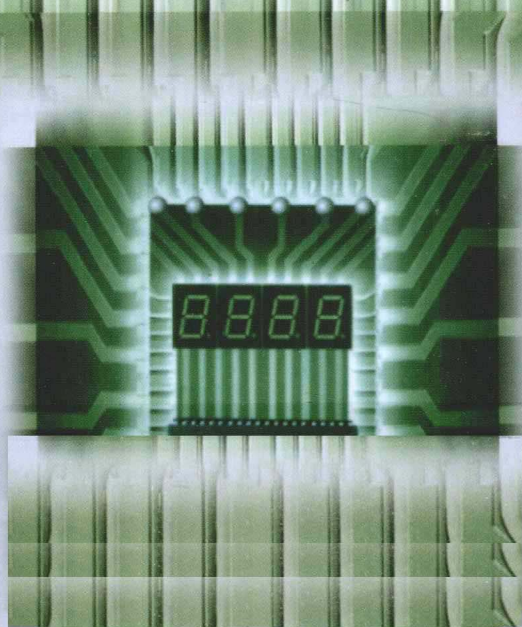


单片机微型机 (C51版) 原理、应用与实验

张友德 涂时亮 赵志英·编著



 复旦大学出版社

单片微型机 (C51版) 原理、应用与实验

张友德 涂时亮 赵志英·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(C51 版)/张友德,涂时亮,赵志英编著. —上海:
复旦大学出版社,2010.12
ISBN 978-7-309-07651-6

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 197577 号

单片微型机原理、应用与实验(C51 版)

张友德 涂时亮 赵志英 编著
出品人/贺圣遂 责任编辑/梁 玲

复旦大学出版社有限公司出版发行
上海市国权路 579 号 邮编:200433
网址:fupnet@fudanpress.com <http://www.fudanpress.com>
门市零售:86-21-65642857 团体订购:86-21-65118853
外埠邮购:86-21-65109143
上海肖华印务有限公司

开本 787×1092 1/16 印张 20.5 字数 438 千
2010 年 12 月第 1 版第 1 次印刷

ISBN 978-7-309-07651-6/T·387
定价:36.00 元

如有印装质量问题,请向复旦大学出版社有限公司发行部调换。
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机、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 多年来, 其品种、功能和应用技术都得到了飞速的发展, 单片机的应用已深入国民经济和日常生活的各个领域。

培养电子产品设计工程师的各大专院校电子类专业, 已将“单片机”作为一门必修课。以汇编语言为主的《单片微型机原理、应用与实验》作为教材已沿用了十多年, 对单片机的普及教学起了一定作用。但随着单片机种类日益增多和应用的深入, 用汇编语言编程的局限性 (如计算程序复杂、移植困难等) 日益显露。C 语言兼有高级语言和汇编语言特点, 又有库函数可调, 使编程简单、工作量减少。编写的程序具有结构化、模块化等特点, 容易阅读、理解和改进, 在不同种类单片机或应用系统之间, 相同或相仿的程序模块很容易移植, 大多数公司的单片机又都支持 C 语言, 因此在实际的应用中, 越来越多的工程师已采用 C 语言编程。另外 C 语言也是理工科专业的必修课程。普及单片机 C 语言教学既必要又可能。所以我们在原教材 (第五版) 基础上编写了以 C51 为主的《单片微型机原理、应用与实验 (C51 版)》作为新的教材。

本书以 ATMEL 的 AT89C52 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、新技术, 原理上具有普遍性, 结构上具有如下特点:

- 增加了 C51 基本语法、程序设计和调试的内容, 适用于未学过 C 语言的学生;
- 实验分散到各章节, 增加了例题、习题、实验的种类和数量, 并使三者密切结合;
- 将单片机功能部件工作原理、应用电路和 C51 应用程序设计紧密衔接、综合在一起论述;
- 用 Keil C51 模拟调试器或用带 Keil Monitor 的实验模块 (见附录 3) 在线仿真调试实验程序, 编排的实验均有调试方法指导;
- 例题、习题、实验题的程序和调试现场文件放入教学光盘中, 可供教师教学参考;
- 各章节内容及例题有相对独立性, 可按教学安排增删。

本书共分 8 章, 各章节具有相对独立性, 带 * 号章节可选用。第 1 章介绍了单片机的基础知识、基本概念和典型的单片机产品; 第 2 章介绍了 51 单片机的系统结构和指令系统; 第 3 章论述了 C51 基本语法; 第 4 章讨论 C51 程序设计方法、Keil C51 基本使用方法及项目建立、调试的过程与方法; 第 5 章综合论述了单片机典型的片上外围模块结构、工作原理、应用电路和程序设计; 第 6 章论述了单片机的扩展原理、典型器件的扩展电路、常用设备的接口技术与程序设计; 第 7 章介绍了一些应用实例的硬件电路与应用程序设计; 第 8 章概括性地论述了单片机应用系统研制的过程与方法。

本书由张友德主编, 涂时亮、赵志英参与了部分章节的编写和全部书稿的审核。编写过程中得到了陈章龙教授、唐志强博士、梁玲博士的指导和帮助, 也采纳了读者的建设性意见, 上海联慧电子公司提供了例题、习题、实验题程序验证的设备, 在此表示深深谢意。也衷心地希望读者继续指正书中的错误或不当之处。

编 者

2010 年 8 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	7
§ 1.3 单片机的内部结构	7
1.3.1 中央处理器 CPU	8
1.3.2 单片机的存储器	9
1.3.3 单片机的输入/输出接口(I/O)	10
§ 1.4 典型单片机产品	10
1.4.1 单片机的类型和特性	10
1.4.2 典型的单片机产品	11
§ 1.5 单片机的应用和应用系统结构	13
1.5.1 单片机的应用	13
1.5.2 单片机应用系统的结构	14
小结	16
习题	16
第2章 51 系列单片机系统结构	17
§ 2.1 总体结构	17
2.1.1 51 系列单片机一般的总体结构	17
2.1.2 89C52 的总体结构	17
§ 2.2 存储器组织	20
2.2.1 程序存储器	21
2.2.2 内部 RAM 数据存储器	22
2.2.3 特殊功能寄存器	23
2.2.4 位地址空间	24
2.2.5 外部 RAM 和 I/O 口	26
§ 2.3 时钟、时钟电路、CPU 定时	26



§ 2.4 复位和复位电路	29
2.4.1 外部复位	30
* 2.4.2 内部复位	31
* 2.4.3 系统复位	31
§ 2.5 中断系统	32
2.5.1 中断概念	32
2.5.2 89C52 中断系统	32
2.5.3 外部中断触发方式选择	36
* 2.5.4 51 系列其他单片机的中断系统	36
* § 2.6 51 指令系统	36
2.6.1 寻址方式	36
2.6.2 程序状态字 PSW	37
2.6.3 指令系统	38
小结	44
习题	44
 第 3 章 C51 基本语法	 45
§ 3.1 C51 程序的结构和特点	45
3.1.1 C51 程序的结构	45
3.1.2 C51 的字符集、标识符与关键字	46
§ 3.2 C51 数据类型	47
3.2.1 C51 数据类型	47
3.2.2 常量	47
3.2.3 变量	49
3.2.4 存储器类型和存储模式	49
3.2.5 C51 扩展的数据类型	50
3.2.6 绝对地址访问的变量	51
§ 3.3 运算符和表达式	52
3.3.1 算术运算符和算术表达式	53
3.3.2 位运算符和位运算	53
3.3.3 赋值运算符和赋值表达式	54
3.3.4 逗号运算符和逗号表达式	55
§ 3.4 C51 语句和结构化程序设计	55
3.4.1 C51 语句和程序结构	55
3.4.2 表达式语句、复合语句和顺序结构程序	55
3.4.3 选择语句和选择结构程序	56
3.4.4 循环语句和循环结构程序	58
§ 3.5 C51 的数组、结构、联合	60
3.5.1 数组	60

3.5.2 结构	63
3.5.3 联合	64
§3.6 指针	64
3.6.1 定义指针变量	65
3.6.2 指针变量的引用	65
§3.7 函数和中断函数	66
3.7.1 函数的定义	66
3.7.2 函数的调用	67
3.7.3 C51 函数的参数传递	67
3.7.4 中断函数	68
3.7.5 局部变量和全局变量	69
3.7.6 变量的存储种类	70
§3.8 预处理命令、库函数	70
3.8.1 预处理命令	70
3.8.2 C51 的通用文件	72
3.8.3 C51 的库函数	73
小结	75
习题	75
第4章 C51 程序的设计和调试	77
§4.1 C51 程序设计方法	77
4.1.1 程序设计步骤	77
4.1.2 程序框图和程序结构	77
4.1.3 输入输出函数	84
4.1.4 自定义函数的设计和调用	87
4.1.5 计算程序的设计和库函数的调用	91
4.1.6 主函数和中断函数的设计	93
§4.2 C51 程序调试—Keil C51 基本使用方法	96
4.2.1 C51 程序的生成	96
4.2.2 C51 程序调试	98
§4.3 实验过程和方法	104
小结	105
习题	105
实验	106
实验一 计算程序模拟仿真调试	106
实验二 主函数和中断函数设计与调试	106
第5章 51 单片机的外围模块及其应用	108
§5.1 并行口及其应用	108



5.1.1	P1 口	109
5.1.2	P3 口	110
5.1.3	P2 口	111
5.1.4	P0 口	112
5.1.5	并行口的应用——晶闸管的接口和编程	114
5.1.6	并行口的应用——拨码盘的接口和编程	115
5.1.7	并行口的应用——4×4 键盘的接口和编程	118
5.1.8	并行口的应用——串行接口器件的接口和编程	121
§ 5.2	定时器及其应用	122
5.2.1	定时器的一般结构和工作原理	122
5.2.2	定时器 T0、T1 的功能和使用方法	125
5.2.3	定时器 T0 的应用——定时中断控制晶闸管导通角	132
5.2.4	定时器 T2 的功能和使用方法	133
5.2.5	T2 的应用——定时读键盘	136
* 5.2.6	T2 捕捉方式应用——脉冲参数的测量和计算	140
* 5.2.7	可编程计数器阵列(PCA)的功能和使用方法	143
* 5.2.8	PCA 应用——高速输出和 PWM 输出	150
* 5.2.9	PCA 模块综合应用——软件双积分 A/D	151
§ 5.3	串行口 UART	152
5.3.1	串行口的组成和特性	153
5.3.2	串行口的工作方式	154
5.3.3	波特率	157
5.3.4	多机通信原理	159
5.3.5	串行口的应用和编程	160
* 5.3.6	RS-232C 总线和电平转换器	165
5.3.7	RS-422/485 通信总线和发送/接收器	167
* § 5.4	8XC552 的 A/D 转换器	168
5.4.1	A/D 转换器功能和使用方法	168
5.4.2	A/D 的应用和编程	172
* § 5.5	其他外围模块简介	175
5.5.1	液晶显示器(LCD)驱动器	175
5.5.2	串行外围接口 SPI	176
5.5.3	I ² C 串行总线口	177
5.5.4	控制器局域网(CAN)接口	178
5.5.5	其他	178
小结		178
习题		178
实验		180
实验一	T0 应用程序调试	180

实验二	PCA 应用程序设计和调试	180
实验三	串行口输入输出程序设计与调试	181
实验四	串行通信程序的设计与调试	181
实验五	80C552 A/D 采样程序的设计与调试	182
实验六	并行口操作实验	182
实验七	键盘实验	183
第 6 章	单片机接口技术	184
§ 6.1	51 系列单片机并行扩展原理	184
6.1.1	大系统的扩展总线和扩展原理	184
6.1.2	紧凑系统的扩展总线和扩展原理	187
6.1.3	海量存储器系统地址译码方法	189
§ 6.2	程序存储器扩展	189
6.2.1	常用 EPROM 存储器	189
6.2.2	程序存储器扩展方法	191
§ 6.3	数据存储器扩展	191
6.3.1	常用 RAM 芯片	191
6.3.2	RAM 存储器的扩展和读写操作	192
§ 6.4	RAM/IO 扩展器 8155 的接口技术和应用	194
6.4.1	RAM/IO 扩展器 8155 的接口技术	194
6.4.2	七段发光显示器的结构和工作原理	199
6.4.3	8155 的应用——6 位动态显示器的接口和编程	201
6.4.4	8155 的应用——3×8 键盘的接口和编程	205
* § 6.5	并行接口 8255A 的接口技术和应用	215
6.5.1	8255A 的接口和编程	215
6.5.2	8255A 的应用——点阵式发光显示器的接口和编程	223
§ 6.6	74 系列器件的接口技术和应用	230
6.6.1	用 74HC245 扩展并行输入口	230
6.6.2	用 74HC377 扩展并行输出口	230
* § 6.7	A/D 器件接口技术	231
6.7.1	8 路 8 位 A/D ADC0809/0808 的接口和编程	231
6.7.2	12 位 A/D AD574 的接口和编程	233
* § 6.8	液晶显示模块 LCM 的接口和编程	235
6.8.1	GY1206 LKSCY7G 液晶显示模块简介	235
6.8.2	GY1206 LKSCY7G 的接口和编程	240
* § 6.9	模拟串行扩展技术	249
6.9.1	I ² C 时序模拟	249
6.9.2	SPI 时序模拟	252
小结		254



习题	254
实验	255
实验一 程控扫描显示器键盘实验	255
实验二 定时扫描显示器、键盘实验	256
实验三 8255 和点阵式发光显示器实验	257
* 实验四 GY1206 液晶显示模块实验	258
第 7 章 C51 应用程序设计	259
§ 7.1 字符串命令的校验和处理	259
§ 7.2 步进电机控制器	262
§ 7.3 多路低频脉冲发生器	268
* § 7.4 直流电机控制器	271
§ 7.5 顺序控制器	277
* § 7.6 软件控制的异步串行口	282
§ 7.7 交通灯控制器	287
小结	294
习题	295
实验	296
实验一 字符串命令处理实验	296
实验二 顺序控制器实验	297
实验三 步进电机实验	297
实验四 直流电机实验	298
实验五 交通灯控制实验	298
* 第 8 章 单片机应用系统研制	300
§ 8.1 系统设计	301
8.1.1 总体设计	301
8.1.2 硬件设计	301
8.1.3 软件设计	303
§ 8.2 开发工具及系统调试	306
习题(讨论题)	307
附 录	308
附录 1 C 语言运算符优先级和结合性	308
附录 2 教学光盘内容和使用说明	309
附录 3 实验仿真模块简介	309
参考文献	317

第1章 单片机基础知识

本章讨论计算机的类型、基本结构,硬件、软件等常用术语的含义,十进制数、二进制数、十六进制数、BCD 码、ASCII 码等的表示方法。还介绍单片机的内部结构、典型产品的特性、单片机的应用和应用系统结构。

§ 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,这台计算机重 30t,占地 150m²,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。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架构没有太大变化。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、存储器和输入/输出设备。图 1-1 为电子计算机硬件结构示意图。

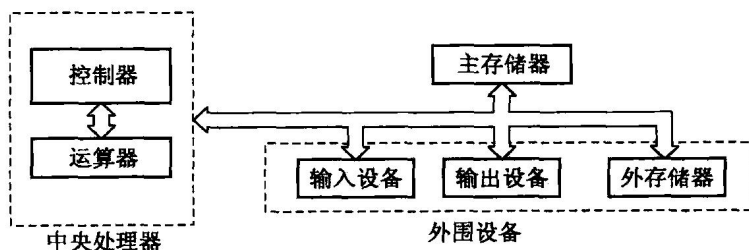


图 1-1 电子计算机硬件结构示意图

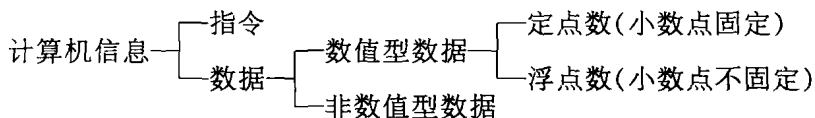
图 1-1 中运算器是数据处理部件,控制器是协调整个计算机操作的部件,运算器和控制器是计算机硬件的核心,称为中央处理器 CPU(central processing unit)。存储器是存放原始数据和计算结果的部件,输入输出设备是将原始数据和程序输入到计算机和给出数据处理结果的部件。

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 I/O 接口

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、半导体存储器和新型的 I/O 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。

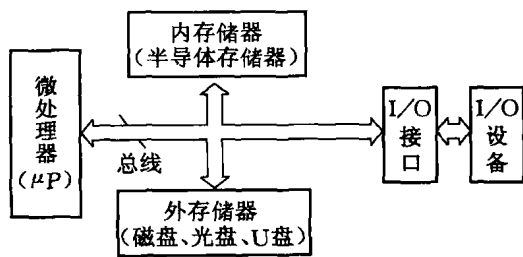


图 1-2 微型计算机结构

微型计算机中的微处理器通过总线和外部的存储器、I/O 接口相连,可以由多块印板组成(主机板和显示卡、声卡等各种 I/O 接口板),也可以由一块印板组成(所有器件安装在

一块印板上),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、各种外围接口电路。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、I/O 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I/O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I/O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,单片机的应用已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 $(\quad)_r$ 表示括号内的数是 r 进制数。将 r 进制数 $(a_m a_{m-1} \dots a_1 a_0 . a_{-1} a_{-2} \dots a_{-n})$ 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 $\{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F\}$, 其中 ABCDEF 也可以是小写字母, 其权为: $\dots, 16^2, 16^1, 16^0, 16^{-1}, 16^{-2}, \dots$ 。十六进制数有 2 种表示方法: 一是以 0 开头 H 结尾形式表示, 如 0C8H; 另一种是以 0X 开头的形式, 如 0XC8。

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

r 进制数的 M 转换为 t 进制数。将基数 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)

r 进制的整数 M 转换为 t 进制数的整数, 采用将 M 除以 t 取余数的方法。

例 1.6 把十进制数 62 转换为二进制数。

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

结果: $(62)_{10} = (111110)_2$

3. 取整法(适用于小数部分转换)

r 进制数的小数 M 转换为 t 进制的小数。采用将 M 乘 t 取整数的方法。

例 1.7 把十进制小数 0.375 转换为二进制数。

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

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, 这时可根据误差要求进行取舍。

4. 递归法(适合于计算机转换)

r 进制数 M 转换为 t 进制数。其方法是将 M 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。

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

$$= (110 + (10 + 101 \times 1010^{-1}) \times 1010^{-1}) \times 1010^{-1}$$

$$\approx (0.101)_2$$

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

$$= (1001011011011.101)_2$$

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 码存储方式

● 单字节 BCD 码

能存放 8 位二进制数的存储单元(字节)只存储 1 位 BCD 码,高 4 位为 0,低 4 位为 1 位 BCD 码,这种存储方式称为单字节 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 位存储单元存放 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 的存储格式为 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)。

基本 ASCII 码用 7 位二进制数表示,可表达 128 个字符,其中包括数字 0~9,英文字母 A~Z 和 a~z,标点符号和控制字符。表 1-4 为 ASCII 编码表。

表 1-4 ASCII 字符编码表

b6b5b4 b3b2b1b0	000	001	010	011	100	101	110	111
0000	NULL	DLE	SP	0	@	P	'	p
0001	SOH	DC1	!	1	A	Q	a	q
0010	STX	DC2	"	2	B	R	b	r
0011	ETX	DC3	#	3	C	S	c	s
0100	EOT	DC4	\$	4	D	T	d	t
0101	ENQ	NAK	%	5	E	U	e	u
0110	ACK	SYN	&	6	F	V	f	v
0111	BEL	ETB	'	7	G	W	g	w
1000	BS	CAN	(	8	H	X	h	x
1001	HT	EM	)	9	I	Y	i	y
1010	LF	SUB	*	:	J	Z	j	z
1011	VT	ESC	+	;	K	[	k	{
1100	FF	FS	-	<	L	\	l	
1101	CR	GS	,	=	M	]	m	}
1110	SO	RS	.	>	N	^	n	~
1111	SI	US	/	?	O	_	o	DEL

§ 1.3 单片机的内部结构

单片机是以一个大规模集成电路为主组成的微型计算机,在一个芯片内含有计算机的基本功能部件:中央处理器 CPU、存储器和 I/O 接口,CPU 通过内部的总线和存储器、I/O 接口相连。典型的单片机内部结构如图 1-3 所示。