



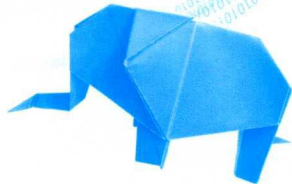
享誉国内的顶尖**网络实战专家**、多届国内**IT图书**最佳原创作者
“**网管师**”认证教材唯一指定作者**王达老师**倾心编写

新版

Computer Network
Technologies in Depth

深入理解 计算机网络

王达 著



○ 系统、专业、深入

对体系结构中各层主要功能的实现原理和主要通信协议的工作原理都进行了示例化细致剖析。

○ 化繁为简，通俗易懂

为大量晦涩的技术原理配备了令人耳目一新的形象比喻，讲解生动、示例详细、图表直观，让复杂的原理变得通俗易懂。

○ 丰富的教学/自学资源

教学PPT和配套视频课程；读者QQ群**516844263**；微信号**windanet**；微信公众号**windanetclass**。



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

深入理解计算机网络

王达 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

·北京·

内 容 提 要

本书由国内资深网络技术专家、知名 IT 图书作家、全国网管技能水平考试认证专家王达老师撰写。本书上一版上市三年多来一再重印（7 次印刷），好评不断，被许多高校选作教材，同时被许多读者认为是国内最通俗易懂、最系统的计算机网络原理类图书，甚至被一些读者赞誉“国内原创、更加通俗的《TCP/IP 详解》”。

本版是在上一版的基础上的全面重写，不仅新增了大量内容，而且结合最新技术和笔者获得的新经验对原有内容进行了全面、细致的修改，使本书内容无论在专业性、经验性还是实用性方面都得到了极大地增强。在内容方面，与上一版一样，本书仍以 TCP/IP、OSI/RM 体系结构为主线，结合当前最新的 LAN（如 2.5G 和 5G 以太网等）和 WLAN 技术（如 802.11ac 和 802.11ad 等），以类比的方式全面、系统、深入地剖析了计算机网络体系结构中各主要知识点、各层主要功能和通信协议的实现原理；在可读性方面，书中处处体现了作者扎实的专业功底和丰富的专业经验，通过许许多多生动的比喻、568 幅图表和大量的讲解示例使许多原本复杂的技术原理在作者的笔下变得简单，化枯燥于无形，同时极大地提高了学习效率。在计算机网络原理方面，本书可使你真正“一本在手，别无所求”。

本书既适合想全面、系统地学习计算机网络技术的网络管理员和网络工程师们，又适合高等院校的老师和学生们用作系统学习计算机网络技术的教材。为了让各位更好地掌握本书所讲的内容，本书为高校老师免费提供配套的 PPT，所有读者均可优惠购买配套的视频课程（60 多小时），另外提供了 492 道自测题并在书后附有参考答案，方便读者自己检验学习效果。

图书在版编目（C I P）数据

深入理解计算机网络 / 王达著. -- 北京：中国水利水电出版社，2017.1
ISBN 978-7-5170-4506-9

I. ①深… II. ①王… III. ①计算机网络 IV. ①TP393

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第149290号

策划编辑：周春元

责任编辑：张玉玲

封面设计：李 佳

书 名	深入理解计算机网络 SHENRU LIJIE JISUANJI WANGLUO
作 者	王达 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: mchannel@263.net (万水) sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)、82562819 (万水)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京万水电子信息有限公司
印 刷	三河市铭浩彩色印装有限公司
规 格	184mm×240mm 16 开本 42.5 印张 990 千字
版 次	2017 年 1 月第 1 版 2017 年 1 月第 1 次印刷
印 数	0001—4000 册
定 价	98.00 元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

本书的写作动机

本书上一版上市三年多来一再重印(7次印刷),好评不断,被许多高校选作教材,同时被许多读者认为是国内最通俗易懂、最系统的计算机网络原理类图书,甚至被一些读者赞誉为“国内原创、更加通俗的《TCP/IP 详解》”。在此借这个机会向广大读者朋友表示我最真诚的感谢。

三年多来,不仅计算机网络技术在不断革新,笔者这几年在新书创作和视频课程录制的过程中也积累了许多新的宝贵经验。另外,在这几年中,也有许多读者朋友对我提出了宝贵的建议,特别是一些高校的老师,希望我的这本书能更贴近高校教学实际。为了能使这本书更专业、更实用、更贴近高校教学实际,帮助更多读者和高校学生深入地学习计算机网络技术,笔者决定对本书上一版进行改版。

本次改版绝不是简单的修订,而是真正的全面改写,在删除上一版中与计算机网络原理关系不是特别密切的各种交换机和路由器技术原理内容的基础上,新增了大量非常重要的内容,如浮点数的运算、802.11ac、802.11ad、FTP 和 SNMP 协议工作原理等。同时对原有内容进行了全面、细致的修订,新增大量贴切、生动的比喻,使其描述更专业、更通俗易懂、更贴近实际的网络管理和网络工程工作。

本书的主要特色

本书虽然与市场上其他众多计算机网络原理类图书在主题和总体架构上是类似的,都是以计算机网络体系结构为主线而展开,但是本书却与同类图书有着非常大的不同,具有非常鲜明的特色,这也是本书上一版上市后就立即得到众多读者的大力支持和高度肯定,得到许多高校师生的欢迎,并且一直保持领先的根本原因。本书的主要特色体现在以下几个方面:

(1) 系统、专业、深入。

这绝对不是口号,而是几乎所有看过本书上一版的朋友的共识。有许多读者购买本书之前通过查看目录感觉主要的知识点与其他同类图书类似,就是不明白为什么我的这本书的篇幅却厚如此之多,几乎是它们的两倍。但在他们真正看了书中的内容后终于明白,无论在内容的系统性、通俗性,还是在专业性和深入性方面,本书远非其他同类书可比。也正因为如此,本书

上一版被许许多多读者给予了极高评价，这点大家可以在当当网、京东网等网店中查看。

说实话，这类图书其实是最难写的，没有扎实的专业功底是很难写好的。现在市场上绝大多数同类教材，要么似是什么都写到了，但基本上都停留在概念描述的层次，相当于网上“百科”，读者不可能从中得到深入的学习；要么只写了一些作者掌握的少数主要内容，读者根本无法从中进行系统的学习。

在内容系统性方面，本书几乎包括了计算机网络体系结构中所有方面的主要知识点，从最基本的数制、计算机网络基础、计算机网络体系结构的发展历程、数据通信原理，再到从最低的物理层到最高的应用层各项功能原理、主要通信协议工作原理等无所不包，最后还介绍了当前最新的技术，如 2.5G 和 5G 以太网、802.11ac 和 802.11ad WLAN 技术等；在深入性方面，本书对体系结构中各层主要功能的实现原理和主要通信协议的工作原理都进行细致的示例化剖析，这是从其他同类图书中极难获得的。

至于专业性方面那就更是困难了。有许多读者经常问我一些似是而非的问题，那都是他们从其他图书或者课程中看到的，专业人士一看就知道是错误的。其实这类现象笔者也在一些老师的课程中看到过许多，究其原因就是这些作者或老师对整个计算机网络通信原理或者一些技术原理的理解不正确、不深入。笔者这二十多年来专注的只有一个方向，那就是计算机网络。而且在这二十多年来不断学习，也出版了许多这方面的图书，对整个计算机网络通信原理有着深入的理解，同时也积累了大量独家经验，这些都是我最宝贵的财富。

(2) 化繁为简，通俗易懂。

对于一本主要介绍技术原理类的图书，如何实现通俗易懂的目的也是非常重要的，因为大多数读者是处于初级水平，甚至是零基础，如果不通俗地进行阐述读者们是无法接受的。但是要对这些复杂的技术原理一一进行通俗化的阐述也是极不容易做到的，必须建立在非常专业的基础之上，否则因为比喻不合适就可能造成读者的错误理解。

笔者写本书上一版时花了整整一年的专职时间，本版改写又花了几个月时间，尽管我以前也写过许多本同类图书。其中相当大一部分时间就是用在为各种技术原理思考合适的比喻、讲解示例和图表描述上，其目的当然是想让复杂的原理变得通俗易懂。本版图书有近百个以现实生活事件为例的比喻、568 幅图表、30 多个讲解示例，这应该都是国内同类图书所无法比拟的。

(3) 丰富的教学/自学资源。

为了更好地帮助高校老师教学，笔者为本书编制了新版教学 PPT(比上一版的内容更全面、更实用)，凭本书学生教材采购单复印件就可免费获取。另外，为了帮助广大读者朋友自学直接在各章后面附上了新编写的大量自测题(共 492 道)并在书后附有参考答案。如果你还觉得学习效率不够高，笔者还为大家准备了本书配套的视频课程(60 多小时)，可凭本书携带的“学习码”以 2 折(仅 150 元，原价 750 元)购买下载版，加入后面为大家提供的读者 QQ 群、本人微信 windanet 咨询。

本书适用的读者对象

本书的内容非常系统、通俗、专业和深入，适合各层次的读者，具体如下：

- 各高等院校的计算机网络专业学生
- 想从事各种计算机网络运维工作的朋友
- 还没有系统、深入学习计算机网络原理的朋友
- 看不懂一些同类图书的朋友
- 对原来购买的同类图书或者学校教材失望的朋友们
- 工作了好几年，技能水平却一直无法提高的朋友
- 想让自己的职业和技能水平上一个新台阶的朋友
- 整天抱怨工资太低，却不清楚自己当前技能水平的朋友

本书的服务资源

本书由王达主笔并统稿，参加编写、校验和排版的人员有：何艳辉、王珂、沈芝兰、马平、何江林、刘凤竹、卢京华、周志雄、洪武、高平复、周建辉、孔平、尚宝宏、姚学军、张磊、刘学、李翔、王娇、李敏、吴鹏飞、宋希岭、刘中洲、潘朝阳、刘伟、曾平辉、李京杨、张跃、周平辉、王新宇、王薄、韩大为、宋宝强、史鹏宇、陆伟等。

中国水利水电出版社的各位领导和编辑老师为本书出版付出了非常艰辛的劳动，在此一并表示由衷的谢意。

由于编者水平有限，尽管我们花了大量时间和精力校验，书中仍可能存在一些错误和瑕疵，敬请各位批评指正，万分感谢！

另外，本书读者可以通过以下渠道获取更多的学习资源并享受相关服务：

(1) 多个专家博客和认证微博。

51CTO 专家博客：<http://winda.blog.51cto.com>

CSDN 专家博客：http://blog.csdn.net/lycb_gz

新浪认证微博：weibo.com/winda

腾讯认证微博：t.qq.com/winda2010

(2) 视频课程中心。

51CTO 学院课程中心：http://edu.51cto.com/lecturer/user_id-55153.html

CSDN 学院课程中心：<http://edu.csdn.net/lecturer/74>

备注：大家需要我的视频课程时可直接在以上课程中心购买，也可直接向我购买下载版，还可购买下载版视频课程终身会员，获得我录制的所有视频课程。另外，我每年还将举办两期左右的华为、Cisco 或 H3C 的各类认证网上直播视频培训，可加入以下读者 QQ 群或学员 QQ 群向我了解：

- 读者和学员 QQ 群：为了能为大家提供更好的服务，同时也方便大家相互交流、学习，笔者为本书读者专门创建了一个新的 QQ 读者群：516844263。对于购买了我的视频课程的学员朋友，可加入以下两个视频课程学员 QQ 群之一：398772643 和 241903278。
- 个人微信和公众号：本人微信为 windanet，读者微信公众号为 windanetclass。凭本书学习码加入本人微信后可以 2 折（折后价 150 元，原价 750 元）购买本书配套视频课程，共计 60 多小时。还可在笔者的淘宝网店中优惠购买我的其他课程：<https://shop33132415.taobao.com/>。

II

目 录

前言

第 1 章 数制基础和机器数运算 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	4
1.2 不同数制间的相互转换	5
1.2.1 非十进制数转换成十进制数	5
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	10
1.3 机器数基础	11
1.3.1 机器数的真值	12
1.3.2 机器数的字长	12
1.4 机器数的编码形式	13
1.4.1 原码	13
1.4.2 补码	14
1.4.3 反码	15
1.4.4 阶码	16
1.4.5 移码	16
1.5 机器数的分类	17
1.5.1 定点数	18
1.5.2 浮点数	19
1.5.3 IEEE 754 浮点数的分类	20
1.5.4 IEEE 754 浮点数的计算	21
1.5.5 浮点数表示形式的转换	22

1.6 二进制数的运算	23
1.6.1 二进制数的算术运算	23
1.6.2 补码的加/减法运算	26
1.6.3 二进制数的逻辑运算	28
1.7 浮点数的加/减法运算	30
1.7.1 对阶	30
1.7.2 尾数运算	31
1.7.3 规格化处理	31
1.7.4 舍入处理	32
1.7.5 溢出处理	33
1.8 信息编码	33
1.8.1 西文编码	34
1.8.2 中文编码	35
1.9 课后自测题	36
1.9.1 填空题	36
1.9.2 选择题(可多选)	37
1.9.3 计算题	38

第 2 章 计算机网络概述 40

2.1 计算机网络综述	40
2.1.1 计算机网络的发展历史	41
2.1.2 计算机网络的基本组成	47
2.1.3 计算机网络的主要应用	49
2.2 计算机网络的分类	51

2.2.1	按网络所覆盖的地理范围分	51	3.6.1	计算机网络通信流程	102
2.2.2	按网络管理模式分	53	3.6.2	对等会话原理	103
2.2.3	按传输方式分	57	3.6.3	各层的数据传输单元	104
2.3	计算机网络拓扑结构	59	3.6.4	协议封装和解封装	105
2.3.1	网络拓扑结构相关基本概念	59	3.7	网络体系结构中的通信协议	107
2.3.2	星型拓扑结构	60	3.7.1	理解计算机网络通信协议	107
2.3.3	环型拓扑结构	64	3.7.2	网络通信协议的三要素	108
2.3.4	总线型拓扑结构	69	3.8	课后自测题	109
2.3.5	树型拓扑结构	73	3.8.1	填空题	109
2.3.6	混合型拓扑结构	74	3.8.2	选择题(可多选)	110
2.3.7	网状拓扑结构	76			
2.3.8	无线局域网的两种拓扑结构	78			
2.4	课后自测题	79			
2.4.1	填空题	79			
2.4.2	选择题(可多选)	80			
第3章 计算机网络体系结构		83	第4章 计算机网络通信基础		
3.1	计算机网络体系结构发展历程	83	4.1	数据通信系统基本模型	113
3.2	OSI/RM 体系结构	87	4.2	信号传输系统分类	114
3.2.1	OSI/RM 的七层结构	87	4.2.1	基带与频带	115
3.2.2	OSI/RM 的层次划分原则	89	4.2.2	数字基带传输系统和数字频带 传输系统	115
3.3	TCP/IP 协议体系结构	89	4.2.3	宽带传输和宽带传输系统	118
3.3.1	TCP/IP 体系结构层次	90	4.3	数据传输分类	118
3.3.2	OSI/RM 和 TCP/IP 体系结构 的比较	91	4.3.1	数据传输方式	118
3.3.3	局域网体系结构	93	4.3.2	数据传输模式	120
3.4	网络体系结构的设计考虑	94	4.3.3	数据通信模式	122
3.4.1	体系结构的设计考虑	94	4.4	数据传输速率与信道带宽	125
3.4.2	体系结构的层次划分考虑	95	4.4.1	传输速率与信道带宽的基本概念	125
3.4.3	主机系统层	96	4.4.2	数字信号不失真传输的最大传输 速率限制	126
3.4.4	体系结构分层的好处	97	4.4.3	模拟信号不失真还原的最小采样 频率限制	128
3.5	例说体系结构各层主要用途	98	4.5	矩形脉冲数字信号基本波形	129
3.5.1	各层角色的类比	98	4.5.1	单极性波形和双极性波形	129
3.5.2	各层主要作用的类比	99	4.5.2	归零码和非归零码	130
3.6	计算机网络通信原理	102	4.5.3	单极性归零码和双极性归零码	131
			4.6	数字基带信号传输码	133
			4.6.1	AMI 码的编码原理	134
			4.6.2	CMI 码的编码原理	135

4.6.3	HDB3 码的编码原理	136	5.3.5	尾纤与跳纤	182
4.6.4	曼彻斯特码的编码原理	137	5.4	串行电缆及连接器	184
4.6.5	差分曼彻斯特码的编码原理	138	5.4.1	串行接口标准概述	184
4.7	信号调制与解调	140	5.4.2	RS-232 串行接口	185
4.7.1	调制与解调的关键术语	140	5.4.3	其他 EIA 标准接口	189
4.7.2	2ASK 调制原理	142	5.4.4	X.21、X.24、X.36 和 EIA-530 接口规范	191
4.7.3	2ASK 解调原理	143	5.5	信道多路复用技术	195
4.7.4	2FSK 调制原理	145	5.5.1	频分复用及其原理	195
4.7.5	2FSK 解调原理	147	5.5.2	时分复用及其原理	198
4.7.6	2PSK 调制与解调概述	150	5.5.3	波分复用及其原理	199
4.7.7	2APSK 调制原理	150	5.6	主要 WLAN 物理层规范	201
4.7.8	2APSK 解调原理	152	5.6.1	WLAN 物理层规范概述	201
4.7.9	2DPSK 调制原理	153	5.6.2	IEEE 802.11b 规范主要特性	202
4.7.10	2DPSK 解调原理	155	5.6.3	IEEE 802.11a 规范主要特性	204
4.8	课后自测题	157	5.6.4	IEEE 802.11g 规范主要特性	207
4.8.1	填空题	157	5.6.5	IEEE 802.11n 规范主要特性	208
4.8.2	选择题(可多选)	157	5.6.6	IEEE 802.11ac 规范主要特性	209
4.8.3	综合分析题	161	5.6.7	IEEE 802.11ad 规范主要特性	210
第 5 章 物理层		162	5.7	课后自测题	211
5.1	物理层基础	162	5.7.1	填空题	211
5.1.1	物理层主要功能	163	5.7.2	选择题(可多选)	212
5.1.2	机械特性	164	第 6 章 数据链路层		215
5.1.3	电气特性	166	6.1	数据链路层基础	216
5.1.4	功能特性	169	6.1.1	划分“数据链路层”的必要性	216
5.1.5	规程特性	170	6.1.2	数据链路层的结构	218
5.1.6	传输介质分类	170	6.2	数据链路层主要功能及实现原理	221
5.2	双绞线	171	6.2.1	数据链路层服务	221
5.2.1	双绞线的分类	171	6.2.2	LLC 子层服务原语	223
5.2.2	双绞线连接器	173	6.2.3	数据链路管理	226
5.3	光缆	175	6.2.4	数据帧封装与解封装	226
5.3.1	光缆的组成	175	6.2.5	帧组装与帧同步	227
5.3.2	光纤的分类	176	6.2.6	差错控制	229
5.3.3	光纤模块	178	6.2.7	流量控制	231
5.3.4	光纤连接器	180			

6.3 差错控制方案	232	6.10.2 选择题(可多选)	279
6.3.1 奇偶校验码检错方案	232	6.10.3 计算题	283
6.3.2 循环冗余校验检错方案	234	第7章 介质访问控制子层	284
6.3.3 反馈检测法	236	7.1 MAC子层基础	285
6.3.4 空闲重发请求方案	237	7.1.1 两种信道类型	285
6.3.5 连续重发请求的回退N帧策略	239	7.1.2 MAC子层概述	287
6.3.6 连续重发请求的选择重发策略	241	7.2 CSMA介质访问控制原理	288
6.4 海明纠错码	243	7.2.1 非-坚持算法	289
6.4.1 计算校验位数	243	7.2.2 1-坚持算法	290
6.4.2 确定校验码位置	243	7.2.3 p-坚持算法	290
6.4.3 确定校验码	244	7.3 CSMA/CD介质访问控制原理	292
6.4.4 实现校验和纠错	246	7.3.1 CSMA/CD原理综述	292
6.5 流量控制	247	7.3.2 冲突检测原理	293
6.5.1 XON/XOFF流量控制方案	247	7.3.3 冲突避让原理	295
6.5.2 滑动窗口机制	248	7.3.4 CSMA/CD的不足	297
6.6 面向字符的BSC同步传输协议	251	7.4 局域网标准及以太网帧格式	297
6.6.1 BSC控制字符和数据块结构	251	7.4.1 IEEE802系列局域网标准	297
6.6.2 BSC协议数据透明传输原理	253	7.4.2 以太网帧格式综述	299
6.7 面向比特的SDLC和HDLC同步传输协议	254	7.4.3 LLC帧头部格式	302
6.7.1 HDLC链路结构和操作方式	254	7.4.4 SNAP头部格式	304
6.7.2 SDLC/HDLC帧结构	256	7.4.5 MAC帧格式	306
6.7.3 SDLC/HDLC帧类型及其标识方法	259	7.4.6 VLAN及QinQ帧格式	307
6.8 面向字符的PPP同步传输协议	261	7.5 标准以太网规范及体系结构	309
6.8.1 PPP简介	261	7.5.1 标准以太网规范	309
6.8.2 PPP帧结构和透明传输原理	262	7.5.2 标准以太网物理层结构	310
6.8.3 PPP链路建立、使用和拆除流程	264	7.6 快速以太网规范及体系结构	312
6.8.4 PPP的PAP/CHAP身份认证	265	7.6.1 快速以太网规范	312
6.9 数据链路层设备及二层交换原理	268	7.6.2 快速以太网物理层结构	317
6.9.1 计算机网卡	268	7.7 千兆以太网规范及体系结构	318
6.9.2 网桥及广播域、冲突域	271	7.7.1 千兆以太网规范	318
6.9.3 二层交换机	273	7.7.2 1000Base-T以太网技术	321
6.9.4 二层交换原理	276	7.7.3 IEEE千兆以太网物理层结构	323
6.10 课后自测题	278	7.8 万兆以太网规范及体系结构	324
6.10.1 填空题	278	7.8.1 万兆以太网规范	324

7.8.2	万兆以太网物理层结构	327	8.4.6	逆向 ARP	382
7.9	WLAN 网络架构及帧格式	329	8.5	ICMP 协议	383
7.9.1	WLAN 网络基本概念	329	8.5.1	ICMP 报文格式	383
7.9.2	WLAN 网络体系架构	331	8.5.2	ICMP 消息类型	385
7.9.3	WLAN MAC 帧格式	332	8.5.3	常见的 ICMP 应用	385
7.9.4	CSMA/CA 协议原理	335	8.6	IPv6 协议簇中的其他协议	388
7.10	课后自测题	339	8.7	路由和路由算法	390
7.10.1	填空题	339	8.7.1	路由的分类	391
7.10.2	选择题(可多选)	340	8.7.2	路由算法基础	394
第 8 章 网络层		344	8.7.3	路由表基础	397
8.1	网络层概述	345	8.7.4	路由协议优先级	398
8.1.1	划分网络层的必要性	345	8.7.5	路由算法的设计目标和设计考虑	399
8.1.2	网络层的主要作用	346	8.7.6	深入理解路由与网关的区别	401
8.2	网络层数据交换及相关技术	348	8.8	主要路由算法解析	405
8.2.1	线路交换原理	348	8.8.1	最短路径路由算法	405
8.2.2	存储-转发原理	350	8.8.2	扩散路由算法	409
8.2.3	报文交换原理	351	8.8.3	距离矢量路由算法	410
8.2.4	分组交换原理	352	8.8.4	链路状态路由算法	414
8.2.5	虚电路交换和数据报交换的比较	356	8.9	网络拥塞控制方法和原理	418
8.3	IPv4 和 IPv6 协议	357	8.9.1	网络拥塞控制方法	418
8.3.1	IP 协议基本功能	357	8.9.2	死锁及其预防	421
8.3.2	IPv4 的不足	358	8.10	三层交换机与三层交换	423
8.3.3	IPv6 的主要优势	359	8.10.1	三层交换机硬件结构	424
8.3.4	IPv4 数据报头部格式	361	8.10.2	三层交换原理	425
8.3.5	IPv6 数据报头部格式	366	8.10.3	三层交换示例	426
8.3.6	IPv6 扩展报头	368	8.11	课后自测题	429
8.3.7	IPv4 数据报的封装与解封装	369	8.11.1	填空题	429
8.3.8	IPv4 数据报的分段与重组	372	8.11.2	选择题(可多选)	430
8.4	ARP 协议	374	第 9 章 IP 地址和子网		434
8.4.1	ARP 报文格式	374	9.1	IPv4 地址	434
8.4.2	ARP 映射表	376	9.1.1	IPv4 地址基本格式	435
8.4.3	ARP 地址解析原理	377	9.1.2	几个重要概念	436
8.4.4	免费 ARP	379	9.1.3	IPv4 地址分类	437
8.4.5	代理 ARP	380	9.1.4	IPv4 地址前缀表示形式	441

9.1.5	公网/私网 IPv4 地址	442	10.1.3	传输层服务	480
9.1.6	同种特殊的 IPv4 地址	443	10.1.4	TSAP 和 TPDU	482
9.2	IPv4 子网划分与聚合	444	10.1.5	传输连接建立阶段的主要 TPDU	485
9.2.1	IPv4 子网划分的意义	444	10.1.6	数据传输阶段的主要 TPDU	487
9.2.2	VLSM 子网划分的基本思想	447	10.1.7	传输连接释放阶段的 TPDU	490
9.2.3	“全 0 子网”与“全 1 子网”	448	10.1.8	传输服务原语	491
9.2.4	广播地址的分类	449	10.2	传输层服务功能	495
9.2.5	VLSM 子网划分方法	450	10.2.1	传输层寻址方案	495
9.2.6	CIDR 子网聚合的基本思想	453	10.2.2	传输连接建立	498
9.2.7	子网聚合方法及示例	455	10.2.3	重复传输连接的解决方法	499
9.2.8	网络地址、广播地址和主机地址 的考虑	457	10.2.4	数据传输	502
9.3	IPv6 地址基础	458	10.2.5	传输连接释放	502
9.3.1	IPv6 地址表示形式	458	10.2.6	流量控制	504
9.3.2	IPv6 地址中的二进制与十六进制 转换	460	10.2.7	多路复用	507
9.3.3	IPv6 地址类型	461	10.2.8	崩溃恢复	508
9.3.4	IPv6 地址前缀表示形式	461	10.3	TCP 协议基础	508
9.4	IPv6 单播地址	462	10.3.1	TCP 主要特性	509
9.4.1	IPv6 全球单播地址	462	10.3.2	TCP 数据段格式	510
9.4.2	IPv6 本地单播地址	464	10.3.3	TCP 套接字	513
9.4.3	内嵌 IPv4 地址的 IPv6 单播地址	465	10.3.4	TCP 端口	516
9.4.4	两种特殊的 IPv6 单播地址	466	10.3.5	TCP 连接的有限状态机	518
9.5	IPv6 组播地址和任播地址	466	10.3.6	TCP 传输连接的建立	521
9.5.1	IPv6 组播地址	466	10.3.7	TCP 传输连接的释放	525
9.5.2	IPv6 任播地址	467	10.4	TCP 的可靠传输机制	527
9.5.3	IPv6 主机和路由器地址	468	10.4.1	TCP 字节编号机制	527
9.6	课后自测题	469	10.4.2	TCP 正确接收确认机制	528
9.6.1	填空题	469	10.4.3	TCP 超时重传机制	529
9.6.2	选择题(可多选)	469	10.4.4	TCP 选择确认机制	531
第 10 章 传输层		476	10.5	TCP 的流量控制	532
10.1	传输层基础	477	10.5.1	TCP 流量控制	533
10.1.1	划分传输层的必要性	477	10.5.2	传输效率的考虑	534
10.1.2	传输层的端到端传输服务	479	10.6	TCP 的拥塞控制	535
			10.6.1	TCP 拥塞控制概述	536
			10.6.2	TCP 拥塞控制的慢启动方案	538
			10.6.3	TCP 拥塞控制的拥塞避免方案	539

10.6.4	TCP 拥塞控制的快速重传/快速恢复方案	540	11.4.3	DHCP 报文及其格式	590	
10.7	UDP 协议	541	11.4.4	DHCP 服务 IP 地址自动分配原理	593	
10.7.1	UDP 协议概述	542	11.4.5	DHCP 服务 IP 地址租约更新原理	600	
10.7.2	UDP 数据报头部格式	542	11.4.6	DHCP 中继代理服务	600	
10.8	课后自测题	544	11.5	电子邮件服务	604	
10.8.1	填空题	544	11.5.1	电子邮件系统的基本结构	604	
10.8.2	选择题(可多选)	545	11.5.2	电子邮件消息格式	606	
第 11 章 应用层			550	11.5.3	SMTP 请求命令和应答消息	608
11.1	应用层概述	551	11.5.4	SMTP 服务工作原理	613	
11.1.1	应用层组件及典型应用服务	551	11.5.5	POP3 请求命令及应答消息	615	
11.1.2	应用层 C/S 服务模型	552	11.5.6	POP3 服务工作原理	618	
11.2	Web 服务基础	553	11.5.7	IMAP4 协议简介	620	
11.2.1	Web 服务模型	553	11.6	FTP 服务	621	
11.2.2	万维网的全球统一标识	554	11.6.1	FTP 服务体系结构及传输方式	621	
11.2.3	万维网文档标记	556	11.6.2	FTP 的两种工作模式	622	
11.2.4	HTML 文档类型	558	11.6.3	FTP 协议数据类型	628	
11.2.5	HTML 文档的“三超属性”	559	11.6.4	FTP 协议格式控制	630	
11.2.6	HTTP 服务访问基本流程	560	11.6.5	FTP 协议数据结构	630	
11.2.7	HTTP 的主要特性	561	11.6.6	FTP 协议传输模式	631	
11.2.8	HTTP 请求报文格式	562	11.6.7	FTP 协议操作命令	633	
11.2.9	HTTP 响应报文格式	565	11.6.8	FTP 协议响应码	635	
11.3	DNS 服务	567	11.6.9	FTP 协议身份验证	637	
11.3.1	DNS 技术的引入背景	567	11.7	SNMP 服务	638	
11.3.2	DNS 命名方案的设计思想	569	11.7.1	SNMP 协议的主要版本	638	
11.3.3	DNS 名称空间	571	11.7.2	SNMP 协议管理模型	640	
11.3.4	DNS 名称服务器	573	11.7.3	SNMPv1 报文格式	642	
11.3.5	DNS 报文格式	577	11.7.4	SNMPv2c 报文格式	645	
11.3.6	DNS 数据传输方式	581	11.7.5	SNMPv3 报文格式	647	
11.3.7	DNS 递归解析原理	582	11.7.6	SNMPv1 和 SNMPv2c 实现机制	649	
11.3.8	DNS 迭代解析原理	585	11.7.7	SNMPv3 实现机制	651	
11.4	DHCP 服务	587	11.8	课后自测题	652	
11.4.1	BOOTP 和 DHCP 简介	587	11.8.1	填空题	652	
11.4.2	DHCP 服务的主要功能及应用环境	588	11.8.2	选择题(可多选)	653	
			附录 各章课后自测题参考答案			659

1

数制基础和机器数运算

“数制”是“数据进制”或“数据制式”的简称，也就是数据逢几进一的意思，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。

本章主要介绍以上各种不同类型数制的特点及它们之间的相互转换方法、在计算机中参与运算的机器数类型（定点数和浮点数）、机器数的各种表示形式（原码、反码、补码、阶码和移码），以及它们的算术/逻辑运算方法。

本章内容是为我们学习本书以后各章涉及数制方面的内容打基础的，如后面章节中将要介绍的各种信息编码方式、IPv4/IPv6 地址格式转换、IPv4 网络地址的计算、IPv4 子网划分与聚合、MAC 地址格式转换等。另外，本章所讲内容对于我们在日常故障排除中所进行的数据包分析也是非常必要的。当然，如果你对这些内容已有掌握，可直接跳过。

本章重点与难点：

- 十进制数与非十进制数间的相互转换（要区分整数和小数部分的不同转换方法）
- 机器数的五种编码方式（原码、反码、补码、阶码和移码）
- 机器数的表示形式及存储结构
- IEEE 754 标准浮点数的计算
- 二进制数的算术、逻辑运算方法
- 补码和浮点数的加、减法运算方法

1.1 数制概述

“数制”是“数据进制”的简称，是指数据的进位计数规则，又称为“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 1 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；一星期有 7 天，用的是七进制计数法。

虽然数据制式可以有很多种，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 4 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是哪种数了（当然，在计算机及其他计算机网络设备内部都是以二进制进行运算的）。如 12300 这个数，既可能是十进制又可能说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。

（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）。也可以不加这些标志，默认就是十进制。

（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。如果在给定的一个数的表示形式中，除 0 和 1 外还有其他数（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

可以看出，它比十进制少了两个数“8”和“9”，这样当一个数的表示形式中出现“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 $8-1=7$ ，最小数码也是 0。八进制数的标志为 O 或 Q（注意它特别一些，可以有两种标志），如(4603)O（注意是字母 O，不是数字 0）、(4603)Q，也可用下标“8”来表示，如(4603)₈（注意是下标）。在 C、C++ 这类编程语言中规定，一个数如果要指明它采用八进制，必须在它前面加上一个 0，如 123 是十进制，但 0123 则表示采用八进制。

（4）十六进制（Hexadecimal）。

十六进制数用得比较少，最新的 IPv6 地址就是采用十六进制来表示的（IPv4 地址通常采用的是十进制表示）。在注册表中也会用到十六进制，所以了解十六进制还是非常必要的。

十六进制的基数是 16，也就是说它有 16 个数码，除了十进制中的 10 个数码可用外，还使用了 6 个英文字母（分别代表 10、11、12、13、14、15），这样一来，十六进制的这 16 个数码依次是 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、F（不区分大小写）。对比前面对其他几种数制的介绍可以看出：如果一个数的表示式中出现了字母，如 63AB，则一定不会是二进制、八进制或十进制，而是十六进制了。

十六进制的最大数码也是基数减 1，即 $16-1=15$ （为 F），最小数码也是 0。十六进制数的标志为 H，如(4603)H，也可用下标“16”来表示，如(4603)₁₆（注意是下标）。十六进制数也常用前缀 0x 来表示（注意是数字 0，而不是字母 O）。在 C、C++ 这类编程语言中也规定，十六进制数必须以 0x 开头。比如 0x10 表示一个十六进制数，而不是八进制或者十进制的 10。



经验之谈

既然在计算机中使用的是二进制，那为什么还要十进制、八进制和十六进制呢？其实这都不是计算机自身要求的，因为在计算机运算中全都是使用二进制。之所以还需要这些数制，完全是出于表达和识别的方便性考虑的。

因为一个较大的数用二进制表示的话就太长了，如一个 C、C++ 等编程语言中的 int（整数）类型的数据要占用 4 个字节，也就是 32 位。比如 100，用 int 类型的二进制数表达将是：0000 0000 0000 0000 0110 0100。这还是一个比较小的数，如果数更大，则会更复杂。试想一下，要写这么长，估计没几个人会喜欢，于是就有了可以更简便表示的十进制、八进制和十六进制，因为数制越大，表示一个数所需的数码位数就越少。所以，像 C、C++ 这类语言没有提供在代码中直接输入二进制数的方法，而是普遍采用八进制或十六进制。

那为什么不是其他进制类型，如九进制或二十进制呢？原因就在于 2、8、16 分别是 2 的 1 次方、3 次方、4 次方，这就使得这三种进制之间可以非常直接地互相转换。八进制或十六进制缩短了数的表示位数，但保持了二进制数的表达特点。在下面关于进制转换的介绍中你就可以发现这一点。

以上 4 种进制的基本特点比较如表 1-1 所示。

表 1-1 4 种进制的基本特点比较

数制	基数 (数码个数)	数码	表示方式
二进制	2	0、1	数后面加 B 或下标 2
八进制	8	0、1、2、3、4、5、6、7	数后面加 O 或 Q 或下标 8
十进制	10	0、1、2、3、4、5、6、7、8、9	数后面加 D 或下标 10, 也可以不加
十六进制	16	0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、F	数后面加 H 或下标 16

1.1.2 不同数制之间的对应关系

表 1-2 所示是以上介绍的二进制、十进制、八进制和十六进制这 4 种常在计算机中使用的数制的对应关系。注意, 因为八进制没有 8 和 9, 所以二进制 1000 对应的八进制是 10, 而不是想象中的 8, 二进制 1001 对应的八进制是 11, 而不是想象中的 9。这个表很重要, 大家最好全部记下来, 特别是这几种数制的对应关系, 这样可以方便以后不同数制间转换时的计算。

表 1-2 不同数制的对应关系

二进制数	对应的十进制数	对应的八进制数	对应的十六进制数
0	0	0	0
1	1	1	1
10	2	2	2
11	3	3	3
100	4	4	4
101	5	5	5
110	6	6	6
111	7	7	7
1000	8	10	8
1001	9	11	9
1010	10	12	A
1011	11	13	B
1100	12	14	C
1101	13	15	D
1110	14	16	E
1111	15	17	F