



资深网络技术工程师、全国网管技能水平考试认证专家、国内优秀IT图书作者王达老师最新力作，51CTO技术社区鼎力推荐！

结合最新技术，全面、系统、深入阐述计算机网络的体系结构、功能实现原理和通信协议实现原理

包含近600幅图表、形象的比喻和丰富的案例，使得本书通俗易懂，极大程度地降低了读者的学习成本

**提供教学用PPT**



# 深入理解 计算机网络

Understanding Computer Networks

王达 著



机械工业出版社  
China Machine Press

华章  精品

# 深入理解 计算机网络

Understanding Computer Networks

王达 著



机械工业出版社  
China Machine Press

## 图书在版编目 (CIP) 数据

深入理解计算机网络 / 王达著. —北京: 机械工业出版社, 2013.1

ISBN 978-7-111-41188-8

I. 深… II. 王… III. 计算机网络 IV. TP393

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 009187 号

**版权所有·侵权必究**

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问 北京市展达律师事务所

本书是计算机网络领域的扛鼎之作, 由有 20 余年从业经验的优秀网络技术工程师兼全国网管技能水平考试认证专家王达老师撰写, 51CTO 技术社区鼎力推荐, 权威性毋庸置疑。内容方面, 本书结合最新计算机网络技术, 全面、系统、深入地阐述了计算机网络的体系结构、工作原理, 以及各种通信协议实现原理, 能满足读者系统和深入地学习和研究计算机网络技术的需求。阅读体验上, 近 600 幅图表、形象的比喻和丰富的案例使得本书通俗易懂, 能极大地降低学习难度。除此之外, 为了便于教师教学, 本书还提供了精心制作的教学 PPT。

全书共 11 章: 第 1 章详细介绍了数制与编码的相关知识; 第 2 章宏观地讲解了计算机网络的组成、应用、分类, 以及计算机网络的拓扑结构; 第 3 章深入地讲解了典型的计算机网络体系结构、计算机网络体系结构的通信原理和通信协议, 以及网络体系结构设计时的考虑; 第 4~7 章和第 10~11 章分别系统且深入地讲解了物理层、数据链路层、介质访问控制子层、网络层、传输层和应用层的作用、技术细节和实现原理; 第 8 章深入地探讨了 IP 地址和子网, 不仅讲解了 IPv4 相关技术, 也对最新的 IPv6 相关技术做了深入的探讨; 第 9 章系统介绍了 RIP、OSPF、IS-IS、BGP 等各种路由协议及其实现原理。

本书既适合作为想全面深入了解计算机网络技术的网络工程师们深入学习的资料和工作时的参考资料, 又适合作为各高等院校的老师和学生们系统学习计算机网络技术的教材。

机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 孙海亮

藁城市京瑞印刷有限公司印刷

2013 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

186mm×240mm·40.75 印张

标准书号: ISBN 978-7-111-41188-8

定 价: 89.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

客服热线: (010) 88378991 88361066

购书热线: (010) 68326294 88379649 68995259

投稿热线: (010) 88379604

读者信箱: hzjsj@hzbook.com



# 目 录

## 前言

### 第 1 章 数制与编码 / 1

- 1.1 数制概述 / 2
  - 1.1.1 常见数制类型及表示方法 / 2
  - 1.1.2 不同数制之间的对应关系 / 3
- 1.2 不同数制间的相互转换 / 4
  - 1.2.1 非十进制数转换成十进制数 / 4
  - 1.2.2 十进制数转换成非十进制数 / 6
  - 1.2.3 非十进制数之间的相互转换 / 9
- 1.3 二进制数运算 / 10
  - 1.3.1 二进制四则算术运算 / 11
  - 1.3.2 二进制逻辑运算 / 13
- 1.4 二进制数的表示形式 / 15
  - 1.4.1 二进制数的真值和字长 / 15
  - 1.4.2 二进制数的四种表示形式 / 16
  - 1.4.3 补码的加减法运算 / 19

### 第 2 章 计算机网络概述 / 23

- 2.1 计算机网络概述 / 24

- 2.1.1 计算机网络的定义 / 24
- 2.1.2 计算机网络的发展历史 / 25
- 2.1.3 计算机网络的基本组成 / 32
- 2.1.4 计算机网络的主要应用 / 34
- 2.2 计算机网络的分类 / 36
  - 2.2.1 按网络所覆盖的地理范围分 / 37
  - 2.2.2 按网络管理模式分 / 39
  - 2.2.3 按传输方式分 / 43
- 2.3 计算机网络拓扑结构 / 44
  - 2.3.1 网络拓扑结构相关基本概念 / 44
  - 2.3.2 星型拓扑结构 / 45
  - 2.3.3 环形拓扑结构 / 49
  - 2.3.4 总线型拓扑结构 / 54
  - 2.3.5 树形拓扑结构 / 59
  - 2.3.6 网状拓扑结构 / 60
  - 2.3.7 混合型拓扑结构 / 62
  - 2.3.8 无线局域网的两种拓扑结构 / 64
- 第 3 章 计算机网络体系结构 / 66**
  - 3.1 典型计算机网络体系结构 / 67
    - 3.1.1 OSI/RM 体系结构 / 67
    - 3.1.2 TCP/IP 协议体系结构 / 70
    - 3.1.3 局域网体系结构 / 71
    - 3.1.4 例说网络体系结构各层主要功能 / 73
    - 3.1.5 OSI/RM 和 TCP/IP 协议体系结构的比较 / 75
  - 3.2 计算机网络体系结构通信原理 / 77
    - 3.2.1 网络体系结构的数据通信原理 / 77
    - 3.2.2 网络体系结构的对等通信原理 / 79
  - 3.3 网络体系结构的设计考虑 / 82
    - 3.3.1 网络体系结构中的层次划分依据 / 82
    - 3.3.2 网络体系结构分层的好处 / 85
  - 3.4 网络体系结构中的通信协议 / 86
    - 3.4.1 理解计算机网络通信协议 / 86
    - 3.4.2 网络通信协议的三要素 / 87

## 第4章 物理层 / 89

- 4.1 物理层概述 / 90
  - 4.1.1 物理层的主要作用 / 90
  - 4.1.2 物理层所定义的特性 / 91
- 4.2 数据通信基础 / 97
  - 4.2.1 通信子网与资源子网 / 97
  - 4.2.2 数据通信系统基本模型 / 98
  - 4.2.3 数据通信的几个基本概念 / 99
  - 4.2.4 数据传输类型 / 101
  - 4.2.5 数据传输方式 / 105
  - 4.2.6 数据传输模式 / 106
  - 4.2.7 数据通信方式 / 108
- 4.3 数据传输速率与信道带宽 / 111
  - 4.3.1 传输速率与信道带宽的基本概念 / 111
  - 4.3.2 数字信号不失真传输的最大传输速率限制 / 112
  - 4.3.3 模拟信号不失真还原的最小采样频率限制 / 114
- 4.4 数字基带信号编码 / 115
  - 4.4.1 矩形脉冲数字信号基本波形 / 116
  - 4.4.2 数字基带信号的传输码型 / 119
- 4.5 信号调制与解调 / 125
  - 4.5.1 调制与解调的关键术语 / 125
  - 4.5.2 ASK 调制与解调 / 127
  - 4.5.3 FSK 调制与解调 / 130
  - 4.5.4 PSK 调制与解调 / 135
- 4.6 物理层传输介质 / 140
  - 4.6.1 导向性传输介质 / 141
  - 4.6.2 光纤结构及主要附件 / 147
  - 4.6.3 非导向介质 / 151
- 4.7 信道多路复用技术 / 152
  - 4.7.1 频分复用及其原理 / 152
  - 4.7.2 时分复用及其原理 / 154
  - 4.7.3 波分复用及其原理 / 156
- 4.8 物理层接口 / 158
  - 4.8.1 串行接口标准 / 158

- 4.8.2 RS-232 串行接口标准 / 159
- 4.8.3 其他 EIA 标准接口 / 163
- 4.8.4 X.21、X.24、X.36 和 EIA-530 接口规范 / 165

## 第 5 章 数据链路层 / 169

- 5.1 数据链路层基础 / 170
  - 5.1.1 划分数据链路层的必要性 / 170
  - 5.1.2 数据链路层结构 / 172
- 5.2 数据链路层主要功能及实现原理 / 175
  - 5.2.1 数据链路管理 / 175
  - 5.2.2 数据帧封装和透明传输 / 177
  - 5.2.3 差错控制 / 180
  - 5.2.4 流量控制 / 182
- 5.3 差错控制方案 / 183
  - 5.3.1 奇偶校验码检错方案 / 183
  - 5.3.2 循环冗余校验检错方案 / 185
  - 5.3.3 反馈检测法 / 187
  - 5.3.4 空闲重发请求方案 / 188
  - 5.3.5 连续重发请求方案 / 190
  - 5.3.6 海明纠错码 / 194
- 5.4 流量控制 / 198
  - 5.4.1 XON/XOFF 流量控制方案 / 198
  - 5.4.2 滑动窗口机制 / 199
- 5.5 面向字符的 BSC 协议 / 202
  - 5.5.1 BSC 控制字符和数据块结构 / 202
  - 5.5.2 BSC 协议数据透明传输原理 / 204
- 5.6 面向比特的 SDLC 和 HDLC 协议 / 205
  - 5.6.1 HDLC 链路结构和操作方式 / 206
  - 5.6.2 SDLC/HDLC 帧结构 / 207
  - 5.6.3 SDLC/HDLC 帧类型及其标识方法 / 210
- 5.7 面向字符的 PPP 同步传输协议 / 212
  - 5.7.1 PPP 简介 / 212
  - 5.7.2 PPP 帧结构和透明传输原理 / 213
  - 5.7.3 PPP 链路建立、使用和拆除流程 / 215
  - 5.7.4 PPP 的 PAP/CHAP 身份认证 / 216

## 5.8 数据链路层主要网络设备 / 218

- 5.8.1 计算机网卡 / 218
- 5.8.2 网桥及其工作原理 / 221
- 5.8.3 二层交换机概述 / 224
- 5.8.4 二层交换原理 / 228

## 第 6 章 介质访问控制子层 / 231

- 6.1 MAC 子层基础 / 232
  - 6.1.1 两种信道类型 / 232
  - 6.1.2 MAC 子层概述 / 234
  - 6.1.3 介质争用综述 / 235
- 6.2 CSMA 介质访问控制原理 / 237
  - 6.2.1 非-坚持算法 / 237
  - 6.2.2 1-坚持算法 / 238
  - 6.2.3 P-坚持算法 / 239
- 6.3 CSMA/CD 介质访问控制原理 / 240
  - 6.3.1 CSMA/CD 原理综述 / 241
  - 6.3.2 冲突检测原理 / 242
  - 6.3.3 冲突避让原理 / 243
  - 6.3.4 CSMA/CD 的不足 / 245
- 6.4 局域网标准及以太网帧格式 / 246
  - 6.4.1 IEEE 802 系列局域网标准 / 246
  - 6.4.2 以太网帧格式综述 / 247
  - 6.4.3 以太网 LLC 帧头部格式 / 251
  - 6.4.4 以太网 SNAP 头部格式 / 251
  - 6.4.5 以太网 MAC 帧 / 253
- 6.5 标准以太网规范及体系结构 / 255
  - 6.5.1 标准以太网规范 / 255
  - 6.5.2 标准以太网物理层结构 / 256
- 6.6 快速以太网规范及体系结构 / 258
  - 6.6.1 快速以太网规范 / 259
  - 6.6.2 快速以太网物理层结构 / 263
- 6.7 千兆以太网规范及体系结构 / 264
  - 6.7.1 千兆以太网规范 / 264
  - 6.7.2 1000Base-T 以太网技术 / 267



- 6.7.3 IEEE 千兆以太网物理层结构 / 269
- 6.8 万兆以太网规范及体系结构 / 270
  - 6.8.1 万兆以太网规范 / 270
  - 6.8.2 万兆以太网的物理层结构 / 273
- 6.9 IEEE 802.1d 协议 / 274
  - 6.9.1 理解“网络环路” / 274
  - 6.9.2 STP 简介 / 275
  - 6.9.3 STP 的基本工作原理 / 276
  - 6.9.4 STP 的不足和增强技术 / 278
- 6.10 IEEE 802.1q 协议 / 279
  - 6.10.1 划分 VLAN 的目的 / 279
  - 6.10.2 理解 VLAN 的形成和工作原理 / 280
  - 6.10.3 IEEE 802.1q 帧头部格式 / 282
- 6.11 IEEE 802.1w 协议 / 284
- 6.12 IEEE 802.1s 协议 / 286
  - 6.12.1 MSTP 简介 / 286
  - 6.12.2 MST 区域及工作原理 / 289
- 6.13 IEEE 802.1x 协议 / 291
  - 6.13.1 IEEE 802.1x 认证设备角色 / 291
  - 6.13.2 IEEE 802.1x 主机模式 / 292
  - 6.13.3 IEEE 802.1x 认证流程 / 294
- 6.14 主要 WLAN 标准与技术 / 297
  - 6.14.1 IEEE 802.11b 规范主要特性 / 298
  - 6.14.2 IEEE 802.11a 规范主要特性 / 301
  - 6.14.3 IEEE 802.11g 规范主要特性 / 303
  - 6.14.4 IEEE 802.11n 规范主要特性 / 304
  - 6.14.5 两个未正式发布的新规范简介 / 305
  - 6.14.6 其他主要 WLAN 规范 / 306
  - 6.14.7 WLAN MAC 帧格式 / 308
- 第 7 章 网络层 / 311**
  - 7.1 网络层概述 / 312
    - 7.1.1 划分网络层的必要性 / 312
    - 7.1.2 网络层主要作用 / 314
  - 7.2 网络层数据交换及相关技术 / 315

- 7.2.1 线路交换 / 316
- 7.2.2 存储-转发 / 317
- 7.2.3 虚电路分组交换 / 320
- 7.2.4 数据报分组交换 / 322
- 7.2.5 虚电路交换和数据报交换的比较 / 323
- 7.3 网络层协议及报文格式 / 324
  - 7.3.1 IP 协议基本功能 / 325
  - 7.3.2 IPv4 的不足 / 326
  - 7.3.3 IPv6 的主要优势 / 327
  - 7.3.4 IPv4 数据报头部格式 / 328
  - 7.3.5 IPv6 数据报头部格式 / 332
  - 7.3.6 IPv6 扩展报头 / 335
  - 7.3.7 IPv4 数据报的封装与解封装 / 336
  - 7.3.8 IPv4 数据报的分段与重组 / 338
  - 7.3.9 ARP 协议报文格式及 ARP 表 / 339
  - 7.3.10 ARP 地址解析原理 / 341
  - 7.3.11 ICMP 协议及报文格式 / 342
  - 7.3.12 IPv6 协议簇中的其他协议 / 345
- 7.4 路由和路由算法 / 347
  - 7.4.1 路由的分类 / 348
  - 7.4.2 路由算法基础 / 352
  - 7.4.3 路由表基础 / 355
  - 7.4.4 路由优先级 / 356
  - 7.4.5 路由算法设计目标和设计考虑 / 357
- 7.5 几种主要的路由算法解析 / 359
  - 7.5.1 最短路径路由算法 / 359
  - 7.5.2 扩散算法 / 362
  - 7.5.3 距离矢量路由算法 / 363
  - 7.5.4 链路状态路由算法 / 367
- 7.6 网络拥塞控制方法和原理 / 371
  - 7.6.1 网络拥塞控制方法 / 371
  - 7.6.2 死锁及其预防 / 374
- 7.7 网络层设备及主要技术 / 376
  - 7.7.1 路由器主要硬件技术 / 376

- 7.7.2 路由器主要软件技术 / 381
- 7.7.3 三层交换机 / 385
- 7.7.4 三层交换机硬件结构 / 386
- 7.7.5 三层交换原理 / 387
- 7.7.6 三层交换示例 / 389
- 7.7.7 三层交换机和路由器的主要区别 / 391

## 第 8 章 IP 地址和子网 / 393

- 8.1 IPv4 地址 / 394
  - 8.1.1 IPv4 地址基本格式 / 394
  - 8.1.2 子网掩码 / 395
  - 8.1.3 IPv4 地址的基本分类 / 396
  - 8.1.4 有类 / 无类 IPv4 网络 / 400
  - 8.1.5 网络地址、主机地址和广播地址 / 402
  - 8.1.6 IPv4 地址前缀表示形式 / 404
  - 8.1.7 几种特殊的 IPv4 地址 / 405
- 8.2 IPv4 子网划分与聚合 / 407
  - 8.2.1 VLSM 子网划分的基本思想 / 407
  - 8.2.2 全 0 子网与全 1 子网 / 408
  - 8.2.3 VLSM 子网划分方法 / 409
  - 8.2.4 VLSM 子网划分示例 / 410
  - 8.2.5 子网聚合方法及示例 / 413
- 8.3 IPv4 NAT 基础 / 415
  - 8.3.1 NAT 的主要应用 / 416
  - 8.3.2 与 NAT 相关的主要术语 / 416
  - 8.3.3 NAT 地址基本转换原理 / 419
  - 8.3.4 NAT 类型 / 420
- 8.4 IPv6 地址基础 / 422
  - 8.4.1 IPv6 地址表示形式 / 422
  - 8.4.2 IPv6 地址中的二进制数与十六进制转换 / 424
- 8.5 IPv6 地址类型 / 425
  - 8.5.1 IPv6 单播地址 / 426
  - 8.5.2 IPv6 组播地址 / 430
  - 8.5.3 IPv6 任播地址 / 431
  - 8.5.4 IPv6 主机和路由器地址 / 432

- 8.5.5 IPv6 地址前缀表示形式 / 433
- 8.6 IPv6 地址自动配置 / 434
  - 8.6.1 IPv6 地址自动配置的类型 / 434
  - 8.6.2 自动配置过程 / 435
- 第 9 章 路由协议及工作原理 / 437**
  - 9.1 RIP 路由协议 / 438
    - 9.1.1 RIP 路由度量机制 / 438
    - 9.1.2 RIP 路由更新机制 / 440
    - 9.1.3 RIP 路由收敛机制 / 442
    - 9.1.4 RIP 报文格式 / 445
  - 9.2 OSPF 路由协议 / 446
    - 9.2.1 OSPF 协议简介 / 446
    - 9.2.2 OSPF 的 AS 与 Area / 448
    - 9.2.3 OSPF 网络路由器类型 / 449
    - 9.2.4 DR 和 BDR / 450
    - 9.2.5 OSPF LSA 类型 / 452
    - 9.2.6 Backbone (骨干) 区域 / 454
    - 9.2.7 Stub (末梢) 区域 / 455
    - 9.2.8 Totally Stub 区域和 NSSA 区域 / 456
    - 9.2.9 OSPF 路由计算基本过程 / 458
    - 9.2.10 OSPF 报头格式 / 460
  - 9.3 IS-IS 路由协议 / 464
    - 9.3.1 ISO 网络基础 / 464
    - 9.3.2 IS-IS 路由协议基本术语 / 465
    - 9.3.3 IS-IS 路由及路由器类型 / 468
    - 9.3.4 IS-IS 与 OSPF 区域及路由器邻接关系比较 / 469
    - 9.3.5 IS-IS PDU 报头格式 / 472
    - 9.3.6 IIH PDU 包格式 / 473
    - 9.3.7 LSP PDU 包格式 / 475
    - 9.3.8 SNP PDU 包格式 / 476
    - 9.3.9 IS-IS PDU 可变字段格式 / 477
    - 9.3.10 IS-IS 的两种地址格式 / 478
    - 9.3.11 IS-IS 与 OSPF 的比较 / 480
    - 9.3.12 IS-IS 最短路径计算和路由表生成原理 / 481

9.4 BGP / 483

9.4.1 BGP 概述 / 483

9.4.2 BGP AS / 484

9.4.3 BGP 地址簇模型 / 486

9.4.4 BGP speaker 和 peer 的关系 / 488

9.4.5 BGP peer 会话建立 / 490

9.4.6 BGP 的路由属性 / 490

9.4.7 BGP 的消息类型及报文格式 / 494

**第 10 章 传输层 / 498**

10.1 传输层概述 / 499

10.1.1 划分传输层的必要性 / 499

10.1.2 传输层的端到端传输服务 / 501

10.1.3 传输层服务 / 502

10.1.4 TSAP 和 TPDU / 504

10.1.5 传输连接建立阶段的主要 TPDU / 507

10.1.6 数据传输阶段的主要 TPDU / 508

10.1.7 传输连接释放阶段的 TPDU / 512

10.1.8 传输服务原语 / 513

10.2 传输层服务功能 / 517

10.2.1 传输层寻址方案 / 517

10.2.2 传输连接建立 / 520

10.2.3 重复传输连接的解决方法 / 521

10.2.4 数据传输 / 524

10.2.5 传输连接释放 / 525

10.2.6 流量控制 / 526

10.2.7 多路复用 / 529

10.2.8 崩溃恢复 / 529

10.3 TCP 概述 / 530

10.3.1 TCP 的主要特性 / 530

10.3.2 TCP 数据段格式 / 531

10.3.3 TCP 套接字 / 534

10.3.4 TCP 端口 / 537

10.3.5 TCP 连接的状态转移 / 539

10.3.6 TCP 传输连接的建立 / 542

- 10.3.7 TCP 传输连接的释放 / 544
- 10.4 TCP 的可靠传输 / 546
  - 10.4.1 TCP 的数据段确认机制 / 547
  - 10.4.2 TCP 的超时重传机制 / 549
  - 10.4.3 TCP 的选择性确认机制 / 550
- 10.5 TCP 的流量控制 / 552
  - 10.5.1 TCP 的流量控制简介 / 552
  - 10.5.2 基于传输效率的考虑 / 554
- 10.6 TCP 的拥塞控制 / 555
  - 10.6.1 TCP 拥塞控制简介 / 555
  - 10.6.2 TCP 拥塞控制方案 / 557
- 10.7 UDP 概述 / 560
  - 10.7.1 UDP 的基础知识 / 560
  - 10.7.2 UDP 数据报头部格式 / 561
- 第 11 章 应用层 / 563**
  - 11.1 应用层概述 / 564
    - 11.1.1 应用层组件及典型应用服务 / 564
    - 11.1.2 应用层的 C/S 服务模型 / 565
  - 11.2 Web 服务基础 / 566
    - 11.2.1 Web 服务模型 / 566
    - 11.2.2 万维网的全球统一标识 / 567
    - 11.2.3 万维网文档标记 / 569
    - 11.2.4 HTML 文档类型 / 570
    - 11.2.5 HTML 文档的“三超属性” / 572
    - 11.2.6 HTTP 服务访问基本流程 / 573
    - 11.2.7 HTTP 的主要特性 / 574
    - 11.2.8 HTTP 请求报文格式 / 575
    - 11.2.9 HTTP 响应报文格式 / 577
  - 11.3 DNS 服务 / 579
    - 11.3.1 DNS 技术的引入背景 / 580
    - 11.3.2 DNS 命名方案的设计思想 / 582
    - 11.3.3 DNS 名称空间 / 583
    - 11.3.4 DNS 名称服务器 / 586
    - 11.3.5 DNS 报文格式 / 589

- 11.3.6 DNS 数据传输方式 / 593
- 11.3.7 DNS 递归解析原理 / 594
- 11.3.8 DNS 迭代解析原理 / 596
- 11.4 DHCP 服务 / 599
  - 11.4.1 BOOTP 和 DHCP 简介 / 599
  - 11.4.2 DHCP 服务的主要功能及应用环境 / 600
  - 11.4.3 DHCP 报文及其格式 / 601
  - 11.4.4 DHCP 服务的 IP 地址自动分配原理 / 604
  - 11.4.5 DHCP 服务的 IP 地址租约更新原理 / 611
  - 11.4.6 DHCP 中继代理服务 / 611
- 11.5 电子邮件服务 / 615
  - 11.5.1 电子邮件系统的基本结构 / 615
  - 11.5.2 电子邮件消息格式 / 617
  - 11.5.3 SMTP 请求命令和应答消息 / 619
  - 11.5.4 SMTP 服务的工作原理 / 623
  - 11.5.5 POP3 请求命令及应答消息 / 626
  - 11.5.6 POP3 服务的工作原理 / 628
  - 11.5.7 IMAP4 简介 / 630



# 第 1 章

## 数制与编码

本章可作为选学内容，所介绍的知识仅是为了帮助大家理解本书以后章节中涉及的二进制、八进制、十六进制的内容，特别是各种信息编码、IP 地址格式转换、MAC 地址格式转换等内容。本章的知识对于数据包分析非常有用。如果你对这些内容已掌握了，可直接跳过本章。

“数制”是“数据进制”的简称，也就是表示数据逢几进位的意思，如我们常用的十进制就是逢十进位。当然，数制的类型远不只十进制，在计算机系统中常见的还有二进制、八进制和十六进制这三种。与数制关系最密切当然就是数据编码了。数据编码主要包括原码、反码和补码三种，它们用于以不同形式表示数据，当然这主要是一些特殊的应用需求，如在进行校验和（checksum）计算时，就需要用于原码计算。反码和补码是为了在计算机中表示负数才出现的。本章的主要内容就是数制与编码的概念，以及二进制的运算和表示形式。



## 1.1 数制概述

“数制”就是“数据进制”的简称，是指数据的进位计数规则，又称“进位计数制”，简称“进制”。本节先来简单地了解一些常见的数制类型及其特点。

### 1.1.1 常见数制类型及表示方法

日常生活中我们经常使用的数是十进制的，如我们拿的3000元工资，市场1.5元/斤的菜价等。之所以称其为十进制，是因为这类数是逢十进一的。除了十进制计数以外，还有许多其他进制的计数方法。在计算机中常见的还有二进制、八进制、十六进制等制式。这三种进制的数在进行加法运算中分别是逢二、八、十六进一，这就是前面所说的进位计数规则。关于如何理解这些不同数制类型数据的加法运算，在本章后面将有专门介绍。

其实数制类型远不止这么几种，如我们以60分钟为1小时，60秒为一分钟，用的就是六十进制计数法；一天之中有24小时，用的是二十四进制计数法；而一星期有7天，用的是七进制计数法。

虽然数制类型可以有很多种，但在计算机通信中通常遇到的仍是以上提到的二进制、八进制、十进制和十六进制这四种。在一种数制中所能使用的数码的个数称为该数制的“基数”，也就是对应数制类型的名称，如二进制的基数为“2”，八进制的基数为“8”，十进制的基数为“10”，十六进制的基数也就是“16”。这里所说的“基数”其实就是前面所说的进位计算规则，如我们常见的十进制数是逢十进一，二进制数是逢二进一，……

既然有不同的数制，那么在计算机程序中给出一个数时就必须指明它属于哪一种数制，否则计算机程序就不知道该把它看成哪种数了。如12300这个数，既可能是十进制、又可能是八进制或者十六进制，所以“数”需要有专门的标志来进行区别。下面分别予以介绍。

#### (1) 十进制 (Decimal)

十进制是日常生活中常用的数制类型，基数是10，也就是它有10个数字符号，即0、1、2、3、4、5、6、7、8、9。其中最大数码是“基数”减1，即 $10-1=9$ ，最小数码是0。十进制数的标志为D，如(1250)D，也可用下标“10”来表示，如 $(1250)_{10}$ （注意是下标）。

#### (2) 二进制 (Binary)

二进制是计算机运算时所采用的数制，基数是2，也就是说它只有两个数字符号，即0和1。如果在给定的数中，除0和1外还有其他数（例如1061），那它就绝不会是一个二进制数了。二进制数的最大数码也是基数减1，即 $2-1=1$ ，最小数码也是0。二进制数的标志为B，如(1001010)B，也可用下标“2”来表示，如 $(1001010)_2$ （注意是下标）。

#### (3) 八进制 (Octal)

八进制的基数是8，也就是说它有8个数字符号，即0、1、2、3、4、5、6、7。对比十进制可以看出，它比十进制少了两个数“8”和“9”，这样当一个数中出现“8”和（或）“9”时（如23459），那它也就绝不是八进制数了。八进制数的最大数码也是基数减1，即