



高等职业教育“十一·五”规划教材

网络互联技术与实训

曹炯清 ◎ 主编



免费提供电子课件



科学出版社
www.sciencep.com

普通高等教育“十一五”规划教材

高职高专计算机网络系列教材

网络互联技术与实训

曹炯清 主编

阳 柳 袁荣健 副主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书主要针对网络互联中的交换技术和路由技术进行了介绍。全书共分7章,分别是第1章OSI/RM模型与TCP/IP协议体系、第2章局域网基础、第3章交换机基础和配置、第4章广域网基础、第5章IP路由与路由器基础、第6章路由协议、第7章综合实训。

本书秉承由浅及深、循序渐进的教学思路,对教学内容进行精心编排,采用问题向导式教学,同时大部分理论教学内容都配有实验内容进行验证,实现边学边做、理论结合实践的教学效果。

本书可用作高职高专院校网络专业的教材,也适合用作网络互联技术的培训教材。此外,也可供网络工程技术专业人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

网络互联技术与实训/曹炯清主编. —北京:科学出版社,2009
(普通高等教育“十一五”规划教材·高职高专计算机网络系列教材)
ISBN 978-7-03-023689-0

I.网… II.曹… III.互联网络-高等院校:技术学校-教材 IV.TP393

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第197623号

责任编辑:孙露露 / 责任校对:耿 耘

责任印制:吕春珉 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

铭浩彩色印装有限公司印刷

科学出版社发行

各地新华书店经销

*

2009年4月第 一 版

开本:787×1092 1/16

2009年4月第一次印刷

印张:19

印数:1—3 000

字数:436 000

定价:28.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换<新欣>)

销售部电话 010-62134988 编辑部电话 010-62138978-8212 (VF02)

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229; 010-64034315; 13501151303



“网络互联技术”是计算机网络技术专业的一门核心课程，其中交换技术和路由技术是网络互联中的核心技术。

本书主要涉及的教学内容有 OSI/RM 参考模型、TCP/IP 协议体系、IP 协议、TCP 协议、UDP 协议、ARP 协议、局域网基础、以太网基础、中继器和集线器、网卡介绍、交换机工作原理、交换机的基本配置、交换机 VLAN 技术、交换机堆叠技术、级联技术、交换机链路聚合技术、桥接环路与生成树协议、广域网简介、ISDN 简介、X.25 分组交换网简介、帧中继简介、PPP 协议、HDLC 协议、路由器概述、IP 路由过程、路由器基础配置、路由器访问控制列表 ACL、路由器 NAT、路由表结构、静态路由、RIP 协议、OSPF 协议等内容。

本书以神州数码公司的交换机产品和路由器产品为平台，针对职业教育的特点，以培养高技能应用型人才为目标，重点训练学生的实际操作能力。在本书中首先介绍了网络互联的基础知识，在此基础上逐步对网络互联中使用的物理层设备——中继器和集线器、数据链路层设备——网桥和交换机、网络层设备——路由器进行理论讨论和实践教学。在内容的选取、组织与编排上，强调先进性、技术性和实用性，淡化理论，突出实践，强调应用。同时，本书使用简捷明快的语言，采用大量的图解和实例，通过通俗易懂的讲解，针对所需的理论知识进行循序渐进的介绍，并且根据每章中涉及的理论知识，安排了相应的实验项目，同时在最后一章中设计了典型的网络互联综合应用配置流程，全面做到理论和实践相结合。本书配有电子课件等教学资源，可浏览网址：www.abook.cn。

本书由曹炯清任主编，阳柳、袁荣健任副主编。第 1、2、3、5 章由曹炯清编写，第 4、7 章由阳柳编写，第 6 章由袁荣健编写。曹炯清对全书作了校对。

在编写本书的过程中，我们参考了大量的神州数码公司产品资料及其他教学相关资料，在此谨表谢意。由于作者水平有限，书中的不妥和错误在所难免，诚请广大读者不吝指正，特此为谢。

目 录

第 1 章 OSI/RM 模型与 TCP/IP 协议体系.....	1
1.1 OSI/RM 参考模型	1
1.1.1 OSI/RM 的形成.....	1
1.1.2 OSI/RM 的层次结构.....	2
1.2 TCP/IP 协议体系	7
1.2.1 TCP/IP 协议体系的层次结构.....	7
1.2.2 TCP/IP 协议体系的协议分布.....	8
1.2.3 TCP/IP 协议体系的数据封装拆封.....	10
1.3 IP 协议	11
1.3.1 IP 协议及特点.....	11
1.3.2 IP 地址与子网掩码.....	13
1.4 TCP 协议和 UDP 协议.....	20
1.4.1 TCP 协议.....	20
1.4.2 UDP 协议	24
1.5 ARP 协议和 ICMP 协议	25
1.5.1 ARP 协议.....	25
1.5.2 ICMP 协议.....	28
实验内容.....	30
学习思路.....	31
思考与练习	32



第2章 局域网基础	35
2.1 局域网概述	35
2.1.1 局域网的定义	35
2.1.2 局域网中的拓扑结构	35
2.1.3 局域网的传输方式	36
2.1.4 局域网的类型	36
2.2 以太网	36
2.2.1 以太网的发展	36
2.2.2 以太网的分类	38
2.2.3 传统以太网	38
2.2.4 快速以太网	42
2.2.5 千兆以太网	43
2.3 中继器和集线器	44
2.3.1 中继器的工作原理	44
2.3.2 5-4-3 原则	45
2.3.3 集线器的工作原理	45
2.3.4 集线器的端口类型	47
2.3.5 集线器的分类	49
2.3.6 冲突域的概念	50
2.3.7 交换网络的出现	51
2.4 网卡	52
2.4.1 网卡的功能	52
2.4.2 网卡的分类	53
实验内容	55
学习思路	56
思考与练习	57
第3章 交换机基础和配置	59
3.1 交换机的产生和工作原理	59
3.1.1 网桥的概念和工作原理	59
3.1.2 交换机的产生和工作原理	62
3.1.3 交换机、网桥、中继器和集线器的区别	64
3.2 交换机概述	66
3.2.1 交换机的功能概述	66
3.2.2 交换机的体系结构	66

3.2.3	交换机的交换方式.....	68
3.2.4	交换机的主要技术参数.....	70
3.3	交换机的分类.....	72
3.4	交换机的基本配置.....	78
3.4.1	交换机的外观和产品说明.....	78
3.4.2	带外管理和带内管理.....	81
3.4.3	交换机的配置模式.....	86
3.4.4	交换机配置基础.....	90
3.4.5	交换机的存储介质和启动过程.....	92
3.4.6	常用的交换机配置指令.....	94
3.5	交换机的常用配置.....	97
3.5.1	交换机管理分级配置.....	97
3.5.2	交换机文件的上传和下载配置.....	98
3.5.3	交换机的端口配置.....	101
3.6	交换机的应用配置.....	102
3.6.1	VLAN 技术与配置.....	102
3.6.2	堆叠技术、级联技术与配置.....	111
3.6.3	链路聚合技术与配置.....	115
3.6.4	端口地址绑定技术与配置.....	117
3.6.5	端口镜像技术与配置.....	119
3.7	桥接环路与生成树协议.....	120
3.7.1	冗余拓扑结构.....	120
3.7.2	桥接环路的危害.....	120
3.7.3	生成树协议工作原理与配置.....	122
3.8	三层交换机概述.....	126
3.8.1	三层交换机简介.....	126
3.8.2	三层交换机的主要技术.....	128
	实验内容.....	129
	学习思路.....	138
	思考与练习.....	139
第4章	广域网基础.....	143
4.1	广域网的简介.....	143
4.1.1	广域网的概念.....	143
4.1.2	典型的广域网链路连接方式.....	144



4.1.3	广域网接入设备	147
4.2	PSTN 公用电话网	149
4.3	ISDN 综合业务数字网	150
4.3.1	ISDN 简介	150
4.3.2	ISDN 信道类型	151
4.3.3	数字用户接口类型	152
4.3.4	ISDN 功能组	153
4.3.5	ISDN 参考点	154
4.3.6	ISDN 帧结构	155
4.4	DDN 数字数据网	156
4.5	X.25 分组交换网	157
4.6	帧中继	159
4.6.1	帧中继简介	159
4.6.2	帧中继特点	160
4.6.3	帧中继的工作过程	161
4.6.4	帧中继的帧格式	163
4.7	ATM 异步通信模式网	164
4.7.1	ATM 简介	164
4.7.2	信元结构	165
4.8	链路封装协议	166
4.8.1	链路封装协议简介	166
4.8.2	常见广域网帧封装	167
4.8.3	广域网连接的选择	169
4.8.4	PPP 协议	169
4.8.5	HDLC 协议	173
	学习思路	178
	思考与练习	178
第5章 IP路由与路由器基础		180
5.1	路由器概述与IP路由过程	180
5.1.1	路由器概述	180
5.1.2	路由器的主要功能	181
5.1.3	路由器和交换机的区别	183
5.1.4	IP路由过程	183
5.2	路由器基础	189



5.2.1	路由器的组成	189
5.2.2	路由器硬件结构	190
5.2.3	路由器软件结构	192
5.2.4	路由器的启动过程	193
5.2.5	路由器接口类型	194
5.2.6	路由器的分类	197
5.3	路由器基本配置	198
5.3.1	路由器的外观和产品说明	198
5.3.2	路由器的管理方式和配置模式	200
5.3.3	路由器基本配置命令	202
5.4	路由器的常用配置	204
5.4.1	路由器管理登录安全配置	204
5.4.2	路由器配置文件备份和软件升级配置	205
5.4.3	路由器接口配置	207
5.4.4	路由器协议封装配置	208
5.5	路由器的应用配置	212
5.5.1	路由器 DHCP 服务配置	212
5.5.2	路由器访问控制列表 ACL 配置	213
5.5.3	路由器 NAT 配置	218
5.5.4	路由器独臂路由配置	222
	实验内容	223
	学习思路	229
	思考与练习	230
第 6 章	路由协议	232
6.1	路由表	232
6.1.1	路由表简介	232
6.1.2	路由表结构	232
6.1.3	路由表匹配过程和原则	236
6.2	路由协议的分类	237
6.2.1	直连路由、动态路由和静态路由	237
6.2.2	内部网关协议 (IGP) 和外部网关协议 (EGP)	238
6.2.3	距离矢量、链路状态路由选择协议	239
6.2.4	有类路由协议和无类路由协议	240
6.3	静态路由配置和缺省路由配置	241
6.3.1	静态路由配置	241

6.3.2	缺省路由配置	243
6.4	RIP 协议	245
6.4.1	RIP 概述	245
6.4.2	RIP 路由表形成过程	246
6.4.3	路由自环问题及解决方法	247
6.4.4	RIP 配置	252
6.5	OSPF 协议	255
6.5.1	OSPF 概述	255
6.5.2	OSPF 协议的基本术语	256
6.5.3	OSPF 数据包类型	258
6.5.4	五种类型的 OSPF 数据包	259
6.5.5	LSA 数据包	262
6.5.6	OSPF 的网络类型	263
6.5.7	OSPF 协议工作过程	265
6.5.8	OSPF 区域	267
6.5.9	OSPF 单区域的配置	268
	实验内容	270
	学习思路	273
	思考与练习	274
第 7 章 综合实训		277
7.1	综合实训一	277
7.2	综合实训二	282
7.3	综合实训三	285
参考文献		293



第1章 OSI/RM 模型 与 TCP/IP 协议体系

1.1 OSI/RM 参考模型

谈到网络不能不谈 OSI/RM 参考模型，虽然 OSI/RM 参考模型的实际应用意义不是很大，但对其正确的理解可以更好地理解网络系统的工作，同时对于学习 TCP/IP 协议体系也有着重要的意义。

1.1.1 OSI/RM 的形成

经过 20 世纪 60~70 年代前期的发展，人们对组网技术、方法和理论的研究日趋成熟。为了促进网络产品的开发和对网络市场的占有，各大计算机公司纷纷制定自己的企业网络技术标准。

IBM 公司首先于 1974 年推出了本公司的系统网络体系结构 SNA (System Network Architecture)，在 IBM 公司的主机环境中得到广泛的应用。一般来说，SNA 是 IBM 公司的大型机 (ES/9000、S/390 等) 和中型机 (AS/400) 的主要联网协议。

DEC 公司也在 20 世纪 70 年代末开发了自己的网络体系结构——数字网络体系结构 DNA (Digital Network Architecture)，适用于 DEC 公司计算机系统和网络产品的组网建设。

其后又有多家公司纷纷推出自己企业网络的标准。

但是这些网络技术标准只在一个公司标准的网络范围内有效，也就是说，由于各个公司的网络体系结构各不相同，因此导致不同公司之间的网络不能互联。这就好比中国的道路是按照中国的标准进行建设（右行），而英国的道路是按照英国的标准进行建设（左行），中国的道路与英国的道路由于标准不一，而无法进行互通，如图 1.1 所示。



图 1.1 标准不同无法互通



针对上述的情况,为了解决不同体系结构的网络的互联问题,国际标准化组织(ISO)于 1977 年设立专门的机构研究上述问题,并于 1981 年制定了开放系统互连参考模型(Open System Interconnection Reference Model, OSI/RM)。作为国际标准,OSI 规定了可以互联的计算机系统之间的通信协议,遵从 OSI 协议的网络通信产品都是所谓的开放系统,也就是意味着可以与其他网络系统进行互联。

今天,几乎所有的网络产品厂商都声称自己的产品是开放系统,不遵从国际标准的产品逐渐失去了市场。这种统一的、标准化产品互相竞争的市场促进了网络技术的进一步发展。

1.1.2 OSI/RM 的层次结构

1. 网络分层的必要性

相互通信的两个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。

比如说两台计算机之间通过网络系统连接进行通信,我们简单罗列一些计算机网需要考虑的问题:

- 1) 需要解决传输线路的问题。
- 2) 需要解决数据传输过程中信号编码的问题。
- 3) 需要解决从源到宿的寻址问题。
- 4) 需要解决传输出现错误的问题。
- 5) 需要解决网络出现 congestion 的问题。
- 6) 需要解决网络路由选择的问题。
- 7) 需要解决数据表示的问题。
- 8) 需要解决向用户提供应用的问题。

从以上我们可以看出,网络的通信过程极其复杂,解决复杂问题的最好方法就是将“大问题”分解为“小问题”,而这些较小的局部问题就比较易于研究和处理,可以通过软件、硬件或软硬件的结合来解决,这些软硬件我们可以简单理解为功能模块,或者也可以称之为软硬件功能实体。具体情况如下:

功能模块 1 去解决问题 1,功能模块 2 去解决问题 2,功能模块 3 去解决问题 3,以此类推(如图 1.2 所示),功能模块 1 可能是硬件也可能是软件,对于功能模块 2、3 也

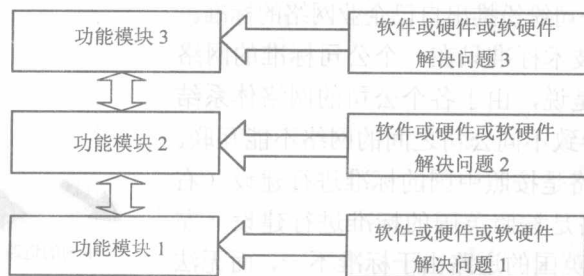


图 1.2 网络分层原理



是同样道理，它们到底是软件还是硬件，我们暂且不论，我们现在关心的是这些功能模块，也就是这些软硬件实体可以解决网络传输中的问题。

而这些功能模块中，有些功能模块必须在其他功能模块先实现的基础上才能实现，比如说，要实现功能模块 2 去解决问题 2，就必须先实现功能模块 1 去解决问题 1，这样就形成了功能模块的分层结构。

划分层次的优点：各层之间是独立的。灵活性好，结构上可分割开。易于实现和维护，能促进标准化工作。

划分层次的缺点：若层数太少，就会使每一层的功能太复杂。若层数太多，又会在描述和综合各层功能的系统工程任务时遇到较多的困难。

2. OSI/RM 的层次结构

OSI 是一个开放性的通用系统互联参考模型，它是一个定义得非常好的协议规范，OSI 模型有 7 层结构，如图 1.3 所示。图中简单介绍了这 7 层及其解决的问题。

其中下 3 层为通信子网，上 4 层为资源子网。



图 1.3 OSI/RM 模型的 7 层结构

在这个 OSI/RM 七层模型中，每一层都为其上一层提供服务并为上一层提供一个或多个服务访问点 SAP (Service Access Point)，这种服务是垂直的。

3. OSI/RM 的数据封装和拆封

(1) 数据封装过程

具体的数据封装过程如图 1.4 所示。

在 OSI/RM 中，如果一台主机需要传送用户的数据时，数据首先通过应用层的接口进入应用层，在应用层中，应用层功能实体给数据加上应用层首部 AH，形成应用层协议数据单元 PDU (Protocol Data Unit)，然后递交到下一层表示层。

表示层并不关心上层应用层的数据格式，而是把整个应用层递交的数据包看成一个整体进行封装，通过表示层实体加上表示层首部 PH，然后递交到下一层会话层。



图 1.4 源主机数据封装过程

同样，会话层、传输层、网络层、数据链路层（简称为数链层）也都要分别给上层递交下来的数据加上自己的首部。它们是会话层首部 SH、传输层首部 TH、网络层首部 NH 和数据链路层首部 DH，其中，数据链路层还要给网络层递交下来的数据加上数据链路层尾部 DT，形成最终的一帧数据。

当这一帧数据进入物理层的时候，物理层实体将该数据帧转换为可以在物理链路传输的比特流，并进行传输。

(2) 数据拆封过程

数据拆封过程与数据封装的过程相反，如图 1.5 所示。

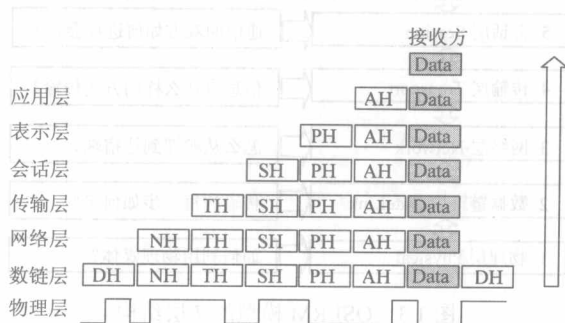


图 1.5 目的主机数据拆封过程

当一帧数据通过物理层传送到目的主机的物理层时，该主机的物理层把它递交到上一层数据链路层，数据链路层负责检查、判断数据帧的帧首部 DH 和尾部 DT，然后去掉首部和尾部，递交到上一层网络层。

同样，网络层、传输层、会话层、表示层、应用层也要做类似的工作，最终，原始数据被递交到目标主机的具体应用程序中。

(3) 数据传输过程中的封装和拆封过程

由于网络中很少会出现接收方与发送方直接连接的情况，发送方和接收方之间需要通过网络互联设备才能进行通信，这些网络互联设备工作于 OSI 的不同层次，比如，数据链路层设备会检查发送方的数据链路层封装（DH 和 DT），然后进行处理转发，而网



络层设备不光要检查数据链路层封装 (DH 和 DT), 还要检查网络层封装 (NH), 然后进行处理转发, 以此类推, 最终到达接收方, 如图 1.6 所示。其中数据链路层设备主要有网桥、交换机, 网络层设备主要有路由器和三层交换机。

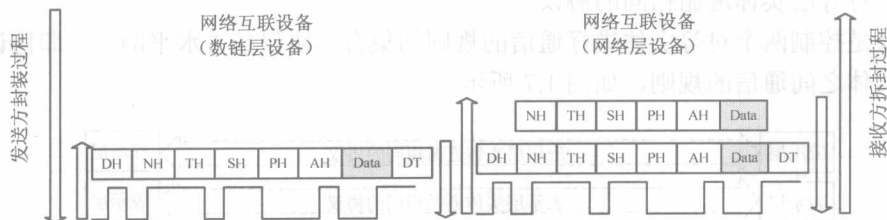


图 1.6 网络互联设备的数据封装和拆封过程

4. OSI/RM 各层的功能

1) 物理层 (Physical Layer) 是参考模型的最底层。该层是网络通信的数据传输介质, 由连接不同结点的电缆与设备共同构成。主要功能是利用传输介质为数据链路层提供物理连接, 负责处理数据传输并监控数据出错率, 以便数据流的透明传输。

2) 数据链路层 (Data Link Layer) 是参考模型的第 2 层。主要功能是在物理层提供的服务基础上, 在通信的实体间建立数据链路连接, 传输以“帧”为单位的数据包, 并采用差错控制与流量控制方法, 使有差错的物理线路变成无差错的数据链路。

3) 网络层 (Network Layer) 是参考模型的第 3 层。主要功能是为数据在结点之间传输创建逻辑链路, 通过路由选择算法为分组通过通信子网选择最适当的路径, 以及实现拥塞控制、网络互联等功能。

4) 传输层 (Transport Layer) 是参考模型的第 4 层。主要功能是向用户提供可靠的端到端 (End-to-End) 服务, 处理数据包错误、数据包次序, 以及其他一些关键传输问题。传输层向高层屏蔽了下层数据通信的细节, 因此, 它是计算机通信体系结构中关键的一层。

5) 会话层 (Session Layer) 是参考模型的第 5 层。主要功能是负责维护两个结点之间的传输链接, 以便确保点到点传输不中断, 以及管理数据交换等功能。

6) 表示层 (Presentation Layer) 是参考模型的第 6 层。主要功能是用于处理在两个通信系统中交换信息的表示方式, 主要包括数据格式变换、数据加密与解密、数据压缩与恢复等功能。

7) 应用层 (Application Layer) 是参考模型的最高层。主要功能是面向用户为应用软件提供多项服务, 例如文件服务、数据库服务、电子邮件与其他网络软件服务。

5. 协议的概念和协议的三要素

(1) 协议的概念

我们从上面数据封装和拆封的过程中可以很容易地理解, 发送方的各层实体在各层



加上的首部到达接收方后,接收方的各层实体必须可以正确地理解首部,比如说,发送方网络层实体添加的NH首部有一定的格式、含义和信息,那么网络中转发设备的网络层实体、接收方的网络层实体必须能够对这样的NH首部进行正确的理解,此时我们可以称两个对等层实体遵循相同的协议。

协议是控制两个对等实体进行通信的规则集合。协议是“水平的”,即协议是控制对等实体之间通信的规则,如图1.7所示。



图 1.7 对等层遵循相同的协议

我们也可以认为网络中的计算机与计算机之间要想正确地传送信息和数据,必须在数据传输的顺序、数据的格式及内容等方面有一个约定或规则,这种约定或规则就称为协议。

协议就如同邮政系统中约定的信封书写格式,如果将国内信件放置到国外环境中,就会把本该是寄信人的地址当成是收信人的地址,而将信件发回给寄信人了。

需要特别强调的是,协议最大的特点就是水平性,只有对等层的双方实体遵循相同的协议。

协议在设计的过程中必须将各种不利的条件事先都估计到,而不能假定一切情况都是很理想和很顺利的,必须非常仔细地检查所设计协议能否应付所有的不利情况。

应当注意的是,事实上难免有极个别的不利情况在设计协议时并没有预计到。在出现这种情况时,双方达成协议就会失败。因此实际上协议往往只能应付绝大多数的不利情况。

(2) 协议的三要素

协议所具有的三个要素如下。

- 1) 语法:数据与控制信息的结构或格式。
- 2) 语义:需要发出何种控制信息,完成何种动作以及做出何种响应。
- 3) 时序:事件实现顺序的详细说明。

我们以两个人相互打招呼(双方数据通信)来理解协议的三个要素。

甲向乙说:“你好吗?”这个句型就是语法,不能说:“吗好你?”

甲说的“你好吗？”表达的是一种问候的含义，这就是语义，乙不能认为是其他的含义。

甲先说“你好吗？”然后和乙进行交谈，最后说“再见”，这就是时序，而不能先说“再见”，然后才进行交谈。

1.2 TCP/IP 协议体系

从上面 OSI/RM 模型的数据封装、拆封和工作情况可以看出，OSI/RM 模型过于庞大和复杂，在实际的网络中并不适用，而真正在网络中最实用的协议却是 TCP/IP 协议体系，我们也可以这么认为，OSI/RM 是理论上的网络协议体系，而 TCP/IP 是实际使用的网络协议体系。

TCP/IP 协议体系（Transmission Control Protocol/Internet Protocol）叫做传输控制协议/网际协议，这个协议体系是 Internet 国际互联网络的基础。

TCP/IP 是用于计算机通信的一组协议，我们通常又称它为 TCP/IP 协议族。它是 20 世纪 70 年代中期，美国国防部为其 ARPANET 广域网开发的网络体系结构和协议标准，以它为基础组建的 Internet 是目前国际上规模最大的计算机网络，正因为 Internet 的广泛使用，使得 TCP/IP 成了事实上的标准。

TCP/IP 是网络中使用的最基本的通信协议。虽然从名字上看 TCP/IP 包括两个协议，传输控制协议（TCP）和网际协议（IP），但 TCP/IP 实际上是一组协议，它包括 TCP、IP、UDP、ICMP、RIP、Telnet、FTP、SMTP、ARP、TFTP 等许多协议，这些协议一起统称为 TCP/IP 协议体系，或者称为 TCP/IP 协议栈，而这些协议都是由 Internet 体系结构委员会（Internet Architecture Board，IAB）作为 Internet 标准发布的协议。

1.2.1 TCP/IP 协议体系的层次结构

如图 1.8 所示是 TCP/IP 协议体系和 OSI/RM 模型的对比示意图。

OSI/RM	TCP/IP	实际网络分析	数据封装名称
应用层	应用层	应用层	应用消息
表示层			
会话层			
传输层	网络传输层	网络传输层	报文
网络层	网络互联层	网络互联层	IP 数据包
数据链路层	网络接口层	数据链路层	帧
物理层		物理层	比特流

图 1.8 OSI/RM 与 TCP/IP 协议体系的对比