

单片微型机 (第五版) 原理、应用与实验

张友德 赵志英 涂时亮 · 编著



复旦大学出版社

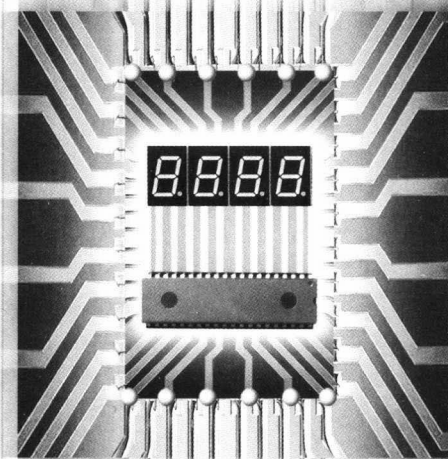
www.fudanpress.com.cn

TP368.1/49=2

2006

单片微型机 (第五版) 原理、应用与实验

张友德 赵志英 涂时亮 · 编著



 复旦大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

单片微型机原理、应用与实验/张友德,赵志英,涂时亮编著.
—第五版. —上海:复旦大学出版社,2006. 10
ISBN 978-7-309-05149-0

I. 单… II. ①张…②赵…③涂… III. 单片微型计算机
IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 100780 号

单片微型机原理、应用与实验(第五版)

张友德 赵志英 涂时亮 编著

出版发行 复旦大学出版社 上海市国权路 579 号 邮编 200433
86-21-65642857(门市零售)
86-21-65100562(团体订购) 86-21-65109143(外埠邮购)
fupnet@fudanpress.com http://www.fudanpress.com

责任编辑 梁 玲

总 编 辑 高若海

出 品 人 贺圣遂

印 刷 上海申松立信印刷厂

开 本 787×1092 1/16

印 张 22.25

字 数 539 千

版 次 2008 年 1 月第五版第三次印刷

印 数 10 201—15 300

书 号 ISBN 978-7-309-05149-0/T·306

定 价 36.00 元

如有印装质量问题,请向复旦大学出版社发行部调换。

版权所有 侵权必究

前 言

单片机是指在一个芯片上集成了中央处理器、存储器和各种 I/O 接口的微型计算机 (MCU), 它主要面向控制性应用领域, 因此又称为嵌入式微控制器 (Embedded Microcontroller)。单片机诞生 30 多年以来, 其品种、功能和应用技术都得到飞速的发展, 单片机的应用已深入国民经济和日常生活的各个领域。

在培养电子应用产品设计工程师的各个大专院校电子类专业, 已将“单片机”作为一门必修课程。《单片机原理、应用与实验》一书作为教材已沿用了 10 多年, 虽经几次修订, 由于作者时间关系, 未作大的变动, 其内容跟不上单片机发展。应读者要求, 这次再版作者花很多时间, 根据单片机教学和产品开发经验, 兼顾教学上的循序性、内容的系统性和先进性, 对本书进行了全面的改写。

自从 Intel 公司推出 MCS-51 单片机以来, 世界上许多著名的半导体厂商都开发了这个系列的新产品, 形成了一个品种众多、功能齐全的 51 单片机系列产品, 国内外的 51 开发工具得到相当的普及和提高, 使 51 单片机成为教学和应用的典型产品。

本书选用 ATMELE 公司中档产品 89C52 作为典型产品来阐明单片机的一般原理和应用技术, 但不局限于该产品, 内容上反映了单片机的新部件和新技术, 原理上具有普遍性。书中不带 * 部分自成系统为基本内容, 可作为大中专教学内容。带 * 部分的章节和例题是深层的原理论述和应用技术介绍, 连同基本内容可以作为本科生的教材。

全书分 10 章。第 1 章介绍单片机的基本部件、基本概念、基础知识和典型产品; 第 2 章介绍单片机的系统结构; 第 3 章介绍 51 指令系统和汇编语言程序设计方法; 第 4 章介绍单片机的功能模块的工作原理、应用技术与应用实例; 第 5 章介绍系统扩展、设备接口技术和编程方法; 第 6 章介绍常用程序的算法、流程和程序设计; 第 7 章概括介绍标准 C 知识, 重点阐述 C51 对标准 C 扩展的内容, 以典型实例介绍 C51 的程序设计方法; 第 8 章介绍单片机应用系统的硬件、软件、可靠性设计方法, 以及调试工具和调试方法; 第 9 章介绍了典型的实验设备; 第 10 章编排了适用于各层次对象的 16 个实验。

本书由张友德主编, 涂时亮、赵志英参与第 3、第 5、第 6 章的编写, 并审阅了全书。杨胜球、薛剑虹曾为本书出版做了大量工作, 陈章龙教授、丁荣源先生、梁玲博士对本书提了很多指导性意见, 在此一并表示谢意。

编 者

2006 年 5 月

目 录

第 1 章 单片机基础知识	1
§ 1.1 概述	1
1.1.1 计算机	1
1.1.2 微型计算机	2
1.1.3 单片机	2
1.1.4 嵌入式系统	3
§ 1.2 单片机中数的表示方法	3
1.2.1 数制及其转换	3
1.2.2 BCD 码	6
1.2.3 ASCII 码	6
1.2.4 单片机中数的表示方法	7
§ 1.3 单片机的内部结构	11
1.3.1 中央处理器 CPU	11
1.3.2 单片机中的数据运算	12
1.3.3 单片机的存贮器	16
1.3.4 单片机的输入/输出接口(I/O)	17
§ 1.4 典型单片机产品	18
1.4.1 单片机的类型和特性	18
1.4.2 典型的单片机产品	18
§ 1.5 单片机的应用和应用系统结构	21
1.5.1 单片机的应用	21
1.5.2 单片机应用系统的结构	22
习题	23
第 2 章 51 系列单片机系统结构	24
§ 2.1 总体结构	24
2.1.1 51 系列单片机一般的总体结构	24
2.1.2 89C52 的总体结构	24
§ 2.2 存贮器组织	27
2.2.1 程序存贮器	28
2.2.2 内部 RAM 数据存贮器	29
2.2.3 特殊功能寄存器	30
2.2.4 位地址空间	31

2.2.5 外部 RAM 和 I/O 口	33
§ 2.3 时钟、时钟电路、CPU 定时	33
§ 2.4 复位和复位电路	36
2.4.1 外部复位	37
* 2.4.2 内部复位	38
2.4.3 系统复位	38
§ 2.5 中断系统	39
2.5.1 中断概念	39
2.5.2 89C52 中断系统	39
2.5.3 外部中断触发方式选择	44
* 2.5.4 51 系列其他单片机的中断系统	44
习题	45
第 3 章 51 系列指令系统和程序设计方法	46
§ 3.1 指令格式和常用的伪指令	46
§ 3.2 寻址方式	48
§ 3.3 程序状态字和指令类型	50
§ 3.4 数据传送指令	51
3.4.1 内部数据传送指令	51
3.4.2 累加器 A 与外部数据存储器传送指令	55
3.4.3 查表指令	55
§ 3.5 算术运算指令	56
3.5.1 加法指令	56
3.5.2 减法指令	59
3.5.3 乘法指令	60
3.5.4 除法指令	61
§ 3.6 逻辑运算指令	61
3.6.1 累加器 A 的逻辑操作指令	61
3.6.2 两个操作数的逻辑操作指令	63
§ 3.7 位操作指令	65
3.7.1 位变量传送指令	65
3.7.2 位变量修改指令	66
3.7.3 位变量逻辑操作指令	66
§ 3.8 控制转移指令	67
3.8.1 无条件转移指令	67
3.8.2 条件转移指令	69
3.8.3 调用和返回指令	71
§ 3.9 程序设计方法	74

3.9.1 程序设计的步骤	74
3.9.2 程序框图和程序结构	74
3.9.3 循环程序设计方法	76
3.9.4 子程序设计和参数传递方法	81
习题	86
第4章 51系列单片机的功能模块及其应用	91
§4.1 并行口及其应用	91
4.1.1 P1口	92
4.1.2 P3口	93
4.1.3 P2口	94
4.1.4 P0口	95
4.1.5 并行口的应用——蜂鸣器、可控硅的接口和编程	96
4.1.6 并行口的应用——拨码盘的接口和编程	98
4.1.7 并行口的应用——4×4键盘的接口和编程	100
* 4.1.8 并行口的应用——串行接口器件的接口和编程	102
§4.2 定时器及其应用	104
4.2.1 定时器的一般结构和工作原理	104
4.2.2 定时器 T0、T1 的功能和使用方法	106
* 4.2.3 定时器 T0 的应用——定时中断控制可控硅导通角	113
4.2.4 定时器 T2 的功能和使用方法	115
* 4.2.5 T2 的应用——定时读键盘	118
* 4.2.6 T2 捕捉方式应用——测量脉冲周期	121
* 4.2.7 可编程的计数器阵列(PCA)的功能和使用方法	123
* 4.2.8 PCA 的应用——软件控制的双积分 A/D	131
§4.3 串行接口 UART	131
4.3.1 串行接口的组成和特性	132
4.3.2 串行接口的工作方式	133
4.3.3 波特率	137
4.3.4 多机通信原理	139
4.3.5 串行口的应用和编程	140
4.3.6 RS-232C 总线和电平转换器	144
* 4.3.7 RS-422/485 通信总线和发送/接收器	146
* §4.4 8XC552 的 A/D 转换器	147
4.4.1 A/D 转换器功能和使用方法	147
4.4.2 A/D 的应用	151
§4.5 节电方式	151
4.5.1 节电方式操作方法	151

4.5.2 节电方式的应用	153
§4.6 89C52 FLASH 程序存储器	155
4.6.1 89C52 FLASH 程序存储器的编程操作	155
* §4.7 其他功能模块简介	159
4.7.1 液晶显示器(LCD)驱动器	159
4.7.2 串行外围接口 SPI	160
4.7.3 I ² C 串行总线口	161
4.7.4 控制器局域网(CAN)接口	162
4.7.5 其他	162
习题	162
第5章 单片机接口技术	165
§5.1 51 系列单片机并行扩展原理	165
5.1.1 大系统的扩展总线和扩展原理	165
5.1.2 紧凑系统的扩展总线和扩展原理	168
5.1.3 海量存储器系统地址译码方法	170
§5.2 程序存储器扩展	170
5.2.1 常用 EPROM 存储器	170
5.2.2 程序存储器扩展方法	172
§5.3 数据存储器扩展	172
5.3.1 常用 RAM 芯片	172
5.3.2 RAM 存储器扩展方法	173
§5.4 RAM/IO 扩展器 8155 的接口技术和应用	174
5.4.1 RAM/IO 扩展器 8155 的接口技术	174
5.4.2 8155 的应用——七段发光显示器的接口和编程	179
5.4.3 8155 的应用——键盘接口和编程	184
§5.5 并行接口 8255A 的接口技术和应用	190
5.5.1 8255A 的接口和编程	190
* 5.5.2 8255A 的应用——液晶显示模块 LCM 的接口和编程	199
§5.6 74 系列器件的接口技术和应用	207
5.6.1 用 74HC245 扩展并行输入口	207
5.6.2 用 74HC377 扩展并行输出口	207
* 5.6.3 74HC377 的应用——点阵式发光显示屏的接口和编程	208
§5.7 A/D 器件接口技术	210
5.7.1 8 路 8 位 A/D ADC0809 的接口和编程	210
5.7.2 12 位 A/D AD574 的接口和编程	211
* §5.8 模拟串行扩展技术	214
5.8.1 I ² C 时序模拟	214

5.8.2 SPI 时序模拟	216
习题	218
第 6 章 汇编语言常用程序设计	219
§ 6.1 定点数运算程序	219
§ 6.2 查表程序	228
§ 6.3 数制转换程序	234
§ 6.4 输入/输出处理程序	236
习题	248
第 7 章 C51 程序设计	250
§ 7.1 C51 程序的结构和特点	250
7.1.1 C51 程序的结构	250
7.1.2 C51 的字符集、标识符与关键字	251
§ 7.2 C51 数据类型	252
7.2.1 C51 数据类型	252
7.2.2 常量	252
7.2.3 变量	254
7.2.4 存储器类型和存储模式	254
7.2.5 C51 扩展的数据类型	255
7.2.6 绝对地址访问	256
§ 7.3 运算符和表达式	257
7.3.1 算术运算符和算术表达式	257
7.3.2 位运算符和位运算	258
7.3.3 赋值运算符和赋值表达式	259
7.3.4 逗号运算符和逗号表达式	260
§ 7.4 C51 语句和结构化程序设计	260
7.4.1 C51 语句和程序结构	260
7.4.2 表达式语句、复合语句和顺序结构程序	260
7.4.3 选择语句和选择结构程序	261
7.4.4 循环语句和循环结构程序	263
§ 7.5 C51 的数组、结构、联合	265
7.5.1 数组	265
7.5.2 结构	267
7.5.3 联合	268
§ 7.6 指针	268
7.6.1 定义指针变量	268
7.6.2 指针变量的引用	269

§ 7.7 函数和中断函数	270
7.7.1 函数的定义	270
7.7.2 函数的调用	271
7.7.3 C51 函数的参数传递	271
7.7.4 中断函数	272
7.7.5 局部变量和全局变量	273
7.7.6 变量的存贮种类	273
§ 7.8 预处理命令、库函数	274
7.8.1 预处理命令	274
7.8.2 C51 的通用文件	275
7.8.3 C51 的库函数	276
§ 7.9 C51 程序设计	278
7.9.1 注意事项	278
7.9.2 C51 程序设计实例之一——定时扫描显示器、读键盘程序	279
7.9.3 C51 程序设计实例之二——EXR_B_A 实验板综合控制程序	287
习题	291
第 8 章 单片机应用系统研制	293
§ 8.1 系统设计	294
8.1.1 总体设计	294
8.1.2 硬件设计	294
8.1.3 软件设计	296
§ 8.2 开发工具及系统调试	299
习题(讨论题)	301
第 9 章 单片机实验设备	302
§ 9.1 单片机的实验和设备	302
§ 9.2 EXP51-Ⅱ 单片机实验仪	302
9.2.1 EICE51 的结构和功能	302
9.2.2 操作命令使用方法	303
§ 9.3 实验板	310
9.3.1 硬件基础实验板 EBA(EXR_BOARD_A)	310
9.3.2 通用硬件实验板 EBB(EXR_BOARD_B)	310
第 10 章 单片机实验	314
§ 10.1 软件实验	314
10.1.1 实验一 定时器定时实验	314
* 10.1.2 实验二 电子钟实验(定时器、串行口、中断综合实验)	315



10.1.3	实验三	程控扫描和定时扫描显示器实验	317
10.1.4	实验四	键盘实验	319
10.1.5	实验五	串行口通信实验	321
§ 10.2	硬件基础实验		322
10.2.1	实验一	外部中断和 P1 口应用——开关指示灯实验	322
10.2.2	实验二	T0 外部事件计数和定时方式实验	323
10.2.3	实验三	定时器 T0 方式 1 中断应用——定时发光发声实验	325
10.2.4	实验四	0809 A/D 实验	326
10.2.5	实验五	T0 方式 2 应用——软件产生 PWM 信号控制电机 转速实验	327
* 10.2.6	实验六	EBA 板系统综合实验	330
* § 10.3	应用实验		331
10.3.1	实验一	串行扩展时序模拟——时钟和静态显示器实验	331
10.3.2	实验二	定时扫描键盘输入实验	332
10.3.3	实验三	转速测量和 A/D 控制电机转速实验	334
10.3.4	实验四	显示时间的复杂路口交通灯控制实验	338
10.3.5	实验五	EBB 板系统综合实验	340
10.3.6	实验六	参考实验	342
附录			343
附录 1		C 语言运算符优先级和结合性	343
附录 2		EICE51 实验示范程序存贮地址	334
参考文献			345

第 1 章 单片机基础知识

§ 1.1 概 述

1.1.1 计算机

电子计算机是一种高速而精确地进行各种数据处理的机器,俗称电脑,这是人类生产和科学技术发展的产物,它的出现又有力地推动了生产力的发展。

世界上第一台电子计算机是在 1946 年由美国宾夕法尼亚大学的 J. W. Mauchly 和 J. P. Eckert 研制成的 ENIAC 计算机,这台计算机用了 18 800 只电子管、1 500 个继电器,重 30 吨,占地 150 平方米,加法每秒 5 000 次,乘法每秒 56 次。现在看来性能并不好,但正是它开创了一个全新的计算机时代。目前计算机已应用到各个领域,当代社会、家庭已离不开计算机。

自从计算机诞生以来,经历了电子管、晶体管、集成电路、大规模集成电路、超大规模集成电路的发展历程,但计算机组成的基本部件没有太大变化。一个计算机系统由硬件和软件组成。硬件包括运算器、控制器、存贮器和输入/输出设备。图 1-1 为电子计算机硬件结构示意图。

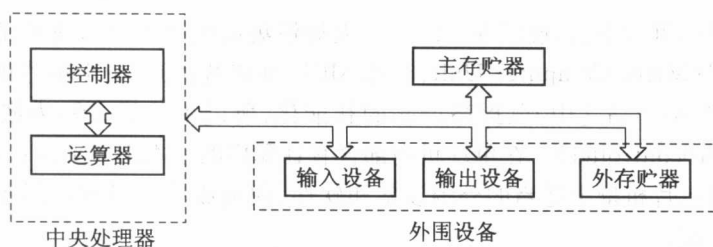
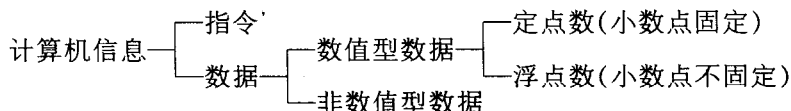


图 1-1 电子计算机硬件结构示意图

图 1-1 中运算器是数据处理部件,控制器是协调整个计算机操作的部件,运算器和控制器是计算机硬件的核心,称为中央处理器 CPU(central processing unit)。存贮器是存放原始数据和计算结果的部件,输入输出设备是将原始数据和程序输入到计算机和给出数据处理结果的部件。

计算机系统各类程序及文件统称为软件。它包括使系统自动工作或提高计算机工作效率的系统软件和实现某一应用目标的应用软件。软件是计算机系统工作的“灵魂”。

计算机的工作也可以认为是信息加工过程。计算机中的信息是指数据或指令,它们是以一定的编码形式表示的,其意义各不相同,大致可分为:



1.1.2 微型计算机

随着半导体技术的发展,20 世纪 70 年代出现了由一个大规模集成电路组成的中央处理器,称为微处理器(μP),同时出现了多种类型的大容量半导体存储器,各种 IO 接口

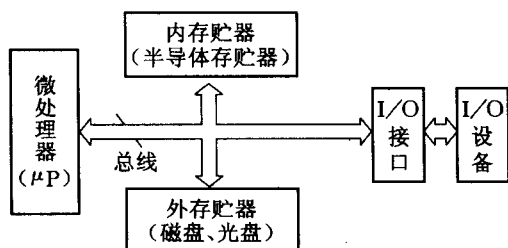


图 1-2 微型计算机结构

电路,输入输出设备的种类、功能、体积也发生了根本性变化,由微处理器、半导体存储器 and 新型的 IO 接口和设备组成的各种微型计算机相继出现。图 1-2 给出了微型计算机的一般结构。

微型计算机中的微处理器通过总线和外部的存储器、IO 接口相连,可以由多块印制板组成(主机板和显示卡、声卡等各种 IO 接口板),也可以由一块印制板组成(所有集成块安

装在一块印制板上),外形有柜式机、台式机和笔记本电脑。微型计算机的出现极大地推动了计算机的普及。

1.1.3 单片机

在微处理器问世后不久,便出现了以一个大规模集成电路为主组成的微型计算机——单片微型计算机(Micro Computer Unit,简称 MCU 或单片机)。由于单片机面向控制性应用领域,嵌入到各种产品之中,以提高产品的智能化,所以单片机又称为嵌入式微控制器(Embedded Microcontroller)。在单片机内部含有计算机的基本功能部件:CPU、存储器、各种接口电路。给单片机配上适当的外围设备和软件,便构成单片机的应用系统。单片机的发展经历 3 个阶段:

一、20 世纪 70 年代为单片机的初级阶段

这个阶段以 Intel 公司的 MCS-48 系列单片机为典型代表。因受工艺和集成度限制,单片机中的 CPU 功能低、存储器容量小、IO 接口的种类和数量少,只能用在简单场合。

二、20 世纪 80 年代为单片机的成熟阶段

这个阶段以 Intel 的 MCS-51、MCS-96 系列单片机为典型代表。出现了性能较高的 8 位和 16 位单片机。提高了 CPU 的功能、扩大了存储器的容量、增加了 IO 接口种类和数量,单片机内包含了异步串行口、A/D、多功能定时器等特殊 IO 电路。单片机应用也得到了推广。

三、20 世纪 90 年代至今为单片机高速发展阶段

世界上著名半导体厂商不断推出各种新型的 8 位、16 位和 32 位单片机,单片机的性能不断完善,品种大量增加,在功能、功耗、体积、价格等方面能满足各种复杂的或简单的应用场合需求,单片机应用深入到各行业和消费类的电子产品中。

1.1.4 嵌入式系统

嵌入式系统(embedded system)是一种新型的以产品为对象的结构特殊的计算机系统,是将计算机嵌入到应用产品之中的系统。它将计算机的硬件技术、软件技术、通信技术、微电子技术等先进技术和具体应用对象相结合,达到提升产品功能的目的。

嵌入式系统硬件由嵌入式处理器和适应应用对象的 I/O 接口和设备组成。对于高档的嵌入式系统(如手机、机顶盒等)要求处理速度快、存储器容量大、I/O 功能强,一般选用 32 位 RISC 处理器或单片机。对于大量低端嵌入式系统主要选用 8 位单片机。因此 8 位单片机应用系统为低档的嵌入式系统。

§ 1.2 单片机中数的表示方法

1.2.1 数制及其转换

一、进位计数制

进位计数制可概括如下:

- 有一个固定的基数 r , 数的每一位只能取 r 个不同的数字, 即符号集是 $\{0, 1, 2, \dots, r-1\}$;
- 逢 r 进位, 它的第 i 个数位对应于一个固定的值 r^i , r^i 称为该位的“权”。小数点左面各位的权是基数 r 的正次幂, 依次为 $0, 1, 2, \dots, m$ 次幂, 小数点右面各位的权是基数 r 的负次幂, 依次为 $-1, -2, \dots, -n$ 次幂。

以下我们用 $()_r$ 表示括号内的数是 r 进制数。将 r 进制数 $(a_m a_{m-1} \dots a_1 a_0 \cdot a_{-1} a_{-2} \dots a_{-n})_r$ 按权展开, 表达式为:

$$a_m \times r^m + a_{m-1} \times r^{m-1} + \dots + a_1 \times r^1 + a_0 \times r^0 + a_{-1} \times r^{-1} + a_{-2} \times r^{-2} + \dots + a_{-n} r^{-n}$$

1. 十进制数

十进制数的基数 $r=10$, 符号集为 $\{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9\}$, 其权为: $\dots, 10^2, 10^1, 10^0, 10^{-1}, 10^{-2}, \dots$ 。

例 1.1 $(987.32)_{10} = 9 \times 10^2 + 8 \times 10^1 + 7 \times 10^0 + 3 \times 10^{-1} + 2 \times 10^{-2}$

2. 八进制数

八进制数的基数 $r=8$, 符号集为 $\{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$, 其权为: $\dots, 8^2, 8^1, 8^0,$

$8^{-1}, 8^{-2}, \dots$ 。

例 1.2 $(7061.304)_8 = 7 \times 8^3 + 0 \times 8^2 + 6 \times 8^1 + 1 \times 8^0 + 3 \times 8^{-1} + 0 \times 8^{-2} + 4 \times 8^{-3}$

3. 十六进制数

十六进制数的基数 $r = 16$, 符号集为 $\{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F\}$, 其权为: $\dots, 16^2, 16^1, 16^0, 16^{-1}, 16^{-2}, \dots$ 。

例 1.3 $(-A0.8F)_{16} = -(10 \times 16^1 + 0 \times 16^0 + 8 \times 16^{-1} + 15 \times 16^{-2})$

4. 二进制数

二进制数的基数 $r = 2$, 符号集为 $\{0, 1\}$, 权为 $\dots, 2^2, 2^1, 2^0, 2^{-1}, 2^{-2}, \dots$ 。

例 1.4 $(1011.101)_2 = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3}$

十进制、二进制、八进制和十六进制数码对照见表 1-1, 二进制与十进制小数对照见表 1-2。

表 1-1 十进制、二进制、八进制、十六进制数码对照表

十进制	二进制	八进制	十六进制	十进制	二进制	八进制	十六进制
0	0000	00	0	8	1000	10	8
1	0001	01	1	9	1001	11	9
2	0010	02	2	10	1010	12	A
3	0011	03	3	11	1011	13	B
4	0100	04	4	12	1100	14	C
5	0101	05	5	13	1101	15	D
6	0110	06	6	14	1110	16	E
7	0111	07	7	15	1111	17	F

表 1-2 二进制与十进制小数对照表

二进制小数	十进制小数	二进制小数	十进制小数
0.1	0.5	0.00001	0.03125
0.01	0.25	0.000001	0.015625
0.001	0.125	⋮	⋮
0.0001	0.0625		

二、进位计数制之间的转换

不同基的进位计数制之间数的转换, 一般有下面几种方法。

1. 直接相乘法

将表示成 r 进制数的 M 转换为 t 进制数。即基数 r 用基数 t 来表示, M 的各位数字用 t 进制的数系来表示, 然后作乘法和加法, 结果便是 t 进制数。

例 1.5 把十进制数 725 转换为二进制数。

$$\begin{aligned}
 (725)_{10} &= 7 \times 10^2 + 2 \times 10^1 + 5 \times 10^0 \\
 &= 111 \times 1010^2 + 10 \times 1010^1 + 101 \times 1010^0 \\
 &= (1011010101)_2
 \end{aligned}$$

2. 余数法(适合于整数部分转换)

将表示成 r 进制的整数 M 转换为 t 进制数的整数,除以 t 取余法。

例 1.6 把十进制数 62 转换为二进制数。

$$\begin{array}{rcl}
 2 \overline{) 62} & \cdots \cdots & \text{余数} = 0 \\
 2 \overline{) 31} & \cdots \cdots & \text{余数} = 1 \\
 2 \overline{) 15} & \cdots \cdots & \text{余数} = 1 \\
 2 \overline{) 7} & \cdots \cdots & \text{余数} = 1 \\
 2 \overline{) 3} & \cdots \cdots & \text{余数} = 1 \\
 1 & \cdots \cdots & \text{余数} = 1
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 \text{低位} \\
 \uparrow \\
 \text{高位}
 \end{array}$$

结果: $(62)_{10} = (111110)_2$

3. 取整法(适用于小数部分转换)

将 r 进制数的小数转换为 t 进制的小数,乘 t 取整法。

例 1.7 把十进制小数 0.375 转换为二进制数。

$$\begin{array}{rcl}
 0.375 \times 2 & = & 0.750 \cdots \cdots \text{整数} = 0 \\
 0.75 \times 2 & = & 1.50 \cdots \cdots \text{整数} = 1 \\
 0.50 \times 2 & = & 1.00 \cdots \cdots \text{整数} = 1 \\
 (0.375)_{10} & = & (0.011)_2
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 \text{高位} \\
 \downarrow \\
 \text{低位}
 \end{array}$$

注意:将 r 进制小数转换为 t 进制小数时,有时会是无限循环小数,这时可根据要求进行取舍。

4. 递归法(适合于计算机转换)

把 r 进制数 M 转换为 t 进制数,其方法是拆成整数和小数两个部分,然后把用递归算法产生的已转换成 t 进制数的整数和小数部分拼起来。

例 1.8 将十进制数 4827.625 转换为二进制数。

$$\begin{aligned}
 (4827)_{10} &= (((4 \times 10 + 8) \times 10 + 2) \times 10 + 7) \times 10^0 \\
 &= ((100 \times 1010 + 1000) \times 1010 + 10 \times 1010) + 111 \\
 &= (1001011011011)_2 \\
 (0.625)_{10} &= (6 + (2 + 5 \times 10^{-1}) \times 10^{-1}) \times 10^{-1} \\
 &= (110 + (10 + 101 \times 1010^{-1}) \times 1010^{-1}) \times 1010^{-1} \\
 &\approx (0.101)_2
 \end{aligned}$$

结果: $(4827.625)_{10} = (1001011011011)_2 + (0.101)_2$
 $= (1001011011011.101)_2$

1.2.2 BCD 码

一、BCD 码

用二进制编码表示的十进制数有 8421BCD 码(简称 BCD 码)、2421 码、5211 码和余 3 码。其中 2421 码和 5211 码表示的十进制数不是唯一的,BCD 码和余 3 码唯一地表示一位十进制数,表 1-3 给出了这 4 种编码的关系。单片机中常用 BCD 码表示十进制数。

表 1-3 4 种编码的关系

8421BCD 码	2421 码	5211 码	余 3 码
0000	0000(或 0000)	0000(或 0000)	0011
0001	0001(或 0001)	0001(或 0010)	0100
0010	0010(或 1000)	0011(或 0100)	0101
0011	0011(或 1001)	0101(或 0110)	0110
0100	0100(或 1010)	0111(或 0111)	0111
0101	1011(或 0101)	1000(或 1000)	1000
0110	1100(或 0110)	1010(或 1001)	1001
0111	1101(或 0111)	1100(或 1011)	1010
1000	1110(或 1110)	1110(或 1101)	1011
1001	1111(或 1111)	1111(或 1111)	1100

二、BCD 码存贮方式

● 单字节 BCD 码

能存放 8 位二进制数的存贮单元(字节)只存贮 1 位 BCD 码,高 4 位为 0,低 4 位为 1 位 BCD 码,这种存贮方式称为单字节 BCD 码,常用在输入输出场合。如 4 的单字节 BCD 码形式为 00000100。

● 压缩 BCD 码

8 位存贮单元存放 2 位 BCD 码,高 4 位存放高位 BCD 码,低 4 位存放低位 BCD 码,称为压缩 BCD 码,常用在计算场合。例如 65 的存贮格式为 01100101。

1.2.3 ASCII 码

在计算机中,除了数字运算外,还需字符处理。例如在通信中需要识别很多特殊符号。我们将字母和符号统称为字符,它们按特定的规则用二进制编码才能在计算机中表示。目前在计算机系统中,普遍采用 ASCII 编码表(American Standard Code for Information Interchange,美国信息交换标准码)。