。如果说，一年前数据业务的主要增长点是帧中继和 ATM，那么，以后的主要增长点将主要是 IP 业务。预计 1～3 年后，IP 协议将成为电信网的主导通信协议。因而，未来网络的分组化实质上主要指 IP 化。

第 1 篇将对 IP 网络的各方面进行详细介绍。

第 1 章
TCP/IP 协议

TCP/IP Internet 协议簇已经成为计算机工业中开放系统互联的事实上的标准。世界各地的计算机系统之所以使用 TCP/IP Internet 协议来通信，是由于它提供了最好的交互操作性能，可以在绝大多数销售商的系统中使用，并且它可兼容多种网络技术，在这一点上，它比其他任何一个协议簇都要强。科研和教育机构将 TCP/IP 作为基本的数据通信平台。此外，工业上已将 TCP/IP 应用到航空工程、汽车制造、电子技术、宾馆服务、石油化工、出版印刷、药剂制造等众多领域中。

除了常规地在专用工业网上使用了 TCP/IP 外，许多院校、政府和军事单位也使用 TCP/IP 协议，通过 Internet 连接，相互通信。这些院校比起没有连接 Internet 的院校来说，在信息交流和研究成果交换方面要优越得多，从而为这些科研院所的研究者提供了有利的竞争环境。

本章分为 6 节。第 1 节简介了 TCP/IP 协议的发展历史；第 2 节叙述了 TCP/IP 的体系结构；第 3 节具体分析了 IP 协议；第 4 节论述了 TCP 协议的内容；第 5 节和第 6 节分别讨论了 UDP 协议和路由协议。

1.1 TCP/IP 协议简介

TCP/IP(transmission control protocol and internet protocol，传输控制协议/因特网协议)代表了一系列因特网互联协议，是很多具有相似特征的一簇协议的总称。这个协议簇不仅包括 TCP 和 IP 两个主要的协议，还包括远程登录、远程文件传输、电子邮件等网

络服务协议。它定义了通过因特网(Internet)进行传输交换,处理传输中发生的故障,管理传输路径等功能。

TCP/IP协议经过了很长时期的发展。早在1969年,美国国防部高级研究计划署ARPA(U.S. department of defense advanced research projects)资助美国的部分大学建立了ARPANET网络,主要尝试通过点对点的租用线路进行包交换,研究目的在于使用包交换网络,提供高速的通信连接,同时为网络的研究提供平台。1974年ARPA的鲍勃·凯恩和斯坦福大学的温登·泽父合作,推出了TCP/IP协议。1978年美国国防部决定以TCP/IP协议的第四版作为数据通信网络的标准。因特网通信协议标准化的实施极大地推动了因特网的发展。1982年TCP/IP加入到UNIX内核中。1983年MILNET从ARPANET中分离出来,新ARPANET各站点的通信协议全部转换为TCP/IP,这是全球Internet正式诞生的标志。其后不久,欧洲建成了科学和研究网EARN(European academic and research network),也使用了TCP/IP协议簇。

TCP/IP经过了20多年的发展,广泛地应用在Internet和难以计数的小型专用网络上,这是一个令人难以置信的成功协议,它把数十个或上百个网络上的数以百计或数以千计的主机连接在一起。应该说,TCP/IP与Internet的关系十分密切,两者的概念是同时发展起来的,在每个概念的发展同时促进着另外一个概念的完善。

1.2 TCP/IP协议体系结构

TCP/IP是一种因特网互联通信协议,目的是将各种异构计算机网络或主机通过该协议实现互联。

它的体系结构和OSI/RM体系结构类似,采用了分层体系结构,每一层完成特定的功能,各层之间相互独立,相互之间采用标准接口传送数据。TCP/IP由5层构成,如图1-1所示,包括物理层、数据链路层、网络层、传输层和应用层。在数据链路和物理层中,TCP/IP没有定义任何特定的协议,它支持所有各种合适的协议;在网络层,尽管还有其他协议可以支持数据传输,TCP/IP定义的主要协议是IP;在传输层中,TCP/IP定义了协议TCP和UDP;在应用层,主要定义了各种应用协议,如HTTP、SMTP等。但是,TCP/IP是在OSI之前发展起来的,因此TCP/IP协议中的层次的概念并不完全和OSI模型相匹配。

TCP/IP协议的主要任务是通过Internet传送数据,但是为了在物理上能够从一个网络传输到另一个网络,数据报必须在底层被封装入帧,最终通过传输媒介以信号的方式进行传输。在不同网络层中,数据单元的封装形式是不一样的。在应用层中创建的数据单元称为消息,TCP或者UDP创建的数据单元称为段或者用户数据报。IP层的数据单

元为数据报。

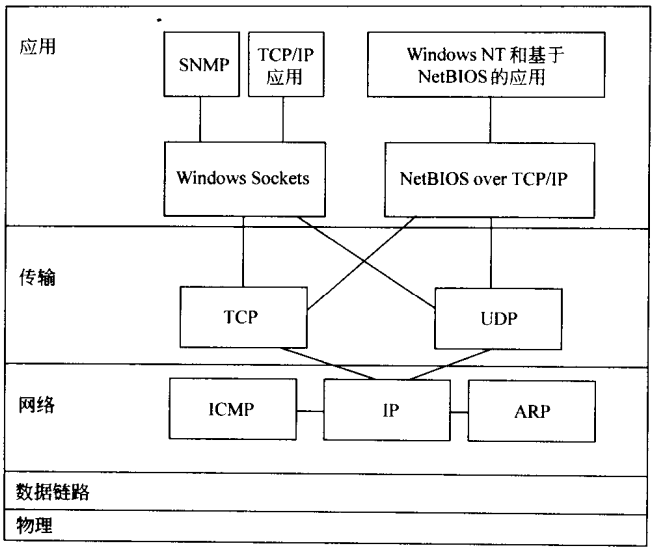

图 1-1　TCP/IP 协议层次结构

1. 物理媒体接口协议

作为网络层 IP 协议和物理媒体的接口协议，该协议将 IP 层的数据报封装成相应物理媒体数据帧，或者将物理媒体中的数据帧提出数据报送交 IP 层。主要的接口协议有：

- 地址解析协议 ARP。它将因特网的 IP 地址映射成物理层的 MAC 地址。物理地址仅仅在本地有效，可以很容易地被改变，而 IP 地址具有全球有效性，不能被改变。因此利用 ARP 通过已知的 IP 地址可找到相应的物理地址。
- 逆向地址解析协议 RARP。它将物理层 MAC 地址映射成 IP 地址。RARP 的工作原理和 ARP 类似。

2. TCP/IP 网络层协议

主要有 IP、ICMP 和路由协议等。

- IP 协议：它是 TCP/IP 协议中最主要的网络协议。IP 主要有两个功能：提供无连接、有效的数据分发；提供数据报的分组和重组，以支持不同最大传输单元 MTU 的数据链路。
- Internet 控制报文协议 ICMP(internet control message protocol)：主要是主机或者网关用来提供错误报告信息的一种机制。ICMP 使用反射测试/回应来检查一个目标是否可以到达，以及是否有回应。同时，它也处理控制和差错信息。不过，ICMP 的主要功能是发现问题并提出报告，而不是进行解决。另外，ICMP 只能将信息传送给源站点，而不能传送给中间路由器，因为数据报仅仅携带源发送者和最终目标接收者的地址。

- 路由协议：提供最佳路由和转发数据分组。将在后面作进一步的介绍。

3. TCP/IP 传输层协议

TCP/IP 传输层协议包括 TCP 协议和 UDP 协议。

- 传输控制协议 TCP：提供 IP 环境下，面向连接的可靠传输。TCP 提供的服务包括数据流传送、可靠性、流量控制、全双工操作和多路复用等。
- 用户数据报协议 UDP：提供无连接的不可靠的通信服务。在不需要 TCP 可靠机制的情况下，可以使用 UDP。

4. TCP/IP 应用层协议

主要完成 OSI/RM 的应用层、表示层、会话层功能。它包括的协议很多，主要有：

- Telnet(telecommunication network)：实现远程登录功能。也就是说，一台计算机上的用户可以登录到另一台计算机上，如同在这些计算机上直接操作一样，这些连接可以是到本地网或者全球任何地方的任何网络，只要用户获准登录到该通信系统。
- 文件传输协议 FTP(file transfer protocol)：实现主机间的文件传送。它是TCP/IP为了从一台主机拷贝文件到另一台主机上所提供的一种标准机制。FTP使用 Telnet 协议，将消息封装入 TCP。它与一般的客户服务应用程序不同，它在主机之间建立了两个连接(虚电路)，一个用于传输数据，一个用于控制。FTP 提供了一个安全可靠的文件传输协议。
- 域名系统 DNS(domain name system)：实现由主机名解析 IP 地址的功能。
- 简单邮件传送协议 SMTP(simple mail transfer protocol)：实现主机间电子邮件的发送和接收。
- 简单网络管理协议 SNMP(simple network management protocol)：实现网络管理功能，为监控和管理互联网络提供了一系列基本的操作。它是建立在 UDP 基础上的简单请求/响应协议，提供了很少的可靠性，同时不提供任何安全性。
- 超文本传输协议 HTTP(hyper text protocol)：实现 Web 信息查询。这是一个高级文件获取应用程序，它可以访问在 WWW 上分布和链接的文档，也可以访问超文本的链接文本文档，或者访问超媒体的包含图像、图表和声音的链接文档。HTTP 中的消息被划分为两大类：请求和响应。其中有 3 种请求包和一种响应包。请求命令由客户向服务器发送，响应命令则通过服务器发往客户。
- 网络文件系统 NFS(network file system)：实现主机间文件系统的共享。NFS 允许用户编辑另一台计算机上的文件，它甚至允许用户将文件从服务器上传输到和用户的计算机以及服务器不直接相连的第 3 台主机上。