

建立一个属于自己的 AVR 的 RTOS

作者：黄健昌
整理：喜马拉雅

目录

序	3
第一篇：函数的运行.....	4
第二篇：人工堆栈.....	7
第三篇：GCC 中对寄存器的分配与使用	9
第四篇：只有延时服务的协作式的内核.....	12
第五篇：完善的协作式的内核.....	17
第六篇：时间片轮番调度法的内核.....	25
第七篇：占先式内核(只带延时服务)	30
第八篇：占先式内核(完善的服务)	37
结束语	48

序

序

自从 03 年以来，对单片机的 RTOS 的学习和应用的热潮可谓一浪高过一浪。03 年，在离开校园前的，非典的那几个月，在华师的后门那里买了本邵贝贝的《UCOSII》，通读了几次，没有实验器材，也不了了之。

在 211C 上，大家都可以看到杨屹写的关于 UCOSII 在 51 上的移植，于是掀起了 51 上的 RTOS 的热潮。

再后来，陈明计先生推出的 small rots，展示了一个用在 51 上的微内核，足以及在 52 上进行任务调度。

前段时间，在 ouravr 上面开有专门关于 AVR 的 Rtos 的专栏，并且不少的兄弟把自己的作品拿出来，着实开了不少眼界。这时，我重新回顾了使用单片机的经历，觉得很有必要，从根本上对单片机的 RTOS 的知识进行整理，于是，我开始了编写一个用在 AVR 单片机的 RTOS。

当时，我所有的知识和资源有：

Proteus6.7 可以用来模拟仿真 avr 系列的单片机

WinAVR v2.0.5.48 基于 GCC AVR 的编译环境，好处在于可以在 C 语言中插入 asm 的语句
mega8 1K 的 ram 有 8K 的 rom,是开发 8 位的 RTOS 的一个理想的器件，并且我对它也比较熟悉。

写 UCOS 的 Jean J.Labrosse 在他的书上有这样一句话，“渐渐地，我自然会想到，写个实时内核直有那么难吗？不就是不断地保存，恢复 CPU 的那些寄存器嘛。”

好了，当这一切准备好后，我们就可以开始我们的 Rtos for mega8 的实验之旅了。

本文列出的例子，全部完整可用。只需要一个文件就可以编译了。我相信，只要适当可用，最简单的就是最好的，这样可以排除一些不必要的干扰，让大家专注到每一个过程的学习。

第一篇：函数的运行

第一篇：函数的运行

在一般的单片机系统中，是以前后台的方式(大循环+中断)来处理数据和作出反应的。

例子如下：

makefile 的设定:运行 WinAvr 中的 Mfile，设定如下

MCU Type: mega8

Optimization level: s

Debug format :AVR-COFF

C/C++ source file: 选择要编译的 C 文件

```
#include <avr/io.h>
void fun1(void)
{
    unsigned char i=0;
    while(1)
    {
        PORTB=i++;
        PORTC=0x01<<(i%8);
    }
}

int main(void)
{
    fun1();
}
```

首先，提出一个问题：如果要调用一个函数，真是只能以上面的方式进行吗？

相信学习过 C 语言的各位会回答, No! 我们还有一种方式, 就是“用函数指针变量调用函数”，如果大家都和我一样，当初的教科书是谭浩强先生的《C 程序设计》的话，请找回书的第 9.5 节。

例子：用函数指针变量调用函数

```
#include <avr/io.h>
void fun1(void)
{
    unsigned char i=0;
    while(1)
    {
```

```
    PORTB=i++;
    PORTC=0x01<<(i%8);
}
}
void (*pfun)(); //指向函数的指针

int main(void)
{

    pfun=fun1; //
    (*pfun)(); //运行指针所指向的函数
}
```

第二种，是“把指向函数的指针变量作函数参数”

```
#include <avr/io.h>
void fun1(void)
{
    unsigned char i=0;
    while(1)
    {
        PORTB=i++;
        PORTC=0x01<<(i%8);
    }
}

void RunFun(void (*pfun)()) //获得了要传递的函数的地址
{
    (*pfun)();           //在 RunFun 中，运行指针所指向的函数
}

int main(void)
{
    RunFun(fun1);        //将函数的指针作为变量传递
}
```

看到上面的两种方式，很多人可能会说，“这的确不错”，但是这样与我们想要的 RTOS，有什么关系呢？各位请细心向下看。

以下是 GCC 对上面的代码的编译的情况：

对 main()中的 RunFun(fun1); 的编译如下
ldi r24,lo8(pm(fun1))

```
ldi r25,hi8(pm(fun1))  
rcall RunFun
```

对 void RunFun(void (*pfun>())的编译如下

```
/*void RunFun(void (*pfun>())*/  
/*(*pfun());*/  
.LM6:  
movw r30,r24  
icall  
ret
```

在调用 void RunFun(void (*pfun>())的时候，的确可以把 fun1 的地址通过 r24 和 r25 传递给 RunFun()。但是，RTOS 如何才能有效地利用函数的地址呢？

第二篇：人工堆栈

在单片的指令集中，一类指令是专门与堆栈和 PC 指针打道的，它们是

rcall 相对调用子程序指令

icall 间接调用子程序指令

ret 子程序返回指令

reti 中断返回指令

对于 ret 和 reti，它们都可以将堆栈栈顶的两个字节被弹出来送入程序计数器 PC 中，一般用来从子程序或中断中退出。其中 reti 还可以在退出中断时，重开全局中断使能。

有了这个基础，就可以建立我们的人工堆栈了。

例：

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

```
void fun1(void)
```

```
{
```

```
    unsigned char i=0;
```

```
    while(1)
```

```
    {
```

```
        PORTB=i++;
```

```
        PORTC=0x01<<(i%8);
```

```
    }
```

```
}
```

```
unsigned char Stack[100]; //建立一个 100 字节的人工堆栈
```

```
void RunFunInNewStack(void (*pfun)(),unsigned char *pStack)
```

```
{
```

```
    *pStack--=(unsigned int)pfun>>8; //将函数的地址高位压入堆栈，
```

```
    *pStack--=(unsigned int)pfun;    //将函数的地址低位压入堆栈，
```

```
    SP=pStack;                      //将堆栈指针指向人工堆栈的栈顶
```

```
    __asm__ __volatile__ ("RET
```

```
\\t"); //返回并开中断,开始运行 fun1()
```

```
}
```

```
int main(void)
```

```
{
```

```
    RunFunInNewStack(fun1,&Stack[99]);
```

```
}
```

RunFunInNewStack(),将指向函数的指针的值保存到一个 unsigned char 的数组 Stack 中，作为人工堆栈。并且将栈顶的数值传递组堆栈指针 SP,因此当用"ret"返回时，从 SP 中恢复到 PC 中的值，就变为了指向 fun1()的地址，开始运行 fun1()。

上面例子中在 `RunFunInNewStack()` 的最后一句嵌入了汇编代码 `"ret"`, 实际上是可以去除的。因为在 `RunFunInNewStack()` 返回时, 编译器已经会加上 `"ret"`。我特意写出来, 是为了让大家看到用 `"ret"` 作为返回后运行 `fun1()` 的过程。

第三篇：GCC 中对寄存器的分配与使用

在很多用于 AVR 的 RTOS 中，都会有任务调度时，插入以下的语句：

入栈：

```
__asm__ __volatile__ ("PUSH R0\t");
__asm__ __volatile__ ("PUSH R1\t");
.....
__asm__ __volatile__ ("PUSH R31\t");
```

出栈

```
__asm__ __volatile__ ("POP R31\t");
.....
__asm__ __volatile__ ("POP R1\t");
__asm__ __volatile__ ("POP R0\t");
```

通常大家都会认为，在任务调度开始时，当然要将所有的通用寄存器都保存，并且还应该保存程序状态寄存器 SREG。然后再根据相反的次序，将新任务的寄存器的内容恢复。

但是，事实真的是这样吗？如果大家看过陈明计先生写的 small rots51,就会发现，它所保存的通用寄存器不过是 4 组通用寄存器中的 1 组。

在 Win AVR 中的帮助文件 avr-libc Manual 中的 Related Pages 中的 Frequently Asked Questions,其实有一个问题是"What registers are used by the C compiler?" 回答了编译器所需要占用的寄存器。一般情况下，编译器会先用到以下寄存器

1 Call-used registers (r18-r27, r30-r31): 调用函数时作为参数传递，也就是用得最多的寄存器。

2 Call-saved registers (r2-r17, r28-r29): 调用函数时作为结果传递,当中的 r28 和 r29 可能会被作为指向堆栈上的变量的指针。

3 Fixed registers (r0, r1): 固定作用。r0 用于存放临时数据，r1 用于存放 0。

还有另一个问题是"How to permanently bind a variable to a register?",是将变量绑定到通用寄存器的方法。而且我发现，如果将某个寄存器定义为变量，编译器就会不将该寄存器分配作其它用途。这对 RTOS 是很重要的。

在"Inline Asm"中的"C Names Used in Assembler Code"明确表示,如果将太多的通用寄存器定义为变量，刚在编译的过程中，被定义的变量依然可能被编译器占用。

大家可以比较以下两个例子，看看编译器产生的代码：(在*.lst 文件中)

第一个例子：没有定义通用寄存器为变量

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

unsigned char add(unsigned char b,unsigned char c,unsigned char d)
{
    return b+c*d;
}

int main(void)
{
    unsigned char a=0;
    while(1)
    {
        a++;
        PORTB=add(a,a,a);
    }
}
```

在本例中，"add(a,a,a);"被编译如下：

```
mov r20,r28
mov r22,r28
mov r24,r28
rcall add
```

第二个例子：定义通用寄存器为变量

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

unsigned char add(unsigned char b,unsigned char c,unsigned char d)
{
    return b+c*d;
}
```

register unsigned char a asm("r20"); //将 r20 定义为 变量 a

```
int main(void)
{

    while(1)
    {
        a++;
        PORTB=add(a,a,a);
    }
}
```

```
}  
}
```

在本例中, "add(a,a,a);"被编译如下:

```
mov r22,r20  
mov r24,r20  
rcall add
```

当然, 在上面两个例子中, 有部份代码被编译器优化了。

通过反复测试, 发现编译器一般使用如下寄存器:

第 1 类寄存器, 第 2 类寄存器的 r28,r29,第 3 类寄存器

如在中断函数中有调用基它函数, 刚会在进入中断后, 固定地将第 1 类寄存器和第 3 类寄存器入栈, 在退出中断又将它们出栈

第四篇：只有延时服务的协作式的内核

Cooperative Multitasking

前后台系统，协作式内核系统，与占先式内核系统，有什么不同呢？

记得在 211C 上看过这样的比喻，“你(小工)在用厕所，经理在外面排第一，老板在外面排第二。如果是前后台，不管是谁，都必须按排队的次序使用厕所；如果是协作式，那么可以等你用完厕所，老板就要比经理先进入；如果是占先式，只要有更高级的人在外面等，那么厕所里无论是谁，都要第一时间让出来，让最高级别的人先用。”

```
#include <avr/io.h>
#include <avr/Interrupt.h>
#include <avr/signal.h>
unsigned char Stack[200];

register unsigned char OSRdyTbl asm("r2"); //任务运行就绪表
register unsigned char OSTaskRunningPrio asm("r3"); //正在运行的任务

#define OS_TASKS 3 //设定运行任务的数量
struct TaskCtrBlock //任务控制块
{
    unsigned int OSTaskStackTop; //保存任务的堆栈顶
    unsigned int OSWaitTick; //任务延时时钟
} TCB[OS_TASKS+1];

//防止被编译器占用
register unsigned char tempR4 asm("r4");
register unsigned char tempR5 asm("r5");
register unsigned char tempR6 asm("r6");
register unsigned char tempR7 asm("r7");
register unsigned char tempR8 asm("r8");
register unsigned char tempR9 asm("r9");
register unsigned char tempR10 asm("r10");
register unsigned char tempR11 asm("r11");
register unsigned char tempR12 asm("r12");
register unsigned char tempR13 asm("r13");
register unsigned char tempR14 asm("r14");
register unsigned char tempR15 asm("r15");
register unsigned char tempR16 asm("r16");
register unsigned char tempR17 asm("r17");

//建立任务
void OSTaskCreate(void (*Task)(void), unsigned char *Stack, unsigned char TaskID)
```

```

{
    unsigned char i;
    *Stack--=(unsigned int)Task>>8; //将任务的地址高位压入堆栈,
    *Stack--=(unsigned int)Task;    //将任务的地址低位压入堆栈,

    *Stack--=0x00;                //R1 __zero_reg__
    *Stack--=0x00;                //R0 __tmp_reg__
    *Stack--=0x80;                //SREG 在任务中, 开启全局中断
    for(i=0;i<14;i++) //在 avr-libc 中的 FAQ 中的 What registers are used by the C compiler?
        *Stack--=i;            //描述了寄存器的作用
    TCB[TaskID].OSTaskStackTop=(unsigned int)Stack; //将人工堆栈的栈顶, 保存到堆栈的数组
    中
    OSRdyTbl|=0x01<<TaskID;    //任务就绪表已经准备好
}

```

//开始任务调度,从最低优先级的任务的开始

void OSStartTask()

```

{
    OSTaskRunningPrio=OS_TASKS;
    SP=TCB[OS_TASKS].OSTaskStackTop+17;
    __asm__ __volatile__( "reti"    "\t" );
}

```

//进行任务调度

void OSSched(void)

```

{
    // 根据中断时保存寄存器的次序入栈, 模拟一次中断后, 入栈的情况
    __asm__ __volatile__("PUSH __zero_reg__ \t"); //R1
    __asm__ __volatile__("PUSH __tmp_reg__ \t"); //R0
    __asm__ __volatile__("IN __tmp_reg__, __SREG__ \t"); //保存状态寄存器 SREG
    __asm__ __volatile__("PUSH __tmp_reg__ \t");
    __asm__ __volatile__("CLR __zero_reg__ \t"); //R0 重新清零
    __asm__ __volatile__("PUSH R18\t");
    __asm__ __volatile__("PUSH R19\t");
    __asm__ __volatile__("PUSH R20\t");
    __asm__ __volatile__("PUSH R21\t");
    __asm__ __volatile__("PUSH R22\t");
    __asm__ __volatile__("PUSH R23\t");
    __asm__ __volatile__("PUSH R24\t");
    __asm__ __volatile__("PUSH R25\t");
    __asm__ __volatile__("PUSH R26\t");
    __asm__ __volatile__("PUSH R27\t");
    __asm__ __volatile__("PUSH R30\t");
    __asm__ __volatile__("PUSH R31\t");
}

```

```
__asm__ __volatile__ ("PUSH R28\t"); //R28 与 R29 用于建立在堆栈上的指针
__asm__ __volatile__ ("PUSH R29\t"); //入栈完成
```

```
TCB[OSTaskRunningPrio].OSTaskStackTop=SP;    //将正在运行的任务的堆栈底保存
```

```
    unsigned char OSNextTaskID;                //在现有堆栈上开设新的空间
for (OSNextTaskID = 0;                        //进行任务调度
    OSNextTaskID < OS_TASKS && !(OSRdyTbl & (0x01<<OSNextTaskID));
    OSNextTaskID++);
    OSTaskRunningPrio = OSNextTaskID ;
```

```
cli(); //保护堆栈转换
SP=TCB[OSTaskRunningPrio].OSTaskStackTop;
sei();
```

```
    //根据中断时的出栈次序
__asm__ __volatile__ ("POP R29\t");
__asm__ __volatile__ ("POP R28\t");
__asm__ __volatile__ ("POP R31\t");
__asm__ __volatile__ ("POP R30\t");
__asm__ __volatile__ ("POP R27\t");
__asm__ __volatile__ ("POP R26\t");
__asm__ __volatile__ ("POP R25\t");
__asm__ __volatile__ ("POP R24\t");
__asm__ __volatile__ ("POP R23\t");
__asm__ __volatile__ ("POP R22\t");
__asm__ __volatile__ ("POP R21\t");
__asm__ __volatile__ ("POP R20\t");
__asm__ __volatile__ ("POP R19\t");
__asm__ __volatile__ ("POP R18\t");
__asm__ __volatile__ ("POP __tmp_reg__ \t"); //SERG 出栈并恢复
__asm__ __volatile__ ("OUT __SREG__, __tmp_reg__ \t"); //
__asm__ __volatile__ ("POP __tmp_reg__ \t"); //R0 出栈
__asm__ __volatile__ ("POP __zero_reg__ \t"); //R1 出栈
//中断时出栈完成
}
```

```
void OSTimeDly(unsigned int ticks)
{
    if(ticks)                //当延时有效
    {
        OSRdyTbl &= ~(0x01<<OSTaskRunningPrio);
        TCB[OSTaskRunningPrio].OSWaitTick=ticks;
        OSSched();          //从新调度
    }
```

```
}  
}
```

```
void TCN0Init(void) // 计时器 0  
{  
    TCCR0 = 0;  
    TCCR0 |= (1<<CS02); // 256 预分频  
    TIMSK |= (1<<TOIE0); // T0 溢出中断允许  
    TCNT0 = 100; // 置计数起始值  
  
}
```

```
SIGNAL(SIG_OVERFLOW0)  
{  
    unsigned char i;  
    for(i=0;i<OS_TASKS;i++) //任务时钟  
    {  
        if(TCB[i].OSWaitTick)  
        {  
            TCB[i].OSWaitTick--;  
            if(TCB[i].OSWaitTick==0) //当任务时钟到时,必须是由定时器减时的才行  
            {  
                OSRdyTbl |= (0x01<<i); //使任务在就绪表中置位  
            }  
        }  
    }  
    TCNT0=100;  
}
```

```
void Task0()  
{  
    unsigned int j=0;  
    while(1)  
    {  
        PORTB=j++;  
        OSTimeDly(2);  
    }  
}
```

```
void Task1()  
{  
    unsigned int j=0;  
    while(1)
```

```
{
    PORTC=j++;
    OSTimeDly(4);
}
}

void Task2()
{
    unsigned int j=0;
    while(1)
    {
        PORTD=j++;
        OSTimeDly(8);
    }
}

void TaskScheduler()
{
    while(1)
    {
        OSSched();    //反复进行调度
    }
}

int main(void)
{
    TCN0Init();
    OSRdyTbl=0;
    OSTaskRunningPrio=0;
    OSTaskCreate(Task0,&Stack[49],0);
    OSTaskCreate(Task1,&Stack[99],1);
    OSTaskCreate(Task2,&Stack[149],2);
    OSTaskCreate(TaskScheduler,&Stack[199],OS_TASKS);
    OSStartTask();
}
```

在上面的例子中，一切变得很简单，三个正在运行的主任务，都通过延时服务，主动放弃对 CPU 的控制权。

在时间中断中，对各个任务的延时进行计时，如果某个任务的延时结束，将任务重新在就绪表中置位。

最低级的系统任务 TaskScheduler()，在三个主任务在放弃对 CPU 的控制权后开始不断地进行调度。如果某个任务在就绪表中置位，通过调度，进入最高级别的任务中继续运行。

第五篇：完善的协作式的内核

现在为上面的协作式内核添加一些 OS 中所必须的服务：

- 1 挂起和重新运行任务
- 2 信号量(在必要时候，可以扩展成邮箱和信息队列)
- 3 延时

```
#include <avr/io.h>
#include <avr/Interrupt.h>
#include <avr/signal.h>
unsigned char Stack[400];

register unsigned char OSRdyTbl asm("r2"); //任务运行就绪表
register unsigned char OSTaskRunningPrio asm("r3"); //正在运行的任务

#define OS_TASKS 3 //设定运行任务的数量
struct TaskCtrBlock
{
    unsigned int OSTaskStackTop; //保存任务的堆栈顶
    unsigned int OSWaitTick; //任务延时时钟
} TCB[OS_TASKS+1];

//防止被编译器占用
register unsigned char tempR4 asm("r4");
register unsigned char tempR5 asm("r5");
register unsigned char tempR6 asm("r6");
register unsigned char tempR7 asm("r7");
register unsigned char tempR8 asm("r8");
register unsigned char tempR9 asm("r9");
register unsigned char tempR10 asm("r10");
register unsigned char tempR11 asm("r11");
register unsigned char tempR12 asm("r12");
register unsigned char tempR13 asm("r13");
register unsigned char tempR14 asm("r14");
register unsigned char tempR15 asm("r15");
register unsigned char tempR16 asm("r16");
register unsigned char tempR16 asm("r17");

//建立任务
void OSTaskCreate(void (*Task)(void), unsigned char *Stack, unsigned char TaskID)
{
    unsigned char i;
```

```

*Stack--=(unsigned int)Task>>8; //将任务的地址高位压入堆栈,
*Stack--=(unsigned int)Task;    //将任务的地址低位压入堆栈,

*Stack--=0x00;                  //R1 __zero_reg__
*Stack--=0x00;                  //R0 __tmp_reg__
*Stack--=0x80;

//SREG 在任务中, 开启全局中断
for(i=0;i<14;i++) //在 avr-libc 中的 FAQ 中的 What registers are used by the C compiler?
    *Stack--=i;    //描述了寄存器的作用
TCB[TaskID].OSTaskStackTop=(unsigned int)Stack; //将人工堆栈的栈顶, 保存到堆栈的数组
中
OSRdyTbl|=0x01<<TaskID; //任务就绪表已经准备好
}

//开始任务调度,从最低优先级的任务的开始
void OSStartTask()
{
    OSTaskRunningPrio=OS_TASKS;
    SP=TCB[OS_TASKS].OSTaskStackTop+17;
    __asm__ __volatile__( "reti"    "\t" );
}

//进行任务调度
void OSSched(void)
{
    // 根据中断时保存寄存器的次序入栈, 模拟一次中断后, 入栈的情况
    __asm__ __volatile__("PUSH __zero_reg__\t"); //R1
    __asm__ __volatile__("PUSH __tmp_reg__\t"); //R0
    __asm__ __volatile__("IN __tmp_reg__, __SREG__\t"); //保存状态寄存器 SREG
    __asm__ __volatile__("PUSH __tmp_reg__\t");
    __asm__ __volatile__("CLR __zero_reg__\t"); //R0 重新清零
    __asm__ __volatile__("PUSH R18\t");
    __asm__ __volatile__("PUSH R19\t");
    __asm__ __volatile__("PUSH R20\t");
    __asm__ __volatile__("PUSH R21\t");
    __asm__ __volatile__("PUSH R22\t");
    __asm__ __volatile__("PUSH R23\t");
    __asm__ __volatile__("PUSH R24\t");
    __asm__ __volatile__("PUSH R25\t");
    __asm__ __volatile__("PUSH R26\t");
    __asm__ __volatile__("PUSH R27\t");
    __asm__ __volatile__("PUSH R30\t");
    __asm__ __volatile__("PUSH R31\t");

```

```
__asm__ __volatile__ ("PUSH R28\t"); //R28 与 R29 用于建立在堆栈上的指针
__asm__ __volatile__ ("PUSH R29\t"); //入栈完成
```

```
TCB[OSTaskRunningPrio].OSTaskStackTop=SP;    //将正在运行的任务的堆栈底保存
```

```
unsigned char OSNextTaskID;    //在现有堆栈上开设新的空间
for (OSNextTaskID = 0;        //进行任务调度
    OSNextTaskID < OS_TASKS && !(OSRdyTbl & (0x01<<OSNextTaskID));
    OSNextTaskID++);
OSTaskRunningPrio = OSNextTaskID ;
```

```
cli(); //保护堆栈转换
SP=TCB[OSTaskRunningPrio].OSTaskStackTop;
sei();
```

```
//根据中断时的出栈次序
__asm__ __volatile__ ("POP R29\t");
__asm__ __volatile__ ("POP R28\t");
__asm__ __volatile__ ("POP R31\t");
__asm__ __volatile__ ("POP R30\t");
__asm__ __volatile__ ("POP R27\t");
__asm__ __volatile__ ("POP R26\t");
__asm__ __volatile__ ("POP R25\t");
__asm__ __volatile__ ("POP R24\t");
__asm__ __volatile__ ("POP R23\t");
__asm__ __volatile__ ("POP R22\t");
__asm__ __volatile__ ("POP R21\t");
__asm__ __volatile__ ("POP R20\t");
__asm__ __volatile__ ("POP R19\t");
__asm__ __volatile__ ("POP R18\t");
__asm__ __volatile__ ("POP __tmp_reg__ \t"); //SERG 出栈并恢复
__asm__ __volatile__ ("OUT __SREG__, __tmp_reg__ \t"); //
__asm__ __volatile__ ("POP __tmp_reg__ \t"); //R0 出栈
__asm__ __volatile__ ("POP __zero_reg__ \t"); //R1 出栈
//中断时出栈完成
}
```

```
////////////////////////////////////任务处理
```

```
//挂起任务
```

```
void OSTaskSuspend(unsigned char prio)
```

```
{
    TCB[prio].OSWaitTick=0;
    OSRdyTbl &= ~(0x01<<prio); //从任务就绪表上去除标志位
```

```
if(OSTaskRunningPrio==prio) //当要挂起的任务为当前任务
    OSSched();           //从新调度
}

//恢复任务 可以让被 OSTaskSuspend 或 OSTimeDly 暂停的任务恢复
void OSTaskResume(unsigned char prio)
{
    OSRdyTbl |= 0x01<<prio; //从任务就绪表上重置标志位
    TCB[prio].OSWaitTick=0;  //将时间计时设为 0,到时
    if(OSTaskRunningPrio>prio) //当要当前任务的优先级低于重置位的任务的优先级
        OSSched();           //从新调度           //从新调度
}

// 任务延时
void OSTimeDly(unsigned int ticks)
{
    if(ticks)                //当延时有效
    {
        OSRdyTbl &= ~(0x01<<OSTaskRunningPrio);
        TCB[OSTaskRunningPrio].OSWaitTick=ticks;
        OSSched();           //从新调度
    }
}

//信号量
struct SemBlk
{
    unsigned char OSEventType; //型号 0,信号量独占型; 1 信号量共享型
    unsigned char OSEventState; //状态 0,不可用;1,可用
    unsigned char OSTaskPendTbl; //等待信号量的任务列表
} Sem[10];

//初始化信号量
void OSSemCreat(unsigned char Index,unsigned char Type)
{
    Sem[Index].OSEventType=Type; //型号 0,信号量独占型; 1 信号量共享型
    Sem[Index].OSTaskPendTbl=0;
    Sem[Index].OSEventState=0;
}

//任务等待信号量,挂起
unsigned char OSTaskSemPend(unsigned char Index,unsigned int Timeout)
{

```

```

//unsigned char i=0;
if(Sem[Index].OSEventState)      //信号量有效
{
    if(Sem[Index].OSEventType==0)    //如果为独占型
        Sem[Index].OSEventState = 0x00;    //信号量被独占，不可用
}
else
{
    //加入信号的任务等待表
    Sem[Index].OSTaskPendTbl |= 0x01<<OSTaskRunningPrio;
    OSRdyTbl &= ~(0x01<<OSTaskRunningPrio); //从任务就绪表中去除
    TCB[OSTaskRunningPrio].OSWaitTick=Timeout; //如延时为 0，则无限等待
    OSSched(); //从新调度
    if(TCB[OSTaskRunningPrio].OSWaitTick==0) return 0;
}
return 1;
}

//发送一个信号量，可以从任务或中断发送
void OSSemPost(unsigned char Index)
{
    if(Sem[Index].OSEventType)      //当要求的信号量是共享型
    {
        Sem[Index].OSEventState=0x01;    //使信号量有效
        OSRdyTbl |= Sem[Index].OSTaskPendTbl; //使在等待该信号的所有任务就绪
        Sem[Index].OSTaskPendTbl=0;    //清空所有等待该信号的等待任务
    }
    else      //当要求的信号量为独占型
    {
        unsigned char i;
        for (i = 0; i < OS_TASKS && !(Sem[Index].OSTaskPendTbl & (0x01<<i)); i++);
        if(i < OS_TASKS)    //如果有任务需要
        {
            Sem[Index].OSTaskPendTbl &= ~(0x01<<i); //从等待表中去除
            OSRdyTbl |= 0x01<<i;    //任务就绪
        }
        else
        {
            Sem[Index].OSEventState =1;    //使信号量有效
        }
    }
}

//从任务发送一个信号量，并进行调度

```

```
void OSTaskSemPost(unsigned char Index)
{
    OSSemPost(Index);
    OSSched();
}
```

//清除一个信号量,只对共享型的有用。
//对于独占型的信号量，在任务占用后，就交得不可以用了。

```
void OSSemClean(unsigned char Index)
{
    Sem[Index].OSEventState =0;    //要求的信号量无效
}
```

```
void TCN0Init(void) // 计时器 0
{
    TCCR0 = 0;
    TCCR0 |= (1<<CS02); // 256 预分频
    TIMSK |= (1<<TOIE0); // T0 溢出中断允许
    TCNT0 = 100;    // 置计数起始值

}
```

```
SIGNAL(SIG_OVERFLOW0)
{
    unsigned char i;
    for(i=0;i<OS_TASKS;i++)    //任务时钟
    {
        if(TCB[i].OSWaitTick)
        {
            TCB[i].OSWaitTick--;
            if(TCB[i].OSWaitTick==0)    //当任务时钟到时,必须是由定时器减时的才行
            {
                OSRdyTbl |= (0x01<<i);    //使任务在就绪表中置位
            }
        }
    }
    TCNT0=100;
}
```

```
void Task0()
{
```

```
unsigned int j=0;
while(1)
{
    PORTB=j++;
    OSTaskSuspend(1); //挂起任务 1
    OSTaskSemPost(0);
    OSTimeDly(50);
    OSTaskResume(1); //恢复任务 1
    OSSemClean(0);
    OSTimeDly(50);
}
}
```

```
void Task1()
{
    unsigned int j=0;
    while(1)
    {
        PORTC=j++;
        OSTimeDly(5);
    }
}
```

```
void Task2()
{
    unsigned int j=0;
    while(1)
    {
        OSTaskSemPend(0,10);
        PORTD=j++;
        OSTimeDly(5);
    }
}
```

```
void TaskScheduler()
{
    while(1)
    {
        OSSched(); //反复进行调度
    }
}
```

```
int main(void)
{
    TCN0Init();
    OSRdyTbl=0;
    OSSemCreat(0,1); //将信号量设为共享型
    OSTaskCreate(Task0,&Stack[99],0);
    OSTaskCreate(Task1,&Stack[199],1);
    OSTaskCreate(Task2,&Stack[299],2);
    OSTaskCreate(TaskScheduler,&Stack[399],OS_TASKS);
    OSStartTask();
}
```


第六篇：时间片轮番调度法的内核

Round-Robin Sheduling

时间片轮调法是非常有趣的。本篇中的例子，建立了 3 个任务，任务没有优先级，在时间中断的调度下，每个任务都轮流运行相同的时间。如果在内核中没有加入其它服务，感觉上就好像是有三个大循环在同时运行。

本例只是提供了一个用时间中断进行调度的内核，大家可以根据自己的需要，添加相应的服务。

要注意到：

1,由于在时间中断内调用了任务切换函数，因为在进入中断时，已经将一系列的寄存器入栈。

2,在中断内进行调度，是直接通过"RJMP Int_OSSched"进入任务切换和调度的，这是 GCC AVR 的一个特点，为用 C 编写内核提供了极大的方便。

3,在阅读代码的同时，请对照阅读编译器产生的 *.lst 文件，会对你理解例子有很大的帮助。

```
#include <avr/io.h>
#include <avr/Interrupt.h>
#include <avr/signal.h>
unsigned char Stack[400];

register unsigned char OSRdyTbl    asm("r2"); //任务运行就绪表
register unsigned char OSTaskRunningPrio asm("r3"); //正在运行的任务

#define OS_TASKS 3           //设定运行任务的数量
struct TaskCtrBlock
{
    unsigned int OSTaskStackTop; //保存任务的堆栈顶
    unsigned int OSWaitTick;     //任务延时时钟
} TCB[OS_TASKS+1];

//防止被编译器占用
register unsigned char tempR4 asm("r4");
register unsigned char tempR5 asm("r5");
register unsigned char tempR6 asm("r6");
register unsigned char tempR7 asm("r7");
register unsigned char tempR8 asm("r8");
register unsigned char tempR9 asm("r9");
register unsigned char tempR10 asm("r10");
register unsigned char tempR11 asm("r11");
register unsigned char tempR12 asm("r12");
```

```

register unsigned char tempR13 asm("r13");
register unsigned char tempR14 asm("r14");
register unsigned char tempR15 asm("r15");
register unsigned char tempR16 asm("r16");
register unsigned char tempR17 asm("r17");

```

//建立任务

```
void OSTaskCreate(void (*Task)(void), unsigned char *Stack, unsigned char TaskID)
```

```

{
    unsigned char i;
    *Stack--=(unsigned int)Task>>8; //将任务的地址高位压入堆栈,
    *Stack--=(unsigned int)Task;    //将任务的地址低位压入堆栈,

    *Stack--=0x00;                //R1 __zero_reg__
    *Stack--=0x00;                //R0 __tmp_reg__
    *Stack--=0x80;

```

//SREG 在任务中, 开启全局中断

```

for(i=0;i<14;i++) //在 avr-libc 中的 FAQ 中的 What registers are used by the C compiler?
    *Stack--=i;    //描述了寄存器的作用
TCB[TaskID].OSTaskStackTop=(unsigned int)Stack; //将人工堆栈的栈顶, 保存到堆栈的数组
中
OSRdyTbl|=0x01<<TaskID; //任务就绪表已经准备好
}

```

//开始任务调度,从最低优先级的任务的开始

```

void OSStartTask()
{
    OSTaskRunningPrio=OS_TASKS;
    SP=TCB[OS_TASKS].OSTaskStackTop+17;
    __asm__ __volatile__( "reti"    "\t" );
}

```

//进行任务调度

```

void OSSched(void)
{
    // 根据中断时保存寄存器的次序入栈, 模拟一次中断后, 入栈的情况
    __asm__ __volatile__("PUSH __zero_reg__ \t"); //R1
    __asm__ __volatile__("PUSH __tmp_reg__ \t"); //R0
    __asm__ __volatile__("IN __tmp_reg__, __SREG__ \t"); //保存状态寄存器 SREG
    __asm__ __volatile__("PUSH __tmp_reg__ \t");
    __asm__ __volatile__("CLR __zero_reg__ \t"); //R0 重新清零
    __asm__ __volatile__("PUSH R18 \t");
}

```

```

__asm__ __volatile__ ("PUSH R19\t");
__asm__ __volatile__ ("PUSH R20\t");
__asm__ __volatile__ ("PUSH R21\t");
__asm__ __volatile__ ("PUSH R22\t");
__asm__ __volatile__ ("PUSH R23\t");
__asm__ __volatile__ ("PUSH R24\t");
__asm__ __volatile__ ("PUSH R25\t");
__asm__ __volatile__ ("PUSH R26\t");
__asm__ __volatile__ ("PUSH R27\t");
__asm__ __volatile__ ("PUSH R30\t");
__asm__ __volatile__ ("PUSH R31\t");

__asm__ __volatile__ ("Int_OSSched: \t"); //当中断要求调度，直接进入这里
__asm__ __volatile__ ("PUSH R28\t"); //R28 与 R29 用于建立在堆栈上的指针
__asm__ __volatile__ ("PUSH R29\t"); //入栈完成

TCB[OSTaskRunningPrio].OSTaskStackTop=SP;      //将正在运行的任务的堆栈底保存

if(++OSTaskRunningPrio>=OS_TASKS) //轮流运行各个任务，没有优先级
    OSTaskRunningPrio=0;

//cli(); //保护堆栈转换
SP=TCB[OSTaskRunningPrio].OSTaskStackTop;
//sei();

//根据中断时的出栈次序
__asm__ __volatile__ ("POP R29\t");
__asm__ __volatile__ ("POP R28\t");
__asm__ __volatile__ ("POP R31\t");
__asm__ __volatile__ ("POP R30\t");
__asm__ __volatile__ ("POP R27\t");
__asm__ __volatile__ ("POP R26\t");
__asm__ __volatile__ ("POP R25\t");
__asm__ __volatile__ ("POP R24\t");
__asm__ __volatile__ ("POP R23\t");
__asm__ __volatile__ ("POP R22\t");
__asm__ __volatile__ ("POP R21\t");
__asm__ __volatile__ ("POP R20\t");
__asm__ __volatile__ ("POP R19\t");
__asm__ __volatile__ ("POP R18\t");
__asm__ __volatile__ ("POP __tmp_reg__\t"); //SERG 出栈并恢复
__asm__ __volatile__ ("OUT __SREG__, __tmp_reg__\t"); //
__asm__ __volatile__ ("POP __tmp_reg__\t"); //R0 出栈
__asm__ __volatile__ ("POP __zero_reg__\t"); //R1 出栈

```

```
__asm__ __volatile__("RETI\t"); //返回并开中断
//中断时出栈完成
}

void IntSwitch(void)
{
    __asm__ __volatile__("POP R31\t"); //去除因调用子程序而入栈的 PC
    __asm__ __volatile__("POP R31\t");
    __asm__ __volatile__("RJMP Int_OSSched\t"); //重新调度
}

void TCN0Init(void) // 计时器 0
{
    TCCR0 = 0;
    TCCR0 |= (1<<CS02); // 256 预分频
    TIMSK |= (1<<TOIE0); // T0 溢出中断允许
    TCNT0 = 100; // 置计数起始值
}

SIGNAL(SIG_OVERFLOW0)
{
    TCNT0=100;
    IntSwitch(); //任务调度
}

void Task0()
{
    unsigned int j=0;
    while(1)
    {
        PORTB=j++;
        //OSTimeDly(50);
    }
}

void Task1()
{
    unsigned int j=0;
    while(1)
    {
        PORTC=j++;
        //OSTimeDly(5);
    }
}
```

```
    }  
}  
  
void Task2()  
{  
    unsigned int j=0;  
    while(1)  
    {  
        PORTD=j++;  
        //OSTimeDly(5);  
    }  
}  
  
void TaskScheduler()  
{  
    while(1)  
    {  
        OSSched();    //反复进行调度  
    }  
}  
  
int main(void)  
{  
    TCN0Init();  
    OSRdyTbl=0;  
    OSTaskCreate(Task0,&Stack[99],0);  
    OSTaskCreate(Task1,&Stack[199],1);  
    OSTaskCreate(Task2,&Stack[299],2);  
    OSTaskCreate(TaskScheduler,&Stack[399],OS_TASKS);  
    OSStartTask();  
}
```

第七篇：占先式内核(只带延时服务)

Preemptive Multitasking

当大家理解时间片轮番调度法的任务调度方式后，占先式的内核的原理，已经伸手可及了。

先想想，占先式内核是在什么地方实现任务调度的呢？对了，它在可以在任务中进行调度，这个在协作式的内核中已经做到了；同时，它也可以在中断结束后进行调度，这个问题，已经在时间片轮番调度法中已经做到了。

由于中断是可以嵌套的，只有当各层嵌套中要求调度，并且中断嵌套返回到最初进入的中断的那一层时，才能进行任务调度。

```
#include <avr/io.h>
#include <avr/Interrupt.h>
#include <avr/signal.h>
unsigned char Stack[400];

register unsigned char OSRdyTbl    asm("r2"); //任务运行就绪表
register unsigned char OSTaskRunningPrio asm("r3"); //正在运行的任务
register unsigned char IntNum      asm("r4"); //中断嵌套计数器
//只有当中断嵌套数为 0，并且有中断要求时，才能在退出中断时，进行任务调度
register unsigned char OSCoreState  asm("r16"); //系统核心标志位,R16 编译器没有使用
//只有大于 R15 的寄存器才能直接赋值 例 LDI R16,0x01
//0x01 正在任务 切换 0x02 有中断要求切换

#define OS_TASKS 3           //设定运行任务的数量
struct TaskCtrBlock
{
    unsigned int OSTaskStackTop; //保存任务的堆栈顶
    unsigned int OSWaitTick;    //任务延时时钟
} TCB[OS_TASKS+1];

//防止被编译器占用
//register unsigned char tempR4 asm("r4");
register unsigned char tempR5 asm("r5");
register unsigned char tempR6 asm("r6");
register unsigned char tempR7 asm("r7");
register unsigned char tempR8 asm("r8");
register unsigned char tempR9 asm("r9");
register unsigned char tempR10 asm("r10");
register unsigned char tempR11 asm("r11");
register unsigned char tempR12 asm("r12");
```

```
register unsigned char tempR13 asm("r13");
register unsigned char tempR14 asm("r14");
register unsigned char tempR15 asm("r15");
//register unsigned char tempR16 asm("r16");
register unsigned char tempR16 asm("r17");
```

//建立任务

```
void OSTaskCreate(void (*Task)(void), unsigned char *Stack, unsigned char TaskID)
```

```
{
    unsigned char i;
    *Stack--=(unsigned int)Task>>8; //将任务的地址高位压入堆栈,
    *Stack--=(unsigned int)Task;    //将任务的地址低位压入堆栈,

    *Stack--=0x00;                //R1 __zero_reg__
    *Stack--=0x00;                //R0 __tmp_reg__
    *Stack--=0x80;
```

//SREG 在任务中, 开启全局中断

```
for(i=0;i<14;i++) //在 avr-libc 中的 FAQ 中的 What registers are used by the C compiler?
    *Stack--=i;    //描述了寄存器的作用
TCB[TaskID].OSTaskStackTop=(unsigned int)Stack; //将人工堆栈的栈顶, 保存到堆栈的数组
中
OSRdyTbl|=0x01<<TaskID; //任务就绪表已经准备好
}
```

//开始任务调度,从最低优先级的任务的开始

```
void OSStartTask()
{
    OSTaskRunningPrio=OS_TASKS;
    SP=TCB[OS_TASKS].OSTaskStackTop+17;
    __asm__ __volatile__( "reti"
    "\t" );
}
```

//进行任务调度

```
void OSSched(void)
{
    __asm__ __volatile__("LDI R16,0x01
\t");
    //清除中断要求任务切换的标志位,设置正在任务切换标志位
    __asm__ __volatile__("SEI
\t");
```

//开中断,因为如果因中断在任务调度中进行,要重新进行调度时, 已经关中断
 //根据中断时保存寄存器的次序入栈, 模拟一次中断后, 入栈的情况

```
__asm__ __volatile__ ("PUSH __zero_reg__\t"); //R1
__asm__ __volatile__ ("PUSH __tmp_reg__\t"); //R0
__asm__ __volatile__ ("IN __tmp_reg__, __SREG__\t"); //保存状态寄存器 SREG
__asm__ __volatile__ ("PUSH __tmp_reg__\t");
__asm__ __volatile__ ("CLR __zero_reg__\t"); //R0 重新清零
__asm__ __volatile__ ("PUSH R18\t");
__asm__ __volatile__ ("PUSH R19\t");
__asm__ __volatile__ ("PUSH R20\t");
__asm__ __volatile__ ("PUSH R21\t");
__asm__ __volatile__ ("PUSH R22\t");
__asm__ __volatile__ ("PUSH R23\t");
__asm__ __volatile__ ("PUSH R24\t");
__asm__ __volatile__ ("PUSH R25\t");
__asm__ __volatile__ ("PUSH R26\t");
__asm__ __volatile__ ("PUSH R27\t");
__asm__ __volatile__ ("PUSH R30\t");
__asm__ __volatile__ ("PUSH R31\t");
```

```
__asm__ __volatile__ ("Int_OSSched:\t"); //当中断要求调度, 直接进入这里
__asm__ __volatile__ ("SEI\t");
```

//开中断,因为如果因中断在任务调度中进行, 已经关中断

```
__asm__ __volatile__ ("PUSH R28\t"); //R28 与 R29 用于建立在堆栈上的指针
__asm__ __volatile__ ("PUSH R29\t"); //入栈完成
```

```
TCB[OSTaskRunningPrio].OSTaskStackTop=SP; //将正在运行的任务的堆栈底保存
```

```
unsigned char OSNextTaskPrio; //在现有堆栈上开设新的空间
for (OSNextTaskPrio = 0; //进行任务调度
    OSNextTaskPrio < OS_TASKS && !(OSRdyTbl & (0x01<<OSNextTaskPrio));
    OSNextTaskPrio++);
OSTaskRunningPrio = OSNextTaskPrio ;
```

cli(); //保护堆栈转换

```
SP=TCB[OSTaskRunningPrio].OSTaskStackTop;
sei();
```

//根据中断时的出栈次序

```
__asm__ __volatile__ ("POP R29\t");
__asm__ __volatile__ ("POP R28\t");
__asm__ __volatile__ ("POP R31\t");
__asm__ __volatile__ ("POP R30\t");
__asm__ __volatile__ ("POP R27\t");
```



```

__asm__ __volatile__ ("POP R26\t");
__asm__ __volatile__ ("POP R25\t");
__asm__ __volatile__ ("POP R24\t");
__asm__ __volatile__ ("POP R23\t");
__asm__ __volatile__ ("POP R22\t");
__asm__ __volatile__ ("POP R21\t");
__asm__ __volatile__ ("POP R20\t");
__asm__ __volatile__ ("POP R19\t");
__asm__ __volatile__ ("POP R18\t");
__asm__ __volatile__ ("POP __tmp_reg__\t"); //SERG 出栈并恢复
__asm__ __volatile__ ("OUT __SREG__, __tmp_reg__\t"); //
__asm__ __volatile__ ("POP __tmp_reg__\t"); //R0 出栈
__asm__ __volatile__ ("POP __zero_reg__\t"); //R1 出栈
//中断时出栈完成
__asm__ __volatile__ ("CLI\t"); //关中断
__asm__ __volatile__ ("SBRC R16,1\t"); //SBRC 当寄存器位为 0 刚跳过下一条指令
//检查是在调度时，是否有中断要求任务调度 0x02 是中断要求调度的标志位
__asm__ __volatile__ ("RJMP OSSched\t"); //重新调度
__asm__ __volatile__ ("LDI R16,0x00\t");
//清除中断要求任务切换的标志位,清除正在任务切换标志位
__asm__ __volatile__ ("RETI\t"); //返回并开中断
}

```

//从中断退出并进行调度

void IntSwitch(void)

```

{
//当中断无嵌套，并且没有在切换任务的过程中，直接进行任务切换
if(OSCoreState == 0x02 && IntNum==0)
{
//进入中断时，已经保存了 SREG 和 R0,R1,R18~R27,R30,R31
__asm__ __volatile__ ("POP R31\t"); //去除因调用子程序而入栈的 PC
__asm__ __volatile__ ("POP R31\t");
__asm__ __volatile__ ("LDI R16,0x01\t");
//清除中断要求任务切换的标志位,设置正在任务切换标志位
__asm__ __volatile__ ("RJMP Int_OSSched\t"); //重新调度
}
}

```

// 任务延时

void OSTimeDly(unsigned int ticks)

```

{
if(ticks) //当延时有效
{

```

```
    OSRdyTbl &= ~(0x01<<OSTaskRunningPrio);
    TCB[OSTaskRunningPrio].OSWaitTick=ticks;
    OSSched();          //从新调度
}
}

void TCN0Init(void) // 计时器 0
{
    TCCR0 = 0;
    TCCR0 |= (1<<CS02); // 256 预分频
    TIMSK |= (1<<TOIE0); // T0 溢出中断允许
    TCNT0 = 100;      // 置计数起始值
}

SIGNAL(SIG_OVERFLOW0)
{
    IntNum++; //中断嵌套+1
    sei(); //在中断中，重开中断

    unsigned char i,j=0;
    for(i=0;i<OS_TASKS;i++) //任务时钟
    {
        if(TCB[i].OSWaitTick)
        {
            TCB[i].OSWaitTick--;
            if(TCB[i].OSWaitTick==0) //当任务时钟到时,必须是由定时器减时的才行
            {
                OSRdyTbl |= (0x01<<i); //使任务可以重新运行
                OSCoreState|=0x02;      //要求任务切换的标志位
            }
        }
    }
    TCNT0=100;
    cli();
    IntNum--; //中断嵌套-1
    IntSwitch(); //进行任务调度
}

void Task0()
{
    unsigned int j=0;
    while(1)
    {
```

```
    PORTB=j++;  
    OSTimeDly(50);  
}  
}
```

```
void Task1()  
{  
    unsigned int j=0;  
    while(1)  
    {  
        PORTC=j++;  
        OSTimeDly(20);  
    }  
}
```

```
void Task2()  
{  
    unsigned int j=0;  
    while(1)  
    {  
        PORTD=j++;  
        OSTimeDly(5);  
    }  
}
```

```
void TaskScheduler()  
{  
    OSSched();  
    while(1)  
    {  
        //OSSched();    //反复进行调度  
    }  
}
```

```
int main(void)  
{  
    TCN0Init();  
    OSRdyTbl=0;  
    IntNum=0;  
    OSTaskCreate(Task0,&Stack[99],0);  
    OSTaskCreate(Task1,&Stack[199],1);  
}
```

```
OSTaskCreate(Task2,&Stack[299],2);
OSTaskCreate(TaskScheduler,&Stack[399],OS_TASKS);
OSStartTask();
}
```

第八篇： 占先式内核(完善的服务)

如果将前面所提到的占先式内核和协作式内核组合在一起，很容易就可以得到一个功能较为完善的占先式内核，它的功能有：

- 1,挂起和恢复任务
- 2,任务延时
- 3,信号量(包括共享型和独占型)

另外，在本例中，在各个任务中加入了从串口发送任务状态的功能。

```
#include <avr/io.h>
#include <avr/Interrupt.h>
#include <avr/signal.h>
unsigned char Stack[400];

register unsigned char OSRdyTbl    asm("r2"); //任务运行就绪表
register unsigned char OSTaskRunningPrio asm("r3"); //正在运行的任务
register unsigned char IntNum      asm("r4"); //中断嵌套计数器
//只有当中断嵌套数为 0，并且有中断要求时，才能在退出中断时，进行任务调度
register unsigned char OSCoreState  asm("r16"); // 系统核心标志位 ,R16 编译器没有使用
//只有大于 R15 的寄存器才能直接赋值 例 LDI R16,0x01
//0x01 正在任务 切换 0x02 有中断要求切换

#define OS_TASKS 3          //设定运行任务的数量
struct TaskCtrBlock
{
    unsigned int OSTaskStackTop; //保存任务的堆栈顶
    unsigned int OSWaitTick;     //任务延时时钟
} TCB[OS_TASKS+1];

//防止被编译器占用
//register unsigned char tempR4 asm("r4");
register unsigned char tempR5 asm("r5");
register unsigned char tempR6 asm("r6");
register unsigned char tempR7 asm("r7");
register unsigned char tempR8 asm("r8");
register unsigned char tempR9 asm("r9");
register unsigned char tempR10 asm("r10");
register unsigned char tempR11 asm("r11");
register unsigned char tempR12 asm("r12");
register unsigned char tempR13 asm("r13");
register unsigned char tempR14 asm("r14");
```

```

register unsigned char tempR15 asm("r15");
//register unsigned char tempR16 asm("r16");
register unsigned char tempR16 asm("r17");

//建立任务
void OSTaskCreate(void (*Task)(void), unsigned char *Stack, unsigned char TaskID)
{
    unsigned char i;
    *Stack--=(unsigned int)Task>>8; //将任务的地址高位压入堆栈,
    *Stack--=(unsigned int)Task;    //将任务的地址低位压入堆栈,

    *Stack--=0x00;                //R1 __zero_reg__
    *Stack--=0x00;                //R0 __tmp_reg__
    *Stack--=0x80;

    //SREG 在任务中, 开启全局中断
    for(i=0;i<14;i++) //在 avr-libc 中的 FAQ 中的 What registers are used by the C compiler?
        *Stack--=i;        //描述了寄存器的作用
    TCB[TaskID].OSTaskStackTop=(unsigned int)Stack; //将人工堆栈的栈顶, 保存到堆栈的数组
    中
    OSRdyTbl|=0x01<<TaskID; //任务就绪表已经准备好
}

//开始任务调度,从最低优先级的任务的开始
void OSStartTask()
{
    OSTaskRunningPrio=OS_TASKS;
    SP=TCB[OS_TASKS].OSTaskStackTop+17;
    __asm__ __volatile__( "reti"    "\t" );
}

//进行任务调度
void OSSched(void)
{
    __asm__ __volatile__ ("LDI R16,0x01\t");
    //清除中断要求任务切换的标志位,设置正在任务切换标志位
    __asm__ __volatile__ ("SEI\t");
    //开中断,因为如果因中断在任务调度中进行,要重新进行调度时, 已经关中断
    // 根据中断时保存寄存器的次序入栈, 模拟一次中断后, 入栈的情况
    __asm__ __volatile__ ("PUSH __zero_reg__\t"); //R1
    __asm__ __volatile__ ("PUSH __tmp_reg__\t"); //R0
    __asm__ __volatile__ ("IN __tmp_reg__,__SREG__\t"); //保存状态寄存器 SREG

```

```
__asm__ __volatile__ ("PUSH __tmp_reg__ \t");
__asm__ __volatile__ ("CLR __zero_reg__ \t"); //R0 重新清零
__asm__ __volatile__ ("PUSH R18\t");
__asm__ __volatile__ ("PUSH R19\t");
__asm__ __volatile__ ("PUSH R20\t");
__asm__ __volatile__ ("PUSH R21\t");
__asm__ __volatile__ ("PUSH R22\t");
__asm__ __volatile__ ("PUSH R23\t");
__asm__ __volatile__ ("PUSH R24\t");
__asm__ __volatile__ ("PUSH R25\t");
__asm__ __volatile__ ("PUSH R26\t");
__asm__ __volatile__ ("PUSH R27\t");
__asm__ __volatile__ ("PUSH R30\t");
__asm__ __volatile__ ("PUSH R31\t");

__asm__ __volatile__ ("Int_OSSched: \t"); //当中断要求调度，直接进入这里
__asm__ __volatile__ ("SEI\t");
//开中断,因为如果因中断在任务调度中进行，已经关中断
__asm__ __volatile__ ("PUSH R28\t"); //R28 与 R29 用于建立在堆栈上的指针
__asm__ __volatile__ ("PUSH R29\t"); //入栈完成

TCB[OSTaskRunningPrio].OSTaskStackTop=SP; //将正在运行的任务的堆栈底保存

unsigned char OSNextTaskPrio; //在现有堆栈上开设新的空间
for (OSNextTaskPrio = 0; //进行任务调度
    OSNextTaskPrio < OS_TASKS && !(OSRdyTbl & (0x01<<OSNextTaskPrio));
    OSNextTaskPrio++);
    OSTaskRunningPrio = OSNextTaskPrio ;

cli(); //保护堆栈转换
SP=TCB[OSTaskRunningPrio].OSTaskStackTop;
sei();

//根据中断时的出栈次序
__asm__ __volatile__ ("POP R29\t");
__asm__ __volatile__ ("POP R28\t");
__asm__ __volatile__ ("POP R31\t");
__asm__ __volatile__ ("POP R30\t");
__asm__ __volatile__ ("POP R27\t");
__asm__ __volatile__ ("POP R26\t");
__asm__ __volatile__ ("POP R25\t");
__asm__ __volatile__ ("POP R24\t");
__asm__ __volatile__ ("POP R23\t");
__asm__ __volatile__ ("POP R22\t");
```

```

__asm__ __volatile__ ("POP R21\t");
__asm__ __volatile__ ("POP R20\t");
__asm__ __volatile__ ("POP R19\t");
__asm__ __volatile__ ("POP R18\t");
__asm__ __volatile__ ("POP __tmp_reg__\t"); //SERG 出栈并恢复
__asm__ __volatile__ ("OUT __SREG__, __tmp_reg__\t"); //
__asm__ __volatile__ ("POP __tmp_reg__\t"); //R0 出栈
__asm__ __volatile__ ("POP __zero_reg__\t"); //R1 出栈
//中断时出栈完成
__asm__ __volatile__ ("CLI\t"); //关中断
__asm__ __volatile__ ("SBRC R16,1\t"); //SBRC 当寄存器位为 0 刚跳过下一条指令
//检查是在调度时，是否有中断要求任务调度 0x02 是中断要求调度的标志位
__asm__ __volatile__ ("RJMP OSSched\t"); //重新调度
__asm__ __volatile__ ("LDI R16,0x00\t");
//清除中断要求任务切换的标志位,清除正在任务切换标志位
__asm__ __volatile__ ("RETI\t"); //返回并开中断
}

```

//从中断退出并进行调度

void IntSwitch(void)

```

{
//当中断无嵌套，并且没有在切换任务的过程中，直接进行任务切换
if(OSCoreState == 0x02 && IntNum==0)
{
//进入中断时，已经保存了 SREG 和 R0,R1,R18~R27,R30,R31
__asm__ __volatile__ ("POP R31\t"); //去除因调用子程序而入栈的 PC
__asm__ __volatile__ ("POP R31\t");
__asm__ __volatile__ ("LDI R16,0x01\t");
//清除中断要求任务切换的标志位,设置正在任务切换标志位
__asm__ __volatile__ ("RJMP Int_OSSched\t"); //重新调度
}
}

```

////////////////////////////////////任务处理

//挂起任务

void OSTaskSuspend(unsigned char prio)

```

{
TCB[prio].OSWaitTick=0;
OSRdyTbl &= ~(0x01<<prio); //从任务就绪表上去除标志位
if(OSTaskRunningPrio==prio) //当要挂起的任务为当前任务
OSSched(); //从新调度
}

```

//恢复任务 可以让被 OSTaskSuspend 或 OSTimeDly 暂停的任务恢复


```
void OSTaskResume(unsigned char prio)
{
    OSRdyTbl |= 0x01<<prio; //从任务就绪表上重置标志位
    TCB[prio].OSWaitTick=0; //将时间计时设为 0,到时
    if(OSTaskRunningPrio>prio) //当要当前任务的优先级低于重置位的任务的优先级
        OSSched(); //从新调度 //从新调度
}
```

// 任务延时

```
void OSTimeDly(unsigned int ticks)
{
    if(ticks) //当延时有效
    {
        OSRdyTbl &= ~(0x01<<OSTaskRunningPrio);
        TCB[OSTaskRunningPrio].OSWaitTick=ticks;
        OSSched(); //从新调度
    }
}
```

//信号量

```
struct SemBlk
{
    unsigned char OSEventType; //型号 0,信号量独占型; 1 信号量共享型
    unsigned char OSEventState; //状态 0,不可用;1,可用
    unsigned char OSTaskPendTbl; //等待信号量的任务列表
} Sem[10];
```

//初始化信号量

```
void OSSemCreat(unsigned char Index,unsigned char Type)
{
    Sem[Index].OSEventType=Type; //型号 0,信号量独占型; 1 信号量共享型
    Sem[Index].OSTaskPendTbl=0;
    Sem[Index].OSEventState=0;
}
```

//任务等待信号量,挂起

//当 Timeout==0xffff 时, 为无限延时

```
unsigned char OSTaskSemPend(unsigned char Index,unsigned int Timeout)
{
    //unsigned char i=0;
    if(Sem[Index].OSEventState) //信号量有效
    {
```

```

    if(Sem[Index].OSEventType==0)           //如果为独占型
        Sem[Index].OSEventState = 0x00;     //信号量被独占，不可用
    }
    else
    {
        //加入信号的任务等待表
        Sem[Index].OSTaskPendTbl |= 0x01<<OSTaskRunningPrio;
        TCB[OSTaskRunningPrio].OSWaitTick=Timeout; //如延时为 0，则无限等待
        OSRdyTbl &= ~(0x01<<OSTaskRunningPrio); //从任务就绪表中去除
        OSSched(); //从新调度
        if(TCB[OSTaskRunningPrio].OSWaitTick==0) //超时，未能拿到资源
            return 0;
    }
    return 1;
}

//发送一个信号量，可以从任务或中断发送
void OSSemPost(unsigned char Index)
{
    if(Sem[Index].OSEventType)             //当要求的信号量是共享型
    {
        Sem[Index].OSEventState=0x01;      //使信号量有效
        OSRdyTbl |= Sem[Index].OSTaskPendTbl; //使在等待该信号的所有任务就绪
        Sem[Index].OSTaskPendTbl=0;         //清空所有等待该信号的等待任务
    }
    else                                    //当要求的信号量为独占型
    {
        unsigned char i;
        for (i = 0; i < OS_TASKS && !(Sem[Index].OSTaskPendTbl & (0x01<<i)); i++);
        if(i < OS_TASKS)                   //如果有任务需要
        {
            Sem[Index].OSTaskPendTbl &= ~(0x01<<i); //从等待表中去除
            OSRdyTbl |= 0x01<<i;                 //任务就绪
        }
        else
        {
            Sem[Index].OSEventState = 1;         //使信号量有效
        }
    }
}

//从任务发送一个信号量，并进行调度
void OSTaskSemPost(unsigned char Index)
{
    OSSemPost(Index);
}

```

```
OSSched();  
}
```

//清除一个信号量,只对共享型的有用。
//对于独占型的信号量，在任务占用后，就交得不可以用了。

```
void OSSemClean(unsigned char Index)  
{  
    Sem[Index].OSEventState =0;    //要求的信号量无效  
}
```

```
void TCN0Init(void) // 计时器 0  
{  
    TCCR0 = 0;  
    TCCR0 |= (1<<CS02); // 256 预分频  
    TIMSK |= (1<<TOIE0); // T0 溢出中断允许  
    TCNT0 = 100;    // 置计数起始值  
  
}
```

```
SIGNAL(SIG_OVERFLOW0)  
{  
    IntNum++; //中断嵌套+1  
    sei(); //在中断中，重开中断
```

```
    unsigned char i;  
    for(i=0;i<OS_TASKS;i++)    //任务时钟  
    {  
        if(TCB[i].OSWaitTick && TCB[i].OSWaitTick!=0xffff)  
        {  
            TCB[i].OSWaitTick--;  
            if(TCB[i].OSWaitTick==0)    //当任务时钟到时,必须是由定时器减时的才行  
            {  
                OSRdyTbl |= (0x01<<i);    //使任务可以重新运行  
                OSCoreState|=0x02;    //要求任务切换的标志位  
            }  
        }  
    }  
    TCNT0=100;  
    cli();  
    IntNum--;    //中断嵌套-1  
    IntSwitch();    //进行任务调度  
}
```

```
unsigned char __attribute__((progmem)) proStrA[]="Task          ";

unsigned char strA[20];

SIGNAL(SIG_UART_RECV)    //串口接收中断
{
    strA[0]=UDR;
}

//////////////////////////串口发送

unsigned char *pstr_UART_Send;
unsigned int  nUART_Sending=0;

void UART_Send(unsigned char *Res,unsigned int Len) //发送字符串数组
{
    if(Len>0)
    {
        pstr_UART_Send=Res; //发送字串的指针
        nUART_Sending=Len;   //发送字串的长度
        UCSRB=0xB8;         //发送中断使能
    }
}

//SIGNAL 在中断期间，其它中断禁止

SIGNAL(SIG_UART_DATA)    //串口发送数据中断
{
    IntNum++; //中断嵌套+1,不允许中断

    if(nUART_Sending)      //如果未发完
    {
        UDR=*pstr_UART_Send; //发送字节
        pstr_UART_Send++;    //发送字串的指针加 1
        nUART_Sending--;     //等待发送的字串数减 1
    }
    if(nUART_Sending==0)   //当已经发送完
    {
        OSSemPost(0);
        OSCoreState|=0x02; //要求任务切换的标志位
    }
}
```

```
    UCSRB=0x98;
}
cli();          //关发送中断
IntNum--;
IntSwitch(); //进行任务调度
}
```

```
void UARTInit() //初始化串口
{
#define fosc 8000000 //晶振 8 MHZ UBRRL=(fosc/16/(baud+1))%256;
#define baud 9600    //波特率
    OSCCAL=0x97;      //串口波特率校正,从编程器中读出
    //UCSRB=(1<<RXEN)|(1<<TXEN); //允许发送和接收
    UCSRB=0x98;
    //UCSRB=0x08;
    UBRRL=(fosc/16/(baud+1))%256;
    UBRRH=(fosc/16/(baud+1))/256;
    UCSRC=(1<<URSEL)|(1<<UCSZ1)|(1<<UCSZ0); //8 位数据+1 位 STOP 位
    UCSRB=0xB8;
    UDR=0;
}
```

```
//打印 unsigned int 到字符串中 00000
void strPUT_uInt(unsigned char *Des,unsigned int i)
{
    unsigned char j;
    Des=Des+4;
    for(j=0;j<5;j++)
    {
        *Des=i%10+'0';
        i=i/10;
        Des--;
    }
}
```

```
void strPUT_Star(unsigned char *Des,unsigned char i)
{
    unsigned char j;
    for(j=0;j<i;j++)
    {
        *Des++='*';
    }
}
```

```
*Des++=13;
}

unsigned int strPUT_TaskState(unsigned char *Des, unsigned char TaskID, unsigned char Num)
{
    //unsigned int i=0;
    *(Des+4)='0'+TaskID;
    strPUT_uInt(Des+6,Num);
    strPUT_Star(Des+12,TaskID);
    return 12+TaskID+1;
}

void Task0()
{
    unsigned int j=0;
    while(1)
    {
        PORTB=j++;
        if(OSTaskSemPend(0,0xffff))
        {
            unsigned int m;
            m=strPUT_TaskState(strA,OSTaskRunningPrio,j);
            UART_Send(strA,m);
        }
        OSTimeDly(200);
    }
}

void Task1()
{
    unsigned int j=0;
    while(1)
    {
        PORTC=j++;
        if(OSTaskSemPend(0,0xffff))
        {
            unsigned int m;
            m=strPUT_TaskState(strA,OSTaskRunningPrio,j);
            UART_Send(strA,m);
        }
        OSTimeDly(100);
    }
}
```

```
void Task2()
{
    unsigned int j=0;
    while(1)
    {
        if(OSTaskSemPend(0,0xffff))
        {
            unsigned int m;
            m=strPUT_TaskState(strA,OSTaskRunningPrio,j);
            UART_Send(strA,m);
        }
        PORTD=j++;
        OSTimeDly(50);
    }
}

void TaskScheduler()
{
    OSSched();
    while(1)
    {
    }
}

int main(void)
{
    strcpy_P(strA,proStrA,20);
    UARTInit();
    TCN0Init();

    OSRdyTbl=0;
    IntNum=0;
    OSTaskCreate(Task0,&Stack[99],0);
    OSTaskCreate(Task1,&Stack[199],1);
    OSTaskCreate(Task2,&Stack[299],2);
    OSTaskCreate(TaskScheduler,&Stack[399],OS_TASKS);
    OSStartTask();
}
```

结束语

结束语

本文中的例子，基本上用 WinAVR 和 Proteus 调试仿真成功，一定可能存在某些方面的缺陷,因为工作上时间的压力，就没有进一步查找。

但我相信，大家通过学习，会一步步了解一个内核的具体实现形式，慢慢完善，并且最终写出一个属于自己的内核。

当掌握一定的基本知识后，再回头看看 UCOSII 和 small rts51 等，可能会有更深的体会，对进一步了解嵌入式系统和操作系统，条理会更加明析。希望本文能帮助大家做到这一点。

希望大家能够提出自己宝贵的意见，我会进行阶段性的总结，并尽可能地不断改进。

牛顿曾说过，“我能够看得更远，是因为站在巨人的肩膀上。”

希望大家都能出一份力，推动我们的嵌入式事业的进一步发展。

2006 年 1 月 14 日