普通高等院校计算机课程规划教材

Network Application Protocols and Practice Course

网络应用协议与实践教程

吴桦 丁伟 夏震 编著

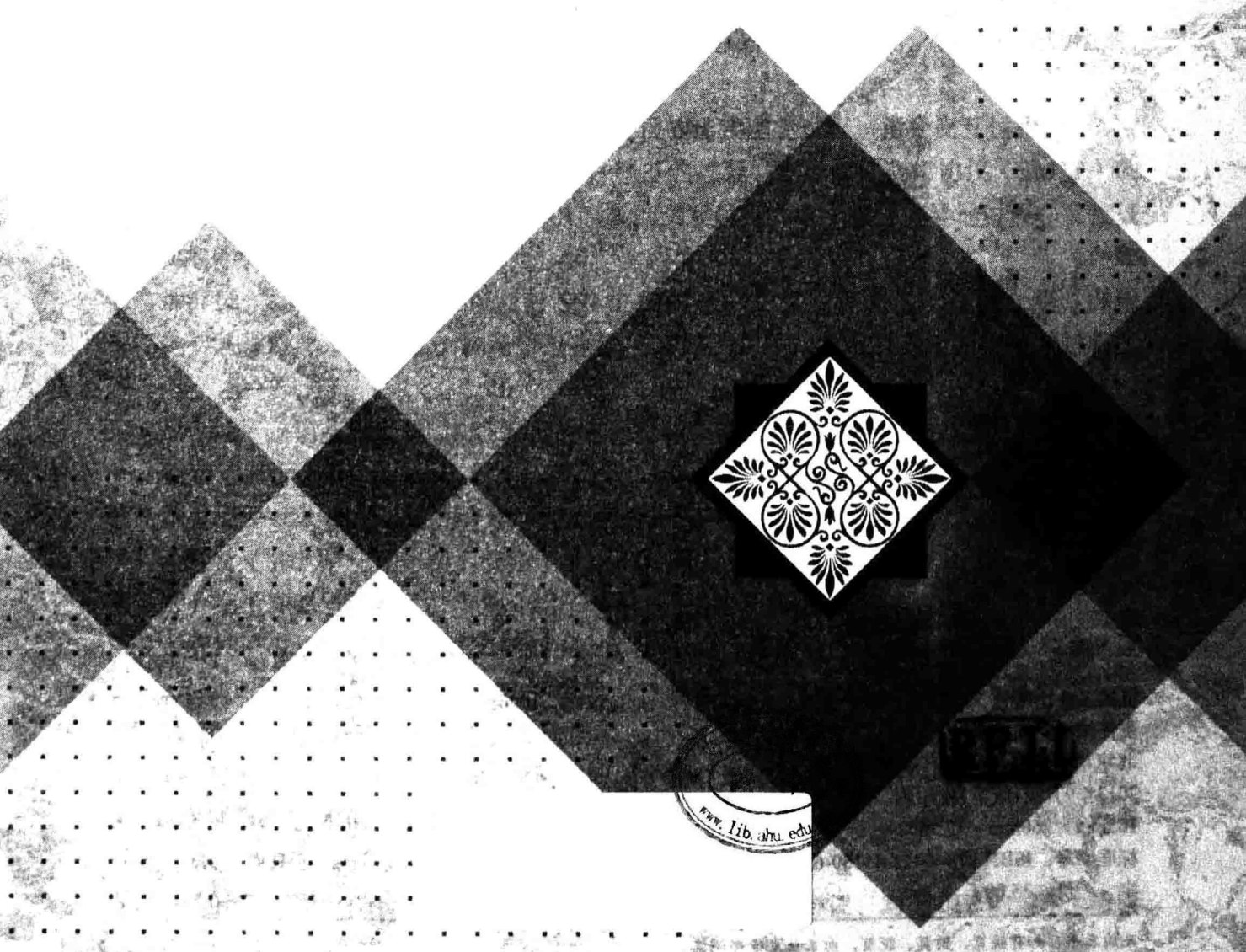
机械工业出版社
China Machine Press

普通高等院校计算机课程规划教材

Network Application Protocols and Practice Course

网络应用协议与实践教程

吴桦 丁伟 夏震 编著



机械工业出版社
China Machine Press

图书在版编目（CIP）数据

网络应用协议与实践教程 / 吴桦，丁伟，夏震编著. —北京：机械工业出版社，2013.8
（普通高等院校计算机课程规划教材）

ISBN 978-7-111-43159-6

I. 网… II. ① 吴… ② 丁… ③ 夏… 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（2013）第145905号

本书介绍TCP/IP中的应用层协议及其应用，既包括了历史最久的域名服务、电子邮件、文件传输，也包括了近些年发展较快的P2P应用、即时通信应用、VoIP应用，并对应用层中最重要的Web应用，按基本协议、开发技术以及应用的发展线索作了较为全面的介绍。

本书将理论和应用相结合，既给出了网络应用的标准协议架构，又给出了应用实例。在本书的学习过程中，要求读者通过实践观察，将理论学习和实际应用相结合，加深对协议实现的理解。通过本书的学习，读者将掌握网络协议分析的基本方法，为将来从事网络协议开发、网络安全分析奠定基础。

本书内容全面，实用性强，可作为高等学校“网络应用”、“网络实用技术”等课程的教材，也可作为网络工程师和计算机网络爱好者的参考书。

机械工业出版社（北京市西城区百万庄大街22号 邮政编码 100037）
责任编辑：[redacted]
北京市[redacted]有限公司印刷
2013年9月第1版第1次印刷
185mm×260mm · 17.25印张
标准书号：ISBN 978-7-111-43159-6
定 价：35.00元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换
客服热线：（010）88378991 88361066 投稿热线：（010）88379604
购书热线：（010）68326294 88379649 68995259 读者信箱：hzjsj@hzbook.com

前　言

网络技术的发展中，直接面向用户的应用层协议及其应用的发展非常迅速。应用层的协议发展和开发技术是学生走上工作岗位后面临的重要挑战，因此学生对应用层协议的软件开发知识有较强的需求，对新型应用有较浓厚的兴趣。由于课程内容和课时的限制，传统的“计算机网络”课程无法对种类繁多的应用层协议进行系统介绍，更无法覆盖应用层协议的发展现状。本书的目是从传统的应用层协议出发，进一步涵盖最新的网络应用，将协议内容和实际系统相结合进行讲解，培养学生协议分析能力，为学生进行应用层的应用开发以及安全分析奠定基础。

本书共 13 章，内容安排如下：

第 1 章是对网络应用协议的基本介绍，包括 TCP/IP 协议族、使用 TCP 和 UDP 传输协议的不同应用特点、网络应用服务的基本框架等。本章要求读者掌握报文分析软件的基本用法，为后续章节的学习打下基础。

第 2 章介绍了最基本的域名服务，包括域名系统的基本概念、功能，域名系统的组成，以及域名解析的性能优化。

第 3 章介绍了文件传输协议，包括文件传输过程的连接建立过程、指令交互过程。

第 4 章介绍了电子邮件服务，包括电子邮件服务的过程、电子邮件交付协议（SMTP）的交互过程、取回电子邮件协议（POP3 和 IMAP4）的交互过程、电子邮件的寻址过程、反垃圾邮件技术和邮件加密软件的使用。

第 5 章介绍了简单网络管理协议，对 SNMP 的构成、交互过程进行了详细介绍，并给出了利用免费软件搭建基于 SNMP 网络管理系统的过程。此外，本章对高级网管技术进行了介绍。

第 6 章介绍了公钥基础设施（PKI）的功能、基本原理、系统组成、提供的服务，最后介绍了 PKI 在网上银行中的应用。

第 7 章介绍了 P2P 应用，首先介绍了基本的 P2P 应用结构以及应用中的关键技术，然后介绍了若干种常见的 P2P 应用，最后介绍了 P2P 开发平台 JXTA。

第 8 章介绍了即时通信技术，着重介绍了 MSN 的结构及其协议过程。

第 9 章介绍了 VoIP 应用，介绍了 VoIP 的协议族，对主要的信令协议——H.323 和 SIP 进行了比较，对实时传输协议 RTP 和 RTCP 以及实时流媒体协议 RTSP 进行了介绍，还介绍了与 VoIP 服务质量相关的 RSVP 技术和语音处理技术。

第 10 ~ 13 章是一个完整的部分，对网络应用中用户最多的 Web 应用进行了系统的介绍。

第 10 章对 Web 技术的发展进行了介绍，介绍了 Web 架构的组成、Web 客户端和服务器端的变迁、Web 应用的变迁。

第 11 章介绍了用于 Web 服务器和客户端之间交互的 HTTP 协议，对 HTTP 的请求 / 响应机制、HTTP/1.1 的优化特性进行了详细的介绍。

第 12 章介绍了 Web 开发技术，对主要的开发技术进行了概括介绍，并给出了构建网站的

基本过程。

第 13 章介绍了 Web 应用面临的安全问题，从客户端安全、传输安全、服务器安全这三个角度阐述了 Web 应用面临的安全问题和相应的对策。

本书理论结合实践，具有较好的可操作性，可帮助读者深入理解网络协议，既可作为高等学校的教材，也可作为网络工程师的参考书。

本书由吴桦、丁伟和夏震编著，具体分工为：吴桦编写了第 1 章、第 3 章、第 5 ~ 13 章、附录，夏震编写了第 2 章和第 4 章，丁伟对全书的大纲拟定和实验给予了指导。本书在编写过程中得到了东南大学孙志辉教授以及南京大学徐洁磐教授的支持和关心，在此表示衷心的感谢。本书对互联网应用现状的调查和相关技术背景的介绍来自互联网，在此对它们的作者一并表示感谢。

由于作者水平有限，书中难免存在不足之处，敬请读者批评指正，编者的电子邮箱为：hwu@njnet.edu.cn。

编　者

教学建议

教学内容	教学要点及教学要求	课时安排	
		计算机专业	非计算机专业
第 1 章 网络应用协议	1）了解网络协议的作用。 2）了解因特网协议 TCP/IP 的层次，掌握 IP、TCP、UDP、网络应用层协议的功能。明确网络应用层协议和底层的传输协议之间的关系。 3）知道 IP 地址的分类和用途。 4）了解 TCP 和 UDP 所提供的不同传输功能，以及各种不同应用选择相应传输协议的原因。 5）了解应用服务软件的基本架构，了解集中式和 P2P 应用服务的特点和区别，了解端口的概念和用处。 6）初步了解应用层软件和传输层的接口套接字的用处和基本工作过程。 7）掌握 Wireshark 的基本使用，为后续章节的学习打下基础。	4	4
第 2 章 域名服务	1）掌握域名系统的目的及其总体结构。 2）了解域名空间树的构成。各种域名服务器的主要类型及其用途。 3）掌握域名解析的基本过程，能够诊断简单的域名查询错误。 4）了解区域传输功能的目的和方法。	3	3
第 3 章 文件传输协议	1）掌握 FTP 的连接通信过程。 2）了解控制连接的建立过程，掌握控制连接的基本指令。 3）了解数据连接的建立过程。 4）结合常用的 FTP 客户端工作过程了解 FTP 的通信过程。 5）了解点对点文件共享的基本工作原理。	2	2
第 4 章 电子邮件服务	1）了解电子邮件服务过程及其过程中需要用到的协议。掌握邮件交付协议和邮件取回协议的基本功能、使用场合、工作过程。 2）了解电子邮件的基本格式，以及 MIME 的扩展格式。 3）了解反垃圾邮件技术的目的，3 种主要反垃圾邮件技术的框架。 4）了解邮件加密的必要性，学会使用邮件加密软件 PGP 对邮件进行加密。	4	4
第 5 章 简单网络管理协议	1）了解 SNMP 的作用和基本组成。 2）了解管理信息结构和管理信息库的作用。 3）掌握 SNMP 报文的基本功能。 4）会使用 MIB 浏览器对 PC 的 MIB 进行浏览。 5）了解建立基于 SNMP 的网络管理系统所需要做的工作。	4	4

（续）

教学内容	教学要点及教学要求	课时安排	
		计算机专业	非计算机专业
第 6 章 公钥基础设施	1）了解 PKI 作为网络安全基础设施的作用，对 PKI 中使用的密码算法、HASH 算法有基本的了解。 2）了解 PKI 的基本组成，重点掌握数字证书的内容和生命周期管理。 3）对 PKI 中使用的密码算法、HASH 算法有基本的了解。了解 PKI 所能提供的基本安全服务，包括数据机密性、数据完整性、数据源鉴别等。 4）结合 PKI 在实际生活中的应用实例加深对其的理解。	4	4
第 7 章 P2P 应用	1）了解 P2P 架构的基本模式，掌握几种典型的 P2P 网络拓扑特征。对典型 P2P 网络拓扑带来的优缺点有所了解。 2）了解影响 P2P 网络功能和效率的关键问题及其常见解决方法。 3）了解常见 P2P 软件的基本工作流程，分析其基本结构以及优缺点。 4）对 P2P 的优点和问题有一定的见解。	4	4 （选讲）
第 8 章 即时通信应用	1）掌握即时通信软件的用途，了解目前国内的即时通信软件典型应用。 2）掌握 MSN 网络的基本组成和总体结构。 3）了解客户端和服务器之间的“MSN 消息协议”以及客户端和客户端之间的“MSN 客户协议”基本格式。 4）掌握 MSN 服务登录过程、用户状态改变与状态保持、消息通信过程等基本通信过程协议时序。	4	4 （选讲）
第 9 章 VoIP 应用	1）了解 VoIP 的基本概念。 2）了解什么是信令以及 VoIP 的主要信令技术分类。 3）了解 H.323 协议族的组成，各协议的功能，H.323 呼叫的建立过程；了解 SIP 协议的作用，SIP 系统的组成，SIP 消息的格式，SIP 呼叫的建立过程。了解这两种不同 VoIP 技术体系的区别。 4）了解 VoIP 服务质量需求及现有解决办法。	4	4 （选讲）
第 10 章 Web 技术发展介绍	1）了解因特网和 Web 应用的起源。 2）了解 Web 架构的三个组成。 3）了解 Web 客户端的发展历史及其现状，Web 服务器现状，不同 Web 服务器的特点。 4）根据 Web 应用的发展对网络应用的发展进行预测。	3	3
第 11 章 超文本传输协议	1）了解 HTTP 的作用、基本运行方式。 2）掌握请求消息格式，了解常用请求报头选项含义；掌握响应消息格式，了解常用响应报头选项含义。 3）为了提高传输效率，HTTP/1.1 采取了一系列优化措施，了解 HTTP/1.1 的持久连接、分块传输、内容协商、缓存机制和状态保持机制的实现原理。	3	2 ~ 3 （选讲）
第 12 章 Web 开发技术	1）了解 HTML 的基本结构，会选用一种工具编辑 HTML 文档；了解 DIV+CSS 的作用，会简单使用。 2）了解 JavaScript 的基本语法，了解 BOM 模型，会使用 Document 对象进行编程。 3）了解 HTML 5 的概念和常见应用。	4	3 ~ 4 （选讲）

（续）

教学内容	教学要点及教学要求	课时安排	
		计算机专业	非计算机专业
第 13 章 Web 应用的安全问题	1）了解 Web 应用可能发生安全问题的各个环节。 2）了解主要的客户端安全威胁及其防范方法。 3）了解在数据传输过程中如何防范安全攻击。 4）了解 Web 服务器可能遇到的安全威胁以及如何防范。 5）了解拒绝服务攻击的原理、危害以及防范方法。	5	3 ~ 5 （选讲）
	教学总学时建议	48	32 ~ 48

说明：

1）本教材是为有计算机网络应用开发需求的计算机专业本科生编写的，建议的课堂学时数为 48（包括课堂教学和课堂讨论，不包括实验），不同学校可以根据各自的教学要求和计划学时数酌情对教材内容进行取舍。

2）非计算机专业的师生在使用本教材时可适当降低教学要求，若授课学时数少于 42，第 7 ~ 9 章和第 11 ~ 13 章的内容可以适当简化。

课堂教学建议：

1）如果已经学习过 TCP/IP，第 1 章内容可以简要讲授，如果没有学过，第 1 章内容是重点。

2）使用 Wireshark 对协议进行分析可以将本书内容与实际相结合，需要重视这部分实践内容，并在各章节的学习中使用。

3）第 10 ~ 13 章是一个整体，讲授过程中要注意前后关系和衔接。

目　录

第1章

网络应用协议

学习要求：

1）了解网络协议的作用。

2）了解因特网协议 TCP/IP 的层次，掌握 IP、TCP、UDP、网络应用协议的功能。

3）知道 IP 地址的分类和用途。

4）了解 TCP 和 UDP 所提供的不同传输功能，以及各种不同应用选择相应传输协议的原因。

5）了解应用服务软件的基本架构，了解集中式和 P2P 应用服务的特点和区别，了解端口的概念和用处。

6）初步了解应用层软件和传输层的接口 socket 套接字的用处和基本工作过程。

7）掌握 Wireshark 的基本使用，为后续章节的学习打下基础。

1.1 网络协议基本概念

计算机通信网是由许多具有信息交换和处理能力的节点互连而成的，要使整个网络有条不紊地工作，相互通信的计算机系统必须高度协调工作才行，而这种“协调”是相当复杂的。这要求每个节点必须遵守一些事先约定好的数据格式及时序等规则。这些为实现网络数据交换而建立的规则、约定或标准就称为计算机网络协议。协议是通信双方为了实现通信而设计的约定或通话规则，规定要传送什么、怎样通信、如何通信。计算机网络协议通常由语法、语义和时序 3 部分组成。类似地，现实生活中的人们必须使用同样的语言互相理解，语言就相当于协议，说不同语言的人无法互相理解，必须通过中间人进行翻译。

在物理上，相互通信的各节点无法直接通信，必须借助连接彼此的物理设备进行通信。由于物理媒介可能是电缆、光缆、无线 WAP 和微波，所以在异构的网络上进行通信是非常复杂的问题。“分层”可将庞大而复杂的问题转化为若干较小的局部问题，而这些较小的局部问题就比较易于研究和处理。网络体系结构是分层的，因此，协议也是分层的，必须按照分层的原则进行对等层通信，对等层之间使用相同协议的节点才能进行通信。

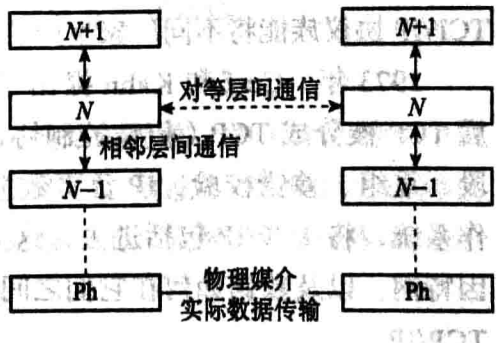


图 1-1 分层的网络结构

由图 1-1 可见，对等层之间的通信是网络传输的目标，但是必须通过相邻层之间的通信和物理媒介的实际传输来实现。对等层之间的通信必须遵循一致的通信规则，也就是协议。

协议需要定义通信双方交换的报文类格式，对报文

中的各个字段含义及其详细描述进行约定，给出包含在字段中的信息的含义，对进程的通信时机进行约定，规定进程何时、如何发送报文及对报文进行响应。

为确保数据的互操作性，厂家在开发产品时会使用一致同意的协议，也就是按照标准进行设计开发。标准的开发是通过一些标准创建委员会以及政府管理机构等合作完成的。标准的创建部门很多，著名的有国际标准化组织（ISO）、国际电信联盟－电信标准部（ITU-T），美国国家标准化局（ANSI）、电气和电子工程师学会（IEEE）等。因特网主要遵循 IETF（Internet Engineering Task Force）的 RFC（Request For Comments）。IETF 又叫互联网工程任务组，成立于 1985 年年底，是全球互联网最具权威的技术标准化组织，主要任务是负责互联网相关技术规范的研发和制定，当前绝大多数国际互联网技术标准出自 IETF。

IETF 有若干个工作组，每个工作组集中研究某个领域的特定问题。IETF 产生两种文件，一个叫做 Internet Draft，即“互联网草案”，另一个叫 RFC，意为“意见征求书”。互联网草案任何人都可以提交，没有任何特殊限制。从 Draft 到 RFC，需要 ITEF 成员的讨论、测试和审查，并被 IESG（Internet 工程指导组）发布。

作为标准的 RFC 又分为以下几种：第一种是提议性的，即建议采用这个作为一个方案而列出；第二种是完全被认可的标准，这种是大家都在用而且是不应该改变的；第三种是现在的最佳实践法，相当于一种介绍。

很多协议都是经过多年修改延续使用至今的，新产生的协议也大多是在基层协议基础上建立的，在使用过程中，随着更多需求的出现，会对原有的协议不断修改，以满足安全性、服务质量等各方面的需求。对于某些新型协议，因为出现时间短、考虑欠周到，也可能会因安全问题而被黑客利用。

1.2　因特网应用协议介绍

1.2.1　TCP/IP 协议族

因特网在我们的生活中无处不在，科研人员利用因特网进行资料搜索整理，商人利用因特网发布商品信息，电子交易、网上支付、娱乐信息、旅游信息、机票预订……所有这些应用已经渗透进我们的日常生活。

因特网是结构化的系统，它之所以能够面向用户提供纷繁复杂的应用，是由于涉及因特网的各项产品均遵循了因特网的协议和标准。这些协议和标准是由事实上的标准产生的。在 20 世纪 60 年代，大型计算机都是独立系统，不能进行互联，现在的因特网基于目前使用的 TCP/IP 协议族能将不同厂家生产的设备互联起来。

1973 年，Cerf 和 Kahn 提出了实现分组的端到端交付协议 TCP（传输控制协议）。随后 TCP 被分成 TCP（传输控制协议）和 IP（网际互联协议），TCP 负责高层的功能，如分段、重组、差错校验，IP 负责数据分组的路由选择。加州大学伯克利分校修改了 UNIX 操作系统，将 TCP/IP 包括进去，这大大普及了网络的互联。TCP/IP 定义了电子设备如何连入因特网，以及数据如何在它们之间传输的标准。现在，凡是想接入因特网的主机，必须运行 TCP/IP。

TCP/IP 协议由 4 层组成：网络接口层、网络层、传输层和应用层，如图 1-2 所示。

TCP/IP 协议族是由一些交互性的模块组成的层次结构。分层的网络协议使得不同厂家生产的不同设备可以构成互联网，每个层次必须遵循协议规定。

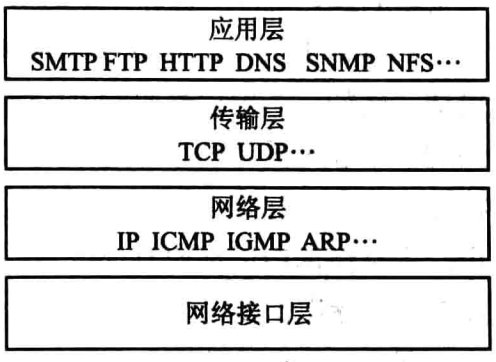


图 1-2　TCP/IP 协议族

1.2.2　IP

IP 是英文 Internet Protocol 的缩写，意思是“网络之间互连的协议”，也就是为计算机网络相互连接进行通信而设计的协议。IP 协议位于网络层，位于同一层次的协议还有 ARP、RARP、ICMP 和 IGMP。ARP 和 RARP 报文不被封装在 IP 数据报中，而 ICMP 和 IGMP 的数据则要封装在 IP 数据报中进行传输。由于 IP 协议在网络层中具有重要的地位，人们又将 TCP/IP 协议的网络层称为 IP 层。

IP 层通过数据报实现了物理数据帧的统一，通过 IP 地址实现了物理地址的统一。

1. 数据报

各个厂家生产的网络系统和设备，如以太网、分组交换网等，相互之间不能互通，因为它们所传送数据的基本单元（技术上称为“帧”）的格式不同。IP 协议实际上是一套由软件程序组成的协议软件，它把各种不同“帧”统一转换成“IP 数据报”格式，这种转换是因特网的一个最重要的特点，使各种计算机都能在因特网上实现互通，即具有“开放性”的特点。IP 协议的任务就是分割和重编在传输层被分割的数据报。

IP 数据报是分组交换的一种形式，就是把所传送的数据分段打成“包”，再传送出去。但是，与传统的“连接型”分组交换不同，它属于“无连接型”，是把打成的每个“包”（分组）都作为一个“独立的报文”传送出去，所以叫做“数据报”。每个数据报都有报头和报文这两个部分，报头中有目的地址等必要内容，使每个数据报不经过同样的路径都能准确地到达目的地，在目的地重新组合还原成原来发送的数据。这就要求 IP 具有分组打包和集合组装的功能。在实际传送过程中，数据报还要能根据所经过网络规定的分组大小来改变数据报的长度，IP 数据报的最大长度可达 65 535 字节。

IP 数据报在从信源到信宿的传输过程中要穿过多个不同的网络。由于各种物理网络存在着差异，对数据报的最大长度有不同的规定，因此，各个物理网络的最大传输单元（Maximum Transmission Unit，MTU）可能不同。物理网络的 MTU 是由硬件决定的。通常，网络的速度越高，MTU 也就越大。IPv4 和 IPv6 对数据报的封装有不同策略。

2. IP 地址

因特网是全世界范围内的计算机连为一体而构成的通信网络的总称。为了在因特网中识别不同的计算机，需要给计算机指定一个编号，这个编号就是“IP 地址”。根据 TCP/IP 协议规定，IP 地址由 32 位二进制数组成，而且在因特网范围内是唯一的。例如，某台因特网上的计算机的 IP 地址为：

11001010 01001001 10001110 00000110

很明显，这些数字对于人来说不太好记忆。人们为了方便记忆，就将组成计算机的 IP 地

址的32位二进制分成四段，每段8位，中间用小数点隔开，然后将每8位二进制数转换成一个十进制数，这样上述计算机的IP地址就变成了：202.73.142.6。

在日常生活中，电话号码前面的号码表示国家、地区，后面的号码用来区分某一地区的电话，例如一个电话号码为0258678234，这个号码中的前三位表示该电话是属于南京的，后面的数字表示具体的某个电话号码。与此类似，IP地址也分为两部分，分别为网络标识和主机标识。网络标识用以标明具体的网络段，同一个物理网络上的所有主机都用同一个网络标识；主机标识用以标明具体的节点，也就是某个网络中的特定的计算机编号。那么到底多少位是网络标识，多少位是主机标识？这依赖于该主机所属网络规模的大小。

网络中包含的计算机有可能不一样多，于是人们按照网络规模的大小，把32位地址信息设成5种定位的划分方式，这5种划分方式分别对应于A类、B类、C类、D类、E类IP地址。

（1）A类IP地址

一个A类IP地址是指，在IP地址的四段号码中，第一段号码为网络号码，剩下的三段号码为本地计算机的号码。如果用二进制表示IP地址，则A类IP地址就由1字节的网络地址和3字节的主机地址组成，网络地址的最高位必须是“0”。A类IP地址中网络的标识长度为7位，主机的标识长度为24位。A类网络地址数量较少，每个网络可容纳的主机多，可以用于主机数达1600多万台的大型网络。

（2）B类IP地址

一个B类IP地址是指，在IP地址的四段号码中，前两段号码为网络号码，剩下的两段号码为本地计算机的号码。如果用二进制表示IP地址，则B类IP地址就由2字节的网络地址和2字节的主机地址组成，网络地址的最高位必须是“10”。B类IP地址中网络的标识长度为14位，主机的标识长度为16位。B类网络地址适用于中等规模的网络，每个网络所能容纳的计算机数为6万多台。

（3）C类IP地址

一个C类IP地址是指，在IP地址的四段号码中，前三段号码为网络号码，剩下的一段号码为本地计算机的号码。如果用二进制表示IP地址，则C类IP地址就由3字节的网络地址和1字节的主机地址组成，网络地址的最高位必须是“110”。C类IP地址中网络的标识长度为21位，主机的标识长度为8位。C类网络地址数量较多，适用于小规模的局域网络，每个网络最多只能包含254台计算机。

（4）D类IP地址

一个D类IP地址的网络地址的最高位必须是“1110”。D类地址只有一个地址块，用来进行多播。

（5）E类IP地址

E类IP地址的最高位是“1111”，它是保留地址。

除了上面的IP地址外，还有几种特殊类型的IP地址。A、B、C类地址中，每个地址块的第一个地址定义了网络地址；A、B、C类地址中，如果主机地址全为1，则这个地址为这个网段的直接广播地址；A、B、C类地址中，如果网络号码和主机地址全为1（255.255.255.255），则这个地址为这个网段的受限广播地址，这个广播报文只局限在本地网络；IP地址中每一个字节都为0的地址（0.0.0.0）对应于当前主机，这发生在某个主机在运行

引导程序但是又不知道自己的 IP 地址，主机为了要发现自己的地址，就给引导服务器发送 IP 分组，并使用这样的地址作为源地址，使用受限的广播地址作为目的地址；IP 地址中不能以十进制“127”作为开头，第一个字节等于 127 的 IP 地址用作环回地址，用来测试机器的软件，使用这类地址时，分组永远不离开主机。

图 1-3　IP 地址类型

IP 地址类型如图 1-3 所示。

上述 32 位二进制地址是传统的 IPv4 地址，由于 32 位地址资源有限，已经不能满足用户的需求了，因此 Internet 研究组织发布新的主机标识方法，即 IPv6。RFC1884 建议使用 128 位二进制地址，称为 IPv6。IPv6 地址的 128 位（16 字节）写成 8 个 16 位的无符号整数，每组十六进制数靠左边的多个连续的零可以省略不写，但是全零的十六进制组需要用一个零来代表。地址中连续的全 0 域用一对冒号“：：”来代替这些数，之间用冒号“：”分开，例如，3ffe:3201:1401:1280:c8ff:fe4d:db39。IPv6 中路由和寻址功能得到扩充、标题格式得到简化、选项支持得到加强、保密安全功能得到增强等。以 IPv4 为主的因特网应用正逐步与 IPv6 融合，IPv6 处在不断发展和完善的过程中，在不久的将来将取代 IPv4。

1.2.3　TCP 与 UDP

TCP 是面向连接的可靠传输协议。由 TCP 建立的连接叫做虚连接 (virtual connection)，这是因为它们是由软件实现的，底层的系统并不对连接提供硬件或软件支持，只是两台机器上的 TCP 软件模块通过交换消息来实现逻辑上的连接。在一个虚连接的每一端都要有 TCP 应用程序，但中间的路由器不需要。在该协议机制中，计算机开始实际数据传输前，首先建立起一个连接。TCP 是面向流的协议。它允许发送进程以字节流的形式来传递数据，而接收进程把数据作为字节流来接收。TCP 把一个连接中发送和接收的所有数据字节都编上号。每一个方向的编号相互独立。TCP 通信是全双工的。每一方都同时发送数据和接收数据，使用确认号对它已经收到的字节表示确认。这个确认号定义了这一方期望接收的下一个字节的编号。TCP 把 IP 看做一种允许一台主机上的 TCP 应用程序和一台远程主机上的 TCP 应用程序进行消息交换的机制。从 TCP 的角度来看，整个 Internet 是一个通信系统，这个系统能够接收和传递消息而不会改变和干预消息的内容。

TCP 提供的是可靠的传输功能，能够恢复被破坏、丢失、重复或者不按顺序传送的数据。对于被破坏的数据，TCP 利用在所传送的每个数据报中包含一个校验和来处理被破坏的数据，接收主机检查校验和，并丢弃任何被破坏的段；对于丢失的数据，TCP 通过 ACK 机制保证丢失的数据会被重发；目的节点用序列编号正确排列在传送时可能打乱了顺序的数据段，并消除重复问题。TCP 还提供了流量控制功能，能够根据丢包的情况调整发送数据的速度。

UDP 是无连接的不可靠传输协议。UDP 发送的每一个用户数据报都是独立的数据报，不