



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材  
普通高等教育精品教材



21世纪大学本科  
计算机专业系列教材

在线教学版

教学资源  
互动教学

练习与测试  
智能学习

吴功宜 吴英 编著

# 计算机网络 (第4版)

<http://www.tup.com.cn>

- 根据教育部“高等学校计算机科学与技术专业规范”组织编写
- 与美国 ACM 和 IEEE CS Computing Curricula 最新进展同步
- 国家级精品教材
- 全国高校出版社优秀畅销书



清华大学出版社



智学苑

[www.izhixue.cn](http://www.izhixue.cn)  
本教材配套教学网站



扫一扫  
登录在线教学平台



“十二五”  
普通  
全国高

部级规划教材  
品教材  
畅销书

21世纪大学本科计算机专业系列教材

# 计 算 机 网 络

## (第4版)

吴功宜 吴英 编著



清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书依据计算机网络技术发展的三条主线——互联网、无线网络与网络安全,系统地介绍网络的基本概念、网络体系结构、网络互联与分布式进程通信、Internet 应用与网络安全技术;在系统讨论网络基本工作原理的同时,注重网络应用系统与网络应用软件设计、实现方法的学习,贴近技术发展的前沿,对当前研究与应用的热点——无线网络、移动互联网与物联网技术进行了系统的讨论。

本书结构清晰,章节内容环环相扣,逐步递进;语言流畅,图文并茂,易读易懂。教材体系建设坚持“理论学习和能力培养并重”的指导思想,形成了由“1 本主教材、4 本辅助教材、1 个题库和 1 个电子教案”构成的教材体系,以适应不同学校与专业的需要。

本书第 1 版至第 3 版被评为普通高等教育“十一五”和“十二五”国家级规划教材,第 2 版被评为普通高等教育国家级精品教材。

本书适合作为计算机、软件工程、信息安全、物联网工程、通信工程与电子信息等相关专业的本科生与研究生的教材,也可以作为信息技术领域的工程技术人员与技术管理人员学习、研究网络技术的参考书。

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

计算机网络/吴功宜,吴英编著. —4 版. —北京:清华大学出版社,2017

(21 世纪大学本科计算机专业系列教材)

ISBN 978-7-302-46848-6

I. ①计… II. ①吴… ②吴… 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(2017)第 053320 号

责任编辑:张瑞庆

封面设计:何凤霞

责任校对:焦丽丽

责任印制:杨 艳

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](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质量反馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 刷 者:北京富博印刷有限公司

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:29.5

字 数:715 千字

版 次:2003 年 8 月第 1 版 2017 年 4 月第 4 版

印 次:2017 年 4 月第 1 次印刷

印 数:1~5000

定 价:59.00 元

产品编号:069475-01

## 21 世纪大学本科计算机专业系列教材编委会

主 任：李晓明

副 主 任：蒋宗礼 卢先和

委 员：(按姓氏笔画为序)

马华东 马殿富 王志英 王晓东 宁 洪

刘 辰 孙茂松 李仁发 李文新 杨 波

吴朝晖 何炎祥 宋方敏 张 莉 金 海

周兴社 孟祥旭 袁晓洁 钱乐秋 黄国兴

曾 明 廖明宏

秘 书：张瑞庆

**本书主审：钱德沛**



# 前言

## FOREWORD

如果将“分组交换”概念的提出与 ARPANET 的出现作为计算机网络技术发展起点,那么计算机网络技术已经经历了半个多世纪的发展历程。回顾网络技术与应用发展的历程,可以清晰地看到它是沿着“互联网—移动互联网—物联网”的轨迹,“由小到大”一步一步地发展、壮大,“由表及里”地渗透到社会的各行各业与各个领域。

作者记得 1984 年第一次在南开大学计算机系开设“计算机网络”课程时,计算机系一届的百名学生中只有 7 位学生选修了这门课程,人们对计算机网络都很陌生。30 多年过去了,计算机网络最成功的应用——互联网——已经成为人们生活与工作环境的重要组成部分。互联网正在改变着人们的生活方式、工作方式与思维方式,也正在改变着世界经济与社会发展的进程。现在谈到计算机网络时,人们自然会联想到当前社会热议的几个关键词——“网络强国”“互联网+”与“网络空间安全”。

作者在多年的网络教学与科研工作中,跟踪着网络技术与应用的发展,见证了计算机网络从互联网、移动互联网到物联网的高速发展过程。1995 年作者参与研究并起草“天津市信息港工程规划纲要”,至今也是 20 年前的事了。在这 20 多年里,作者见证了我国互联网技术、社会信息化与信息产业的发展历程;在参与和主持城市信息化建设“九五”、“十五”与“十一五”发展规划的研究工作中,作者见证了我国互联网规模的快速增长与互联网概念逐渐被社会大众接受的过程,学会从宏观的角度去认识网络技术的发展,体会网络技术对信息产业与社会经济发展的重大影响。这些经历使得作者逐渐对计算机网络技术有了更加深刻、全面的认识。我国是网络应用的大国,但不是网络技术强国。要实现“网络强国”之梦,要通过“互联网+”的路径来推进我国经济发展模式的转型,要捍卫我国“网络空间安全”,就必须培养出大批的网络技术精英,大学计算机网络课程教学应该在培养网络技术高水平人才方面发挥重要的作用。

出于这样的认识,作者在修订《计算机网络》的第 4 版时,注意解决以下几个的问题。

第一,打牢网络理论与技术基础。

根据作者科研和教学工作体会,在第 4 版的写作中力求做到“结构清晰,环环相扣,逐步递进;语言流畅,图文并茂,易读易懂”。在知识结构的设计中,坚持每一章内容力求集中回答计算机网络中一些基本的问题。这些问题是:

第 1 章 基本概念:什么是计算机网络?

第 2 章 物理层:网络中比特流传输是如何实现的?

第 3 章 数据链路层:网络中数据传输的正确性是如何保证的?

第4章 介质访问子层:最常用的 Ethernet 与 Wi-Fi 的网络功能是如何实现的?

第5章 网络层:网络互联是如何实现的?

第6章 传输层:网络环境中分布式进程通信是如何实现的?

第7章 应用层:网络应用系统是如何设计与实现的?

第8章 网络安全:如何保证网络安全?

为了达到“打牢网络理论与技术基础”的目标,本书坚持加强“基础与方法论”的教学,在后续章节不断深化,并通过剖析常用的网络应用实例,对网络应用系统的设计方法进行总结,帮助读者渐进地、潜移默化地接受前人成熟的研究方法与成果,为进一步学习和研究网络技术奠定基础。

第二,贴近技术发展前沿。

计算机网络是当今计算机科学与技术学科中发展最为迅速的技术之一,也是计算机应用中一个空前活跃的领域。如果说广域网扩大了信息社会中资源共享的广度,城域网扩大了用户接入互联网的范围,局域网扩大了信息资源共享的深度,个人区域网与人体区域网增强了人类共享信息资源的灵活性,那么物联网就是在互联网技术的基础上,利用 RFID 和各种感知技术自动获取物理世界的信息,构建覆盖世界上人与人、人与物、物与物的各种智能信息系统。今后计算机与各种智能手机、PDA、传感器、射频标签(RFID)与移动智能终端设备都会连接到网络之中。

随着无线网络、互联网+、移动互联网与物联网技术与产业的发展,计算机网络教学也面临着一个快速变化的局面。计算机网络技术与知识更新的速度也会进一步加快,这就给从事计算机网络课程教学的教师提供了更大的发展空间,要求我们更快地改进网络课程的教学内容与方法。这是一个艰苦的过程。因为做“加法”的前提是要做好“减法”。增加新技术的内容比较容易,但是做“减法”时,删除过渡性技术与陈旧内容的过程的确很难。作者潜心研读了近年来国内外计算机网络的重要文献,并结合个人与科研团队的研究工作,认真探讨计算机网络知识体系中“变”与“不变”的关系,分析学生学习过程中“难点”和为什么会成为难点的问题。对相关章节的内容做出了适当取舍。

第三,以“系统观”的思路组织网络知识体系。

计算机专业学生需要更强调计算机系统能力的培养。计算机系统能力的核心是培养学生具有设计和构建以计算技术为核心、新的应用系统的能力,而网络知识是计算机系统能力的重要组成部分。因此,计算机专业学生系统能力的培养要将计算机与计算机网络视为一个有机的整体,引导学生用计算机组成原理、操作系统的基础知识,去理解计算机网络的基本工作原理,学会用软件编程的方法去实现网络功能,使得学生能够准确描述与构建出真实网络系统的模型,以及有效地构造网络系统的能力。本书在组织每一章、每一个知识点,以及习题、网络软件编程与硬件训练都力求做到这一点。在第7章“应用层”中,作者选取了代表性的 Internet 应用——E-mail、Web,尤其是 FTP 应用,从网络协议、软件编程与操作系统进程通信交互过程的角度,采用“系统观”的方法对前5章描述的计算机网络的概念、原理与实现方法进行了概括和总结。

第四,贯彻“以能力培养为导向”的教学理念。

“计算机网络”是一门应用性与实践性很强的课程。学生只有通过系统地训练,才有可能真正掌握和深入理解网络技术的基本理论与方法。教学团队在规划教材体系建设时,坚

持“以能力培养为导向”的指导思想,经过 20 多年的努力,基本形成了由“1 本主教材、4 本辅助教材、1 个电子教案和 1 个题库”构成的教材体系。与主教材配套的有《计算机网络教师用书》(第 4 版)、《计算机网络实验指导书》(第 3 版)、《计算机网络软件编程指导》、《计算机网络习题集与习题解析》(第 2 版)和“计算机网络题库”。

《计算机网络实验指导书》(第 3 版)编写了 16 个网络实验。该书作者总结了多年指导学生网络硬件实验课程的教学经验,参考了国际著名的网络公司的认证考试内容,设计了覆盖物理层到数据传输,从网络应用到网络安全的网络实验课题,实验内容覆盖了从基本的组网到网络设备配置,简单的网络环境编程到网络仿真的基本要求。每个实验给出了进一步掌握该实验内容的练习与思考题。实验所要求的设备相对比较简单,目前大多数学校都具备基本的实验要求。

《计算机网络软件编程指导》构思了 13 个网络软件编程题目。网络软件编程的选题考虑到不同层次网络协议的覆盖,同时将编程题目分为三个难度级,读者可以参考选题指导,根据不同的要求和不同的基础,有选择地、循序渐进地完成网络软件编程训练,配合主教材的学习,让学生“通过实际编程问题的训练,达到加深理解网络基本工作原理,掌握网络环境中软件编程方法,提高网络软件编程能力”的目的。

《计算机网络习题集与习题解析》(第 2 版)主要研究和参考了 Cisco 等重要网络设备制造商认证培训大纲与试题、计算机专业研究生入学统考大纲与试题、全国计算机等级考试(四级)网络工程师考试大纲与试题,并从网上收集了一些计算机、通信与软件产业人员的招聘考题,在系统地分析、比较的基础上,按照主教材的体系与教学要求,编写了习题解析与同步练习。该书的特点是:教师可以使用或参考书中提供的习题作为课后练习;学生可以随着教学进度,自我检查知识掌握情况;可以作为计算机及相关专业学生准备参加计算机专业硕士研究生全国统考、求职考试的复习参考书。

《计算机网络教师用书》(第 4 版)具有三个特点:一是对主教材的知识体系及每一章的知识点结构均做出了分析,帮助任课教师对全局与局部内容的关系有准确地把握;二是作者根据多年的教学、科研积累,针对主教材各章节重要的知识点、难点,总结出 300 多道任课教师或学生曾经提出的问题,并逐一做出了解答;三是为了帮助教师组织好教学过程,教师用书将主教材每一章中较难的练习题都给出了解析,供任课教师参考。

按照主教材的体系,作者在“计算机网络题库”中收集、整理和补充了 1000 多道网络习题,并进行了详细的解析。

《计算机网络》的第 1 版于 2003 年出版,经过多年的努力,形成了比较完备的教学与教学资源体系。主教材于 2007 年修订出版了第 2 版;2011 年修订出版了第 3 版。其中,第 2 版被评为普通高等教育“十一五”国家级规划教材;第 3 版被评为“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材;第 2 版被评为 2008 年度“普通高等教育精品教材”。但是,作者自知“盛名之下,其实难符”。为了不辜负广大读者的期望,作者与团队成员多年来参照国内外知名大学教材,研究知名大学网络课程教学内容、教材与主要参考书、作业与实验,以及教学方法改革的动向;选择国际上最流行的教材为参照系,结合团队成员的科研与教学研究体会,使修订出版的《计算机网络》(第 4 版)在水平与质量上具有可比性。

教材的写作得到南开大学刘瑞挺教授、徐敬东教授、张建忠教授、吴英副教授、张玉副教授和许昱玮老师以及网络实验室很多学生的帮助。吴英副教授编著完成了书中的插图与习

题,修改了第7章、第8章。刘立新老师帮助在网上查找了很多习题,作者在此表示感谢。同时,作者也非常感谢夫人牛秀卿教授,正是有她的理解和支持,才使作者能够安心研究和写作。

面对计算机网络技术的迅速更新和发展,要完成这样一个高标准的写作任务,作者感到压力很大。限于作者的学术水平,书中难免有错误与不妥之处,诚恳地希望读者批评指正。对于在使用前几版教材并提出过宝贵意见和建议的老教师们深表感谢,也希望诸位继续关注和指教,共同为提高我国“计算机网络”课程的教学水平而努力。

吴功宜

2017年1月



# 目 录

## CONTENTS

|                                        |    |
|----------------------------------------|----|
| 第 1 章 计算机网络概论 .....                    | 1  |
| 1.1 计算机网络的形成与发展 .....                  | 1  |
| 1.1.1 计算机网络发展阶段的划分 .....               | 1  |
| 1.1.2 计算机网络的形成与发展 .....                | 2  |
| 1.1.3 Internet 的高速发展 .....             | 10 |
| 1.1.4 宽带城域网与三网融合技术的发展 .....            | 10 |
| 1.1.5 物联网的形成与发展 .....                  | 11 |
| 1.2 计算机网络技术发展的三条主线 .....               | 12 |
| 1.2.1 第一条主线：从 ARPANET 到 Internet ..... | 12 |
| 1.2.2 第二条主线：从无线分组网到无线自组网、无线传感器网络 ..... | 13 |
| 1.2.3 第三条主线：网络安全技术 .....               | 13 |
| 1.3 计算机网络定义与分类 .....                   | 14 |
| 1.3.1 计算机网络定义 .....                    | 14 |
| 1.3.2 我们生活与工作的网络环境 .....               | 15 |
| 1.3.3 广域网 .....                        | 18 |
| 1.3.4 城域网 .....                        | 20 |
| 1.3.5 局域网 .....                        | 23 |
| 1.3.6 个人区域网 .....                      | 23 |
| 1.3.7 人体区域网 .....                      | 25 |
| 1.4 计算机网络的组成与结构 .....                  | 26 |
| 1.4.1 早期计算机网络的组成与结构 .....              | 26 |
| 1.4.2 ISP 的层次结构 .....                  | 26 |
| 1.4.3 Internet 的网络结构 .....             | 27 |
| 1.5 计算机网络拓扑结构 .....                    | 29 |
| 1.5.1 计算机网络拓扑的定义 .....                 | 29 |
| 1.5.2 计算机网络拓扑的分类与特点 .....              | 29 |
| 1.6 分组交换技术的基本概念 .....                  | 30 |
| 1.6.1 数据交换方式的分类 .....                  | 30 |

|            |                                 |           |
|------------|---------------------------------|-----------|
| 1.6.2      | 线路交换的特点 .....                   | 31        |
| 1.6.3      | 分组交换的特点 .....                   | 32        |
| 1.6.4      | 数据报方式与虚电路方式 .....               | 34        |
| 1.6.5      | 分组交换网中的延时 .....                 | 36        |
| 1.6.6      | 面向连接服务与无连接服务 .....              | 40        |
| 1.7        | 网络体系结构与网络协议 .....               | 42        |
| 1.7.1      | 网络体系结构的基本概念 .....               | 42        |
| 1.7.2      | OSI 参考模型 .....                  | 46        |
| 1.7.3      | TCP/IP 参考模型 .....               | 50        |
| 1.7.4      | OSI 参考模型与 TCP/IP 参考模型的比较 .....  | 52        |
| 1.7.5      | 网络与 Internet 协议标准化组织和管理机构 ..... | 53        |
| 1.7.6      | 一种建议的参考模型 .....                 | 55        |
| 小结         | .....                           | 56        |
| 习题         | .....                           | 56        |
| <b>第2章</b> | <b>物理层 .....</b>                | <b>58</b> |
| 2.1        | 物理层与物理层协议的基本概念 .....            | 58        |
| 2.1.1      | 物理层的基本服务功能 .....                | 58        |
| 2.1.2      | 物理层协议的类型 .....                  | 59        |
| 2.1.3      | 物理层向数据链路层提供的服务 .....            | 60        |
| 2.2        | 数据通信的基本概念 .....                 | 61        |
| 2.2.1      | 信息、数据与信号 .....                  | 61        |
| 2.2.2      | 数据通信方式 .....                    | 62        |
| 2.2.3      | 传输介质的主要类型与特性 .....              | 66        |
| 2.2.4      | 数据编码分类 .....                    | 73        |
| 2.3        | 频带传输技术 .....                    | 74        |
| 2.3.1      | 频带传输的基本概念 .....                 | 74        |
| 2.3.2      | 模拟数据信号编码方法 .....                | 74        |
| 2.3.3      | 波特率的定义 .....                    | 75        |
| 2.4        | 基带传输技术 .....                    | 77        |
| 2.4.1      | 基带传输的定义 .....                   | 77        |
| 2.4.2      | 数字数据编码方法 .....                  | 77        |
| 2.4.3      | 脉冲编码调制方法 .....                  | 78        |
| 2.4.4      | 比特率的定义 .....                    | 80        |
| 2.4.5      | 奈奎斯特准则与香农定理 .....               | 81        |
| 2.5        | 多路复用技术 .....                    | 81        |
| 2.5.1      | 多路复用的基本概念 .....                 | 81        |
| 2.5.2      | 时分多路复用 .....                    | 83        |
| 2.5.3      | 频分多路复用 .....                    | 84        |

|                               |            |
|-------------------------------|------------|
| 2.5.4 波分多路复用 .....            | 85         |
| 2.6 同步光纤网与同步数字体系 .....        | 85         |
| 2.6.1 SONET 与 SDH 的基本概念 ..... | 85         |
| 2.6.2 基本速率标准的制定 .....         | 86         |
| 2.6.3 SDH 速率体系 .....          | 86         |
| 2.7 接入技术 .....                | 88         |
| 2.7.1 接入技术的分类 .....           | 88         |
| 2.7.2 ADSL 接入技术 .....         | 89         |
| 2.7.3 HFC 接入技术 .....          | 91         |
| 2.7.4 光纤接入技术 .....            | 93         |
| 2.7.5 移动通信接入技术 .....          | 95         |
| 小结 .....                      | 98         |
| 习题 .....                      | 98         |
| <b>第 3 章 数据链路层 .....</b>      | <b>100</b> |
| 3.1 差错产生的原因与差错控制方法 .....      | 100        |
| 3.1.1 设计数据链路层的原因 .....        | 100        |
| 3.1.2 差错产生的原因和差错类型 .....      | 101        |
| 3.1.3 误码率的定义 .....            | 102        |
| 3.1.4 检错码与纠错码 .....           | 102        |
| 3.1.5 循环冗余编码工作原理 .....        | 102        |
| 3.1.6 差错控制机制 .....            | 105        |
| 3.2 数据链路层的基本概念 .....          | 106        |
| 3.2.1 链路和数据链路 .....           | 106        |
| 3.2.2 数据链路层的主要功能 .....        | 106        |
| 3.2.3 数据链路层与网络层、物理层的关系 .....  | 107        |
| 3.3 数据链路层协议的演变与发展 .....       | 109        |
| 3.3.1 面向字符型数据链路层协议的特点 .....   | 109        |
| 3.3.2 面向比特型数据链路层协议的特点 .....   | 112        |
| 3.4 点-点协议 .....               | 115        |
| 3.4.1 PPP 协议的主要特点 .....       | 115        |
| 3.4.2 PPP 协议帧结构 .....         | 116        |
| 3.4.3 PPP 协议工作过程 .....        | 117        |
| 小结 .....                      | 120        |
| 习题 .....                      | 120        |
| <b>第 4 章 介质访问控制子层 .....</b>   | <b>121</b> |
| 4.1 局域网技术的发展与演变 .....         | 121        |
| 4.1.1 局域网技术的研究与发展 .....       | 121        |

|       |                                            |     |
|-------|--------------------------------------------|-----|
| 4.1.2 | CSMA/CD、Token Bus 与 Token Ring 的比较         | 122 |
| 4.1.3 | Ethernet 技术的研究与发展                          | 126 |
| 4.1.4 | 局域网参考模型与协议标准                               | 129 |
| 4.2   | Ethernet 基本工作原理                            | 132 |
| 4.2.1 | Ethernet 数据发送流程分析                          | 132 |
| 4.2.2 | Ethernet 帧结构                               | 136 |
| 4.2.3 | Ethernet 接收流程分析                            | 137 |
| 4.2.4 | Ethernet 网卡设计与物理地址                         | 139 |
| 4.2.5 | Ethernet 物理层标准命名方法                         | 143 |
| 4.3   | 交换式局域网与虚拟局域网技术                             | 143 |
| 4.3.1 | 交换式局域网技术                                   | 143 |
| 4.3.2 | 虚拟局域网技术                                    | 146 |
| 4.4   | 高速 Ethernet 的研究与发展                         | 151 |
| 4.4.1 | Fast Ethernet                              | 151 |
| 4.4.2 | Gigabit Ethernet                           | 152 |
| 4.4.3 | 10 Gigabit Ethernet                        | 153 |
| 4.4.4 | 40 Gigabit Ethernet 与 100 Gigabit Ethernet | 154 |
| 4.4.5 | 光以太网与城域以太网                                 | 155 |
| 4.5   | Ethernet 组网设备与组网方法                         | 156 |
| 4.5.1 | Ethernet 基本的组网方法与设备                        | 156 |
| 4.5.2 | 交换 Ethernet 与高速 Ethernet 组网方法              | 158 |
| 4.6   | 局域网互联与网桥                                   | 158 |
| 4.6.1 | 局域网互联与网桥的基本概念                              | 158 |
| 4.6.2 | 网桥的工作流程                                    | 160 |
| 4.6.3 | 生成树协议                                      | 162 |
| 4.6.4 | 网桥与中继器、集线器、交换机的比较                          | 165 |
| 4.7   | 无线局域网                                      | 167 |
| 4.7.1 | 无线局域网基本概念                                  | 167 |
| 4.7.2 | IEEE 802.11 协议的特点                          | 172 |
| 4.7.3 | IEEE 802.11 的 CSMA/CA 协议实现方法               | 180 |
| 4.7.4 | IEEE 802.11 管理帧与漫游管理                       | 185 |
| 4.7.5 | IEEE 802.11 控制帧与预约模式                       | 190 |
| 4.7.6 | IEEE 802.11 数据帧                            | 191 |
| 4.8   | IEEE 802.11 无线网络设备与 Wi-Fi 组网方法             | 196 |
| 4.8.1 | IEEE 802.11 无线网卡                           | 196 |
| 4.8.2 | IEEE 802.11 无线接入点                          | 199 |
| 4.8.3 | 统一无线网络与无线局域网控制器                            | 201 |
| 小结    |                                            | 207 |
| 习题    |                                            | 208 |



|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| <b>第 5 章 网络层</b>            | 211 |
| 5.1 网络层与 IP 协议              | 211 |
| 5.1.1 网络层基本概念               | 211 |
| 5.1.2 IP 协议的发展与演变           | 212 |
| 5.2 IPv4 协议的基本内容            | 213 |
| 5.2.1 IP 协议的主要特点            | 213 |
| 5.2.2 IPv4 分组格式             | 214 |
| 5.3 IPv4 地址                 | 219 |
| 5.3.1 IP 地址的基本概念            | 219 |
| 5.3.2 标准分类 IP 地址            | 221 |
| 5.3.3 划分子网的三级地址结构           | 225 |
| 5.3.4 无类别域间路由               | 227 |
| 5.3.5 网络地址转换                | 230 |
| 5.4 路由选择算法与分组交付             | 233 |
| 5.4.1 分组交付和路由选择的基本概念        | 233 |
| 5.4.2 路由表的建立、更新与路由选择协议      | 239 |
| 5.4.3 路由信息协议                | 240 |
| 5.4.4 最短路径优先协议              | 243 |
| 5.4.5 外部网关协议                | 248 |
| 5.4.6 路由器与第三层交换技术           | 249 |
| 5.5 Internet 控制报文协议         | 254 |
| 5.5.1 Internet 控制报文协议的作用与特点 | 254 |
| 5.5.2 ICMP 报文类型             | 256 |
| 5.5.3 Ping 与 Traceroute 命令  | 258 |
| 5.6 IP 多播与 IGMP 协议          | 260 |
| 5.6.1 IP 多播的基本概念            | 260 |
| 5.6.2 IP 多播地址               | 262 |
| 5.6.3 IGMP 协议的基本内容          | 263 |
| 5.6.4 多播路由器与 IP 多播中的隧道技术    | 264 |
| 5.7 MPLS 协议                 | 265 |
| 5.7.1 资源预留协议与区分服务           | 265 |
| 5.7.2 多协议标识交换               | 265 |
| 5.7.3 MPLS VPN 的应用          | 267 |
| 5.8 地址解析协议                  | 269 |
| 5.8.1 IP 地址与物理地址的映射         | 269 |
| 5.8.2 地址解析工作过程              | 270 |
| 5.9 移动 IP 协议                | 273 |
| 5.9.1 移动 IP 协议的基本概念         | 273 |

|              |                                 |            |
|--------------|---------------------------------|------------|
| 5.9.2        | 移动 IP 协议的设计目标与主要特征 .....        | 274        |
| 5.9.3        | 移动 IP 协议的结构与基本术语 .....          | 274        |
| 5.9.4        | 移动 IPv4 协议的基本工作原理 .....         | 276        |
| 5.9.5        | 移动 IPv4 协议中移动结点和结点主机的基本操作 ..... | 279        |
| 5.10         | IPv6 协议 .....                   | 281        |
| 5.10.1       | IPv6 协议的基本概念 .....              | 281        |
| 5.10.2       | IPv6 协议的主要特征 .....              | 281        |
| 5.10.3       | IPv6 地址 .....                   | 282        |
| 5.10.4       | IPv6 分组结构与基本报头 .....            | 284        |
| 5.10.5       | IPv4 到 IPv6 过渡的基本方法 .....       | 286        |
|              | 小结 .....                        | 289        |
|              | 习题 .....                        | 290        |
| <b>第 6 章</b> | <b>传输层</b> .....                | <b>293</b> |
| 6.1          | 传输层与传输层协议 .....                 | 293        |
| 6.1.1        | 传输层的基本功能 .....                  | 293        |
| 6.1.2        | 传输协议数据单元的基本概念 .....             | 294        |
| 6.1.3        | 应用进程、传输层接口与套接字 .....            | 295        |
| 6.1.4        | 网络环境中分布式进程标识方法 .....            | 296        |
| 6.1.5        | 传输层的多路复用与多路分解 .....             | 298        |
| 6.1.6        | TCP、UDP 协议与应用层协议的关系 .....       | 299        |
| 6.2          | 用户数据报协议 .....                   | 299        |
| 6.2.1        | UDP 协议的主要特点 .....               | 299        |
| 6.2.2        | UDP 协议报文格式 .....                | 300        |
| 6.2.3        | UDP 校验和的基本概念 .....              | 301        |
| 6.2.4        | UDP 协议适用的范围 .....               | 301        |
| 6.3          | 传输控制协议 .....                    | 302        |
| 6.3.1        | TCP 协议的主要特点 .....               | 302        |
| 6.3.2        | TCP 协议报文格式 .....                | 304        |
| 6.3.3        | TCP 连接建立与释放 .....               | 307        |
| 6.3.4        | TCP 协议滑动窗口与确认、重传机制 .....        | 311        |
| 6.3.5        | TCP 协议滑动窗口与流量控制、拥塞控制 .....      | 316        |
|              | 小结 .....                        | 324        |
|              | 习题 .....                        | 325        |
| <b>第 7 章</b> | <b>应用层</b> .....                | <b>327</b> |
| 7.1          | Internet 应用与应用层协议的分类 .....      | 327        |
| 7.1.1        | Internet 应用技术发展的三个阶段 .....      | 327        |
| 7.1.2        | C/S 模式与 P2P 模式的比较 .....         | 328        |

|       |                            |     |
|-------|----------------------------|-----|
| 7.1.3 | 应用层协议的分类                   | 330 |
| 7.2   | 域名系统                       | 332 |
| 7.2.1 | DNS 研究的背景                  | 332 |
| 7.2.2 | DNS 域名空间                   | 334 |
| 7.2.3 | 域名服务器                      | 336 |
| 7.2.4 | 域名解析                       | 337 |
| 7.2.5 | 域名系统性能优化                   | 340 |
| 7.3   | 远程登录服务与 TELNET 协议          | 340 |
| 7.3.1 | TELNET 协议产生的背景             | 340 |
| 7.3.2 | TELNET 协议基本工作原理            | 341 |
| 7.4   | 电子邮件服务与 SMTP 协议            | 341 |
| 7.4.1 | 电子邮件服务的基本概念                | 341 |
| 7.4.2 | 电子邮件服务的工作过程                | 342 |
| 7.4.3 | POP3、IMAP4 协议与基于 Web 的电子邮件 | 344 |
| 7.5   | Web 与基于 Web 的网络应用          | 346 |
| 7.5.1 | Web 服务的基本概念                | 346 |
| 7.5.2 | 超文本传输协议                    | 348 |
| 7.5.3 | 超文本标记语言                    | 351 |
| 7.5.4 | Web 浏览器                    | 353 |
| 7.5.5 | 搜索引擎                       | 355 |
| 7.6   | 即时通信与会话初始化协议               | 357 |
| 7.6.1 | 即时通信工作模型                   | 357 |
| 7.6.2 | 会话初始化协议的基本内容               | 358 |
| 7.7   | 主机配置与动态主机配置协议              | 361 |
| 7.7.1 | 动态主机配置的基本概念                | 361 |
| 7.7.2 | DHCP 的基本内容                 | 362 |
| 7.8   | 网络管理与简单网管协议                | 365 |
| 7.8.1 | 网络管理的基本概念                  | 365 |
| 7.8.2 | SNMP 协议的基本内容               | 367 |
| 7.9   | 典型应用层协议——FTP 的分析           | 371 |
| 7.9.1 | FTP 模型与测试分析环境              | 371 |
| 7.9.2 | FTP 控制连接建立过程的分析            | 374 |
| 7.9.3 | FTP 用户登录与身份验证过程的分析         | 375 |
| 7.9.4 | FTP 数据连接建立过程的协议分析          | 377 |
| 7.9.5 | FTP 数据传输过程的分析              | 379 |
| 7.9.6 | FTP 用户退出登录过程的分析            | 380 |
| 7.9.7 | FTP 连接释放过程的分析              | 382 |
| 小结    |                            | 382 |
| 习题    |                            | 383 |

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| <b>第8章 网络安全</b>               | 386 |
| 8.1 网络空间安全与网络安全的基本概念          | 386 |
| 8.1.1 网络空间安全概念的提出             | 386 |
| 8.1.2 网络空间安全理论体系              | 387 |
| 8.1.3 OSI安全体系结构               | 388 |
| 8.1.4 网络安全研究的主要内容             | 392 |
| 8.2 加密与认证技术                   | 394 |
| 8.2.1 密码算法与密码体制的基本概念          | 394 |
| 8.2.2 对称密码体系                  | 396 |
| 8.2.3 非对称密码体系                 | 397 |
| 8.2.4 公钥基础设施                  | 399 |
| 8.2.5 数字签名技术                  | 400 |
| 8.2.6 身份认证技术的发展               | 402 |
| 8.3 网络安全协议                    | 403 |
| 8.3.1 网络层安全与IPSec协议、IPSec VPN | 403 |
| 8.3.2 传输层安全与SSL、TLP协议         | 405 |
| 8.3.3 应用层安全与PGP、SET协议         | 406 |
| 8.4 网络攻击与防御                   | 409 |
| 8.4.1 网络攻击的基本概念               | 409 |
| 8.4.2 DoS攻击与DDoS攻击            | 411 |
| 8.5 入侵检测技术                    | 412 |
| 8.5.1 入侵检测的基本概念               | 412 |
| 8.5.2 入侵检测的基本方法               | 413 |
| 8.5.3 蜜罐技术的基本概念               | 415 |
| 8.6 防火墙技术                     | 415 |
| 8.6.1 防火墙的基本概念                | 415 |
| 8.6.2 包过滤路由器                  | 416 |
| 8.6.3 应用级网关的概念                | 419 |
| 8.6.4 防火墙的系统结构                | 421 |
| 8.6.5 防火墙报文过滤规则制定方法           | 424 |
| 8.7 网络安全发展的新动向                | 427 |
| 小结                            | 430 |
| 习题                            | 431 |
| <b>附录A 词汇索引</b>               | 435 |
| <b>附录B 参考答案</b>               | 444 |
| <b>参考文献</b>                   | 451 |

# 第 1 章

## 计算机网络概论

本章在介绍计算机网络形成与发展的基础上,对计算机网络的定义与分类、Internet 组成与结构、网络拓扑类型与特点,以及分组交换技术进行系统的讨论,帮助读者对计算机网络与 Internet 技术建立一个全面的认识。

### 本章教学要求

- 了解:计算机网络的形成与发展过程。
- 掌握:计算机网络的定义与分类。
- 掌握:计算机网络的组成与结构的基本概念。
- 掌握:计算机网络拓扑构型的定义、分类与特点。
- 掌握:分组交换的基本概念。
- 掌握:网络体系结构与网络协议的基本概念。

## 1.1 计算机网络的形成与发展

### 1.1.1 计算机网络发展阶段的划分

计算机网络形成与发展大致可以分为 4 个阶段。

#### 1. 第一阶段:计算机网络的形成与发展

第一阶段可以追溯到 20 世纪 50 年代。这个阶段的特点与标志性成果主要表现在:

- (1) 数据通信技术日趋成熟,为计算机网络的研究奠定了技术基础。
- (2) 分组交换概念的提出为计算机网络的形成奠定了理论基础。
- (3) ARPANET 的成功运行证明了分组交换理论的正确性。
- (4) 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。

#### 2. 第二阶段:互联网的形成与发展

第二阶段可以追溯到 20 世纪 90 年代初期。这个阶段的特点与标志性成果主要表现在:

- (1) E-mail、FTP、TELNET、DNS 等应用展现出计算机网络广阔的应用前景。
- (2) NSFNET 允许商业应用加快了 Internet 形成的速度。
- (3) Web 技术的出现促进了电子商务、电子政务、远程医疗与远程教育应用的发展。