

875

九

原理、应用 与实验

张德 赵志英 涂时亮 编

DAN PIAN

WEI XING JI

大学出版社

单片微型机

原理、应用与实验

张友德 赵志英 涂时亮 编

复旦大学出版社

内 容 简 介

本书系统地论述了单片机的组成原理和单片机的程序设计、系统扩展、输入输出设备的接口技术,并对单片机应用系统的硬件设计、可靠性和保密性设计、软件的结构设计作了专门的讨论,同时还介绍了典型的几个单片机应用系统的设计思想和实现方法,最后编排了单片机实验,各章都附有一定数量的习题和思考题。

本书参考了各个系列单片机最新资料,吸取了单片机开发应用的新成果,书中列举了大量硬件和软件的应用实例,内容具有一定的先进性、系统性和实用性。

本书可作为科技人员的单片机应用技术参考书和大专院校的单片机教材。

(沪)新登字 202 号

单片微型机原理、应用与实验

张友德 赵志英 涂时亮 编

复旦大学出版社出版发行

(上海国权路 579 号)

上海红卫印刷厂印装

开本 787×1092 1/16 印张 36.825 插页 0 字数 915,000

1992 年 3 月第 1 版 1992 年 5 月第 2 次印刷

印数 5,000—12,000

ISBN 7-309-00776-X/T·33

定价 14.60 元

前 言

单片微型计算机又名微控制器,是七十年代中期发展起来的一种大规模集成电路器件。它在一块芯片内集成了计算机的各种功能部件,构成一种单片式的微型计算机。八十年代以来,国际上单片机的发展很快,其产品之多令人目不暇接,出现了很多高性能的新型单片机,以适应各个领域的不同需要。

由于单片机具有功能强、体积小、可靠性高、面向控制和价格低廉等一系列优点,因而在工业、农业、国防、交通、民用消费品等各个领域得到了广泛的应用,有力地推动了各行业的技术改造和产品的更新换代。近几年来,国内单片机的开发应用也发展很快,取得了许多科研成果,并已转化为一定的生产力,收到了明显的经济和社会效益。

单片机的应用技术是一项新型的工程应用技术,广大科技人员希望能掌握它为四化建设服务,很多大专院校也增设了单片机课程,本书的出版希望能有利于单片机的推广应用。

本书大部分内容是作者根据多年来的教学和科研实践编写的,我们力求摆脱“手册型”特性,使内容具有一定的系统性、先进性和实用性。

纵观各个系列单片机的特性和发展动向,Intel的MCS-51系列单片机比较典型,目前在国内外很流行,飞利浦、西门子等公司生产与MCS-51兼容的单片机,使该系列的单片机品种多、规格齐、适应性强,又由于应用技术资料多,估计在今后一段时间内,MCS-51在单片机的应用中仍将占重要地位。因此本书以MCS-51系列单片机为主展开讨论,但所论述的原理、方法同样适用于其它系列的单片机。本书可以作为科学技术人员的单片机应用技术参考书和大专院校的单片机教材。

全书共分十二章,第一章为基础知识,第二~六章为MCS-51单片机的原理部分,第七~第八章为单片机的应用,第九~十二章为单片机实验指导。作为教材时,根据学生基础对第一章内容应作适当增删,加“*”号的章节作为参考资料适用于基础较好的学生。

本书一~四章和六~十二章由张友德编写(其中§7.2和§8.1由涂时亮编写),第五章由赵志英编写,涂时亮对全书各章提出了修改意见,最后由徐君毅和陈章龙审定。在编写过程中得到全国单片机学会和复旦大学计算机科学系微机实验室领导的关心和指导。薛剑虹为本书整理了大量资料和图片,杨胜球提供了实验资料,在出版过程中还得到陆盛强的大力帮助,在此谨向他们致谢。

由于时间和水平所限,书中错误和不妥之处难免,敬请读者批评指正。

编 者

199 年 12 月于上海

目 录

前 言

第 一 章 概述	(1)
§ 1.1 计算机系统导论	(1)
§ 1.1.1 计算机的发展概况	(1)
§ 1.1.2 计算机的系统组成	(1)
§ 1.1.3 数制及其转换	(3)
§ 1.1.4 计算机中数的表示方法	(6)
§ 1.1.5 指令和指令系统	(9)
§ 1.1.6 存贮器	(11)
§ 1.1.7 运算器	(12)
§ 1.1.8 控制器	(20)
§ 1.1.9 外围设备	(21)
§ 1.1.10 总线	(22)
§ 1.2 单片微型计算机	(23)
§ 1.2.1 单片机的发展历史	(23)
§ 1.2.2 单片机的发展趋势	(23)
§ 1.2.3 单片机内部结构	(25)
§ 1.2.4 单片机应用系统结构	(26)
§ 1.2.5 典型的单片机产品	(27)
§ 1.2.6 单片机的应用	(33)
习题和思考题	(35)
第 二 章 MCS-51 系列单片机系统结构	(36)
§ 2.1 总体结构	(36)
§ 2.2 中央处理器 CPU	(38)
§ 2.2.1 运算器	(38)
§ 2.2.2 控制器	(38)
§ 2.3 存贮器组织	(43)
§ 2.3.1 程序存贮器	(43)
§ 2.3.2 内部 RAM 数据存贮器	(44)
§ 2.3.3 特殊功能寄存器	(45)
§ 2.3.4 位存贮器	(46)
§ 2.3.5 外部 RAM 和 I/O 口	(47)
§ 2.4 I/O 口	(48)

§ 2.4.1	P1 口	(48)
§ 2.4.2	P3 口	(49)
§ 2.4.3	P2 口	(49)
§ 2.4.4	P0 口	(50)
§ 2.5	定时器/计数器	(50)
§ 2.5.1	定时器/计数器 T0 和 T1	(51)
§ 2.5.2	定时器/计数器 T2	(55)
§ 2.6	串行接口	(58)
§ 2.6.1	串行接口的组成和特性	(58)
§ 2.6.2	串行接口的工作方式	(59)
§ 2.6.3	波特率	(66)
§ 2.6.4	多机通讯原理	(68)
§ 2.7	中断系统	(69)
§ 2.7.1	中断概念	(69)
§ 2.7.2	MCS-51 中断系统	(70)
§ 2.7.3	外部中断触发方式选择	(74)
§ 2.7.4	单步运行控制	(75)
§ 2.7.5	多外部中断源设计	(75)
§ 2.8	内部 EPROM 程序存储器	(76)
§ 2.8.1	8751 H 的 EPROM	(76)
§ 2.8.2	8751 BH 等的 EPROM	(80)
§ 2.9	CHMOS 型单片机的节电方式	(83)
§ 2.9.1	空闲方式	(84)
§ 2.9.2	掉电方式	(85)
§ 2.9.3	节电方式的应用	(85)
§ 2.10*	83C51 FA/FB 的可编程计数器阵列(PCA)	(87)
§ 2.10.1	PCA 定时器/计数器	(87)
§ 2.10.2	比较/捕捉模块	(89)
§ 2.10.3	16 位捕捉方式	(90)
§ 2.10.4	软件定时器和高速输出方式	(91)
§ 2.10.5	脉冲宽度调制器方式	(92)
§ 2.10.6	监视定时器	(93)
§ 2.10.7	PCA 中的特殊功能寄存器地址	(93)
§ 2.11*	8×C51 GA 的 A/D 转换器	(94)
§ 2.11.1	A/D 特殊功能寄存器	(94)
§ 2.11.2	A/D 转换速度控制	(95)
§ 2.11.3	A/D 中断	(95)
	习题和思考题	(96)
第 三 章	MCS-51 指令系统	(97)

§ 3.1 指令格式	(97)
§ 3.1.1 汇编指令	(97)
§ 3.1.2 伪指令	(97)
§ 3.1.3 常用的缩写符号	(98)
§ 3.2 寻址方式	(99)
§ 3.2.1 寄存器寻址	(99)
§ 3.2.2 直接寻址	(100)
§ 3.2.3 寄存器间接寻址	(100)
§ 3.2.4 立即寻址	(101)
§ 3.2.5 基寄存器加变址寄存器间接寻址	(101)
§ 3.3 数据操作和指令类型	(102)
§ 3.3.1 数据操作	(102)
§ 3.3.2 指令类型	(103)
§ 3.4 数据传送指令	(103)
§ 3.4.1 内部数据传送指令	(104)
§ 3.4.2 累加器 A 与外部数据存储器传送指令	(107)
§ 3.4.3 查表指令	(108)
§ 3.5 算术运算指令	(109)
§ 3.5.1 加法指令	(109)
§ 3.5.2 减法指令	(112)
§ 3.5.3 乘法指令	(113)
§ 3.5.4 除法指令	(113)
§ 3.6 逻辑运算指令	(114)
§ 3.6.1 累加器 A 的逻辑操作指令	(114)
§ 3.6.2 两个操作数的逻辑操作指令	(115)
§ 3.7 位操作指令	(117)
§ 3.7.1 位变量传送指令	(118)
§ 3.7.2 位变量修改指令	(118)
§ 3.7.3 位变量逻辑操作指令	(118)
§ 3.8 控制转移指令	(119)
§ 3.8.1 无条件转移指令	(119)
§ 3.8.2 条件转移指令	(121)
§ 3.8.3 调用和返回指令	(123)
§ 3.9 指令的应用	(126)
习题和思考题	(129)
第四章 汇编语言程序设计	(130)
§ 4.1 程序设计方法	(130)
§ 4.1.1 程序设计的步骤	(130)
§ 4.1.2 循环程序设计	(130)

§ 4.1.3	子程序设计和参数传递方法	(135)
§ 4.2	程序设计举例	(141)
§ 4.2.1	定点数运算程序	(141)
§ 4.2.2*	浮点数运算程序	(150)
§ 4.2.3	数制转换程序	(161)
§ 4.2.4*	数据处理程序	(167)
§ 4.2.5	输入输出处理程序	(180)
	习题和思考题	(199)
第 五 章	单片机系统扩展技术	(201)
§ 5.1	MCS-51 系统扩展原理	(201)
§ 5.2	程序存储器的扩展	(202)
§ 5.2.1	常用的程序存储器	(202)
§ 5.2.2	MCS-51 程序存储器的扩展	(210)
§ 5.3	数据存储器扩展	(213)
§ 5.3.1	常用的数据存储器	(213)
§ 5.3.2	MCS-51 扩展外部数据存储器的原理	(215)
§ 5.3.3	典型的 MCS-51 存储器扩展线路	(216)
§ 5.4	定时器/计数器的扩展	(218)
§ 5.4.1	8253 的结构和特性	(218)
§ 5.4.2	8253 的方式控制字	(219)
§ 5.4.3	8253 的工作方式	(220)
§ 5.4.4	MCS-51 与 8253 的接口方法	(223)
§ 5.5	并行接口的扩展	(224)
§ 5.5.1	可编程并行接口 8255 A	(224)
§ 5.5.2	用 74 系列器件扩展并行 I/O 口	(234)
§ 5.5.3*	用并行 I/O 口线和软件模拟 SPI	(237)
§ 5.6	串行接口的扩展	(242)
§ 5.6.1	可编程通用串行通讯接口 8251	(243)
§ 5.6.2	可编程通用异步通讯接口 8250	(249)
§ 5.6.3*	调制解调器 74 HC 942	(259)
§ 5.6.4	RS-232 C 总线	(265)
§ 5.7	D/A 接口的扩展	(270)
§ 5.7.1	梯形电阻式 D/A 转换原理	(270)
§ 5.7.2	DAC 0832	(271)
§ 5.7.3	AD 7520	(274)
§ 5.7.4*	MC 144111	(276)
§ 5.8	A/D 接口的扩展	(278)
§ 5.8.1	双积分 A/D 转换原理	(278)
§ 5.8.2	5 G 14433	(279)

§ 5.8.3	逐次逼近法 A/D 转换原理	(282)
§ 5.8.4	ADC 0816	(282)
§ 5.8.5	ADC 0809	(285)
§ 5.8.6	软件 A/D	(285)
§ 5.8.7*	MC 145041	(289)
§ 5.9	综合电路的扩展	(292)
§ 5.9.1	RAM/IO 扩展器 8155	(292)
§ 5.9.2*	EPROM/IO 扩展器 8755	(296)
§ 5.9.3	EPROM/IO 扩展器 87C 75 PF	(299)
§ 5.9.4	RTC/RAM 扩展器 MC 146818	(307)
	习题和思考题	(318)
第 六 章	单片机的输入输出设备接口	(320)
§ 6.1	拨码盘接口	(320)
§ 6.1.1	BCD 码拨盘的构造	(320)
§ 6.1.2	BCD 码拨盘的接口方法	(321)
§ 6.2	七段发光显示器接口	(322)
§ 6.2.1	显示器的结构	(323)
§ 6.2.2	显示器的工作方式	(323)
§ 6.3	键盘接口	(326)
§ 6.3.1	键盘工作原理	(326)
§ 6.3.2	键盘接口方法	(327)
§ 6.3.3	键输入程序设计方法	(328)
§ 6.3.4	定时扫描方式	(330)
§ 6.3.5	中断扫描方式	(330)
§ 6.4	8279 可编程的键盘/显示器接口	(331)
§ 6.4.1	引脚功能说明	(331)
§ 6.4.2	内部结构	(332)
§ 6.4.3	8279 的控制命令	(334)
§ 6.4.4	接口工作方式	(336)
§ 6.4.5	FIFO 状态字	(339)
§ 6.4.6	接口方法和应用举例	(340)
§ 6.5	打印机接口	(344)
§ 6.5.1	PP 40 的接口信号	(344)
§ 6.5.2	PP 40 的操作方式	(345)
§ 6.5.3	PP 40 的接口方法	(348)
§ 6.5.4	打印程序设计举例	(348)
§ 6.6*	CRT 显示器接口	(348)
§ 6.6.1	CRT 显示器工作原理	(348)
§ 6.6.2	CRT 显示接口板	(348)

§ 6.6.3	可编程 CRT 控制器 MC 6847/MC 6847 Y	(370)
	习题和思考题	(381)
✓ 第七章	单片机应用系统研制方法	(383)
§ 7.1	单片机应用系统的设计	(384)
§ 7.1.1	单片机应用系统研制过程	(384)
§ 7.1.2	总体设计	(384)
§ 7.1.3	硬件设计	(385)
§ 7.1.4	可靠性设计	(388)
§ 7.1.5	保密性设计	(393)
§ 7.1.6	软件设计	(393)
✓ § 7.2*	实时多任务操作系统设计方法	(397)
§ 7.2.1	概述	(397)
§ 7.2.2	实时任务调度	(399)
§ 7.2.3	任务通讯控制	(403)
§ 7.2.4	实时时钟	(408)
§ 7.2.5	输入/输出和中断处理	(410)
§ 7.2.6	实时多任务操作系统环境下的应用软件设计方法	(414)
✓ § 7.3	单片机开发系统	(417)
§ 7.3.1	单片机的开发与开发工具	(417)
§ 7.3.2	单片机开发系统的功能	(419)
§ 7.3.3	典型的单片机开发系统	(421)
✓ § 7.4	单片机应用系统调试	(425)
§ 7.4.1	硬件调试方法	(426)
§ 7.4.2	软件调试方法	(427)
	习题和思考题	(433)
第八章*	典型的单片机应用系统设计举例	(435)
§ 8.1	智能仪器设计举例——RLC 自动数字电桥	(435)
§ 8.1.1	智能仪器的特点和设计方法	(435)
§ 8.1.2	RLC 自动数字电桥的功能和测量算法	(436)
§ 8.1.3	RLC 自动数字电桥总体结构	(438)
§ 8.1.4	RLC 自动数字电桥软件	(440)
§ 8.2	工业控制器设计举例——GPCR31 可编程顺序控制器	(444)
§ 8.2.1	顺序控制器的设计方法	(444)
§ 8.2.2	GPCR 31 的硬件结构	(448)
§ 8.2.3	GPCR 31 的功能	(449)
§ 8.2.4	软件设计思想	(449)
§ 8.2.5	软件框图	(453)
§ 8.3	多机系统设计举例——电力管理系统	(458)
§ 8.3.1	多机系统的特点	(458)

§ 8.3.2	主从式多机系统设计要点	(459)
§ 8.3.3	电力管理系统简介	(460)
§ 8.3.4	用电记录器和主机的通讯	(462)
§ 8.3.5	用电记录器硬件结构	(464)
§ 8.3.6	用电记录器的软件结构	(467)
第九章	单片机实验方法及设备	(469)
§ 9.1	SIM 8051 模拟/调试软件	(469)
§ 9.1.1	MCS-51 源程序编辑方法	(470)
§ 9.1.2	8051 宏汇编——ASM 51 使用方法	(470)
§ 9.1.3	SIM 8051 模拟/调试软件使用方法	(472)
§ 9.2	EXR 51-1 型单片机实验仪	(488)
§ 9.2.1	EXR 51-1 单片机实验仪结构	(488)
§ 9.2.2	EXR 51-1 使用方法	(492)
§ 9.3	EXR 51-2 型单片机实验仪	(496)
§ 9.3.1	EXR 51-2 仿真器的结构和功能	(497)
§ 9.3.2	EXR 51-2 的基本操作命令	(498)
§ 9.4	EXR 51 系列实验板	(499)
第十章	软件实验	(501)
§ 10.1	无符号十进制数加法实验	(501)
§ 10.2	无符号十进制数减法实验	(502)
§ 10.3	多字节移位实验	(502)
§ 10.4	无符号二进制整数乘法实验	(503)
§ 10.5	无符号二进制整数除法实验	(504)
§ 10.6	数制转换实验	(505)
§ 10.7	布尔处理实验	(506)
§ 10.8	数据排序实验	(507)
§ 10.9	查表实验	(507)
§ 10.10	散转程序实验	(508)
第十一章	接口实验	(511)
§ 11.1	显示器实验	(511)
§ 11.2	键盘实验	(513)
§ 11.3	8279 应用实验	(514)
§ 11.4	电子钟实验	(517)
§ 11.5	交通灯控制实验	(517)
§ 11.6	串行口方式 0 应用实验	(520)
§ 11.7	D/A 转换实验	(522)
§ 11.8	双积分 A/D 5G 14433 实验	(524)
§ 11.9	逐次逼近法 A/D ADC0809 实验	(525)
§ 11.10	PP 40 打印机实验	(527)

第十二章* 单片机应用实验	(530)
§ 12.1 力测量实验.....	(530)
§ 12.2 电机转速测量实验.....	(533)
§ 12.3 电机转速测量和控制实验.....	(536)
§ 12.4 步进电机实验.....	(539)
§ 12.5 温度测量实验.....	(543)
§ 12.6 智能显示屏实验.....	(546)
§ 12.7 顺序控制器实验.....	(551)
附录一 MCS-51 指令系统表	(555)
附录二 MCS-51 典型产品引脚图	(560)
附录三 常用 EPROM 固化电压参数表	(564)
参考书目	(567)

第一章 概 述

§ 1.1 计算机系统导论

§ 1.1.1 计算机的发展概况

一、计算机的发展历史

电子计算机是一种能够高速而精确地进行各种数据处理的机器,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,目前计算机已应用到国民经济的各个领域,当代社会已离不开计算机。自从计算机诞生以来,它的发展经历了四代:

第一代计算机(四十年代末期至五十年代末期)是电子管计算机,所使用的元件主要是电子管。世界上第一台电子计算机是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 18800 只电子管,加法速度是每秒 5000 次,乘法速度是每秒 56 次。

第二代计算机(五十年代末期至六十年代末期)是晶体管计算机,所用的主要元件是晶体管。1957 年,美国研制成了第一台晶体管计算机(TRANSAC S-1000 机)。

第三代计算机(六十年代中期开始)是集成电路计算机,所用的元器件是小规模或中规模集成电路。1964 年,IBM 360 系列机问世了。

第四代计算机(七十年代初期开始)是大规模集成电路计算机。所使用的元件是大规模或超大规模集成电路。1971 年 IBM 370 系列机首先使用了大规模集成电路构成主存贮器。1975 年研制成功了以大规模集成电路做主存贮器和逻辑元件的大型计算机,例如 470V/6 型 M-190 机等。

当前计算机的发展趋势是微型化、巨型化、网络化和智能模拟。

二、计算机的种类

计算机有模拟计算机和数字计算机两种。

模拟计算机(analog computer)是对模拟量进行操作的计算机,这种计算机解题速度快,但精度差。

数字计算机(digital computer)是对数据进行算术和逻辑操作的计算机,这种计算机在运算过程中全部自动化,具有运算速度快、精度高、通用性强等特点。

我们通常所说的电子计算机,实际上是指电子数字计算机。

电子计算机的种类很多。根据设计的目标来分,有通用计算机和专用计算机;根据用途来分,有科学计算、数据处理和工业控制计算机;若根据规模和功能来分,有巨型机、大型机、中型机、小型机、超小型机和微型机。

微型计算机又可以划分为多片微型机和单片微型计算机。

§ 1.1.2 计算机的系统组成

电子计算机是模仿人脑部分功能的一种工具,俗称为“电脑”。它的结构特点与工作过

程和人脑有许多相似之处，电子计算机的工作原理模拟人手工计算的过程。试看一下人用算盘来计算 $(2436 + 3748 - 4569)$ 的过程，如果我们把算盘记为 R，则计算过程如表 1-1 所示。

表 1-1 使用算盘解题过程

序 号	操 作 命 令	注 释
0	$0 \rightarrow R$	清除算盘盘面
1	$2436 \rightarrow R$	在算盘上拨上 2436
2	$(R) + 3748 \rightarrow R$	在算盘中加上 3748
3	$(R) - 4569 \rightarrow R$	在算盘中减去 4569
4	(R) 抄送纸上	抄送运算结果
5	停 止	计算结果

在执行 6 步操作以后，在算盘上存放着运算结果 1615。表 1-1 是用算盘求解过程的形式描述，算盘 R 具有累加的作用。改变表中的操作命令，就可以实现其它问题的计算。

计算过程中的每一步都是一条指示人完成相应操作的命令，我们将这种执行某种操作的命令称为指令，完成某种功能的一组指令系列称之为程序。表 1-1 列出的 6 条指令就构成了一个程序，编制解题过程的过程称为程序设计。

在手工计算中，是由使用算盘的人按写在纸上的程序和数据来进行计算的。因此使用算盘的人、算盘、记录数据和程序的纸是计算过程中必不可少的组成部分。

若用电子计算机模拟上述解题过程，计算机必须具备下列条件：

- (1) 为了能进行各种数据运算，机器内必须有一个相当于算盘的运算器；
- (2) 为了保存和记录原始数据、解题程序和运算的中间结果，机器内必须有容量足够大的存贮器，这相当于手工计算时用的纸张；
- (3) 必须有按照解题程序指挥、控制各个部件协同工作的控制器，这相当于手工计算中的人脑；
- (4) 必须具备将原始数据和程序送入机器内部的输入设备和给出计算结果的输出设备；
- (5) 机器内应有必要的程序，以便开机后执行该程序，启动系统工作，自动地投入运行状态。

运算器、控制器、存贮器和输入输出设备是计算机赖以工作的物质基础，称之为硬件，而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)。

计算机的硬件结构如图 1-1 所示。

计算机中的程序称为软件。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：

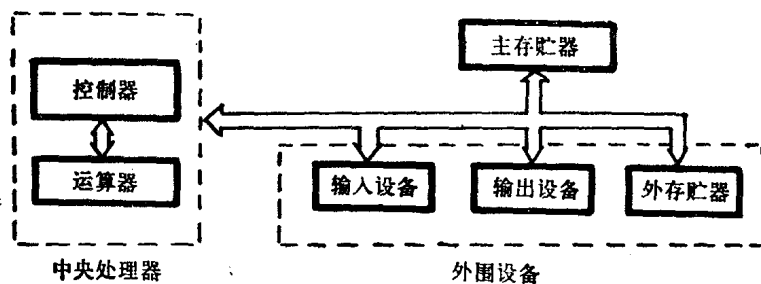
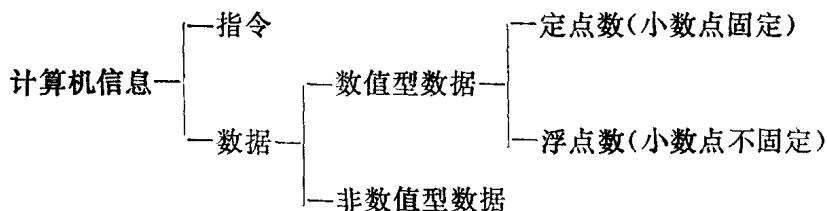


图 1-1 电子计算机硬件结构



§ 1.1.3 数制及其转换

一、进位计数制

进位计数制可概括为：

- 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 $(a_m a_{m-1} \dots a_1 a_0 \cdot a_{-1} a_{-2} \dots a_{-n})_r$ 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: $(987.32)_{10} = 9 \times 10^2 + 8 \times 10^1 + 7 \times 10^0 + 3 \times 10^{-1} + 2 \times 10^{-2}$

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 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 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 4: $(1011.101)_2 = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3}$

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

表 1-3 二进制与十进制小数对照表

二 进 制 小 数	十 进 制 小 数
0.1	0.5
0.01	0.25
0.001	0.125
0.0001	0.0625
0.00001	0.03125
0.000001	0.015625
⋮	⋮

二、二进制编码的十进制数

常用二进制编码的十进制数有 8421 BCD 码(简称 BCD 码)、2421 码、5211 码和余 3 码等。它们都是用四位二进制数来表示 1 位十进制数。前三种码都是有**权码**，余 3 码为**无权码**，而 2421 码和 5211 码表示的十进制数不唯一，8421 BCD 码和余 3 码唯一表示一个十进制数。这四种编码的关系如表 1-4 所示。

表 1-4 四种编码的关系

8421 BCD 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

三、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,一般有以下五种方法:

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 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 6: 把十进制数 62 转换为 2 进制数

2 62	……余数 = 0	低位
2 31	……余数 = 1	
2 15	……余数 = 1	
2 7	……余数 = 1	
2 3	余数 = 1	
1	……余数 = 1	高位

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 7: 把十进制小数 0.375 转换为二进制数