

责任编辑 魏 彬
封面设计 唐韵设计

辽宁省“十四五”职业教育规划教材

辽宁省“十四五”职业教育规划教材

计算机类人才培养系列教材

计算机二级Visual FoxPro考点精要

C语言程序设计教程 (第2版)

C语言程序设计上机指导与习题 (第2版)

数据库原理与SQL Server应用

网页设计与制作 (第二版)

▶ 大学计算机文化基础 (第2版)

计算机应用基础 (Windows 10 + Office 2016)

计算机应用基础实训教程 (Windows 10 + Office 2016)

计算机应用基础任务式教程 (Windows 10 + Office 2016)

大学计算机文化基础 (第2版)

主编◎陶永明 徐 健

电子科技大学出版社

大学计算机文化基础 (第2版)

主编◎陶永明 徐 健



ISBN 978-7-5770-1305-3



定价: 49.80元

电子科技大学出版社
University of Electronic Science and Technology of China Press

辽宁省“十四五”职业教育规划教材

大学计算机 文化基础 (第2版)

主编 陶永明 徐 健



扫一扫
学习资源库

 电子科技大学出版社
University of Electronic Science and Technology of China Press

· 成都 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

大学计算机文化基础 / 陶永明, 徐健主编. -- 2 版.
成都: 成都电子科大出版社, 2025. 8. -- ISBN 978-7-5770-1305-3

I. TP3

中国国家版本馆 CIP 数据核字第 2024H9Q163 号

大学计算机文化基础 (第 2 版)

DAXUE JISUANJI WENHUA JICHU (DI 2 BAN)

陶永明 徐 健 主编

策划编辑 张 鹏 魏 彬

责任编辑 魏 彬

责任校对 段晓静

责任印制 梁 硕

出版发行 电子科技大学出版社

成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦九楼 邮编 610051

主 页 www.uestcp.com.cn

服务电话 028-83203399

邮购电话 028-83201495

印 刷 北京荣玉印刷有限公司

成品尺寸 210 mm × 285 mm

印 张 16.5

字 数 486 千字

版 次 2025 年 8 月第 2 版

印 次 2025 年 8 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5770-1305-3

定 价 49.80 元

版权所有 侵权必究



第 1 章 计算机与信息社会	1	第 2 章 信息技术与信息安全	24
1.1 计算机的诞生与发展	2	2.1 新一代信息技术	25
1.1.1 计算机的诞生	2	2.1.1 新一代信息技术的概念	25
1.1.2 计算机的发展	4	2.1.2 新一代信息技术未来发展趋势	25
1.2 计算机的分类	6	2.2 信息检索	27
1.2.1 根据用途分类	6	2.2.1 信息检索的起源	27
1.2.2 根据处理数据的类型分类	6	2.2.2 信息检索的概念	27
1.2.3 根据性能分类	7	2.2.3 信息检索的分类	27
1.2.4 根据位置分类	8	2.2.4 信息检索的主要环节	28
1.3 计算机中的二进制与存储单位	8	2.2.5 信息检索的热点	28
1.3.1 计算机中的二进制	8	2.2.6 信息检索的现状	29
1.3.2 采用二进制的原因	9	2.3 信息安全	29
1.3.3 计算机中的数值表示	9	2.3.1 信息安全概述	29
1.3.4 计算机中的信息编码	11	2.3.2 计算机系统安全	31
1.3.5 计算机中的信息单位	12	2.3.3 身份认证与访问控制	33
1.4 多媒体技术简介	13	2.3.4 网络安全	35
1.4.1 媒体与多媒体技术	13	2.4 信息技术与社会变革	41
1.4.2 媒体的数字化	14	2.4.1 数字经济	41
1.4.3 多媒体信息处理的关键技术	15	2.4.2 数字社会	43
1.5 计算机在信息时代的应用与发展	17	2.5 信息伦理与法律	45
1.5.1 计算思维	17	2.5.1 信息法律与法规	45
1.5.2 计算机的传统应用领域	18	2.5.2 网络道德与行为规范	45
1.5.3 计算机的新兴应用领域	19	2.5.3 数字版权	47
1.5.4 计算机的发展方向	22	2.5.4 开源规范	48
知识巩固与测验	23	知识巩固与测验	49



第 3 章 计算机系统组成 50

3.1 计算机系统概述 51

- 3.1.1 计算机系统的组成 51
- 3.1.2 计算机系统的结构 51
- 3.1.3 计算机系统的运行原理 52

3.2 计算机的硬件系统 53

- 3.2.1 主板 53
- 3.2.2 存储器 56
- 3.2.3 CPU 与指令系统 62
- 3.2.4 输入 / 输出设备 65
- 3.2.5 微机硬件配置查看与性能检测 66
- 3.2.6 移动智能终端系统的硬件结构与性能检测 69

3.3 计算机软件基础 72

- 3.3.1 计算机软件的含义、分类与驱动程序 72
- 3.3.2 程序设计语言 73

3.4 操作系统概述 75

- 3.4.1 操作系统的定义与特性 75
- 3.4.2 操作系统的主要功能 76
- 3.4.3 按应用类型分类操作系统 76
- 3.4.4 按实现原理和技术分类操作系统 78
- 3.4.5 面向移动设备的操作系统 82

知识巩固与测验 83

第 4 章 文字处理软件 Word 2016 84

4.1 Word 2016 简介 85

- 4.1.1 Word 2016 的新增功能 85
- 4.1.2 Word 2016 的工作界面 86
- 4.1.3 快速访问工具栏 87
- 4.1.4 上下文选项卡 88
- 4.1.5 后台视图 88

- 4.1.6 自定义功能区 89

4.2 Word 文档的创建与编辑 89

- 4.2.1 创建文档 89
- 4.2.2 输入文本 91
- 4.2.3 选中文本 92
- 4.2.4 移动、复制和删除文本 93
- 4.2.5 查找和替换文本 94
- 4.2.6 保存文档 96
- 4.2.7 打印文档 98

4.3 Word 文档格式化 99

- 4.3.1 设置文本格式 99
- 4.3.2 设置段落格式 101
- 4.3.3 设置边框和底纹 105
- 4.3.4 设置项目符号和编号 106
- 4.3.5 页面设置 107

4.4 Word 的图文混排功能 109

- 4.4.1 插入并编辑图片 109
- 4.4.2 插入联机图片 112
- 4.4.3 绘制图形 113
- 4.4.4 制作艺术字 114
- 4.4.5 使用文本框 116
- 4.4.6 使用 SmartArt 图形 116
- 4.4.7 插入数学公式 118

4.5 Word 表格处理 119

- 4.5.1 创建表格 119
- 4.5.2 选中表格 121
- 4.5.3 编辑表格 121
- 4.5.4 表格内数据的排序和计算 123

4.6 Word 长文档的编辑与处理 124

- 4.6.1 使用样式 124
- 4.6.2 文档分页、分节和分栏 128
- 4.6.3 设置页眉和页脚 129
- 4.6.4 创建文档目录 131

知识巩固与测验 132

第 5 章 数据表格处理软件**Excel 2016 133****5.1 Excel 2016 新功能概述 134**

5.1.1 Excel 的主要功能 134

5.1.2 Excel 2016 的工作界面 134

5.2 Excel 工作簿的创建、保存与编辑 136

5.2.1 创建工作簿 136

5.2.2 保存工作簿 138

5.2.3 打开工作簿 139

5.2.4 编辑工作表 140

5.2.5 选中单元格 142

5.2.6 数据输入 144

5.2.7 数据编辑 147

5.2.8 调整列宽和行高 148

5.2.9 设置单元格格式 149

5.3 Excel 公式与函数的应用 152

5.3.1 引用单元格 152

5.3.2 使用公式 153

5.3.3 使用函数 155

5.4 Excel 数据分析与处理 157

5.4.1 数据清单 157

5.4.2 数据排序 158

5.4.3 数据筛选 159

5.4.4 分类汇总 162

5.5 Excel 图表的应用 163

5.5.1 图表的类型 163

5.5.2 创建与更改图表 164

5.5.3 设置图表格式 167

5.5.4 迷你图功能 171

5.5.5 数据透视功能 172

知识巩固与测验 175**第 6 章 电子演示文稿制作软件****PowerPoint 2016 177****6.1 制作演示文稿的最佳流程及经验 178****6.2 PowerPoint 2016 的新增功能 178****6.3 演示文稿的创建和保存 179**

6.3.1 新建演示文稿 179

6.3.2 幻灯片的基本操作 180

6.3.3 保存演示文稿 181

6.4 演示文稿的编辑与修饰 183

6.4.1 文本、符号的输入与处理 183

6.4.2 插入表格和图片 184

6.4.3 插入图表和 SmartArt 图形 186

6.4.4 在演示文稿中使用音频、
视频 187

6.4.5 母版和设计模板 190

6.4.6 幻灯片主题、配色方案与
背景 192**6.5 演示文稿的放映与相关控制 194**

6.5.1 使用动画 194

6.5.2 设置切换动画方式 196

6.5.3 设置和控制幻灯片放映 197

6.6 演示文稿的输出与共享 198

6.6.1 打包演示文稿 198

6.6.2 打印演示文稿 199

6.6.3 与他人共享演示文稿 200

知识巩固与测验 201**第 7 章 计算机网络 202****7.1 计算机网络概述 203**

7.1.1 计算机网络的作用与发展 203



7.1.2	计算机网络的基本概念	204		
7.1.3	计算机网络体系结构与协议	209		
7.2	局域网基础与组网技术	212		
7.2.1	局域网的基本概念	212		
7.2.2	共享式以太网	217		
7.2.3	高速局域网	219		
7.2.4	交换式局域网与虚拟局域网	222		
7.2.5	无线局域网	224		
7.3	Internet 基础与应用	232		
7.3.1	Internet 基础	232		
7.3.2	Internet 基本服务	240		
7.3.3	Internet 基本应用	245		
7.3.4	Internet 新型应用	248		
	知识巩固与测验		252	
	参考文献		253	

第7章 计算机网络

计算机网络是指将地理位置不同的、具有独立功能的多台计算机及其外部设备，通过通信线路和通信设备连接起来，在网络操作系统、网络管理软件及网络通信协议的管理和协调下，实现资源共享和信息传递的计算机系统。计算机网络主要由一些通用的、可编程的硬件互连而成，这些可编程的硬件能够传输多种不同类型的数据，并支持广泛的和日渐更新的应用。

知识目标

1. 掌握计算机网络的基本概念与理论。
2. 掌握局域网基础与组网技术。
3. 了解 Internet 的基本概念与应用。

能力目标

1. 能够灵活运用计算机网络的基本原理与理论。
2. 能够掌握局域网组网的基本操作。
3. 能够操作 Internet 上的常用应用。

素质目标

1. 通过学习计算机网络结构的基本知识，提高对行业规范在实践中的重要性的认识。
2. 通过学习局域网组网技术，明确理论与实践相结合的重要性。
3. 通过学习 Internet 应用的知识，明确制度在实践应用中的重要性。

7.1 计算机网络概述

中国未来的发展要靠科技创新驱动。党的二十大报告指出，加快建设制造强国、质量强国、航天强国、交通强国、网络强国、数字中国。这是当前和今后一个时期我国深入贯彻新发展理念、加快构建新发展格局、着力推动高质量发展的重大任务，也是信息通信业奋进新征程、建功新时代必须围绕的中心和服务的大局。展望未来，网络强国建设的伟大实践，将沿着全面建设社会主义现代化国家新征程一路前行，奋力谱写新的精彩篇章。

7.1.1 计算机网络的作用与发展

1. 计算机网络在信息时代中的作用

自 20 世纪 90 年代以来，以 Internet 为代表的计算机网络得到了飞速的发展，已从最初的教育科研网络逐步发展成商业网络。不少人认为现在已经是 Internet 的时代，这是因为 Internet 正在改变人们工作和生活的各个方面，其已经给很多国家（尤其是 Internet 的发源地美国）带来了巨大的好处，并加速了全球信息革命的进程。可以毫不夸大地说，Internet 的出现是人类自印刷术发明以来在通信方面最大的变革之一。

现在人们的生活、工作、学习和交往都与 Internet 密切相关。设想在某一天计算机网络突然出现故障，不能正常工作：这时，人们将无法购买机票或火车票，因为售票员无法知道还有多少票可供出售；人们无法通过网络存钱或取钱，无法方便地缴纳水电费和煤气费等；股市交易将停顿；在图书馆人们也无法通过计算机检索需要的图书和资料；人们既不能上网查询所需资料，也无法使用电子邮件和朋友及时交流信息。总之，这时的社会将极为不便。

现在 Internet 已成为全球性的信息基础结构的雏形，全世界所有的发达国家和许多发展中国家纷纷研究和制定本国信息基础结构建设的计划。这也使得计算机网络的发展进入了一个新的历史阶段，计算机网络变成了人人都知道且都十分关心的热门领域。

2. 计算机网络的发展阶段

计算机网络是计算机技术与通信技术高度发展、紧密结合的产物，计算机网络技术的进步正在对当代社会的发展产生重要影响。纵观计算机网络的形成与发展历史，其大致可以分为以下 4 个阶段。

(1) 第 1 阶段：计算机网络技术的准备。

第 1 阶段可以追溯到 20 世纪 50 年代，该阶段的特点与标志性成果主要表现在以下两个方面。

①数据通信技术日趋成熟，为计算机网络的形成奠定了技术基础。

②分组交换概念的提出为计算机网络的研究奠定了理论基础。

(2) 第 2 阶段：计算机网络的形成。

第 2 阶段是从 20 世纪 60 年代的 ARPA Net 与分组交换技术开始的。ARPA Net 是计算机网络技术发展中的一个里程碑，它的研究对促进网络技术和理论体系的形成起到了重要的推动作用，并为 Internet 的形成奠定了坚实的基础。该阶段出现了以下 3 项标志性的成果。

① ARPA Net 的成功运行证明了分组交换理论的正确性。



② TCP/IP 协议的广泛应用为更大规模的网络互联奠定了坚实的基础。

③ E-mail、FTP (file transfer protocol, 文件传输协议)、Telnet (远程终端)、BBS (bulletin board system, 电子公告牌系统) 等应用展现出网络技术广阔的应用前景。

(3) 第3阶段: 网络体系结构的研究。

第3阶段大致从20世纪70年代中期开始。这一时期,国际上各种广域网、局域网与公用分组交换网技术发展迅速,各个计算机生产商纷纷发展自己的计算机网络,提出了各自的网络协议标准。网络体系结构与协议的标准化的研究,对更大规模的网络互联起到了重要的推动作用。

ISO在推动开放系统互连(open system interconnection, OSI)参考模型与网络协议标准化研究方面做了大量工作,但其成果也面临着TCP/IP协议的严峻挑战。该阶段研究成果的重要性主要表现在以下方面。

① OSI参考模型的研究对网络理论体系的形成与发展,以及在网络协议标准化研究方面起到了重要的推动作用。

② TCP/IP经受了市场和用户的检验,吸引了大量的投资,推动了Internet应用的发展,成为业界标准。

(4) 第4阶段: Internet应用、无线网络等技术的发展。

第4阶段从20世纪90年代开始。该阶段最富有挑战性的话题是Internet应用技术、无线网络技术、对等(peer-to-peer, P2P)网络技术与网络安全技术等。该阶段的特点主要表现在以下几个方面。

① Internet作为全球性的国际网络与大型信息系统,在当今政治、经济、文化、科研、教育与社会生活等方面发挥了越来越重要的作用。

② Internet大规模接入推动了接入技术的发展,促进了计算机网络、电信通信网与有线电视网的“三网融合”。

③对等网络技术的研究,使得即时通信等新的网络应用不断涌现,进一步丰富了人与人之间信息交互与共享的方式。

④无线个人局域网、无线局域网与无线城域网技术日益成熟,并已进入应用阶段。无线自组网、无线传感器网络的研究与应用受到了高度重视。

⑤ Internet应用中数据的采集与录入从人工方式逐步扩展到自动方式,通过射频识别技术、各种类型的传感器与传感器网络、光学视频感知与摄录设备,能够方便、自动地采集各种物品与环境信息,拓宽了人与人、人与物、物与物之间更为广泛的信息交互,促进了物联网技术的形成与发展。

⑥随着网络应用的快速增长,社会对网络安全问题的重视程度也越来越高,强烈的社会需求推动了网络安全技术的快速发展。

7.1.2 计算机网络的基本概念

1. 计算机网络的定义

计算机网络的最简单的定义如下:计算机网络是一些互相连接的、自治的计算机的集合。若按此定义,则早期的面向终端的网络都不能算是计算机网络,而只能称为联机系统(因为那时的许多终端不能算是自治的计算机)。但随着硬件价格的下降,许多终端已具有一定的智能,“终端”和“自治的计算机”逐渐失去了严格的界限。因此,若将微型计算机看作终端,按上述定义,则早期的面向终端的网络

也可称为计算机网络。

最简单的计算机网络只有两台计算机和连接它们的链路，即两个结点和一条链路。因为没有第三台计算机，所以不存在交换的问题。

2. 计算机网络的分类

计算机网络的分类方法有多种，其中最主要的方法是根据覆盖范围进行分类。按覆盖的地理范围划分，计算机网络可以分为 4 类，分别为个人区域网（personnel area network, PAN）、局域网（local area network, LAN）、城域网（metropolitan area network, MAN）和广域网（wide area network, WAN），如图 7-1 所示。



图 7-1 按网络覆盖范围对计算机网络进行分类

（1）个人区域网。个人区域网覆盖的地理范围最小（通常为 10 m 以内），用于连接计算机、平板电脑、智能手机、打印机等数字终端设备。由于个人区域网主要使用无线通信技术实现联网设备之间的通信，因此其更准确的含义是无线个人区域网（wireless personal area network, WPAN）。个人区域网在通信技术和协议上与无线局域网存在较大的差别，因此将个人区域网从局域网中独立出来是有必要的。

（2）局域网。局域网用于将有限范围内（如一个实验室、大楼或校园）的各种计算机、终端与外部设备互联成网，覆盖范围是 10 m ~ 10 km。根据采用的技术、应用范围和协议标准的不同，局域网可以分为共享介质局域网与交换式局域网。局域网技术发展迅速并且应用广泛，是计算机网络中极为活跃的领域之一。

（3）城域网。城市地区的网络通常简称为城域网，城域网是介于广域网与局域网之间的一种高速网络。城域网的设计目标是满足几十千米范围内的大量机关、校园、企业的多个局域网的互联需求，以实现大量用户之间语音、图形与视频等多种信息的传输。

（4）广域网。广域网又称为远程网，覆盖的地理范围从一百千米到几千千米。广域网可以覆盖一个国家、地区，或者横跨几个洲，形成国际性的远程计算机网络。广域网的通信子网可以利用公用分组交换网、卫星通信网和无线分组交换网，将分布在不同地区的计算机系统互联，以达到更大范围的资源共享的目的。

3. 计算机网络拓扑

网络拓扑通过网络结点与通信线路之间的集合关系表示网络结构，反映网络中各个实体之间的结构关系。拓扑设计是建设计算机网络的第一步，也是实现各种网络协议的基础，其对网络性能、系统可靠性与通信费用都有重大影响。网络拓扑主要是指通信子网的拓扑结构。

基本的网络拓扑有 5 种：星形拓扑、环形拓扑、总线拓扑、树状拓扑和网状拓扑。图 7-2 给出了基本的网络拓扑结构。

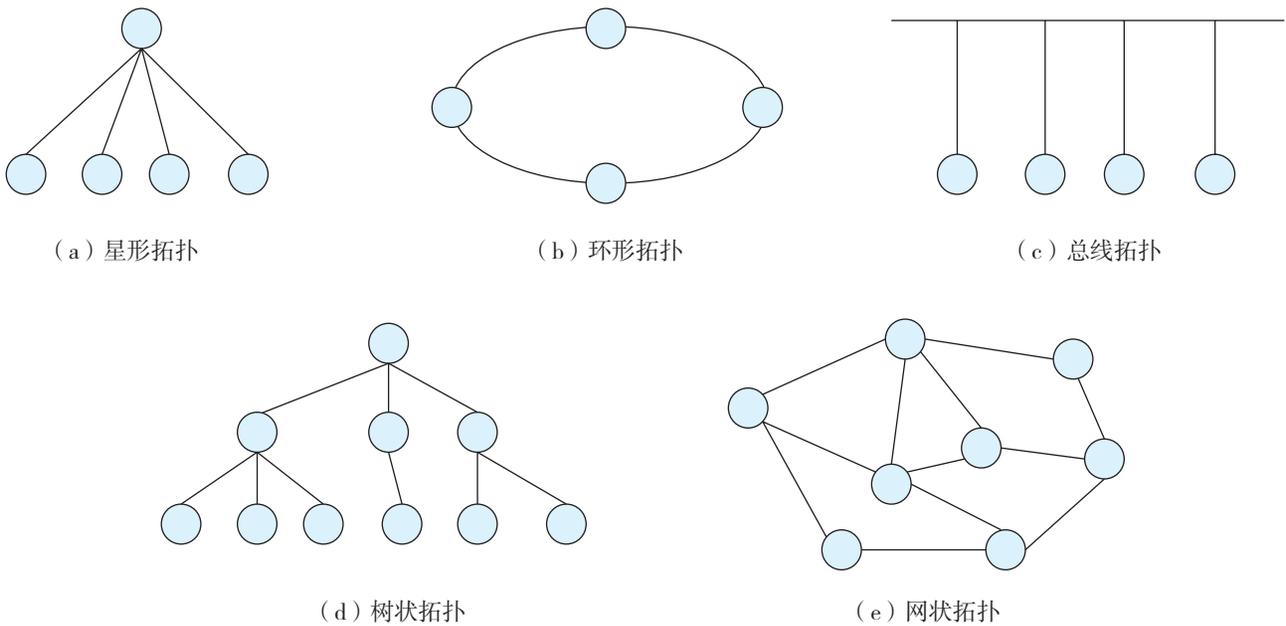


图 7-2 基本的网络拓扑结构

(1) 星形拓扑 [图 7-2 (a)]。

星形拓扑的特点如下。

- ① 结点通过点一点通信线路与中心结点连接。
- ② 中心结点控制全网的通信，任何两个结点之间的通信都要通过中心结点。
- ③ 星形拓扑结构简单，易于实现，便于管理。
- ④ 网络的中心结点是全网性能与可靠性的瓶颈，中心结点的故障可能造成全网瘫痪。

(2) 环形拓扑 [图 7-2 (b)]。

环形拓扑的特点如下。

- ① 结点通过点一点通信线路连接成闭合环路。
- ② 环中数据将沿一个方向逐站传送。
- ③ 环形拓扑结构简单，传输时延确定。
- ④ 环中每个结点与连接结点之间的通信线路都会成为网络可靠性的瓶颈，环中任何一个结点或线路出现故障都有可能造成网络瘫痪。
- ⑤ 为了方便结点加入和撤出环，控制结点的数据传输顺序，保证环的正常工作，需要设计复杂的环维护协议。

(3) 总线拓扑 [图 7-2 (c)]。

总线拓扑的特点如下。

- ① 所有结点连接到一条作为公共传输介质的总线，以广播方式发送和接收数据。
- ② 当一个结点利用总线发送数据时，其他结点只能接收数据。
- ③ 当两个或两个以上结点同时发送数据时，就会出现冲突，造成传输失败。
- ④ 总线拓扑结构的优点是结构简单，缺点是必须解决多结点访问总线的介质访问控制问题。

(4) 树状拓扑 [图 7-2 (d)]。

树状拓扑的特点如下。

①结点按层次进行连接，信息交换主要在上、下结点之间进行，相邻及同层结点之间通常不进行数据交换，或数据交换量比较小。

②树状拓扑可以看成星形拓扑的一种扩展，树状拓扑网络适用于汇集信息。

(5) 网状拓扑 [图 7-2 (e)]。

网状拓扑又称为无规则型拓扑。广域网一般采用网状拓扑。网状拓扑的特点如下。

①结点之间的连接是任意的，没有规律。

②网状拓扑的优点是系统可靠性高。

③网状拓扑结构复杂，必须采用路由选择算法、流量控制与拥塞控制方法。

4. 计算机网络的性能指标

性能指标可从不同的方面度量计算机网络的性能，下面介绍 5 个常用的性能指标。

(1) 速率。

计算机发出的信号都是数字形式的。比特是计算机中数据量的单位，其英文 bit 来源于 binary digit，意思是二进制数字，因此一个比特就是二进制数字中的一个 1 或 0。网络技术中的速率指的是连接在计算机网络上的主机在数字信道上传输数据的速率，也称为数据率 (data rate) 或比特率 (bit rate)。速率是计算机网络中最重要的一个性能指标，单位是 b/s (或 bit/s，有时也写为 bps)。当数据率较高时，可以用 kb/s、Mb/s、Gb/s 或 Tb/s。现在人们常用更简单的但是很不严格的说法来描述网络速率，如 100 M 以太网，其中省略了单位中的 b/s，表示速率为 100 Mb/s 的以太网。上面所说的速率往往是指额定速率或标称速率。

(2) 带宽。

①带宽本来是指某个信号具有的频带宽度。信号的带宽是指该信号所包含的各种不同频率成分所占的频率范围。例如，在传统的通信线路上传输的电话信号的标准带宽是 3.1 kHz (从 300 Hz 到 3.4 kHz，即话音主要成分的频率范围)。这种意义的带宽的单位是 Hz。

②在计算机网络中，带宽用来表示网络的通信线路所能传输数据的能力，因此网络带宽表示在单位时间内从网络中的某一点到另一点所能通过的最高数据率。本书在提到带宽时，主要是指这个含义。这种意义的带宽的单位是 b/s。

(3) 吞吐量。

吞吐量表示在单位时间内通过某个网络 (或信道、接口) 的数据量。吞吐量更经常地用于表示对现实世界中的网络的一种测量，以便知道实际上到底有多少数据量能够通过网络。显然，吞吐量受网络的带宽或网络的额定速率的限制。例如，对于一个 100 Mb/s 的以太网，其额定速率是 100 Mb/s，那么该数值也是该以太网的吞吐量的绝对上限值。因此，对于 100 Mb/s 的以太网，其实际的吞吐量可能只有 70 Mb/s。注意，有时吞吐量还可以用每秒传输的字节数或帧数来表示。

(4) 时延。

时延是指数据 (一个报文或分组，甚至比特) 从网络 (或链路) 的一端传输到另一端所需要的时间。时延是一个很重要的性能指标，其有时也称为延迟或迟延。

需要注意的是，网络中的时延是由以下几个不同的部分组成的。

①发送时延 (transmission delay)。发送时延是主机或路由器发送数据帧所需要的时间，即从发送数据帧的第一个比特算起，到该帧的最后一个比特发送完毕所需要的时间。因此，发送时延也叫作传输时延。发送时延的计算公式如下：



$$\text{发送时延} = \frac{\text{数据帧长度 (b)}}{\text{信道带宽 (b/s)}}$$

②传播时延 (propagation delay)。传播时延是指电磁波在信道中传播一定的距离而花费的时间。传播时延的计算公式如下:

$$\text{传播时延} = \frac{\text{信道长度 (m)}}{\text{电磁波在信道上的传播速率 (m/s)}}$$

电磁波在自由空间的传播速率是光速, 约为 3.0×10^5 km/s。电磁波在网络传输媒体中的传播速率比在自由空间要低: 在铜线电缆中的传播速率约为 2.5×10^5 km/s, 在光纤中的传播速率约为 2.0×10^5 km/s。例如, 1000 km 长的光纤线路产生的传播时延大约为 5 ms。

③处理时延。主机或路由器在收到分组时要花费一定的时间进行处理, 如分析分组的首部、从分组中提取数据部分、进行差错检验或查找适当的路由等, 这就产生了处理时延。

④排队时延。分组在进行网络传输时要经过许多路由器, 但分组在进入路由器后要先在输入队列中排队等待处理。在路由器确定转发接口后, 还要在输出队列中排队等待转发, 这就产生了排队时延。排队时延的长短往往取决于网络当时的通信量。当网络的通信量很大时会发生队列溢出, 使分组丢失, 这相当于排队时延为无穷大。

这样, 数据在网络中经历的总时延就是上述 4 种时延之和, 即

$$\text{总时延} = \text{发送时延} + \text{传播时延} + \text{处理时延} + \text{排队时延}$$

一般来说, 小时延的网络要优于大时延的网络。在某些情况下, 一个低速率、小时延的网络很可能要优于一个高速率但大时延的网络。在总时延中, 究竟哪一种时延占主导地位, 需要进行具体分析和综合考虑。

(5) 利用率。

利用率包括信道利用率和网络利用率两种。信道利用率是指某信道有百分之几的时间是被利用的 (有数据通过), 完全空闲的信道的信道利用率是零。网络利用率则是全网络的信道利用率的加权平均值。信道利用率并非越高越好。这和高速公路的情况相似, 当高速公路上的车流量很大时, 公路上的某些地方会出现堵塞, 因此行车所需时间就会增加。网络也有类似的情况, 当网络的通信量很少时, 网络产生的时延并不大; 但在网络通信量不断增大的情况下, 由于分组在网络结点 (路由器或结点交换机) 进行处理时需要排队等候, 因此网络引起的时延就会增大。如果令 D_0 表示网络空闲时的时延, D 表示网络当前的时延, 那么在适当的假定条件下, 可以用下面的简单公式来表示 D 、 D_0 和利用率 U 之间的关系:

$$D = \frac{D_0}{1-U}$$

这里 U 的数值范围在 $0 \sim 1$ 。当网络的利用率达到其容量的一半时, 时延就要加倍。特别值得注意的是, 当网络的利用率接近最大值 1 时, 网络的时延就趋于无穷大。因此, 一定不要让信道或网络的利用率接近于 1。图 7-3 给出了时延与利用率的关系。因此, 一些拥有较大主干网的 ISP (internet service provider, 互联网服务提供商) 通常会控制它们的信道利用率不超过 50%, 如果超过就要准备扩容, 增

大线路带宽。

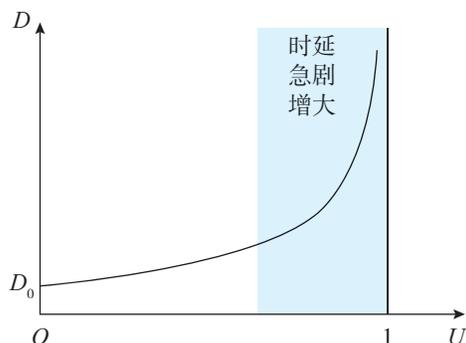


图 7-3 时延与利用率的关系

7.1.3

计算机网络体系结构与协议

1. 计算机网络体系结构的概念

计算机网络由多个互联的结点组成，结点之间需要不断地交换数据和控制信息。为了在结点之间有条不紊地交换数据，每个结点都必须遵守一些事先约定好的规则，这些规则精确地规定了交换数据的格式和时序。这些为网络数据交换而制定的规则、约定与标准就称为网络协议（protocol）。

网络协议的 3 个要素如下。

- (1) 语法，即用户的数据与控制信息的结构和格式。
- (2) 语义，即需要发送何种控制信息，以及完成的动作与所做的响应。
- (3) 时序，即事件实现顺序的详细说明。

网络协议对计算机网络来说不可缺少。一个功能完备的计算机网络需要制定一套复杂的协议集。对于复杂的计算机网络协议，最好的组织方式是层次结构模型。将网络层次结构模型和各层协议的集合定义为网络体系结构（network architecture）。网络体系结构是对计算机网络功能的精确定义，而这些功能使用怎样的硬件和软件来实现，则是具体的网络实现问题。

采用层次结构有以下优点。

- (1) 各层之间相互独立。各层并不需要知道底层如何实现，只需知道该层通过接口提供的服务。
- (2) 灵活性好。当任意一层发生变化时，只要该层的接口保持不变，则该层以上或以下各层均不受影响。当不需要某层提供的服务时，甚至可以取消该层。
- (3) 各层都可以采用最合适的技术来实现，各层实现技术的改变不影响其他层。
- (4) 易于实现和维护。整个系统被分解为若干个易于处理的部分，这使一个庞大而复杂的系统变得容易实现和维护。
- (5) 有利于促进标准化。这主要是由于各层的功能和所提供的服务都已有精确的说明。

世界上第一个网络体系结构由 IBM 公司在 1974 年提出，其被命名为系统网络体系结构（system network architecture, SNA）。此后，众多公司纷纷提出各自的网络体系结构。这些网络体系结构的共同之处在于它们都采用分层技术，但是层次划分、功能分配、采用的技术与术语均不同。随着信息技术的发展，各种计算机网络的互联成为人们迫切需要解决的课题。OSI 参考模型就是在这个背景下提出的。



2. OSI 参考模型

1984 年, ISO 发布了著名的 ISO/IEC 7498 标准, 又称为 X.200 建议。该体系结构定义了网络互联的七层框架, 即 OSI 参考模型。该框架中详细规定了每层的功能, 以实现开放系统环境中的互联性 (interconnection)、互操作性 (interoperation) 和应用的可移植性 (portability)。ISO 中的“开放”是指: 一个系统只要遵循 OSI 标准, 就可以和位于世界上任何地方、同样遵循该标准的其他系统进行通信。

在 OSI 标准的制定过程中, 采用的方法是将整个庞大而复杂的问题划分为若干个容易处理的小问题, 这就是分层的体系结构方法。根据分而治之的原则, ISO 将整个通信功能分为 7 个层次。

(1) 划分层次的基本原则。

- ①网络中的各个结点都具有相同的层次。
- ②不同结点的同等层都具有相同的功能。
- ③同一结点内部的相邻层之间通过接口进行通信。
- ④每层使用其下层提供的服务, 并向其上层提供服务。
- ⑤不同结点的同等层根据协议实现对等层之间的通信。

ISO 根据以上原则制定的 OSI 参考模型结构如图 7-4 所示。

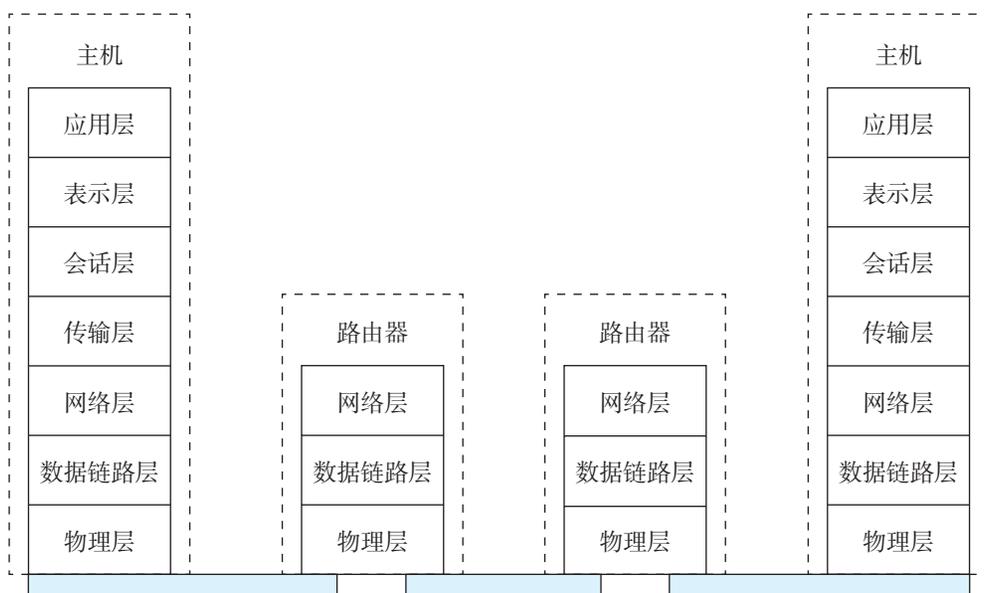


图 7-4 OSI 参考模型结构

(2) 各层的主要功能。

①物理层 (physical layer)。物理层位于 OSI 参考模型的最底层, 主要功能是利用物理传输介质, 为数据链路层提供物理连接, 以便透明地传输比特流。

②数据链路层 (data link layer)。数据链路层在物理层提供的比特流传输服务的基础上, 在通信实体之间建立数据链路连接, 在该链路上传输以帧作为单位的数据; 同时, 采用差错控制与流量控制的方法, 将有差错的物理线路变成无差错的数据链路。

③网络层 (network layer)。网络层通过路由选择算法为分组通过通信子网选择更适当的路径。网络层需要实现路由选择、拥塞控制与网络互联等功能。

④传输层 (transport layer)。传输层的主要任务是向用户提供可靠的端到端 (End-to-End) 服务,

以便透明地传输报文。传输层向高层屏蔽低层的数据通信细节，因此是网络体系结构中的关键层之一。

⑤会话层 (session layer)。会话层主要用于组织两个会话进程之间的通信，并且对数据交换进行管理。

⑥表示层 (presentation layer)。表示层处理不同通信系统中交换信息的表示方式，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)。应用层是 OSI 参考模型的最高层，提供应用进程所需的信息交换和远程操作，以及通过代理 (agent) 完成一些信息交换所需的功能。这些功能主要包括文件传送接入与管理 (file transfer access and management, FTAM)、虚拟终端 (virtual terminal, VT)、事务处理 (transaction processing, TP)、远程数据库访问 (remote database access, RDA)、制造报文规范 (manufacturing message specification, MMS)、目录服务 (directory service, DS) 等。

OSI 参考模型并没有提供一个可以实现的方法，其只是描述了一些概念，用来协调进程之间通信标准的制定。也就是说，OSI 参考模型并不是一个标准，只是一个在制定标准时使用的概念性框架。

虽然 OSI 在一开始是由 ISO 制定的，但后来的许多标准都是 ISO 与 CCITT 联合制定的。从历史上来看，CCITT 是从通信的角度考虑一些标准的制定，而 ISO 则关心信息的处理。随着科学技术的发展，通信与信息处理的界限变得比较模糊，于是通信与信息处理就都成为 CCITT 与 ISO 共同关心的领域。CCITT 的 X.200 建议就是关于 OSI 参考模型的，其和 ISO/IEC 7498 基本相同。

3. TCP/IP 参考模型

OSI 的 7 层协议体系结构概念清晰，理论也较完整，但其既复杂又不实用。TCP/IP 体系结构则简单实用，现在得到了非常广泛的应用，是公认的工业标准或“事实上的标准”。1974 年，罗伯特·卡恩 (Robert Kahn) 最早定义了 TCP/IP 参考模型；1985 年，戴维·莱纳 (David Leiner) 对 TCP/IP 参考模型展开进一步研究。

TCP/IP 参考模型是一个 4 层体系结构，包含应用层、传输层、网络层和数据链路层，如图 7-5 所示。

应用层
传输层
网络层
数据链路层

图 7-5 TCP/IP 参考模型

(1) 应用层。

应用层是体系结构中的最高层。应用层直接为用户的应用进程提供服务，这里的进程是指正在运行的程序。Internet 中的应用层协议很多，如支持万维网应用的 HTTP (hypertext transfer protocol, 超文本传送协议)、支持电子邮件的 SMTP (simple mail transfer protocol, 简单邮件传送协议)、支持文件传送的 FTP 等。

(2) 传输层。

传输层的任务是向两台主机进程之间的通信提供服务。由于一台主机可同时运行多个进程，因此传输层有复用和分用功能。其中，复用就是多个应用层进程可同时使用传输层的服务，分用则是传输层把收到的信息分别交付到应用层中的相应进程。传输层主要使用以下两种协议。

① TCP：面向连接的，数据传输的单位是报文段，能够提供可靠的交付。

②用户数据报协议 (user datagram protocol, UDP)：无连接的，数据传输的单位是用户数据报，不保证提供可靠的交付，只能提供“尽最大努力交付”(best-effort delivery)。

(3) 网络层。

网络层负责为分组交换网上的不同主机提供通信服务。在发送数据时，网络层把传输层产生的报文



段或用户数据报封装成分组进行传送。在 TCP/IP 体系中, 由于网络层使用 IP, 因此分组也叫作 IP 数据报, 或简称为数据报。网络层的另外一个任务就是使源主机传输层传下来的分组, 能够通过网络中的路由器找到合适的路由器, 最后到达目的主机。

(4) 数据链路层。

数据链路层负责发送和接收 IP 分组。TCP/IP 体系对数据链路层并没有规定具体的协议, 其采取开放的策略, 允许使用广域网、局域网与城域网的各种协议。任何一种流行的底层传输协议都可以与 TCP/IP 网络层接口互联。这正体现了 TCP/IP 体系的开放性、兼容性的特点, 也是 TCP/IP 协议成功应用的基础。

7.2 局域网基础与组网技术

7.2.1 局域网的基本概念

1. 局域网的特点

局域网是指分布在相对较小范围内的计算机网络。局域网既可以是一个房间内的两台计算机互联的小型简单网络, 也可以是分布在多栋建筑物之间的大型网络。接入局域网的数据通信设备种类繁多, 包括计算机、移动终端和各种外部设备。

早期, 人们将局域网归为一种数据通信网络。随着局域网体系结构和协议标准的研究、操作系统的发展与光纤技术的引入, 以及高速局域网技术的快速发展, 局域网的技术特征与性能参数发生了很大的变化, 局域网的定义、分类和应用领域也发生了很大的变化。

目前, 在传输速率为 10 Mb/s 的以太网与传输速率为 100 Mb/s 的快速以太网 (fast Ethernet, FE) 的基础上, 1 Gb/s 的千兆以太网 (gigabit Ethernet, GE) 已进入广泛使用阶段。另外, 传输速率为 10 Gb/s 的万兆以太网 (ten-gigabit Ethernet, 10GE) 也开始出现。由于 10GE 的物理层使用两种不同协议, 因此其既可以用于局域网, 又可以应用于城域网与广域网。

局域网在传输介质和介质访问控制方法上已经形成自己的特点。

(1) 传输介质。

局域网常用的传输介质包括同轴电缆、双绞线、光纤与无线通道。早期应用最多的是同轴电缆。随着局域网技术的快速发展, 双绞线与光纤的应用发展非常快, 尤其是双绞线, 其被广泛应用于局域网中, 目前已能达到 100 Mb/s 与 1 Gb/s 的数据传输速率。在局域范围的中、高速局域网中使用双绞线, 在远距离传输中使用光纤, 在有移动结点的局域网中采用无线技术的趋势已越来越明朗。

(2) 介质访问控制方法。

传统的局域网采用共享介质的工作方式。为了控制多个结点使用共享介质来发送数据, 经过多年的研究, 人们提出了多种介质访问控制方法, 也形成了相应类型的共享介质局域网。IEEE 802.2 标准定义的共享介质局域网有以下三类。

①带冲突检测的载波监听多路访问 (carrier sense multiple access with collision detection, CSMA/CD) 方法的总线局域网。

- ②令牌总线 (token bus) 方法的总线局域网。
- ③令牌环 (token ring) 方法的环形局域网。

2. 局域网的传输媒体

传输媒体也称为传输介质或传输媒介，其是数据传输系统中发送器和接收器之间的物理通路。传输媒体可分为两大类，即导向传输媒体和非导向传输媒体。在导向传输媒体中，电磁波沿着固体媒体（铜线或光纤）传播；而非导向传输媒体就是指自由空间，在非导向传输媒体中电磁波的传输常称为无线传输。

(1) 导向传输媒体。

①双绞线。

双绞线是最常用的传输媒体。把两个互相绝缘的铜导线并排放在一起，用规则的方法绞合起来，就构成了双绞线。绞合可减小对相邻导线的电磁干扰。使用双绞线最多的地方就是电话系统，绝大多数的电话机用双绞线连接到电话交换机，这段从用户电话机到交换机的双绞线称为用户线或用户环路 (subscriber loop)。通常将一定数量的这种双绞线捆成电缆，在其外面包上保护套。

模拟传输和数字传输都可以使用双绞线，其通信距离一般为几千米到十几千米。距离太长时就要加放大器，以便将衰减了的信号放大到合适的数值（对于模拟传输）；或者加中继器，以便将失真了的数字信号进行整形（对于数字传输）。导线越粗，其通信距离就越远，但导线的价格也越高。在数字传输时，若传输速率为每秒几兆比特，则传输距离可达几千米。由于双绞线的价格便宜且性能较好，因此其应用十分广泛。

为了提高双绞线抗电磁干扰的能力，可以在双绞线的外面再加上一层用金属丝编织成的屏蔽层，这就是屏蔽双绞线 (shielded twisted pair, STP)。屏蔽双绞线的价格比非屏蔽双绞线 (unshielded twisted pair, UTP) 要贵一些。图 7-6 是非屏蔽双绞线和屏蔽双绞线。

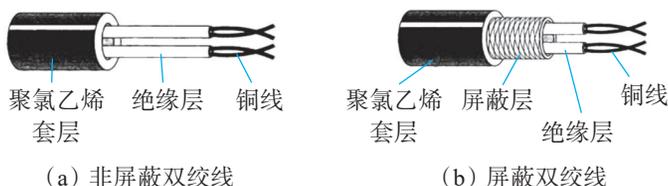


图 7-6 非屏蔽双绞线和屏蔽双绞线

②同轴电缆。

同轴电缆由内导体铜质芯线（单股实芯线或多股绞合线）、绝缘层、网状编织的外导体屏蔽层（也可以是单股的）及绝缘保护套层组成，如图 7-7 所示。由于外导体屏蔽层的作用，同轴电缆具有很好的抗干扰特性，被广泛用于较高速率的数据传输。

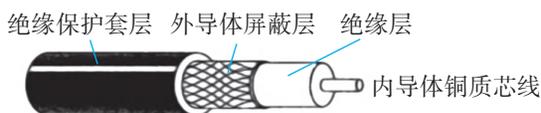


图 7-7 同轴电缆的结构

局域网发展初期曾广泛使用同轴电缆作为传输媒体，但随着技术的进步，局域网领域已基本上采用双绞线作为传输媒体。目前同轴电缆主要用在居民小区的有线电视网中。同轴电缆的带宽取决于电缆的



质量，目前高质量的同轴电缆的带宽已接近 1 GHz。

③光纤。

光纤通信就是利用光纤传递光脉冲来进行通信，有光脉冲相当于 1，没有光脉冲相当于 0。由于可见光的频率非常高，约为 10¹⁴ MHz 的量级，因此一个光纤通信系统的传输带宽远远大于目前各种传输媒体的带宽。

光纤是光纤通信的传输媒体。在发送端有光源，可以采用发光二极管或半导体激光器，它们在电脉冲的作用下能产生光脉冲；在接收端利用光电二极管做成光检测器，在检测到光脉冲时还原出电脉冲。

光纤是由纤芯和包层构成双层圆柱体。光纤的纤芯通常是由非常透明的石英玻璃拉成的细丝，纤芯很细，其直径只有 8 ~ 100 μm (1 μm = 10⁻⁶ m)。光波正是通过纤芯传导的。包层较纤芯有较低的折射率。当光线从高折射率的介质射向低折射率的介质时，其折射角将大于入射角 (图 7-8)。因此，如果入射角足够大，就会出现全反射，即光线碰到纤芯与包层的接触面时，全部被反射回纤芯。该过程不断重复，光也就沿着光纤传输下去。

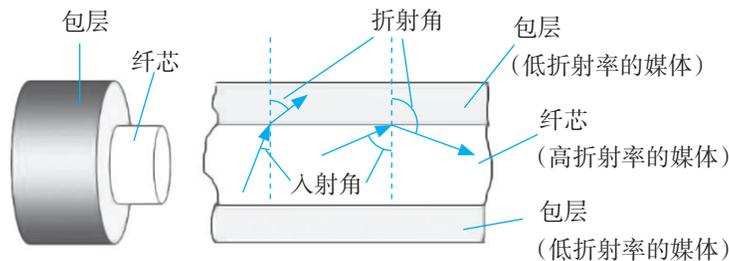


图 7-8 光线在光纤中的折射

因此，可以存在许多条不同角度入射的光线在一条光纤中传输，这种光纤就称为多模光纤，如图 7-9 (a) 所示。光脉冲在多模光纤中传输时会逐渐被展宽，造成失真，因此多模光纤只适合近距离传输。若光纤的直径减少到只有一个光的波长，光线可以一直向前传播，而不会产生多次反射，这样的光纤就称为单模光纤，如图 7-9 (b) 所示。单模光纤的纤芯很细，其直径只有几微米，制造成本较高。同时，单模光纤的光源要使用昂贵的半导体激光器，而不能使用较便宜的发光二极管。单模光纤的损耗较小，在 2.5 Gb/s 的高速率下可传输数十千米而不必采用中继器。

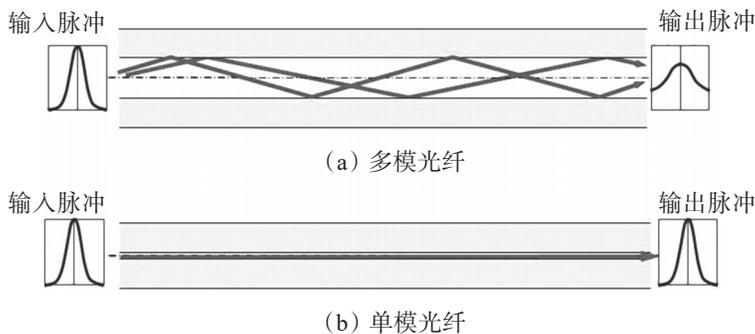


图 7-9 多模光纤和单模光纤的比较

(2) 非导向传输媒体。

前面介绍了 3 种导向传输媒体。若通信线路要通过一些高山或岛屿，有时采用导向传输媒体很难施

工。即使是在城市中，挖开马路敷设电缆也不是一件容易的事。当通信距离很远时，敷设电缆既昂贵又费时，而利用无线电波在自由空间的传播可以较快地实现多种通信。

短波通信（高频通信）主要是靠电离层的反射。但由于电离层不稳定所产生的衰落现象和电离层反射所产生的多径效应^①，短波信道的通信质量较差。因此，当必须使用短波无线电台传输数据时，一般都是低速传输，即传输速率为几十至几百比特每秒；只有在采用复杂的调制解调技术后，才能使数据的传输速率达到几千比特每秒。

无线电微波通信在数据通信中占有重要地位。微波的频率范围为 300 MHz ~ 300 GHz，但在数据通信中主要使用 2 ~ 40 GHz 频率范围的微波。微波在空间中主要是直线传播。微波会穿透电离层而进入宇宙空间，其不像短波那样可以经电离层反射到地面上。传统的微波通信主要有两种方式，即地面微波接力通信和卫星通信。

从 20 世纪 90 年代起，无线移动通信和 Internet 一样，得到了飞速的发展。与此同时，使用无线信道的计算机局域网也获得了越来越广泛的应用。我们知道，要使用某一段无线电频谱进行通信，通常必须得到本国政府有关无线电频谱管理机构的许可证。但是，也有一些无线电频段是可以自由使用的（前提是不干扰他人该频段中的通信），这正好满足计算机无线局域网的需求。图 7-10 给出了美国的 ISM（industrial、scientific and medical band，工业、科学和医疗频带），现在的无线局域网就使用其中的 2.4 GHz 和 5.8 GHz 频段。

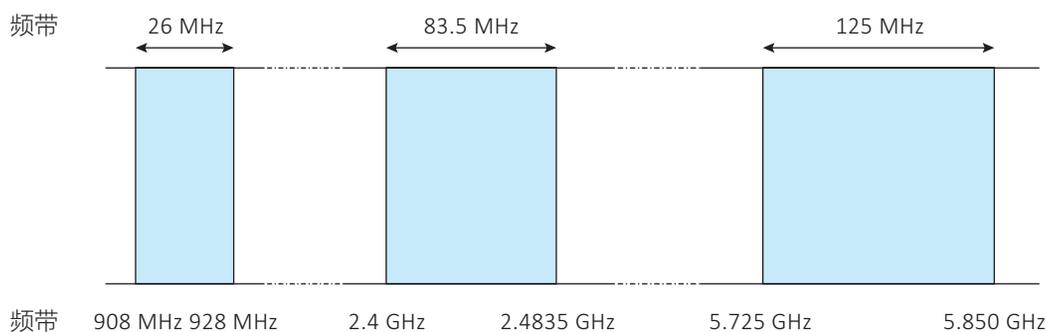


图 7-10 无线局域网使用的 ISM

红外通信、大气激光通信也使用非导向传输媒体，可用于近距离（如笔记本电脑之间）相互传输数据。

3. 局域网的服务和协议

(1) IEEE 802 参考模型。

1980 年 2 月，IEEE 成立局域网标准委员会（IEEE 802 委员会），专门从事局域网的标准化工作，并制定了 IEEE 802 参考模型。IEEE 802 参考模型的研究重点是解决局部范围内的计算机组网问题，研究者只需面对 OSI 参考模型中的数据链路层与物理层。网络层及以上层级不属于局域网协议的研究范围，这就是 IEEE 802 参考模型只制定对应 OSI 参考模型的数据链路层与物理层协议的原因。图 7-11 给出了 IEEE 802 参考模型与 OSI 参考模型的对应关系。

^① 多径效应是指同一个信号经过不同的反射路径到达同一个接收点，每个反射路径的衰减和时延都不相同，使得最后得到的合成信号失真严重。

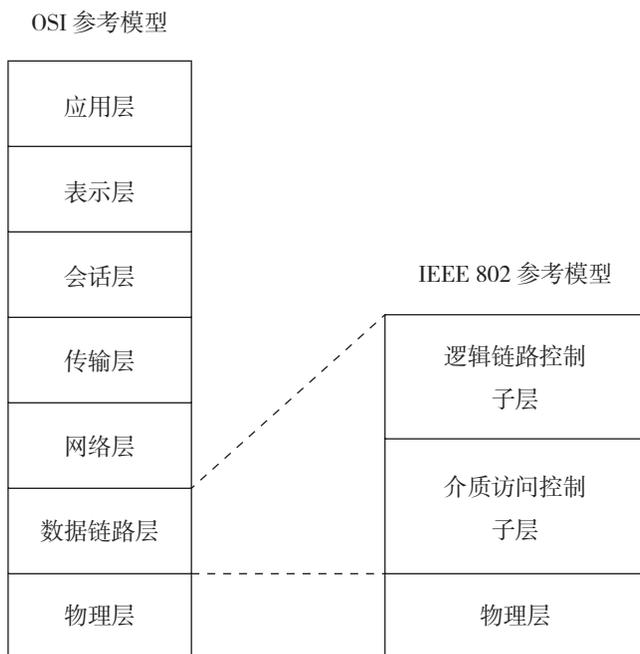


图 7-11 IEEE 802 参考模型与 OSI 参考模型的对应关系

1980 年，局域网领域有 3 种典型技术：以太网、令牌总线和令牌环。同时，市场上有很多不同厂家的局域网产品，它们的数据链路层与物理层协议都不同。面对这样一个复杂的局面，要想为多种局域网技术和产品制定一个共用的协议模型，设计者提出将数据链路层划分为两个子层：逻辑链路控制（logical link control, LLC）与介质访问控制（medium access control, MAC）子层。不同局域网在 MAC 子层和物理层可以采用不同协议，但是在 LLC 子层必须采用相同协议。这点与网络层的 IP 协议的设计思路相似。不管局域网的介质访问控制方法、帧结构和采用的物理传输介质有什么不同，LLC 子层统一将它们封装到固定结构的 LLC 帧中。LLC 子层与底层采用的传输介质、介质访问控制方法无关。

从目前局域网的实际应用情况看，绝大多数局域网环境采用以太网协议，因此局域网中是否使用 LLC 子层已经不重要，很多硬件和软件厂商已经不使用 LLC 协议，而是直接将数据封装在以太网的 MAC 帧中。网络层的 IP 协议直接将分组封装到 Ethernet 帧中，整个协议的处理过程也变得更简洁，因此人们已经很少讨论 LLC 协议。目前，多数教科书与文献已不再讨论 LLC 协议，软件编程中也不需要考虑 LLC 协议的实际问题。

(2) IEEE 802 标准。

IEEE 802 委员会为制定局域网标准而成立了一系列组织，如制定某类协议的工作组（working group, WG）或技术行动组（technical assessment group, TAG），它们制定的标准统称为 IEEE 802 标准，这些标准可分为 3 类。

- ①定义局域网体系结构、网络互联、网络管理与性能测试的 IEEE 802.1 标准。
- ②定义 LLC 子层功能与服务的 IEEE 802.2 标准。
- ③定义不同介质访问控制技术的相关标准。此类标准曾经多达 16 个，但随着局域网技术的发展，应用广泛和仍在发展的标准主要有 4 个。
 - a. IEEE 802.3 标准：定义 CSMA/CD 总线 MAC 子层与物理层的标准。
 - b. IEEE 802.11 标准：定义无线局域网 MAC 子层与物理层的标准。

c. IEEE 802.15 标准：定义近距离个人无线网络 MAC 子层与物理层的标准。

d. IEEE 802.16 标准：定义宽带无线局域网 MAC 子层与物理层的标准。

总结局域网技术应用的实际情况，可以看出以下几个重要的发展趋势。

①以太网已经占据绝对优势，成为办公自动化环境中组建局域网的首选技术。

②在大型局域网系统中，桌面系统采用 10 Mb/s 的以太网或 100 Mb/s 的快速以太网技术，主干网采用 1 Gb/s 的 GE 技术，核心交换网采用 10 Gb/s 的 10 GE 技术。

③ 10 Mb/s 的以太网或 100 Mb/s 的快速以太网在物理层有多种标准，目前主要是使用非屏蔽双绞线的 10 Base-T 与 100 Base-T 标准。

④ GE 与 10 GE 技术已经发展成熟，并从局域网应用逐步扩大到城域网和广域网中。

⑤无线局域网技术将成为下个阶段的研究与应用重点。

7.2.2

共享式以太网

1. 以太网核心技术概述

以太网的核心技术是随机争用型介质访问控制方法，即 CSMA/CD 方法。以太网起源于一种无线分组交换网（ALOHA net），并在此基础上进行了改进，具有更高的介质利用率。

CSMA/CD 是 IEEE 802.3 使用的一种媒体访问控制方法，从逻辑上可以划分为两大部分：数据链路层的 MAC 子层和物理层。CSMA/CD 对应 OSI 参考模型的最低两层。LLC 子层和 MAC 子层在一起完成 OSI 参考模型的数据链路层功能。

CSMA/CD 的基本原理如下：每个结点都共享网络传输信道，在每个结点要发送数据之前，都会检测信道是否空闲，如果空闲则发送，否则就等待；在发送出信息后，对冲突进行检测，当发现冲突时，则取消发送。

CSMA/CD 控制方式的优点是原理比较简单，技术上易实现，网络中各工作站处于平等地位，不需集中控制，不提供优先级控制；但在网络负载增大时，发送时间会增长，发送效率会急剧下降。



Ethernet 技术的发展

2. 以太网的工作流程

可以将 CSMA/CD 的工作过程形象地比喻成很多人在一间黑屋子中举行讨论会。参加会议的人只能听到其他人的声音，每个人在说话前必须先聆听，只有等会场安静下来后，才能够发言。在发言前聆听以确定是否已有人在发言称为“载波侦听”；在会场安静的情况下，每人都有平等的机会讲话称为“多路访问”；如果有两人或两人以上同时说话，大家就无法听清其中任何一人的发言，这种情况称为“冲突”；发言人在发言过程中要及时发现是否发生冲突，这个动作称为“冲突检测”。如果发言人发现冲突已经发生，这时需要停止讲话，然后随机后退或延迟，再次重复上述过程，直至讲话成功；如果失败的次数太多，发言人也许就放弃了这次发言。

图 7-12 给出了 CSMA/CD 的工作过程。在以太网中，如果一个结点（如结点 A）要发送数据，其以广播方式通过总线发送一个数据，连接在总线上的所有结点都能收听到该数据。由于所有结点都可以利用总线发送数据，并且在网络中没有一个控制中心，因此冲突的发生将不可避免。

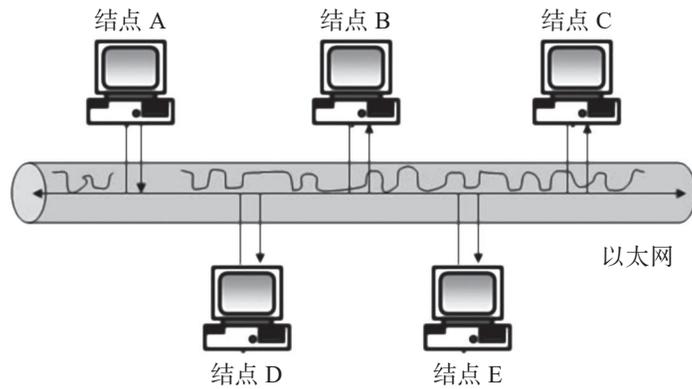


图 7-12 CSMA/CD 的工作过程

为了有效实现多个结点访问公共传输介质的控制策略，CSMA/CD 的发送流程可以简单概括为 4 点：先听后发、边听边发、冲突停止、延迟重发。图 7-13 (a) 和 (b) 分别给出了以太网结点的数据发送流程和数据接收流程。

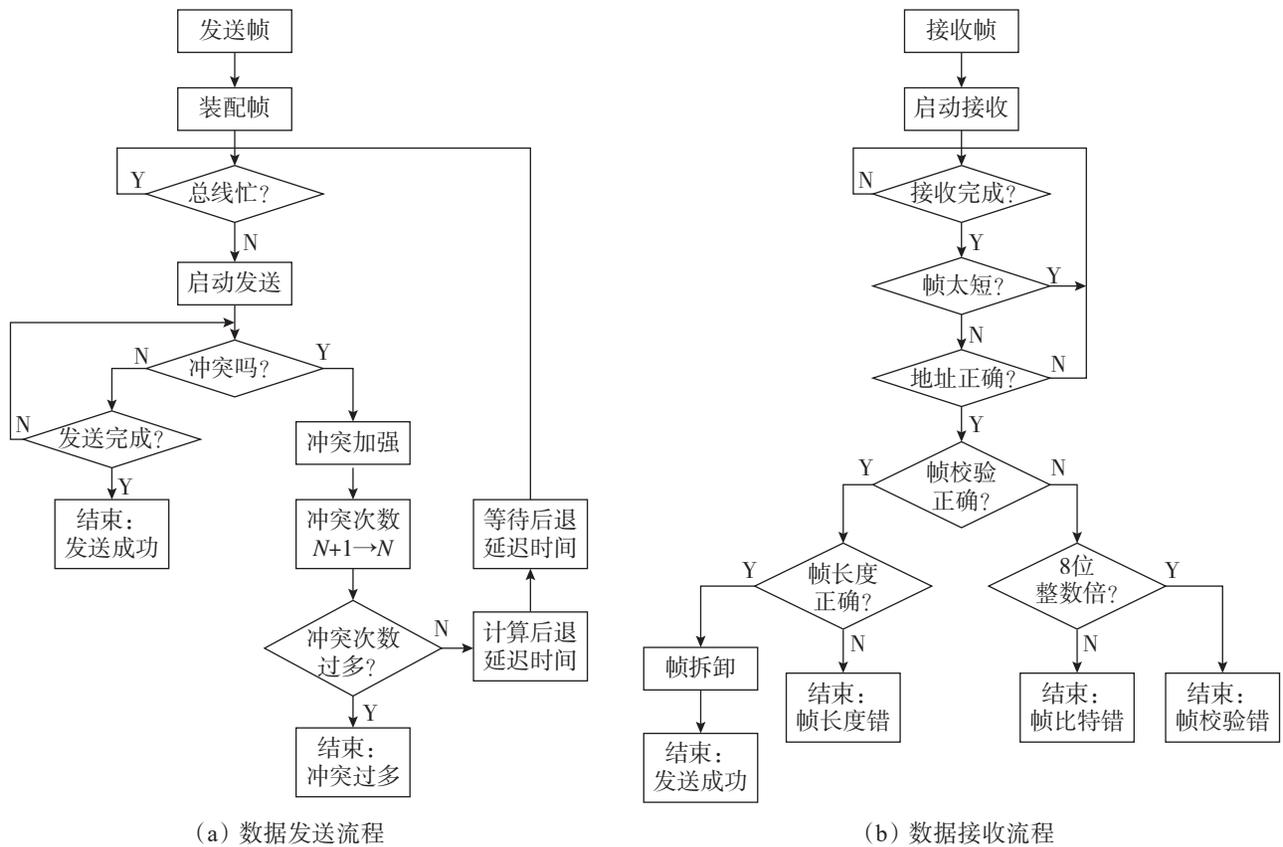


图 7-13 以太网结点的数据发送流程和数据接收流程

3. 以太网的实现方法

从以太网的发送、接收流程与对帧结构的讨论中可以看出，CSMA/CD 方法可以有效实现多结点对共享传输介质的访问控制。很多计算机与 VLSI (very large scale integrated circuit, 超大规模集成电路) 生产厂商支持在 CSMA/CD 方法的基础上形成的 IEEE 802.3 标准，这使得以太网更有生命力与竞争力。

图 7-14 给出了典型的以太网实现方法。从功能的角度来看，以太网连接的设备包括：发送和接收信号的收发器、曼彻斯特编码译码器、以太网数据链路控制、帧装配及与主机的接口；从层次的角度看，这些功能覆盖 IEEE 802.3 协议的 MAC 子层与物理层。

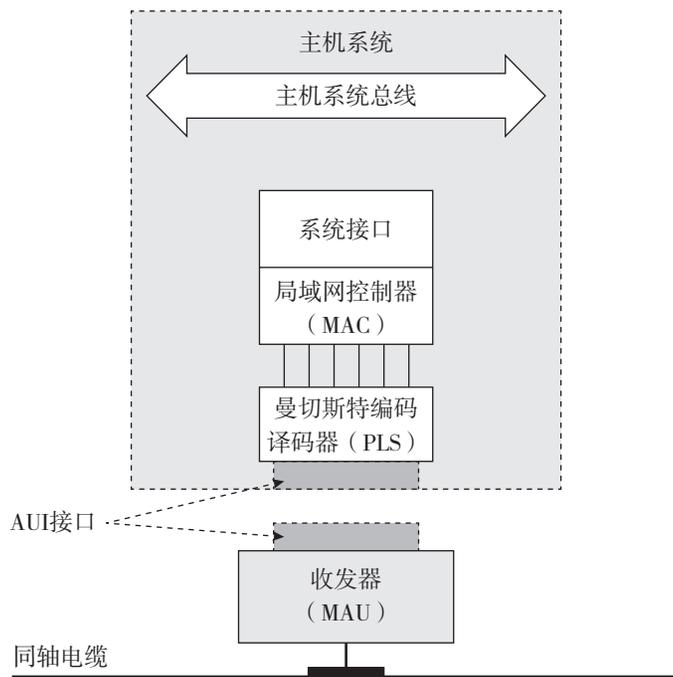


图 7-14 Ethernet 实现方法

以太网收发器实现结点与同轴电缆的电信号连接，完成数据的发送与接收及冲突检测功能。收发器电缆完成收发器与网卡的信号连接。同时，收发器又可以方便地起到结点故障隔离的作用，即如果结点出现故障，收发器可以将结点与总线隔离。

7.2.3

高速局域网

1. 高速局域网概述

推动局域网发展的直接因素是 PC 的广泛应用。在过去 20 年中，计算机的处理速度提高了百万倍，网络的数据传输速率只提高了上千倍。从理论上来说，一台微型机能产生 250 Mb/s 的流量，如果以太网仍保持 10 Mb/s 的传输速率，显然是不能适应的。

传统局域网技术建立在共享介质的基础上，所有结点共享一条公共的传输介质，典型的介质访问控制方法是 CSMA/CD，保证每个结点都能公平地使用传输介质。在网络技术的讨论中，人们经常将数据传输速率称为带宽。例如，以太网的数据传输速率为 10 Mb/s，则其带宽是 10 Mb/s。可以粗略地进行一个估算和分析，如果局域网中有 N 个结点，则每个结点平均分配的带宽为 $10/N$ Mb/s。显然，随着局域网规模的不断扩大，结点数 N 的不断增加，每个结点平均分配的带宽将越来越小。因此，随着网络结点数量的增加，冲突和重发现象将大量产生，网络效率将会急剧下降，网络传播延迟将会增长，网络服务质量将会随之下降。

为了克服网络规模与性能之间的矛盾，人们提出了以下几种解决方案。



(1) 将以太网的传输速率从 10 Mb/s 提高到 100 Mb/s, 甚至 1 Gb/s、10 Gb/s, 这就促进了高速局域网技术的研究。在该方案中, 无论局域网的传播速率提高到多少, 以太网帧结构是不变的。这种解决方案的优点主要表现在: 保护用户在设备等方面的已有投资, 已有软件不需要重新编写就能使用, 在网络系统升级后不需要对用户进行更多培训。如图 7-15 所示为高速以太网技术的发展过程。

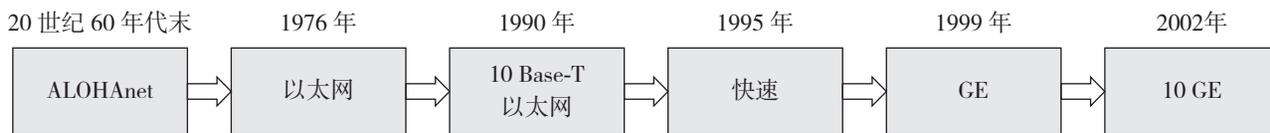


图 7-15 高速以太网技术的发展过程

(2) 将大型局域网划分成多个用网桥或路由器互联的子网, 这就促进了局域网互联技术的发展。每个子网作为一个独立的小型局域网, 可以隔离子网之间的交通量, 并提高网络的安全性。通过减少每个子网内部结点的数量, 使每个子网的网络性能得到改善。

(3) 将共享介质方式改为交换方式, 这就促进了交换式局域网技术的发展。交换式局域网的核心设备是局域网交换机, 其可以在多个端口之间建立多个并发连接。在交换方式出现后, 局域网开始被分为两种类型: 共享式局域网 (shared LAN) 和交换式局域网 (switched LAN)。图 7-16 给出了共享式局域网与交换式局域网的区别。

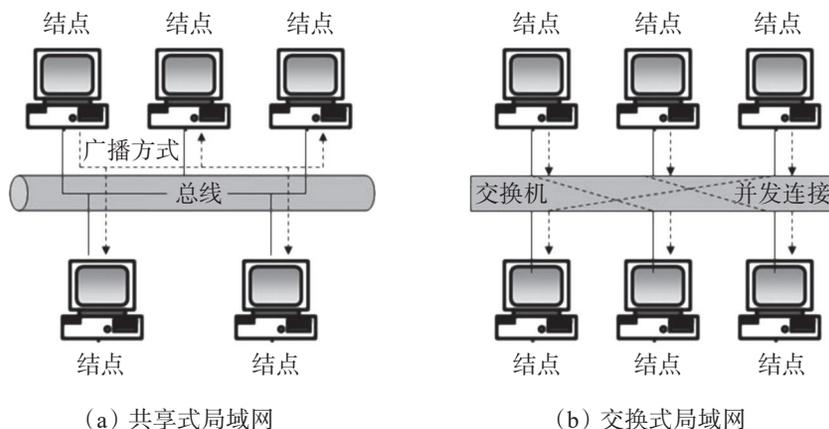


图 7-16 共享式局域网与交换式局域网的区别

2. 快速以太网

100 BASE-T 是在双绞线上传送 100 Mb/s 基带信号的星形拓扑以太网, 仍使用 IEEE 802.3 的 CSMA/CD 协议, 它又称为快速以太网。用户只要更换一个适配器, 再配上一个 100 Mb/s 的集线器, 就可以方便地由 10 BASE-T 以太网直接升级到 100 Mb/s 的以太网, 而不必改变网络的拓扑结构。所有在 10 BASE-T 上的应用软件和网络软件都可保持不变, 100 BASE-T 的适配器有很强的自适应性, 能够自动识别 10 Mb/s 和 100 Mb/s 的以太网。

1995 年, 100 BASE-T 的快速以太网就已成为正式标准, 并得到了所有主流网络厂商的支持。

100 BASE-T 可使用交换式集线器, 可提供很好的服务质量, 可在全双工方式下工作而无冲突发生。CAMA/CD 协议对全双工方式工作的快速以太网不起作用, 但快速以太网在半双工方式工作时则一定要使用 CSMA/CD 协议。由于快速以太网使用的 MAC 帧格式仍然是 IEEE 802.3 标准规定的帧格式,

因此即使不使用 CSMA/CD 协议，其仍被叫作以太网。

100 Mb/s 以太网的新标准还规定了以下 3 种不同的物理层标准。

(1) 100 BASE-TX：使用两对非屏蔽双绞线五类线或屏蔽双绞线，其中一对用于发送，另一对用于接收。

(2) 100 BASE-FX：使用两根光纤，其中一根用于发送，另一根用于接收。

(3) 100 BASE-T4：使用 4 对非屏蔽双绞线三类线或五类线，这是为已使用非屏蔽双绞线三类线的大量用户而设计的。100 BASE-T4 使用 3 对线同时传输数据（每一对线以 33.3 Mb/s 的速率传输数据），用 1 对线作为碰撞检测的接收信道。

提示

在标准中将上述 100 BASE-TX 和 100 BASE-FX 合在一起称为 100 BASE-X。

3. 吉比特以太网

1996 年夏季，吉比特以太网（又称为千兆以太网）产品问世。

吉比特以太网有以下特点。

- (1) 允许在 1 Gb/s 的传输速率下以全双工和半双工两种方式工作。
- (2) 使用 IEEE 802.3 协议规定的帧格式。
- (3) 在半双工方式下使用 CSMA/CD 协议（全双工方式下不需要使用 CSMA/CD 协议）。
- (4) 与 10 BASE-T 和 100 BASE-T 技术兼容。

吉比特以太网既可作为现有网络的主干网，也可在高带宽的应用场合中（如医疗图像、CAD 的图形等）用来连接工作站和服务器的。

吉比特以太网的物理层共有两个标准，分别为 1 000 BASE-X（802.3z 标准，可使用光纤和铜线传输）和 1 000 BASE-T（802.3ab 标准，使用铜线传输）。

吉比特以太网交换机可以直接与多个图形工作站相连，也可用百兆以太网的主干网，与百兆比特或吉比特集线器相连，再和大型服务器连接在一起。图 7-17 是吉比特以太网的配置举例。

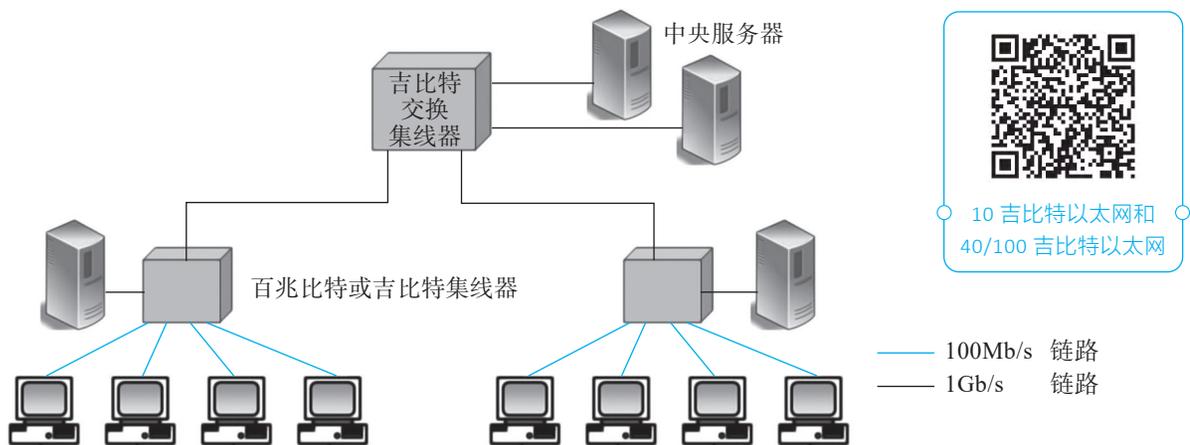


图 7-17 吉比特以太网的配置举例



7.2.4 交换式局域网与虚拟局域网

1. 交换式局域网

交换式局域网的核心设备是局域网交换机，其可以在多个端口之间建立多个并发连接。为了保护用户在网络设备上已有的投资，交换机通常是针对某个局域网（如以太网）设计的。典型的交换式局域网是交换式以太网，其核心设备是以太网交换机（Ethernet switch）。

以太网交换机可以有多个端口，每个端口既可以与一个结点连接，也可以与一个共享介质的集线器连接。如果一个端口只连接一个结点，则该结点独占 10 Mb/s 的带宽，这类端口通常称为“专用 10 Mb/s 的端口”；如果一个端口连接一个 10 Mb/s 以太网，则该端口被以太网中的多个结点共享，这类端口通常称为“共享 10 Mb/s 的端口”。如图 7-18 所示为典型的交换式以太网的结构。

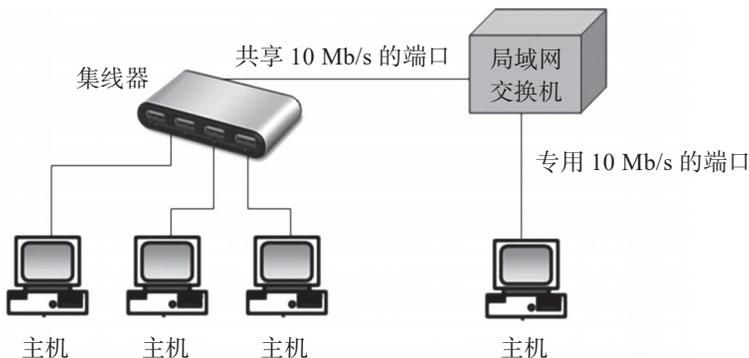


图 7-18 交换式以太网的结构

对于传统的共享介质以太网，当连接在集线器的一个结点发送数据时，其通过广播方式将数据发送到集线器的每个端口。传统以太网在所有时间内只允许一个结点占用总线。交换式局域网从根本上改变了共享介质工作方式，可以通过交换机支持端口结点之间的多个并发连接，实现多结点之间数据的并发传输。因此，交换式局域网可以增加网络带宽，改善局域网的性能与服务质量。

局域网交换机主要有以下几个技术特点。

(1) 低交换延迟。从传输延迟时间的量级来看，如果交换机为几十微秒，则网桥为几百微秒，路由器为几千微秒。

(2) 支持不同的传输速率和工作模式。交换机的端口可以支持不同的传输速率，如 10 Mb/s、100 Mb/s 与 1 Gb/s。交换机的端口也可以支持两种工作模式：半双工模式与全双工模式。对于 100 Mb/s 的端口，半双工端口带宽为 100 Mb/s，全双工端口带宽为 200 Mb/s。交换机可以完成不同端口速率之间的转换。

(3) 支持虚拟局域网（virtual LAN, VLAN）服务。交换式局域网是虚拟局域网的基础，当前的交换机大都支持虚拟局域网。

2. 虚拟局域网

虚拟局域网的概念是从传统局域网发展而来的。虚拟局域网在功能、操作上与传统局域网基本相同，其主要区别在于“虚拟”二字上。虚拟局域网的组网方法与传统局域网不同，虚拟局域网建立在局域网交换机的基础上，以软件方式实现逻辑工作组的划分与管理，工作组中的结点不受物理位置的限

制。同一工作组的成员不一定连接在同一物理网段中，它们可以连接在同一交换机中，也可以连接在不同的交换机中，只要这些交换机是互连的即可。当一个结点转移到另一个工作组时，只需要简单地通过软件设定，而不需要改变其在网络中的物理位置。因此，虚拟局域网其实只是局域网给用户提供服务，并不是一种新型局域网。图 7-19 给出了使用 4 个交换机的网络拓扑结构，设有 10 个工作站分配在 3 个楼层中，构成了 3 个局域网，即 LAN₁ (A₁, A₂, B₁, C₁)、LAN₂ (A₃, B₂, C₂)、LAN₃ (A₄, B₃, C₃)。但这 10 个用户划分为 3 个工作组，也就是说划分为 3 个虚拟局域网，即 VLAN₁ (A₁, A₂, A₃, A₄)、VLAN₂ (B₁, B₂, B₃)、VLAN₃ (C₁, C₂, C₃)。从图 7-19 中可以看出，每个虚拟局域网的工作站既可处在不同的局域网中，也可以在不同的楼层中。

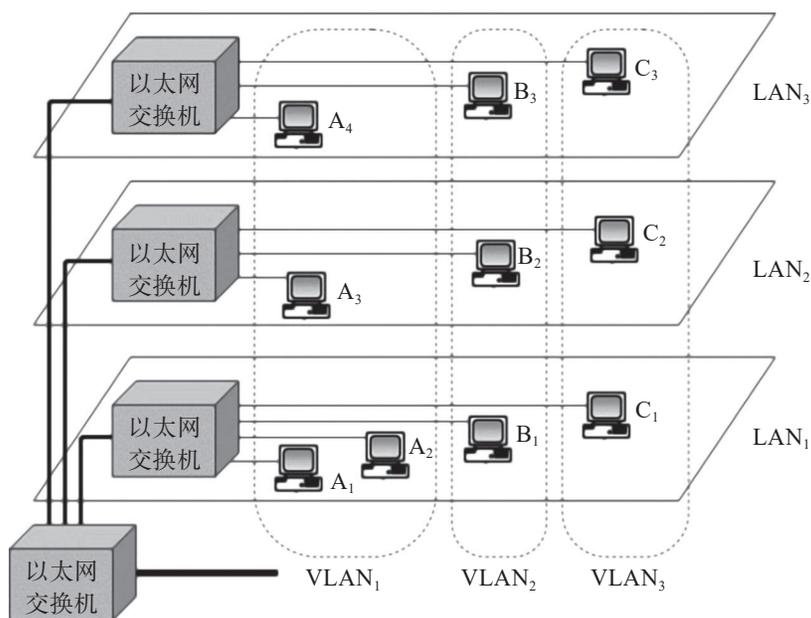


图 7-19 3 个虚拟局域网 VLAN₁、VLAN₂ 和 VLAN₃ 的构成

利用以太网交换机可以很方便地将这 10 个工作站划分为 3 个虚拟局域网：VLAN₁、VLAN₂ 和 VLAN₃。在虚拟局域网上的每一个工作站都可以听到同一个虚拟局域网上的其他成员发出的广播。例如，工作站 B₁ ~ B₃ 同属于 VLAN₂。当 B₁ 向工作组内成员发送数据时，工作站 B₂ 和 B₃ 会收到广播信息，虽然他们没有和 B₁ 连在同一个以太网交换机上；相反，B₁ 向工作组内成员发送数据时，工作站 A₁、A₂ 和 C₁ 都不会收到 B₁ 发出的广播信息，虽然它们都与 B₁ 连接在同一个以太网交换机上。

虚拟局域网的优点表现在以下几个方面。

(1) 方便网络用户管理，减少网络管理开销。在实际的局域网使用过程中，由于机构的变化而调整用户组是常有的事。如果调整用户组涉及结点位置变化，造成重新布线，这是管理者最头痛的事。虚拟局域网可以使用软件，根据需要动态建立用户组，这样可以方便网络管理，减少网络管理开销。

(2) 提供更高的安全性。不同网络用户对数据与信息资源有不同的要求和权限。在一个企业中，财务、人事、采购等部门有不同的需求，如财务部门的数据不允许其他部门查看。虚拟局域网可将不同部门的用户划分到不同的逻辑用户组，同组用户之间的数据可以只在虚拟局域网中传输。

(3) 改善网络服务质量。传统局域网的广播风暴对网络性能与服务质量影响很大。基于交换技术的虚拟局域网可以隔离不同的用户组，将同类用户的通信控制在一个虚拟局域网内部，相对减少潜在的广播风暴的危害，有利于改善网络服务质量。



7.2.5

无线局域网

无线局域网 (wireless local area network, WLAN) 提供了移动接入功能, 这就给许多需要发送数据但又不能坐在办公室里的工作人员提供了方便。当一个工厂跨越的面积很大时, 若要将各个部分都用电缆连接成网, 其费用可能很高; 但若使用无线局域网, 不仅节省了投资, 而且建网速度也会较快。另外, 当大量持有便携式计算机的用户都在同一个地方同时要求上网时 (如在图书馆中或在证券公司的大厅里), 若用电缆连网, 那么布线就是一个很大的问题, 这时采用无线局域网则比较容易。

无线局域网可分为两大类, 第一类是有固定基础设施的, 第二类是无固定基础设施的。固定基础设施是指预先建立起来的、能够覆盖一定地理范围的一批固定基站。人们经常使用的蜂窝移动电话就是利用电信公司预先建立的、覆盖全国的大量固定基站来接通用户手机拨打的电话的。

1. IEEE 802.11 标准

对于有固定基础设施的无线局域网, 1997 年 IEEE 制定了无线局域网的协议标准 802.11 系列。2003 年 5 月, 我国颁布了无线局域网的国家标准, 该标准采用 ISO/IEC 8802-11 系列国际标准, 并针对无线局域网的安全问题, 把国家对密码算法和无线电频率的要求纳入了进来。该国家标准在 2004 年 6 月已经正式执行, 不符合此标准的 WLAN 产品将不允许出现在国内市场上。

简单地说, IEEE 802.11 无线以太网标准使用星形拓扑, 其中心叫作 AP, MAC 曾使用 CSMA/CA 协议。凡使用 IEEE 802.11 系列协议的局域网又称为 Wi-Fi^①。因此, 在许多文献中, Wi-Fi 几乎成了无线局域网的同义词。

IEEE 802.11 标准规定无线局域网的最小构件是基本服务集 (basic service set, BSS)。一个 BSS 包括一个基站和若干个移动站, 所有的站在本 BSS 以内都可以直接通信, 但在和本 BSS 以外的站通信时都必须通过本 BSS 的基站。在 IEEE 802.11 的术语中, AP 就是 BSS 内的基站。当网络管理员安装 AP 时, 必须为该 AP 分配一个不超过 32 字节的服务集标识符 (service set identifier, SSID) 和一个信道。一个 BSS 所覆盖的地理范围叫作一个基本服务区 (basic service area, BSA), BSA 和无线移动通信的蜂窝小区相似。无线局域网的 BSA 的直径范围一般不超过 100 米。

一个 BSS 可以是孤立的, 也可先通过 AP 连接到一个分布式系统 (distributed system, DS), 再连接到另一个 BSS, 这样就构成了一个扩展服务集 (extended service set, ESS)。分布式系统的作用是使 ESS 对上层的表现就像一个 BSS 一样。分布式系统可以使用以太网 (这是最常用的)、点对点链路或其他无线网络。ESS 还可为无线用户提供 IEEE 802.x 局域网 (非 IEEE 802.11 无线局域网) 的接入, 这种接入是通过门户 (portal) 实现的。Portal 是 IEEE 802.11 标准定义的新名词, 其作用就相当于一个网桥。在一个 ESS 内的几个不同的 BSS 也可能有相交的部分。在图 7-20 中, 移动站 A 如果要和另一个 BSS 中的移动站 B 通信, 就必须经过 AP₁ 和 AP₂, 即 A → AP₁ → AP₂ → B。应当注意到, 从 AP₁ 到 AP₂ 的通信是使用有线传输的。

^① Wi-Fi 是非营利性国际组织 Wi-Fi 联盟 (Wi-Fi Alliance) 的一个标记。Wi-Fi 联盟对通过其互操作性测试的产品颁发“Wi-Fi 认证”注册商标。Wi-Fi 可用作名词或形容词, 写法也不统一, 如 WiFi、Wifi、Wi-fi 等都能在文献中见到。

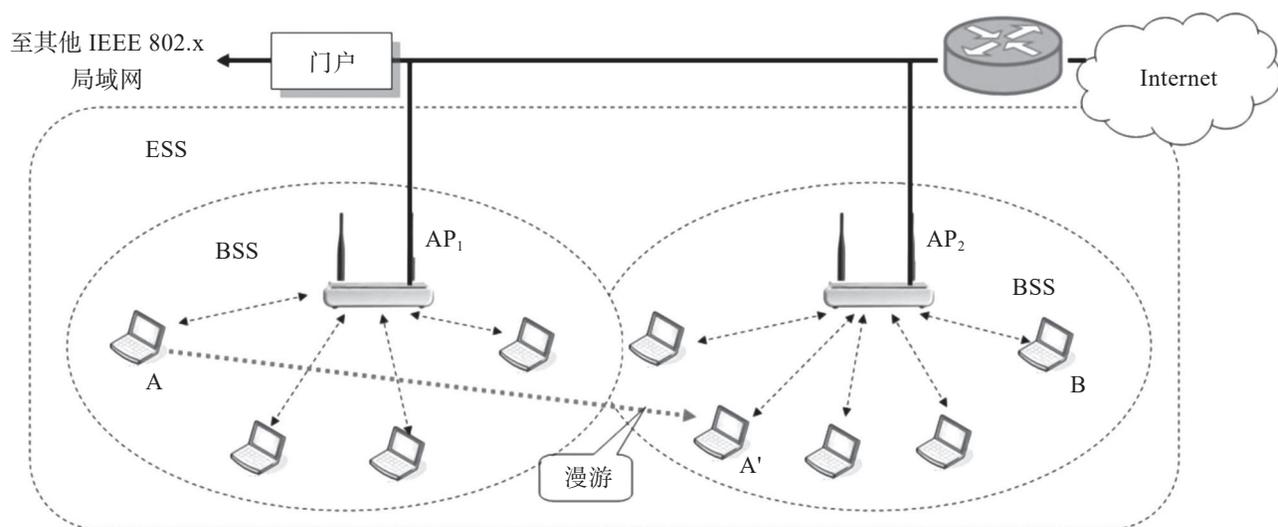


图 7-20 IEEE 802.11 无线局域网的 BSS 和 ESS

从图 7-20 中还可以看出，移动站 A 从一个 BSS 漫游到另一个 BSS (A')，但仍然可保持与另一个移动站 B 的通信，但 A 在不同的 BSS 所使用的 AP 改变。BSS 的服务范围是由移动站所发射的电磁波的辐射范围确定的，在图 7-20 中用一个椭圆表示 BSS 的服务范围，当然实际上的服务范围可能是很不规则的几何形状。

IEEE 802.11 标准并没有定义如何实现漫游，但定义了一些基本的工具。例如，一个移动站若要加入一个 BSS 中，就必须先选择一个 AP，并与此接入点建立关联 (association)。建立关联就表示该移动站加入了选定的 AP 所属的子网，并和该 AP 之间创建了一个虚拟线路。只有关联的 AP 才能向该移动站发送数据帧，而该移动站也只有通过关联的 AP 才能向其他站点发送数据帧。这和手机开机后必须和某个基站建立关联的概念是相似的。

此后，该移动站就和选定的 AP 使用 IEEE 802.11 关联协议进行对话。移动站还要向该 AP 鉴别自身。在关联阶段过后，移动站要通过关联的 AP 向该子网发送 DHCP (dynamic host configuration protocol, 动态主机配置协议) 发现报文，以获取 IP 地址。这时，Internet 中的其他部分就把该移动站当作该 AP 子网中的一台主机。

若移动站使用重建关联 (reassociation) 服务，就可把这种关联转移到另一个 AP。当使用分离 (dissociation) 服务时，就可终止这种关联。

移动站与 AP 建立关联的方法有两种：一种是被动扫描，即移动站等待和接收 AP 周期性发出的 (如每秒 10 次或 100 次) 信标帧 (beacon frame)，信标帧中包含若干系统参数 (如服务集标识符和支持的速率等)；另一种是主动扫描，即移动站主动发出探测请求帧 (probe request frame)，等待从 AP 发回的探测响应帧 (probe response frame)。

现在许多地方，如办公室、机场、快餐店、旅馆、购物中心等都能够向公众提供有偿或无偿接入 Wi-Fi 的服务，这样的地点就叫作热点 (hot spot)，即公众无线入网点。由许多热点和 AP 连接起来的区域叫作热区 (hot zone)。由于无线信道的使用日益增多，因此现在也出现了无线 Internet 服务提供者 (wireless internet service provider, WISP) 这一名词。用户可以通过无线信道接入 WISP，再经过无线信道接入 Internet。



2. 移动自组织网络

移动自组织网络 (mobile ad-hoc network, MANET)^① 是一种由移动设备通过无线链路连接的自我配置的网状网络, 简称“自组织网络”。自组织网络没有 BSS 中的 AP, 而是由一些处于平等状态的移动站之间相互通信组成的临时网络, 如图 7-21 所示。图 7-21 中当移动站 A 和 E 通信时, 经过 A → B、B → C、C → D 和 D → E 这样一连串的存储转发过程。因此, 在从源结点 A 到目的结点 E 的路径中的移动站 B、C 和 D 都是转发结点, 这些结点都具有路由器的功能。由于自组织网络没有预先建好的网络固定基础设施 (基站), 因此自组织网络的服务范围通常是受限的, 而且自组织网络一般也不和外界的其他网络相连接。移动自组织网络也就是移动分组无线网络。

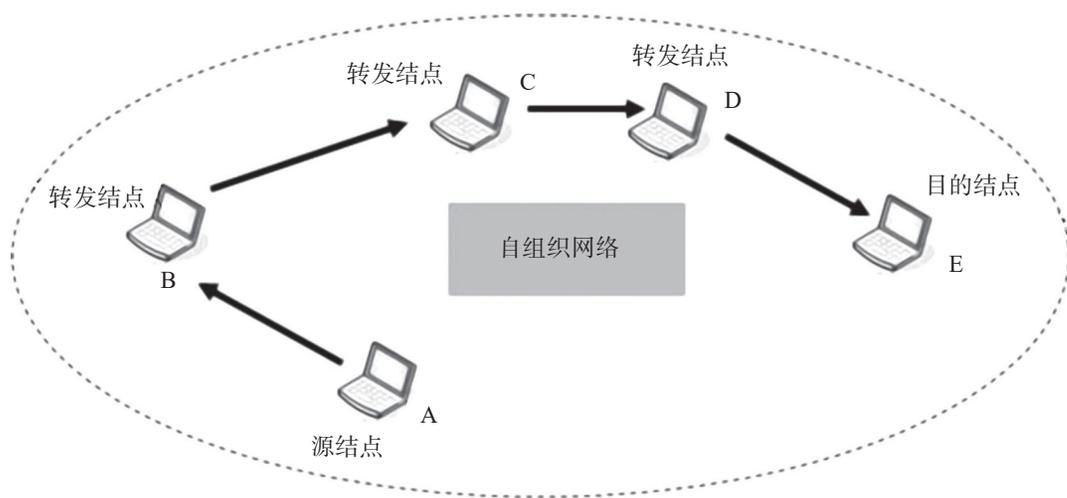


图 7-21 由处于平等状态的一些移动站构成的自组织网络

自组织网络通常是这样构成的: 一些可移动的设备发现在它们附近还有其他的可移动设备, 并且要求和其他移动设备进行通信。随着便携式计算机的大量普及, 自组织网络的组网方式已受到人们的广泛关注。由于在自组织网络中的每一个移动站都要参与网络中的其他移动站的路由的发现和维持, 同时由移动站构成的网络拓扑有可能随时间变化得很快, 因此在固定网络中行之有效的一些路由选择协议对移动自组织网络已不适用。这样, 在自组织网络中, 路由选择协议就引起了人们特别的关注。另一个重要问题是多播, 即在移动自组织网络中往往需要将某个重要信息同时向多个移动站传送。这种多播比固定结点网络的多播要复杂得多, 需要实时性好且效率又高的多播协议。

移动自组织网络在军用和民用领域都有很好的应用前景。在军用领域, 由于战场上往往没有预先建好的固定 AP, 因此移动站就可以利用临时建立的移动自组织网络进行通信。这种组网方式也能够应用到作战的地面车辆群和坦克群、海上的舰艇群和空中的机群中。由于每一个移动设备都具有路由器转发分组功能, 因此分布式的移动自组织网络的生存性非常好。在民用领域, 持有笔记本电脑的人可以利用这种移动自组织网络方便地交换信息, 而不受便携式计算机附近没有电话线插头的限制。当出现自然灾害后, 在抢险救灾时利用移动自组织网络进行及时通信往往也是很有有效的, 因为这时事先已建好的固定网络基础设施可能已经被破坏。

^① 拉丁语 ad hoc 本来的意思是“仅为此目的”(for this purpose only), 并且通常还有“临时的”这个含义, 译成中文就是“特定的”。直译 ad-hoc network 就是“特定网络”。但由于这种网络的组成并不需要使用固定的基础设施, 因此可将其意译为“自组织网络”, 表明仅依靠移动站自身而不需要固定基站就能组成网络。

3. 无线局域网组网设置

组建局域网时，需要设置每台计算机的 IP 地址和无线路由器。下面介绍如何在 Windows 10 环境中进行 IP 地址及无线路由器的设置（与操作系统无关）。

（1）在 Windows 10 环境中设置 IP 地址。

①在 Windows 10 的桌面上按【Win + X】组合键，在弹出的【开始】菜单中单击打开控制面板。在控制面板（图 7-22）中单击【网络和 Internet】超链接。



图 7-22 控制面板窗口

②打开【网络和 Internet】窗口，如图 7-23 所示，单击【网络和共享中心】超链接。



图 7-23 【网络和 Internet】窗口

③打开【网络和共享中心】窗口，如图 7-24 所示，单击【更改适配器设置】超链接。



图 7-24 【网络和共享中心】窗口

④打开【网络连接】窗口，如图 7-25 所示，选择要连接的无线网络图标，在图标上右击，在弹出的快捷菜单中选择【属性】命令。



图 7-25 【网络连接】窗口

⑤弹出【无线网络连接 属性】对话框，如图 7-26 所示，选中【Internet 协议版本 4 (TCP/IPv4)】复选框，单击【属性】按钮。

⑥弹出【Internet 协议版本 4 (TCP/IPv4) 属性】对话框，输入要设置的 IP 地址和 DNS 服务器地址，如图 7-27 所示；或者选择自动获得 IP 地址和 DNS 服务器地址，如图 7-28 所示。



图 7-26 【无线网络连接 属性】对话框



图 7-27 手动设置静态 IP 地址和 DNS 服务器地址

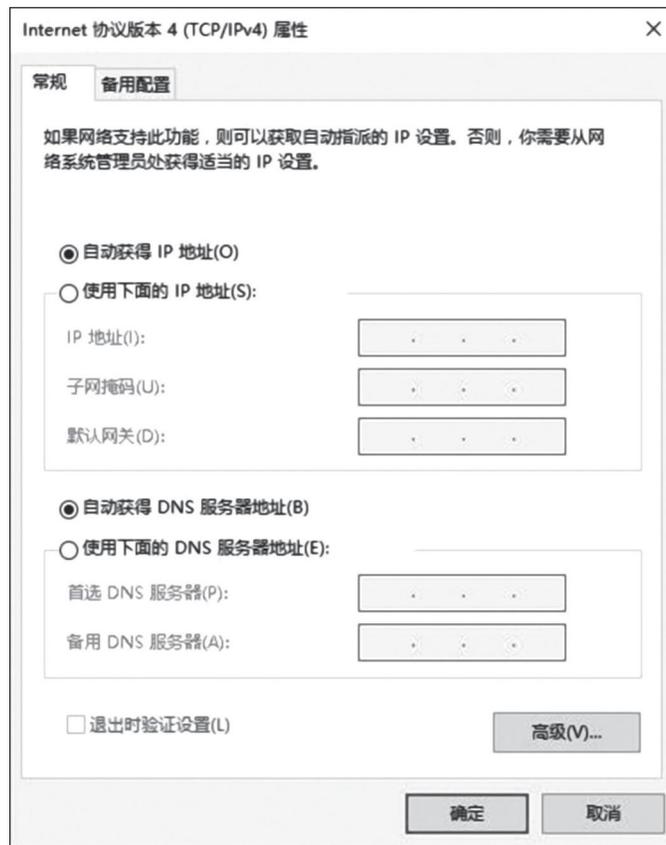


图 7-28 自动获取动态 IP 地址和 DNS 服务器地址



(2) 设置无线路由器。

①接通路由器电源，插入网线，进线插在 WAN 口（一般是蓝色口），将与计算机连接的网线插入任何 LAN 口。连接后，在浏览器中输入在路由器上看到的地址，一般是 192.168.1.1，弹出【需要进行身份验证】对话框，输入账号和密码，一般是 admin，如图 7-29 所示。

②登录后，进入操作界面，选择左侧【设置向导】选项，如图 7-30 所示。



图 7-29 【需要进行身份验证】对话框



图 7-30 操作界面

③在【设置向导】界面中，单击【下一步】按钮，如图 7-31 所示。

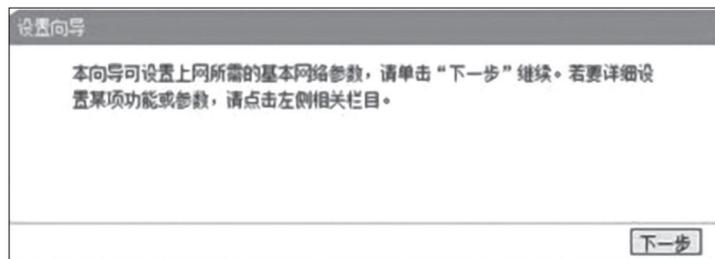


图 7-31 【设置向导】界面

④进入【设置向导 - 上网方式】界面，如图 7-32 所示。一般有 3 种上网方式，可根据具体情况进行选择。

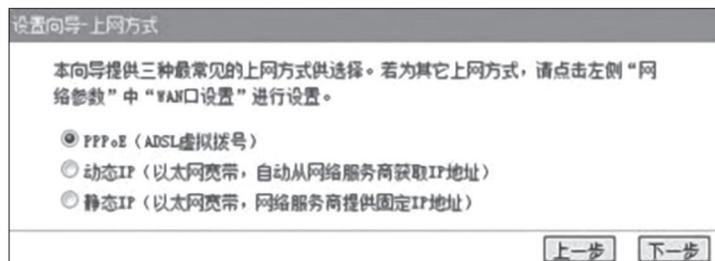


图 7-32 【设置向导 - 上网方式】界面

⑤以 PPPoE 拨号上网为例，开通宽带后，输入上网账号和口令，单击【下一步】按钮，如图 7-33 所示。

⑥进入无线设置界面，可以看到信道、模式、无线安全选项、SSID 等，如图 7-34 所示。无线安全选项一般选中【WPA-PSK/WPA2-PSK】单选按钮，并设置 PSK 密码，单击【下一步】按钮。

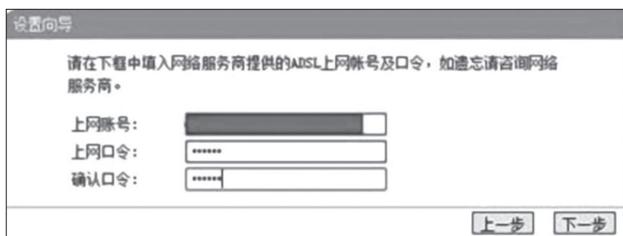


图 7-33 输入上网账号和口令

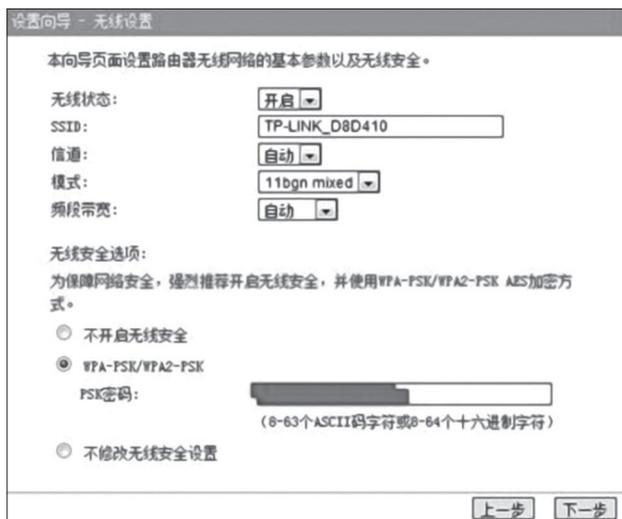


图 7-34 无线设置界面

⑦单击【完成】按钮，设置完成，如图 7-35 所示。

⑧此时，路由器会自动重启，重启成功后出现图 7-36 所示界面。

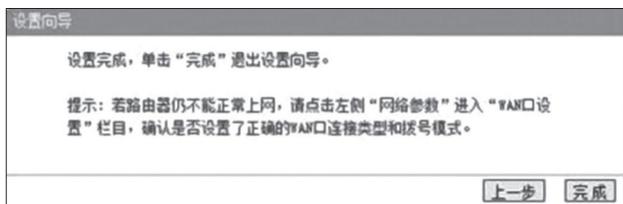


图 7-35 设置完成界面

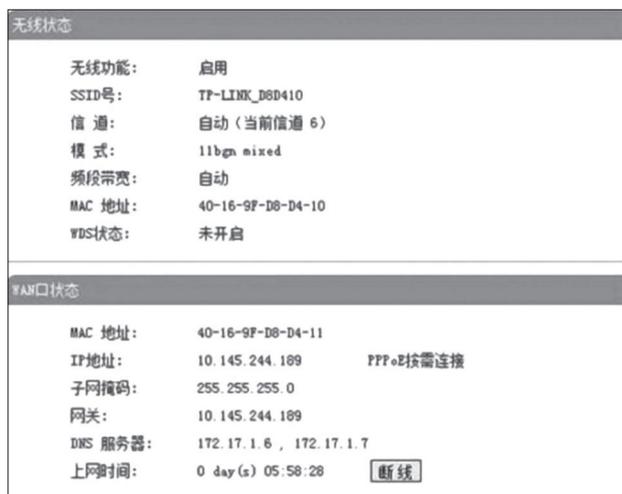


图 7-36 重启成功后界面