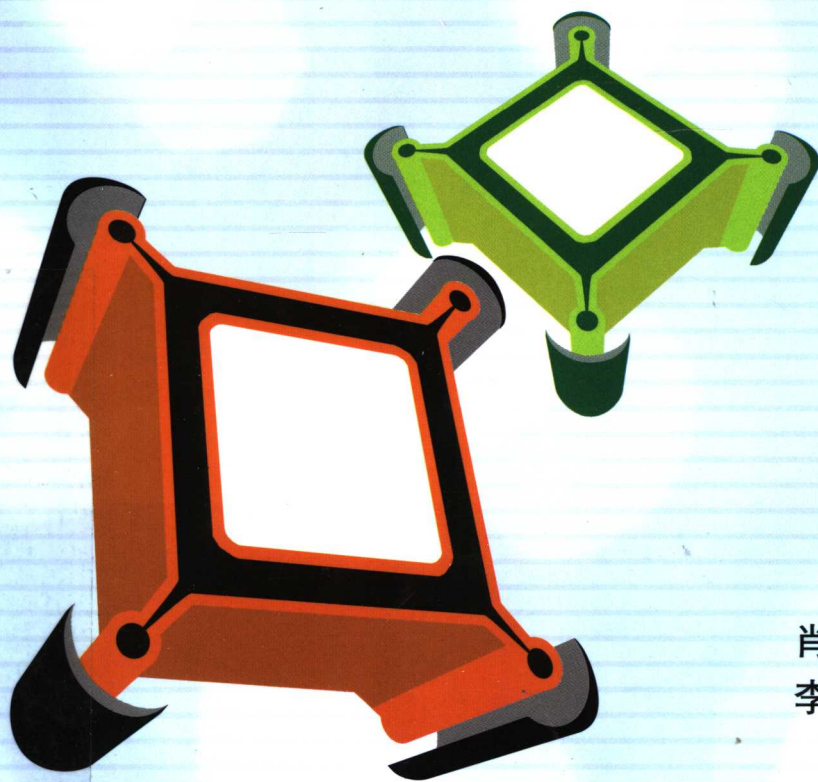


普通高校嵌入式系统基础教材

80C51

嵌入式系统教程



肖洪兵 李国峰 编著
李 冰 杨 征

本书配套多媒体教学课件

北京航空航天大学出版社

TP368.1/406

2008

普通高校嵌入式系统基础教材

80C51 嵌入式系统教程

肖洪兵 李国峰 编著
李 冰 杨 征

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书贯彻“讲清楚概念便于理解系统,讲清楚芯片便于应用系统”的思想,立足于将《微机原理》和《单片机原理及应用》两门课程优化整合为一门课程,使读者从基础起步。介绍了一些顺应嵌入式系统发展趋势的串行的、性价比高的新器件,体现“器件解决”的方针。充分考虑到作为教材的特点和实际教学需要,在具体内容的展开上采用“避重就轻”的手法,避免冗长的理论介绍,尽量采用简洁的理论描述以及适合学生理解的图表形式。本书融单片机与嵌入式系统的基础理论与应用系统设计于一体,概念和理论叙述简洁明了,例程来源于应用及最新科研成果,取材较新,实用性强,并配有参考程序。

本书将单片机与嵌入式系统结合起来,作为《微机原理》与《单片机原理及应用》课程整合后的替代教材,适合高校电子信息类、计算机类和机电类等专业的单片机与嵌入式系统方向的课程;该课程体现了电子技术和微型计算机技术的综合应用。本书也可作为工程技术人员自学单片机及嵌入式系统的入门书籍。

图书在版编目(CIP)数据

80C51 嵌入式系统教程/肖洪兵等编著. —北京:北京
航空航天大学出版社,2008.1

ISBN 978-7-81124-194-5

I. 8… II. 肖… III. 微型计算机—系统设计—教材
IV. TP360.21

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 002535 号

©2008,北京航空航天大学出版社,版权所有。

未经本书出版者书面许可,任何单位和个人不得以任何形式或手段复制或传播本书内容。侵权必究。

80C51 嵌入式系统教程

肖洪兵 李国峰 编著
李 冰 杨 征
责任编辑 张军香 朱红芳

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100083) 发行部电话:010-82317024 传真:010-82328026

http://www.buaapress.com.cn E-mail:bhpress@263.net

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787 mm×960 mm 1/16 印张:20 字数:448 千字

2008 年 1 月第 1 版 2008 年 1 月第 1 次印刷 印数:5 000 册

ISBN 978-7-81124-194-5 定价:28.00 元

单片机与嵌入式系统应用

ME

何立民教授主编

www.mesnet.com.cn

中央级科技期刊

月刊

北京航空航天大学出版社 承办



引领嵌入式技术时代潮流
反映嵌入式系统先进技术
推动嵌入式应用全面发展

本刊栏目设置

业界论坛

创新观念、技术评述、学术争论以及方向性、技术性指导

专题论述

单片机与嵌入式系统领域的热点技术、观念及综合分析

技术纵横

国内外先进技术的宏观纵览，全局资料分析、介绍和述评

新器件新技术

先进器件、先进技术及其在系统中的典型应用方法

应用天地

具有重要参考价值的科技成果与典型应用的技术交流

经验交流

嵌入式系统应用中的深入体验和开发经验交流

学习园地

介绍嵌入式系统新领域的基础知识

产业技术与信息

为产业界提供技术与信息发布平台，推广厂家的最新成果

编读往来

嵌入式系统领域的科技活动及产业动态报道

专业期刊

着眼世界

应用为主

专家办刊

面向全国

读者第一

杂志社网站全新改版！敬请广大作者、读者、厂商关注！

- “作者”——实现“网上投稿”，方便查稿
- “读者”——阅读“精选文章”，快速浏览
- “厂商”——发布公司动态，投放广告，扩大知名度

每月1日出刊

国际标准16开本形式出版

每期定价：8元 全年定价：96元

国内统一刊号：CN 11-4530/V

国际标准刊号：ISSN 1000-823X

邮发代号：2-785

地址：北京市海淀区学院路37号《单片机与嵌入式系统应用》杂志社 邮编：100083

投稿专用邮箱：paper@mesnet.com.cn 广告部专用邮箱：adv@mesnet.com.cn

电话：010-82338009（编辑部）82313656，82317029（广告部）82317043（网络部）

传真：010-82317043 网址：http://www.mesnet.com.cn

欢迎投稿 欢迎订阅 欢迎刊登广告 欢迎索取样刊

前言

目前,很多高校的电子信息类、计算机类和机电类专业都开设了单片机与嵌入式系统方面的课程,比较典型的课程有《单片机原理及应用》、《单片机接口技术》和《单片机应用系统设计》等。这些课程有着广泛的物质基础和群众基础,虽然在内容上或多或少有些差异,但性质都是相同的,是在学生学完电子技术类和微机应用类基础课程之后,为加强学生技术应用能力的培养而开设的,是体现电子技术和微型计算机技术综合应用的课程。

将单片机与嵌入式系统结合起来,才是近几年的事情,因而这门课的课程体系建立尚处于关注和探索之中,国内有关专家和学者为此付出了不懈的努力。为了适应嵌入式系统发展的大好形势,应以创新思维来构建嵌入式系统的课程体系。从上述思想出发,作者一直将《单片机原理及应用》课程作为贯穿专业教学的主线,构建了课程理论教学、实验教学、专业综合设计、第二课堂和毕业设计的大课程体系。本着及时服务于学生的课外实践活动需要,在新教学计划中解决好课程之间的整合问题,将《微机原理》和《单片机原理及应用》两门课程合二为一,变成了《嵌入式应用系统原理与设计》,并在一些试点专业中实施。这一设想在与国内一些兄弟院校同行的交流中也取得了共识,得到了有关专家的肯定,他们鼓励作者尽快将这一设想变为现实,以便在兄弟院校间加以推广。

基于此,作者着手编写《80C51 嵌入式系统教程》,试图以此作为《微机原理》与《单片机原理及应用》课程整合后的替代教材,以求抛砖引玉。本教材力求做到以下几点:

- ▶ 在指导思想上,贯彻“讲清楚概念便于理解系统,讲清楚芯片便于应用(设计)系统”的思想。概念是进一步学习的前提,必须给出正确、简洁、明了的概念,接下来才能使读者理解嵌入式系统的一些理论和方法;而讲清楚芯片,才可使读者自己去应用和设计嵌入式系统,从而体现出该课程应用性强的特点。
- ▶ 在立意上,本书立足于将《微机原理》和《单片机》两门课程优化整合为一门课程。使读者从基础起步,不必再学《微机原理》课程。这样,既避免了过去两门课中大量的重复性内容,又为加强这门课程的实践环节腾出了一些宝贵的学时资源。
- ▶ 在器件上,书中尽量介绍一些顺应嵌入式系统发展趋势的串行的、性价比高的新器件,

前言

体现“器件解决”的方针。例如,本书选取了 ZLG7290 替代 8279 来介绍键盘/显示器接口设计。其他的例子还有很多,读者可从中体会到这一点。随着 SoC 系统级器件的出现和推广,这种趋势更是势在必行。

- 在写法上,充分考虑到作为教材的特点和实际教学需要。在具体内容的展开上采用“避重就轻”的手法,避免冗长的理论介绍,尽量采用简洁的理论描述以及适合学生理解的图表形式。

本教材是作者在 10 余年教学经验的基础上编写而成的,融单片机与嵌入式系统的基础理论与应用系统设计于一体。书中概念和理论叙述简洁明了;例子来源于应用及最新科研成果,取材较新,实用性强,并配有参考程序。

本书由肖洪兵、李国峰、李冰和杨征等编著。其中:第 1 章、第 2 章、第 6 章、第 8 章的 8.3 节、第 10 章的 10.1 节由肖洪兵编写;第 5 章、第 7 章的 7.1 节和 7.2 节、第 9 章的 9.2 节、第 10 章的 10.2 节由李国峰编写;第 4 章、附录由李冰编写;第 3 章、第 9 章的 9.1 节由杨征编写;第 7 章的 7.3 节和 7.4 节、第 8 章的 8.1 节由李朝晖编写;第 8 章的 8.2 节由李巧编写;另外,关小丹和蒋天伟参与了第 1 章、第 2 章的部分编写工作。肖洪兵担任主编并负责全书的统稿,李国峰和李冰协助主编做了部分统稿工作。

需要特别指出的是,北京航空航天大学出版社为本书的顺利完成做了大量细致的工作;在本书的编写过程中还得到了陈志强院长的大力支持,深表感谢;此外,本书参考了一些单位以及同行所公开的有关资料,尽管已在参考文献中列出,但难免有疏漏,在此一并致谢。

无疑,单片机与嵌入式系统课程是新兴的、同时又是富有生命力的课程。尽管它的课程体系还不尽完善,但由于其具有巨大的应用需求,作者相信,在各方的努力和呵护之下,必将逐渐趋于成熟,孕育和培养出一大批该领域的应用人才,充分显示出其巨大的价值。作者始终本着为读者认真负责的态度和出精品的意识来编写这本书,从本书的谋划到出版花费了几年的时间,但由于水平所限,缺点和不足在所难免,欢迎广大读者和同行不吝赐教。

本教材还配套有教学课件。需要用于教学的教师,请与作者或北京航空航天大学出版社联系。

作者 Email: x. hb@163. com

北京航空航天大学出版社联系方式如下:

通信地址:北京市海淀区学院路 37 号北京航空航天大学出版社教材推广部

邮编: 100083

电话: 010-82317027 传真: 010-82327026

E-mail: bhkejian@126. com

作者

2007 年 8 月

目 录

第 1 章 从计算机到嵌入式计算机

1.1 计算机概述	1
1.1.1 计算机的技术发展史	1
1.1.2 计算机中的信息表示	2
1.2 微型计算机系统的组成及原理	8
1.2.1 硬件组成	8
1.2.2 软件组成	9
1.3 微型计算机的基本电路	10
1.4 微型计算机的分类	13
1.4.1 现代计算机技术的两大分支	13
1.4.2 通用微型计算机	14
1.4.3 嵌入式计算机	15
本章小结	15
本章习题	16

第 2 章 嵌入式系统结构

2.1 嵌入式系统的基本概念	17
2.1.1 什么是嵌入式系统	17
2.1.2 嵌入式系统的特点	18
2.1.3 嵌入式系统的应用模式	20
2.1.4 嵌入式系统的发展	25
2.1.5 嵌入式系统的组成	27
2.2 嵌入式系统硬件结构	28

目 录

2.2.1 存储体系结构	28
2.2.2 指令体系结构	31
2.2.3 嵌入式系统的存储器	34
2.3 嵌入式系统软件基础	39
2.3.1 嵌入式操作系统	39
2.3.2 嵌入式应用软件	43
2.4 应用最广泛的嵌入式系统	44
2.4.1 单片机的嵌入式特点	44
2.4.2 单片机的嵌入式应用	45
2.4.3 8 位单片机的主流地位	45
2.4.4 单片机的技术发展史和趋势	46
2.4.5 嵌入式系统的高低端	47
本章小结	48
本章习题	48

第 3 章 80C51 单片机的结构与配置

3.1 概 述	49
3.2 80C51 单片机的内部结构	50
3.3 80C51 单片机的外部引脚及功能	52
3.3.1 信号引脚的介绍	52
3.3.2 引脚的复用	54
3.4 80C51 单片机的存储器配置	54
3.4.1 内部数据存储器	54
3.4.2 特殊功能寄存器 SFR	56
3.4.3 80C51 单片机的堆栈操作	60
3.4.4 程序存储器	61
3.4.5 80C51 嵌入式系统的存储器结构特点	62
3.5 80C51 单片机并行输入/输出接口电路	62
3.5.1 P0 口的内部结构	62
3.5.2 P1 口的内部结构	63
3.5.3 P2 口的内部结构	64
3.5.4 P3 口的内部结构	65
3.5.5 并行接口电路小结	65
3.6 80C51 单片机的时钟电路与时序	66

目 录

3.6.1 时钟电路	66
3.6.2 时钟时序的基本概念	67
3.7 80C51 单片机的工作方式	69
3.7.1 复位方式	69
3.7.2 节电方式	70
本章小结	71
本章习题	71

第 4 章 80C51 单片机指令系统与汇编程序设计

4.1 80C51 单片机指令系统	72
4.1.1 指令概述	72
4.1.2 指令格式	73
4.1.3 指令的分类	73
4.1.4 指令中常用符号说明	74
4.2 80C51 单片机的寻址方式	75
4.2.1 立即寻址	75
4.2.2 直接寻址	75
4.2.3 寄存器寻址	76
4.2.4 寄存器间接寻址	76
4.2.5 变址寻址	77
4.2.6 相对寻址	77
4.2.7 位寻址	77
4.3 数据传送类指令	78
4.3.1 内部 RAM 数据传送指令	78
4.3.2 访问外部 RAM 的数据传送指令	79
4.3.3 程序存储器向累加器 A 传送数据指令	80
4.3.4 数据交换指令	81
4.3.5 堆栈操作指令	82
4.4 算术运算类指令	82
4.4.1 加法指令	82
4.4.2 带进位加法指令	83
4.4.3 带借位减法指令	84
4.4.4 加 1 指令	85
4.4.5 减 1 指令	85

目 录

4.4.6	乘除指令	85
4.4.7	十进制调整指令	86
4.5	逻辑运算及移位类指令	87
4.5.1	逻辑“与”运算指令	87
4.5.2	逻辑“或”运算指令	87
4.5.3	逻辑“异或”运算指令	88
4.5.4	累加器清零、取反指令	88
4.5.5	循环移位指令	89
4.6	控制转移类指令	90
4.6.1	无条件转移指令	90
4.6.2	条件转移指令	92
4.6.3	子程序调用及返回指令	95
4.6.4	空操作指令	97
4.7	位操作类指令	97
4.7.1	位变量传送指令	97
4.7.2	置位清零指令	98
4.7.3	位逻辑运算指令	98
4.7.4	位控制转移指令	99
4.8	汇编语言程序的伪指令	100
4.9	汇编语言程序设计举例	102
4.9.1	程序的基本结构	102
4.9.2	顺序程序设计	103
4.9.3	分支程序设计	103
4.9.4	循环程序设计	105
4.9.5	查表程序设计	109
4.9.6	子程序设计	110
	本章小结	112
	本章习题	113

第 5 章 80C51 单片机的 C 语言程序设计基础

5.1	C51 程序设计的基础知识	116
5.1.1	C51 的优势及其程序结构特点	116
5.1.2	C51 中的标识符和关键字	117
5.2	C51 中的数据类型	119

5.2.1	字符类型 char	120
5.2.2	整型 int	120
5.2.3	长整型 long	121
5.2.4	浮点型 float	121
5.2.5	指针型	122
5.2.6	位标量 bit	122
5.2.7	特殊功能寄存器 sfr	123
5.2.8	16 位特殊功能寄存器 sfr16	123
5.2.9	特殊功能位 sbit	124
5.3	C51 中的常量	124
5.3.1	整型常量	124
5.3.2	浮点型常量	124
5.3.3	字符型常量	124
5.3.4	字符串型常量	125
5.3.5	位标量	125
5.3.6	常量的定义	125
5.4	C51 中的变量及其存储模式	126
5.4.1	C51 中的变量	126
5.4.2	C51 中存储器类型	126
5.4.3	C51 中存储模式	128
5.5	C51 中的函数	129
5.5.1	一般函数	130
5.5.2	中断函数	130
5.5.3	再入函数	132
5.6	C 程序和汇编语言程序的结合	133
5.7	典型设计要求的 C 语言实现方法	134
5.8	C51 程序设计的几点注意事项	137
	本章小结	140
	本章习题	141

第 6 章 80C51 单片机的程序开发

6.1	80C51 单片机的程序开发流程	142
6.2	80C51 单片机程序开发的软硬件平台	142
6.2.1	Keil C51 软件及其安装	142

目 录

6.2.2	HK - Keil C 仿真器及其安装	144
6.3	80C51 程序的开发	147
6.3.1	Keil μ VisionX 的启动	147
6.3.2	建立并调试用户程序	148
6.3.3	HK - Keil C51 综合实验系统的应用	157
6.3.4	几点使用技巧	162
6.4	80C51 目标程序的 ISP 下载	163
6.4.1	AT89S5X ISP 下载器简介	163
6.4.2	ISP 下载操作流程	163
	本章小结	166
	本章习题	166

第 7 章 80C51 单片机的中断与定时系统

7.1	中断的概念	167
7.1.1	中断功能	168
7.1.2	中断过程	168
7.2	80C51 单片机的中断系统	168
7.2.1	中断源及其入口地址	169
7.2.2	80C51 单片机的中断系统结构和中断控制	170
7.2.3	中断过程	176
7.3	80C51 单片机的定时/计数器	178
7.3.1	定时的方法	178
7.3.2	定时器的两种工作模式	178
7.3.3	定时器的控制	179
7.3.4	定时器的工作方式	181
7.4	80C51 单片机的定时器与中断联合应用举例	187
	本章小结	190
	本章习题	191

第 8 章 80C51 嵌入式系统接口技术

8.1	嵌入式系统接口技术概述	192
8.1.1	接口概念	192
8.1.2	接口类型	193
8.2	80C51 单片机的通信接口技术	194

8.2.1 串行通信的基本知识	194
8.2.2 80C51 单片机的串行接口	200
8.2.3 80C51 单片机与外设的通信总线	220
8.3 80C51 单片机的人机交互接口技术	240
8.3.1 键盘接口技术	240
8.3.2 显示接口设计	243
8.3.3 键盘/LED 显示器接口 ZLG7290	251
本章小结	257
本章习题	259

第 9 章 80C51 单片机的 SoC 化嵌入式系统

9.1 AD μ C8xx 嵌入式数据采集系统	260
9.1.1 A/D 转换器	260
9.1.2 D/A 转换器	262
9.1.3 AD μ C812 的主要特点	263
9.1.4 AD μ C812 的功能部件	263
9.1.5 AD μ C824 简介	265
9.2 C8051F 系统级单片机	268
9.2.1 系统组成	268
9.2.2 外部引脚及功能	272
9.2.3 改进型 51 内核	273
9.2.4 片内存储器	274
9.2.5 可编程数字 I/O 和交叉开关	275
9.2.6 可编程计数器阵列	275
9.2.7 串行端口	276
9.2.8 模/数转换器 ADC	277
9.2.9 比较器和数/模转换器 DAC	278
9.2.10 JTAG 调试和边界扫描	278
本章小结	279
本章习题	279

第 10 章 80C51 嵌入式系统应用实例

10.1 高精度低成本温度控制器	280
10.1.1 DS1620 温度测量与控制原理	280

目 录

10.1.2 控制电路的实现.....	286
10.1.3 控制程序设计.....	287
10.2 多功能报警系统.....	288
10.2.1 系统的组成与工作原理.....	288
10.2.2 软件程序设计.....	290
本章小结.....	293
本章习题.....	293
附录 A 指令速查表(按字母顺序排列).....	294
附录 B PDIUSB D 12 引脚描述	298
附录 C PDIUSB D 12 端点描述	300
附录 D PDIUSB D 12 的命令描述	301
附录 E ZLG7290 的应用程序	302
参考文献.....	307

第 1 章

从计算机到嵌入式计算机

主要内容 计算机的基本概念,微型计算机系统的组成及工作原理,构成微型计算机的基本电路,微型计算机的分类。

教学建议 1.1、1.2 节作为一般性内容介绍,其他部分作为重点介绍内容。

教学目的 通过本章学习,使学生:

- 了解计算机特别是微型计算机的有关概念和术语;
- 了解微型计算机系统的基本构成及工作原理;
- 熟悉嵌入式计算机的概念。

1.1 计算机概述

1.1.1 计算机的技术发展史

自从 1946 年第一台电子计算机 ENIAC 问世以来,计算机的迅速发展对人类社会的进步产生了巨大的推动作用。在推动计算机发展的诸多因素中,电子器件的发展是最活跃的一个因素。因此,人们常常把计算机的发展以电子器件为标志分为 4 代,即电子管时代、晶体管时代、集成电路时代和大规模/超大规模集成电路时代。

在计算机的发展历史中,每一次逻辑元件的变更都使计算机的性能得到一次飞跃;再加上硬件结构和软件技术的不断改进,使得 60 年来计算机的性价比提高了千万倍,这主要体现在速度和存储容量大幅度提高,软件性能愈加完善,而体积急剧缩小,价格也一再下降。目前,在世界各行业中,发展速度最快的要首推计算机行业,这与社会对它的需求是分不开的。

在计算机发展的早期,电子计算机技术一直是沿着满足高速数值计算的道路发展的。直到 20 世纪 70 年代,电子计算机在数字计算、逻辑运算与推理、信息处理及控制方面表现出非凡能力后,在通信、测控、数据传输等领域,人们对计算机技术给予更大的期待。正是由于社会的需求和发展,计算机也在不断革新和发展着,它促使每一代又派生出大小不一、花样繁多的各种类型的计算机。如果按照计算机的规模、性能、用途和价格来分类,可分为巨型机、大型机、小型机和微型机。近年来,计算机的发展趋势是:一方面向着高速化和智能化的超级巨型

第1章 从计算机到嵌入式计算机

机方向发展;另一方面向着微型化和网络化的方向发展。

巨型计算机主要用于大型科学研究和实验以及超高速数学计算等领域。它的研究水平标志着一个国家的科学技术和工业发展的程度,象征着一个国家的实力。

巨型计算机的作用不容忽视,但微型计算机的问世却使得计算机的应用不再仅限于少数科技人员。微型计算机与其他类型计算机的主要区别是其中央处理器 CPU(Central Processing Unit)集成在一个小硅片上,而巨型机、大型机和小型机的 CPU 则是由相当多的电路组成的。除此之外,因为微型机充分利用了大规模和超大规模集成电路工艺,所以体积小,成本低,容易掌握,加之其使用面广,除了可用于一般的计算、管理之外,还适用于工业控制等领域。因此,自 20 世纪 70 年代微型计算机诞生之后,就把计算机的应用推向了全社会。微型计算机已成为现代计算机领域中一个极为重要的分支,正在突飞猛进地发展。

所谓微型计算机,就是以微处理器(中央处理单元)为核心,再配以相应的半导体存储器(RAM 和 ROM)、I/O(Input/Output)接口和中断系统等,并由系统总线连接起来组装在一块或数块印刷电路板上构成的计算机。通常包括以下几种类型:

多板微型计算机。多板微型计算机是把构成微型计算机的各功能部件分别组装在多块印刷电路板上,再通过同一机箱内的总线插槽把这些电路板连为一体的微型计算机。这种结构的微型计算机功能很强,通过选用不同的印刷电路插件就可以达到不同的使用目的。

单板微型计算机。单板微型计算机是把微处理器、一定容量的存储器芯片以及 I/O 接口电路等大规模集成电路组装在一块印刷电路板上而构成的一种微型计算机。在这块印刷板上,通常还配有简易键盘和发光二极管,在只读存储器 ROM 中还固化有容量不大的监控程序。单板微型计算机常做成专用的过程控制机投放市场。

单片微型计算机。单片微型计算机简称单片机,是把微处理器、半导体存储器、I/O 接口电路和中断系统集成在一块集成电路芯片上的具有完整功能的微型计算机。单片机是具有嵌入式形态的计算机,英文名称为 Micro-Controller Unit(即微控制器,简称为 MCU)。它具有体积小,重量轻,价格低和可靠性好等优点,可以实现嵌入式应用。在家用电器、智能仪表和工业控制等领域中有着广阔的发展空间。

为了适应社会发展的需要,20 多年来,微型计算机不断地更新换代,新产品层出不穷。目前微型计算机正向着两个不同的方向发展:一个是向着高速度、大容量、高性能和通用的高档个人微型机(即 PC 机)方向发展;另一个是向着稳定可靠、体积小、成本低和专用的单片机方向发展。为讨论方便起见,我们约定,后面提到的计算机均是指微型计算机;但这丝毫不妨碍计算机概念的一般性。

1.1.2 计算机中的信息表示

1. 计算机中的数

计算机中的数据是以二进制的形式进行存储和运算的,微型计算机也不例外。在计算机

进行数据存取时,不管它的实际长度如何,每类数据所占据的二进制位数是固定的。例如在 8 位机中,整数 124 以 01111100B 的形式存储,整数 22 以 00010110B 的形式存储。当然计算机中不仅要处理无符号数,还要处理带符号数和带小数点的数。

(1) 机器数

为表示带符号数,通常规定数的最高位为符号位。符号位通常用“0”表示正数,用“1”表示负数。如在 8 位机中,+12 表示为 00001100B,-12 表示为 10001100B。这种能被计算机识别的带符号位的二进制数就称为“机器数”,而它所代表的真实值称为“机器数的真值”。

(2) 带符号数的表示

对带符号数,计算机中常见的有原码、反码和补码 3 种表示方法。

① 原 码

在表示带符号数时,正数的符号位为“0”,负数的符号位为“1”,数值位不变,这样就得到了原码。例如在 8 位机中:

$$[+38]_{\text{原}} = 00100110\text{B}, \quad [-38]_{\text{原}} = 10100110\text{B}$$

其中,最高位为符号位,后面 7 位是数值位。如果字长是 16 位,则 D_{15} 是符号位, $D_{14} \sim D_0$ 是数值位。在用原码表示时,8 位二进制原码表示数的范围为 $-127 \sim +127$;16 位二进制原码表示的范围为 $-32767 \sim +32767$ 。但是“0”的原码有两种形式:00000000B 和 10000000B,即分为 +0 和 -0。原码表示简单易懂,而且与真值转换方便。但若是两个异号数相加(或两个同号数相减)就要做减法。由于微机中一般只有加法器而没有减法器,所以为了把减法运算转换为加法运算就引入了反码和补码的概念。

② 反 码

正数的反码表示与原码相同,最高位为符号位,其余位为数值位。如在 8 位机中:

$$[+4]_{\text{反}} = [+4]_{\text{原}} = 00000100\text{B}$$

而负数的反码应当表示为,该数的原码除符号位外按位取反。如在 8 位机中:

$$[-4]_{\text{反}} = 11111011\text{B}$$

负数的反码表示与原码有很大的区别:最高位相同仍是“1”,但数据位的值完全相反。对于 8 位二进制数来说,反码表示数的范围为 $-127 \sim +127$;16 位二进制反码的表示范围为 $-32767 \sim +32767$ 。

如果一个带符号数用反码表示,当符号位为“0”时,说明该数是正数,后面 7 位(或 15 位)是其数值;当符号位为 1 时,说明该数为负数,其值为后面 7 位(或 15 位)按位取反。例如:

已知 $[X]_{\text{反}} = 00000101\text{B}$,则 $X = +5$; $[Y]_{\text{反}} = 11111110\text{B}$,则 $Y = -1$ 。

③ 补 码

在钟表上,顺时针方向拨 12 小时或逆时针拨 12 小时,结果都是不变的,假设现在的标准时间是 6 点整,而时钟却指向 8 点整。校准的方法是顺时针拨 10 小时或逆时针拨 2 小时。在顺时针拨的过程中,时钟到达 12 点时就从 0 点重新开始,相当于丢失了一个数 12,即