



浙江省重点教材建设项目

高等院校信息技术规划教材

无线网络技术教程 (第3版)

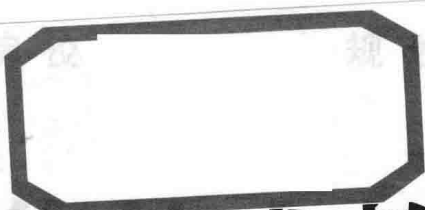
—— 原理、应用与实验

金光 江先亮 编著



清华大学出版社

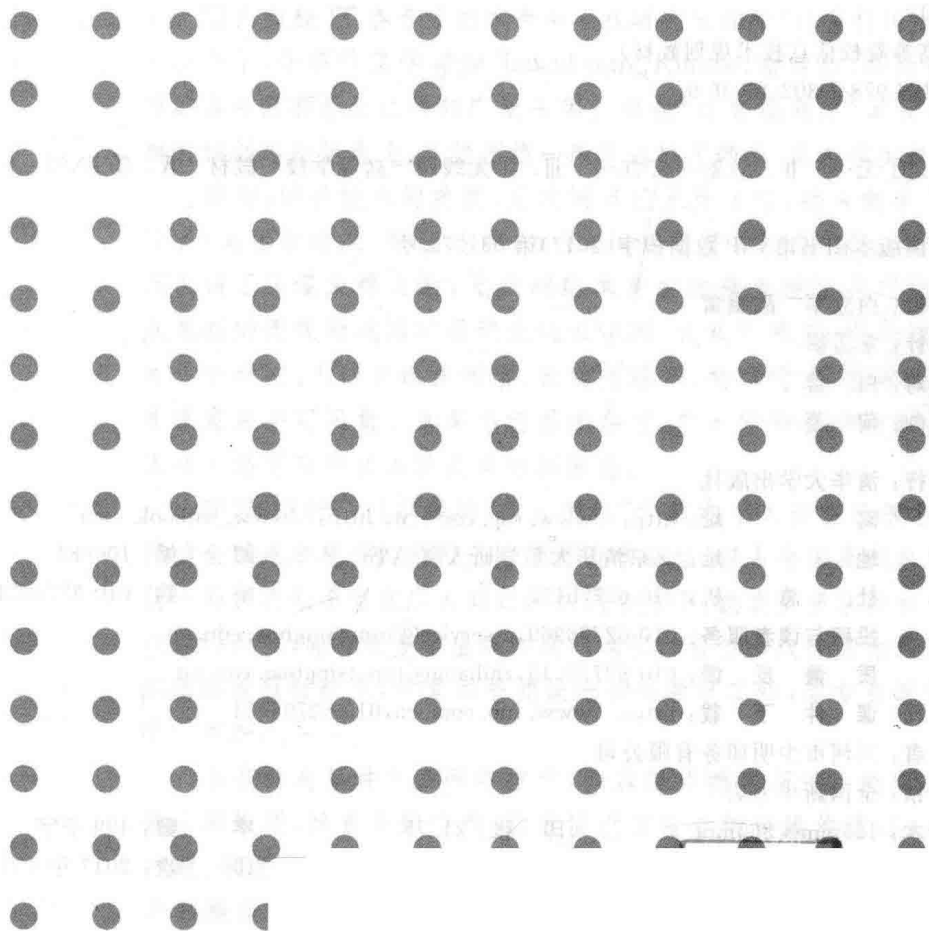
高等 教材



无线网络技术教程 (第3版)

—— 原理、应用与实验

金光 江先亮 编著



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书围绕当前主流的无线网络技术,系统介绍无线网络技术的原理、应用和相关实验。全书分12章,包括无线局域网、无线城域网和无线广域网、蜂窝移动通信网络、卫星网络和空天信息网络、无线自组织网、无线传感网、无线个域网、物联网、无线车载网和智能交通、无线体域网、无线室内定位、无线家居网、无线网络安全等内容。

本书内容新颖,覆盖全面,突出“理论+应用+实践”的特色,电子资源丰富。针对各种无线网络,本书先阐述原理,然后介绍应用实例,实验可操作性强,便于读者学习。

本书可作为网络工程、物联网、计算机、通信、电子、自动化、信息安全等专业的本科生、硕士生、在职研究生和相关领域工程技术人员的教学用书或“计算机网络”“网络实践”等课程的参考书。

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

无线网络技术教程:原理、应用与实验/金光,江先亮编著. —3版. —北京:清华大学出版社,2017

(高等院校信息技术规划教材)

ISBN 978-7-302-46636-9

I. ①无… II. ①金… ②江… III. ①无线网—高等学校—教材 IV. ①TN92

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第031078号

责任编辑:白立军 战晓雷

封面设计:常雪影

责任校对:白蕾

责任印制:何芊

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:三河市少明印务有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:21.75

字 数:499千字

版 次:2011年10月第1版

2017年3月第3版

印 次:2017年3月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:45.00元

产品编号:072202-01

前言

foreword

网络结合了计算机、通信、微电子等技术,是 IT 领域最重要的分支之一,对人类生活产生了深远影响。从 1969 年 ARPANET 诞生至今,网络技术不断发展演进,逐渐呈现出两大发展趋势:高速和无线。“高速”指在光纤等技术支撑下,网络带宽和流量日益扩大,而“无线”则突出泛在性、移动性、灵活性。

国内高校 IT 各专业的本专科生和研究生开设“计算机网络”课程已有多年的,许多前辈学者如 Tanenbaum、Kurose、谢希仁、吴功宜等撰写的各种经典教材已得到广泛采用。但在“计算机网络”课程中以讲解有线网络知识为主,无线网络一般只占极少部分,或由学生自学。

然而,随着技术的发展,无线网络已无处不在,越来越多的终端设备(笔记本电脑、平板电脑、手机、传感器等)通过无线连接网络。而突破了线缆束缚之后,无线网络本身的发展呈现了多元化特点,从最初的无线局域网扩展到无线城域网、无线广域网、无线体域网、无线个域网、无线自组织网络、无线传感网、物联网、无线车载网等,未来发展不可限量。如果不经系统学习,广大同学会对纷繁复杂的无线网络原理和技术特点等感到困惑。

所以,开设一门单独的“无线网络”课程在今天而言已很有必要。目前全国越来越多的高校已陆续开设本课程,但占全国高校总体比例仍不高。我们希望在广大同仁的共同努力下,能有更多学校和专业开设这门课程,能有更多学生修读这门课程。目前系统介绍无线网络技术的高校教材较少,希望本书能促进相关教学工作,为专业课程改革提供帮助。

本书针对每种无线网络技术,内容编排循序渐进。先阐述基本概念和原理,接着介绍应用,然后提供实验示例供操作练习,并附有习题、深度学习和参考文献。附录 A 汇集了部分相关专业术语。附录 B 提供了配套实验指南,便于教学安排。

本书第一版于 2011 年出版,第二版于 2014 年出版,迄今已被全国超过 150 所高校选用。许多教师和同学反馈了大量意见和建议,在此谨致谢意。

本次理论内容修订一是结合技术进步,新增了部分内容,如4G/5G蜂窝网络、空天信息网络、水声传感网、物联网等;二是突出教学的针对性,重点剖析了若干主流协议,如IEEE 802.11ac、IEEE 802.15.4、ZigBee、6LoWPAN、CoAP、RPL、IEEE 802.15.6等。

实验内容修订则尽量为各种不同无线网络技术都提供相关实验,考虑实验环境、操作可行性、低成本投入等因素,采用“仿真+实测”的思路,设计了30项配套实验。

一是仿真。通过权威网络仿真软件,利用普通PC平台,进行各种无线网络实验,减少场地、设备等的影 响。学生还可进一步通过仿真动画演示功能直观形象地了解各种无线网络协议的原理和功能,强化学习效果。

二是实测。选择部分有代表性的实验,如无线信号测量、配置管理WiFi、RFID/NFC读写、嵌入式系统配置、烧录传感器节点、组建户外传感网、室内定位等,从板卡、芯片到软件,类似DIY一般,提供了完整设计和操作过程,以帮助学生提高动手能力。

通过学习本书,读者能了解无线网络技术的全貌,理解和熟悉各种主流技术的基本原理和功能,接触和掌握网络仿真和嵌入式应用系统的设计开发,为从事网络工程、网络管理、物联网应用开发等相关领域工作打下良好基础。

本书可作为本科生、硕士生、在职研究生等修读“无线网络”相关课程的教材,内容可满足32~64学时的教学安排。建议安排32~48个理论学时,其中部分内容较为深入和前沿(在相应标题上加*号,推荐硕士生层次使用),可根据学生情况予以节选。建议安排最多24个实验学时,具体实验项目见附录B,可结合实际自行筛选。本书也可作为“计算机网络”等课程的补充参考书,或作为课程设计、毕业设计、学生科研及工程技术人员开发工作的参考用书。

本书配套电子资源包括PPT课件、习题答案、演示动画、实验环境镜像、实验手册、源码、实验说明、结果分析等内容,读者可在清华大学出版社网站免费下载。

本书涉及内容较多,我们在编写过程中查阅了大量参考文献,得到了许多有益的启示和帮助,在此向这些文献的作者们表示感谢。读者可根据需要查阅这些源文献,进一步深入学习无线网络技术和应用的前沿发展。

在本书修订过程中,苏成龙、路金明、张超、邓珂、高子航等同学参与了部分实验制作、文字绘图工作。本书的编写得到了金明、王晓东等老师的帮助和建议。本书的出版得到了浙江省移动网络应用技术重点实验室、宁波市科技创新团队、浙江省高等教育课堂教学改革项目、宁波大学研究生优秀示范课程等的支持。作者在此谨致谢意。

由于我们学识有限,本书可能存在许多不足,敬请读者不吝赐教,请将意见和建议发给jinguang@nbu.edu.cn和jiangxianliang@zju.edu.cn。也欢迎访问我们的“无线网络技术教学研究平台”(http://www.thinkmesh.net/wireless/)。

金光 江先亮

于2016岁末

目录

Contents

第 1 章 从计算机网络到无线网络	1
1.1 计算机网络技术概述	1
1.1.1 计算机网络的功能、发展、定义和组成	1
1.1.2 计算机网络的技术分类	6
1.2 计算机网络的协议体系	10
1.3 无线通信和无线网络简史	13
1.4 无线网络分类	14
1.5 计算机网络和无线网络应用	16
1.6 计算机网络技术进展	18
1.7 相关标准化和权威组织	20
1.8 本书概要	23
习题	24
深度学习	24
参考文献	24
第 2 章 无线通信和网络仿真技术基础	26
2.1 无线电频谱	26
2.2 无线传输介质和方式	28
2.3 损耗和衰落	30
2.4 调制	33
2.5 扩频	35
2.6 复用和多址	38
2.7 天线	40
2.8 MIMO	43
2.9 认知无线电	44
2.10 可见光通信和激光通信*	46
2.11 无线充电*	48

2.12	网络仿真技术简介	49
2.13	NS2 基础知识	52
2.13.1	NS2 的获取和安装	52
2.13.2	NS2 的基本框架	52
2.13.3	NS2 的简单语法	53
2.13.4	NS2 主要类库介绍	56
2.14	用 NS2 进行无线网络仿真	57
2.15	构建网络仿真环境和无线信号测量实验	58
	习题	59
	深度学习	59
	参考文献	59
第 3 章 无线局域网		61
3.1	无线局域网概述	61
3.2	无线局域网的组成与服务	64
3.2.1	无线局域网的组成	64
3.2.2	无线局域网的拓扑结构	65
3.2.3	无线局域网的服务	67
3.3	IEEE 802.11 协议体系结构	68
3.3.1	IEEE 802.11 协议标准简介	68
3.3.2	IEEE 802.11ac 标准的物理层规范	70
3.3.3	IEEE 802.11ac 标准的 MAC 层规范	73
3.3.4	IEEE 802.11ad/ah/ax 标准	78
3.4	IEEE 802.11 信道分配*	79
3.4.1	集中式管理环境的信道分配*	79
3.4.2	无协调环境的信道分配*	80
3.4.3	信道分配方案的挑战*	81
3.5	IEEE 802.11 测量及工具	81
3.5.1	IEEE 802.11 测量的参数和步骤	81
3.5.2	IEEE 802.11 的典型测量工具	82
3.6	其他无线局域网技术标准	84
3.7	无线局域网的应用	84
3.7.1	无线局域网的应用领域	84
3.7.2	无线局域网应用于公众图书馆	86
3.7.3	无线局域网应用于矿山采掘	87
3.7.4	WiFi 雷达和信道状态信息感知	88
3.8	无线局域网的仿真实验	89
3.8.1	隐藏节点问题仿真实验	90

3.8.2 暴露节点问题仿真实验	91
3.9 无线局域网的实测实验	92
习题	93
深度学习	94
参考文献	94
第4章 无线城域网、无线广域网和蜂窝通信	95
4.1 无线城域网和无线广域网概述	95
4.2 IEEE 802.16(WiMax)标准	96
4.2.1 IEEE 802.16 简介	96
4.2.2 IEEE 802.16 的工作特性及关键技术	97
4.2.3 IEEE 802.16 协议体系结构	98
4.3 IEEE 802.16(WiMax)工作场景	99
4.4 IEEE 802.20 技术标准	101
4.4.1 IEEE 802.20 的发展历程	101
4.4.2 IEEE 802.20 的组成与模型	101
4.4.3 IEEE 802.20 的性能和协议栈	103
4.5 蜂窝移动通信的 2G/3G/4G/5G 技术简介	104
4.5.1 蜂窝移动通信技术概述	105
4.5.2 2G 技术	105
4.5.3 3G 技术	106
4.5.4 4G/LTE 技术	106
4.5.5 5G 技术*	108
4.6 无线城域网、无线广域网和蜂窝移动通信的应用	111
4.7 无线城域网和蜂窝移动通信的实验	115
习题	116
深度学习	117
参考文献	117
第5章 卫星网络和空天信息网络	118
5.1 卫星网络概述	118
5.2 卫星网络原理	124
5.3 典型的卫星网络系统	130
5.4 移动卫星系统通信标准和网络设计	132
5.5 卫星网络系统的应用	135
5.6 卫星网络的发展前景	137
5.7 卫星网络的仿真实验	138

5.8 空天信息网络*	143
习题	146
深度学习	146
参考文献	146
第6章 无线自组织网络	148
6.1 Ad Hoc 网络概述	148
6.2 MANET 体系结构	150
6.3 MANET 路由协议	151
6.3.1 MANET 路由概述	151
6.3.2 MANET 路由协议分类	152
6.3.3 MANET 的典型路由协议	154
6.4 MANET 的其他技术	161
6.5 无线网状网	161
6.6 Ad Hoc 网络的应用	163
6.7 MANET 的仿真实验	165
习题	168
深度学习	168
参考文献	168
第7章 无线传感器网络	170
7.1 传感器技术简介	170
7.2 无线传感器网络概述	171
7.3 无线传感器网络的体系结构	173
7.4 无线传感器网络的协议分析	177
7.4.1 无线传感器网络的协议栈	177
7.4.2 无线传感器网络的协议研究	178
7.4.3 定向扩散路由协议	179
7.4.4 Sensor MAC 协议	183
7.5 无线传感器网络的应用	186
7.5.1 无线传感器网络的应用领域	186
7.5.2 无线传感器网络的应用实例	189
7.6 水声通信和水下无线传感器网络*	190
7.7 无线传感器网络的研究进展*	194
7.8 无线传感器网络的仿真实验	197
习题	199
深度学习	200

参考文献	200
第 8 章 无线个域网	201
8.1 无线个域网概述	201
8.2 无线个域网的关键技术	203
8.3 IEEE 802.15 技术标准	205
8.3.1 IEEE 802.15 标准概览	205
8.3.2 IEEE 802.15.3 标准和无线超宽带技术	205
8.3.3 IEEE 802.15.4 标准	207
8.4 无线个域网的协议	209
8.4.1 蓝牙协议	209
8.4.2 ZigBee 协议	210
8.5 ZigBee 的协议体系结构	213
8.6 无线个域网的应用	215
8.6.1 UWB 技术的应用	215
8.6.2 应用 ZigBee 的超市电子秤系统	215
8.7 无线个域网的仿真实验	216
8.8 无线个域网的实测实验	219
习题	220
深度学习	221
参考文献	221
第 9 章 物联网	222
9.1 物联网概述	222
9.2 物联网的标准化、架构和中间件	224
9.3 物联网的支撑技术	226
9.4 物联网硬件平台	229
9.5 物联网的操作系统	230
9.6 物联网的技术协议*	232
9.6.1 网络层的 6LoWPAN 协议*	232
9.6.2 路由层的低功耗有损网络路由协议 RPL*	236
9.6.3 物联网的传输协议*	240
9.6.4 应用层的受限应用协议 CoAP*	240
9.6.5 MQTT 和服务发现协议*	244
9.7 物联网的应用	245
9.8 低功耗广域物联网和窄带物联网*	248
9.9 物联网的实验	251

习题	253
深度学习	253
参考文献	254
第 10 章 无线车载网络 and 智能交通	255
10.1 智能交通系统和无线车载网络概述	255
10.2 车内网络*	255
10.3 无线车载网络的应用分类和要求	259
10.4 智能交通系统组成、架构标准和应用	260
10.5 IEEE 802.11p 协议*	265
10.6 无线车载网络的技术挑战和研究进展*	267
10.7 无人驾驶汽车简介	273
10.8 无线车载网络的仿真实验	274
习题	276
深度学习	277
参考文献	277
第 11 章 无线体域网、室内定位和家居网	278
11.1 无线体域网	278
11.1.1 无线体域网简介	278
11.1.2 无线体域网的技术要求	279
11.1.3 IEEE 802.15.6 协议标准*	280
11.1.4 WBAN 的路由、QoS 和安全性*	286
11.2 无线室内定位	288
11.2.1 无线室内定位概述	288
11.2.2 无线室内定位技术和评价标准	289
11.2.3 基于无线射频的室内定位应用系统	292
11.2.4 使用其他技术的无线室内定位系统	295
11.3 无线家居网	297
11.3.1 无线家居网的组成和特点	297
11.3.2 无线家居网的典型技术*	299
11.3.3 无线家居网协议的层次结构*	300
11.3.4 无线家居网的应用示例	302
11.4 无线室内定位的仿真实验	302
11.5 无线室内定位的实测实验	304
11.6 无线体域网监测系统实验	304
习题	305

深度学习	305
参考文献	305
第 12 章 无线网络安全	307
12.1 网络安全概述	307
12.1.1 网络安全威胁	307
12.1.2 网络安全防御技术	309
12.2 无线网络安全简史	310
12.3 无线网络的安全威胁	311
12.4 无线网络攻击的防御方案	314
12.5 无线局域网的安全技术	315
12.6 移动自组织网络的安全技术*	318
12.7 物联网的安全和隐私*	321
12.8 无线网络安全的仿真实验	323
12.9 无线网络安全技术的发展趋势	326
习题	326
深度学习	327
参考文献	327
附录 A 相关术语缩略语	328
附录 B 配套实验指南	332

从计算机网络到无线网络

计算机技术和通信技术是信息技术领域最重要的两大分支,二者结合就是网络技术。根据侧重不同,网络分为计算机网络和通信网络,两者越来越密不可分。20世纪70年代至今,网络的发展对全世界产生了深远影响,推动人类社会逐步进入了信息时代。

作为全书开篇,本章对计算机网络和无线网络技术的相关背景、原理和应用等予以简单介绍,并适当关注一些前沿技术和行业组织等。

1.1 计算机网络技术概述

1.1.1 计算机网络的功能、发展、定义和组成

1. 计算机网络的功能

21世纪被称为信息时代,最主要的特征就是数字化和网络化。社会生产生活各方面通过计算机技术来提高效率、降低成本。在此基础上,再通过网络技术实现信息的互通。高速完善的网络能使信息更快、更准确地传输,以发挥强大作用。网络已成为信息社会的技术命脉和知识经济的发展基础,对社会许多方面产生了不可估量的影响。

先来看众所周知的“三网”技术:计算机网络、电信网络和广播电视网络,它们提供不同的服务。计算机网络,如因特网(Internet)和小范围局域网等,能使用户实时迅速地传输各种数据文件,搜索文字、图像、声音和视频等各类资料。电信网络,如固定电话、移动电话等,提供电话、传真等服务。广播电视网络则传输广播电视节目。这3类网络在信息化的发展历程中都起到了重要作用。不远的将来,人们将会看到3类网络融合,不同类型的终端、不同领域的信息都将融会贯通于一个更大的网络中,提供更强大的信息传输服务,满足人们更丰富多彩的应用需求。

网络技术近年来在我国发展迅速,已应用于各行各业,包括工业、商业、交通运输、金融、政府管理、文化娱乐等。尤其是因特网,在各种信息技术中堪称最具社会影响力,现在在很多人的生活、工作和学习都离不开因特网。

计算机网络的主要功能是连接终端主机以实现资源共享,即通过有线或无线介质将用户终端连接成大小不一的网络,这些终端主机可彼此直接连通,用户间的距离大为缩短。而不同用户的资源通过网络实现各种共享,如信息共享、软件共享、硬件共享等。例

如,数字图书馆通过网络来存储和传播大量电子资源,供用户读取或下载;而同一办公室局域网内的多台微机可共享一台打印机。

由于人们的生活、工作、学习和社交等都广泛依赖网络,其可靠性和安全性显得至关重要。病毒、蠕虫、恶意攻击、木马和钓鱼等都会造成严重危害。而不少青少年沉迷于网络游戏、虚拟社交和不良信息,其身心受到不利影响,需要加大关注。

2. 计算机网络的发展

计算机网络离不开计算机。1946年,第一台计算机ENIAC诞生于美国宾夕法尼亚大学,之后计算机的发展经历了电子管、晶体管、集成电路和微处理器时代。1977年,苹果个人计算机问世,标志个人计算机时代的到来。1981年,IBM公司的PC发布,有力地促进了微机的发展应用。其后30年里,在Wintel(Windows操作系统+Intel芯片)平台的主导下,微机技术发展迅猛,成为信息技术前进的主要推动力之一。

人们在使用计算机的同时,对信息互联互通的需求也与日俱增。伴随计算机技术的发展,计算机网络也登上历史舞台,并逐步成为信息社会的基础架构。下面先回顾一下因特网和网络相关技术的发展简史。

1969年,因特网的前身ARPANET(ARPA是美国国防部高级研究计划署)诞生于美国加利福尼亚大学洛杉矶分校,最初有4个节点。1971年,首个无线分组交换计算机网络ALOHAnet在夏威夷大学问世。1976年,施乐公司针对局域网提出了以太网原型。20世纪70年代末,TCP/IP协议公布。1980年,以太网开始商用。1989年,T. B. Lee提出了万维网(WWW)的设想。1991年,因特网开始商业运营。1994年,Netscape浏览器发布。1997年,WiFi无线局域网方案公布。1998年,Google搜索引擎诞生。2000年,互联网泡沫达到高峰,大批.COM公司在Nasdaq上市。2004年,社交网站Facebook上线。2007年,苹果公司和Google公司都进入了移动手机市场。2010年,iPad平板电脑问世,被认为可能引领电子书代替传统书籍。2011年,云计算的概念逐步深入人心,开始成为市场热点。2012年,大数据由技术圈进入了主流市场,从TB、PB向EB、ZB、YB进军。近几年来,软件定义网络、网络功能虚拟化、4G移动通信、物联网等新技术更是令人目不暇接。

因特网在我国的普及始于20世纪90年代。到2016年6月底,我国网民达7.1亿,其中手机网民达6.56亿。全球网民估计超过30亿人,全球接入因特网的各类主机和终端(含PC、智能手机等)超过30亿台。

综观计算机网络的整个发展史,从技术角度可分为5个阶段。

1) 产生阶段

早期计算机系统高度集中,所有设备安装在一起,后来出现了批处理和分时系统,分时系统的多个终端必须连接到主机。20世纪50年代中后期,许多系统开始将地理上分散的多个终端通过通信线路连接到一台中心机上,成为第一代计算机网络。典型应用是美国的飞机订票系统,一台计算机连接全美2000多个终端机。终端机一般是一台显示器和键盘,无CPU和内存,如图1.1所示。终端机用户通过终端机向中心主机发送数据处理请求,中心主机处理后予以回复,终端机将数据存储到中心主机,自身并不保存任何数据。第一代网络并非真正意义上的网络,但已初步具备网络的特征。

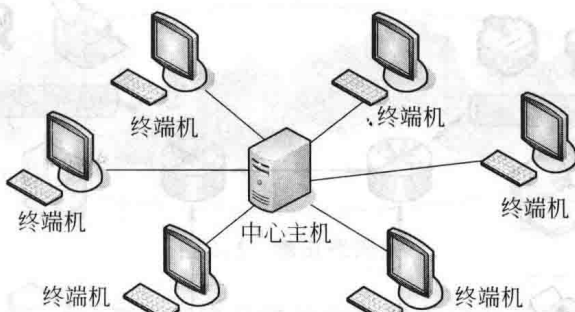


图 1.1 第一代网络

2) 形成阶段

为提高可靠性和可用性,人们开始利用通信线路连接多台主机与终端。20 世纪 60 年代末,第二代网络(见图 1.2)应运而生,主机通过通信线路互连,典型代表如 ARPANET。主机间不直接相连,由接口报文处理机负责转接。通信线路负责通信,构成通信子网。主机负责运行程序,提供资源共享,组成资源子网。两台主机通信时,传输的内容、信息表示形式、不同情况下的应答等必须遵守一个共同约定——协议。ARPANET 将协议按功能分成若干层次,如何分层及各层具体采用何种协议统称网络协议体系结构。第二代网络采用了分组交换技术,初步形成了现代意义上的计算机网络。

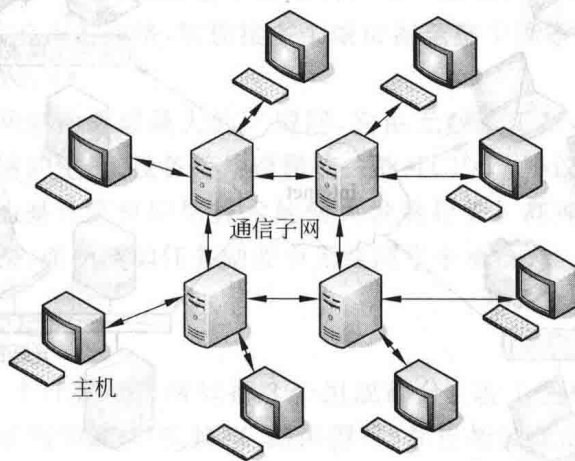


图 1.2 第二代网络

3) 互联互通阶段

20 世纪 70 年代末至 90 年代的第三代网络具有明确的网络体系结构,并遵循统一标准,如图 1.3 所示。该阶段网络技术发展迅速,涌现了多项网络体系结构标准和软硬件产品。网络体系结构标准的代表是 ISO/OSI 开放系统互连参考模型和被因特网广泛采用的 TCP/IP。前者也称 OSI 七层模型,为普及局域网奠定了基础,但其意义多限于理论层面。TCP/IP 则伴随因特网的发展,已成为事实上的工业标准。

4) 高速网络阶段

20 世纪 90 年代末到 21 世纪前 10 年,第四代高速网络逐步成熟,数据传输速率大为

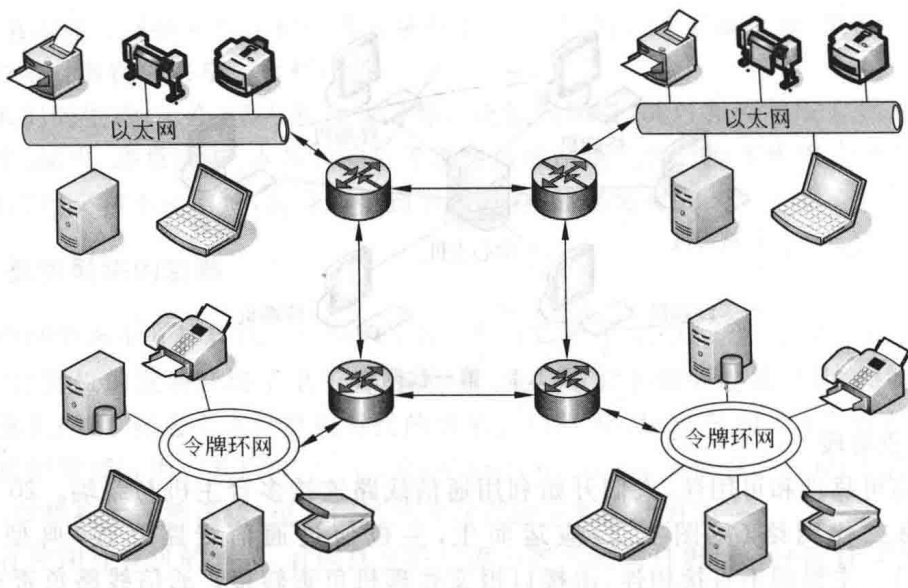


图 1.3 第三代网络

提高,陆续出现了光纤网络、多媒体网络、智能网络和无线网络等,如图 1.4 所示。

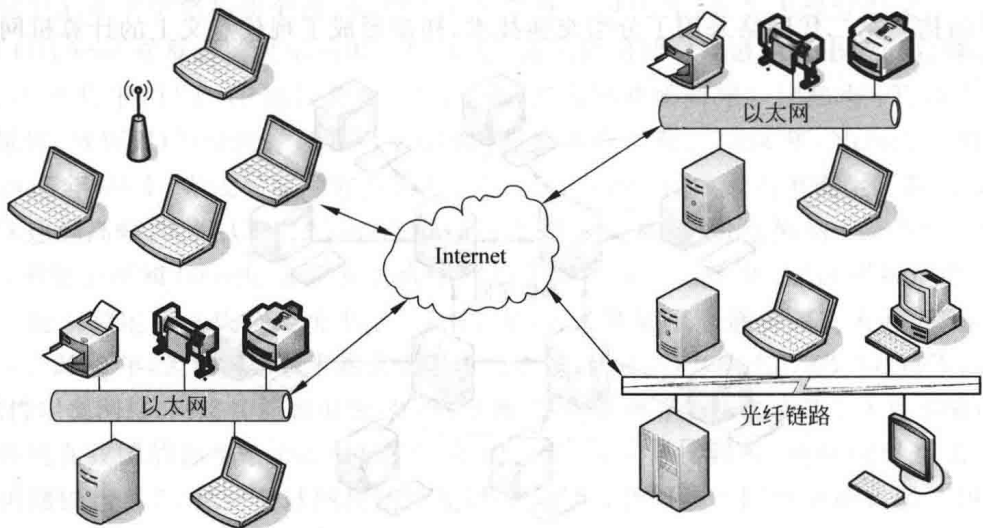


图 1.4 第四代网络

5) 无线网络和物联网阶段

21 世纪前 10 年,无线网络、移动通信网络继续普及,而物联网、传感器技术更是将网络触角延伸到传统信息领域之外的自然界、物流和交通等,应用前景更为广阔。图 1.5 为第五代网络,将逐步形成个人、社会、自然的泛在网络(ubiquitous network)。

3. 计算机网络的定义

简单而言,用通信链路将分散的多台计算机、终端和外设等互连起来,使之能彼此通信,同时共享各种硬件、软件和数据资源,整个系统可称为计算机网络。

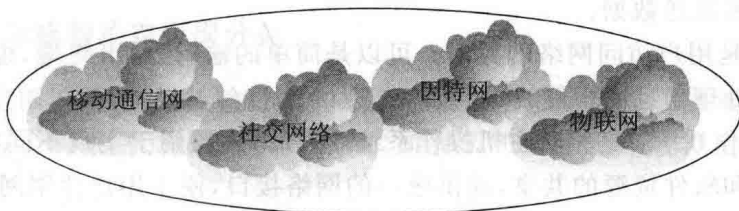


图 1.5 第五代网络

更准确的定义可以是：计算机网络是将地理位置不同的具有独立功能的多台主机、外设或其他设备通过通信线路进行连接，在网络操作系统、管理软件及通信协议的管理协调下，实现资源共享和信息传递的完整系统。

接入网络的每台主机本身是一个可独立工作的设备。如一台能上网的微机，即使未连接网络也能完成如文字处理等工作。通信链路分为有线和无线两种，有线链路包括双绞线、电话线、同轴电缆、光纤和电力线等，无线链路包括微波、红外线等。

通信协议是另一要素。讲不同语言的人对话需要一种标准语言才能沟通，而不同类型的主机通信也需遵循共同规则和约定。网络中各方需共同遵守的规则和约定就称为网络协议，由其来定义、协调和管理主机间的通信和操作。

一个较短距离的网络可包含同一办公室或同一楼层内的多台主机，通常可称为局域网 (Local Area Network, LAN)。而覆盖整个城市的网络一般称为城域网 (Metropolitan Area Network, MAN)。更大范围的网络，如连接多个城市甚至整个国家的网络，可称为广域网 (Wide Area Network, WAN)。

我们熟悉的因特网堪称全球最大的广域网，它由无数个 LAN、MAN 和 WAN 共同组成。所有连入因特网的主机、设备等均遵循统一的 TCP/IP 协议。

高速和便捷被认为是计算机网络技术的两大发展趋势。高速体现在网络带宽增长的速度比摩尔定律更快，而便捷的任务则要由无线网络来承担。

4. 计算机网络的组成

从技术角度看，一个计算机网络包括 3 个组成部分：若干主机，为不同用户提供服务；一个通信子网，包括网络设备（交换机、路由器等）和连接彼此的通信链路；网络协议，即事先约定好的规则，用于主机间或主机和网络设备间的通信。

进一步分析，可按照数据通信和数据处理的功能，从逻辑上将网络分为通信子网和资源子网两部分，通信子网位于网络中心或网络内部，而资源子网位于网络边缘。

通信子网由网络设备、通信线路与其他通信设备组成，负责数据传输、转发等通信处理任务。网络设备在网络拓扑中常被称为网络节点。它一方面与资源子网的主机通信，将主机和终端连入网络；另一方面又在通信子网中负责报文分组的转发，最终将源主机的报文准确发给目标主机。

资源子网包括主机系统、终端及控制器、联网外设、软件、信息资源等。

(1) 主机：是计算机网络的边缘(或叶)节点。一般安装有本地操作系统、网络操作系统、数据库和用户应用软件等，通过通信线路连入通信子网。主机一般具备有效的网