



手把手教你学系列丛书



手把手教你学 AVR单片机C程序设计

周兴华 编著



内含多媒体教学例程及实验源代码



北京航空航天大学出版社

手把手教你学系列丛书

手把手教你学 AVR 单片机 C 程序设计

周兴华 编著

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

作者从2006年8月起,在《电子世界》杂志上连载了《AVR单片机入门及C语言高效设计实践》一文。本书以此为母本,以实践(实验)为主线,以生动短小的实例为灵魂,穿插介绍了C语言语法及新型高性价比AVR单片机的结构、特性及编程。本书理论与实践完美结合,引导读者循序渐进地学习。每学习一段理论,必有与之对应的短小精悍的程序可供实践,这样读者学得进、记得牢,不会产生畏难情绪,直至彻底掌握AVR单片机的C语言高效编程。

本书的学习风格与《手把手教你学单片机》的风格相同,本书附有光盘,内有书中所有软件设计的程序文件。可用作中高等职业学校、电视大学等的教学用书,也可用作AVR单片机爱好者自学单片机C语言的教材。

图书在版编目(CIP)数据

手把手教你学 AVR 单片机 C 程序设计 / 周兴华编著. — 北京: 北京航空航天大学出版社, 2009. 4
ISBN 978-7-81124-515-8

I. 手… II. 周… III. ①单片微型计算机—程序设计②C语言—程序设计 IV. TP368.1 TP312

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 040680 号

© 2009, 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本书及其所附光盘内容。

侵权必究。

手把手教你学 AVR 单片机 C 程序设计

周兴华 编著

责任编辑 张军香 刘福军 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(100191) 发行部电话:010-82317024 传真:010-82328026

http://www.buaapress.com.cn E-mail:emsbook@gmail.com

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787 mm×1 092 mm 1/16 印张:36.5 字数:934 千字

2009 年 4 月第 1 版 2009 年 4 月第 1 次印刷 印数:5 000 册

ISBN 978-7-81124-515-8 定价:59.50 元(含光盘 1 张)

前言

进入 21 世纪后,由于电子技术及计算机技术的迅猛发展,新型电子产品的更新换代速度越来越快。以单片机为核心构成的智能化产品具有体积小、功能强、应用面广等优点,目前正以前所未有的速度取代着传统电子线路构成的经典系统,蚕食着传统数字电路与模拟电路固有的领地。

自从笔者以实践为主的入门系列书籍《手把手教你学单片机》和《手把手教你学单片机 C 程序设计》(北京航空航天大学出版社 2005 年 4 月)出版后,受到广大学生、工程技术人员、电子爱好者的欢迎。该系列丛书教学方式新颖独特,入门难度明显降低,结合边学边练的实训模式,很快就有数十万读者入了单片机这扇门。从系列丛书上市仅 2 年多就已重印多次,就可知道对单片机初学者及入门者的巨大帮助及引导作用,它使一大批读者从传统的电子技术领域步入了微型计算机领域,进入了一个暂新的天地。

AVR 单片机是 ATMEL 公司推出的新型高速 8 位单片机,运行速度高达 1 MIPS。AVR 单片机的片上资源非常丰富,具有极高的性价比,可以广泛应用于计算机外部设备、工业实时控制、仪器仪表、通信设备、家用电器等领域。笔者是较早接触 AVR 单片机并将其应用于自动控制领域的,多年来一直用 AVR 单片机进行新产品的设计与开发。

为了满足读者对学习及学会 AVR 单片机设计的强烈要求,笔者采用手把手系列丛书相同的教学方式(本书也作为手把手系列丛书之一),手把手地教读者学习 AVR 单片机设计,使读者能尽快掌握其设计要领并应用于实际产品中。

本书以初学者为对象,从零开始,循序渐进地教读者学习当前最热门的 AVR 单片机的 C 程序设计。在介绍 AVR 单片机的各单元部分基本特性的同时,使用入门难度低、程序短且又能立竿见影的实例,详细介绍如何使用 ATMEGA16(L)的丰富片上资源,帮助初学者快速掌握 AVR 单片机的高效设计。

本书的学习成本也很低,学习时可以采用“程序完成后软件仿真→单片机下载程序→实验板通电实验”的方法,这样实验器材的基本配置只有 400 多元(已经包含字符型及图型液晶)。如果按照完全配置配备 JTAG 仿真器,也只有 600 元左右,对大部分爱好者来说都有能力承受。

随书所附的光盘中提供了本书的所有软件设计程序文件,读者朋友可参考。

参与本书编写工作的主要人员有周兴华、吕超亚、傅飞峰、周济华、沈惠莉、周渊、周国华、丁月妹、周晓琼、钱真、周桂华、刘卫平、周军、李德英、朱秀娟、刘君礼、毛雪琼、邱华锋、胡颖静、吴辉东、冯骏、孔雪莲、王铤、方渝、刘郑州、王菲、付毛仙、吕丁才、唐群苗、吕亚波等,全书由周兴华统稿并审校。

本书的编写工作得到了我国单片机权威何立民教授的关注与鼓励,北京航空航天大学出版社的嵌入式系统事业部主任胡晓柏也做了大量耐心细致的工作,使得本书得以顺利完成,在

此表示衷心感谢。

由于作者水平有限,书中必定还存在不少缺点或漏洞,诚挚欢迎广大读者提出意见并不吝赐教。

周兴华

2009 年 3 月

附:

工欲善其事,必先利其器。学习 AVR 单片机设计需要一定的学习、实验器材。当前市场上的学习书籍与学习器材可谓琳琅满目,但往往许多教科书缺乏廉价的配套实验器材,而销售实验器材的供应商又不会提供配套的教学用书,导致许多读者学了多年还是一头雾水,没有长进。

因此,一本优秀的入门书籍与一套与之相配的实验器材是学会单片机的必要条件,在此前提下,加上自己的刻苦努力、持之以恒,才能在最短时间内学会、学好单片机的设计。

如读者朋友自制或购买书中介绍的学习、实验器材有困难时,可与作者联系,咨询购买事宜。

本书所配的实验器材如下:

- AVR DEMO 单片机综合实验板
- 并口下载器
- AVR 单片机 JTAG 仿真器
- 16×2 字符型液晶显示模组(带背光照明)
- 128×64 点阵图型液晶显示模组(带背光照明)
- 5 V 高稳定专用稳压电源
- 配套开发软件
- USB 下载线(器)
- 通用型多功能 USB 编程器(可选购)

联系方式如下:

地址:上海市闵行区莲花路 2151 弄 57 号 201 室

邮编:201103

联系人:周兴华

电话(传真):021-64654216 13774280345 13044152947

技术支持 E-mail:zxh2151@sohu.com

zxh2151@yahoo.com.cn

作者主页:http://www.hlelectron.com



第1章 概 述

1.1 采用C语言提高编制单片机应用程序的效率	1
1.2 C语言具有突出的优点	2
1.3 AVR单片机简介	3
1.4 AVR单片机的C编译器简介	5

第2章 学习AVR单片机C程序设计所用的软件及实验器材介绍

2.1 IAR Embedded Workbench IDE C语言编译器	6
2.2 AVR Studio 集成开发环境	6
2.3 PonyProg2000 下载软件及SL-ISP 下载软件	8
2.4 AVR DEMO 单片机综合实验板	9
2.5 AVR单片机JTAG 仿真器	15
2.6 并口下载器	16
2.7 通用型多功能USB 编程器	16

第3章 AVR单片机开发软件的安装及第一个入门程序

3.1 安装IAR for AVR 4.30 集成开发环境	17
3.2 安装AVR Studio 集成开发环境	19
3.3 安装PonyProg2000 下载软件	21
3.4 安装SLISP 下载软件	22
3.5 AVR单片机开发过程	22
3.6 第一个AVR入门程序	24

第4章 AVR单片机的主要特性及基本结构

4.1 ATMEGA16(L)单片机的产品特性	49
4.2 ATMEGA16(L)单片机的基本组成及引脚配置	51
4.3 AVR单片机的CPU内核	55
4.4 AVR的存储器	60
4.5 系统时钟及时钟选项	67
4.6 电源管理及睡眠模式	73
4.7 系统控制和复位	76
4.8 中 断	81

第5章 C语言基础知识

5.1 C语言的标识符与关键字	83
5.2 数据类型	84

5.3	AVR 单片机的数据存储空间	85
5.4	常量、变量及存储方式	87
5.5	数 组	87
5.6	C 语言的运算	90
5.7	流程控制	95
5.8	函 数	99
5.9	指 针	101
5.10	结构体	105
5.11	共用体	109
5.12	中断函数	111
第 6 章 ATMEGA16(L) 的 I/O 端口使用		
6.1	ATMEGA16(L) 的 I/O 端口	113
6.2	ATMEGA16(L) 中 4 组通用数字 I/O 端口的应用设置	116
6.3	ATMEGA16(L) 的 I/O 端口使用注意事项	117
6.4	ATMEGA16(L) PB 口输出实验	118
6.5	8 位数码管测试	121
6.6	独立式按键开关的使用	125
6.7	发光二极管的移动控制(跑马灯实验)	128
6.8	0~99 数字的加减控制	131
6.9	4×4 行列式按键开关的使用	134
第 7 章 ATMEGA16(L) 的中断系统使用		
7.1	ATMEGA16(L) 的中断系统	138
7.2	相关的中断控制寄存器	139
7.3	INT1 外部中断实验	142
7.4	INT0/INT1 中断计数实验	144
7.5	INT0/INT1 中断嵌套实验	147
7.6	2 路防盗报警器实验	150
7.7	低功耗睡眠模式下的按键中断	153
7.8	4×4 行列式按键的睡眠模式中断唤醒设计	155
第 8 章 ATMEGA16(L) 驱动 16×2 点阵字符液晶模块		
8.1	16×2 点阵字符液晶显示器概述	161
8.2	液晶显示器的突出优点	162
8.3	16×2 字符型液晶显示模块(LCM)特性	162
8.4	16×2 字符型液晶显示模块(LCM)引脚及功能	162
8.5	16×2 字符型液晶显示模块(LCM)的内部结构	163
8.6	液晶显示控制驱动集成电路 HD44780 特点	163
8.7	HD44780 工作原理	165
8.8	LCD 控制器指令	168
8.9	LCM 工作时序	171

8.10	8 位数据传送的 ATMEGA16(L)驱动 16×2 点阵字符液晶模块的子函数	173
8.11	8 位数据传送的 16×2 LCM 演示程序 1	175
8.12	8 位数据传送的 16×2 LCM 演示程序 2	181
8.13	4 位数据传送的 ATMEGA16(L)驱动 16×2 点阵字符液晶模块的子函数	186
8.14	4 位数据传送的 16×2 LCM 演示程序	187
第 9 章 ATMEGA16(L)的定时/计数器		
9.1	预分频器和多路选择器	194
9.2	8 位定时/计时器 T/C0	194
9.3	8 位定时/计数器 0 的寄存器	196
9.4	16 位定时/计数器 T/C1	200
9.5	16 位定时/计数器 1 的寄存器	202
9.6	8 位定时/计数器 T/C2	207
9.7	8 位 T/C2 的寄存器	209
9.8	ICC6.31A C 语言编译器安装	215
9.9	定时/计数器 1 的计时实验	216
9.10	定时/计数器 0 的中断实验	221
9.11	4 位显示秒表实验	224
9.12	比较匹配中断及定时溢出中断的测试实验	230
9.13	PWM 测试实验	234
9.14	0~5 V 数字电压调整器	240
9.15	定时器(计数器)0 的计数实验	245
9.16	定时/计数器 1 的输入捕获实验	249
第 10 章 ATMEGA16(L)的 USART 与 PC 机串行通信		
10.1	ATMEGA16(L)的异步串行收发器	254
10.2	USART 的主要特点	255
10.3	时钟产生	256
10.4	帧格式	258
10.5	USART 的寄存器及设置	259
10.6	USART 的初始化	263
10.7	数据发送——USART 发送器	263
10.8	数据接收——USART 接收器	265
10.9	ATMEGA16(L)与 PC 机的通信实验 1	268
10.10	ATMEGA16(L)与 PC 机的通信实验 2	275
10.11	ATMEGA16(L)与 PC 机的通信实验 3	281
10.12	ATMEGA16(L)与 PC 机的通信实验 4	287
第 11 章 ATMEGA16(L)的两线串行接口 TWI		
11.1	AVR 单片机两线串行接口 TWI 的特点	298
11.2	两线串行接口总线定义	298
11.3	TWI 模块综述	299

11.4	ATMEGA16(L)的 TWI 寄存器	301
11.5	使用 TWI	303
11.6	ATMEGA16(L)的内部 EEPROM	305
11.7	与 EEPROM 相关的寄存器	305
11.8	ATMEGA16(L)内部 EEPROM 读/写操作实验 1	306
11.9	ATMEGA16(L)内部 EEPROM 读/写操作实验 2	311
11.10	长期保存预置定时的电子钟实验	320
11.11	EEPROM AT24CXX 的性能特点	334
11.12	AT24CXX 引脚定义	334
11.13	AT24CXX 系列存储器特点	334
11.14	AT24CXX 系列 EEPROM 的内部结构	335
11.15	AT24CXX 系列 EEPROM 芯片的寻址	336
11.16	写操作方式	338
11.17	读操作方式	339
11.18	ATMEGA16(L)对 AT24C01A 的读/写实验	340
11.19	使用库函数读/写内部的 EEPROM	347
11.20	利用 ATMEGA16(L)的内部 EEPROM 设计电子密码锁	352
第 12 章 ATMEGA16(L)的模拟比较器		
12.1	模拟比较器介绍	362
12.2	模拟比较器实验 1	364
12.3	模拟比较器实验 2	367
12.4	模拟比较器实验 3	370
第 13 章 ATMEGA16(L)的模/数转换器		
13.1	ATMEGA16(L)的模/数转换器介绍	375
13.2	ADC 工作过程	376
13.3	启动一次转换	377
13.4	预分频及 ADC 转换时序	378
13.5	差分增益信道	378
13.6	改变通道或基准源	379
13.7	ADC 输入通道	379
13.8	ADC 基准电压源	380
13.9	模/数转换器相关寄存器	380
13.10	模/数转换器的使用	383
13.11	0~5 V 数字式直流电压表实验	383
13.12	“施密特”电压比较器实验	388
13.13	用模/数转换器测量 PWM 输出的电压值	395
第 14 章 ATMEGA16(L)的同步串行接口 SPI		
14.1	ATMEGA16(L)的 SPI 特点	404
14.2	主机和从机之间的 SPI 连接及原理	404

14.3	SPI 的配置及使用	407
14.4	SPI 的相关寄存器	407
14.5	两片 ATMEGA16(L) 的同步串口数据高速通信实验 1	409
14.6	两片 ATMEGA16(L) 的同步串口数据高速通信实验 2	415
14.7	两片 ATMEGA16(L) 的同步串口数据高速通信实验 3	422
14.8	同步串行 EEPROM AT93CXX 的性能特点	431
14.9	AT93CXX 引脚定义	431
14.10	AT93CXX 系列存储器特点	432
14.11	AT93CXX 系列 EEPROM 的内部结构	432
14.12	AT93CXX 系列 EEPROM 的指令集	432
14.13	器件操作	434
14.14	ATMEGA16(L) 驱动 AT93C46 的子函数	437
14.15	ATMEGA16(L) 对 AT93C46 的读/写实验	441
第 15 章 ATMEGA16(L) 驱动 128×64 点阵图形液晶模块		
15.1	128×64 点阵图形液晶模块特性	451
15.2	128×64 点阵图形液晶模块引脚及功能	451
15.3	128×64 点阵图形液晶模块的内部结构	452
15.4	HD61203 特点	454
15.5	HD61202 特点	454
15.6	HD61202 工作原理	455
15.7	HD61202 的工作过程	459
15.8	点阵图形液晶模块的控制器指令	459
15.9	HD61202 的操作时序图	461
15.10	ATMEGA16(L) 驱动 128×64 点阵图形液晶模块子函数	462
15.11	在 AVR 单片机综合实验板上实现液晶的汉字显示	466
15.12	在 AVR 单片机综合实验板上实现液晶的汉字滚屏显示	477
15.13	在 AVR 单片机综合实验板上实现液晶的图片显示	486
第 16 章 ATMEGA16(L) 的系统控制、复位和看门狗定时器		
16.1	ATMEGA16(L) 的系统控制和复位	498
16.2	ATMEGA16(L) 的复位源	499
16.3	看门狗定时器的使用	501
16.4	具有看门狗功能的流水灯实验	502
16.5	看门狗失控的流水灯实验	506
16.6	熔丝位的设置	509
第 17 章 多功能测温汉字时钟实验		
17.1	实验目的	512
17.2	实验要求	513
17.3	控制指令的定义	517
17.4	单线数字温度传感器 DS18B20	519

17.5 程序设计	525
17.6 实验操作	558
第 18 章 C++语言开发 AVR 单片机初步	
18.1 C++语言简介	560
18.2 对象和类	561
18.3 类的定义	561
18.4 对象的创建	562
18.5 对象的初始化和构造函数	562
18.6 析构函数	563
18.7 C++语言开发 AVR 单片机的一个实例	564
参考文献	573

第 1 章

概 述

自从笔者出版了《手把手教你学单片机》(北京航空航天大学出版社 2005 年 4 月)一书后,由于教学方式新颖独特,入门难度明显降低,结合边学边练的实训模式,很快有一大批读者进入了单片机这扇门。据不完全统计,全国各地(包括港澳台地区)跟着《手把手教你学单片机》学习的读者超过 50 万名,其中不少读者已取得了丰硕的成果。有的读者给笔者来电说研制的“包装线控制器”已稳定运行数月,还有的读者利用单片机做“霓虹灯程序控制器”并投放市场……总之,《手把手教你学单片机》使不少读者从传统的电子技术领域步入了微型计算机领域,进入了一个暂新的天地。

《手把手教你学单片机》一书是以汇编语言为主进行讲解实验的。所谓汇编语言,就是一种用文字助记符来表示机器指令的符号语言,是最接近机器码的一种语言。汇编语言的主要优点是占用资源少,程序执行效率高。作为初学者必须基本掌握汇编语言的设计方法,因为汇编语言直接操作计算机的硬件,学习汇编语言对于了解单片机的硬件构造是有帮助的。

汇编语言曾经是单片机工程师进行软件开发的唯一选择,汇编语言写程序代码效率高,在时序要求严格的场合下用得更多;但相对而言开发难度较大,而且汇编语言程序的可读性较差,尤其是遇到算法复杂点的问题时,用汇编写代码很容易把自己搞得稀里糊涂;并且汇编语言程序的可移植性也差,基本上不能在各种不同类型的单片机之间进行移植。采用汇编语言编写单片机应用系统的程序不仅周期长,而且调试和排错也比较困难。许多读者都发现,采用汇编语言设计一个大型复杂程序时,读起来较困难,往往隔一段时间再看,又要花脑力从头再来。更为重要的是,随着社会竞争的日益激烈,开发效率已成为商战致胜的最重要法宝之一。为了较好地解决这些问题,在单片机的开发中引入了高级语言编程,目前 C 语言是首选的单片机高级开发语言。

1.1 采用 C 语言提高编制单片机应用程序的效率

为了提高编制计算机系统和应用程序的效率,改善程序的可读性和可移植性,最好的办法是采用高级语言编程。目前,C 语言逐渐成为国内外开发单片机的主流语言。

C 语言是一种通用的编译型结构化计算机程序设计语言,在国际上十分流行,它兼顾了多种高级语言的特点,并具备汇编语言的功能。它支持当前程序设计中广泛采用的由顶向下的

结构化程序设计技术。一般的高级语言难以实现汇编语言对于计算机硬件直接进行操作(如对内存地址的操作、移位操作等)的功能,而 C 语言既具有一般高级语言的特点,又能直接对计算机的硬件进行操作。C 语言有功能丰富的库函数、运算速度快、编译效率高,并且采用 C 语言编写的程序能够很容易地在不同类型的计算机之间进行移植。因此,C 语言的应用范围越来越广泛。

用 C 语言来编写目标系统软件,会大大缩短开发周期,且明显地改善软件的可读性,便于改进和扩充,从而研制出规模更大、性能更完备的系统。

因此,用 C 语言进行单片机程序设计是单片机开发与应用的必然趋势。对于汇编语言,掌握到只要可以读懂程序,在时间要求比较严格的模块中进行程序的优化即可。采用 C 语言进行设计也不必对单片机和硬件接口的结构有很深入的了解,编译器可以自动完成变量存储单元的分配,编程者可以专注于应用软件部分的设计,大大加快了软件的开发速度。采用 C 语言可以很容易地进行单片机的程序移植工作,有利于产品中的单片机重新选型。

C 语言的模块化程序结构特点,可以使程序模块大家共享,不断丰富。C 语言可读性的特点,更容易使大家借鉴前人的开发经验,提高自己的软件设计水平。采用 C 语言,可针对单片机常用的接口芯片编制通用的驱动函数,可针对常用的功能模块、算法等编制相应的函数,这些函数经过归纳、整理可形成专家库函数,供广大的工程技术人员和单片机爱好者使用、完善,可大大提高国内单片机软件设计水平。

过去长时间困扰人们的“高级语言产生代码太长,运行速度太慢,不适合单片机使用”的致命缺点已被大幅度地克服。目前,用于单片机的 C 语言编译代码长度,已超过中等程序员的水平。而且,一些先进的新型单片机(例如 AVR 系列单片机)片上 SRAM、FLASH 空间都很大,运行速度很快(AVR 单片机的主频最高达 16~20 MHz,相当于 200 多 MHz 的 80C51 单片机),代码效率所差的 10%~20%已经不是什么问题。关于速度优化的问题,只要有好的仿真器的帮助,用人工优化关键代码就是很简单的事了。至于谈到开发速度、软件质量、结构严谨、程序坚固等方面的话,则 C 语言的完美绝非是汇编语言编程所能比拟的。

1.2 C 语言具有突出的优点

1. 语言简洁,使用方便灵活

C 语言是现有程序设计语言中规模最小的语言之一,而小的语言体系往往能设计出较好的程序。C 语言的关键字很少,ANSI C 标准一共只有 32 个关键字,9 种控制语句,压缩了一切不必要的成份。C 语言的书写形式比较自由,表达方法简洁,使用一些简单的方法就可以构造出相当复杂的数据类型和程序结构。

2. 可移植性好

用过汇编语言的读者都知道,即使是功能完全相同的一种程序,对于不同的单片机,必须采用不同的汇编语言来编写。这是因为汇编语言完全依赖于单片机硬件。而现代社会中新器件的更新换代速度非常快,也许我们每年都要跟新的单片机打交道。如果每接触一种新的单片机就要学习一次新的汇编语言,那么我们将一事无成,因为每学一种新的汇编语言,少则几月,多则上年,那么我们还有多少时间真正用于产品开发呢?

C语言是通过编译得到可执行代码的,统计资料表明,不同机器上的C语言编译程序80%的代码是公共的,C语言的编译程序便于移植,从而使在一种单片机上使用的C语言程序,可以不加修改或稍加修改即可方便地移植到另一种结构类型的单片机上去。这大大增强了我们使用各种单片机进行产品开发的能力。

3. 表达能力强

C语言具有丰富的数据结构类型,可以根据需要采用整型、实型、字符型、数组类型、指针类型、结构类型、联合类型、枚举类型等多种数据类型来实现各种复杂数据结构的运算。C语言还具有多种运算符,灵活使用各种运算符可以实现其他高级语言难以实现的运算。

4. 表达方式灵活

利用C语言提供的多种运算符,可以组成各种表达式,还可采用多种方法来获得表达式的值,从而使用户在程序设计中具有更大的灵活性。C语言的语法规则不太严格,程序设计的自由度比较大,程序的书写格式自由灵活。程序主要用小写字母来编写,而小写字母是比较容易阅读的,这些充分体现了C语言灵活、方便和实用的特点。

5. 可进行结构化程序设计

C语言是以函数作为程序设计的基本单位的,C语言程序中的函数相当于汇编语言中的子程序。C语言对于输入和输出的处理也是通过函数调用来实现的。各种C语言编译器都会提供一个函数库,其中包含有许多标准函数,如各种数学函数、标准输入/输出函数等。此外C语言还具有自定义函数的功能,用户可以根据自己的需要编制满足某种特殊需要的自定义函数。实际上C语言程序就是由许多函数组成的,一个函数即相当于一个程序模块,因此C语言可以很容易地进行结构化程序设计。

6. 可以直接操作计算机硬件

C语言具有直接访问单片机物理地址的能力,可以直接访问片内或片外存储器,还可以进行各种位操作。

7. 生成的目标代码质量高

众所周知,汇编语言程序目标代码的效率是最高的,这就是为什么汇编语言仍是编写计算机系统软件的重要工具的原因。但是统计表明,对于同一个问题,用C语言编写的程序生成代码的效率仅比用汇编语言编写的程序低10%~20%。

尽管C语言具有很多的优点,但和其他任何一种程序设计语言一样也有其自身的缺点,如不能自动检查数组的边界,各种运算符的优先级别太多,某些运算符具有多种用途等。但总的来说,C语言的优点远远超过了它的缺点。经验表明,程序设计人员一旦学会使用C语言,就会对它爱不释手,尤其是单片机应用系统的程序设计人员更是如此。

1.3 AVR 单片机简介

AVR单片机是ATMEL公司于1997年研发的增强型内置FLASH的RISC(Reduced Instruction Set CPU)精简指令集高速8位单片机,设计时吸取了80C51及PIC单片机的优

点,具备单时钟周期执行一条指令的能力,运行速度高达 1 MIPS。AVR 单片机的片上资源非常丰富,可以广泛应用于计算机外部设备、工业实时控制、仪器仪表、通信设备、家用电器等领域。

AVR 单片机硬件结构采取 8 位机与 16 位机的折中策略,即采用局部寄存器存储(32 个寄存器文件)和单体高速输入/输出的方案(输入捕获寄存器、输出比较匹配寄存器及相应控制逻辑),提高了指令执行速度,克服了数据处理的瓶颈,增强了功能;同时又减少了对外设管理的开销,相对简化了硬件结构,降低了成本。AVR 单片机在软/硬件开销、速度、性能和成本诸多方面取得了优化平衡,是一种高性价比的单片机。AVR 单片机主要分成低端的 TINY 系列、中端的 AT90 系列和高端的 MEGA 系列,其中 AT90 系列目前已经停产,被高端的 MEGA 系列所取代。

AVR 单片机的主要特性简介如下:

(1) 超功能精简指令集。具有 32 个通用工作寄存器(相当于 80C51 单片机中的 32 个累加器),克服了单一累加器在数据处理时造成的瓶颈现象。

(2) 内嵌高质量的 FLASH 程序存储器,可反复擦写 1 000~10 000 次(AVR 单片机中新型的 MEGA 系列可反复擦写 10 000 次),支持 ISP(在系统中编程)和 IAP(在应用中编程),便于产品的调试、开发、生产、更新。内嵌长寿命的 EEPROM,可反复擦写 100 000 次,便于长期保存关键数据,避免断电丢失。片内具有大容量的 RAM,有效支持使用高级语言开发系统程序。

(3) 高速度、低功耗,具有 SLEEP(省电休眠)功能。每一指令执行时间短,为 50 ns(20 MHz),而耗电则在 1~2.5 mA 之间(典型功耗,WDT 关闭时为 100 nA),AVR 运用 Harvard 结构概念(具有预取指令功能),即程序存储和数据有不同的存储器和总线。当执行某一指令时,下一指令被预先从程序存储器中取出,使得指令可以在每一个时钟周期内被执行,其运行速度可达 1 MIPS,理论上是传统 80C51 单片机的 12 倍,实际上在 10 倍左右。AVR 单片机可宽电压运行(2.7~5.5 V),抗干扰能力强,可降低一般 8 位机中的软件抗干扰设计工作量和硬件的使用量。

(4) AVR 单片机的 I/O 口线全部带可设置的上拉电阻,并行 I/O 口输入/输出特性与 PIC 的 HI/LOW 输出及三态高阻抗 HI-Z 输入类似,也可设定类似 80C51 系列内部拉高电阻作输入端的功能,可单独设定为输入/输出,可设定(初始)高阻输入。I/O 口资源灵活、功能强大、可充分利用。并且 I/O 口线驱动能力强(输入/输出达 20 mA),可以直接驱动数码管、LED、小型继电器等器件,节省很多外围电路,AVR 的 I/O 口是真正的 I/O 口,能正确反映 I/O 口的输入/输出真实情况。

(5) AVR 单片机片内具备多种独立的时钟分频器,分别供 USART、I²C、SPI 使用。其中与 8/16 位定时器配合的具有多达 10 位的预分频器,可通过软件设定分频系数,提供多种档次的定时时间。AVR 单片机中的定时/计数器(单)可双向计数形成三角波,再与输出比较匹配寄存器配合,生成占空比可变、频率可变、相位可变的脉宽调制输出 PWM,令人耳目一新。

(6) AVR 单片机的片上资源非常丰富,含有看门狗电路、程序存储器 FLASH、数据存储寄存器 RAM、同步串行接口 SPI、异步串口 USART、多通道 10 位 A/D 转换器、EEPROM、模拟比较器、PWM 定时计数器、TWI(I²C)总线接口、硬件乘法器、独立振荡器的实时计数器 RTC、片内标定的 RC 振荡器等,可以满足各种系统开发需求并极大地降低了系统的成本。AVR 单片机均具有在线下载功能,其中 MEGA 系列单片机片上还具备 JTAG 仿真/下载功能。用 AVR 单片机开发智能仪器仪表或其他工业控制项目,在很多场合下,仅需一片“纯单片机”即

可完成,大大降低了成本,也减小了设备的体积,减轻了重量。

(7) AVR 单片机片上的模拟比较器、I/O 口可作 A/D 转换用,组成廉价的 A/D 转换器。

(8) AVR 单片机有自动上电复位电路、独立的看门狗电路、低电压检测电路 BOD,多个复位源(自动上下电复位、外部复位、看门狗复位、BOD 复位等)。可设置的启动后延时运行程序,增强了系统的可靠性。

(9) AVR 单片机含有串行异步通信 USART,不占用定时器和 SPI 传输功能,因其速度高,故可以工作在一般标准整数频率下,波特率可达 576 kbps。

(10) 多通道 10 位 A/D 转换器及实时时钟 RTC 在处理实时模拟量时得心应手。

(11) 工业级产品,具有大电流 10~20 mA 或 40 mA(单一输出),可直接驱动 SSR 或继电器。内置的看门狗定时器(WDT)用于防止程序跑飞,提高产品的抗干扰能力。

(12) 像 80C51 单片机一样,AVR 单片机有多个固定中断向量入口地址,因此可快速响应中断,而不会像 PIC 单片机一样所有中断都在同一向量地址,需要程序判别后才可响应。

(13) 高性价比。AVR 单片机在高性能的前提下,并没有大幅增加芯片的售价,其价格仅比 80C51 略高一些,而功能却是 80C51 不可比拟的。

AVR 单片机技术表现出现代单片机集多种器件(包括 FLASH 程序存储器、看门狗、EEPROM、同/异步串行口、TWI、SPI、A/D 模数转换器、定时/计数器等)和多种功能(增强可靠性的复位系统、降低功耗抗干扰的休眠模式、品种多门类全的中断系统、具输入捕获和比较匹配输出等多样化功能的定时/计数器、具替换功能的 I/O 端口……)于一身,充分体现了现代单片机技术向“片上系统 SoC”过渡及发展的方向。

本书中,我们选择 AVR 单片机中高端的 MEGA 系列的典型芯片 ATMEGA 16(L)进行介绍。

1.4 AVR 单片机的 C 编译器简介

目前世界上几乎所有系列的单片机都支持 C 语言开发,开发 AVR 单片机的 C 编译器主要有:IAR Embedded Workbench(简称 IAREW)、Codevision AVR(简称 CAVR)、Imagecraft C Compiler(简称 ICC)、GNU C For AVR(简称 GCCAVR)等。

IAREW 是瑞典 IAR SYSTEMS 公司开发的 AVR 单片机集成开发环境(IDE),包含嵌入式编译器、汇编器、连接定位器、库管理器、项目管理及调试器等。其特点是编译效率高、功能齐全,但价格高。

CVAVR 也是一个开发 AVR 单片机的集成开发环境,其界面友好,很容易上手。它带有一个叫 Codewizard 的代码生成器,可生成外围器件的相应初始化代码,另外,它还提供了很多常用的器件库代码,如:LCD、USART、SPI、实时时钟、温度传感器等。其价格适中。

ICC 是 Imagecraft 公司开发的使用标准 C 语言的 AVR 单片机集成开发环境,它有一个 Application Wizard 的代码生成器,也可生成外围器件的初始化代码。其价格适中。

GCCAVR 是一个开源代码的自由软件,因此使用时不必考虑价格因素,其缺点是没有集成开发环境(IDE),使用时麻烦一些。

本书中,我们使用 IAR 公司的 IAR Embedded Workbench 集成开发环境进行学习开发。IAR Embedded Workbench 集成开发环境软件能够产生形式简洁、效率最高的程序代码,如果程序较大时在代码质量上可以与汇编语言程序相媲美。

第 2 章

学习 AVR 单片机 C 程序设计所用的软件及实验器材介绍

学习一种新的单片机技术,实验与实践是必不可少的,否则只能是纸上谈兵。这里我们使用以下的廉价实验器材进行 AVR 单片机的 C 语言学习及设计。

- (1) IAR Embedded Workbench IDE C 语言编译器(简称 IAREW)。
- (2) ATMEL 公司的 AVR Studio 集成开发环境。
- (3) PonyProg2000 下载软件或 SL-ISP 下载软件(也可使用其他的下载软件)。
- (4) AVR DEMO 单片机综合实验板。
- (5) AVR 单片机 JTAG 仿真器。
- (6) 并口下载器。
- (7) 5V 高稳定专用稳压电源。
- (8) 通用型多功能 USB 编程器(可选购)。
- (9) 一台奔腾级及以上的家用电脑(PC 机)。

下面简介一下这些实验工具及器材。

2.1 IAR Embedded Workbench IDE C 语言编译器

IAR Embedded Workbench IDE 是瑞典 IAR SYSTEMS 公司开发的用于 AVR 单片机的集成开发环境(IDE),它是与 AVR 单片机同步开发的一个设计软件,包括嵌入式 C/C++ 编译器、汇编器、链接定位器、库管理、项目管理及调试器等集成开发环境(IDE)。IAREW 功能极其强大,能生成效率极高的目标代码,是目前开发 AVR 单片机最优秀的软件。IAREW 具有自己的调试器 C-SPY,也可以生成 *.dbg 调试文件,在 ATMEL 的 AVR Studio 集成开发环境中调试。图 2-1 为 IAREW 的工作界面。

2.2 AVR Studio 集成开发环境

AVR Studio 是一个 ATMEL 公司开发的集项目管理、程序汇编、程序调试、程序下载、JTAG 仿真等功能于一体的集成开发环境。但 AVR Studio 不支持 C 语言编译,因此当我们用 C 语言开发 AVR 单片机时,需先用其他软件(例如 IAREW)编写 C 语言并进行编译,生成调试文件,然后使用 AVR Studio 打开编译生成的调试文件,进行程序的仿真调试。图 2-2 为 AVR Studio 的工作界面。