AVR 单片机与 GCC 编程

V 1.1 版

芯　艺

2004-10-06

请到 http://bitfu.zj.com 下载最新版本和示例程序

问题反馈：

OICQ : 27796915

MSN : changfutong@hotmail.com

E-mail : changfutong@sina.com

感谢您的支持!

目　　录

第一章　AVR 单片机 GCC 程序设计

WINAVR 是一个 ATMEL　AVR 系列单片机的开发工具集，它包含 GNU C 和 C++编译器 GCC。

1.1 一个简单的例子

为了先有一个感性的认识，我们首先看一下如下一段程序和它的编译、链接过程。文件 demo1.c ：

```
#include <avr/io.h>

int main( void )
{
    unsigned char    i, j, k,led=0;

    DDRB=0xff;

    while (1)
    {
        if(led)
            PORTB|=0X01;
        else
            PORTB&=0XFE;

        led=!led;

        //延时
        for (i=0; i<255; i++)
            for(j=0; j<255;j++)
                k++;
    }
}
```

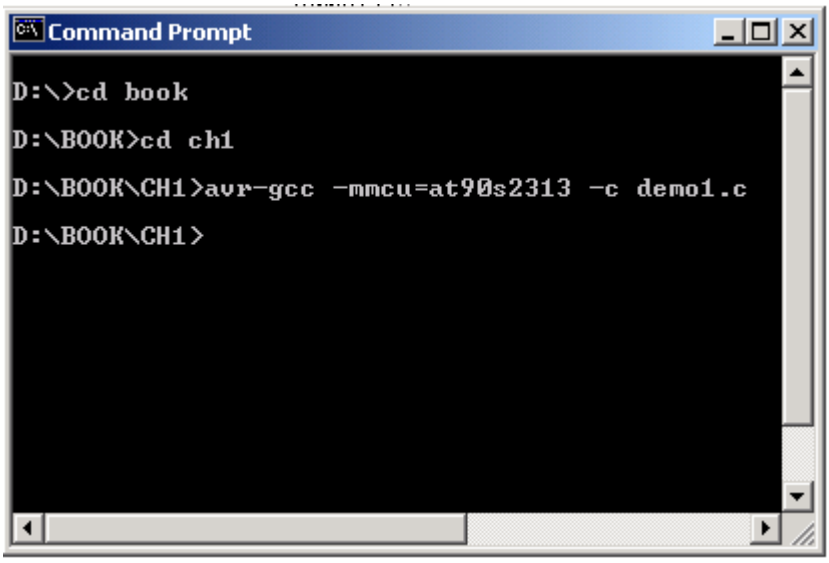
这是一个使接在 PB0 口的 LED 发光管闪烁的程序。有了源程序文件 demo1.c，我们就可以编译它了。通过点击菜单开始->运行 在弹出的对话框中输入“ command ”，来打开控制台窗口，并在命令行输入:

```
    avr-gcc    –mmcu=at90s2313    –c    demo1.c
```

如图 1-1 所示。

必需告诉编译器 程序的 MCU 类型，这是我们通过命令行选项-mmcu 来指定的，我们指定的器件为 at90s2313。-c 选项告诉编译器编译完成后不链接。

图 1-1 控制台窗口



编译完成后在工作目录新生成了一个文件：demo1.o ，它是我们的目标文件,我们再使用链接器将它链接成可在器件上执行的二进制代码。
在命令行输入：

```
avr-gcc  –mmcu=at90s2313  –O  demo1.elf  demo1.o
```

之后我们会在工作目录看见链接器生成的 demo1.elf。gcc 的链接后生成的文件为 ELF 格式，在命令行我们通常用.elf 指定其扩展名。ELF 格式文件除了包含不同存储器的二进制格式内容外还包含一些调试信息，所以我们还要借助一个有用工具 avr-objcopy 来提取单片机程序存储器内容。命令行输入：

```
avr-objcopy  -j  .text  -j  .data  -O ihex  demo1.elf  demo1.hex
```

gcc 把不同类型的数据分到不同的段落，相关程序存储器的段有 .text 和 .data ，我们用选项 –j 指定了要提取的段。选项 –O 用来指定输出格式，这里我们指定为 ihex (intel HEX file)。

到此我们得到了最终可以写入单片机 90S2313 FLASH 存储器的 demo1.hex 文件。用编程器将 demo1.hex 内空写入到单片机，便可看到接在 PB0 口的 LED 不断的闪烁。

以上对一次编译过程的描述只是为了说明 gcc 编译一个 C 源程序的步骤，在实际的应用中我们很少用这种方式编译每一个源程序和每一个更新后的程序。而是借助一个叫 make 的项目管理工具来进行编译操作。Make 由下一节介绍。

1.2 用 MAKEFILE 管理项目

在我看来，通常一个编译器（泛指高级语言编译器、汇编器、链接器等等）、项目管理器和文本编辑器构成一个完整的编程环境。

WINAVR 没有像 Keil uVision 那样的集成 IDE，所以我们需要写一个叫做 makefile 的文件来管理程序的编译链接。makefile 是个脚本文件，一个标准的(应该说经典的)可执行文件 make.exe 负责解析它并根据脚本内容来调用编译器、链接器或其它的工具。

1.2.1 make 的使用

make 能够自动记忆各源文件间的依赖关系，避免重复编译。

Make 指令用法是：

```
Make [-f filename] [names]
```

方括号表示括号里边的内容可以省略。其中 filename 代表 make 所使用的项目描述文件，如果此项省略，则从当前目录下按下列顺序寻找默认的项目描述文件

GNUmakefile.

makefile

Makefile （当然在 WINDOWS 下不份大小写文件名，也就无所谓了）

names 指定目标名或宏名。若不指定目标名，则 make 命令总是把在 makefile 文件中遇到的第一个目标当作默认目标。

1.2.2 Makefile 项目描述文件

一.目标

make 命令引入了目标（targets）的概念。Makefile 描述文件便是它的第一个目标，make 命令必须处理至少一个目标，否则不会得出任何结果。正如我们在一个没有默认描述文件的当前目录下敲入 make 一样，make 会输出以下的结果：

MAKE： ***No targets specified and no makefile found. Stop.

1.在项目描述文件中定义目标

一个目标通常从一行的开头开始，并后跟一个冒号。

最简单的 MAKEFILE

```
#当前目录 D:\AVRGCC\TEST
all:
    @echo hello!
#End makefile
```

all: 便是第一个目标

调用此描述文件结果：

D:\AVRGCC\TEST>make

hello!

2.默认目标(goal)

在上面提到过，如果调用 make 时不指定目标名则 make 总是假设在描述文件中遇到的第一个目标是默认目标。以下示例可以非常好的说明这一问题。

具有三个目标的 makefile

```
#当前目录 D\AVRGCC\TEST
one:
    @echo one.
Two:
    @echo two.
Three:
    @echo three.
#End makefile
```

调用 1：

```
D:\AVRGCC\TEST>make
one.
```

由于在命令行没有指定目标，make 从 makefile 中找到第一个目标（one）并执行后既退出。

调用 2：

```
D:\AVRGCC\TEST>make two
two.
```

由于在命令行明确指定了要执行的目标（two）,make 在 makefile 中找到指定的目标，并执行后退出。

调用 3：

```
D:\AVRGCC\TEST    make three one two
three.
one.
two.
```

命令行指定了三个目标，make 一一寻找并执行。

在 makefile 中非默认的目标称为可替换的目标，只有默认的目标与它们存在直接或间接的依赖关系时它们才有可能被调用。

二．依赖关系

makefile 文件按如下格式指定依赖关系：

目标 1[目标 2 …] : [:][依赖 1][依赖 2] …

[命令]

如下例

```
#当前目录 D:\AVRGCC\TEST
one: Two
@echo one.
Two:
@echo two.
#End makefile
```

执行结果是：

```
d:\avrgcc\test>make
two.
one.
```

Make 首先找到第一个目标 one ，之后发现目标 one 依赖目标 Two 就先执行 Two 后才执行 one 中的命令。

三．Makefile 内容

makefile 内容可分为如下五种类型

①规则定义

语法：

目标 ： 依赖

命令

...

其中目标为一个文件名或以空格分开的多个文件名，可含通配符。

例如：

```
%.o : %.c
    avr-gcc   -c   $<   -o   $@
```

以上规则定义了任意一个以 .o 结尾的文件依赖于相同前缀且以 .c 结尾的文件。并执行下边的命令获得。

规则中目标和依赖分别为 %.o 和%.c，在目标通配符 “%” 代表任意的字符串，而在依赖中代表与目标中代表的对应字符串。

②隐含规则

隐含规则是 make 预先定义的规则，用选项 –r 可取消所有的隐含规则。

例如对于 C 程序 %.o 可以自动的从 %.c 通过命令

$(CC) -c $(CPPFLAGS) $(CFLAGS)' 生成。

③变量

变量是在 makefile 中描述一字符串的的名称。变量可用在目标、依赖、命令和 makefile 其它部分中。变量名由除 ‘ : ’、‘ # ’、‘ = ’ 之外的字符组成，对大小写敏感。

变量的定义并赋值格式：

变量名 = 变量代表字符串

变量的引用格式：

$(变量名)

例如：

```
CC = avr-gcc
    %.o : %.c
    $(CC)  -c  $<  -o  $@
```

④命令

命令部分是由 make 传递到系统的字符格式的命令行的组合，在目标被创建时它们按顺序一行一行传递到系统并执行。

字符‘@’开始的命令 在系统的输出中不显示本次的指令行。

⑤注释

字符‘# ’开头的行为注释行，如果注释需要换行需在行尾加‘ \ ’，除包含其它 MAKEFIEL 外在行的任意处可插入注释。

四.自动变量

在 makefile 中有一组预定义的变量，当每一规则被执行时根据目标和依赖重新计算其值，叫作自动变量。

下面列出了常用的几个自动变量

$@ ：在规则中代表目标名，如果规则含有多个目标名它将列举所有目标。

$% ：仅在目标是存档文件的成员时起作用，代表目标。
如目标 foo.a(bar.o)中$@ 代表 foo.a $%代表 bar.o

$< ： 在规则中代表第一个依赖文件名

$? ： 代表在规则中所有以空格隔开的依赖文件名，如果依赖是存档文件的成员则只有成员名被列出。

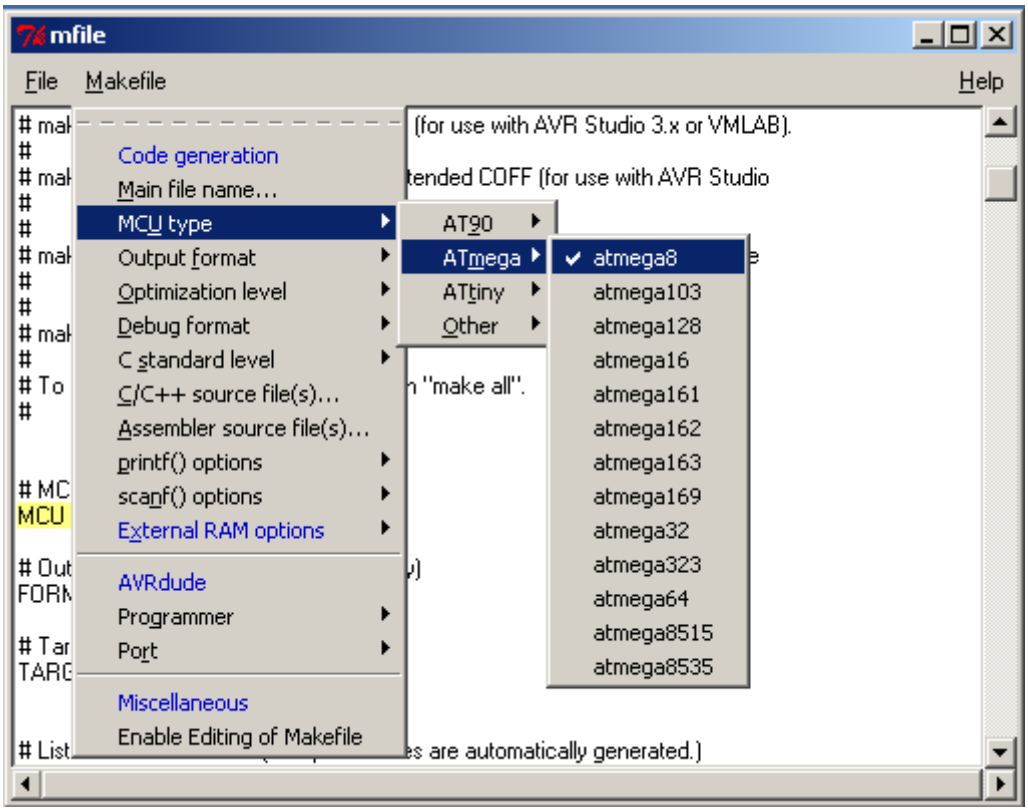
$^ ： 代表在规则中所有以空格隔开的依赖文件名，如果依赖是存档文件的成员则只有成员名被列出。

WINAVR 提供一种简单 makefile 生成工具叫 mfile，如图 1-2

利用它我们可方便的生成合适的 makefile。

Main file name…菜单指定主程序文件，它将决定主源程序文件名及输出文件名。
Output format 菜单项用于选择最终生成的可指行代码格式，根据编程器支持格式选择即可。
Optimization leave 指定 C 代码的优化级，s 代表按最小代码量编译。
C/C++ source file(s) 和 Assembler source files(s) 用于在项目中添加其它 C、C++、和汇编程序文件。

图 1-2 mfile 生成 makefile



通常我们选择了以上几项便可编译了。

1.3 开发环境的配置

一．软件环境

UltraEdit + WinAVR 打造超级开发 IDE

UltraEdit 是个文本编辑器，它支持 C 代码的高亮显示、项目管理及外部工具配置等功能。

首先要安装 UltraEdit 和 WinAVR。

(1) UltraEdit 的个性化设置：

下面是我个人习惯的设置

视图->颜色设置 光标所在行文本 设置成黑,光标所在行背景设置成白

高级->配置->编辑 制表符宽度值和缩进空格娄均设成 4。

高级->配置->备份 保存时备份文件里选择 不备份。

视图->查看列表 选中函数列表

(2) 创建编译用的文件

先在硬盘上创建一个目录作为设计大本营，这里假设为 d:\devdir

UltraEdit 写主程序文件保存到此文件夹中 这里设为 demo.c

用 mfile 生成一个合适的 makefile 保存到 d:\devdir

UltraEdit 创建一项目，负责管理文件

项目->新建项目 目录选 d:\devdir 输入项目名称（这里假设为 prj）

在接下来的文件设置对话框中的项目文件目录区输入或选择 d:\devdir

选中 相对路径 复选按钮

通过 添加文件 按钮将刚才的 makefile 和 demo.c 添加到项目中，之后按关闭。

（3）在 UltraEdit 中 make 我的项目

高级 -> 工具配置

在命令行区输入 make

在工作目录区输入 d:\devdir

在菜单项目名称区输入一个任意的菜单名称

选中 输出到列表框 和 捕获输出两个选择按钮后单击 插入按钮 确定。

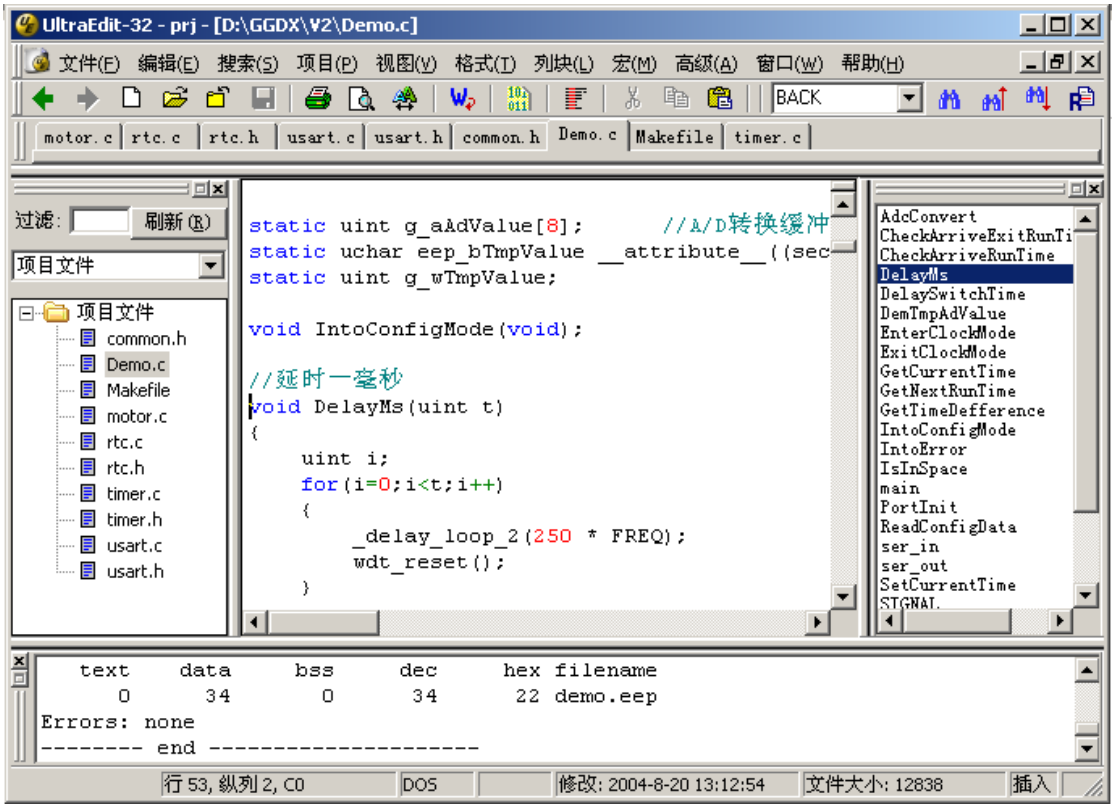
至此你就可以在 UltraEdit 内就可以 make 你的程序了☺

如果不愿意每次编译时找菜单可用快捷键 Ctrl+shift+0。

记得要在你的项目里添加源程序时,除了在 UltraEdit 项目->文件设置里添加外还要在 makefile 的 SRC 变量后列出来才可编译哦☺

到此 我们的超级无敌 AVR 编程环境打造完成 ，如图 1-3。

图 1-3 配置后的 UltraEdit 外观



二．硬件环境

SI-Prog + PonyProg 实现最廉价的下载实验器

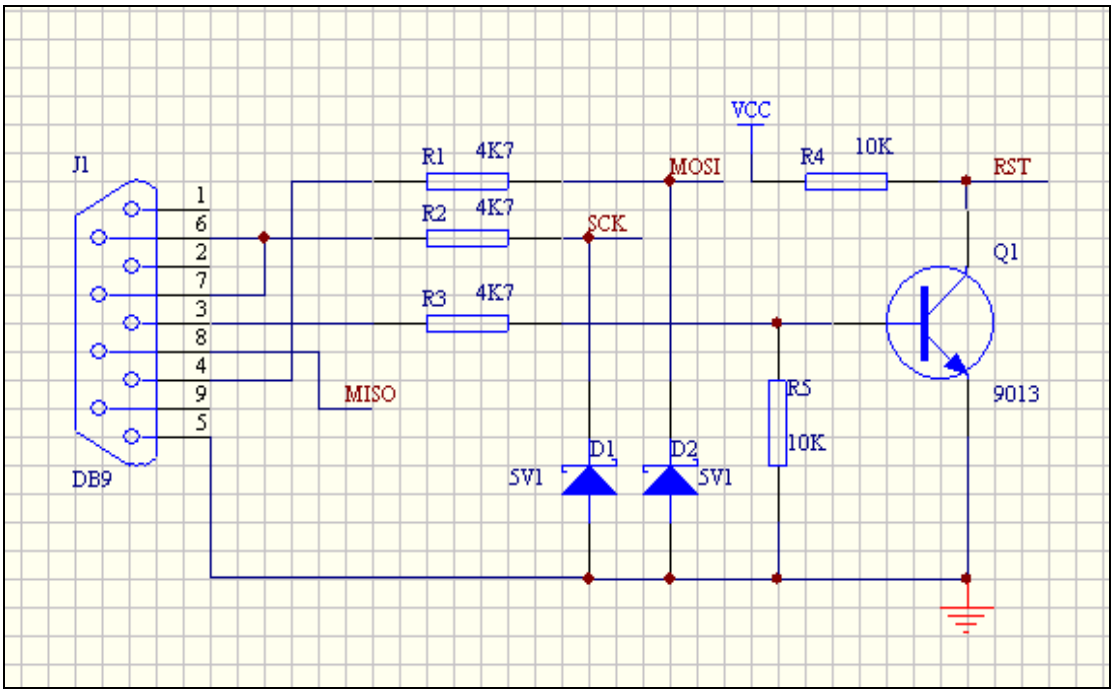
AVR 系列单项机提供对程序存储器（FLASH）和数据存储器（EEPROM）的串行编程功能（ISP），使它的程序烧写变得方便。AVR 系列器件内部 FLASH 存储器的编程次数通常可达到 10000 次以上，所以使用多次烧写的方式调试程序时不必担心器件的损坏。

ISP 功能占用三个 I/O 端口（MOSI 、MISO、 SCK）与外部编程逻辑通信，编程逻辑按指定时序将程序数据串行方式发送到器件，器件内的 ISP 功能模块负责将数据写入到 FLASH 或 EEPROM。

在实际应用中通常利用 PC 机的并行口或串行口加一个下载适配器（下载线）实现一个编程硬件，AVR 的下载线有很多种，这里向大家推荐 SI-Prog，SI-Prog 具有制作方便（只需几个分立元件）、接线少（通过 PC 9 针串行口编程），支持软件成熟（PonyProg）等特点。 si-prog 的完整电路可到 http://www.LancOS.com 下载。图 1-4 为简化后的电路原理图。

PonyPorg 是个串行器件编程软件，支持 AVR 在内的多种器件的串行编程。该软件可到 http://www.LanOS.com 下载。

图 1-4 SI-Prog 电路原理图



有了一台安装有 PonyPorg 的 PC 机和 SI-Prog ，就可以将程序写入到实际器件来验证了，想一想此方案的成本和一个 AVR 芯片能烧写的次数，是不是觉得很值☺

读到这里您对AVR单片机的开发和WINAVR编程应该有了一个基本的认识,也应当做好了开发或学习前软硬件的准备工作。从下一章开始我将进一步解析 AVR 的 GCC 程序设计。

第二章　存储器操作

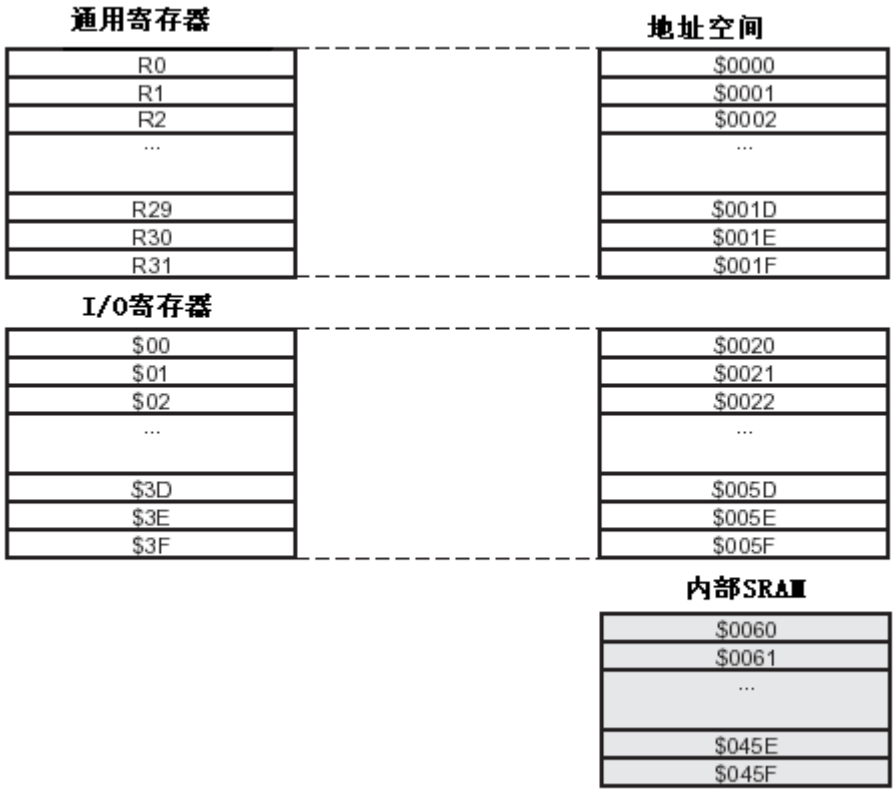
2.1　AVR 单片机存储器组织结构

AVR 系列单片机内部有三种类型的被独立编址的存储器，它们分别为：Flash 程序存储器、内部 SRAM 数据存储器和 EEPROM 数据存储器。

Flash 存储器为 1K～128K 字节，支持并行编程和串行下载,下载寿命通常可达 10,000 次。由于 AVR 指令都为 16 位或 32 位，程序计数器对它按字进行寻址，因此 FLASH 存储器按字组织的，但在程序中访问 FLASH 存储区时专用指令 LPM 可分别读取指定地址的高低字节。

寄存器堆（R0～R31）、I/O 寄存器和 SRAM 被统一编址。所以对寄存器和 I/O 口的操作使用与访问内部 SRAM 同样的指令。其组织结构如图 2-1 所示。

图 2-1 AVR SRAM 组织



32 个通用寄存器被编址到最前,I/O 寄存器占用接下来的 64 个地址。从 0X0060 开始为内部 SRAM。外部 SRAM 被编址到内部 SRAM 后。

AVR 单片机的内部有 64～4K 的 EEPROM 数据存储器，它们被独立编址，按字节组织。擦写寿命可达 100，000 次。

2.2 I/O 寄存器操作

I/O 专用寄存器（SFR）被编址到与内部 SRAM 同一个地址空间，为此对它的操作和 SRAM 变量操作类似。

SFR 定义文件的包含：

```
#include <avr/io.h>
```

io.h 文件在编译器包含路径下的 avr 目录下，由于 AVR 各器件间存在同名寄存器地址有不同的问题，io.h 文件不直接定义 SFR 寄存器宏，它根据在命令行给出的 –mmcu 选项再包含合适的 ioxxxx.h 文件。

在器件对应的 ioxxxx.h 文件中定义了器件 SFR 的预处理宏，在程序中直接对它赋值或引用的方式读写 SFR，如：

```
PORTB=0XFF;
Val=PINB;
```

从 io.h 和其总包含的头文件 sfr_defs.h 可以追溯宏 PORTB 的原型

在 io2313.h 中定义：

```
#define PORTB   _SFR_IO8(0x18)
```

在 sfr_defs.h 中定义：

```
#define _SFR_IO8(io_addr) _MMIO_BYTE((io_addr) + 0x20)
#define _MMIO_BYTE(mem_addr) (*(volatile uint8_t *)(mem_addr))
```

这样 PORTB=0XFF; 就等同于 *(volatile unsigned char *)(0x38)=0xff;
0x38 在器件 AT90S2313 中 PORTB 的地址

对 SFR 的定义宏进一步说明了 SFR 与 SRAM 操作的相同点。

关键字 volatile 确保本条指令不会因 C 编译器的优化而被省略。

2.3 SRAM 内变量的使用

一个没有其它属性修饰的 C 变量定义将被指定到内部 SRAM，

avr-libc 提供一个整数类型定义文件 inttype.h，其中定义了常用的整数类型如下表：

定义值	长度（字节）	值范围
int8_t	1	-128～127
uint8_t	1	0～255
int16_t	2	-32768～32767
uint16_t	2	0～65535
int32_t	4	-2147483648～2147483647
uint32_t	4	0～4294967295
int64_t	8	-9.22*10^18～-9.22*10^18
uint64_t	8	0～1.844*10^19

根据习惯，在程序中可使用以上的整数定义。

定义、初始化和引用

如下示例：

```
uint8_t val=8;              定义了一个 SRAM 变量并初始化成 8
val=10;                     改变变量值
const uint8_t val=8;        定义 SRAM 区常量
register uint8_t val=10;    定义寄存器变量
```

2.4 在程序中访问 FLASH 程序存储器

avr-libc 支持头文件：pgmspace.h

```
#include < avr/pgmspace.h >
```

在程序存储器内的数据定义使用关键字 __attribute__((__progmem__))。在 pgmspace.h 中它被定义成符号 PROGMEM。

1. FLASH 区整数常量应用

定义格式：

数据类型 常量名 PROGMEM = 值 ；

如：

```
char val8    PROGMEM = 1 ;
int    val16   PROGMEM = 1 ;
long val32   PROGMEM =1 ;
```

对于不同长度的整数类型 avr-libc 提供对应的读取函数：

pgm_read_byte(prog_void * addr)

pgm_read-word(prg_void *addr)
pgm_read_dword(prg_void* addr)

另外在 pgmspace.h 中定义的 8 位整数类型 prog_char prog_uchar 分别指定在 FLASH 内的 8 位有符号整数和 8 位无符号整数。应用方式如下：

```
char ram_val;                //ram 内的变量
const  prog_char  flash_val = 1; //flash 内常量
ram_val=pgm_read_byte(&flash_val); //读 flash 常量值到 RAM 变量
```

对于应用程序 FLASH 常量是不可改变的，因此定义时加关键字 const 是个好的习惯。

2. FLASH 区数组应用：

定义：

```
const  prog_uchar  flash_array[] = {0,1,2,3,4,5,6,7,8,9};  //定义
```

另外一种形式

```
const  unsigned  char  flash_array[]  RROGMEM = {0,1,2,3,4,5,6,7,8,9};
```

读取示例：

```
unsigend char I, ram_val;
for(I=0 ; I<10 ;I ++) //  循环读取每一字节
{
    ram_val = pgm_read_byte(flash_array + I);
    … …                  //处理
}
```

2． FLASH 区字符串常量的应用

全局定义形式：

```
const  char  flash_str[]  PROGMEM = “Hello, world!”;
```

函数内定义形式：

```
const  char  *flash_str  =  PSTR(“Hello, world!”);
```

以下为一个 FLASH 字符串应用示例

```
#include <avr/io.h>
#include <avr/pgmspace.h>
#include <stdio.h>

const  char  flash_str1[]  PROGMEM  = “全局定义字符串”;

int main(void)
```

```
{
    int I;
    char *flash_str2=PSTR(“函数内定义字符串”);
    while(1)
    {
        scanf(“%d”,&I);
        printf_P(flash_str1);
        printf(“\n”);
        printf_P(flash_str2);
        printf(“\n”);
    }
}
```

2.5 EEPROM 数据存储器操作

```
#include <avr/eeprom.h>
```

头文件声明了 avr-libc 提供的操作 EEPROM 存储器的 API 函数。

这些函数有：

```
eeprom_is_ready()        //EEPROM 忙检测（返回 EEWE 位）
eeprom_busy_wait()     //查询等待 EEPROM 准备就绪
uint8_t    eeprom_read_byte (const uint8_t *addr) //从指定地址读一字节
uint16_t    eeprom_read_word (const uint16_t *addr) //从指定地址一字
void    eeprom_read_block (void *buf, const void *addr, size_t n) //读块
void    eeprom_write_byte (uint8_t *addr, uint8_t val) //写一字节至指定地址
void    eeprom_write_word (uint16_t *addr, uint16_t val) //写一字到指定地址
void    eeprom_write_block (const void *buf, void *addr, size_t n)//写块
```

在程序中对 EEPROM 操作有两种方式

方式一：直接指定 EERPOM 地址

示例：

```
    /*此程序将 0xaa 写入到 EEPROM 存储器  0 地址处，
    再从 0 地址处读一字节赋给 RAM 变量 val */

    #include <avr/io.h>
    #include <avr/eeprom.h>

    int main(void)
    {
        unsigned char val;
```

```
        eeprom_busy_wait();     //等待 EEPROM 读写就绪
        eeprom_write_byte(0,0xaa);  //将 0xaa 写入到 EEPORM 0 地址处
        eeprom_busy_wait();
        val=eeprom_read_byte(0);    //从 EEPROM 0 地址处读取一字节赋给 RAM 变量 val

        while(1);
    }
```

方式二：先定义 EEPROM 区变量法

示例：

```
#include <avr/io.h>
#include <avr/eeprom.h>

unsigned char val1 __attribute__((section(".eeprom")));//EEPROM 变量定义方式

int main(void)
{
    unsigned char val2;

    eeprom_busy_wait();
    eeprom_write_byte (&val1, 0xAA); /* 写 val1 */
    eeprom_busy_wait();
    val2 = eeprom_read_byte(&val1); /* 读 val1 */

    while(1);
}
```

在这种方式下变量在 EEPROM 存储器内的具体地址由编译器自动分配。相对方式一，数据在 EEPROM 中的具体位置是不透明的。

为 EEPROM 变量赋的初始值，编译时被分配到.eeprom 段中,可用 avr-objcopy 工具从.elf 文件中提取并产生 ihex 或 binary 等格式的文件。

2.6 avr-gcc 段(section)与再定位(relocation)

粗略的讲,一个段代表一无缝隙的数据块（地址范围）,一个段里存储的数据都为同一性质,如“只读”数据。as (汇编器)在编译局部程序时总假设从 0 地址开始,并生成目标文件。最后 ld（链接器）在连接多个目标文件时为每一个段分配运行时（run-time）统一地址。这虽然是个简单的解释，却足以说明我门为为什么用段.

ld 将这些数据块正确移动到它们运行时的地址。此过程非常严格,数据的内部顺序与长度均不能发生变化.这样的数据单元叫做段，为段分配运行时地址叫再定位，此任务根据目标文件内的参考地址将段数据调整到运行时地址。

Avr-gcc 中汇编器生成的目标文件（object-file）至少包含四个段，分别为: .text 段、.data 段 、 .bss 段和.eeprom 段，它们包括了程序存储器（FLASH）代码，内部 RAM 数据，和 EEPROM 存储器内的数据。这些段的大小决定了程序存储器(FLASH)、数据存储器(RAM)、EEPROM 存储器的使用量，关系如下：

```
程序存储器（FLASH）使用量    = .text + .data
数据存储器（RAM）使用量      = .data + .bss [+ .noinit] + stack [+ heap]
EEPROM 存储器使用量          = .eeprom
```

一．.text 段

.text 段包含程序实际执行代码。另外，此段还包含.initN 和.finiN 两种段，下面详细讨论。

段.initN 和段.finiN 是个程序块，它不会象函数那样返回，所以汇编或 C 程序不能调用。.initN、.finN 和绝对段（absolute section 提供中断向量）构成 avr-libc 应用程序运行框架，用户编写的应用程序在此框架中运行。

.initN 段

此类段包含从复位到 main()函数开始执行之间的启动(startup)代码。

此类段共定义 10 个分别是.init0 到.init9。执行顺序是从.init0 到.init9。

.init0：

此段绑定到函数__init()。用户可重载__init()，复位后立即跳到该函数。

.init1：

未用，用户可定义

.init2：

初始化堆栈的代码分配到此段

.init3：

未用，用户可定义

.init4：

初始化.data 段（从 FLASH 复制全局或静态变量初始值到.data），清零.bss 段。

像 UNIX 一样.data 段直接从可执行文件中装入。Avr-gcc 将.data 段的初始值存储到 flash rom 里.text 段后，.init4 代码则负责将这些数据复制 SRAM 内.data 段。

.init5：
　　未用，用户可定义
.init6：
　　C 代码未用，C++程序的构造代码
.init7：
　　未用，用户可定义
.init8：
　　未用，用户可定义
.init9：
　　跳到 main()

　　avr-libc 包含一个启动模块（startup module），用于应用程序执行前的环境设置，链接时它被分配到 init2 和 init4 中,负责提供缺省中断程序和向量、初始化堆栈、初始化.data 段和清零.bss 段等任务，最后 startup 跳转到 main 函数执行用户程序。

.finiN 段
此类段包含 main()函数退出后执行的代码。
此类段可有 0 到 9 个，执行次序是从 fini9 到 fini1。

.fini9
　　此段绑定到函数 exit()。用户可重载 exit()，main 函数一旦退出 exit 就会被执行。
.fini8：
　　未用，用户可定义
.fini7：
　　未用，用户可定义
.fini6：
　　C 代码未用， C++程序的析构代码
.fini5：
　　未用，用户可定义
.fini4：
　　未用，用户可定义
.fini3：
　　未用，用户可定义
.fini2：
　　未用，用户可定义
.fini1：
　　未用，用户可定义
.fini0：
　　进入一个无限循环。

用户代码插入到.initN 或.finiN
示例如下：

```
void my_init_portb (void) __attribute__ ((naked)) \
```

```
        __attribute__ ((section (".init1")));
void my_init_portb (void)
{
        outb (PORTB, 0xff);
        outb (DDRB,  0xff);
}
```

由于属性 section(“.init1”)的指定，编译后函数 my_init_portb 生成的代码自动插入到.init1 段中，在 main 函数前就得到执行。naked 属性确保编译后该函数不生成返回指令，使下一个初始化段得以顺序的执行。

二．.data 段

.data 段包含程序中被初始化的 RAM 区全局或静态变量。而对于 FLASH 存储器此段包含在程序中定义变量的初始化数据。类似如下的代码将生成.data 段数据。

char err_str[]=”Your program has died a horrible death!”;
struct point pt={1,1};

可以将.data 在 SRAM 内的开始地址指定给连接器，这是通过给 avr-gcc 命令行添加 -Wl,-Tdata,addr 选项来实现的，其中 addr 必须是 0X800000 加 SRAM 实际地址。例如 要将.data 段从 0x1100 开始，则 addr 要给出 0X801100。

三．.bss 段

没有被初始化的 RAM 区全局或静态变量被分配到此段，在应用程序被执行前的 startup 过程中这些变量被清零。

另外，.bss 段有一个子段 .noinit，若变量被指定到.noinit 段中则在 startup 过程中不会被清零。将变量指定到.noinit 段的方法如下：

```
int foo __attribute__ ((section (“.noinit”)));
```

由于指定到了.noinit 段中，所以不能赋初值，如同以下代码在编译时产生错误：

```
int fol __attribute__((section(“.noinit”)))=0x00ff;
```

四．.eeprom 段

此段存储 EEPROM 变量。

```
Static unsigned char eep_buffer[3] __attribute__((section(“.eeprom”)))={1,2,3};
```

在链接选项中可指定段的开始地址，如下的选项将.noinit 段指定位到 RAM 存储器

0X2000 地址处。

```
avr-gcc ... -Wl,--section-start=.noinit=0x802000
```

要注意的是，在编译时 Avr-gcc 将 FLASH、RAM 和 EEPROM 内的段在一个统一的地址空间内处理，flash 存储器被定位到 0 地址开始处，RAM 存储器被定位到 0x800000 开始处，eeprom 存储器被定位到 0X810000 处。所以在指定段开始地址时若是 RAM 内的段或 eeprom 内的段时要在实际存储器地址前分别加上 0x800000 和 0X810000。

除上述四个段外，自定义段因需要而可被定义。由于编译器不知道这类段的开始地址，又称它们为未定义段。必需在链接选项中指定自定义段的开始地址。如下例：

```
void MySection(void) __attribute__((section(".mysection")));
void MySection(void)
{
    printf("hello avr!");
}
```

链接选项：

```
avr-gcc ... -Wl,--section-start=.mysection=0x001c00
```

这样函数 MySection 被定位到了 FLASH 存储器 0X1C00 处。

第三章　功能模块编程示例

3.1　中断服务程序

avr-gcc 为中断提供缺省的入口例程，这些例程的名字已固定，用户可通过重载这些例程来处理中断。如果中断没有被用户重载，说明正常情况下不会产生该中断，缺省的中断例程将程序引导到 0 地址处（既复位）。

Avr-gcc 为重载中断例程提供两个宏来解决细节的问题，它们是 SIGNAL(signame)和 INTERRUPT（signame）。参数 signame 为中断名称，它的定义在 io.h 中包含。表 3-1 列出了 ATMega8 的 signame 定义，其它器件的 signame 定义可查阅相应的 ioxxxx.h 文件。

表 3-1 ATMega8 中断名称定义

signame	中 断 类 型
SIG_INTERRUPT0	外部中断 INT0
SIG_INTERRUPT1	外部中断 INT1
SIG_OUTPUT_COMPARE2	定时器/计数器比较匹配中断
SIG_OVERFLOW2	定时器/计数器 2 溢出中断
SIG_INPUT_CAPTURE1	定时器/计数器 2 输入捕获中断
SIG_OUTPUT_COMPARE1A	定时器/计数器 1 比较匹配 A
SIG_OUTPUT_COMPARE1B	定时器/计数器 1 比较匹配 B
SIG_OVERFLOW1	定时器/计数器 1 溢出中断
SIG_OVERFLOW0	定时器/计数器 0 溢出中断
SIG_SPI	SPI 操作完成中断
SIG_UART_RECV	USART 接收完成
SIG_UART_DATA	USART 寄存器空
SIG_UART_TRANS	USART 发送完成
SIG_ADC	ADC 转换完成
SIG_EEPROM_READY	E^2PROM 准备就绪
SIG_COMPARATOR	模拟比较器中断
SIG_2WIRE_SERIAL	TWI 中断
SIG_SPM_READY	写程序存储器准备好

以下是个外部中断 0 的重载示例：

```
#include <avr/io.h>
#include <avr/interrupt.h>
#include <avr/signal.h>

SIGNAL(SIG_INTERRUPT0)
```

```
{
    //中断处理程序
}
```

宏 INTERRUPT 的用法与 SIGNAL 类似，区别在于 SIGNAL 执行时全局中断触发位被清除、其他中断被禁止，INTERRUPT 执行时全局中断触发位被置位、其他中断可嵌套执行。

另外 avr-libc 提供两个 API 函数用于置位和清零全局中断触发位，它们分别是：void sei(void) 和 void cli(void)。

3.2 定时器/计数器应用

下面以定时器/计数器 0 为例，说明定时器计数器的两种操作模式

定时器/计数器 0 相关寄存器：

TCCR0 ：定时器/计数器 0 控制寄存器
计数使能，时钟源选择和 CPU 时钟预分频设置
TCNT0 ：定时器/计数器 0 计数值寄存器
包含计数值（0～255）
TIFR ：定时器中断标志寄存器(Timer Interrupt Flag Register)
TOV0 位 为定时器/寄存器 0 溢出标志
TIMSK ：定时器中断屏蔽寄存器(Timer Interrupt Mask Register)
TOIE0 位为定时器/寄存器 0 中断使能/禁止控制位

查询模式举例：

```
/*      MCU:AT90S2313      时钟：4MHz          */

#include <avr/io.h>

#define uchar unsigned char

#define SET_LED PORTD&=0XEF //PD4 接发光管
#define CLR_LED PORTD|=0X10

int main(void)
{
  uchar i,j=0;
  DDRD=0X10;
  PORTD=0X10;
```

```
  TCNT0=0; // T/C0 开始值
  TCCR0=5; // 预分频 ck/1024 ,计数允许

  while(1)
  {
      //查询定时器方式等待一秒
      //4000000 /1024 /256 /15 ≈ 1Hz
      for(i=0;i<15;i++)
      {
          loop_until_bit_is_set(TIFR,TOV0);
          sbi(TIFR,TOV0);//写入逻辑 1 清零 TOV0 位
      }

      if(j)    //反向 LED 控制脚
          SET_LED,j=0;
      else
          CLR_LED,j=1;
  }
}
```

中断模式举例：

```
/*       MCU:AT90S2313       时钟：4MHz          */

#include <avr/io.h>
#include <avr/interrupt.h>
#include <avr/signal.h>

#define uchar unsigned char

#define SET_LED PORTD&=0XEF //PD4 接发光管
#define CLR_LED PORTD|=0X10

static uchar g_bCount=0;   //中断计数器
static uchar g_bDirection=0;

//T/C0 中断例程
SIGNAL(SIG_OVERFLOW0)
{
  // 产生中断周期  T = 256 * 1024 / 4MHz
  if(++g_bCount >14)            //中断 15 次约一秒
  {
      if(g_bDirection)     //反向 LED 控制脚
```

```
            SET_LED,g_bDirection=0;
        else
            CLR_LED,g_bDirection=1;

        g_bCount=0;
    }
}

int main(void)
{
    DDRD=0X10;
    PORTD=0X10;

    TCNT0=0; // T/C0 开始值
    TCCR0=5; //  预分频  ck/1024 ,计数允许

    TIMSK=_BV(TOIE0);
    sei();

    while(1);
}
```

3.3 看门狗应用

avr-libc 提供三个 API 支持对器件内部 Watchdog 的操作，它们分别是：

```
wdt_reset()              // Watchdog  复位
wdt_enable(timeout)      // Watchdog  使能
wdt_disable()            // Watchdog  禁止
```

调用上述函数前要包含头文件 wdt.h ，wdt.h 中还定义 Watchdog 定时器超时符号常量，它们用于为 wdt_enable 函数提供 timeout 值。符号常量分别如下：

符号常量	值含意
WDTO_15MS	Watchdog 定时器 15 毫秒超时
WDTO_30MS	Watchdog 定时器 30 毫秒超时
WDTO_60MS	Watchdog 定时器 60 毫秒超时
WDTO_120MS	Watchdog 定时器 120 毫秒超时
WDTO_250MS	Watchdog 定时器 250 毫秒超时
WDTO_500MS	Watchdog 定时器 500 毫秒超时
WDTO_1S	Watchdog 定时器 1 秒超时
WDTO_2S	Watchdog 定时器 2 秒超时

Watchdog 测试程序：

```
/*          MCU:AT90S2313        时钟：4MHz              */

#include <avr/io.h>
#include <avr/wdt.h>
#include <avr/delay.h>

#define uchar unsigned char
#define uint unsigned int

#define CLR_LED PORTD&=0XEF //PD4 接发光管
#define SET_LED PORTD|=0X10


//误差不会太大的延时 1ms 函数
void DelayMs(uint ms)
{
      uint i;
      for(i=0;i<ms;i++)
            _delay_loop_2(4 *250);
}

int main(void)
{
      DDRD=0X10;
      PORTD=0X10; //SET_LED

      wdt_enable(WDTO_1S);
      wdt_reset();

      DelayMs(500);

      CLR_LED;

      DelayMs(5000);//等待 WDT 复位

      SET_LED;
      while(1)
            wdt_reset();
}
```

执行结果：

接在 PD4 脚下的 LED 不断的闪烁，证明了 Watchdog 使 MCU 不断的复位。

3.4 UART 应用

查询方式:

```
/*      MCU:AT90S2313       时钟：4MHz      */

#include <avr/io.h>

#define uchar unsigned char
#define uint unsigned int

//uart 发送一字节数据
void putc(uchar c)
{
   loop_until_bit_is_set(UCR,UDRE);
   UDR=c;
}

//uart 等待并接收一字节数据
uchar getc(void)
{
   loop_until_bit_is_set(UCR,RXC);
   return UDR;
}

int   main(void)
{
   //uart  初始化
   UCR=(1<<RXEN)|(1<<TXEN);
   UBRR=25; //baud=9600       UBRR=CK/(baud*16) -1

   while(1)
   {
        putc(getc());
   }
}
```

程序从 UART 等待接收一字节，接收到数据后立即将数据又从 UART 发送回去。

中断方式：

```
/*      MCU:AT90S2313       时钟：4MHz      */
```

```
#include <avr/io.h>
#include <avr/interrupt.h>
#include <avr/signal.h>

#define uchar unsigned char
#define uint unsigned int

uchar g_bTxdPos=0;  //发送定位计数器
uchar g_bTxdLen=0;  //等待发送字节数
uchar g_bRxdPos=0;  //接收定位计数器
uchar g_bRxdLen=0;  //等待接收字节数

uchar g_aSendBuf[16];      //发送数据绶冲区
uchar g_aRecvBuf[16];      //接收数据缓冲区

//接收中断
SIGNAL(SIG_UART_RECV)
{
   uchar c=UDR;
   if(g_bRxdLen>0)
   {
         g_aRecvBuf[g_bRxdPos++]=c;
         g_bRxdLen--;
   }
}

//发送中断
SIGNAL (SIG_UART_TRANS)
{
   if(--g_bTxdLen>0)
         UDR=g_aSendBuf[++g_bTxdPos];
}

//是否接收完成
uchar IsRecvComplete(void)
{
   return g_bRxdLen==0;
}

//从发送缓冲区发送指定长度数据
void SendToUart(uchar size)
{
   g_bTxdPos=0;
   g_bTxdLen=size;
```

```
    UDR=g_aSendBuf[0];
    while(g_bTxdLen>0);
}

//接收指定长度数据到接收缓冲区
void RecvFromUart(uchar size,uchar bwait)
{
    g_bRxdPos=0;
    g_bRxdLen=size;
    if(bwait)
        while(g_bRxdLen>0);
}

int    main( void )
{
    uchar i;

      //uart 初始化
    //接收使能、发送使能、接收中断允许、发送中断允许
    UCR=(1<<RXCIE)|(1<<TXCIE)|(1<<RXEN)|(1<<TXEN);
    UBRR=25;     // baud=9600      UBRR=CK/(baud*16) -1

    sei();//总中断允许

    while(1)
    {
        //异步接收 16 字节数据
        RecvFromUart(16,0);

        //等待接收完成
        while(!IsRecvComplete());

        //将接收到的数据复制到发送缓冲区
        for(i=0;i<16;i++)
            g_aSendBuf[i]=g_aRecvBuf[i];

        //发送回接收到的数据
        SendToUart(16);
    }
}
```

利用中断可实现数据的异步发送和接收，正如上面程序所示，调用 RecvFromUart 后主程序可处理其它任务，在执行其它任务时可调用 IsRecvComplete 检测是否接收完成。

3.5 PWM 功能编程

```
/*
	avr-libc PWM 测试程序
	MCU:at90S2313
	时钟:4MHz
*/

#include <avr/io.h>
#include <avr/delay.h>

#define uchar unsigned char
#define uint unsigned int

#define FREQ 4

//延时
void DelayMs(uint ms)
{
	uint i;
	for(i=0;i<ms;i++)
		_delay_loop_2(FREQ * 250);
}


int main (void)
{
	uchar direction=1;
	uchar pwm=0;

	//	8 位 PWM 模式 ，向上计数时匹配清除 OC1
	TCCR1A = _BV (PWM10) | _BV (COM1A1);

	//PWM 引脚 PB3 方向设置为输出
	DDRB= _BV (PB3);

	//启动 PWM　时钟源:CK/8 PWM 频率为 4MHz/8/512=976Hz
	TCCR1B = _BV (CS11);

	//循环改变 PWM 输出脉宽，使接在 OC1 引脚上的发光管亮度发生变化
	while(1)
	{
		if(direction)
		{
```

```
            if(++pwm==254)
                direction=0;
        }
        else
        {
            if(--pwm==0)
                direction=1;
        }

        OCR1=pwm;
        DelayMs(10);
    }

    return 0;
}
```

3.6 模拟比较器

```
/*
    模拟比较器测试程序
    MCU：ATMega8
    时钟：内部 4MHz RC 振荡器
*/

#include <avr/io.h>
#include <avr/interrupt.h>
#include <avr/signal.h>

#define uchar unsigned char

#define SET_RED_LED PORTB&=0XFD //PB1 接红色发光管
#define CLR_RED_LED PORTB|=0X02

#define SET_YEL_LED PORTB&=0XFE   //PB0 接黄色发光管
#define CLR_YEL_LED PORTB|=0X01

//模拟比较器中断函数
SIGNAL(SIG_COMPARATOR)
{
    if(ACSR & _BV(ACO))
    {
        SET_YEL_LED;
        CLR_RED_LED;
```

```
    }
    else
    {
        CLR_YEL_LED;
        SET_RED_LED;
    }
}

int main(void)
{
    DDRB=0X03;
    PORTB=0X03;

    //模拟比较器上下均触发中断  ACIS1=ACIS0=0
    //中断允许  ACIE=1
    ACSR=_BV(ACIE);

    sei();

    //AIN0:正极  AIN1:负极    AIN0 脚上的电压高于 AIN1 上电压时 AC0=1
    if(ACSR & _BV(ACO))
    {
        SET_YEL_LED;
        CLR_RED_LED;
    }
    else
    {
        CLR_YEL_LED;
        SET_RED_LED;
    }

    while(1);
}
```

以上程序实现了用 LED 指示 ATMega8 比较输入引脚 AIN0 和 AIN1 上的电压的高低状态。

3.7 A/D 转换模块编程

查询方式：

```
/*    查询方式  A/D 转换测试程序      MCU:atmega8       时钟：4MHz 外部晶振       */
```

```
#include <avr/io.h>
#include <avr/delay.h>
#include <stdio.h>

#define uchar unsigned char
#define uint    unsigned int

static uint g_aAdValue[8];     //A/D 转换缓冲区

void IoInit(void);

uint AdcConvert(void)
{
      uchar i;
      uint ret;
      uchar max_id,min_id,max_value,min_value;

      ADMUX=0Xc0;//内部 2.56V 参考电压，0 通道
      ADCSRA=_BV(ADEN);//使能 ADC，单次转换模式

      //连续转换 8 次
      for(i=0;i<8;i++)
      {
            ADCSRA|=_BV(ADSC);
            _delay_loop_1(60);
            while(ADCSRA&_BV(ADSC))
                  _delay_loop_1(60);
            ret=ADCL;
            ret|=(uint)(ADCH<<8);
            g_aAdValue[i]=ret;
      }
      ret=0;
      for(i=1;i<8;i++)
            ret+=g_aAdValue[i];

      //找到最大和最小值索引
      ret/=7;
      max_id=min_id=1;
      max_value=min_value=0;
      for(i=1;i<8;i++)
      {
            if(g_aAdValue[i]>ret)
            {
                  if(g_aAdValue[i]-ret>max_value)
```

```
                {
                    max_value=g_aAdValue[i]-ret;
                    max_id=i;
                }
            }
            else
            {
                if(ret-g_aAdValue[i]>min_value)
                {
                    min_value=ret-g_aAdValue[i];
                    min_id=i;
                }
            }
        }

        //去掉第一个和最大最小值后的平均值
        ret=0;
        for(i=1;i<8;i++)
        {
            if((i!=min_id)&&(i!=max_id))
                ret+=g_aAdValue[i];
        }
        if(min_id!=max_id)
            ret/=5;
        else
            ret/=6;

        ADCSRA=0;//关闭 ADC

        return ret;
}

int main(void)
{
        uchar i;
        IoInit();

        while(1)
        {
            scanf("%c",&i);
            if(i=='c')
                printf("%d\n",AdcConvert());
        }
}
```

中断方式：

```
/*    中断方式  A/D 转换测试程序      MCU:atmega8       时钟：4MHz 外部晶振        */

#include <avr/io.h>
#include <avr/interrupt.h>
#include <avr/signal.h>
#include <avr/delay.h>
#include <stdio.h>

#define uchar unsigned char
#define uint    unsigned int

static uint g_nAdValue=0;

void IoInit(void);

// A/D 转换完成中断
SIGNAL(SIG_ADC)
{
      g_nAdValue=ADCL;
      g_nAdValue|=(uint)(ADCH<<8);
}


int main(void)
{
      uchar i;

      //内部 2.56V 参考电压，0 通道
      ADMUX=0Xc0;

      //使能 ADC,中断允许,自由模式，时钟：ck/8
      ADCSRA=_BV(ADEN)|_BV(ADIE)|_BV(ADFR)|_BV(ADPS1)|_BV(ADPS0);

      IoInit();//标准输入/输出初始化

      ADCSRA|=_BV(ADSC);//自由模式开始转换

      while(1)
      {
            //延时
            for(i=0;i<100;i++)
                  _delay_loop_2(4 * 250 * 10);//10ms
```

```
            cli();
            printf("%d\n",g_nAdValue);
            sei();
        }
}
```

以上是 ATMega8　A/D 转换程序的两种方式，在第一种查询方式中 ADC 按单次转换模式工作，每次转换均由置位 ADSC 触发。在中断方式示例中 ADC 按自由模式工作，自第一次置位 ADSC 起 ADC 就连续不断的进行采样转换、进行数据更新。

这两段程序的执行结果可由串行口监测工具 PrintMonitor (第四章 祥细介绍) 观测。

第四章　使用 C 语言标准 I/O 流调试程序

4.1 avr-libc标准I/O流描述

avr-libc 提供标准I/O流stdin，stdout和stderr。但受硬件资源的限制仅支持标准C语言I/O流的部分功能。由于没有操作系统支持，avr-libc又不知道标准流使用的设备，在应用程序的startup过程中I/O流无法初始化。同样在avr-libc中没有文件的概念，它也不支持fopen()。做为替代 fdevopen()提供流与设备间的连接。fdevopen需要提供字符发送、字符接收两个函数，在avr-libc中这两个函数对于字符流与二进制流是没有区别的。

三个核心函数

fdevopen()

应用程序通过fdevopen函数为流指定实际的输入输出设备。

```
FILE* fdevopen( int(* put) (char), int(* get)(void), int opts __attribute__((unused))
```

前两个参数均为指向函数的指针，它们指向的函数分别负责向设备输出一字节和从设备输入一字节的函数。第三个参数保留，通常指定0。

如果只指定put指针，流按写方式打开，stdout 或 stderr成为流的引用名。
如果只指定get指针，流按只读方式打开，stdin成为流的引用名。
如果在调用时两者都提供则按读写方式打开，此时stdout、stderr和stdin相同，均可做为当前流的引用名。

（1）向设备写字符函数：
原型：

```
int put(char c)
{
    … …
    return 0;
}
```

返回0表示字符传送成功，返回非零表示失败。

另外，字符‘ \n ’被I/O流函数传送时直接传送一个换行字符，因此如果设备在换行前需要回车，应当在put函数里发送 ‘ \n ’前发字符‘ \r ’。

以下是一个基于UART的 put 示例：

```
int uart_putchar(char c)
{
      if(c==’\n’)
            uart_putchar(‘\r’);
      loop_until_bit_is_set(UCSRA,UDRE);
      UDR=c;
      return 0;
}
```

（2）从设备输入字符函数
原型：

```
int get(void)
{
    … …
}
```

get 函数从设备读取一字节并按 int 类型返回，如果读取时发生了错误需返回 －1。

vfprintf()

```
int vfprintf  (  FILE *  __stream,  const char *  __fmt,  va_list  __ap  )
```

vfprintf 将__ap列出的值按__fmt 格式输出到流__stream。返回输出字节数，若产生错误返回EOF。

vfprintf是libc提供的I/O流格式化输出函数的基础,为避免应用中用不到的功能占用宝贵的硬件资源,vfprintf函数支持三种不同链接模式。

（1） 在默认情况下它包含除浮点数格式转换外的所有功能

（2） 最小模式仅包含基本整数类型和字符串转换功能
要用最小模式链接此函数，使用的链接选项如下：
-Wl,-u,vfprintf -lprintf_min

（3） 完全模式支持浮点数格式转换在内的所有功能。
完全模式链接选项如下：
-Wl,-u,vfprintf -lprintf_flt –lm

vfscanf()

```
int vfscanf  (  FILE *  __stream,  const char *  __fmt,  va_list  __ap  )
```

vfscanf 是 libc 提供的 I/O 流格式化输入函数的基础，它从__stream 流按字符格式读取__fmt 内容后按转换规则将数据保存到__ap 内。与 vfprintf 类似 vfscanf 也支持三种不同链接模式。

(1)在默认情况下它支持除浮点数格式和格式“ %[”外的所有转换。

(2)最小模式链接选项：

-Wl,-u,vfscanf -lscanf_min -lm

(3)完全模式链接选项:

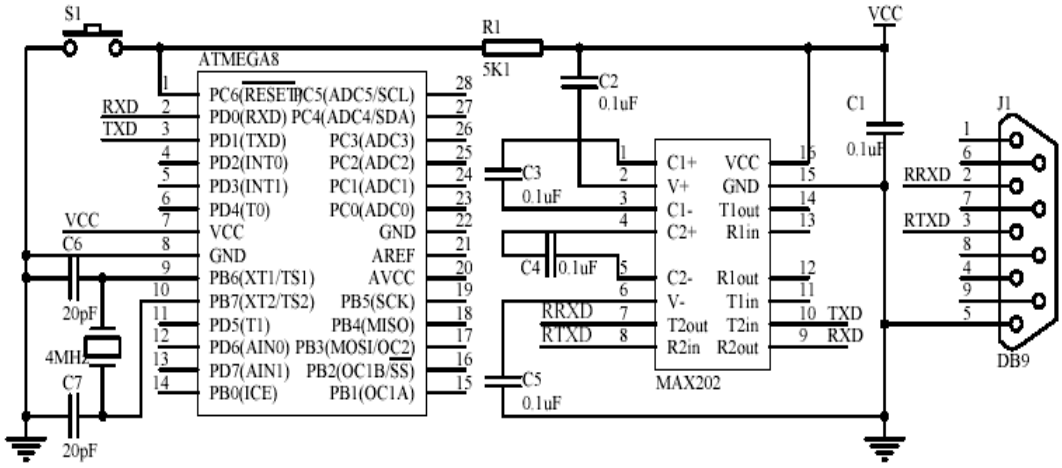
-Wl,-u,vfscanf -lscanf_flt –lm

4．2 利用标准I/O流调试程序

在程序的调试阶段，提供数据格式化输入/输出功能的标准I/O函数是个非常有用的工具，而单片机UART接口是标准I/O的比较合适设备

一．电路

图 4-1 UART 实现 I/O 流电路原理图



二．程序

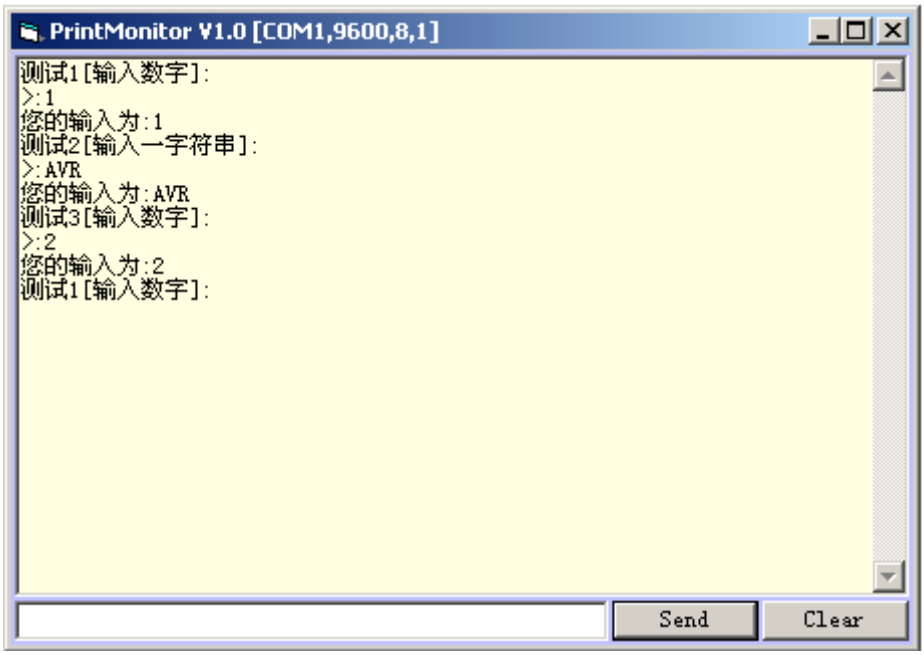
```
/*
    avr-libc 标准 i/o 测试程序
    main.c
    MCU:atmega8

    芯艺 2004-09-09
*/
```

```
#include <avr/io.h>
#include <avr/pgmspace.h>
#include <stdio.h>

char g_aString[81];

//uart 发送一字节
int usart_putchar(char c)
{
    if(c=='\n')
        usart_putchar('\r');
    loop_until_bit_is_set(UCSRA,UDRE);
    UDR=c;
    return 0;
}
//uart 接收一字节
int usart_getchar(void)
{
    loop_until_bit_is_set(UCSRA,RXC);
    return UDR;
}

void IoInit(void)
{
    //uart 初始化
    UCSRB=_BV(RXEN)|_BV(TXEN);/*(1<<RXCIE)|(1<<TXCIE)|*/
    UBRRL=25;   //9600 baud 6MHz:38  4MHz:25

    //流与设备连接
    fdevopen(usart_putchar,usart_getchar,0);
}

int main(void)
{
    int tmp;

    IoInit();

    while(1)
    {
        //测试 1
        vfprintf(stdout,"测试 1[输入数字]:\n",0);
        vfscanf(stdin,"%d",&tmp);
```

```
        vfprintf(stdout,"您的输入为:%d\n",tmp);

        //测试 2
        printf("测试 2[输入一字符串]:\n");
        scanf("%s",g_aString);
        printf("您的输入为:%s\n",g_aString);

        //测试 3
        printf_P(PSTR("测试 3[输入数字]:\n"));
        scanf_P(PSTR("%d"),&tmp);
        printf_P(PSTR("您的输入为:%d\n"),tmp);
    }
}
```

三．监测工具

图 4-2 PrintMonitor 运行界面



监测工具 PrintMonitor 运行界面如图 4-2 所示，它属于 windows 应用程序,由 VisualBasic6.0 编写，请到 http://bitfu.zj.com 下载源代码。

第五章　AT89S52 下载器的制作

5.1　LuckyProg S52 概述

ATMEL 推出的 89S 系列单片机具有类似 AVR 的 ISP 编程功能，单片机 ISP 接口为用户提供了一种串行编程方法。ISP 功能就象操作串行 EEPROM 存储器那样使单片机的编程变得简单方便。

本章将介绍一种用 AVR (AT90S2313) 实现的 AT89S52 单片机 ISP 编程器 :LuckyProg S52。

LuckyProg S52 工作原理：

如图 5-1 所示，编程单片机 AT90S2313 与计算机用 RS232 串行接口通信，2312 从串行口获得编程命令和数据后用 ISP 程序下载接口对 AT89S52 编程。

图 5-1　LuckyProg S52 功能框图：

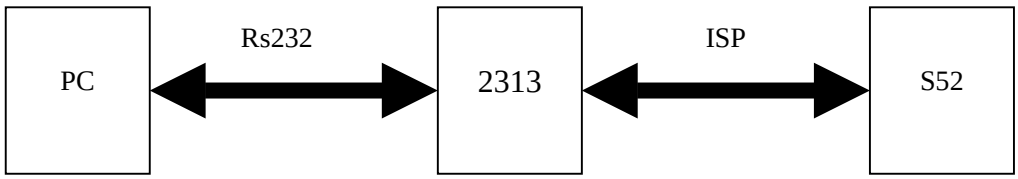
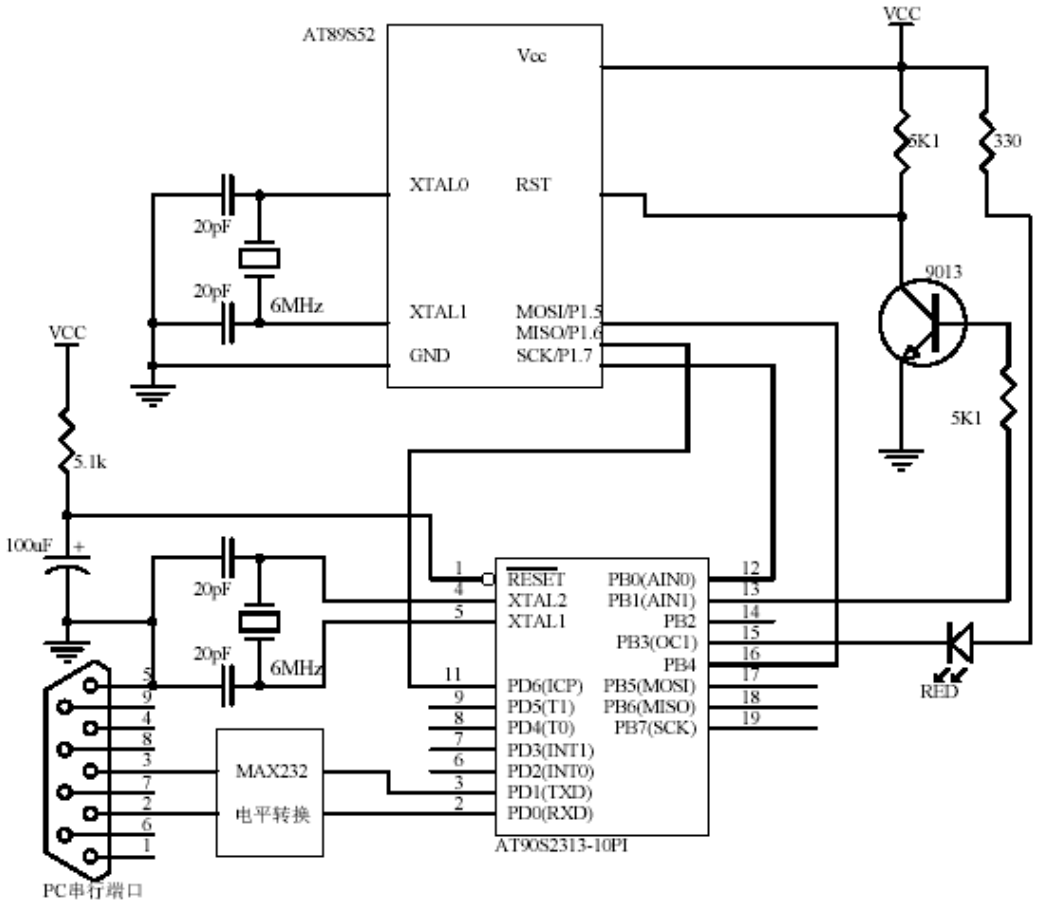


图 5-2 为 LuckyProg　S52 的电中原理图，图中 AT90S2313 的 UART 口与计算机 RS232 标准串行接口之间的电平转换被省略，可参考图 4-1。

用 ISP 口下载程序时 AT89S52 必需有时钟源，为此在 XTAL0 与 XTAL1 间接一个 6MHz 晶振，ISP 数据通信口 MOSI、MISO 和 SCK 均接在 AT90S2313 的普通 I/O 口上，而 RST 脚由 I/O 口通过一个三极管控制。

图 5-2 LuckyProg S52 ISP 下载电路原理图



5.2 AT89S52 ISP 功能简介

串行数据的输入与输出时序

数据在 SCK 的上升沿输入到 52，SCK 的下降沿输出。另外必须保证串行时钟 SCK 的周期至少大于是 6 个 CPU 时钟（XTAL1 上的）周期。

串行编程算法

1. 上电过程

在 VCC 和 GND 间加上电源的同时 RST 脚加高电平。至少等待时 10ms。

2．发送串行编程使能命令

如果通信失步则串行编程失败。如果同步则在编程时钟的第四个字节器件响应 0X69，表示编程使能命令成功。不论响应正确与否，必需保证四字节的时钟周期。

3．写程序

通过写指令可对程序存储器的每一字节进行编程。一个写指令使单片机进入自定时的编程模式，在 5V 编程电压下典型编程时间少于 1ms。

4．读程序

任意位置的程序数据可通过读指令从引脚步 MISO/P1.6 读出，实现定写入数据的校验。

5．编程操作结束后将 RST 引脚拉低，使器件进入正常工作模式。

编程指令

表 5-1 AT89S52 ISP 下载命令

指 令	指 令 格 式			
	字节 1	字节 2	字节 3	字节 4
编程使能	1010 1100	0101 0011	xxxx xxxx	0110 1001(输出)
器件擦除	1010 1100	100x xxxx	xxxx xxxx	xxxx xxxx
读(字节模式)	0010 0000	xxxA12-A8	A7-A0	D7-D0
写(字节模式)	0100 0000	xxxA12-A8	A7-A0	D7-D0
写锁定位	1010 1100	1110 00B1B2	xxxx xxxx	xxxx xxxx
读锁定位	0010 0100	XXXX XXXX	xxxx xxxx	xxLB3 LB2 LB1 xx
读厂标	0010 1000	XXXA5-A0	xxxx xxxx	厂标字节
读(页模式)	0011 0000	XXXA12-A8	Byte 0	Byte1-255
写 (页模式)	0101 0000	XXXA12-A8	Byte 0	Byte1-255

注：1.锁定位与模式对应

模式 1（B1=0、B2=0）：无锁定保护

模式 2（B1=0、B2=1）：内部锁定位 1 有效

模式 3（B1=1、B2=0）：内部锁定位 2 有效

模式 4（B1=1、B2=1）：内部锁定位 3 有效

1.在模式 3 和 4 下不能读厂标

2.将 Reset 拉高后 SCK 至少保持 64 个时钟周期才可执行编程允许命令，在页读写中命令和地址后数据由 0 到 255 的顺序传送，只有接收完这 256 字节的数据后下一个指令才能就绪。

5.3 程序设计

延时功能函数

通常在单片机 C 程序里的延时模块为一个计数循环，延时时间的长短往往是先估计，后通过实验或仿真等方法来验证。avr-libc 提供了两个延时 API 函数，利用这两个函数我们可以较精确的产生所需的延时函数。

，第一个函数声明如下：

```
void _delay_loop_1(unsigned char count)；
```

它的延时时间为 count × 3 个系统时钟周期，计数器 count 为 8 位无符号整数，第二个函数声明格式为：

```
void _delay_loop_2(unsigned int    count);
```

它将延时 count × 4 个系统时钟周期，计数器 count 为 16 位无符号整数。

若要调用这两个函数，需先包函头文件 delay.h，实际上这两个函数的实现就在此文件里，我们可以从 WINAVR 安装目录里的\AVR\INCLUDE\AVR 子目录里找到并查看它的内容，以下为_delay_loop_2 的源程序：

```
static inline void
_delay_loop_2(unsigned int __count)
{
    asm volatile (
        "1: sbiw %0,1" "\n\t"
        "brne 1b"
        : "=w" (__count)
        : "0" (__count)
    );
}
```

首先要说明的是，由于函数的实现写在了头文件里，所以被多个源文件包含是可能的，为此有必要将它声明成局部函数（static）。函数内容为内嵌汇编方式，有关内嵌汇编看第 8 章，这里我们只需知道它的执行需要 count * 4 个时钟周期。要注意的是，inline 关键字说明了函数是内连函数，内连函数如同汇编程序里的宏，编译结果是在每一个调用的地方插入一次函数的内容。为此有程序空间要求且调用频率高的应用中再写一个延时函数是有必要的。以下是为编程器主控单片机 AT90S2313 写的延时程序，它以毫秒为单位执行延时任务。

```
void DelayMs(unsigned int t)
{
    unsigned int i;
    for(i=0;i<t;i++)
      _delay_loop_2(FEQ * 250 - 1);
}
```

其中 FEQ 为系统振荡频率(以 M 为单位)。

AT90S2313 程序清单

```
#include <avr/io.h>
#include <avr/interrupt.h>
#include <avr/signal.h>
#include <avr/delay.h>
#include <avr/wdt.h>

#define uchar unsigned char
#define uint unsigned int



#define SETLED PORTB&=0xF7
#define CLRLED PORTB|=0X80

#define FREQ        6     //时钟  6MHz

#define MOSI 4
#define MISO 6
#define SCK          0
#define RST          1
#define ACK          0xaa
#define ERR          0XBB
#define CMOD        0XCC;


uchar g_bTxdPos=0;            //UART 发送定位数
uchar g_bTxdLen=0;     //发送长度设置绶冲
uchar g_bRxdPos=0;            //UART 接收定位数
uchar g_bRxdLen=0;     //接收长度设置绶冲

uchar g_aMemBuf[32];  //数据绶冲

void DelayMs(uint t)
{
      uint i;
      for(i=0;i<t;i++)
      {
            _delay_loop_2(250*FREQ-1);//delay 1ms
            wdt_reset();
      }
}
void DelayBus(void)
```

```
{
    _delay_loop_1(4);
    wdt_reset();
}

void ISP_WriteByte(uchar dat)
{
    unsigned char i;
    for(i=0;i<8;i++)
    {
        if(dat&0x80)
            sbi(PORTB,MOSI);
        else
            cbi(PORTB,MOSI);
        sbi(PORTB,SCK);
        DelayBus();
        cbi(PORTB,SCK);
        DelayBus();
        dat<<=1;
    }
}
uchar ISP_ReadByte(void)
{
    uchar ret=0;
    uchar i;
    for(i=0;i<8;i++)
    {
        ret<<=1;
        sbi(PORTB,SCK);
        DelayBus();
        if(PIND&0x40)
            ret|=1;
        cbi(PORTB,SCK);
        DelayBus();
    }
    return ret;
}
//////////////////////串口处理//////////////////////////
//接收中断
SIGNAL(SIG_UART_RECV)
{
    uchar c=UDR;
    if(g_bRxdLen>0)
    {
```

```
            g_aMemBuf[g_bRxdPos++]=c;
            g_bRxdLen--;
        }

}
//发送中断
SIGNAL (SIG_UART_TRANS)
{
    if(--g_bTxdLen>0)
        UDR=g_aMemBuf[++g_bTxdPos];
}
//等待接收完成
void WaitRecv(void)
{
    while(g_bRxdLen>0)
        DelayBus();
}
//发送指定字节
void SendToUart(uchar size)
{
    g_bTxdPos=0;
    g_bTxdLen=size;
    UDR=g_aMemBuf[0];
    while(g_bTxdLen>0)
        DelayBus();
}
//接收指定字节
void RecvFromUart(uchar size,uchar bwait)
{
    g_bRxdPos=0;
    g_bRxdLen=size;
    if(bwait)
        WaitRecv();
}
////////////////////////////////////////////////////////////
//S52 编程允许
uchar PrgEn(void)
{
    //MOSI、SCK 设为输出
    cbi(PORTB,SCK);
    cbi(PORTB,MOSI);
    sbi(DDRB,MOSI);
    sbi(DDRB,SCK);
```

```
    cbi(PORTB,RST);
    DelayMs(100);
    ISP_WriteByte(0xac);
    ISP_WriteByte(0x53);
    ISP_WriteByte(0);

    if(ISP_ReadByte()==0x69)
        return 1;
    else
        return 0;
}
//S52 复位
void PrgDs(void)
{
    //MOSI、SCK 设为输入高阻
    cbi(PORTB,MOSI);
    cbi(PORTB,SCK);
    cbi(DDRB,MOSI);
    cbi(DDRB,SCK);

    cbi(PORTB,RST);
    DelayMs(500);
    sbi(PORTB,RST);
}
//读 FLASH
void ReadDevice(void)// CMD : 1
{
    uchar i,j,k;
    uchar pageaddress=g_aMemBuf[1];
    uchar pagecount=g_aMemBuf[2];

    if(!PrgEn())
    {
        g_aMemBuf[0]=ERR;
        return ;
    }
    g_aMemBuf[0]=ACK;
    SendToUart(1);

    for(k=0;k<pagecount;k++)
    {

        ISP_WriteByte(0x30);
        ISP_WriteByte(pageaddress++);//Write address
```

```
            for(i=0;i<8;i++)
            {
                for(j=0;j<32;j++)
                {
                    g_aMemBuf[j]=ISP_ReadByte();
                }
                SendToUart(32);
            }
            if(k&0x1)
                SETLED;
            else
                CLRLED;

        }
        PrgDs();
        CLRLED;
        g_aMemBuf[0]=ACK;
}
//写 FLASH
void WriteDevice(void)//CMD : 3
{
        uchar i,j,k;
        if(PrgEn()==0)
        {
            g_aMemBuf[0]=ERR;
            return ;
        }
        uchar pageaddress=g_aMemBuf[1];
        uchar pagecount=g_aMemBuf[2];

        for(k=0;k<pagecount;k++)
        {
            ISP_WriteByte(0x50);
            ISP_WriteByte(pageaddress++);    //Write address
            SETLED;
            for(i=0;i<8;i++)
            {
                g_aMemBuf[0]=3;
                SendToUart(1);
                RecvFromUart(32,1);

                for(j=0;j<32;j++)
                {
```

```
                    ISP_WriteByte(g_aMemBuf[j]);
                    DelayMs(1);
                }
            }
            CLRLED;
            //DelayMs(256);
        }
        PrgDs();
        g_aMemBuf[0]=ACK;
}
//擦除
void EraseDevice(void) // CMD : 2
{

        if(PrgEn()==0)
        {
            g_aMemBuf[0]=ERR;
            return ;
        }
        ISP_WriteByte(0xac);
        ISP_WriteByte(0x80);
        ISP_WriteByte(0x0);
        ISP_WriteByte(0x0);
        DelayMs(1000);
        PrgDs();
        g_aMemBuf[0]=ACK;
}
//写锁定位
void WriteLockBits(void) // CMD: 4
{
        uchar temp;
        if(PrgEn()==0)
        {
            g_aMemBuf[0]=ERR;
            return ;
        }
        temp=0xe0;
        if(g_aMemBuf[1])
            temp|=0x02;
        if(g_aMemBuf[2])
            temp|=0x1;
        ISP_WriteByte(0xac);
        ISP_WriteByte(temp);
        ISP_WriteByte(0);
```

```
	ISP_WriteByte(0);
	g_aMemBuf[0]=ACK;
	PrgDs();
}
//读锁定位
void ReadLockBits(void)//CMD :5
{
	if(PrgEn()==0)
	{
		g_aMemBuf[0]=ERR;
		return ;
	}
	ISP_WriteByte(0x24);
	ISP_WriteByte(0);
	ISP_WriteByte(0);
	g_aMemBuf[0]=ISP_ReadByte();
	g_aMemBuf[0]>>=2;
	g_aMemBuf[0]&=7;
	PrgDs();
}

////////////////////////////////
//入口//////////////////////////
int    main( void )
{
	DelayMs(1000);
	//i/o 口初始化
	PORTB=0X08;
	DDRB=0X09;
	DDRD=0;
	PORTD=0XFF;//上拉开

	//uart 初始化
	UCR=(1<<RXCIE)|(1<<TXCIE)|(1<<RXEN)|(1<<TXEN);
	UBRR=38;		//UBRR=FCK/(9600*16) -1

	wdt_enable(WDTO_1S);

	//复位目标板
	PrgDs();

	//复位延时
	DelayMs(1000);
```

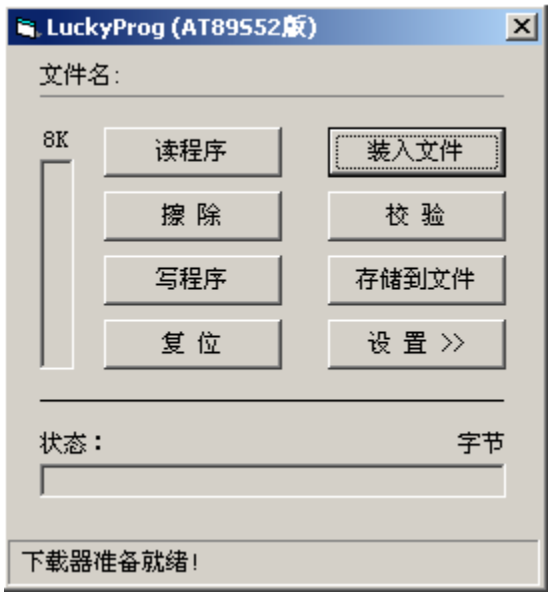
```
    //开中断
    sei ();

    //主盾环
    while(1)
    {
        RecvFromUart(3,1);
        SETLED;
        switch(g_aMemBuf[0])
        {
            case 0:
                PrgDs();
                g_aMemBuf[0]=ACK;
                break;
            case 1:
                ReadDevice();
                break;
            case 2:
                EraseDevice();
                break;
            case 3:
                WriteDevice();
                break;
            case 4:
                WriteLockBits();
                break;
            case 5:
                ReadLockBits();
                break;
            case ACK:
                g_aMemBuf[0]=ACK;
                break;
            default:
                break;
        }//switch
        SendToUart(1);
        CLRLED;
    }//main loop
}//main
```

在写 FLASH 存储器时先从计算机读取程序数据到 g_aMemBuf 缓冲区，然后用页模式（查表 5-1）写入，由于 2313 内部 RAM 有限，缓冲区 g_aMemBuf 的大小定义为 32 字节，为此写一页时必需从计算机读程序数据 8 次。

上位机程序

上位机程序界面如图 5-3 所示，它是由 VisualBasic6.0 编写。可执行文件或 VisualBasic 源代码可到 http://bitfu.zj.com 下载。

图 5-3 LuckyProg S52 上位机程序



第六章　硬件 TWI 端口编程

6.1 TWI 模块概述

ATMega 系列单片机片内集成两线制串行接口模块，Atmel 文档称它为 TWI 接口。事实上 TWI 与 PHILIPS 的 I2C 总线是同一回事，之所以叫它 TWI 是因为这样的命名可使 Atmel 避免交术语版税。所以，TWI 兼容 I2C 更一种说法。

关于 I2C 协议参考 PHILIPS 相关文档。

AVR 硬件实现的 TWI 接口是面向字节和基于中断的，相对软件模拟 I2C 总线有更好的实时性和代码效率，引脚输入部分还配有毛刺抑制单元，可去除高频干扰。另外，结合 AVR I/O 端口功能，在 TWI 使能时可设置 SCL 和 SDA 引脚对应的 I/O 口内部上拉电阻有效，这样可省去 I2C 要求的外部两个上拉电阻。

下面以 MEGA8 为例，简要介绍 TWI 接口的工作方式。

在 I2C 总线上 MEGA8 可扮演主控制器（主控模式）和从器件（被控模式）的角色。

不论主控模式还是被控模式都应当将 TWI 控制寄存器 TWCR 的 TWEN 位置 1 从而使能 TWI 模块。TWEN 位被置位后 I/O 引脚 PC5 和 PC4 被转换成 SCL 和 SDA，该管脚上的斜率限制和毛刺滤波器生效。如果外部没有接上拉电阻可用类似如下的操作使能该管脚上的内部上拉电阻：

```
DDRC&=0Xcf;
PORTC|=0X30;
```

对 TWI 控制寄存器 TWCR 的操作可在总线上产生 START 和 STOP 信号，从一个 START 到 STOP 被认为是主控模式的行为。

将 TWI 地址寄存器 TWAR 的第一位 TWGCE 置有效，同时将 TWI 控制寄存器 TWCR 的 TWEA（应答允许）位置 1，TWI 模块就可以对总线上对它的寻址做出应答，并置状态字。

对总线的操作或总线上产生事件后应用程序应当根据 TWI 状态寄存器值来确定下一步的操作。关于不同模式下的状态值的详细描述参考 MEGA8 的数据手册。

对 TWI 模块的操作均为寄存器的读写操作，Avr-libc 没有提供专门的 API。文件 twi.h 定义了状态字的常量和一个返回状态字的宏。

6.2 主控模式操作实时时钟 DS1307

一 实时时钟 DS1307 介绍

DS1307是低功耗、两线制串行读写接口、日历和时钟数据按BCD码存取的时钟/日历芯片。它提供秒、分、小时、星期、日期、月和年等时钟日历数据。另外它还集成了如下几点功能：

- 56 字节掉电时电池保持的 NV SRAM 数据存储器
- 可编程的方波信号输出
- 掉电检测和自动切换电池供电模式

DS1307 把 8 个寄存器和 56 字节的 RAM 进行了统一编址，具体地址和寄器数据组织格式如下表：

表 6-1 DS1307 内存组织结构

地址	数据	格式							
		7	**6**	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**	**0**
00	SECONDS	CH	秒 10 位			秒个位			
01	MINUTES	0	分 10 位			分个位			
02	HOURS	0	12/24	10HR A/P	小时 10 位	小时个位			
03	DAY	0	0	0	0	0	星期		
04	DATE	0	0	日期 10 位		日期个位			
05	MONTH	0	0	0	月 10 位	月个位			
06	YEAR	年 10 位				年个位			
07	CONTROL	OUT	0	0	SQWE	0	0	RS1	RS0
08 --- 3fh	RAM 56 byte	用户数据存储区							

在读写过程中 DS1307 内部维护一个地址指针，通过写操作可对它负值，读和写每一字节时自动加一，当指针越过 DS1307 内部 RAM 尾部时指针将返回到 0 地址处。

DS1307 的时钟和日历数据按 BCD 码存储。

方波信号输出功能：

方波信号输出功能从 SQW/OUT 引脚输出设置频率的方波，CONTROL 寄存器用于控制 SQW/OUT 脚的输出。

BIT7（OUT）：此位表示在方波输出被禁止时 SQW/OUT 脚的逻辑电平，在 SQWE=0（输出禁止）时若 OUT 为 1 则 SQL/OUT 脚为高电平，反之亦然。

BIT4（SQWE）方波输出允许/禁止控制位，1 有效。

BIT0（RS0）、BIT1（RS1）用于设定输出波形的频率，如下表：

表 6-2　方波信号输出频率设置

RS1	RS0	输出频率（Hz）
0	0	1
0	1	4096
1	0	8192
1	1	32768

要注意的是，00h 地址的第 7 位为器件时钟允许位(CH)，由于在在开始上电时内部 RAM 内容随机，所以在初始化时将 CH 位设零（时钟允许）是非常重要的。

DS1307 在 TWI 总线上是个从器件，地址（SLA）固定为 1101000。

DS1307 写操作 – TWI 被控接收模式

主控器件按如下顺序将数据写入到 DS1307 寄存器或内部 RAM 中：

1.START 信号
2.写 SLA+W(0xd0)字节,DS1307 应答（ACK）
3.写 1 字节内存地址（在以下第四步写入的第一字节将存入到 DS1307 内该地址处，DS1307 应答）
4.写数据（可写多个字节，每一字节写入后 DS1307 内部地址计数器加一，DS1307 应答）
5.STOP 信号

DS1307 读操作 – TWI 被控发送模式

主控器件按如下顺序将 DS1307 寄存器或内部 RAM 数据读取：

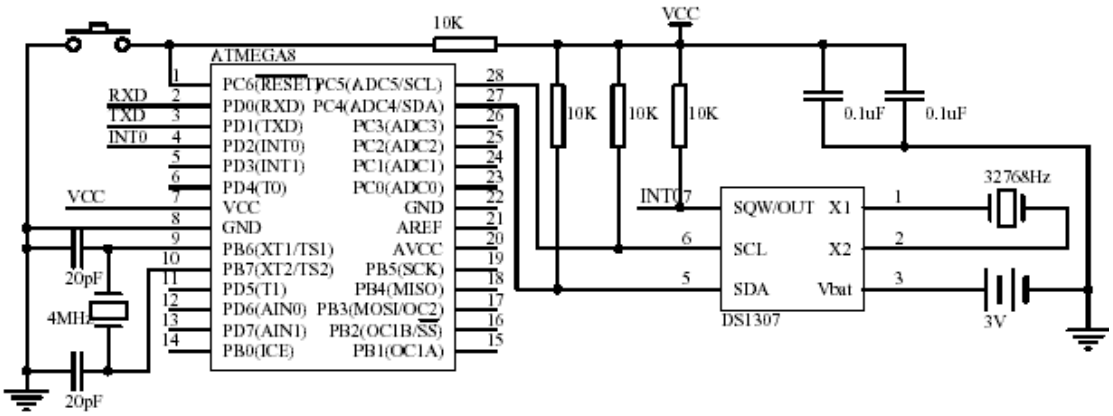
1.START 信号
2.写 SLA+R(0xd1)字节,DS1307 应答（ACK）
3.读数据（可读多个字节，读取数据的 DS1307 内部地址由上次写操作或读操作决定，读取每一字节 DS1307 内部地址计数器加一，主器件应答,读取最后一字节时主器件回应一 NACK 信号）
4.STOP 信号

二　DS1307 实验电路

DS1307 与 Mega8 间的连接如 6-1 所示，DS1307 的 X1 和 X2 管脚需接 32768Hz 晶振。

Vbat 引脚接的电池电压必需在 2.0V～3.5V 范围内。当 VCC 引脚上的电压降到 1.25 倍电池电压时 DS1307 内部写保护电路生效，RTC 数据和内部 RAM 的读写补禁止。

图 6-1　Mega8 与 DS1307 的连接电路



三　程序设计

以下是操作 DS1307 的示例程序，利用基于 USART 的标准 I/O 实现读写日历和时钟。

```
/*
    Mega8 硬件 TWI 接口读写实时时钟 DS1307 程序
    文件名：main.c

    芯艺 2004-09-02 ---------- 2004-09-07
*/

#include <avr/io.h>
#include <avr/delay.h>
#include <avr/twi.h>
#include <avr/pgmspace.h>

#include <stdio.h>

#define uint unsigned int
#define uchar unsigned char

#define FREQ 4
#define DS1307_ADDR 0XD0

#define TW_ACK  1
#define TW_NACK 0

#define RTC_READ 1
#define RTC_WRITE 0
```

```
FILE *g_hFile;

uchar g_aTimeBuf[7];//日历/时钟 BCD 格式缓冲区
uchar g_aTimeBin[7];//时钟/日历二进制格式缓冲区

void DelayMs(uint ms)
{
    uint i;
    for(i=0;i<ms;i++)
        _delay_loop_2(FREQ *250);
}


/******************标准 I/O 功能***************开始********/
//标准 I/O 输出函数
int usart_putchar(char c)
{
    if(c=='\n')
        usart_putchar('\r');
    loop_until_bit_is_set(UCSRA,UDRE);
    UDR=c;
    return 0;
}
//标准 I/O 输入函数
int usart_getchar(void)
{
    loop_until_bit_is_set(UCSRA,RXC);
    return UDR;
}

//初始化
void IoInit(void)
{
    //串行口初始化
    UCSRB=_BV(RXEN)|_BV(TXEN);/*(1<<RXCIE)|(1<<TXCIE)|*/
    UBRRL=25;   //9600 baud 6MHz:38  4MHz:25

    //UART 用于标准 I/O 输入输出
    g_hFile=fdevopen(usart_putchar,usart_getchar,0);
}
/******************标准 I/O 功能*************结束*********/
```

```
/*************主模式 TWI 操作部分*************开始**************/

//总线上起动停止条件
void twi_stop(void)
{
    TWCR = _BV(TWINT) | _BV(TWSTO) | _BV(TWEN);
}
//总线上起动开始条件
uchar twi_start(void)
{
    TWCR = _BV(TWINT) | _BV(TWSTA) | _BV(TWEN);
    while ((TWCR & _BV(TWINT)) == 0) ;


    return TW_STATUS;
}

//写一字节
uchar twi_writebyte(uchar c)
{
    TWDR = c;
    TWCR = _BV(TWINT) | _BV(TWEN);
    while ((TWCR & _BV(TWINT)) == 0);
    return TW_STATUS;
}

//读一字节 ack: true 时发 ACK，false 时发 NACK
uchar twi_readbyte(uchar *c ,uchar ack)
{
    uchar tmp=_BV(TWINT)|_BV(TWEN);

    if(ack)
        tmp|=_BV(TWEA);
    TWCR=tmp;
    while ((TWCR & _BV(TWINT)) == 0) ;

    *c=TWDR;

    return TW_STATUS;
}
/*************主模式 TWI 操作部分*************结束**************/
```

```
/*************DS1307 操作**************开始**************/
//对 DS1307 内存连续的写操作
uchar rtc_write(uchar addr,uchar *buf,uchar len)
{
    uchar i;

    twi_start();
    twi_writebyte(DS1307_ADDR|TW_WRITE);
    twi_writebyte(addr);//write address
    for(i=0;i<len;i++)
        twi_writebyte(buf[i]);
    twi_stop();
    return 0;
}

//对 DS1307 内存连续的读操作
uchar rtc_read(uchar addr,uchar *buf,uchar len)
{
    uchar i;

    rtc_write(addr,0,0);//set address

    DelayMs(10);

    twi_start();
    twi_writebyte(DS1307_ADDR|TW_READ);
    for(i=0;i<len-1;i++)
        twi_readbyte(buf+i,TW_ACK);
    twi_readbyte(buf+i,TW_NACK);

    twi_stop();
    return 0;
}
/*************DS1307 操作**************结束**************/

/*************接口部分****************开始**************/

//初始化 TWI 功能
void RtcInit(void)
{
    TWBR=73;
}
```

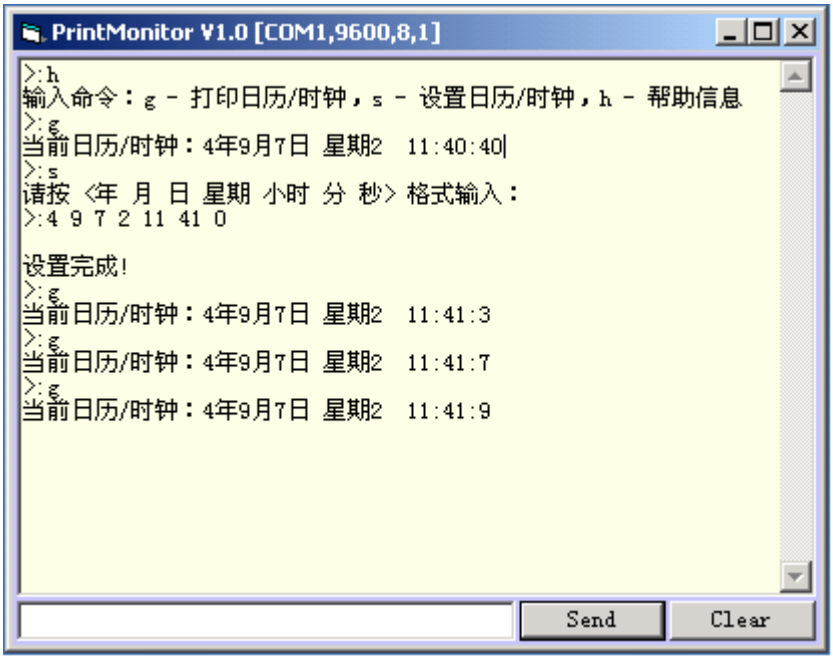
```
//更新或读取 DS1307 日历/时间数据
uchar RtcUpdateData(uchar direction)
{
    uchar ret;
    if(direction)   //读
        ret=rtc_read(0,g_aTimeBuf,7);
    else            //写
        ret=rtc_write(0,g_aTimeBuf,7);

    return ret;
}

//读 DS1307 用户 RAM
uchar RtcReadRAM(uchar addr,uchar *buf,uchar len)
{
    addr+=8;
    return rtc_read(addr,buf,len);
}

//写 DS1307 用户 RAM
uchar RtcWriteRAM(uchar addr,uchar *buf,uchar len)
{
    addr+=8;
    return rtc_write(addr,buf,len);
}

uchar byte_bintobcd(uchar bin)
{
    uchar ret;
    bin&=0x7f;
    bin%=100;
    ret=bin/10;
    ret <<=4;
    ret|=bin%10;
    return ret;
}
uchar byte_bcdtobin(uchar bcd)
{
    uchar ret;
    ret=bcd & 0x0f;
    ret+=(bcd>>4)*10;
    return ret;
}
```

```
//将二进制格式缓冲区(g_aTimeBin)内容转换成 BCD 格式后保存到
//BCD 格式缓冲区(g_aTimeBuf)
void RtcBinToBCD()
{
    uchar i;
    g_aTimeBin[0]&=0x7f;
    g_aTimeBin[1]&=0x7f;
    g_aTimeBin[2]&=0x3f;
    g_aTimeBin[3]&=0x07;
    g_aTimeBin[4]&=0x3f;
    g_aTimeBin[5]&=0x1f;
    g_aTimeBin[6]&=0xff;

    for(i=0;i<7;i++)
        g_aTimeBuf[i]=byte_bintobcd(g_aTimeBin[i]);
}

//将 BCD 格式缓冲区(g_aTimeBuf)内容转换成二进制格式后保存到
//二进制格式缓冲区(g_aTimeBin)
void RtcBCDToBin()
{
    uchar i;
    for(i=0;i<7;i++)
        g_aTimeBin[i]=byte_bcdtobin(g_aTimeBuf[i]);
}

//写 DS1307 配置字节
void RtcSetSQWOutput(uchar en,uchar level)
{
    //en:方波输出允许 TRUE 有效 level:如果输出禁止 OUT 口的逻辑电平
    uchar c=0;
    if(en)  //enable
        c=0x10;
    else    //disable
    {
        if(level)
            c=0x80;
    }
    rtc_write(7,&c,1);
}
/*************接口部分***************结束**************/
```

```
int main(void)
{
    uchar i;
    char c;
    int tmp[7];//从标准 I/O 读取缓冲区

    IoInit();
    RtcInit();

    printf_P(PSTR("输入命令：g - 打印日历/时钟，s - 设置日历/时钟，\
                h - 帮助信息\n"));
    while(1)  //main loop
    {
        scanf("%c",&c);
        if(c=='g')
        {
            RtcUpdateData(RTC_READ);
            RtcBCDToBin();

            printf_P(PSTR("当前日历/时钟：%d 年%d 月%d 日 星期\
                %d  %d:%d:%d\n"),\
                g_aTimeBin[6],g_aTimeBin[5],g_aTimeBin[4],g_aTimeBin[3],\
                g_aTimeBin[2],g_aTimeBin[1],g_aTimeBin[0]);
        }
        else if(c=='s')
        {
            printf_P(PSTR("请按 < 年 月 日 星期 小时 分 秒 > 格式输入：\n"));
            scanf("%d,%d,%d,%d,%d,%d,%d",\
                    tmp+6,tmp+5,tmp+4,tmp+3,tmp+2,tmp+1,tmp);

            for(i=0;i<7;i++)
                g_aTimeBin[i]=(uchar)tmp[i];

            RtcBinToBCD();
            RtcUpdateData(RTC_WRITE);

            printf_P(PSTR("\n 设置完成!\n"));
        }
        else if(c=='h')
            printf_P(PSTR("输入命令：g - 打印日历/时钟，s - 设置日历/时钟，\
                    h - 帮助信息\n"));
    }//main loop
    return 0;
}
```

将编译后的代码写入 Mega8，按第四章所示电路连接到计算机就可以用 PrintMonitor 测试程序了，测试结果如图 6-2 所示。

图 6-2 PrintMonitor 测试结果



twi_start,twi_writebyte,twi_readbyte 三个函数操作后均返回 TWI 状态寄存器值，在实际应用中应当检测这样的值，处理出现错误的情况。

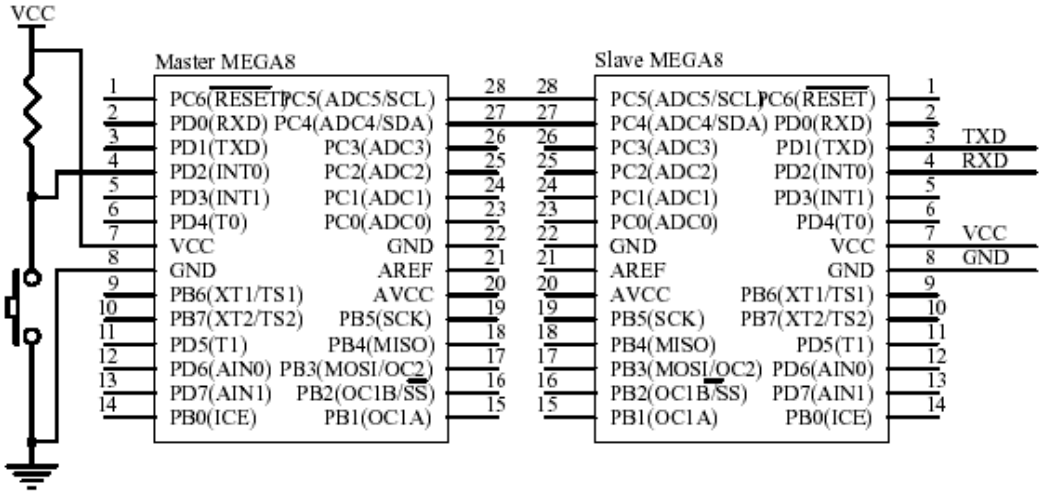
6.3 两个 Mega8 间的 TWI 通信

两个 Mega8 用 TWI 总线通信，主要为了说明 Mega8 在 TWI 从模式下工作的编程方法。

一. 测试电路

两片 Mega8 间的连接如图 6-3 所示。

图 6-3 电路两个 MEGA8 间的电路连接图



Master Mega8 的 PD2 引脚接有一个按键，当键被按下时起动一次的 TWI 写操作，Slave Mega8 的 RXD、TXD 引脚通过电平转换后接到 PC 机串行口，用 PrintMonitor 监测其打印输出的信息。

二. 程序设计

1.主模式单片机程序

主模式程序用查询方式检测并等待按键，当键被按下时向 TWI 口写 0～9 。

```
/*
    文件名：master.c
    两个 Mega8 间的 TWI 通信实验主模式单片机程序

    内部 4MHz 振荡器

    芯艺 2004-09-02    ---------- 2004-09-03
*/

#include <avr/io.h>
#include <avr/delay.h>

#include <avr/twi.h>
```

```
#define uint unsigned int
#define uchar unsigned char
#define WAITPRINTDEBUG  DelayMs(100)  //为从模式单片机打印调试信息而延时

#define KEY 0X04

#define FREQ 4
#define TWI_ADDRESS 0X32

void DelayMs(uint ms)
{
    uint i;
    for(i=0;i<ms;i++)
        _delay_loop_2(FREQ *250);
}

/*************主模式 TWI 操作部分*************开始**************/

//总线上起动停止条件
void twi_stop(void)
{
    TWCR = _BV(TWINT) | _BV(TWSTO) | _BV(TWEN);
}
//总线上起动开始条件
void twi_start(void)
{
    uchar trycount=0;

    TWCR = _BV(TWINT) | _BV(TWSTA) | _BV(TWEN);
    while ((TWCR & _BV(TWINT)) == 0) ;

    return TW_STATUS;
}

//写一字节
void twi_writebyte(uchar c)
{
    TWDR = c;
    TWCR = _BV(TWINT) | _BV(TWEN);
    while ((TWCR & _BV(TWINT)) == 0);
    return TW_STATUS;
}

//读一字节 ack: true 时发 ACK，false 时发 NACK
```

```
uchar twi_readbyte(uchar *c ,uchar ack)
{
    uchar tmp=_BV(TWINT)|_BV(TWEN);

    if(ack)
        tmp|=_BV(TWEA);
    TWCR=tmp;
    while ((TWCR & _BV(TWINT)) == 0) ;

    *c=TWDR;

    return TW_STATUS;
}
/*************主模式 IIC 操作部分*************结束**************/

//检测按键
uchar WaitKeyDown(void)
{
    uchar key;

    while(1)
    {
        key=PIND & KEY;
        if( key!=KEY)
        {
            DelayMs(30);
            key=PIND & KEY;
            if(key!=KEY)
                break;
        }
        DelayMs(1);
    }

    while((PIND & KEY)!=KEY)
        DelayMs(10);

    return key;
}

int main(void)
{
    uchar i;

    //便能 SCL、SDA 引脚内部上拉电阻
```

```
    DDRC=0;
    PORTC=0X30;

    //
    DDRD=0;
    PORTD=0;

    TWBR=73;//波特率

    while(1)
    {
        WaitKeyDown();

        twi_start();
        WAITPRINTDEBUG;
        twi_writebyte(TWI_ADDRESS|TW_WRITE);
        WAITPRINTDEBUG;
        for(i=0;i<10;i++)
        {
            twi_writebyte(i);
            WAITPRINTDEBUG;
        }
        twi_stop();
    }
}
```

2.从模式单片机程序

从模式程序用查询方式等待 TWI 端口中断标志，在 TWI 通信的不同阶段从 UART 打印出对应测试信息。

```
/*
    文件名：slave.c
    两个 Mega8 间的 TWI 通信实验从模式单片机程序

    外部 4MHz 晶振

    芯艺 2004-09-02 --- 2004-09-03
*/

#include <avr/io.h>
#include <avr/twi.h>
#include <stdio.h>

#define uint unsigned int
```

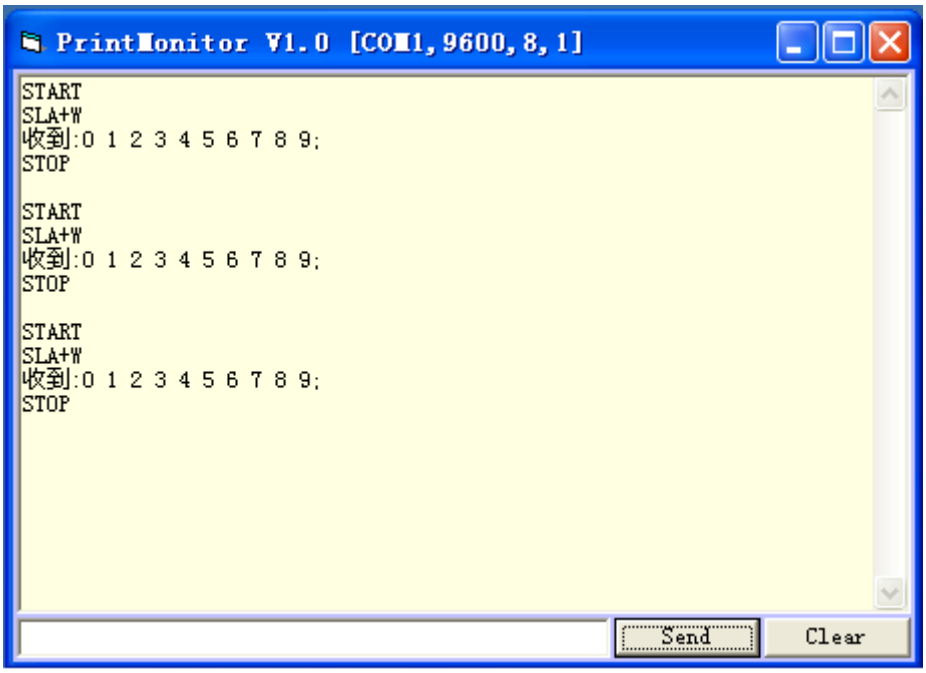
```
#define uchar unsigned char

#define TWI_ADDRESS 0X32

//标准 I/O 输出函数
int usart_putchar(char c)
{
    if(c=='\n')
        usart_putchar('\r');
    loop_until_bit_is_set(UCSRA,UDRE);
    UDR=c;
    return 0;
}

//初始化
void IoInit(void)
{
    //使能 SCL、SDA 引脚内部上拉电阻
    DDRC=0;
    PORTC=0X30;

    //串行口初始化
    UCSRB=_BV(RXEN)|_BV(TXEN);/*(1<<RXCIE)|(1<<TXCIE)|*/
    UBRRL=25;   //9600 baud 6MHz:38  4MHz:25

    //UART 用于标准 I/O 输入输出
    fdevopen(usart_putchar,0,0);

    //TWI 接口初始化,从器件模式
    TWAR=TWI_ADDRESS | _BV(TWGCE);
    TWCR=_BV(TWEA) | _BV(TWEN);
}

int main(void)
{
    uchar i,j=0;

    IoInit();

    while(1)
    {
        while ((TWCR & _BV(TWINT)) == 0);
        i=TW_STATUS;
```

```
        switch(i)
        {
            case TW_SR_SLA_ACK:
                printf("START\nSLA+W\n");
                break;
            case TW_SR_DATA_ACK:
                if(j==0)
                    printf("收到:%d",TWDR);
                else
                    printf(" %d",TWDR);
                j++;
                break;
            case TW_SR_STOP:
                printf(";\nSTOP\n\n");
                j=0;
                break;
            default:
                printf("error:%x",(int)i);
                break;
        }
        TWCR=_BV(TWEA) | _BV(TWEN)|_BV(TWINT);  //清除 TWINT 位
    }

}
```

三.　测试结果

从模式程序输出结果如图 6-4 所示，当主模式单片的键被按下后从单片机先检测到 START 条件，然后收到本机 SLA+W，再接收 1～9 的数据，最后检测到 STOP 条件。

图 6-4 从模式程序打印输出结果



第七章 BootLoader 功能应用

7.1 BootLoader 功能介绍

BootLoader 提供我们通常所说的 IAP（In Applicaion Program）功能。

多数 Mega 系列单片机具有片内引导程序自编程功能（BootLoader）。MCU 通过运行一个常驻 FLASH 的 BootLoader 程序，利用任何可用的数据接口读取代码后写入自身 FLASH 存储器中 ，实现自编程目的。

下面用 ATMEGA8 来说明此功能

ATMEGA8 片内具有 8K 的 FLASH 程序存储器，BootLoader 功能将其分为 应用程序区（Application section）和引导加载区（Boot loader section），通过设置熔丝位 BOOTSZ0 和 BOOTSZ1 可将应用区和引导区的大小分别设置成 6K/2K 、7K/1K 、7K512B/512B 和 7K768B/256B。详细请参考 ATMEGA8 数据手册。

另外，ATMEGA8 还有一个熔丝位 BOOTRST 用于设置复位向量，当 BOOTRST 未被编程时器件的复位从应用程序区首地址（既 0）开始执行，当 BOOTRST 被编程时器件的复位从引导区首地址开始执行。

使用 BootLoader ，首先应该根据 BootLoader 程序的大小设置好 BOOTSZ0 和 BOOTSZ1 熔丝位，然后编程 BOOTRST 熔丝位使单片机的复位从引导区开始执行，之后要把 BootLoader 程序定位并写入到引导区（首地址取决于熔丝位 ROOTSZ0 和 BOOTSZ1 的编程状态）。以上过程需要使用 ISP 或并行编程方式来实现。

当单片机上电复位后 BootLoader 程序开始执行，它通过 USART、TWI 或其它方式从计算机或其它数据源读应用区代码并写入到应用区。事实上 BootLoader 程序有能力读写整个 FLASH 存储器，包括 BootLoader 程序所在的引导区本身，只是写自身所在的引导区的应用较少见。

7.2 avr-libc 对 BootLoader 的支持

avr-libc 提供一组 C 程序接口 API 来支持 BootLoader 功能。

包含：

```
#include <avr/boot.h>
```

在 boot.h 中这些 API 均为预定义宏，以下为其主要几个宏。

boot_page_erase (address)

擦除 FLASH 指定页

其中 address 是以字节为单位的 FLASH 地址

boot_page_fill (address, data)

填充 BootLoader 缓冲页，address 为以字节为单位的缓冲页地址（对 mega8 ：0~64），而 data 是长度为两个字节的字数据，因此调用前 address 的增量应为 2。 此时 data 的高字节写入到高地址，低字节写入到低地址。

boot_page_write (address)

boot_page_write 执行一次的 SPM 指令，将缓冲页数据写入到 FLASH 指定页。

boot_rww_enable ( )

RWW 区读使能

根据自编程的同时是否允许读 FLASH 存储器，FLASH 存储器可分为两种类型：可同时读写区（RWW Read-While-Write）和 非同时读写区（NRWW Not Read-While-Write)。对于 MEGA8 RWW 为前 6K 字节 NRWW 为后 2K 字节。

引导加载程序对 RWW 区编程时 MCU 仍可以从 NRWW 区读取指令并执行，而对 NRWW 区编程时 MCU 处于挂起暂停状态。

在对 RWW 区自编程（页写入或页擦除）时,由硬件锁定 RWW 区 , RWW 区的读操作被禁止，在对 RWW 区的编程结束后应当调用 boot_rww_enable() 使 RWW 区开放。

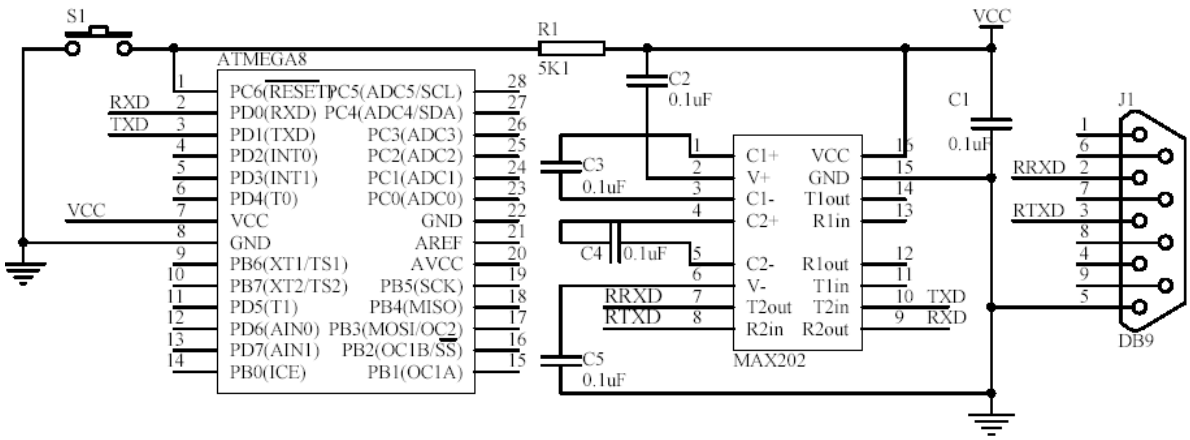
7.3 BootLoader 应用实例

本节介绍一种 BootLoader 的一个简单应用实例 - LuckyProg M8BL。BootLoader 程序通过 UART 与计算机通信，执行读、写和执行 FLASH 应用区的操作。

一．硬件：

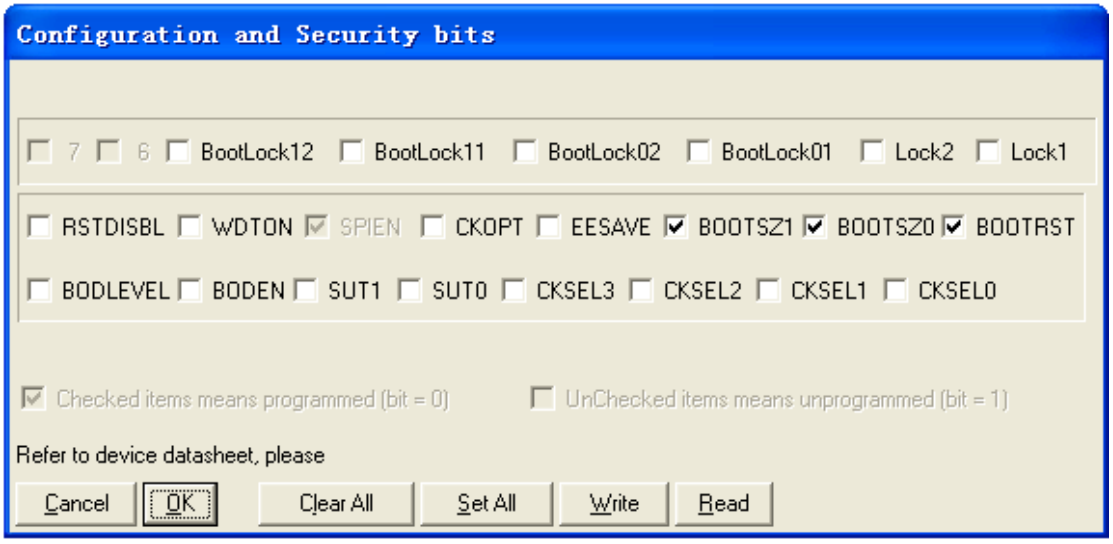
如图 7-1 ，MEGA8 的 UART 端口通过 MAX232 的电平转换后与计算机 RS-232 串行通信口连接。

图 7-1 LuckyProg M8BL 测试电路



MEGA8 熔丝位设置图如图 7-2 所示，：引导加载区分配 2048 个字节，BOOTRST 被编程（复位后从引导区开始执行），时钟源选择了外部晶振。

图 7-2 Mega8 熔丝位设置



二．引导加载程序

引导加载程序不使用中断，查询方式读写 UART，响应 UART 传来的读当前页、写当前页、设置当前页地址、运行应用区代码和 BootLoader 程序检测等命令。每读或写一页当前页地址增一。

“运行应用区代码”命令将 MCU 引导到应用程序区的首地址，在没有特殊情况下只能用硬件复位方式将 MCU 重新引导到引导加载区后才能执行下一次的程序加载操作。

引导加载程序清单：

```
/*

LuckyProg   M8BL 引导加载程序 V1.0
文 件 名      ：  mboot.c
器   件：ATMEGA8
时   钟：4MHz
作   者：芯 艺
编   译：WinAVR-20040720

*/

#include <avr/io.h>
#include <avr/pgmspace.h>
```

```
#include <avr/boot.h>

#define uchar unsigned char
#define uint unsigned int

#define    FREQ            4
#define    UART_ACK    0XAA

#define    PAGE_SIZE    64          //按字节

uint g_wPageIndex=0;
uchar g_aPageTemp[PAGE_SIZE];

void (*reset)(void)=0x0000;

void uart_putc(uchar c)
{
      while( !(UCSRA & (1<<UDRE)) );
      UDR=c;
}

uchar uart_getc(void)
{
      while( !(UCSRA & (1<<RXC)) );
      return UDR;
}

void WritePage(void)
{
      uchar i;

      //    接收当前页面数据
      for(i=0;i<PAGE_SIZE;i++)
            g_aPageTemp[i]=uart_getc();

      //    页擦除操作
      boot_page_erase(g_wPageIndex<<6);
      while(boot_rww_busy())
            boot_rww_enable();

      //    填充缓冲页
      for(i = 0; i < PAGE_SIZE; i += 2)
            boot_page_fill((unsigned long)i,*((uint *)(g_aPageTemp +i)));
```

```
    //    页写入操作
    boot_page_write(g_wPageIndex<<6);
    while(boot_rww_busy())
        boot_rww_enable();

    g_wPageIndex++;
}

void ReadPage(void)
{
    uchar i;

    for(i=0;i<PAGE_SIZE;i++)
        uart_putc(pgm_read_byte(i+(g_wPageIndex*PAGE_SIZE)));

    g_wPageIndex++;
}

int   main(void)
{
    uchar tmp;

    //uart  初始化
    UBRRH=0;
    UBRRL=25;//9600 baud 6MHz:38    4MHz:25
    UCSRB=(1<<RXEN)|(1<<TXEN);

    while(1) //main loop
    {
        tmp=uart_getc();//recv command

        switch(tmp)
        {
            case 0xB0://设置页地址
                g_wPageIndex=uart_getc();
                uart_putc(g_wPageIndex);
                break;

            case 0xBF://运行用户程序
                reset();
                break;

            case 0xAF://写一页
                WritePage();
```

```
                    uart_putc(UART_ACK);//应答
                    break;

                case 0xA0://读一页
                    ReadPage();
                    break;

                case UART_ACK://回应检测命令
                    uart_putc(UART_ACK);
                    break;

                default:
                    break;
            } //switch

        }     //main loop
}     //main
```

编译和链接：

用 Mfile 生成一个 makefile ,设置好以下变量

```
MCU = atmega8
TARGET = mboot
```

之后要做一个额外的修改，那就是将程序入口定位到引导区首地址，这是通过指定 .text 段链接地址来实现的。

在 makefile 中找到如下代码

```
# Linker flags.
#    -Wl,...:     tell GCC to pass this to linker.
#      -Map:      create map file
#      --cref:    add cross reference to  map file
LDFLAGS = -Wl,-Map=$(TARGET).map,--cref
LDFLAGS += $(EXTMEMOPTS)
LDFLAGS += $(PRINTF_LIB) $(SCANF_LIB) $(MATH_LIB)
```

并在下边插入如下一行：

```
LDFLAGS += -Wl,--section-start=.text=0x1800
```

在命令行，mboot.c 和 makefile 所在目录键入 Make 命令， 生成引导加载程序 mboot.hex ，将它通过编程器或下载线写入到 mega8。

我使用 WinAVR-20040720 编译后生成代码大小为 512 字节，这样引导区可缩小到 512 字节处。

三．上位机程序

上位机程序是由 Visual C++ 6.0 编写 ，在 Windows XP 上运行。运行界面如图 7-3：

图 7-3　LuckyProg Mega8 BootLoader V1.0 操作界面

“ 打开 ”和 “ 重载 ”用于打开程序文件，目前只支持二进制（.bin）格式。
“ 写入 ”命令将打开的有效代码分页后顺序的向 BootLoader 程序发送 “ 写一页 ”命令。
“ 校验 ”命令通过发送 “ 读一页 ”命令的方式将打开的代码与 mega8　Flash 内容比较。
“ 运行 ”对应 BootLoader 程序的 “ 运行应用区代码 ” 命令。

上位机程序的编写属于 WINDOWS 应用程序编程，这里不再详细描述。

要注意的是，LuckyProg Mega8 BootLoader V1.0 默认使用 COM1 端口，如果要使用其它口需改动源代码。

请到 http://bitfu.zj.com 下载 LuckyProg Mega8 BootLoader V1.0 的可执行文件或 VC 源代码。

第八章　汇编语言支持

8.1　C 代码中内联汇编程序

一些对 AVR 硬件的操作须遵守特定的时序，例如要禁止 WatchDog，先同时置位 WDTOE 和 WDE 后在四个时钟周期内清零 WDE 才可实现。但在 C 程序的置位 WDE 操作是否在四个时钟内完成的，不够明确，所以类似的操作通常用直接的汇编程序完成。

avr-gcc 提供一种内联汇编机制，支持 C 与汇编程序的关联编译。使上述问题的解决变得比 C 和汇编程序单独编译链接更方便。

内联汇编声明

示例: asm("in %0,%1 " : "=r " (value) : "I" (_SFR_IO_ADDR(PORTD)));

如上例所示，嵌入的汇编由四部分组成:
（1）汇编指令本身,示例中用“ in %0,%1 ”表示
（2）由逗号隔开的输出操作数列表 ,示例中为“ =r ”(value)
（3）由逗号隔开的输入操作数列表 ,示例中为"I" (_SFR_IO_ADDR(PORTD))
（4）Clobber 寄存器指示,示例中为空

本例实现的是读取 PORTD 寄存器到 C 变量 value 中,由于 I/O 寄存器常量是按 I/O 寄存器在内部存储器中的统一地址定义的，所以要用宏_SFR_IO_ADDR 来将它转换成 I/O 寄存器相对地址供汇编指令使用。

汇编指令中用符号“ % ”后加索引值来引用输入输出操作数列表中的操作数,%0 引用第一个操作数，%1 引用第二个操作数，依次类推。在本例中：
%0 引用 "=r " (value)
%1 引用"I" (_SFR_IO_ADDR(PORTD))。

内联汇编声明格式:
asm(code:output operand list : input operand list [: clobber list])
如上声明格式,四部分之间用符号 “ : ”隔开,Clobber 寄存器指示部分空时可以忽略,其它部分可空但不可忽略。例如：

```
asm volatile(“cli” : : );
```

如果在后续的 C 代码中没有使用到汇编代码中使用的变量,则在编译器的优化操作将这指令省略,为了防止这种情况的发生,需要在内联声明中指定 volatile 属性，如:

```
asm volatile("in %0,%1 " : "=r " (value) : "I" (_SFR_IO_ADDR(PORTD)));
```

volatile 关键字强制编译器不论在后续代码是否出现变量 value 此操作执行代码作都要生成。

汇编指令

（1）在引用操作数时用百分号后的字母（A，B …）代表操作数第几字节（A 为低字节），随后的数字代表第几个操作数，下面为一个 32 位数据交换高低 16 位的例程：

```
asm volatile( " mov __tmp_reg__,%A0;
        mov %A0,%D0;
        mov %D0,__tmp_reg__;
        mov __tmp_reg__,%B0;
        mov %B0,%C0;
        mov %C0,__tmp_reg__ "
        : " =r " (value)
        : " 0 " (value)
)
```

如下表 %A0，%B0，%C0，%D0 分别代表 0 号变量四个字节

31·····24	23·····16	15·····8	7·····0	value
%D0	%C0	%B0	%A0	引用

（2）在一次内联声明中的汇编指令部分可包含多个汇编指令，如：

```
    asm volatile("nop\n\t"
                 "nop\n\t"
                 "nop\n\t"
                 "nop\n\t"
                 ::);
```

要注意的是用换行和 TAB 字符(" \n\t ")将它们隔开。

（3）当操作数为常数时可直接写入到汇编指部分，例如：

```
asm volatile("in %0,%1 " : "=r " (value) : "I" (_SFR_IO_ADDR(PORTB)));
```

等同于

```
asm volatile("in %0,0X18 " : "=r " (value) :);
```

但如果写成

```
asm volatile("in %0, _SFR_IO_ADDR(PORTB)" : "=r " (value) :);
```

编译器就会报告错误，由于汇编指令部分是按字符串形式给出，C 预处理器不处理字符串内容，在传递到汇编器时预处理宏_SFR_IOADDR(PORTB)没有被正确的值替换，所以导致了错误。因此在汇编指令部分是不可使用 C 预处理宏定义的。

尽管如此，avr-gcc 还是提供了一些特殊寄存器的表达符号，在汇编指令部分里它们总是可以直接书写，表 8-1 列出了这些符号和对应寄存器。

表 8-1 专用寄存器定义

符号	寄存器
__SREG__	状态寄存器 SREG（0X3F）
__SP_H__	堆栈指针高字节（0X3E）
__SP_L__	堆栈指针低字节 （0X3E）
__tmp_reg__	R0
__zero_reg__	R1,对 C 代码来说其值永远为 0

R0 被 C 编译器看作是临时寄存器，在汇编中引用 R0 后无需恢复其原来的内容。

输入/输出操作数

输入/输出操作数列表是个 C 表达式列表，用约束符的方式通知编译器操作数属性，例如在以下代码中：

```
asm("in %0,%1 " : "=r " (value) : "I" (_SFR_IO_ADDR(PORTD)));
```

“ =r ”说明了表达式 value 结果要分配到 r0～r31 中任意一个寄存器中处理。这样编译器会根据这一描述并关联其它程序分配一合适的寄存器给 value；

表 8-2 列出了约束符及其意义

表 8-2 操作作数约束符

约束符号	适用于	范围
a	后半部分寄存器	R16～R23
b	指针	Y，Z
d	后半部分寄存器	R16～R31
e	指针	X，Y，Z
G	浮点常数	0．0
I	6 位正常数	0～63
J	6 位正常数	-63～0
K	常整数	2
L	常整数	0
l	前半部分寄存器	R0～R15
M	8 位正常数	0～255
N	常整数	1
O	常整数	8,16,24
P	常整数	1
q	堆栈指针寄存器	SPH:SPL
r	全部寄存器	R0～R31

t	暂存寄存器	R0
w	寄存器对	R24，R26，R28，R30
x	指针 X	
y	指针 Y	
z	指针 Z	
约束符前可加的修饰符	**修饰符**	**意义**
	=	只 写
	+	读 写（嵌入汇编不支持）
	&	寄存器只用做输出

注:输出操作数必须为只写操作数，输入操作数为只读,c 表达式结果是左置的。

表 8-3 祥细列出了 AVR 汇编助记符和对应操作数所应使用的约束符

表 8-3 AVR 指令约束符对应表

助 记 符	约 束 符	助 记 符	约 束 符
adc	r,r	add	r,r
adiw	w,I	and	r,r
andi	d,M	asr	r
bclr	I	bld	r,I
brbc	I,label	brbs	I,label
bset	I	bst	r,I
cbi	I,I	cbr	d,I
com	r	cp	r,r
cpc	r,r	cpi	d,M
cpse	r,r	dec	r
elpm	t,z	eor	r,r
in	r,I	inc	r
ld	r,e	ldd	r,b
ldi	d,M	lds	r,label
lpm	t,z	lsl	r
lsr	r	mov	r,r

movw	r,r	mul	r,r
neg	r	or	r,r
ori	d,M	out	I,r
pop	r	push	r
rol	r	ror	r
sbc	r,r	sbci	d,M
sbi	I,I	sbic	I,I
sbiw	w,I	sbr	d,M
sbrc	r,I	sbrs	r,I
ser	d	st	e,r
std	b,r	sts	label,r
sub	r,r	subi	d,M
swap	r		

在输入输出操作数使用同一个寄存器的情况下可用操作数索引作为约束符，表示操作数使用与指定索引操作数同一寄存器，如：

```
asm volatile(“SWAP %0” : “=r”(value) : “0”(value));
```

约束符“0” 告诉编译器使用与第一个操作数相同的寄存器作为输入寄存器，

有时即使用户没有指定，编译器也有可能使用相同的寄存器作为输入/输出，为避免此类现象可以在输出操作增加修饰符 “&”。如下例：

```
asm volatile(“in %0,%1;
        out %1,%2”
        : “=&r”(input)
        : “I”(port), “r”(output)
        );
```

此例的目的是读入端口数据后给端口写入另一个数据. 修饰符 “ &”防止了 input 和 outpu 两个操作数被分配到同一个寄存器

Clobber

Clobber 指示使编译器在调用汇编程序的前后分别保存和重新装入指定的寄存器内容。如果指定的寄存器不仅一个要用逗号隔开。

如果用户在汇编代码里直接使用了没有作为操作数声明的寄存器，就需要在 Clobber 里

声明以通知编译器．表 8-4 列出了一个加一原子操作示例的它编译后生成的汇编代码。

表 8-4 Clobber 示例

嵌入语句	编译结果
asm volatile(“cli; ld r24,%a0; inc r24; st %a0,r24; sei” : : “z”(ptr) : “r24”);	 CLI LD R24, Z INC R24 ST Z, R24 SEI

以下为考虑编译器优化的例程

```
{
    uint8_t s;
    asm volatile(
        "in %0, __SREG__"          "\n\t"
        "cli"                      "\n\t"
        "ld __tmp_reg__, %a1"      "\n\t"
        "inc __tmp_reg__"          "\n\t"
        "st %a1, __tmp_reg__"      "\n\t"
        "out __SREG__, %0"         "\n\t"
        : "=&r" (s)
        : "e" (ptr)
    );
}
```

程序是将 ptr 指针指向 RAM 字节加一的原子操作。由于编译器不知道汇编程序修改 RAM 数据,在执行汇编程序前此数据可能暂时保存到其它寄存器中，而汇编程序执行结束后编译器没有更新寄存器，导致可能的错误产生。为了避免此类错误的发生可在内联汇编程序中指定 Clobber :“memory”,这将通知编译器汇编程序可能修改 RAM，执行完代码后要重新装载与被修改 RAM 相关的寄存器。

正确的代码应如下：

```
    {
        uint8_t s;
        asm volatile(
            "in %0, __SREG__"          "\n\t"
            "cli"                      "\n\t"
            "ld __tmp_reg__, %a1"      "\n\t"
            "inc __tmp_reg__"          "\n\t"
            "st %a1, __tmp_reg__"      "\n\t"
```

```
            "out __SREG__, %0"          "\n\t"
            : "=&r" (s)
            : "e" (ptr)
            : "memory"
        );
    }
```

解决此类问题的别外一个更好的方法是将指针声明时指定 volatile 属性,如下所示:

```
    volatile uint8_t *ptr
```

这样，一旦指针指向的变量发生变化,编译器就会重新加载最新的数值。

Clobber 的更多应用在直接使用寄存器上。Clobber 的指定示必会影响编译器优化过程,应当尽可能减少 Clobber 指示。

汇编宏应用

将汇编程序定义成宏后写进头文件，这样可以方便的多次使用该段程序，avr-libc 的包含头文件里有很多这样的例子，可从 WINAVR 安装目录 avr/include 中找到很多示例。

为了避免编译器的警告定义汇编宏时要把asm和volatile分别替换成 __asm__ 和——__volatile__ ，实际相它们作用是相同的。

以下是全例子：

```
    #define loop_until_bit_is_clear(port,bit)  \
        __asm__ __volatile__ (             \
        "L_%=: " "sbic %0, %1" "\n\t"      \
                 "rjmp L_%="               \
                 :                           \
                 : "I" (_SFR_IO_ADDR(port)),  \
                   "I" (bit)    \
        )
```

正如上段程序中那样,在汇编中用到标号时可以通过在自义一个标号后加专用宏 %= 来告诉编译器预理程序产生一个唯一的标号。

8.2 独立的汇编语言支持

像 at90s1200 这样的内部没有 RAM 的 AVR 器件 avr-libc 只提供汇编语言支持，但与其它汇编器不同的是，avr-gcc 使用 C 预处理器，从而使符号常量的定义与 C 程序一样。另外，一个完整的汇编应用程序还要基于与 C 程序一样的应用程序运行框架，既汇编程序不必考虑中断向量表、初始化堆栈等初始化配置过程。

由此可以看出，avr-libc 对汇编语言的支持不是完整的，却能很好的适应与 C 程序的混合编程。

一.avr-libc 汇编程序示例

以下是在 avr-libc 用户手册上的一个示例程序，它实现了从 at90s1200 的 PD6 口输出 100KHz 方波。

```
; 系统时钟：10.7 MHz
#include <avr/io.h>             ; 包含器件 I/O 端口定义文件,要注意的是，并不是所
                                ; 有 avr-lib 提供的头文件都可以这样包含,如果我们
                                ; 打开一个 ioxxxx.h 就会发现内部都是符号定义，正
                                ; 因为如此它才可以在 C 和汇编中均可包含

work    =       16              ; 为寄存器定义符号常量，可用#define work 16 替代
tmp     =       17

inttmp  =       19

intsav  =       0

SQUARE  =       PD6

tmconst= 10700000 / 200000      ; 100 kHz => 200000 edges/s
fuzz=   8                       ; # clocks in ISR until TCNT0 is set

        .section .text          ; 指定段

        .global main            ; 外部函数声明，与 C 程序一样 main 标号是应用程序
main:                           ; 入口函数， 必需将它声明成外部函数使它对于
                                ; avr-libc 应用框架可见，应用框架初始化程序的最
                                ; 后会跳转到这里
        rcall   ioinit
1:
        rjmp    1b              ; 主循环

        .global SIG_OVERFLOW0   ; 定时器 0 中断处理，与 C 程序一样中断函数使用固定
```

```
                                ;名称，这些名称在<avr/io.h>中已被定义。中断函数
                                ; 必需声明成 .global
SIG_OVERFLOW0:
        ldi     inttmp, 256 - tmconst + fuzz
        out     _SFR_IO_ADDR(TCNT0), inttmp

        in      intsav, _SFR_IO_ADDR(SREG)

        sbic    _SFR_IO_ADDR(PORTD), SQUARE
        rjmp    1f
        sbi     _SFR_IO_ADDR(PORTD), SQUARE
        rjmp    2f
1:      cbi     _SFR_IO_ADDR(PORTD), SQUARE
2:

        out     _SFR_IO_ADDR(SREG), intsav
        reti

ioinit:
        sbi     _SFR_IO_ADDR(DDRD), SQUARE

        ldi     work, _BV(TOIE0)
        out     _SFR_IO_ADDR(TIMSK), work

        ldi     work, _BV(CS00)         ; tmr0:  CK/1
        out     _SFR_IO_ADDR(TCCR0), work

        ldi     work, 256 - tmconst
        out     _SFR_IO_ADDR(TCNT0), work

        sei

        ret

        .global __vector_default    ; 程序中未指定中断的处理例程，与中断名称一样
                                    ; 名称__vector_default 是固定的，注意的是必
                                    ; 需将它声明成 .global，如果不重写此例程，
                                    ; 应用框架就会在此处插入一个跳转到 0 地址的
                                    ;一条指令(即复位)
__vector_default:
        reti

        .end
```

编译:

编译时通常不会直接调用汇编器（avr-as），而是通过给 avr-gcc 通用命令接口（命令 avr-gcc）设置选项的方式将程序传递到汇编器中。如：

```
avr-gcc –mmcu=at90s1200 –x assembler-with-cpp  -o target.elf  target.s
```

选项 -x assembler-with-cpp 用于指定语言类型是汇编，target 为文件名。

这样做是因为：让 avr-gcc 自动调用预处理程序和链接器最终生成可执行目标文件,预处理器用于解释在汇编程序中定义的常量符号，avr-gcc 调用链接器时会将器件对应的应用程序框架链接进来。

8.3 C 与汇编混合编程

C 编译器如何使用寄存器

（1）**r0 和 r1** ：在 C 程序中这两个寄存器用于固定目的,从不分配局部变量。

r0 是暂存寄存器，在汇编程序中可以自由的使用，若在汇编程序中使用了 r0 并且要调用 C 函数则必需在调用 C 函数前要保存它。若在中断函数中使用此寄存器要在使用前保存，和退出时恢复，C 中断函数会自动保存的恢复 r0。

r1 是零寄存器，C 编译器总认为其内容为零。如果汇编程序要使用这个寄存器，则在汇编代码返回之前要清零它。中断函数要使用 r1 则必需在退出时将其清零，C 中断函数会自动保存的恢复 r1。

（2）**r2-r17、r28-r29：**

局部变量分配寄存器，汇编程序若改变了这些寄存器内容，则必需恢复其内容。

（3）**r18-r27、r30-r31**

局部变量分配寄存器，汇编程序可自由的使用这此寄存器，无需恢复，但若在汇编程序中使用了这些寄存并要调用 C 函数，则需在调用前保护所用的寄存器。

函数调用规则

参数传递：函数参数按从左至右的规则分别被分配到 r25 到 r18。每个参数从偶数编号寄存器开始分配低字节，若参数长度为寄数则高编号寄存器闲置。如：一个 char 类型的参数传递时分配给 r24，这时 r25 被闲置，尽管后边还有参数要传递也不会使用 r25。如下表为函数 void test(unsigned char parbyte,unsigned int parword)的参数分配情况：

R25	R24	R23	R22
闲置	parbyte	parword 高字节	parword 低字节

另外，如果参数太多以至于 r25 到 r8 无法容纳，则剩余的部分从堆栈传递。

返回值传递：与参数分配类似，8 位返回值存放到 r24、16 位值分保存到 r25:r24、32 位值保存到 r25:r24:r23:r22、64 位值保存到 r25:r24:r23:r22:r21:r20:r19:r18。

在默认情况下 C 和汇编程序使用同样的函数名，但可以在 C 程序中给函数指定在汇编里调用名，如：

```
extern long Calc(void) asm ("CALCULATE");
```

声明了函数 Calc，在汇编中用符号 CALCULATE 调用。

例一． 在 C 程序中调用汇编函数

C 源文件 main.c

```
/*
    cpu:atmega8
    时钟:4MHz
*/

#include <avr/io.h>
#include <avr/delay.h>

#define uchar unsigned char

#define SET_GRN_LED PORTC&=0XFD //PC1 接绿色发光管
#define CLR_GRN_LED PORTC|=0X02

//声明两个汇编函数
void set_grn_led(void);
void clr_grn_led(void);

void DelayMs(unsigned int t)
{
    unsigned int i;
    for(i=0;i<t;i++)
        _delay_loop_2(4*250);
}

int main(void)
{
    //LED 口初始化
    DDRC=0X0F;
    PORTC=0X0F;
```

```
    while(1)
    {
        DelayMs(1000);
        set_grn_led();
        DelayMs(1000);
        clr_grn_led();
    }
}
```

汇编源文件 asm.s

```
#include <avr/io.h>

    .section .text
    .global  set_grn_led            ;外部函数声明
set_grn_led:                        ;点亮绿发光管
    cbi _SFR_IO_ADDR(PORTC),1
    ret

    .global clr_grn_led
clr_grn_led:                        ;熄灭绿发光管
    sbi _SFR_IO_ADDR(PORTC),1
    ret
```

程序实现接在 PC1 口的发光管闪烁

例二． 在汇编程序中调用 C 函数

C 源文件 main.c

```
/*
    cpu:atmega8
    时钟:4MHz
*/

#include <avr/io.h>
#include <avr/delay.h>

#define uchar unsigned char

#define SET_GRN_LED PORTC&=0XFD //PC1 接绿色发光管
#define CLR_GRN_LED PORTC|=0X02
```

```
void DelayMs(unsigned int t) //延时一 ms
{
    unsigned int i;
    for(i=0;i<t;i++)
        _delay_loop_2(4*250);
}

汇编源文件 asm.s

#include <avr/io.h>

    .extern DelayMs    ;外部 C 函数声明

    .section .text
    .global main
main:
    ;i/o 初始化
    ldi r25 , 0x0f
    out _SFR_IO_ADDR(DDRC),r25

LOOP:

    ldi r25,1
    ldi r24,0xf4
    rcall DelayMs   ;DealyMs(500);

    cbi _SFR_IO_ADDR(PORTC),1

    ldi r25 ,1
    ldi r24,0xf4
    rcall DelayMs  ;DelayMs(500);

    sbi _SFR_IO_ADDR(PORTC),1


    rjmp LOOP
```

程序实现接在 PC1 口的发光管每一秒闪烁一次

第九章　C++语言支持

可以使用 C++语言组织程序，使程序更具有可读性和可维护性。但使用 C++时要注意的是：Avr-gcc 没有提供 C++语言标准类库和标准模板库。并且不支持 new 和 delete 两个操作符。

编译 C++程序可有两种方式，一种是命名源文件时使用 C++后缀（.C、.cpp、cc）然后送到通用命令接口 avr-gcc。作为另一种选择，第二种方式是直接调用 avr-g++ 命令编译 C++程序。要利用 Mfile 生成的 makefile 编译 C++程序时若采用第一种方式需改动 makefile 内的一些规则，并且在当前版本（WinAVR-20040720）生成的 makefile 中 clean 选项会误删除我们的 C++源程序。为此建议使用第二种方式，这时仅仅将 makefile 中的 CC = avr-gcc 改为 CC=avr-g++ 即可。

环境配置：

UltraEdit 没有对类的可视化支持，下面介绍如何配置 VC6 IDE 编译我们的 C++程序。

假设我们要在 d 盘下创建一个 work 目录并在 work 目录下编译程序

1.打开 VC 点击菜单 File->new，new 对话框的 project 选项卡中选择 Makefile Loction 区输入：D: ，Project name 区输入: work 点 OK 进入下一步

2. 点 Finish->OK

3.点击菜单 Project->Setting 在弹出对话框的 Biuld Command Line 区输入：make

4.新建或现有的程序源文件保存到此目录中,并添加到项目中。用 Mfile 生成 makefile，配置好后保存到此目录中。

5.选择 Tools->Option->Directories 在 Show directories for:区选 Executable files 在 Directories:区分别加入目录：winavr 安装目录\bin 和 winavr 安装目录\UTILS\BIN。

6.这样就可用工具栏上的 Build (F7) 按钮在 d:\work 下执行 make 命令了。

一个简单示例

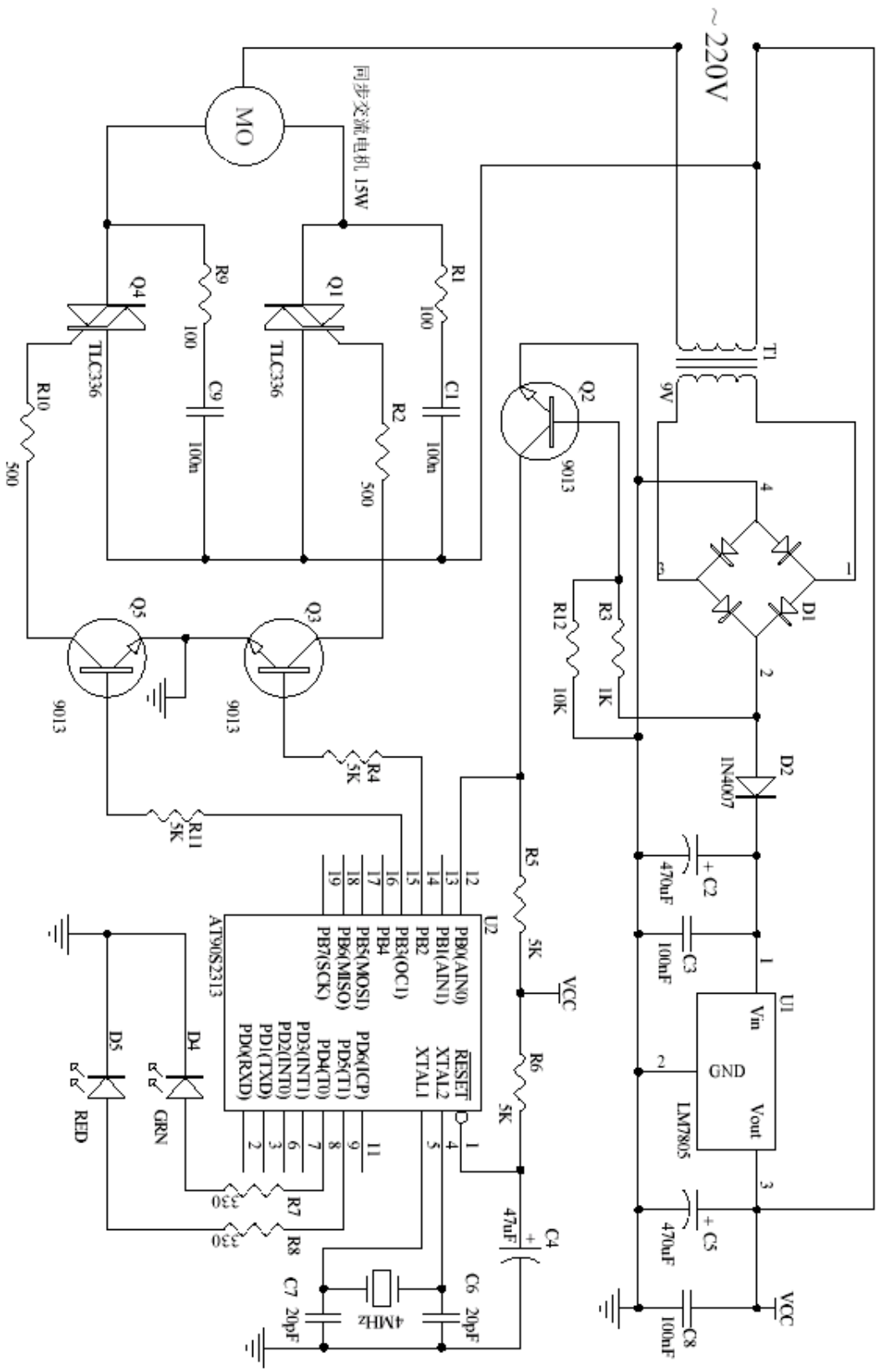
一．硬件电路

功能：实现交流同步电机正反向控制

原理：对交流电进行过零检测按控制要求同步触发双向晶闸管，使交流同步电机正向或反向运转。

电路如图 9-1 所示，由于 VCC 接了交流输入的一端，Q3 或 Q5 的导通会把相应晶闸管在第一或三象限内触发。 Q2 及其周围电阻构成过零检测电路。

图 9-1　交流同步电机正反控制电路原理图



二．程序设计

```
/*
	交流电机测试程序
	文件名：main.c
	MCU:at90s2313
	时钟：4MHz
*/

#include <avr/io.h>
#include <avr/delay.h>

#define uchar unsigned char
#define uint unsigned int

#define SET_RED_LED PORTD|=_BV(5) //PD5 接红色发光管
#define CLR_RED_LED PORTD&=~_BV(5)

#define SET_GRN_LED PORTD|=_BV(4) //PD4 接绿色发光管
#define CLR_GRN_LED PORTD&=~_BV(4)

class CControl
{
public:
	CControl();
public:
	uchar m_bCounter;	//RunMotor 成员一次触发次数

	void DelayMs(uint ms);
	void RunMotor(uchar direction);	//
};

CControl::CControl()
{
	m_bCounter=0;
}

//根据 direction 将相应晶闸管同步触发 m_bCounter 指定次数，并 LED 指示.
void CControl::RunMotor(uchar direction)
{
	if(direction==1)
	{
		SET_GRN_LED;
		CLR_RED_LED;
```

```
    }
    else if(direction==2)
    {
        CLR_GRN_LED;
        SET_RED_LED;
    }
    else
    {
        CLR_GRN_LED;
        CLR_RED_LED;
    }

    for(uchar i=0;i<m_bCounter;i++)
    {
        while((PINB&_BV(0))==1);
        while((PINB&_BV(0))==0);

        if(direction==1)
        {
            PORTB|=_BV(PB3);
            DelayMs(2);
            PORTB&=~_BV(PB3);
        }
        else if(direction==2)
        {
            PORTB|=_BV(PB2);
            DelayMs(2);
            PORTB&=~_BV(PB2);
        }
        else
            PORTB=0;
    }
}

void CControl::DelayMs(uint ms)
{
    uint k=0;
    for(k=0;k<ms;k++)
        _delay_loop_2(1000);
}

CControl g_oMotorCtl;  //控制对象全局定义

int main(void)
```

```
{
    DDRD=_BV(4)|_BV(5); //发光管 I/O 初始化
    PORTD=0X00;

    PORTB=0;                    //控制口 I/O 初始化
    DDRB=_BV(PB3)|_BV(PB2);

    g_oMotorCtl.m_bCounter=200;    // 200/(50Hz  ×2) =2 秒


    g_oMotorCtl.DelayMs(2000);

    while(1)
    {
        g_oMotorCtl.RunMotor(1);   //正向 2 秒
        g_oMotorCtl.RunMotor(0);   //停止 2 秒
        g_oMotorCtl.RunMotor(2);   //反向 2 秒
        g_oMotorCtl.RunMotor(0);   //停止 2 秒
    }

}
```

结　束　语

坦率的讲，本人还不具备编书的理论基础和技术资格，《AVR 单片机与 GCC 编程》只是我接触 AVR 两年以来的一些经验之谈，我认为它是个软件，目前版本是 V1.1 。有几个目的促使我完成了编写的工作，第一、它是我工作两年多以来技术上的一种总结，从 V1.0 版本发布起我对 AVR 与编程的爱好有了文字的见证，这一点很重要。第二、通过完成这项工作进一步学习和掌握 AVR 和 GCC 编程。第三、希望它能为 AVR 或 GCC 入门者提供好的参考，这是个心愿。第四、到现在我还是个打工子，希望它对我找到一个更合适的工作有所帮助。

水平有限，错误和缺陷在所难免，希望资深工程师不要那这些错误打击我的自尊和人格，我只是个才工作两年的小混混，请不要和我一般见识，但如果要指正，我将虚心接受并不胜感激。

作者：芯 艺

2004-10-03

于内蒙古包头

声明：

1.内容中所有的示例均在硬件上调试通过

2.请不要编辑内容和示例程序，发现错误和作者联系

3.所有的引用请注明出处

4.对使用本软件后的一切后果，本人不负任何责任

附录 1　命令 avr-gcc 选项

一 指定目标 CPU 类

- -mmcu=architecture
  指定 AVR 指令集,目前有:

avr1	最简单内核,只提供汇编支持
Avr2	“ Classic ”内核,最大可达 8K 字节
Avr3	“ Classic ”内核，可多于 8K 字节
Avr4	“ Enhanced ”内核,最大可达 8K 字节
Avr5	“ Enhanced ”内核，可多于 8K 字节

在默认情况下目标代码在 avr2 指令集内产生
注：如果仅指定指令集而没有指定器件类型（-mmcu=MCU Type）,<avr/io.h>无法正确包含器件定义文件,所以在代码中需要包含相应的ioxxxx.h文件。

- -mmcu=MCU Type
  指定器件类型，下表列出了可指定的AVR器件和相应指令集

指令集	MCU名	对应宏
avr1	at90s1200	__AVR_AT90S1200__
avr1	attiny11	__AVR _ATtiny11__
avr1	attiny12	__AVR _ATtiny12__
avr1	attiny15	__AVR _ATtiny15__
avr1	attiny28	__AVR _ATtiny28__
avr2	at90s2313	__AVR _AT90S2313__
avr2	at90s2323	__AVR _AT90S2323__
avr2	at90s2333	__AVR _AT90S2333__
avr2	at90s2343	__AVR _AT90S2343__
avr2	attiny22	__AVR _ATtiny22__
avr2	attiny26	__AVR _ATtiny26__
avr2	at90s4414	__AVR _AT90S4414__
avr2	at90s4433	__AVR _AT90S4433__
avr2	at90s4434	__AVR _AT90S4434__
avr2	at90s8515	__AVR _AT90S8515__
avr2	at90c8534	__AVR _AT90C8534__
avr2	at90s8535	__AVR _AT90S8535__
avr2	at86rf401	__AVR _AT86RF401__
avr3	atmega103	__AVR _ATmega103__
avr3	atmega603	__AVR _ATmega603__
avr3	at43usb320	__AVR _AT43USB320__

avr3	at43usb355	__AVR _AT43USB355__
avr3	at76c711	__AVR _AT76C711__
avr4	atmega8	__AVR _ATmega8__
avr4	atmega8515	__AVR _ATmega8515__
avr4	atmega8535	__AVR _ATmega8535__
avr5	atmega16	__AVR _ATmega16__
avr5	atmega161	__AVR _ATmega161__
avr5	atmega162	__AVR _ATmega162__
avr5	atmega163	__AVR _ATmega163__
avr5	atmega169	__AVR _ATmega169__
avr5	atmega32	__AVR _ATmega32__
avr5	atmega323	__AVR _ATmega323__
avr5	atmega64	__AVR _ATmega64__
avr5	atmega128	__AVR _ATmega128__
avr5	at94k	__AVR _AT94K__

- -morder1
- -morder2

改变寄存器分配顺序，默认为 r24,r25,r18,r19,r20,r21,r22,r23,r30,r31,r26,r27,r28,r29,r17,r16,r15,r14,r13,r12,r11,r10,r9,r8,r7,r6,r5,r4,r3,r2,r0,r1

顺序 1：

r18, r19, r20, r21, r22, r23, r24, r25, r30, r31, r26, r27, r28, r29, r17, r16, r15,r14, r13, r12, r11, r10, r9, r8, r7, r6, r5, r4, r3, r2, r0, r1

顺序 2：

r25, r24, r23, r22, r21, r20, r19, r18, r30, r31, r26, r27, r28, r29, r17, r16, r15,r14, r13, r12, r11, r10, r9, r8, r7, r6, r5, r4, r3, r2, r1, r0

- -mint8

指定 int 为 8 位整数，avr-libc 并没有真正提供此选项，默认使用 16 位的整数

- -mno-interrupts

产生的代码在改变堆栈指针时不关中断，默认时状态寄存器 SREG 的内容被保存到暂存寄存器,改变堆栈指针时全局中断被禁止，再把 SREG 恢复。

- -mcall –prologues

使用函数入/出子程序，在一个复杂的函数将使用大量的寄存器，函数的入口和出口需要保存和恢复寄存器，但这将以增加执行速度为代价。

- -init-stack=nnnn

设置堆栈指针初始值为 nnnn。 默认时初始化成符号 __stack，运行库的初始化代码里它被置成 RAMEND。

- -mtiny-stack

只改变堆栈指针的低 8 位

- -mon-tablejump

不产生 jump table 指令,jump table 用于优化 switch 语句。当这种优化被关闭时 switch 被解释成顺序比较，这种代码的速度通常比 jump table 慢，但是在一些特殊的 switch 模块中大多数跳转为 default 标签,若优化成 jump table 将浪费大量的 Flash 空间。

- -mshort –calls

在 8K 以上 FLASH 空间的器件中使用 rjmp/rcall 为跳转和调用指令,在 avr2 和 avr4 指令集（falsh 存储器小于 8K）中默认此选项。在 avr3 和 avr5 指令集中跳转和调用默认使用 jmp/call，这两个指令虽然跳转和调用范围覆盖整个 FLASH ROM 地址,但是占用更多的程序存储器和执行时间。

- -msize
  把地址、大小和每一语句相应的大小注释到汇编代码中，用于调试。
- -mdeb
  产生调试信息到 stderr

二．选择通用编译器选项

- -On
  gcc 有多个优化标志 ，这些标志不能直接指定，而是通过优化等级来说明这些优化开关。-On 为优化等级指定选项，n 代表等级，可设置成：0，1，2，3，s。
  -O0 没优化,不打开优化标志。
  -O 和-O1 等同 编译器将尝试缩短代码量和执行时间，但这将耗费更多的编译时间.
  -O2 在-O1 优化级的基础上，以缩小代码长度为优先为原则进行优化
  -O3 优化的最高等级，在-O2 级优化的基础上将“ 简单 ”函数以内连式编译，获取执行时间却增大了代码量。
  -Os 按大小编译，类似-O2。若没有指定优化等级，优化项-Os 成为默认。
- -Wa,assembler-options
  传递选项 assembler-options 到汇编器。
- -Wa,linker-option
  传递选项 linker-option 到连接器。
- -g
  产生可在 avr-gdb 里调试的信息。
- -ffresstanding
  假定环境变量 “ freestanding ”为 C 标准。这将关闭自动内部函数（尽管如此仍可以在函数名前指定关键字__-builtin_ 使其按内部方式编译)。这将在编译时对 void 声明的 main 函数不警告，这正说明了单片机应用程序并不需要返回数据到外部环境。
  在程序中用 strlen()函数指定一字符串常量的长度，通常在编译时编译器直接用实际长度来替代这一调用,而在指定 –ffreestanding 的情况下编译结果总是在运行时调用 strlen()函数。
- -funsigned-char
  定义的 char 类型数据按 unsigned char 编译。若不指定此项 char 被认为 signed char，即无符号字节。
- -funsigned-bitfields
  将所有 bitfield 声明的变量按无符号编译,默认按有符号编译.
- -fshort-enums
  对 enum 类型数据,根据定义范围分配最少的字节。
- -fpack-struct
  所有结构数据分配到一起

三 Avr-as 汇编器选项

- -mmcu=architecture
- -mmcu=MCU name
  与 avr-gcc 相同
- -mall-opcodes
  关闭针对实际 MCU 的指令检查，汇编时允许任何可能的 AVR 指令。
- -mno-skip-bug
  产生二字跳转指令(CPSE/SBIC/SBIS/SBRC/SBRS)时不警告。早期的 AVR 器件由于硬件的缺陷不能正常执行这些指令。
- -mno-wrap
  对具有 8K 以上存储器空间的器件禁止 RJMP/RCALL 指令。
- --gstabs
  产生汇编行.stabs 调试信息。这可使 avr-gdb 跟踪汇编源程序。此选项不能用在 C 产生的汇编文件的汇编中,因为这种文件已经包含了 C 源文件行号。
- -a[cdhlmns=file]
  允许汇编列表,其子选项如下:
  -c 忽略失败条件
  -d 忽略调试信息
  -h 包含高级语言内容
  -l 包含汇编内容
  -m 包含宏展
  -n 不格式整理
  -s 包含符号
  -=file 设置列表文件名

不同的子项可同时列出,但=file 项必须最后指定.

四 链接器 avr-ld 选项

- -l*name*
  查找名为 lib*name*.a 的库文件,并从中查找当前未解释的符号.连接器先从安装目录的上下的/avr/lib 下找,后从-L 选项指定的目录中找.
- -Lpath
  指定用户库文件所在路经
- --defsym symbol=expr
  定义全局符号,symbol 以 expr 为其值.
- -M
  打印连接映象到标准输出.
- -Map mapfile
  打印连接映象到文件 mapfile.
- --cref
  将交索引表到 map 文件或标准输出.
- --section-start sectionname=org
  指定段 sectionname 的开始绝对地址为 org.

- -Tbbs org
- -Tdata org
- -Ttext org

  分别指定 bbs data text 段开始地址.
- -T scriptfile

  用 scriptfile 指定的文件替代默认链接脚本文件,默认链接脚本存储在/avr/lib/ldscripts 下,以 AVR 指令集名命名,扩展名为.x 的文件中。它描述多少个不同的存储器段需要链接到一起。

附录 2　Intel HEX 格式描述

Intel Hex 格式文件由多个记录构成，而每条记录又由 6 种字段构成。

● 记录基本格式：

RecordMark	RecordLength	LoadOffset	RecordType	Data	Checksum
记录标志	记录长度	装载偏移	记录类型	数据	校验合

RecordMark

每一个记录都以包含数据 0x3A 的字节为开头，在 ASCII 字符中表现为“ : ”。在 HEX 文件中占一个字节。

RecordLength

描述该记录包含数据的长度（以字节为单位），最大描述 255 个字节。表现为两个十六进制字符，在 HEX 文件中占两个字节。

LoadOffset

描述本记录中的数据在整个存储器空间中的偏移，用四个十六进制字符描述一个十六位数据，在 HEX 文件中占四个字节。

此字段仅用于数据类型的记录，在其它类型的记录中此字段为“ 0000 ”四个字符。

RecordType

描述记录类型，表现为两个十六进制字符。描述一字节数据，在 HEX 文件中占两个字节。

“ 00 ”：表示数据记录

“ 01 ”：表示文件中最后一个记录

“ 02 ”：描述扩展段地址的记录

“ 03 ”：描述开始段地址的记录

“ 04 ”：描述扩展线性地址的记录

“ 05 ”：描述开始线性地址的记录

Data

每一记录包含无规定长度的 Data 字段，描述方法仍是两个十六进制字符表示一字节数据。此字段的长度由本记录的 RecordLength 决定。

数据的解释取决于记录类型（RecordType）。

Checksum

校验合字段

校验方法：

在一条记录内 RecordMark（“:”）段后所有数据（包括 Checksum）按字节相加后得到的 8 位数据为 0。

● 记录分类描述

扩展线性地址记录：

（适用于 32 位格式）

记录名	RecordMark	RecordLength	LoadOffset	RecordType	Data	Checksum
	记录标志	记录长度	装载偏移	记录类型	数据	校验合
内容	“ : ”	“02”	“0000”	“04”	ULBA	
字节数	1	1	2	1	2	1

此记录用于指定 32 位地址的第 16~31 位。32 位绝对地址的计算方法为：

ADR=LBA + DRLO + DRI

式中　　LAB=ULBA<<16

DRLO为数据记录指定的偏移

DRI为当前数据在数据段中的索引

扩展段地址记录

(适用于 16 和 32 位格式)

记录名	RecordMark	RecordLength	LoadOffset	RecordType	Data	Checksum
	记录标志	记录长度	装载偏移	记录类型	数据	校验合
内容	“ : ”	“02”	“0000”	“02”	USBA	
字节数	1	1	2	1	2	1

此记录用于指定段基地址的第 4~19 位。段基地址 SBA=USBA<<3;

绝对线性地址的算法如下：

ADDR=SBA+DRLO + DRI

数据记录

(适用于 8、16 和 32 位格式)

记录名	RecordMark	RecordLength	LoadOffset	RecordType	Data	Checksum
	记录标志	记录长度	装载偏移	记录类型	数据	校验合
内容	“ : ”	X	-	“00”	-	
字节数	1	1	2	1	X	1

开始线性地址记录

（适用于 32 位格式）

记录名	RecordMark	RecordLength	LoadOffset	RecordType	Data	Checksum
	记录标志	记录长度	装载偏移	记录类型	数据	校验合
内容	“ : ”	“04”	“0000”	“05”	EIP	
字节数	1	1	2	1	4	1

本记录用于指定目标文件中的开始执行地址，EIP指定32位线性地址

开始段地址记录

（适用于 16 位和 32 位格式）

记录名	RecordMark	RecordLength	LoadOffset	RecordType	Data 数据		Checksum
	记录标志	记录长度	装载偏移	记录类型	CS	IP	校验合
内容	“：”	“04”	“0000”	“03”			
字节数	1	1	2	1	2	2	1

本记录用于指定目标文件中的开始执行地址，CS和IP分别为8086处理器的两个寄存器内容

文件结束记录

（适用于 8、16 和 32 位格式）

记录名	RecordMark	RecordLength	LoadOffset	RecordType	Checksum
	记录标志	记录长度	装载偏移	记录类型	校验合
内容	“：”	“00”	“0000”	“01”	“FF”
字节数	1	1	2	1	1

由于 avr 是个 8 位处理器，只使用适用于 8 位格式的记录类型。