

- 中国高等职业技术教育研究会推荐
- 高职高专电子、通信类专业“十一五”规划教材

单片机原理及应用

■ 主编 陈卫兵 宋建娟
■ 主审 刘雨棣



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

□ 中国高等职业技术教育研究会推荐

高职高专电子、通信类专业“十一五”规划教材

单片机原理及应用

主 编 陈卫兵 宋建娟

副主编 束 慧 姜 源 严 飞

主 审 刘雨棣

西安电子科技大学出版社

2008

内 容 简 介

本书主要介绍了 AT89C51 的基本结构、工作原理、指令系统、中断系统, AT89C51 的程序设计、定时器/计数器设计、系统扩展方法、串行口及应用, 以及常见的输入/输出接口的应用。本书内容精练, 实例丰富, 每章后面都附有习题与思考题, 最后还给出了相关实验, 使理论与实践相结合, 希望能对读者提供一定的帮助。

本书可作为高职高专单片机原理课程教材, 亦可作为单片机相关技术人员的参考读物。

图书在版编目(CIP)数据

单片机原理及应用 / 陈卫兵, 宋建娟主编. —西安: 西安电子科技大学出版社, 2008. 7

中国高等职业技术教育研究会推荐. 高职高专电子、通信类专业“十一五”规划教材

ISBN 978 - 7 - 5606 - 2031 - 2

I. 单… II. ①陈… ②宋… III. 单片微型计算机—高等学校: 技术学校—教材 IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 055551 号

策 划 张晓燕

责任编辑 张晓燕

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

<http://www.xduph.com> E-mail: xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西光大印务有限责任公司

版 次 2008 年 7 月第 1 版 2008 年 7 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印 张 13

字 数 297 千字

印 数 1~4000 册

定 价 18.00 元

ISBN 978 - 7 - 5606 - 2031 - 2/TN · 0421

XDUP 2323001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜, 谨防盗版。

序

进入 21 世纪以来,高等职业教育呈现出快速发展的形势。高等职业教育的发展,丰富了高等教育的体系结构,突出了高等职业教育的类型特色,顺应了人民群众接受高等教育的强烈需求,为现代化建设培养了大量高素质技能型专门人才,对高等教育大众化作出了重要贡献。目前,高等职业教育在我国社会主义现代化建设事业中发挥着越来越重要的作用。

教育部 2006 年下发了《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》,其中提出了深化教育教学改革,重视内涵建设,促进“工学结合”人才培养模式改革,推进整体办学水平提升,形成结构合理、功能完善、质量优良、特色鲜明的高等职业教育体系的任务要求。

根据新的发展要求,高等职业院校积极与行业企业合作开发课程,根据技术领域和职业岗位任职要求,参照相关职业资格标准,改革课程体系和教学内容,建立突出职业能力培养的课程标准,规范课程教学的基本要求,提高课程教学质量,不断更新教学内容,而实施具有工学结合特色的教材建设是推进高等职业教育改革发展的重要任务。

为配合教育部实施质量工程,解决当前高职高专精品教材不足的问题,西安电子科技大学出版社与中国高等职业技术教育研究会在前三轮联合策划、组织编写“计算机、通信电子、机电及汽车类专业”系列高职高专教材共 160 余种的基础上,又联合策划、组织编写了新一轮“计算机、通信、电子类”专业系列高职高专教材共 120 余种。这些教材的选题是在全国范围内近 30 所高职高专院校中,对教学计划和课程设置进行充分调研的基础上策划产生的。教材的编写采取在教育部精品专业或示范性专业的高职高专院校中公开招标的形式,以吸收尽可能多的优秀作者参与投标和编写。在此基础上,召开系列教材专家编委会,评审教材编写大纲,并对中标大纲提出修改、完善意见,确定主编、主审人选。该系列教材以满足职业岗位需求为目标,以培养学生的应用技能为着力点,在教材的编写中结合任务驱动、项目导向的教学方式,力求在新颖性、实用性、可读性三个方面有所突破,体现高职高专教材的特点。已出版的第一轮教材共 36 种,2001 年全部出齐,从使用情况看,比较适合高等职业院校的需要,普遍受到各学校的欢迎,一再重印,其中《互联网实用技术与网页制作》在短短两年多的时间里先后重印 6 次,并获教育部 2002 年普通高校优秀教材奖。第二轮教材共 60 余种,在 2004 年已全部出齐,有的教材出版一年多的时间里就重印 4 次,反映了市场对优秀专业教材的需求。前两轮教材中有十几种入选国家“十一五”规划教材。第三轮教材 2007 年 8 月之前全部出齐。本轮教材预计 2008 年全部出齐,相信也会成为系列精品教材。

教材建设是高职高专院校教学基本建设的一项重要工作。多年来,高职高专院校十分重视教材建设,组织教师参加教材编写,为高职高专教材从无到有,从有到优、到特而辛勤工作。但高职高专教材的建设起步时间不长,还需要与行业企业合作,通过共同努力,出版一大批符合培养高素质技能型专门人才要求的特色教材。

我们殷切希望广大从事高职高专教育的教师,面向市场,服务需求,为形成具有中国特色和高职教育特点的高职高专教材体系作出积极的贡献。

中国高等职业技术教育研究会会长

2007 年 6 月



高职高专电子、通信类专业“十一五”规划教材

编审专家委员会名单

主任: 温希东 (深圳职业技术学院副校长 教授)

副主任: 马晓明 (深圳职业技术学院通信工程系主任 教授)

余 华 (武汉船舶职业技术学院电子电气工程系主任 副教授)

电子组组长: 余 华(兼) (成员按姓氏笔画排列)

于宝明 (南京信息职业技术学院电子信息工程系副主任 副研究员)

马建如 (常州信息职业技术学院电子信息工程系副主任 副教授)

刘 科 (苏州职业大学信息工程系 副教授)

刘守义 (深圳职业技术学院 教授)

许秀林 (南通职业大学电子系副主任 副教授)

高恭嫻 (南京信息职业技术学院电子信息工程系 副教授)

余红娟 (金华职业技术学院电子系主任 副教授)

宋 烨 (长沙航空职业技术学院 副教授)

李思政 (淮安信息职业技术学院电子工程系主任 讲师)

苏家健 (上海第二工业大学电子电气工程学院 教授)

张宗平 (深圳信息职业技术学院电子通信技术系 高级工程师)

陈传军 (金陵科技学院电子系主任 副教授)

姚建永 (武汉职业技术学院电信学院院长 副教授)

徐丽萍 (南京工业职业技术学院电气与自动化系 高级工程师)

涂用军 (广东科学技术职业学院机电学院副院长 副教授)

郭再泉 (无锡职业技术学院自动控制与电子工程系主任 副教授)

曹光跃 (安徽电子信息职业技术学院电子工程系主任 副教授)

梁长垠 (深圳职业技术学院电子工程系 副教授)

通信组组长: 马晓明(兼) (成员按姓氏笔画排列)

王巧明 (广东邮电职业技术学院通信工程系主任 副教授)

江 力 (安徽电子信息职业技术学院信息工程系主任 副教授)

余 华 (南京信息职业技术学院通信工程系 副教授)

吴 永 (广东科学技术职业学院电子系 高级工程师)

张立中 (常州信息职业技术学院 高级工程师)

李立高 (长沙通信职业技术学院 副教授)

林植平 (南京工业职业技术学院电气与自动化系 高级工程师)

杨 俊 (武汉职业技术学院通信工程系主任 副教授)

俞兴明 (苏州职业大学电子信息工程系 副教授)

项目策划: 马乐惠

策 划: 张 媛 薛 媛 张晓燕

前 言

单片机是 20 世纪 70 年代中期发展起来的一种功能强、体积小、可靠性高、价格低廉的大规模集成电路器件。作为最典型的嵌入式系统,单片机已被广泛应用于家用电器、机器人、仪器仪表、工业控制单元、办公自动化设备以及各种通信产品中,成为现代电子系统中最重要的智能化工具。因此,掌握单片机、熟悉单片机、应用单片机已成为当今科技人员的必备技能。目前,单片机技术已成为高等学校电子、计算机、机械等本专科学学生学习的重要课程之一。

培养学生的实际工作能力,缩小学生所学理论与实际工作需求之间的距离,缩短学生毕业后对实际工作岗位的适应期是当今高等教育教学,特别是工科类专业教学中非常重要的问题。本书的编写紧跟当前单片机发展应用的新动态,选用单片机主流芯片之一的 AT89C51 作为基础,在讲授基本工作原理的同时,还结合编者多年的教学和开发工作经验,给出了许多实例。本书注重实用性,并针对高职高专教学的特点突出动手能力的培养,力争做到系统、全面、深入浅出。

全书共分 10 章。第 1 章为单片机基础知识,主要讲述单片机的基本概念和基本计算原理,为进一步学习单片机打下基础。第 2 章介绍 AT89C51 的基本结构与原理。第 3 章介绍 AT89C51 指令系统。第 4 章介绍汇编语言程序设计。第 5 章介绍中断系统。第 6 章介绍定时器/计数器。第 7 章介绍 AT89C51 单片机系统扩展。第 8 章介绍串行接口及串行通信技术。第 9 章介绍输入/输出设备接口设计。第 10 章为实验与应用,可作为实验内容。本书内容精练,实例丰富,每章后面都附有习题与思考题,力求做到使读者既能掌握一定的理论基础,又能运用理论解决实际问题,使理论与实践相结合。本书在相关章节中介绍了单片机设计的常用器件以及相关程序,希望能对初学者提供一定的帮助。

本书由南通职业大学陈卫兵、宋建娟主编,束慧、姜源、严飞担任副主编。其中第 1 章由宋建娟编写;第 2、3 章由姜源编写;第 4、5、6、7 章由陈卫兵编写;第 8、10 章由束慧编写;第 9 章由严飞编写。全书由姜源统稿,束慧审稿,最后由陈卫兵定稿,并由西安航空技术高等专科学校的刘雨棣主审。

本书在编写过程中,参考了国内相关的书刊、资料,在此对相关的作者致以谢意。

由于作者水平有限,时间仓促,书中难免存在不妥之处,希望读者批评指正。

编 者

2008 年 3 月

目 录

第1章 单片机基础知识.....	1
1.1 单片机概述.....	1
1.1.1 微处理器、微型计算机和单片机的概念.....	1
1.1.2 单片机的发展状况.....	1
1.1.3 AT89C51系列单片机简介.....	2
1.2 计算机运算基础.....	3
1.2.1 各种进位制数及其特点.....	3
1.2.2 各不同进位制数之间的转换.....	5
1.2.3 二进制数的运算规则.....	7
1.3 计算机中带符号数的表示法及其运算.....	8
1.3.1 计算机中常用的基本术语.....	8
1.3.2 机器数与真值.....	8
1.3.3 原码、反码和补码.....	9
1.3.4 补码的加减运算.....	12
1.3.5 无符号数的运算.....	13
1.3.6 溢出的概念及判别.....	14
1.3.7 定点数及浮点数.....	15
1.4 计算机中数据的编码.....	16
1.4.1 8421BCD 码.....	16
1.4.2 ASCII 码.....	17
习题与思考题.....	19
第2章 AT89C51 单片机结构及原理.....	21
2.1 AT89C51 单片机的结构.....	21
2.1.1 中央处理器.....	21
2.1.2 存储器.....	25
2.1.3 I/O 端口.....	25
2.1.4 定时器/计数器.....	26
2.1.5 中断系统.....	26
2.1.6 内部总线.....	26
2.2 AT89C51 存储器.....	26
2.2.1 程序存储器.....	27
2.2.2 数据存储器.....	28

2.3 AT89C51 单片机引脚及其功能.....	32
2.3.1 I/O 端口功能.....	33
2.3.2 电源线.....	37
2.3.3 外接晶振线.....	37
2.3.4 控制线.....	37
2.4 AT89C51 单片机工作方式.....	38
2.4.1 复位方式.....	38
2.4.2 程序执行方式.....	39
2.4.3 低功耗方式.....	39
2.4.4 EPROM 编程和校验方式.....	41
2.5 AT89C51 时钟电路与时序.....	43
2.5.1 振荡器与时钟电路.....	43
2.5.2 时序.....	44
习题与思考题.....	46
第 3 章 AT89C51 指令系统	47
3.1 指令系统简介.....	47
3.1.1 计算机语言.....	47
3.1.2 汇编语言格式.....	48
3.1.3 汇编指令概述.....	49
3.2 寻址方式.....	49
3.2.1 立即数寻址.....	50
3.2.2 直接寻址.....	50
3.2.3 寄存器寻址.....	51
3.2.4 寄存器间接寻址.....	51
3.2.5 变址寻址.....	52
3.2.6 相对寻址.....	52
3.2.7 位寻址.....	52
3.3 AT89C51 指令系统.....	53
3.3.1 数据传送类指令.....	53
3.3.2 算术运算类指令.....	57
3.3.3 逻辑操作类指令.....	62
3.3.4 控制转移类指令.....	65
3.3.5 位操作类指令.....	69
习题与思考题.....	72
第 4 章 汇编语言程序设计	74
4.1 汇编语言源程序的设计与汇编.....	74
4.1.1 程序设计步骤.....	74
4.1.2 源程序的汇编.....	75
4.1.3 伪指令.....	75

4.2 汇编语言程序设计	77
4.2.1 顺序程序设计	77
4.2.2 分支程序设计	78
4.2.3 循环程序设计	81
4.2.4 子程序设计	83
4.3 实用程序举例	84
4.3.1 延时	84
4.3.2 代码转换	86
4.3.3 数据处理	88
4.3.4 算术运算	90
4.3.5 组合逻辑设计	92
习题与思考题	93
第5章 中断系统	95
5.1 中断概述	95
5.2 AT89C51 中断系统	96
5.2.1 中断源及中断向量地址	96
5.2.2 中断标志与控制	97
5.2.3 中断系统结构	100
5.2.4 中断请求的响应、撤除及返回	101
5.3 中断系统的应用	104
习题与思考题	107
第6章 定时器/计数器	108
6.1 定时器/计数器的结构及工作原理	108
6.1.1 定时器/计数器的结构	108
6.1.2 定时器/计数器的工作原理	108
6.2 定时器/计数器的控制	109
6.2.1 方式控制寄存器	109
6.2.2 工作方式	111
6.3 定时器/计数器的应用	113
6.3.1 初始化	113
6.3.2 初值的计算	113
6.3.3 应用举例	113
习题与思考题	119
第7章 AT89C51 单片机系统扩展	120
7.1 AT89C51 最小应用系统	120
7.2 AT89C51 单片机的外部扩展性能	121
7.3 程序存储器的扩展	122
7.3.1 EPROM 程序存储器概述	120
7.3.2 单片 EPROM 程序存储器的扩充	123

7.3.3 多片 EPROM 程序存储器的扩充	124
7.4 数据存储器的扩展	126
7.4.1 并行 RAM 的扩展方法	126
7.4.2 并行 E ² PROM 的扩展方法	128
7.4.3 串行 E ² PROM 的扩展方法	129
7.5 I/O 口的扩展	134
7.5.1 简单 I/O 口的扩展	134
7.5.2 可编程 I/O 口的扩展	135
习题与思考题	141
第 8 章 串行接口及串行通信技术	142
8.1 串行通信基础知识	142
8.1.1 并行通信和串行通信	142
8.1.2 异步通信和同步通信	143
8.1.3 串行通信的制式	144
8.1.4 串行通信数据的校验	145
8.2 AT89C51 的串行接口	146
8.2.1 串行接口的结构及功能	146
8.2.2 串行通信工作方式	148
8.2.3 多机通信	151
8.3 AT89C51 串行接口的应用与编程	153
8.3.1 工作方式 0 的应用	153
8.3.2 工作方式 1 的应用	155
8.3.3 工作方式 2 与工作方式 3 的应用	156
8.4 PC 机与单片机间的串行通信	158
8.4.1 RS-232C 总线标准	158
8.4.2 RS-232C 接口电路	159
习题与思考题	161
第 9 章 输入/输出设备接口设计	162
9.1 LED 显示器接口	162
9.2 键盘及其接口	163
9.2.1 键盘消抖和识别	164
9.2.2 独立式按键接口	165
9.3 专用键盘显示接口	167
9.3.1 HD7279A 的引脚说明及硬件连接	167
9.3.2 HD7279A 的控制指令	169
9.3.3 HD7279A 的时序	172
9.3.4 HD7279A 的软件编程	173
习题与思考题	175

第 10 章 实验与应用 176

 实验一 数据传送实验 176

 实验二 多字节十进制数相加 177

 实验三 双字节乘法 179

 实验四 数据排序 181

 实验五 外部中断实验 183

 实验六 定时器实验 184

 实验七 秒表实验 186

 实验八 通信实验 190

参考文献 195

第 1 章 单片机基础知识

本章首先介绍单片机相关的概念和发展状况，使读者在学习之前大致了解相应的背景知识，建立简单的印象。本章还将重点介绍计算基础知识，这是学习所有计算科学的基础，读者应熟练掌握，为后面的学习打好基础。

1.1 单片机概述

1.1.1 微处理器、微型计算机和单片机的概念

电子计算机高速发展到今天，通常可分为巨型机、大型机、中型机、小型机和微型机五类。它们在系统结构和基本工作原理方面并无本质的区别，只是在体积、性能和应用领域方面有所不同。其中微型计算机以其体积小、重量轻、功耗低、功能强、价格低、可靠性强等优点而得到广泛应用。本书重点介绍的单片机就是微型计算机的一种。为了更好地学习和掌握单片机，我们先对微型计算机的基本概念作一简单介绍。

1. 微处理器 MP(Micro Processor)

微处理器就是传统计算机的 CPU，是集成在同一块芯片上的具有运算和逻辑控制功能的中央处理器，简称 MP。它是构成微型计算机系统的核心部件。

2. 微型计算机 MC(Micro Computer)

以微处理器为核心，再配上存储器、I/O 接口和中断系统等构成的整体，称为微型计算机。它们可集中装在同一块或数块印刷电路板上，一般不包括外设和软件。

3. 微型计算机系统 MCS(Micro Computer System)

微型计算机系统是指以微型计算机为核心，配上外围设备、电源和软件等，构成能独立工作的完整的计算机系统。

4. 单片机 MCU(Micro Controller Unit)

单片机是将微处理器、存储器、I/O(Input/Output)接口和中断系统集成在同一块芯片上，具有完整功能的微型计算机，这块芯片就是其硬件。单片机的软件程序存放在片内或片外扩展的只读存储器内。由于其构成都集成在一块芯片上，故称为单片机。

1.1.2 单片机的发展状况

从 1974 年美国仙童(Fairchild)公司研制出世界上第一台微型计算机 F8 开始，单片机就以其集成度高、功能强、可靠性高、体积小、功耗低、价格廉、使用灵活方便等一系列优点得到迅速的发展，其应用也十分广泛，特别是在过程控制、智能化仪器、变频电源、集

散控制系统等方面得到了充分的应用。单片机的发展很快，每隔两三年就要更新换代一次，其发展过程大致可分为以下几个阶段。

(1) 第一代单片机(1974~1976 年): 这是单片机发展的起步阶段。这个时期生产的单片机其特点是制造工艺落后，集成度较低，而且采用双片形式，其代表产品有仙童公司的 F8 系列机和 Intel 公司的 3870 系列机。

(2) 第二代单片机(1976~1978 年): 这一阶段生产的单片机已是单块芯片，但其性能低、品种少、寻址范围有限、应用范围也不广，最典型的产品是 Intel 公司的 MCS-48 系列机。

(3) 第三代单片机(1979~1982 年): 这是 8 位单片机的成熟阶段。这一代单片机和前两代相比，不仅存储容量大、寻址范围广，而且中断源、并行 I/O 口、定时器/计数器的个数都有了不同程度的增加，同时它还新集成了全双工串行通信接口电路；在指令系统方面普遍增设了乘除和比较指令。这一时期生产的单片机品种齐全，可以满足各方面的需要，其代表产品有 Intel 公司的 MCS-51 系列机、Motorola 公司的 MC6801 系列机等。

(4) 第四代单片机(1983 年以后): 这一阶段 8 位单片机向更高性能发展，同时出现了工艺先进、集成度高、内部功能更强和运算速度更快的 16 位单片机，它允许用户采用面向工业控制的专用语言，如 C 语言等，其代表产品有 Intel 公司的 MCS-96 系列机和 NC 公司的 HPC16040 系列机等。

最近几年单片机处于 8 位机和 16 位机并行发展的状态，它们都在向高性能、高运算速度、低功耗、增加自身程序存储能力等方向发展。虽然出现了 32 位单片机，但在应用方面仍然是 8 位机和 16 位机占主导地位。

1.1.3 ATMEL89 系列单片机简介

ATMEL89 系列(以下简称 AT89)单片机是美国 ATMEL 公司生产的 8 位高性能单片机，其主要技术优势是内部含有可编程 Flash 存储器，用户可以很方便地进行程序的擦写操作，在嵌入式控制领域中被广泛应用。

AT89 系列单片机与工业标准 MCS-51 系列单片机的指令系统和引脚是兼容的，因而可替代 MCS-51 系列单片机。AT89 系列单片机可分为标准型、低档型和高档型三种类型。表 1-1 列举出 AT89 系列单片机的概况。

表 1-1 AT89 系列单片机概况

型 号	AT89C51	AT89C52	AT89C1051	AT89C2051	AT89S8252
档次	标准型		低档型		高档型
Flash/KB	4	8	1	2	8
片内 RAM/KB	128	256	64	128	256
(I/O)条	32	32	15	15	32
定时器/个	2	3	1	2	3
中断源/个	6	8	3	6	9
串行接口/个	1	1	1	1	1
M 加密/级	3	3	2	2	3
片内振荡器	有	有	有	有	有
E ² PROM/KB	无	无	无	无	2

低档型单片机的功能最弱，只能应用于要求不高的场合。高档型单片机只有一种型号 AT89S8252，其功能最强，它的主要特点在于多了一个 2 KB 的 E²PROM，从而提高了存储容量，可应用于较复杂的控制场合。标准型单片机功能较强，性价比较高，其应用也最为广泛。因此，本书将以 AT89C51 为主介绍 AT89 系列单片机。

1.2 计算机运算基础

各种类型计算机的处理对象都是数。因此，在学习单片机原理之前，首先对计算机中数的表示方法及运算规则作简要介绍。

1.2.1 各种进位制数及其特点

各种进位制数(为了叙述方便，设为 N 进制数)均有以下特点。

1. 基数

任意大小的 N 进制数最多由 N 个数码组成，数制中所使用的数码个数称为基数，因此 N 进制数的基数为 N。

例如：十进制数(Decimal Number)有 10 个数码，即 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9，基数为 10；二进制数(Binary Number)有 2 个数码，即 0、1，基数为 2；十六进制数(Hexadecimal Number)有 16 个数码，即 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、F，其中 A~F 对应于十进制数的 10~15，基数为 16。

2. 计数规则

N 进制数的基数为 N，它的加法计数规则是“逢 N 进一”。

例如：十进制数的运算规则为满十进一；二进制数的运算规则为满二进一；十六进制数的运算规则是满十六进一。

3. 权

所谓“权”，是与各位数码在数中所代表的数值大小相关的以 N 为底的幂。各位数码在 N 进制数中所处的位置不同，其所对应的“权”也不同。

例如：十进制数 965.78 各位所对应的权为

9	6	5	.	7	8
↓	↓	↓		↓	↓
10 ²	10 ¹	10 ⁰		10 ⁻¹	10 ⁻²

该数按权展开可表示为

$$965.78 = 9 \times 10^2 + 6 \times 10^1 + 5 \times 10^0 + 7 \times 10^{-1} + 8 \times 10^{-2}$$

一般地说，任意一个十进制数 D 都可以表示为

$$D = \pm(D_{n-1} \times 10^{n-1} + D_{n-2} \times 10^{n-2} + \cdots + D_1 \times 10^1 + D_0 \times 10^0 + D_{-1} \times 10^{-1} + D_{-2} \times 10^{-2} + \cdots + D_{-m} \times 10^{-m})$$

$$= \pm \sum_{i=-m}^{n-1} D_i \times 10^i \quad (1-1)$$

其中 D_i 是 0~9 中的任一个具体的数，表示 D 的第 i 位数码； m 、 n 为正整数， n 为整数部分的位数， m 为小数部分的位数； $10^{n-1}, 10^{n-2}, 10^1, \dots, 10^0, 10^{-1}, \dots, 10^{-m}$ 则为十进制数各位的“权”。

对于任意进位制数 K ，基数可以用正整数 R 来表示。这时，数 K 可表示为

$$K = \pm \sum_{i=-m}^{n-1} K_i \times R^i \tag{1-2}$$

式中 m 、 n 均为正整数； K_i 则是 0, 1, $\dots$, $(R-1)$ 中的任一个数码； R 是基数，采用“逢 R 进一”的原则进行计数，各位的权为 R^i 。

例如：二进制数：10101.11 各位所对应的权为

1	0	1	0	1	1	1
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
2^4	2^3	2^2	2^1	2^0	2^{-1}	2^{-2}

根据式(1-2)，该数按权展开为

$$\begin{aligned} (10101.11)_2 &= 1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} \\ &= 16 + 0 + 4 + 0 + 1 + 0.5 + 0.25 \\ &= (21.75)_{10} \end{aligned}$$

二进制数逢 2 进位，如：

$$(10)_2 + (11)_2 = (101)_2$$

$$(101)_2 - (11)_2 = (10)_2$$

又例如：十六进制数 A5.8 根据式(1-2)可展开成下式：

$$(A5.8)_{16} = A \times 16^1 + 5 \times 16^0 + 8 \times 16^{-1} = 160 + 5 + 0.5 = (165.5)_{10}$$

十六进制数逢 16 进位，如：

$$(39)_{16} + (98)_{16} = (D1)_{16}$$

$$(100)_{16} - (39)_{16} = (C7)_{16}$$

十进制数、二进制数、十六进制数之间存在着直接惟一的对应关系，如表 1-2 所示。

表 1-2 十进制数、二进制数、十六进制数对照表

十进制	十六进制	二进制	十进制	十六进制	二进制
0	0	0000	8	8	1000
1	1	0001	9	9	1001
2	2	0010	10	A	1010
3	3	0011	11	B	1011
4	4	0100	12	C	1100
5	5	0101	13	D	1101
6	6	0110	14	E	1110
7	7	0111	15	F	1111

一般用两种方法区别所表示数的数制。一种方法是在数的括号右下角用数字注明该数的数制，如二进制数 1010.1 可写成 $(1010.1)_2$ ，十六进制数 C8.5 可写成 $(C8.5)_{16}$ 。

另一种方法是在数字后面跟一个英文字母。通常用 B(Binary)表示二进制数, H(Hexadecimal)表示十六进制数, D(Decimal)表示十进制数。因此, 上面两个数也可写成 1010.1B、C8.5H。十进制数后的字母“D”一般可省略不写。

4. 二进制数的特点

二进制数有以下特点:

- (1) 状态简单, 凡是具有两个状态的元件都可用来表示二进制数的 0 和 1, 所以其物质基础广泛, 容易实现。
- (2) 运算规则简单, 大大地简化了计算机中的运算。
- (3) 可用布尔代数这一数学工具对计算机电路进行设计和分析, 便于对计算机结构的优化。

由于具有上述特点, 因而二进制数特别适合于计算机。但由于二进制数书写冗长, 阅读不便, 为此人们也常采用十六进制数。此外, 人们习惯于使用十进制数, 因此需要学习不同数制之间的相互转换。

1.2.2 各不同进位制数之间的转换

1. 二进制数与十进制数之间的转换

1) 二进制数转换成十进制数

我们只要将二进制数按权展开相加, 即可得到相应的十进制数。例如:

$$\begin{aligned}(1010.101)_2 &= 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} \\ &= 8 + 0 + 2 + 0 + 0.5 + 0 + 0.125 \\ &= (10.625)_{10}\end{aligned}$$

2) 十进制数转换成二进制数

十进制数转换成二进制数时, 整数和小数分开转换。

(1) 十进制整数的转换。

方法一: 采用“除 2 取余”法, 即将十进制整数反复除以 2, 直至商等于 0 为止, 然后将所得的一系列余数按逆序排列, 即为所求的二进制整数。

【例 1.1】 $(38)_{10} = (100110)_2$

2 38	……余数为 0	$K_0 = 0$	最低位 ↑ 最高位
2 19	……余数为 1	$K_1 = 1$	
2 9	……余数为 1	$K_2 = 1$	
2 4	……余数为 0	$K_3 = 0$	
2 2	……余数为 0	$K_4 = 0$	
2 1	……余数为 1	$K_5 = 1$	
0			

方法二: 采用“减幂”法, 即将十进制整数不断减去 2 的最高次幂, 直至差值等于 0 为止。若该十进制数中包含一个 2^N , 则该位为 1, 否则为 0。然后将每次减得的 2 的最高次幂排列起来, 即为所求的二进制整数。

【例 1.2】 $(38)_{10} = (100110)_2$

$$\begin{array}{r}
 38 \\
 - 32 \quad \dots\dots 2^5 \\
 \hline
 6 \\
 - 4 \quad \dots\dots 2^2 \\
 \hline
 2 \\
 - 2 \quad \dots\dots 2^1 \\
 \hline
 0
 \end{array}$$

(2) 十进制小数的转换。与整数部分的运算类似，十进制小数部分也有两种转换方法。

方法一：采用“乘2取整”法，即将十进制小数反复乘以2，直至所剩小数部分等于零为止，然后将每次所得整数按顺序排列即为所求的二进制小数。如果所求的结果永不为零，可根据精度要求用“0舍1入”的方法进行取舍。

方法二：采用“减幂”法，将小数部分不断减去2的最高次幂，直至所剩小数部分等于0为止。若该数中包含一个 2^{-i} ，则该位为1，否则为0。如果所求的结果永不为0，则根据精度要求用“0舍1入”的方法进行取舍。

【例 1.3】 $(0.625)_{10} = (0.101)_2$

0.625			
× 2	……整数部分	$1K_1=1$	最高位 ↓ 最低位
1.250	……整数部分	$0K_2=0$	
× 2	……整数部分	$1K_3=1$	
0.500			
× 2			
1.000			

(乘2取整法)

$$(0.75)_{10} = (0.11)_2$$

$$\begin{array}{r}
 0.75 \\
 - 0.5 \quad \dots\dots 2^{-1} \\
 \hline
 0.25 \\
 - 0.25 \quad \dots\dots 2^{-2} \\
 \hline
 0
 \end{array}$$

(减幂法)

对于既有整数部分又有小数部分的十进制数，只要按上述方法分别转换，然后合并起来即可。例如：十进制数 38.75 转换结果为 $(38.75)_{10} = (100110.11)_2$ 。

2. 二进制数与十六进制数之间的转换

1) 二进制数转换为十六进制数

由于数 16 与数 2 之间的关系为 $2^4 = 16$ ，因而四位二进制数对应一位十六进制数。根据这个关系，对于二进制数整数部分的转换，从小数点开始依次向左每四位为一节，最后不足四位的前面补 0；小数部分由小数点向右，每四位为一节，最后不足四位的后面补 0。然后把每四位二进制数用所相应的一位十六进制数代替，即转换成十六进制数。

【例 1.4】 $(10001111011011.111010)_2 = (23DB.E8)_{16}$

0010	0011	1101	1011	. 1110	1000
↓	↓	↓	↓	↓	↓
2	3	D	B	. E	8