

高等学校计算机基础教育规划教材

网络技术基础 与计算思维

沈鑫剡 等 编著

清华大学出版社



高等学校计算机基础教育规划教材

网络技术基础 与计算思维

沈鑫剡 俞海英 伍红兵 李兴德 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书的目的一是为学生提供完整、系统的计算机网络知识,二是培养学生的实际应用技能,三是培养学生的计算思维能力。本书基于 TCP/IP 体系结构,深入浅出地讨论了以太网、无线局域网、广域网等不同类型的传输网络,IP 实现不同类型传输网络互连的机制,Internet 接入技术,传输层协议实现进程间通信的过程,网络应用和网络安全等内容。

本书是国内少有的在实际网络环境下,讲解协议的工作过程、各种网络技术的特点及网络设备之间的通信过程,并以案例方式详细叙述网络工作机制,着力培养学生设计网络、使用网络能力的计算机网络教材,内容组织严谨、叙述方法新颖。

由于本书以“大学计算机基础”课程的教学内容为基础讨论计算机网络知识,因此也适合作为理工类非计算机专业学生的计算机网络教材。以本书为教材的 MOOC 课程“网络技术与应用”已经在学堂在线和中国大学 MOOC 上线,并受到广泛好评。

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 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

网络技术基础与计算思维/沈鑫刻等编著. —北京:清华大学出版社,2016

高等学校计算机基础教育规划教材

ISBN 978-7-302-42532-8

I. ①网… II. ①沈… III. ①计算机网络—高等学校—教材 IV. ①TP393

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 000862 号

责任编辑:袁勤勇

封面设计:常雪影

责任校对:焦丽丽

责任印制:王静怡

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:三河市中晟雅豪印务有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:29.25 字 数:673 千字

版 次:2016 年 3 月第 1 版 印 次:2016 年 3 月第 1 次印刷

印 数:1~2000

定 价:49.50 元

前言

本书的目的一是为学生提供完整、系统的计算机网络知识,二是培养学生设计、使用和维护网络的技能,三是培养学生的计算思维能力。

计算机网络是一个复杂的系统,网络中端到端的数据传输过程是各种协议、各种网络技术相互作用的结果,因此只有在实际的网络环境下来讨论各种协议的工作流程、各种网络技术的工作机制及它们之间的相互作用过程,才能提供完整、系统的网络知识,才能讲清楚网络的工作原理,而这恰恰是目前大多数计算机网络教材所缺乏的。本书的最大特点是在讲述每一种网络技术前,先构建一个读者能够理解的网络环境,并在该网络环境下详细讨论网络技术的工作机制、相关协议的工作流程及相互作用过程。而且,所提供的网络环境和人们实际应用中所遇到的实际网络十分相似,较好地解决了课程内容和实际应用的衔接,当读者碰到实际问题时,可以利用课程内容提供的思路和方法分析、解决问题。为了帮助读者更好地理解教材内容,书中列举了大量的例子和案例,这些例子和案例都选自实际应用中可能碰到的问题,因此除了帮助读者加深对课程内容的理解,还能培养读者设计网络、应用网络的能力。

在互联网发展过程中,出现了很多关键技术和促进互联网发展的关键因素,互联网发展也引申出许多新的领域。本书通过阐述出现这些关键技术的必然性和实现过程、关键因素对互联网发展过程的影响、互联网对其他传统行业的促进作用,及 Internet+ 引申出的新的应用领域,培养学生用解决互联网发展过程中出现的问题的思路解决其他专业领域中的问题的能力;以及将互联网与其他传统行业结合,创造出新的互联网应用领域的的能力。

本书以“大学计算机基础”课程的教学内容为基础讨论计算机网络知识,考虑到许多第一次接触网络知识的学生可能一开始无法理解有关网络的一些概念、技术及工作机制,因此引用了许多生活中的例子来帮助学生理解教材内容。

本书基于 TCP/IP 体系结构,深入浅出地讨论了以太网、无线局域网、广域网等不同类型的传输网络,IP 实现不同类型传输网络互连的机制,Internet 接入技术,传输层协议实现进程间通信的过程,网络应用和网络安全等内容。着力培养学生以下 5 个方面的能力:用无线局域网、交换式以太网技术设计类似校园网这样的互连网络的能力;将企业分布在各地的局域网互连成企业网的能力;用 ADSL 或以太网解决 Internet 接入的能力;用路由器的分组过滤功能或防火墙解决一般的网络安全问题的能力。

本书是在清华大学出版社出版的《计算机网络技术及应用》(第2版)的基础上修订而成,以本书为教材的 MOOC 课程“网络技术与应用”已经在学堂在线和中国大学 MOOC 上线,并受到广泛好评。

本书有配套的实验教材《网络技术基础与计算思维实验教程》,实验教材提供了在 Cisco Packet Tracer 软件实验平台上运用本书提供的理论和技术设计、配置和调试各种规模的网络的步骤和方法,学生可以用本书提供的网络设计原理和技术指导实验,反过来又通过实验来加深理解本书内容,使得课堂教学和实验形成良性互动。

作为一本无论在内容组织、叙述方法还是在教学目标上都和传统计算机网络教材有一定区别的新教材,错误和不足之处在所难免,殷切希望使用本书的老师和学生批评指正。作者 E-mail 地址为 shenxinshan@163.com。

作 者

2015 年 9 月

目录

第 1 章 概论	1
1.1 互联网概述	1
1.1.1 计算机网络定义	1
1.1.2 互联网结构	2
1.1.3 互联网知识体系	4
1.1.4 基本术语	6
1.2 互联网发展过程	8
1.2.1 从 ARPA 网络到互联网	8
1.2.2 从低速互联网到高速互联网	10
1.2.3 从数据网络到统一网络	12
1.2.4 从互联网到移动互联网	15
1.2.5 从互联网到物联网	17
1.2.6 从互联网到安全互联网	20
1.3 交换方式	22
1.3.1 交换的本质含义	23
1.3.2 电路交换	23
1.3.3 虚电路交换	27
1.3.4 数据报交换	33
1.3.5 三种交换方式综述	36
1.3.6 网络分类	37
1.4 计算机网络体系结构和协议	40
1.4.1 分层结构	40
1.4.2 网络体系结构基本概念	43
1.4.3 OSI 体系结构	46
1.4.4 TCP/IP 体系结构	50
1.5 互联网的启示	55
本章小结	57
习题	57

第2章 数据通信基础	59
2.1 数据传输系统	59
2.1.1 互连网与数据传输系统	59
2.1.2 系统组成	60
2.1.3 功能说明	61
2.1.4 信道连接方式	61
2.1.5 通信方式	61
2.2 信号	62
2.2.1 信号基本概念	62
2.2.2 数字信号	63
2.2.3 模拟信号	65
2.2.4 信号失真和还原	65
2.3 编码和调制	66
2.3.1 编码	67
2.3.2 调制	68
2.3.3 奈奎斯特准则与香农定理	71
2.3.4 数字传输系统与模拟传输系统的比较	73
2.4 差错控制	73
2.4.1 出错结果和原因	74
2.4.2 检错码和纠错码	74
2.4.3 确认和重传	77
2.5 传输媒体	79
2.5.1 同轴电缆	79
2.5.2 双绞线	80
2.5.3 光纤	81
2.6 数据传输系统的启示	83
本章小结	84
习题	85
第3章 以太网	86
3.1 以太网发展过程	86
3.1.1 以太网诞生	86
3.1.2 从共享到交换	86
3.1.3 从同轴电缆到双绞线缆和光纤	87
3.1.4 从低速到高速	87
3.1.5 VLAN 和三层交换技术	87
3.2 总线形以太网	87

3.2.1	总线形以太网结构与功能	87
3.2.2	总线形以太网体系结构	89
3.2.3	基带传输与曼彻斯特编码	90
3.2.4	MAC 地址	93
3.2.5	MAC 帧	93
3.2.6	CSMA/CD 工作原理	95
3.2.7	CSMA/CD 缺陷	97
3.2.8	集线器和星形以太网结构	102
3.2.9	例题解析	103
3.3	网桥与冲突域分割	104
3.3.1	网桥分割冲突域原理	104
3.3.2	转发表和 MAC 帧转发过程	105
3.3.3	网桥工作流程	106
3.3.4	端到端交换路径	107
3.3.5	网桥无限扩展以太网	108
3.3.6	全双工通信扩展无中继传输距离	109
3.3.7	以太网拓扑结构与生成树协议	109
3.3.8	中继器与网桥	110
3.3.9	例题解析	111
3.4	交换式以太网与 VLAN	114
3.4.1	广播和广播域	114
3.4.2	VLAN 与广播域分割	116
3.4.3	单交换机 VLAN 划分过程	117
3.4.4	跨交换机 VLAN 划分过程	119
3.4.5	802.1Q 与 VLAN 内 MAC 帧传输过程	120
3.4.6	例题解析	123
3.5	以太网标准	129
3.5.1	10Mbps 以太网标准	129
3.5.2	100Mbps 以太网标准	130
3.5.3	1Gbps 以太网标准	130
3.5.4	10Gbps 以太网标准	131
3.6	以太网的启示	131
	本章小结	133
	习题	133
第 4 章	无线局域网	138
4.1	无线局域网概述	138
4.1.1	无线通信基础	138

4.1.2	无线局域网标准和信道	142
4.1.3	无线局域网体系结构	144
4.1.4	无线局域网与以太网	145
4.2	无线局域网应用方式	147
4.2.1	IBSS	147
4.2.2	BSS	148
4.2.3	ESS	149
4.2.4	WDS	150
4.2.5	AP-repeater 模式	153
4.2.6	无线家庭网络	155
4.2.7	无线局域网与移动互联网	156
4.3	无线局域网 MAC 层	156
4.3.1	无线局域网 MAC 帧	157
4.3.2	DCF 和 CSMA/CA	159
4.4	终端接入无线局域网过程	167
4.4.1	BSS 配置信息	168
4.4.2	同步过程	168
4.4.3	鉴别过程	169
4.4.4	建立关联过程	170
4.4.5	MAC 帧分类	171
4.5	无线局域网设计和分析	172
4.5.1	网络结构	172
4.5.2	终端与 AP 建立关联过程	173
4.5.3	MAC 帧传输过程	173
4.5.4	终端 A 漫游过程	175
4.5.5	AP+AC 无线局域网结构	176
4.6	无线局域网的启示	178
	本章小结	180
	习题	180
第 5 章	广域网	182
5.1	PSTN	182
5.1.1	PSTN 概述	182
5.1.2	语音通信过程	184
5.2	PPP	193
5.2.1	PPP 帧结构	193
5.2.2	帧对界	194
5.2.3	点对点信道和 PPP 链路	195

5.3	SDH	195
5.3.1	SDH 概述	195
5.3.2	SDH 帧结构	198
5.3.3	SDH 复用结构	200
5.3.4	SDH 应用	202
5.4	广域网的启示	204
	本章小结	205
	习题	205
第 6 章	IP 和网络互连	207
6.1	网络互连	207
6.1.1	不同类型网络互连需要解决的问题	207
6.1.2	信件投递过程的启示	208
6.1.3	端到端传输思路	209
6.1.4	IP 实现网络互连机制	210
6.1.5	路由器结构	211
6.2	IP	212
6.2.1	IP 地址分类	212
6.2.2	IP 地址分层分类的原因	215
6.2.3	IP 地址分类的缺陷	217
6.2.4	无分类编址	219
6.2.5	IP 分组格式	229
6.3	路由表和 IP 分组传输过程	232
6.3.1	互连网结构与路由表	233
6.3.2	IP 分组传输过程	234
6.3.3	实现 IP 分组传输过程的思路	235
6.4	路由表建立过程	236
6.4.1	人工配置静态路由项	236
6.4.2	路由协议与动态路由项	241
6.5	IP over 以太网	246
6.5.1	ARP 和地址解析过程	246
6.5.2	逐跳封装	248
6.6	三层交换机与 VLAN 间通信过程	249
6.6.1	实现 VLAN 间通信过程的思路	249
6.6.2	多端口路由器实现 VLAN 间通信的过程	250
6.6.3	单臂路由器实现 VLAN 间通信的过程	251
6.6.4	三层交换机实现 VLAN 间通信的过程	253
6.6.5	多个三层交换机互连	257

6.6.6	二层交换机、AP 和三层交换机与路由器之间的区别	260
6.7	ICMP	263
6.7.1	ICMP 报文	263
6.7.2	ICMP 应用	265
6.8	IP 和网络互连的启示	267
	本章小结	269
	习题	270
第 7 章	Internet 接入技术	275
7.1	Internet 接入概述	275
7.1.1	终端接入 Internet 需要解决的问题	275
7.1.2	PPP 与接入控制过程	277
7.2	以太网和 ADSL 接入技术	282
7.2.1	通过以太网接入 Internet 的过程	283
7.2.2	通过 ADSL 接入 Internet 的过程	287
7.3	家庭局域网接入方式与无线路由器	290
7.3.1	家庭局域网接入方式	290
7.3.2	无线路由器	291
7.4	VPN 接入技术	300
7.4.1	引出 VPN 接入技术的原因	300
7.4.2	VPN 实现思路	301
7.4.3	VPN 接入网络结构	302
7.4.4	实现机制	303
7.4.5	Windows 启动 VPN 连接的过程	306
7.5	Internet 接入技术的启示	307
	本章小结	309
	习题	310
第 8 章	传输层	311
8.1	传输层功能和协议	311
8.1.1	引入传输层的原因	311
8.1.2	传输层功能	312
8.1.3	面向连接和无连接的区别	313
8.1.4	面向字节流和面向报文的区别	314
8.1.5	传输层协议	314
8.2	端口号	315
8.2.1	端口号的作用和分配过程	315
8.2.2	UDP 和 TCP 著名端口号	316



8.3	UDP	316
8.3.1	UDP 的主要特点	316
8.3.2	UDP 报文格式	317
8.3.3	UDP 用途	317
8.4	TCP	318
8.4.1	TCP 的主要特点	319
8.4.2	TCP 报文格式	319
8.4.3	TCP 建立连接和释放连接的过程	321
8.4.4	TCP 差错控制机制	323
8.4.5	TCP 拥塞控制机制	328
8.4.6	TCP 的几点说明	333
8.5	传输层启示	335
	本章小结	337
	习题	337
第9章	应用层	340
9.1	网络应用基础	340
9.1.1	网络应用、应用层和应用层协议	340
9.1.2	应用结构	342
9.2	DNS	344
9.2.1	产生 DNS 的原因	344
9.2.2	DNS 与其他网络应用之间的关系	345
9.2.3	域名结构	346
9.2.4	域名服务器结构与 DNS 资源记录	347
9.2.5	域名解析过程	351
9.3	DHCP	354
9.3.1	DHCP 的作用和结构	354
9.3.2	DHCP 无中继工作过程	355
9.3.3	DHCP 中继工作过程	358
9.4	WWW	360
9.4.1	统一资源定位器	360
9.4.2	HTTP	361
9.4.3	HTML	362
9.5	电子邮件	364
9.5.1	电子邮件传输过程	364
9.5.2	电子邮件信息格式	367
9.6	FTP	370
9.6.1	FTP 工作原理	370

9.6.2	FTP 工作过程	371
9.7	综合应用分析	372
9.7.1	互连网络结构与配置	373
9.7.2	数据交换过程	375
9.8	应用层启示	380
	本章小结	381
	习题	382
第 10 章	网络安全	383
10.1	网络安全概述	383
10.1.1	网络安全问题	383
10.1.2	引发网络安全问题的原因	384
10.1.3	网络安全目标	385
10.1.4	网络安全内涵	385
10.1.5	网络攻击举例	386
10.2	网络安全基础	395
10.2.1	加密算法	395
10.2.2	报文摘要算法	399
10.2.3	数字签名	401
10.2.4	身份鉴别	402
10.3	病毒防御技术	403
10.3.1	恶意代码定义与分类	403
10.3.2	病毒防御机制	405
10.4	以太网安全技术	408
10.4.1	接入控制技术	408
10.4.2	防欺骗攻击技术	412
10.5	无线局域网安全技术	415
10.5.1	无线局域网的安全问题和解决机制	415
10.5.2	WEP	416
10.5.3	WPA2	419
10.6	防火墙	423
10.6.1	无状态分组过滤器	423
10.6.2	有状态分组过滤器	427
10.7	入侵防御系统	431
10.7.1	入侵防御系统分类	431
10.7.2	入侵防御系统通用框架结构	433
10.7.3	入侵检测机制	435
10.8	安全协议	435

10.8.1 安全协议概述.....	435
10.8.2 IPSec	437
10.9 网络安全的启示.....	444
本章小结.....	445
习题.....	446
英文缩写词.....	447
参考文献.....	451

概 论

学习互联网,首先需要了解互联网基本概念、互联网发展过程、实现互联网的技术基础及描述互联网各层功能及协议的网络体系结构。

1.1 互联网概述

主机互连构成网络,网络互连构成互联网。学习互联网的第一步是了解互联网的内涵、互联网相关的知识和术语。

1.1.1 计算机网络定义

计算机网络的精确定义并未统一,目前最简单的定义是:一些互相连接的、自治的计算机的集合。这个定义并不能完全反映计算机网络的特征,计算机网络的特征主要体现在以下几个方面。

1. 共享资源

互连计算机的目的是为了实现资源共享。这些资源包括软件、硬件和数据,但对于计算机网络而言,资源所在的计算机系统对用户不是透明的,用户访问网络中某个计算机系统的资源时,需要明确指定该计算机系统。

2. 自治系统

自治系统互连是计算机网络的另一主要特征,自治系统是能够独立运行并提供服务的系统。一个由一台计算机和用该计算机的串行口和并行口连接的多台外设组成的系统不能算是计算机网络,因为这些外设必须在计算机控制下才能提供服务。但如果这些外设是网络设备,能够直接连接到以太网并独立提供服务,如网络打印机,那么它们就是自治系统,由这些自治系统互连而成的系统就是计算机网络。

需要说明的是,主机是作为自治系统连接到网络中的计算机。主机可以分为终端和服务器,终端与服务器一起为用户提供网络服务。终端的作用是获取用户的服务请求,并

将用户的服务请求传输给服务器。服务器的作用是响应用户的服务请求,并将响应结果传输给终端。用户、终端与服务器之间的关系如图 1.1 所示。但随着互联网应用的发展,终端与服务器的界限已经变得模糊。因此,终端与主机常常混用。

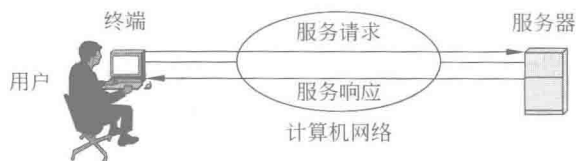


图 1.1 用户、终端与服务器之间的关系

3. 遵守统一的通信标准

互连这些自治系统的目的是为了实现在资源共享,实现资源共享就必须相互交换数据,因此这些互连的自治系统必须遵守统一的通信标准,这样才能实现相互通信。

1.1.2 互联网结构

1. 互联网由多种不同类型的网络互连而成

任意两地之间可能需要由多种运输系统连接,如图 1.2(a)所示的南京与长沙之间,可能由公路运输系统连接南京和上海,由航空运输系统连接上海和长沙。任意两地之间不是由单一运输系统连接的原因如下。

① 不同的运输系统有着不同的特性,运输系统的特性包括速度、价格、运营设施等;

② 不同特性的运输系统有着不同的适用环境,如公路运输系统速度相对较低,运营设施相对简单,因而可以用于村镇之间,也可以用于距离不是很远的城市之间。航空运输系统速度快、运营设施复杂,但运输价格较高,可以用于距离较远的两个城市之间;

③ 任意两地之间包括多个条件和距离都不同的区域,如连接村镇的区域、连接镇与县城的区域、连接县城与省城的区域等,每一个区域有着各自适用的运输系统,如村镇之间、镇与县城之间适用公路运输系统,县城与县城之间、县城与省城之间适合铁路运输系统,省城与省城之间、不同国家的都市之间适合航空运输系统等。

与任意两地之间需要由多种运输系统连接相似,任何两个主机之间的传输路径可能由多个不同类型的传输网络组成。如图 1.2(b)所示的终端 A 与 Web 服务器之间,可能需要由公共交换电话网(Public Switched Telephone Network, PSTN)构成终端 A 与路由器之间的传输路径,由以太网构成路由器与 Web 服务器之间的传输路径。任何两个主机之间的传输路径不是由单一传输网络组成的原因如下。

① 不同类型的传输网络有着不同的特性,传输网络特性包括交换方式、传输速率、作用范围、价格、运营设施等;

② 不同特性的传输网络有着不同的适用环境,如以太网与 PSTN 的特性不同,因而适用的环境也不同;

③ 两个主机之间传输路径可能需要经过多个有着不同范围、不同传输速率要求、不同条件的区域,这些不同特性的区域有着各自适用的传输网络;

④ 传输控制协议/网际协议 (Transmission Control Protocol/Internet Protocol, TCP/IP) 的开放性允许将多种不同类型的传输网络、不同类型的主机互连在一起。

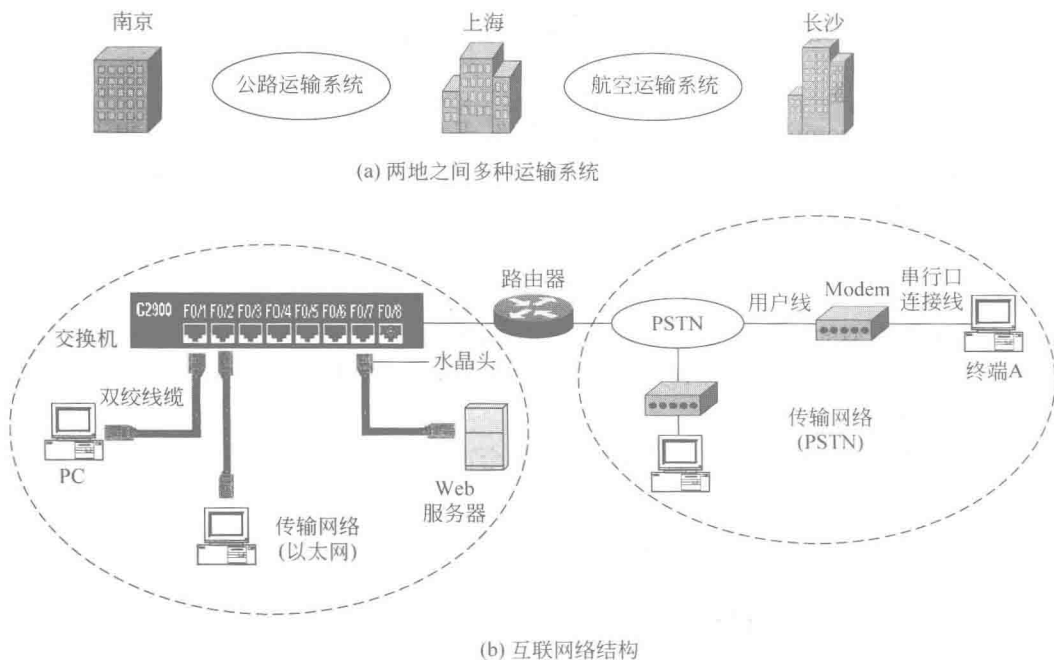


图 1.2 运输系统与互联网络结构的比较

2. 不同类型传输网络连接过程

1) 以太网连接过程

如图 1.2(b)所示,组成以太网设备包括交换机、终端、服务器和互连交换机与终端或服务器的线缆。交换机称为网络设备,终端和服务器等统称为主机,交换机、终端和服务器等统称为结点,而互连交换机与终端或服务器的线缆称为链路。以太网链路由两端带水晶头的双绞线缆构成。终端和服务器通过以太网链路跟交换机建立连接。连接交换机的终端之间、终端跟服务器之间可以相互通信。

2) PSTN 连接过程

组成 PSTN 的设备十分复杂,第 5 章“广域网”将详细讨论组成 PSTN 的设备。终端不是 PSTN 的一部分。用 RS-232 连接线(俗称串行线)连接终端跟调制解调器(modulator-demodulator, modem),用 RJ-11 连接线(俗称电话线)连接 modem 跟 PSTN。接入 PSTN 的终端之间通过呼叫连接建立过程建立语音信道,两个终端之间通过语音信道实现相互通信。语音信道是指用于实现语音信号传输的通道。

3) 路由器连接以太网跟 PSTN

互连以太网跟 PSTN 的路由器需要两个接口,其中一个接口可以通过以太网链路连