

TP368.1/605

2010

新世纪计算机课程系列精品教材

MCS-51 单片机原理及应用

主 编 焦玉全 俞伟钧 顾诚甦

副主编 彭 颖 戴国平 李 莉

东南大学出版社

·南京·

内 容 简 介

教育部在2003年10月“高职高专教育人才培养模式研究”和同年11月教育部高职高专教育的会议上都强调了高职高专教育应该按照“以应用为目的,以必需够用为度”的原则。本书从应用的角度,详细地介绍了MCS-51单片机的结构、指令系统、应用接口设计、各种常用的数据运算和处理程序以及接口驱动程序的设计。

本书突出了选取内容的实用性、典型性,重点突出MCS-51单片机新的应用,知识覆盖面较广。

本书可作为应用型本科以及高职高专院校理、工、农、医等学科专业学生学习MCS-51单片机课程的教材,又可作为教学参考书,另外对各类从事MCS-51单片机应用的广大工程技术人员也有一定的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

MCS-51 单片机原理及应用 / 焦玉全, 俞伟钧, 顾诚甦
主编. —南京: 东南大学出版社, 2010. 1
(新世纪计算机课程系列精品教材)
ISBN 978-7-5641-2027-6

I. M… II. ①焦…②俞…③顾… III. 单片微型计算机—
高等学校—教材 IV. TP368. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 005640 号

MCS-51 单片机原理及应用

出版发行 东南大学出版社
出版人 江汉
网 址 <http://press.seu.edu.cn>
社 址 南京市四牌楼2号
邮 编 210096

电 话 025-83793191(发行) 025-57711295(传真)
经 销 全国新华书店
印 刷 常州市武进第三印刷有限公司
开 本 787 mm×1092 mm 1/16
印 张 16
字 数 396 千
版 次 2010年1月第1版
印 次 2010年1月第1次印刷
书 号 ISBN 978-7-5641-2027-6
印 数 1—3 000 册
定 价 32.00 元

(本社图书若有印装质量问题,请直接与读者服务部联系。电话(传真):025-83792328)

前 言

根据 2003 年 10 月教育部“高职高专教育人才培养模式研究”和同年 11 月教育部高职高专教育的会议精神,结合高职学生的教学特点编写了本教材。

本教材主要具有如下特点:

(1) 在“必需、够用”的原则指导下,强调 MCS-51 单片机基本知识及其应用,并从系统性方面注重对知识点的覆盖。将知识点与能力点紧密结合,并重点突出了工程应用与生产实际相结合。

(2) 难易适中,知识点的难度在一定程度上低于本科理工科的要求。尽量做到对学生能力和技能培养,精心安排例题、习题,在把握难易、深广度时,以“易懂、广度优先,理论原理为操作技能服务,够用即可”为原则。

(3) 对重、难点内容的阐述力求简明、清晰、透彻。本书各部分内容都从 MCS-51 单片机原理的基础知识入手,遵循“由浅入深、循序渐进”的认识规律,采用通俗易懂的叙述方法,这对初学者理解和掌握单片机及其应用技术具有较大的帮助。

(4) 加强理论联系实际,强化应用,培养动手能力。重视 MCS-51 单片机在计算机、电工、电子信息、机电、机械、汽车、医学等学科中的应用。

本书的基础性较强,信息量大,在章节安排上充分考虑到了高职高专学生的特点,并尽可能地突出本教材的实用性。本书第 1 章及附录部分由彭颖编写;第 2~5 章由焦玉全编写;第 6、第 7、第 11 章由顾诚魁编写;第 8 章由戴国平编写;第 9~10 章由俞伟钧编写;第 12 章由李莉编写。全书由焦玉全统稿,并由钱显毅进行主审。

为了方便教师教学和与作者交流,本书作者将向使用该教材的教学单位提供 PPT 及相关教学资料,联系方式:yq_jiao@126.com。

由于时间仓促,本书中的错误和不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2009 年 10 月

目 录

1 绪论	(1)
1.1 单片机及其特点	(1)
1.2 单片机的应用	(2)
1.3 单片机的历史及发展概况	(2)
1.4 8位单片机的主要生产厂商和机型	(3)
1.5 单片机的发展趋势	(4)
1.6 常用数制及转换	(5)
1.6.1 常用数制	(5)
1.6.2 数制转换	(7)
1.7 数的表示方法	(8)
1.7.1 机器数与真值	(9)
1.7.2 数的原码、反码和补码表示法	(9)
1.8 编码	(11)
1.8.1 ASCII码(字符编码)	(11)
1.8.2 二—十进制编码(BCD码)	(11)
1.8.3 汉字的编码	(12)
1.8.4 校验码编码	(13)
思考题及习题 1	(14)
2 MCS-51 单片机结构及原理	(15)
2.1 MCS-51 系列单片机	(15)
2.2 MCS-51 单片机的硬件结构	(16)
2.3 MCS-51 单片机引脚及功能	(17)
2.3.1 电源及时钟引脚	(18)
2.3.2 控制引脚	(18)
2.3.3 I/O口引脚	(19)
2.4 MCS-51 的微处理器	(19)
2.4.1 控制器	(20)
2.4.2 运算器	(21)
2.5 MCS-51 存储器的结构	(22)
2.5.1 存储器概述	(22)
2.5.2 程序存储器	(25)
2.5.3 内部数据存储器	(26)

2.5.4 特殊功能寄存器	(28)
2.6 并行 I/O 端口	(30)
2.6.1 P0 口结构	(30)
2.6.2 P1 口结构	(32)
2.6.3 P2 口结构	(32)
2.6.4 P3 口结构	(33)
2.6.5 P0~P3 口小结	(34)
2.7 时钟电路和 CPU 时序	(34)
2.7.1 时钟电路	(34)
2.7.2 时序	(35)
2.8 复位电路	(39)
2.8.1 复位操作	(39)
2.8.2 复位电路	(40)
2.9 单片机低功耗工作方式	(40)
思考题及习题 2	(41)
3 MCS-51 指令系统及程序设计	(43)
3.1 指令系统简介	(43)
3.1.1 MCS-51 指令系统概述	(43)
3.1.2 指令格式	(43)
3.1.3 指令分类及符号说明	(44)
3.2 MCS-51 的寻址方式	(45)
3.2.1 直接寻址	(46)
3.2.2 立即寻址方式	(46)
3.2.3 寄存器寻址	(46)
3.2.4 寄存器间接寻址方式	(47)
3.2.5 基址寄存器加变址寄存器间址寻址方式	(47)
3.2.6 相对寻址方式	(48)
3.2.7 位寻址方式	(48)
3.3 数据传送类指令	(49)
3.4 算术运算指令	(54)
3.5 逻辑运算类指令	(59)
3.6 控制程序转移类指令	(62)
3.7 位操作命令	(68)
3.8 MCS-51 汇编语言的伪指令	(69)
3.9 汇编语言程序设计实例	(72)
3.9.1 汇编语言程序设计的基本步骤	(72)
3.9.2 汇编语言程序的基本结构	(73)
3.9.3 顺序程序	(73)
3.9.4 分支程序设计	(74)

3.9.5 循环程序设计	(76)
3.9.6 子程序调用	(79)
3.9.7 查表程序	(81)
思考题及习题 3	(82)
实验 1 拆字程序	(84)
4 MCS-51 的中断系统	(86)
4.1 中断概述	(86)
4.1.1 中断的概念	(86)
4.1.2 中断的作用	(87)
4.2 MCS-51 中断系统的结构	(88)
4.2.1 MCS-51 中断请求源	(88)
4.2.2 中断允许寄存器 IE	(90)
4.2.3 中断优先级控制及嵌套	(90)
4.2.4 中断响应	(92)
4.2.5 中断处理	(93)
4.3 中断服务程序的设计	(94)
思考题及习题 4	(96)
实验 2 外部中断实验	(97)
5 MCS-51 的定时/计数器	(98)
5.1 定时/计数器的结构与工作原理	(98)
5.2 定时/计数器的控制	(99)
5.2.1 工作模式寄存器 TMOD	(99)
5.2.2 控制寄存器 TCON	(100)
5.3 定时/计数器的工作模式及应用	(100)
5.3.1 模式 0 及其应用	(100)
5.3.2 模式 1 及其应用	(102)
5.3.3 模式 2 及其应用	(103)
5.3.4 模式 3 及其应用	(105)
5.4 定时/计数器的综合应用举例	(105)
思考题及习题 5	(107)
实验 3 定时/计数器实验	(108)
6 MCS-51 串行口及应用	(109)
6.1 串行通信的基础知识	(109)
6.1.1 串行通信的两种基本方式	(109)
6.1.2 串行通信的数据传送方式	(111)
6.1.3 串行通信总线标准及其接口	(111)
6.2 MCS-51 的串行口的结构	(113)

6.2.1	电源和波特率控制寄存器 PCON	(115)
6.2.2	串行口控制寄存器 SCON	(116)
6.3	串行口的工作方式	(117)
6.3.1	串行口方式 0	(117)
6.3.2	串行口方式 1	(119)
6.3.3	串行口方式 2、方式 3	(124)
6.4	多机通信	(128)
	思考题及习题 6	(132)
	实验 4 串口/并口转换实验	(132)
7	MCS-51 人机通信接口	(134)
7.1	键盘接口技术	(134)
7.1.1	键盘输入应解决的问题	(134)
7.1.2	键盘接口的工作原理	(135)
7.1.3	键盘工作方式	(140)
7.2	MCS-51 单片机与 BCD 码拨盘的接口设计	(141)
7.3	蜂鸣器接口技术	(143)
7.4	LED 接口技术	(144)
7.4.1	LED 显示器结构与原理	(144)
7.4.2	LED 显示器接口及显示程序	(145)
7.4.3	LED 显示器驱动技术	(149)
7.5	MCS-51 与液晶显示器(LCD)的接口	(152)
7.5.1	LCD 的分类	(152)
7.5.2	点阵式液晶显示模块	(153)
7.5.3	HD44780 模块与 MCS-51 的接口	(157)
	思考题及习题 7	(158)
	实验 5 LED 数码显示实验	(159)
8	MCS-51 的功率接口	(160)
8.1	MCS-51 与功率晶体管的接口	(160)
8.2	MCS-51 与集成电路驱动器的接口	(160)
8.3	MCS-51 与光电耦合器的接口	(161)
8.4	MCS-51 与直流电磁式继电器的接口	(163)
8.5	MCS-51 与固态继电器(SSR)的接口	(164)
	思考题及习题 8	(165)
9	MCS-51 单片机的模拟量接口	(166)
9.1	D/A 转换接口技术	(166)
9.1.1	D/A 转换器概述	(166)
9.1.2	MCS-51 与 DAC0832 的接口	(167)

9.2 A/D转换接口技术	(170)
9.2.1 A/D转换器概述	(170)
9.2.2 MCS-51与ADC0809原理的接口	(171)
9.3 MCS-51与V/F转换器的接口	(174)
9.3.1 LMX31系列V/F转换器	(175)
思考题及习题9	(176)
实验6 模拟量输出接口实训	(177)
10 MCS-51的C51程序设计	(178)
10.1 C51语言的特点	(178)
10.1.1 C51的基本程序结构	(178)
10.1.2 C51程序开发过程	(179)
10.2 C51语言扩展	(180)
10.2.1 数据类型	(180)
10.2.2 存储器类型	(182)
10.2.3 存储器模型	(182)
10.2.4 指针	(183)
10.2.5 C51与汇编的接口	(183)
10.2.6 函数属性	(184)
10.2.7 优化程序	(186)
10.3 C51编程实例	(186)
实验7 C51程序设计实训	(188)
思考题及习题10	(190)
11 MCS-51单片机应用系统设计	(191)
11.1 MCS-51应用系统设计	(191)
11.2 应用系统的硬件设计	(192)
11.2.1 单片机系统扩展部分	(192)
11.2.2 单片机前向通道设计	(195)
11.2.3 单片机后向通道	(197)
11.2.4 单片机人机对话通道	(197)
11.2.5 单片机相互通信通道	(197)
11.3 单片机应用系统的软件设计	(198)
11.4 单片机应用系统的抗干扰设计	(198)
11.4.1 供电系统的抗干扰设计	(199)
11.4.2 空间干扰及抗干扰措施	(200)
11.4.3 过程通道干扰及抗干扰措施	(201)
11.5 软件抗干扰措施	(201)
11.5.1 软件滤波	(201)
11.5.2 开关量输入/输出软件抗干扰设计	(202)

11.5.3	指令冗余及软件陷阱	(203)
11.5.4	看门狗技术	(204)
11.6	单片机应用系统的低功耗技术	(206)
11.6.1	硬件低功耗设计	(206)
11.6.2	软件低功耗设计	(207)
11.7	单片机应用系统的开发与调试	(207)
11.7.1	通用型单片机开发系统	(207)
11.7.2	用户样机调试	(208)
	思考题及习题 11	(209)
12	MCS-51 单片机应用举例	(210)
12.1	实用子程序	(210)
12.2	多功能灯光控制器	(215)
12.2.1	多功能灯光控制器硬件设计	(215)
12.2.2	多功能灯光控制器软件设计	(215)
12.3	步进电机控制	(221)
12.3.1	步进电机控制原理	(221)
12.3.2	步进电机接口技术与软件设计	(223)
12.4	简单温控器	(226)
12.4.1	简单温控器的硬件设计	(226)
12.4.2	简单温控器的软件设计	(227)
附录		
附录 A	ASCII 码表	(235)
附录 B	MCS-51 系列单片机指令系统表	(236)
附录 C	常用芯片引脚	(241)
	参考文献	(244)

1 绪 论

单片机自 20 世纪 70 年代问世以来,以极高性价比受到人们的重视和关注,所以应用很广,发展很快。单片机的优点是体积小、重量轻、抗干扰能力强、对环境要求不高、价格低廉、可靠性高、灵活性好、开发较为容易。

1.1 单片机及其特点

什么是单片机?单片机就是在—块硅片上集成了微处理器(CPU)、存储器(RAM、ROM)和各种输入/输出接口(定时/计数器、并行 I/O 口、串行口以及 A/D 转换器等),这块芯片具备—台计算机的属性,因而被称为单片微型计算机,简称单片机。单片机也被称为“微控制器”、“嵌入式微控制器”等。单片机—词源于“Single Chip Microcomputer”,简称 SCM。国际上逐渐采用“MCU(Micro Controller Unit)”来代替。

单片机按照其用途可分为通用型和专用型两大类。

➤ 通用型单片机

通用型单片机具有比较丰富的内部资源,性能全面且适应性强,能覆盖多种应用需求。用户可以根据需要设计成各种不同应用的控制系统。

➤ 专用型单片机

专用型单片机是专门针对特定产品而设计的,例如,打印机控制器和各种通信设备的单片机等。这种“专用”单片机针对性强且用量大,为此,需要设计和生产专用的单片机芯片。正因为专用的单片机芯片是针对一种产品或一种控制应用而专门设计的,设计时就已经对系统结构的最简化、软硬件资源利用的最优化、可靠性和成本的最佳化等方面都作了通盘的考虑和设计,所以专用的单片机具有十分明显的综合优势。

通常所说的和本书所介绍的单片机是指通用型单片机。今后,随着单片机应用的广泛和深入,各种专用单片机芯片会越来越多,必将会成为今后单片机发展的一个重要方向。但是,无论专用单片机在应用上有多么“专”,其原理和结构都是以通用单片机为基础的。

单片机是微型计算机的一个重要分支,一块单片机就是一台计算机。由于单片机的这种特殊的结构形式,在有些应用领域中,它承担了大中型计算机和通用的微型计算机无法完成的一些工作,使其具有很多显著的优点和特点,因此在各个领域中都得到了迅猛的发展。单片机的特点可归纳为以下几个方面。

1) 具有优异的性价比

单片机的高性能、低价格是它最显著的一个特点,尽可能把应用所需要的存储器,各种功能的 I/O 口都集成在一块芯片内,使之成为名副其实的单片机。

单片机的另一个显著特点是量大面广,因此世界上各大公司在提高单片机性能的同时,又

设法进一步降低其价格。

2) 集成度高、体积小、可靠性高

单片机是将各功能部件集成在一块芯片上,内部采用总路线结构,从而减少了各芯片之间的连线,大大提高了单片机的可靠性与抗干扰能力。另外,其体积小,在强磁场环境下易于采取屏蔽措施,适合于在恶劣的工业环境下工作。

3) 控制功能强

单片机非常适用于专门的控制用途。为了满足工业控制要求,一般单片机的指令系统中有极其丰富的转移指令、I/O 口的逻辑操作以及位处理功能。单片机的逻辑控制功能及运行速度均高于同一档次的微处理器。

4) 低电压、低功耗

单片机大量运用于便携式产品和家用消费类产品,低电压和低功耗的特性尤为重要。许多单片机已经可以在 2.2 V 的电压下运行,有的已在 1.2 V 或 1.9 V 下工作;功耗降至 μA 级,一粒纽扣电池就可以长期使用。

1.2 单片机的应用

单片机以其卓越的性能,得到了广泛的应用,已深入到各个领域。无论是工业部门、民用部门乃至国防部门,到处都有它的身影。现将单片机的应用大致归纳为以下几个方面。

1) 在智能仪器仪表中的应用

这是单片机运用最多、最活跃的领域之一。在各类仪器仪表中引入单片机,使仪器仪表智能化,提高测试的自动化程度和精度,简化仪器仪表的硬件结构,提高其性能的价格比。

2) 在机电一体化中的应用

机电一体化产品是指集机械技术、微电子技术、计算机技术于一体,使其产品具有智能化特征的电子产品。它是机械工业发展的方向。

3) 在实时控制中的应用

单片机广泛用于各种实时过程控制系统中,例如工业过程控制、过程监测、航空航天、尖端武器、机器人系统等各种实时控制系统。用单片机实时进行数据处理和控制,使系统保持最佳工作状态,提高系统的工作效率和产品的质量。

4) 在人类生活中的应用

目前国内外各种家电已普遍用单片机代替传统的控制电路,从而提高了自动化程度,增强了功能。单片机将使人类生活更加方便、舒适,丰富多采。

总之,单片机已成为计算机发展和应用的一个重要方面。

1.3 单片机的历史及发展概况

单片机就是微型计算机发展的一个重要分支,现以 Intel 公司 1976 年推出的 8 位单片机为起点,介绍单片机发展经历的三个历史阶段。

1) 第一代单片机(1976—1978 年)

第一代单片机始于 1976 年,以 Intel 公司的 MCS-48 系列为代表,其特点是采用专门的

结构设计。这个系列单片机片内集成有 8 位 CPU、并行 I/O 口、8 位定时/计数器、RAM 和 ROM 等,但是不足之处是无串行口,中断处理比较简单,片内 RAM 和 ROM 容量较小且寻址范围不大于 4 KB。

2) 第二代单片机(1978—1982 年)

第一代单片机推出后,获得巨大的成功。各大半导体厂商竞相投入开发单片机市场。第二代单片机以 Intel 公司的 MCS-51 为代表,这个阶段推出的单片机普遍带有串行口,多级中断系统,16 位定时/计数器,片内 ROM、RAM 容量加大,且寻址范围可达 64 KB,有的片内还带有 A/D 转换器。

在确立基本控制功能方面,在指令系统中设置大量的位操作指令,它和片内的位地址空间构成了单片机所独有的布尔操作系统,大大增强了单片机的位操作功能;指令系统中设置了大量的条件跳转、无条件跳转指令,增强了指令系统的控制功能。片内设置了特殊功能寄存器(SFR),建立了计算机外围功能电路的 SFR 集中管理模式,这种集中管理模式在增添外围功能单元后给使用管理带来了极大方便。由于这类单片机的性能价格比高,所以仍被广泛应用,是目前应用数量较多的单片机。

3) 第三代单片机(1982 年至今)

第三代单片机阶段,一方面不断完善高档 8 位单片机,改善其结构,以满足不同用户的需要;另一方面发展了 16 位单片机及专用单片机。16 位单片机除 CPU 为 16 位外,片内 RAM 和 ROM 的容量进一步增大,片内带有高速输入/输出部件,多通道 10 位 A/D 转换部件,8 级中断处理功能,实时处理能力更强。近年来 32 位单片机已进入实用阶段。

1.4 8 位单片机的主要生产厂商和机型

自 1976 年单片机诞生以来,其产品 30 多年里得到了迅猛发展,形成了多公司、多系列、多型号的局面。世界上一些著名厂家及其产品如表 1.1 所示。

表 1.1 目前世界上较为著名的 8 位单片机的生产厂家和主要机型

生产厂家	典型产品系列
Intel(美国英特尔)公司	MCS-51 及其增强型系列
Philips(荷兰飞利浦)公司	8×C552 及 89C66X 系列
Motorola(摩托罗拉)公司	6801 系列和 6805 系列
Atmel	与 MCS 系列兼容的 51 系列
Microchip	PIC165X 系列
TI(美国得克萨斯仪器仪表)公司	TMS7000 系列
NEC(日本电气)公司	μ COM87(μ PD7800)系列
Zilog(美国齐洛格)公司	Z8 系列及 SUPER8
NS(美国国家半导体)公司	NS8070 系列
HITACHI(日本日立)公司	HD6301、HD63L05、HD6305
Rockwell(美国洛克威尔)公司	6500/1 系列
Fairchild(美国仙童)公司	F8 系列和 3870 系列

1.5 单片机的发展趋势

在未来相当长的时期内,8位单片机仍是单片机的主流机型,8位增强型单片机在速度及功能上向现在的16位单片机挑战。因此未来的机型很可能是8位机与32位机共发展的时代。单片机的发展趋势是向大容量、高性能化,外围电路内装化等方面发展。

1) CPU的改进

(1) 采用双CPU结构,以提高处理能力。

(2) 增加数据总线宽度,单片机内部采用16位或32位数据总线,其数据处理能力明显优于一般8位单片机。

(3) 采用流水线结构。指令以队列形式出现在CPU中,且具有很快的运算速度。尤其适合于作数字信号处理用。

(4) 串行总线结构。串行总线代替现行的8位数据总线,从而大大减少单片机引线,降低单片机成本。

2) 存储器的发展

(1) 加大存储容量。片内存储器容量进一步扩大。以往单片机的ROM为1~4KB, RAM为64~128B,因此在某些复杂的控制场合,存储器容量不够,不得不进行外部扩充。为适应这种应用场合的要求,可以加大片内存储器的容量。目前单片机内部的ROM可达4~8KB, RAM可达256B,有的片内ROM可达128KB。今后,随着工艺技术的不断发展,片内存储器容量将进一步扩大。

(2) 片内EPROM采用E²PROM或闪烁(Flash)存储器。片内EPROM由于需要高压编程写入,紫外线擦抹,给用户带来不便。采用E²PROM或闪烁存储器后,能在+5V下读/写,不需紫外线擦抹,既有静态RAM读/写操作的简便,又有在掉电时数据不会丢失的优点。片内E²PROM或闪烁存储器的使用不仅会对单片机结构产生影响,而且会大大简化应用系统结构。

(3) 程序保密化。一般EPROM中的程序很容易被复制。为防止复制,开始采用KEPROM(Keyed access EPROM)编程写入,有的则对片内EPROM或E²PROM采用加锁方式。加锁后,无法读取其中的程序。

3) 片内I/O的改进

一般单片机都有较多的并行口。以满足外围设备、芯片扩展的需要,并配有串行口,以满足多机通信功能的要求。

(1) 增加并行口的驱动能力。这样可减少外部驱动芯片。有的单片机能直接输出大电流和高电压,以便能直接驱动LED。

(2) 增加I/O口的逻辑控制功能。大部分单片机的I/O都能进行逻辑操作。中、高档单片机的位处理系统能够对I/O口进行位寻址及位操作,大大加强了I/O口线控制的灵活性。

(3) 有些单片机设置了一些特殊的串行接口功能,为构成网络化系统提供了方便条件。

4) 外围电路内装化

随着集成度的不断提高,有可能把众多的外围功能器件集成在片内。这也是单片机发展的重要趋势。除了一般必须具有的ROM、RAM、定时/计数器、中断系统外,随着单片机档次

的提高,以适应检测、控制功能更高的要求,片内集成的部件还有 A/D 转换器、D/A 转换器、DMA 控制器、中断控制器、锁相环、频率合成器、字符发生器、声音发生器、CRT 控制器、译码驱动器等。

随着集成电路技术及工艺的不断发展,能装入片内的外围电路也可以是大规模的,把所需的外围电路全部装入单片机内,即系统的单片化是目前单片机的发展趋势之一。

纵观单片机几十年的发展历程,单片机今后的发展方向将向多功能、高性能、高速度、低电压、低功耗、外围电路内装化以及片内存储器容量增加和 Flash 存储器化方向发展。此外,专用化也是单片机的一个发展方向,针对单一用途的专用型单片机将会越来越多。

1.6 常用数制及转换

1.6.1 常用数制

1) 十进制数

在日常生活中,人们非常习惯使用十进制数,它的数值部分是用 10 个不同的数字符号 0~9 表示的。例如 145.63,小数点左边第 1 位数表示个位,数值为 5×1 ,小数点左边第 2 位数表示十位,数值为 4×10 ,小数点左边第 3 位数表示百位,数值为 1×100 ;小数点右边第 1 位数 6 表示 $6/10$,小数点右边第 2 位数 3 表示 $3/100$ 。因此,这个数可以写成:

$$145.63 = 1 \times 10^2 + 4 \times 10^1 + 5 \times 10^0 + 6 \times 10^{-1} + 3 \times 10^{-2}$$

所以若用 X_i 表示 0~9 十个数中的任意一个,那么,一个含有 n 位整数, m 位小数的十进制数可表示为:

$$\begin{aligned} N &= X_{n-1} \times 10^{n-1} + X_{n-2} \times 10^{n-2} + \cdots + X_0 \times 10^0 + X_{-1} \times 10^{-1} + \cdots + X_{-m} \times 10^{-m} \\ &= \sum_{i=m}^{n-1} X_i \times 10^i \end{aligned}$$

式中, N 表示该数的十进制值。 10 为计数制的基数, 10^i 为该位的权。

2) 二进制数

以 2 为基数的数值叫二进制,它只包括两个符号 0 和 1,并且是“逢二进一”,它第 i 位上的权为 2^i 。例如:

$$(1010.1)_2 = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1}$$

如果用 X_i 表示 0~1 两个数中的任意一个,那么,一个含有 n 位整数, m 位小数的二进制数可表示为:

$$\begin{aligned} N &= X_{n-1} \times 2^{n-1} + X_{n-2} \times 2^{n-2} + \cdots + X_0 \times 2^0 + X_{-1} \times 2^{-1} + \cdots + X_{-m} \times 2^{-m} \\ &= \sum_{i=m}^{n-1} X_i \times 2^i \end{aligned}$$

在计算机中,皆采用二进制进行运算,这是因为二进制较其他进制位有更特殊的优点。首先,二进制数码只取 0 和 1 两个数码,使计算机只需要具有两个稳定状态的元件,因而制造它比制造具有较多稳定状态的元件要容易得多。例如,利用晶体管的截止和饱和,电位的高和

低,灯的亮和灭,脉冲的“有”和“无”等。其次,二进制数计算简单,因而实现运算的计算电路简单、可靠,运算速度快。它们的基本运算法则是:

$$\begin{aligned} \text{加法} \quad & 0+0=0 \\ & 0+1=1+0=1 \\ & 1+1=10 \\ \text{乘法} \quad & 0\times 0=0 \\ & 0\times 1=1\times 0=0 \\ & 1\times 1=1 \end{aligned}$$

减法和除法分别是加法和乘法的逆运算。在做减法遇到不够减时,需向高位借位,借一作二。

根据上述规则,便可容易地进行二进制数的四则运算。二进制虽然计算简单,但书写和阅读非常不便,为程序编写带来困难,所以程序编写时常用十六进制数。

3) 十六进制数

在十六进制中,每位可选用的数值共 16 个,即 0~9, A~F(A~F 对应十进制中的 10~15)。逢十六进位,基数为 16。从低位起各位权依次是 $16^0, 16^1, 16^2, \dots$ 。那么,一个含有 n 位整数, m 位小数的十六进制数可表示为:

$$\begin{aligned} N &= X_{n-1} \times 16^{n-1} + X_{n-2} \times 16^{n-2} + \dots + X_0 \times 16^0 + X_{-1} \times 16^{-1} + \dots + X_{-m} \times 16^{-m} \\ &= \sum_{i=m}^{n-1} X_i \times 16^i \end{aligned}$$

阅读和书写时,为了区别不同数制,通常采用两种标识方法:一是数加括号并在括号右下脚标注数制代号,如 $(1011)_2$ 、 $(1011)_{10}$ 、 $(1011)_{16}$ 分别表示二进制数、十进制数、十六进制数;二是用数制的英文第一大写字母表示,如 1011B、1011D、1011H 分别表示二进制数、十进制数、十六进制数,其中十进制数的下脚标 10 和英文字母 D 可略去不写。常用的数制对照表如表 1.2 所示。

表 1.2 十进制数、二进制数和十六进制数对照表(部分整数)

十进制(D)	二进制(B)	十六进制(H)
0	0000	0
1	0001	1
2	0010	2
3	0011	3
4	0100	4
5	0101	5
6	0110	6
7	0111	7
8	1000	8
9	1001	9
10	1010	A
11	1011	B

续表 1.2

十进制(D)	二进制(B)	十六进制(H)
12	1100	C
13	1101	D
14	1110	E
15	1111	F
16	00010000	10

1.6.2 数制转换

1) 十进制数转换为二进制数

➤ 十进制整数转换为二进制数

方法：“除2取余”法——用2连续去除要转换的十进制数，直到商为0止。将各次所得余数以最后所得余数为最高位，最先所得余数为最低位顺序排列，即为该十进制数的二进制代码。

【例 1.1】 将十进制数 44 转换成二进制数。转换过程如下

$$\begin{array}{r}
 2 \overline{)44} \\
 2 \overline{)22} \quad \cdots \text{余数}=0 \quad (\text{最低位}) \\
 2 \overline{)11} \quad \cdots \text{余数}=0 \\
 2 \overline{)5} \quad \cdots \text{余数}=1 \\
 2 \overline{)2} \quad \cdots \text{余数}=1 \\
 2 \overline{)1} \quad \cdots \text{余数}=0 \\
 0 \quad \cdots \text{余数}=1 \quad (\text{最高位})
 \end{array}
 \uparrow$$

转换得到的二进制数为 101100B。

➤ 十进制纯小数转换为二进制数。

方法：“乘2取整”法——用2连续去乘要转换的十进制纯小数，直到满足精度要求或小数部分为0止。将各次所得乘积的整数，以最先所得整数为最高位，最后所得整数为最低位顺序排列，即为该十进制纯小数的二进制代码。

【例 1.2】 将十进制数 0.625 转换成二进制数。转换过程如下：

$$\begin{array}{r}
 0.625 \times 2 = 1.25 \quad \text{小数部分 } 0.25 \quad \text{整数} = 1 \quad (\text{最高位}) \\
 0.25 \times 2 = 0.5 \quad \text{小数部分 } 0.5 \quad \text{整数} = 0 \\
 0.5 \times 2 = 1.0 \quad \text{小数部分 } 0 \quad \text{整数} = 1 \quad (\text{最低位})
 \end{array}
 \downarrow$$

转换得到的二进制数为 0.101B。

如果十进制数包含整数和小数部分，可按上述两种方法将整数和小数分别进行转换。

2) 十进制数转换为十六进制数

➤ 十进制整数转换为十六进制数

方法：“除16取余”法——用16连续去除要转换的十进制数，直到商为0止。将各次所得余数，以最后所得余数为最高位，最先所得余数为最低位顺序排列，即为该十进制数的十六进制代码。