AVR单片机

C语言开发入门指导

沈 文 Eagle lee 詹卫前 编著

清华大学出版社

AVR 单片机 C 语言开发入门指导

沈　文　Eagle lee　詹卫前　编著

清 华 大 学 出 版 社
北　京

内 容 简 介

本书介绍了ICCAVR编译器使用C语言的有关知识，也穿插介绍ICCAVR与常用的其他C编译器使用C语言的一些异同点，并简单介绍ICCAVR的集成环境和ICCAVR 6.26C能支持的库函数。本书重点放在如何利用C语言来操作AVR单片机的硬件资源，以及如何编写一些实用的程序段，最后再通过一些简单的应用实例来说明如何使用C语言来开发AVR芯片。本书适合开发AVR单片机的工程技术人员，也适合大中专院校电子专业的学生学习使用。

图书在版编目（CIP）数据

AVR单片机C语言开发入门指导/沈文、Eagle lee 詹卫前编著. —北京：清华大学出版社，2003

ISBN 7-302-06530-6

I.A... II. ①沈... ②Lee... ③詹... III.①单片微型计算机，AVR②C语言-程序设计 IV.①TP368.1②TP312

中国版本图书馆CIP数据核字（2003）第026186号

出 版 者：清华大学出版社（北京清华大学学研大厦，邮编100084）

http://www.tup.tsinghua.edu.cn

责任编辑：肖 丽

印 刷 者：清华大学印刷厂

发 行 者：新华书店总店北京发行所

开 本：787×1092 1/16 **印张**：31 **字数**：710千字

版 次：2003年5月第1版 2003年5月第1次印刷

书 号：ISBN 7-302-06530-6/TP・4897

印 数：0001～5000

定 价：40.00元

前　言

ATMEL 公司是世界上著名的高性能、低功耗、非易失性存储器和数字集成电路的一流半导体制造公司，公司最引人注目的是 EEPROM 电可擦除技术、闪速存储器技术和高质量、高可靠的生产技术。在 CMOS 器件生产领域中，ATMEL 的先进设计水平、优秀的生产工艺及封装技术，一直处于世界领先地位，ATMEL 将这些技术应用于单片机的生产，使单片机也具有优秀的品质。

在 20 世纪 90 年代初，ATMEL 公司率先把 MCS-51 内核与其擅长的 Flash 技术相结合，推出轰动业界的 AT89C51/52、1051/2051 系列单片机，取代了 8751 系列单片机，至今还在大规模生产。1997 年，ATMEL 公司挪威设计中心的 A 先生与 V 先生出于市场需求考虑，推出全新配置的精简指令集(Reduced Instruction Set CPU)单片机，简称为 AVR。与其相比，采用复杂指令集 CISC(Complex Instruction Set CPU)的单片机(如 51 系列)，在效率、速度及指令格式上就显得比较复杂，更不适合于在嵌入式系统中使用。近几年来，随着 AVR 单片机不断改进并持续推出新的品种，现已形成系列产品，其中 ATtiny、AT90 与 ATmega 分别对应为低、中、高档产品，在国外已得到了广泛的应用。特别是近一两年，随着高档 ATmega 系列单片机的大幅降价，部分产品的价格甚至低于同类中档 AT90 系列单片机的价格，其性价比更高，在国内也有广阔的市场前景。

本书适合开发 AVR 单片机的工程技术人员，也适合大中专院校电子专业的学生学习使用。本书的编写以介绍用 C 语言开发 AVR 单片机入门为目的，假定读者已学习过 AVR 单片机的硬件结构及汇编指令、C 语言(如 Turbo c)的基础知识。本书以介绍 ICCAVR 编译器为主，希望通过结合应用实例的讲解，使读者能够熟练使用 ICCAVR 编译器来开发 AVR 单片机。本书还对国内市场上常见的 GCCAVR、CodeVision 和 IAR 编译器进行了简单的介绍，使读者能够举一反三，掌握其中一种或几种 C 编译器的使用。实际上，一般情况只要精通其中的一种 C 编译器就足够应用了。

本书先介绍 ICCAVR 编译器使用 C 语言的有关知识，也穿插介绍了 ICCAVR 与常用的其他 C 编译器使用 C 语言的一些异同点，并简单介绍了 ICCAVR 的集成环境和 ICCAVR 6.26C 支持的库函数。本书重点放在如何利用 C 语言来操作 AVR 单片机的硬件资源，以及如何编写一些实用的程序段，最后再通过一些简单的应用实例来说明如何使用 C 语言来开发 AVR 芯片。至于用 C 语言开发 AVR 的技巧与提高，以及目前正在单片机上开始流行的实时操作系统、USB 和 TCP/IP 等完整应用实例，则放到编者正在编写的《AVR 单片机 C 语言开发应用与提高》一书中讲述。

编者推荐读者使用 ICCAVR 编译器，因为 ICCAVR 提供 30 天的免费试用，在试用期

内等同于标准版(除了部分功能被限制，如代码压缩优化等)，能够生成 INTEL HEX 格式的烧写文件，而且价格低廉(相对于 keil、IAR 等软件而言)、升级速度快，在国内又有双龙电子提供技术支持，用 ICCAVR 编写的程序能够很快转到 IAR 中使用。当然，IAR 和 CodeVision 以及 GCCAVR 相对 ICCAVR 而言还是各有所长的，特别值得一提的是 free 的 GCCAVR，相对于 ICCAVR 还是很有竞争优势的，这几种 C 编译器目前还有市场，也说明了这一点。

由于 ICCAVR 升级较快，至本书截稿时，ICCAVR 的最新版本为 6.26C 版(2003 年 1 月 10 日推出)，读者需要新版的软件，可以到 imagecraft 公司网站(http://www.imagecraft.com/software)或其国内总代理双龙电子公司网站下载。

本书在出版前，ICCAVR 和 GCCAVR 均推出新版软件，所以再次做了修订，其中与 ICCAVR 有关的内容已全部按 6.26C 版修订，因此本书所讲述 ICCAVR 均针对 6.26C 版。本书也针对新版的 GCCAVR(20030115 版)进行了修订，特别安装了过程与函数库，尽管在应用实例中有些语句还是使用旧版(20020625 版)的 API 函数，而不是新版本建议使用的新语句，这一点请读者注意，但是这些用法并不会影响应用实例在新版中的编译结果。

本书在编写过程中，得到了双龙电子公司的大力支持；得到福建武夷通信设备厂厂长柯友德以及曾兴和张德群的指导和帮助；也得到建阳市教育局领导和建阳三中王庭霞的关心；耿德根和詹卫前对本书进行了全面的审阅，提出许多建议性的意见并修改了部分章节。本书在编写的过程中，也参考了 21icBBS (http://www.21ic.com) 和 c51BBS (http://www.c51bbs.com)上部分网友的帖子，向这些无私奉献的网友致谢，并且对关心和支持本书的所有同志表示衷心的感谢。

鉴于国内目前还没有专门讲述用 C 语言开发 AVR 单片机的书籍，因此本书的出版只是为了满足初学者的需要而抛砖引玉。由于编者经验不足、水平有限，书中肯定会有不少缺点及错误，请广大读者批评指正，以便再版时能够改正。读者在学习本书过程中如有任何疑问，可以到由双龙电子公司赞助的 21icBBS 中“AVR 单片机论坛”提出，本书编者及论坛中其他热心的网友会进行解答。

沈文

2003 年 2 月于福建建阳

目　录

第 1 章　AVR 单片机与 C 语言

1.1　用 C 语言开发单片机的优势

随着市场竞争的日趋激烈，要求电子工程师能够在短时间内编写出执行效率高而又可靠的嵌入式系统的执行代码。同时，由于实际系统的日趋复杂，要求所写的代码规范化、模块化，便于多个工程师以软件工程的形式进行协同开发。汇编语言作为传统嵌入式系统的编程语言，具有执行效率高等优点，但其本身是一种低级语言，编程效率低下，且可移植性和可读性差，维护极不方便，从而导致整个系统的可靠性也较差。而 C 语言以其结构化和能产生高效代码等优势满足了电子工程师的需要，成为他们进行嵌入式系统编程的首选开发工具，得到了广泛支持。用 C 语言进行嵌入式系统的开发，具有汇编语言编程所不可比拟的优势：

1．可以大幅度加快开发进度，特别是开发一些复杂的系统，程序量越大，用 C 语言就越有优势。

2．无需精通单片机指令集和具体的硬件，也能够编出符合硬件实际专业水平的程序。

3．可以实现软件的结构化编程，它使得软件的逻辑结构变得清晰、有条理，便于开发小组计划项目、分工合作。源程序的可读性和可维护性都很好，基本上可以杜绝因开发人员变化而给项目进度或后期维护以及升级所带来的影响，从而保证整个系统的可靠性。

4．省去了人工分配单片机资源(包括寄存器、RAM 等)的工作。在汇编语言中要为每一个子程序分配单片机的资源，这是一个复杂、乏味而又容易出差错的工作。在使用 C 语言后，只要在代码中申明一下变量的类型，编译器就会自动分配相关资源，根本不需要人工干预，从而有效地避免了人工分配单片机资源的差错。

5．当写好了一个算法(在 C 中称为函数)后，需要移植到不同种类的 MCU 上时，在汇编中只有重新编写代码，因而用汇编的可移植性很差。而用 C 语言开发时，符合 ANSI C 标准的程序基本不必修改，只要将一些与硬件相关的代码作适度的修改，就可以方便地移植到其他种类的单片机上，甚至可以将代码从单片机移植到 DSP 或 ARM 中。

6．C 语言提供 auto、static、flash 等存储类型，针对单片机的程序存储空间、数据存储空间及 EEPROM 空间自动为变量合理地分配空间，而且 C 语言提供复杂的数据类型(如数组、结构体、指针等类型)，极大地增强了程序处理能力和灵活性。C 编译器能够自动实现中断服务程序的现场保护和恢复，并且提供常用的标准函数库，供用户使用，使用户节省了重复编写相同代码的时间，并且 C 编译器能够自动生成一些硬件的初始化代码。

7. 对于一些复杂系统的开发，可以通过移植(或 C 编译器提供)的实时操作系统来实现，如需实现 TCP/IP 协议及 http、ftp、ppp 等功能，而使用汇编是不可能的。

虽然使用 C 语言写出来的代码会比用汇编语言占用的空间大 5%~20%，但是由于半导体技术的发展，芯片的容量和速度有了大幅度的提高，占用空间大小的差异已经不很关键，相比之下，应该更注重软件是否具有长期稳定运行的能力，注重使用先进开发工具所带来的时间和成本的优势。

因此编者推荐使用 C 语言开发嵌入式系统。

1.2 AVR 单片机的特点

ATMEL 在设计 AVR 系列单片机时吸取 PIC 及 8051 单片机的优点，并作了重大改进，如下所列：

1. AVR 程序存储器由可擦写 1000 次的 Flash 构成，并具有较大容量可擦写 100000 次的 EEPROM，因此可低价快速完成产品商品化，且可多次更改程序(产品升级)而不必浪费单片机或电路板，大大提高产品质量及竞争力。

2. 高速度和低功耗，具有 SLEEP(休眠)功能。每一指令执行速度可达 50ns(20MHZ)，而耗电则在 1~2.5mA 间(典型功耗，当 WDT 关闭时为 100nA)，AVR 运用 Harvard 结构概念(具有预取指令功能)，即对程序存储和数据存储带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，这使得在每一个时钟周期内都可以执行一条指令。

3. 高度保密(LOCK)。可多次烧写的 Flash 具有多重密码保护锁死(LOCK)功能，并且 Flash 单元深藏于芯片内部，不像 Mask ROM 那样可通过电子显微镜破解，因此目前国内还无法破解 AVR 单片机，这有利于保护设计成果，并且 AVR 可以通过 Self Programming 方式远程下载加密的更新代码。

4. 工业级产品，具有 (吸入电流)10~20mA 或 40mA(单一输出)大电流，可直接驱动 SSR，内置看门狗定时器(WDT)，防止程序走飞，提高产品的抗干扰能力。

5. 超功能精简指令。具有 32 个通用工作寄存器(相当于 8051 中的 32 个累加器，克服了单一累加器数据处理造成的瓶颈现象)及 128-4KB SRAM；部分型号的单片机内置硬件乘法器，一条乘法指令只需 2 个时钟周期。

6. 程序写入器件可以并行写入(用万用编程器)，也可串行在线下载(ISP)擦写，也就是说不必将 IC 拆下拿到万用编程器上烧写，而可直接在电路板上进行程序修改烧写等操作，方便产品升级，尤其是 SMD 封装，更利于产品微型化。

7. 并行 I/O 口的输入输出特性与 PIC 的 HI/LOW 输出及三态高阻抗 HI-Z 输入相似外，也可设定类似 8051 系列内部上拉电阻作输入端的功能，以满足各种应用特性所需，AVR

是真正的 I/O 口，能正确反映 I/O 口的输入/输出真实情况。

8．单片机内置模拟比较器，可组成廉价且具有较高精度的 A/D 转换器。

9．像 8051 一样，不同中断向量的入口地址不同，可快速响应，而不会像 PIC 一样，所有中断都在同一向量地址，需要以程序判别后才可响应。

10．同 PIC 一样可重设启动复位。AVR 系列单片机也有内置的 POR(上电复位)和 BOD(电源电压监测)，只要在复位端接一个上拉电阻就可以了，不必使用外部复位 IC。

特别说明：对于早期生产的 AT90 芯片，大多只有 POR 而没有 BOD，使用这类器件时强烈建议同时使用外部复位 IC。近几年生产的 Mega 系列(如 ATMega8 等)都有 BOD，但一定要使能 BOD 编程熔丝位。

11．最大具有 6 种睡眠模式。

12．AT90S1200 等部分 AVR 器件具有内部 RC 振荡器，使该类单片机无需外加元器件即可工作。

13．计数器/定时器：有 8 位和 16 位，可作比较器、计数器外部中断和 PWM(也可作 D/A)用于控制输出。

14．有串行异步通信 UART(不占用定时器)和 SPI 传输功能，因其高速，故晶振可以工作在一般标准整数频率，而波特率可达 115.2Kbps 和 576Kbps。

15．AT90S4414 和 AT90S8515 的引脚排列及功能与 8051 相似，可替代 8051 系列单片机(8751/8752)的应用系统，当然还在硬件、软件上带来很多优点(WDT 看门狗、模拟比较器作 A/D、PWM 作 D/A 等)。

16．工作电压范围宽 1.8~6.0V，电源抗干扰性能较强。

17．部分 AVR 单片机具有可扩展外部存储器和多通道 10 位 A/D 及实时时钟 RTC 等功能，特别是 ATmega128 单片机更有 128KB Flash、4KB EEPROM、4KB RAM、多达 48 个 I/O 端口、34 个不同的中源断，以及 ISP 下载及 JTAG 仿真等功能。

18．进入门槛低，可以通过自制下载线(最简单的并行下载线仅需 4 个电阻)，利用 ATMEL 提供的汇编和仿真软件即可以进行开发。

19．从高级语言 C 代码看各种单片机性能比较：

```
/*一个小 C 函数*/
/* Return the maximum value of a table of 16 integers */
int max(int *array)
{
char a;
int maximum=-32768;
for (a=0;a<16;a++)
if (array[a]>maximum)
maximum=array[a];
return (maximum);
}
```

各种单片机的性能比较如表 1.1 所示。

表 1.1 各种单片机性能比较

单片机种类	代码大小 (Bytes)	执行周期 (cycles)	函数执行时间 (μs)	消耗电流 (mA)	执行 /S/Mw
AT90S8515	46(1)	335	42(1)	11(1)	434(1)
80C51	112(2.4)	9384	391(9)	16(1.5)	32(1.07)
68HC11	57(1.2)	5244	437(10)	27(2.5)	17(0.04)
PIC16C74	87(1.9)	2492	125(3)	13.5(1.2)	119(0.27)

由上得结论：

1．8MHz AVR 等于 224MHz80C51(用 C 语言)；

2．68HC11：代码效率高，但处理能力只有 AVR 的 1/10，功耗却高 2.5 倍；

3．PIC 速度也比较快，但是在相同功耗下，AVR 性能比其高 3.5 倍。

注：以上比较可能不够全面，比较结果仅供参考。

1.3 从 Keil C51 向 ICCAVR 快速过渡

1.3.1 AVR 和 MCS-51 存储器配置的对比

说明：在对比中，C 语言均指 ICCAVR 编译器所使用的 C 语言。

1.3.1.1 存储器布置

MCS-51 的存储器从使用角度看，分三个地址空间，三个空间分别用 MOV、MOVX 和 MOVC 指令访问，而 AVR 的存储器在物理结构上可分为五个部分，以 AT90S8515 为例来说明：

1．程序空间(000H~FFFH)，访问时用 LPM 指令访问。

2．片内数据存储器(0060H~025FH)，访问时用 STS、LDS 和 ST、LD 指令访问。

3．片外数据存储器(0260H~FFFFH)，访问时用 STS、LDS 和 ST、LD 指令访问。

4．32 个通用寄存器 R0~R31，它们之间数据传送可使用 MOV 指令。

5．I/O 寄存器(00H~3FH)，使用 IN、OUT 指令访问。

有一部分数据存储器的地址(0000H~005FH)被映射为通用寄存器(R0~R31)和 I/O 寄存