



面向“十二五”高职高专规划教材·计算机系列

# 交换与路由 实用配置技术

(第2版)

曹炯清 编著



清华大学出版社  
<http://www.tup.com.cn>



北京交通大学出版社  
<http://www.bjtu.com.cn>



面向“十二五”高职高专规划教材·计算机系列

# 交换与路由实用配置技术

(第2版)

曹炯清 编著

清华大学出版社  
北京交通大学出版社

·北京·

## 内 容 简 介

本书主要针对计算机网络技术中的交换技术和路由技术进行了介绍。

全书共分8章,分别是第1章网络技术基础知识、第2章交换机基础、第3章交换机实用配置、第4章路由器基础、第5章路由协议、第6章路由器实用配置、第7章三层交换实用配置、第8章虚拟专用网配置和实验手册。

本书秉承由浅入深、循序渐进的教学思路,对教学内容进行精心编排,侧重于基础理论和实践操作,大部分理论教学内容都配有相应的实验内容进行验证,实现理论支持实践、实践印证理论并相结合的教学方法,全面提高学生理论和实践结合的综合素质,并培养学生的独立思考、解决问题的能力和创新的能力。其中在目录中带有\*标识的部分可根据课时的安排情况进行选修。

本书可作为高等学校、中等学校计算机网络相关专业的教材,也适合作网络技术方面的培训教材。此外,还可供网络工程专业人员参考使用。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

## 图书在版编目(CIP)数据

交换与路由实用配置技术/曹炯清编著.—2版.—北京:北京交通大学出版社:清华大学出版社,2014.8

(面向“十二五”高职高专规划教材·计算机系列)

ISBN 978-7-5121-1995-6

I. ①交… II. ①曹… III. ①计算机网络-信息交换机-高等职业教育-教材 ②计算机网络-路由选择-高等职业教育-教材 IV. ①TN915.05

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第157460号

责任编辑:谭文芳

出版发行:清华大学出版社 邮编:100084 电话:010-62776969

北京交通大学出版社 邮编:100044 电话:010-51686414

印刷者:北京交大印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印张:20.75 字数:635千字

版 次:2014年9月第2版 2014年9月第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-5121-1995-6/TN·93

印 数:1~3000册 定价:39.00元

本书如有质量问题,请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评,我们表示欢迎和感谢。

投诉电话:010-51686043, 51686008; 传真:010-62225406; E-mail: press@bjtu.edu.cn。

# 前 言

针对我国计算机网络技术专业职业教育教材的实际情况，结合国内外知名网络厂商的网络产品和技术规范，选择具有代表性的网络专业技术知识，与实际网络工程技术相结合，这是本教材编写的初衷。

本书以培养计算机网络技术专业高技能应用型人才为目标，重点训练学生的实际操作能力。在本书内容的选取、组织与编排上，强调先进性、技术性和实用性，突出实践，强调应用，秉承教材编者多年实际网络工程经验和教学经验，完全按照教学规律和实际网络工程技术相结合的思路，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逐步循序渐进的介绍，并且根据每章中涉及的理论知识，安排了相应的实验项目。同时针对网络工程中实际使用技术进行分解，将实际网络技术分解到每一章的教学内容和每一个实验中。

本书第一版出版以来，得到了广大读者的关心和爱护，很多学校用作教材或教学参考书，选用情况较好，并得到了很多的反馈信息和良好建议，在此作者向这些朋友表示由衷的感激。同时也希望在本书出版后能得到更多的建议和指正，并针对交换和路由技术的教学过程、教学内容、教学方法和手段进行讨论，进一步提高我国计算机网络技术专业的职业教育水平。另外，本书也提供相应的 PPT 课件和实验配置文件，本书实验视频和教学视频已录制完成，均提供用作教学辅导，联系方式 QQ2367067851，QQ 群 27533699。

关于本教材的课时安排，建议理论教学学时为 40 学时，实践教学学时为 30 学时，可采用教学做一体化的教学方式，理论教学和实践教学交叉进行。在目录中带有 \* 标识的部分可根据课时的安排情况进行选修。

关于本教材的作业方式，建议采用电子作业，由学生完成实验内容后并保存为配置文件递交教师邮箱，锻炼学生的动手能力。

关于本课程的考核方式，建议采用态度纪律、项目技能和期末考核相结合的方式，态度纪律为学生考勤情况，项目技能为学生实验完成情况，期末考核为理论实践结合的笔试考核，具体考核比例建议为态度纪律 20%，项目技能 40%，期末考核 40%，实际考核比例可根据学生的实际情况确定。

在本书的编写过程中，由于作者水平有限，书中的不妥和错误在所难免，诚请各位专家、读者不吝指正，特此为谢。

贵州电子信息职业技术学院曹炯清

2014/2/10

# 目 录

第 1 章 网络技术基础知识 .....	1
1.1 OSI 参考模型 .....	1
1.1.1 OSI 参考模型的形成 .....	1
1.1.2 OSI 参考模型层次结构 .....	1
1.2 TCP/IP 协议体系 .....	3
1.2.1 TCP/IP 协议体系的层次结构 .....	3
1.2.2 TCP/IP 协议体系的协议分布 .....	4
1.2.3 TCP/IP 协议体系的协议数据封装拆封 .....	5
1.3 IP 协议 .....	8
1.3.1 IP 协议及特点 .....	8
1.3.2 IP 地址与子网掩码 .....	10
1.3.3 IP 子网划分 .....	12
1.4 TCP 协议和 UDP 协议 .....	15
1.4.1 TCP 协议 .....	15
1.4.2 UDP 协议 .....	19
1.5 ARP 协议和 ICMP 协议 .....	20
1.5.1 ARP 协议 .....	20
1.5.2 ICMP 协议 .....	23
1.6 以太网 .....	26
1.6.1 局域网基础 .....	26
1.6.2 以太网基础 .....	27
1.6.3 传统以太网 .....	28
1.6.4 快速以太网 .....	31
1.6.5 千兆以太网 .....	32
1.7 广域网基础 .....	33
1.7.1 广域网的概念 .....	33
1.7.2 广域网链路连接方式 .....	33
1.7.3 广域网体系结构和数据链路层封装协议 .....	35
1.7.4 PPP 协议 .....	37
1.7.5 HDLC 协议 .....	39
第 2 章 交换机基础 .....	42
2.1 中继器和集线器 .....	42
2.1.1 中继器的工作原理 .....	42

2.1.2	集线器的工作原理	43
2.1.3	集线器的端口类型	43
2.1.4	集线器的分类	44
2.1.5	冲突域的概念	45
2.2	交换机的产生和工作原理	45
2.2.1	交换网络产生的背景	45
2.2.2	网桥的工作原理和广播域的概念	47
2.2.3	交换机工作原理	50
2.3	交换机概述	52
2.3.1	交换机的功能概述	52
2.3.2	交换机的体系结构	52
2.3.3	交换机的交换方式	54
2.3.4	交换机的性能指标	55
2.3.5	交换机的分类	56
2.4	交换机配置基础	58
2.4.1	交换机的外观和端口命名方法	58
2.4.2	带外管理和带内管理	60
2.4.3	交换机的配置模式	62
2.4.4	交换机的存储介质和启动过程	63
2.4.5	交换机配置技巧	64
2.4.6	常用的交换机配置命令	66
2.5	交换机常用配置	70
2.5.1	交换机管理安全配置	70
2.5.2	交换机配置文件、IOS 的备份和 IOS 的升级	75
<b>第 3 章</b>	<b>交换机实用配置</b>	<b>79</b>
3.1	VLAN 技术	79
3.1.1	VLAN 技术简介	79
3.1.2	VLAN 划分方式	81
3.1.3	单交换机 VLAN 的配置	82
3.1.4	IEEE802.1q 和跨交换机 VLAN 的配置	83
3.2	冗余链路与生成树相关协议	87
3.2.1	冗余拓扑结构	87
3.2.2	桥接环路的危害	87
3.2.3	IEEE802.1d 的 STP	88
3.2.4	IEEE802.1w 的 RSTP	93
3.2.5	Cisco 的 PVST/PVST+ 和 IEEE802.1s 的 MSTP	94
3.2.6	生成树相关协议的配置和结果验证	97
3.3	链路聚合技术	104
3.3.1	链路聚合技术和 IEEE802.3ad	104

3.3.2	链路聚合的配置	105
3.4	端口安全和端口镜像技术	108
3.4.1	端口安全	108
3.4.2	端口镜像	112
<b>第4章</b>	<b>路由器基础</b>	<b>114</b>
4.1	路由器概述与 IP 路由过程	114
4.1.1	路由器概述和功能	114
4.1.2	IP 路由过程	116
4.2	路由器结构	121
4.2.1	路由器的组成	121
4.2.2	路由器硬件和软件结构	122
4.2.3	路由器接口类型	125
4.3	路由器配置基础	130
4.4	路由器常用配置	132
4.4.1	Cisco CDP 协议	132
4.4.2	路由器接口配置	134
4.4.3	路由器接口 HDLC 协议封装配置	135
4.4.4	路由器接口 PPP 协议封装和 PAP、CHAP 验证配置	137
4.4.5	路由器接口帧中继协议封装配置	140
4.4.6	路由器接口 X.25 协议封装配置	143
<b>第5章</b>	<b>路由协议</b>	<b>146</b>
5.1	路由表	146
5.1.1	路由表的结构	146
5.1.2	路由表匹配过程和原则	149
5.2	路由协议的分类	150
5.3	静态和默认路由配置	154
5.4	RIP 协议	157
5.4.1	RIP 概述	157
5.4.2	RIP 路由表形成过程	161
5.4.3	路由自环问题及解决方法	162
5.4.4	RIPv2 的配置	166
5.4.5	RIPv2 验证的配置	169
5.5	OSPF 协议	171
5.5.1	OSPF 概述	171
5.5.2	OSPF 的基础概念	172
5.5.3	OSPF 报文	176
5.5.4	OSPF 网络类型	180
5.5.5	点对点 PTP 类型单区域 OSPF 配置	183
5.5.6	广播多路访问 BMA 类型单区域 OSPF 配置	186

5.5.7	非广播多路访问 NBMA 类型单区域 OSPF 配置	188
5.5.8	多区域 OSPF 配置	191
5.5.9	OSPF 验证的配置	193
5.5.10	OSPF 的末梢区域和完全末梢区域配置	194
5.5.11	OSPF 虚连接的配置	199
5.6	EIGRP 协议	202
5.6.1	EIGRP 概述	202
5.6.2	EIGRP 的配置	205
5.7	路由器路由重分发配置	207
5.7.1	路由重分发简介	207
5.7.2	路由重分发的配置	208
<b>第 6 章</b>	<b>路由器实用配置</b>	<b>213</b>
6.1	路由器 DHCP 相关配置	213
6.1.1	DHCP 简介	213
6.1.2	路由器 DHCP 服务配置	213
6.1.3	路由器 DHCP 中继配置	215
6.2	路由器访问控制列表配置	216
6.2.1	访问控制列表简介	216
6.2.2	标准访问控制列表配置	217
6.2.3	扩展访问控制列表配置	218
6.3	路由器独臂路由配置	221
6.4	路由器 NAT 配置	223
6.4.1	NAT 的概念和工作原理	223
6.4.2	NAT 的配置	225
6.5	路由器 HSRP 配置	229
6.6	策略路由配置	231
6.7	路由器 PPPoE 配置	234
6.7.1	PPPoE 简介	234
6.7.2	PPPoE 的配置	236
<b>第 7 章</b>	<b>三层交换实用配置</b>	<b>238</b>
7.1	三层交换简介	238
7.1.1	三层交换的概念和功能	238
7.1.2	三层交换的主要技术	239
7.2	三层交换的接口类型和 VLAN 互访配置	240
7.3	三层交换 DHCP 的配置	242
7.4	三层交换路由配置	246
7.4.1	三层交换静态路由配置	246
7.4.2	三层交换 RIP 动态路由配置	248
7.5	三层交换 VRRP 配置	251



7.5.1	VRRP 简介	251
7.5.2	VRRP 配置	251
7.6	三层交换 QoS 配置	254
7.6.1	QoS 基础	254
7.6.2	QoS 配置	257
<b>第 8 章</b>	<b>虚拟专用网配置</b>	<b>263</b>
8.1	VPN 概述	263
8.2	VPN 隧道协议及安全	264
8.3	PPTP 隧道	266
8.4	GRE 隧道	269
8.5	IPsec 隧道	271
8.5.1	IPsec 简介	271
8.5.2	IPsec 隧道配置	273
<b>实验手册</b>		<b>279</b>
实验 1:	Windows 环境常用网络命令的测试和分析	279
实验 2:	使用 Sniffer 软件捕获 IP 数据包进行分析	279
实验 3:	观察集线器共享信道广播式通信的过程	281
实验 4:	观察网桥隔离物理网段	282
实验 5:	交换机的配置模式和常用的配置命令	282
实验 6:	交换机管理安全配置	283
实验 7:	交换机配置文件、IOS 的备份和 IOS 的升级	284
实验 8:	单交换机 VLAN 配置和结果验证	284
实验 9:	跨交换机 VLAN 配置和结果验证	285
实验 10:	Cisco PVST+ 配置和结果验证	285
实验 11:	链路聚合 LACP 配置和结果验证	286
实验 12:	端口安全配置和结果验证	287
实验 13:	端口镜像配置和结果验证	287
实验 14:	路由器的配置模式和常用的配置命令	288
实验 15:	Cisco CDP 协议结果验证	289
实验 16:	路由器接口 HDLC 协议封装配置	289
实验 17:	路由器接口 PPP 协议封装和 PAP、CHAP 验证配置	290
实验 18:	路由器接口 Frame Relay 协议封装配置	291
实验 19:	路由器接口 X.25 协议封装配置	292
实验 20:	静态和默认路由配置	294
实验 21:	RIPv2 的配置	294
实验 22:	RIPv2 验证的配置	295
实验 23:	PTP 类型单区域 OSPF 配置	296
实验 24:	BMA 类型单区域 OSPF 配置	296
实验 25:	NBMA 类型单区域 OSPF 配置	297

实验 26: 多区域 OSPF 配置	299
实验 27: OSPF 验证的配置	299
实验 28: OSPF 的末梢区域和完全末梢区域配置	300
实验 29: OSPF 虚连接配置	301
实验 30: EIGRP 的配置	302
实验 31: RIP 与 OSPF 的路由重分发	302
实验 32: 路由器 DHCP 服务配置	303
实验 33: 路由器 DHCP 中继配置	304
实验 34: 标准访问控制列表配置	305
实验 35: 扩展访问控制列表配置	305
实验 36: 路由器独臂路由配置	306
实验 37: 路由器 NAT 配置	307
实验 38: 路由器 HSRP 配置	308
实验 39: PPPoe 配置	309
实验 40: 三层交换 VLAN 互访配置	310
实验 41: 三层交换 DHCP 服务配置	310
实验 42: 三层交换静态路由配置	311
实验 43: 三层交换 RIP 动态路由配置	312
实验 44: GRE 隧道配置	313
实验 45: IPsec 隧道配置	314
附录 A Cisco Packet Tracer 模拟器软件的使用	315
附录 B GNS3 模拟器软件的使用	318
参考文献	322

# 第 1 章 网络技术基础知识

## 1.1 OSI 参考模型

### 1.1.1 OSI 参考模型的形成

谈到计算机网络不能不谈 OSI 参考模型，虽然 OSI 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计算机网络系统的工作，同时对于学习 TCP/IP 协议体系也有着重要的意义。

经过 20 世纪 60 年代的发展，组建网络的技术、方法和理论日趋成熟。为了促进网络产品的开发和对网络市场的占有，各大计算机企业纷纷制定本企业的网络技术标准。

IBM 公司首先于 1974 年推出了本公司的系统网络体系结构 (System Network Architecture, SNA)，并在 IBM 公司的主机环境中得到广泛的应用。NEC 公司也在 20 世纪 70 年代末开发了数字网络体系结构 (Digital Network Architecture, DNA)，适用于 NEC 公司计算机系统和网络产品的组网建设，其后又有众多公司纷纷推出自己企业的网络标准。

但是这些网络技术标准只在一个企业标准的网络范围内有效，也就是说，由于各个企业的网络体系结构和标准各不相同，所以导致按照不同企业标准建设的网络之间不能互联。

针对上述的情况，为了解决不同体系结构、不同标准的网络互联问题，国际标准化组织 (International Standards Organization, ISO) 于 1977 年设立专门的机构研究上述问题，并于 1981 年制定了 OSI 参考模型。作为国际标准，OSI 参考模型规定了可以互联的计算机系统之间的通信协议，遵从 OSI/RM 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，几乎所有网络厂商的产品都是开放系统，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 参考模型层次结构

#### 1. 网络分层的必要性

相互通信的两个计算机必须高度协调工作才行，而这种“协调”是相当复杂的。

比如两台计算机之间通过计算机网络系统进行通信，对于计算机网络系统而言，需要解决的问题很多，简单罗列如下。

- ☞ 解决传输线路的问题。
- ☞ 解决数据传输过程中信号编码的问题。
- ☞ 解决从源主机到宿主机的寻址问题。

- ✎ 解决传输过程中出现错误的问题。
- ✎ 解决网络出现拥塞的问题。
- ✎ 解决网络路由选择的问题。
- ✎ 解决数据表示的问题。
- ✎ 解决向用户提供应用的问题。

从以上可以看出，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”，而较小的问题比较易于研究和处理，并可以通过软件、硬件或软硬件的结合来解决，这些软硬件可以简单理解为功能模块，或者也可以称为软硬件功能实体，具体情况如图 1-1 所示。

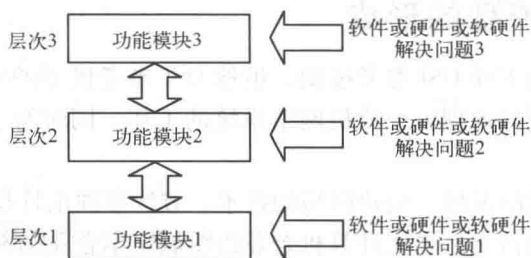


图 1-1 网络分层原理

在这些功能模块中，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，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。

## 2. OSI 参考模型的层次结构

OSI 参考模型是一个开放性的通信系统互连参考模型，有 7 层结构，如图 1-2 所示。图 1-2 中简单介绍了这七层及其需要解决的问题。



图 1-2 OSI 参考模型的层次结构

在这个 OSI 参考模型七层结构中，每一层都通过服务访问点 (Service Access Point, SAP) 为其上一层提供服务，这种服务是垂直的。

## 1.2 TCP/IP 协议体系

在实际的计算机网络中，由于 OSI 参考模型过于庞大和复杂而并不适用，而真正在网络中实用的标准是 TCP/IP 协议体系。也可以这么认为，OSI 参考模型是理论上的网络标准，而 TCP/IP 协议体系是实际使用的网络标准。

TCP/IP 协议体系是 20 世纪 70 年代中期美国国防部为其高级研究项目专用网络（Advanced Research Projects Agency Network, ARPANet）开发的网络体系结构和协议标准，以它为基础组建的 Internet 是目前世界上规模最大的计算机互联网络，正因为 Internet 的广泛使用，使得 TCP/IP 协议体系成为了事实上的标准。

TCP/IP 协议体系是网络中使用的最基本的通信协议集合，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 协议体系实际上是一组协议，它包括 TCP、IP、UDP、ICMP、RIP、TELNET、FTP、SMTP、ARP、TFTP 等许多协议，这些协议一起称为 TCP/IP 协议体系，或者称为 TCP/IP 协议栈、TCP/IP 协议族，这些都是由 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

TCP/IP 协议体系和 OSI 参考模型的对比如图 1-3。

OSI 参考模型	TCP/IP	实际网络分析
应用层	应用层	应用层
表示层		
会话层		
传输层	网络传输层	传输层
网络层	网络互联层	网络层
数据链路层	网络接口层	数据链路层
物理层		物理层

图 1-3 TCP/IP 协议体系与 OSI/RM 参考模型的对比

TCP/IP 协议体系将网络划分为四个层次，分别是网络接口层、网络互联层、网络传输层、应用层。

计算机网络不可能离开物理网络——物理层而存在，因此为了便于实际的分析，通常在 TCP/IP 协议体系的基础上结合 OSI 参考模型，将计算机网络分为物理层、数据链路层、网络层、传输层和应用层。下面分别简单介绍各层的主要功能。

① 应用层：应用层是 TCP/IP 体系结构中的最高层。应用层确定进程之间通信的性质以满足用户的需要（这反映在用户所产生的服务请求）。

② 传输层：传输层的任务就是负责主机中两个进程之间的通信，其数据传输的单位是报文。

③ 网络层：网络层负责为不同网络中的不同主机之间提供通信。在网络层，数据的传送单位是分组或数据包。在 TCP/IP 体系中，网络层的分组叫作 IP 数据包。

④ 数据链路层：数据链路层的任务是在两个相邻结点间的线路上无差错地传输帧，每一帧包括数据和必要的控制信息。数据链路层的目的是把一条有可能传输中出现差错的物理链路，转变成为从网络层向下看去是一条不出差错的数据链路。

⑤ 物理层：物理层的任务就是透明地传送比特流，并提供各种物理层标准的网络接口。

## 1.2.2 TCP/IP 协议体系的协议分布

前面已经提到 TCP/IP 协议体系是用于计算机通信的一组协议，而并非几个协议，具体的部分协议分布情况如图 1-4 所示。

FTP, TELNET, HTTP, SMTP, POP等				DNS	SNMP, TFTP, NTP等	应用层
TCP				UDP		传输层
ARP, RARP				IP	ICMP, IGMP	网络层
802.3	802.5	802.11	FDDI	HDLC, PPP, FR, SLIP		数据链路层
				RS232, 449, V35, V21等		物理层

图 1-4 TCP/IP 协议体系的部分协议分布

表 1-1 是 TCP/IP 协议体系中一些常见协议的说明。

表 1-1 TCP/IP 协议体系中的常见协议

协议/标准/规范名称	中文含义
FTP (File Transfer Protocol)	文件传输协议
Telnet	远程终端登录
HTTP (HyperText Transfer Protocol)	超文本传输协议
SMTP (Simple Mail Transfer Protocol)	简单邮件传输协议
POP (Post Office protocol)	邮局协议
DNS (Domain Name System)	域名系统
SNMP (Simple Network Management Protocol)	简单网络管理协议
TFTP (Trivial File Transfer Protocol)	简单文件传输协议
NTP (Network Time Protocol)	网络时间协议
TCP (Transmission Control Protocol)	传输控制协议
UDP (User Datagram Protocol)	用户数据报协议
IP (Internet Protocol)	网际协议
ICMP (Internet Control Messagemnet Protocol)	因特网控制报文协议
IGMP (Internet Group Management Protocol)	因特网组选报文协议
ARP (Address Resolution Protocol)	地址解析协议
RARP (Reverse ARP)	逆向地址解析协议
FDDI (Fiber Distributed Data Interface)	光纤分布数据接口

续表

协议/标准/规范名称	中文含义
HDLC (High - Level Data Link Control)	高级数据链路控制规程
PPP (Point to Point Protocol)	点对点协议
FR (Frame Relay)	帧中继
SLIP (Serial Line Internet Protocol)	串行线路网际协议
IEEE802.3	总线访问控制方法及物理层规范 (CSMA/CD)
IEEE802.5	令牌环网访问控制方法及物理层规范
IEEE802.11	无线局域网访问控制方法及物理层规范

其中应用层的协议分为三类：一类协议基于传输层的 TCP 协议，典型的如 FTP、TELNET、HTTP、SMTP、POP 等；一类协议基于传输层的 UDP 协议，典型的如 SNMP、TFTP、NTP 等；还有一类应用层协议较少，即基于 TCP 协议又基于 UDP 协议，典型的如 DNS。

传输层主要使用两个协议，即面向连接可靠的 TCP 协议和面向无连接不可靠的 UDP 协议。

网络层最主要的协议就是面向无连接不可靠的 IP 协议，另外还有 ICMP、IGMP、ARP、RARP 等协议。

数据链路层和物理层根据不同的网络环境，如局域网、广域网等情况，有不同的帧封装协议和物理层接口标准。

TCP/IP 协议体系的特点是上下两头大而中间小，应用层和网络接口层都有多种协议，而中间的 IP 层很小，上层的各种协议都向下汇聚到一个 IP 协议中，而 IP 协议又可以应用到各种数据链路层协议中，这种结构也可以表明，TCP/IP 协议体系可以为各种各样的应用提供服务，同时也可以连接到各种各样的网络类型，这种漏斗结构是 TCP/IP 协议体系得到广泛使用的最主要原因。

针对这样的结构，可以总结为“*All Over IP* 和 *IP Over All*”，即“所有”基于 IP 和 IP 基于“所有”，如图 1-5 所示。

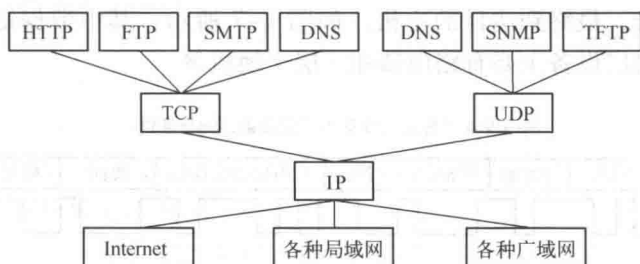


图 1-5 TCP/IP 协议体系的漏斗结构

### 1.2.3 TCP/IP 协议体系的协议数据封装拆封

#### 1. 数据封装与拆封

在 TCP/IP 协议体系中，存在着数据的封装与拆封的过程。例如，源主机打开浏览器访

问目的主机的网页（WWW 服务），首先，源主机上的应用层实体将用户的数据通过 HTTP 协议进行封装，也就是给数据加上 HTTP 协议的首部；然后递交给传输层，由于 HTTP 协议是基于 TCP 协议的，传输层的实体再给上层递交下来的数据加上 TCP 协议首部；然后递交给网络层，网络层再给上层递交下来的数据加上 IP 协议首部；然后递交给数据链路层，根据实际的网络环境，数据链路层再加上帧头和帧尾（如在局域网可以加上以太网的帧头和帧尾，如在广域网可以加上 HDLC 的帧头和帧尾）；最终帧进入物理层，在物理层转换为比特流信号进行发送，通过网络传输到达目的主机后，全过程如图 1-6 所示，其拆封过程与数据封装的过程相反。图 1-6 中也列出了基于 UDP 协议的应用层 SNMP 协议的数据封装和拆封过程。

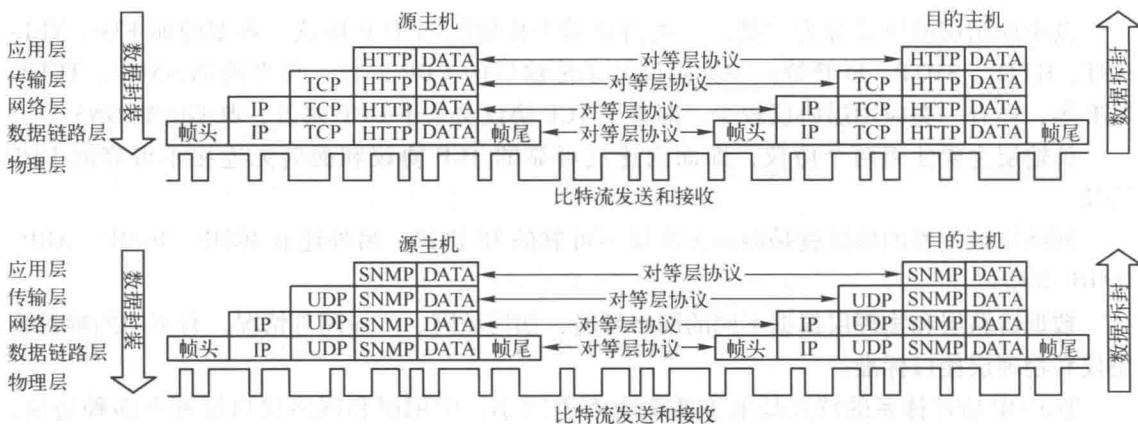


图 1-6 TCP/IP 协议体系的数据封装和拆封

由于网络中很少出现源主机与目的主机直接连接的情况，源主机和目的主机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位于 TCP/IP 协议体系的不同层次。例如，数据链路层设备会检查数据链路层封装的帧头和帧尾，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的帧头和帧尾，还要检查网络层封装的 IP 首部，然后进行处理转发，以此类推，最终到达目的主机，如图 1-7 所示。其中数据链路层设备主要有网桥、交换机等，网络层设备主要有路由器和三层交换机等。

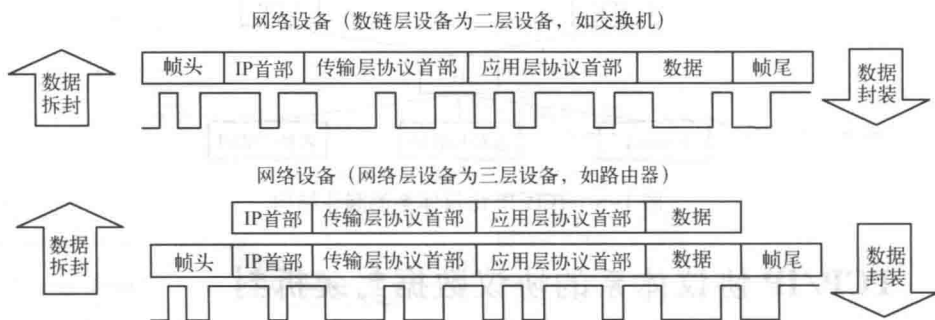


图 1-7 网络互联设备的数据封装和拆封过程



## 2. 协议和协议三要素

### (1) 协议的概念

从图 1-7 网络互联设备数据封装和拆封的过程中可以很容易地理解，发送方的各层功能实体在各层加上的首部，到达接收方后，接收方的各层功能实体必须可以正确地理解首部。例如，发送方网络层实体添加的 IP 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、目的主机的网络层实体必须能够对这样的 IP 首部进行正确的理解，这样就可以称为两个对等层实体遵循相同的协议。

协议是控制两个对等层实体进行通信的规则集合。协议是“水平的”，即协议是控制对等层实体之间通信的规则，如图 1-8 所示。

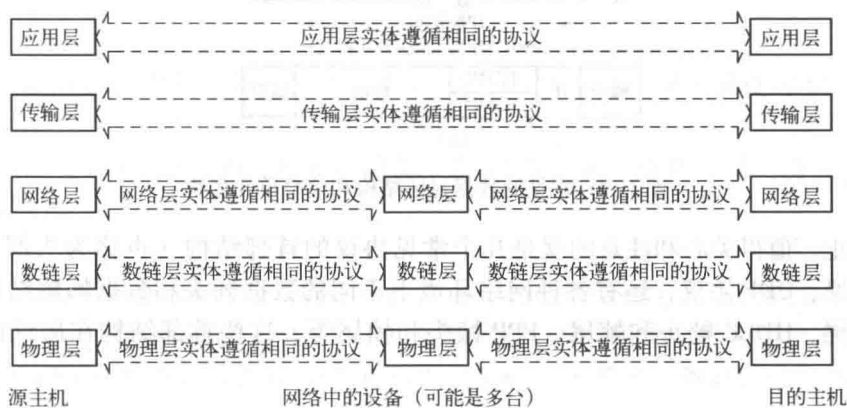


图 1-8 对等层遵循相同的协议

同样，也可以认为网络中的计算机与计算机、计算机与网络设备之间要想正确地传送数据，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，这种约定或规则称为协议。

特别强调的是，协议最大的特点就是水平性，即对等层的双方实体遵循相同的协议。协议是“水平”的，而服务是“垂直”的。

### (2) 协议的三要素

协议具有以下三个要素。

☞ 语法：数据与控制信息的结构和格式。

☞ 语义：数据传输中控制信息的含义。

☞ 时序：实现数据传输的详细顺序和步骤。

以下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：“吗你好？”。

甲说的“你好吗？”，表达的一种问候的含义，这就是语义，乙不能认为是其他的含义。

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

## 3. TCP/IP 协议体系中数据封装的名称

图 1-9 是在 TCP/IP 协议体系中几种常见的协议数据封装结构和信息单元名称，在 TCP/