嵌入式软件模型

翁恺

```c
unsigned int begin = SysTick->VAL;
unsigned int delta = SystemCoreClock/8/1000*ms;
while ( 1 ) {
    unsigned int now = SysTick->VAL;
    if ( now > begin ) {
        delta -= begin;
        begin = 0xFFFFFF;
    }
    if ( begin - now >= delta ) {
        break;
    }
}
```

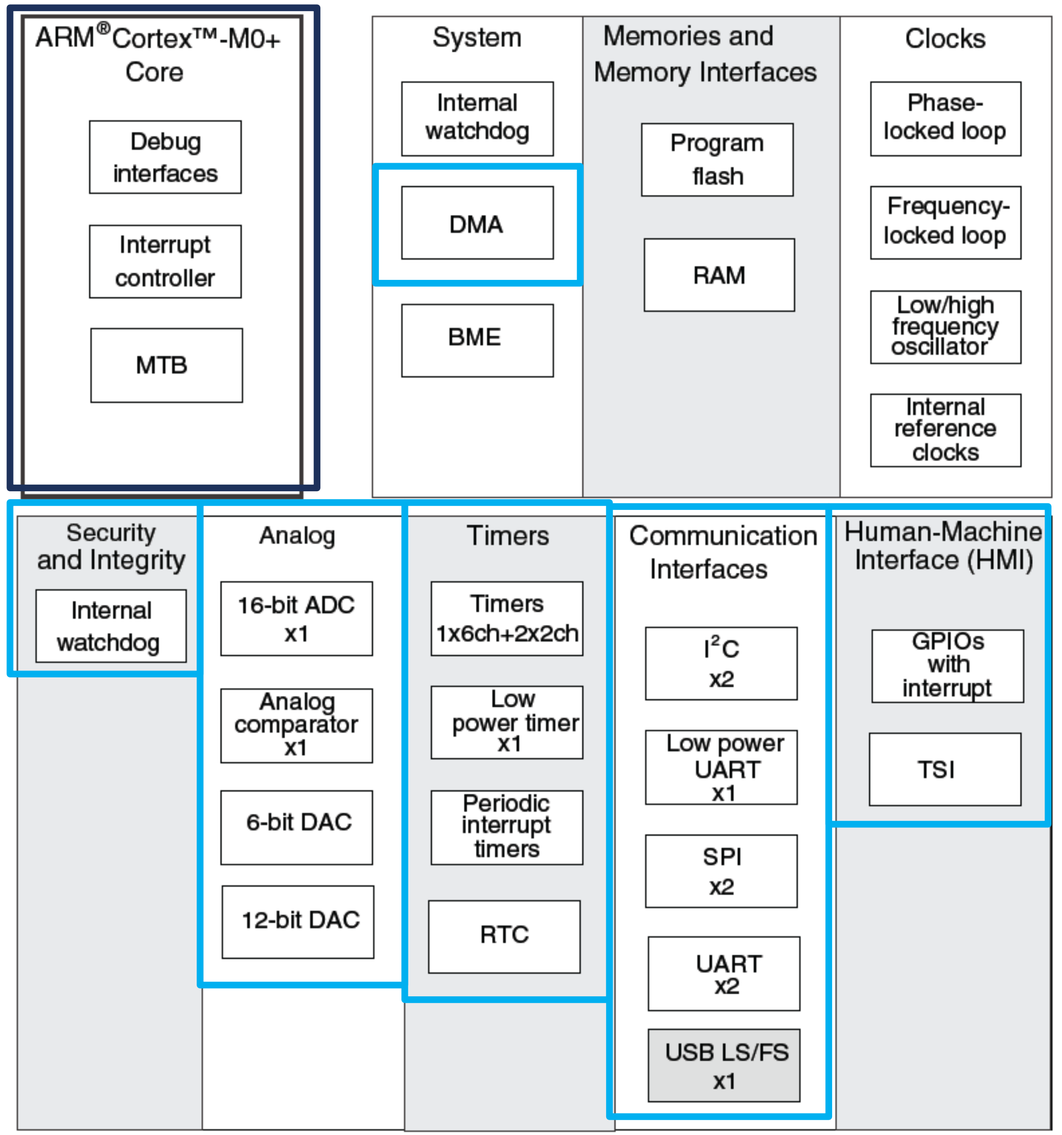
- SysTick是一个功能部件，每一个时钟周期，它的VAL会减一
- 为什么下方的代码偶尔会失败

```c
unsigned int begin = SysTick->VAL;
unsigned int delta = SystemCoreClock/8/1000*ms;
while ( 1 ) {
    if ( SysTick->VAL > begin ) {
        delta -= begin;
        begin = 0xFFFFFF;
    }
    if ( begin - SysTick->VAL >= delta ) {
        break;
    }
}
```

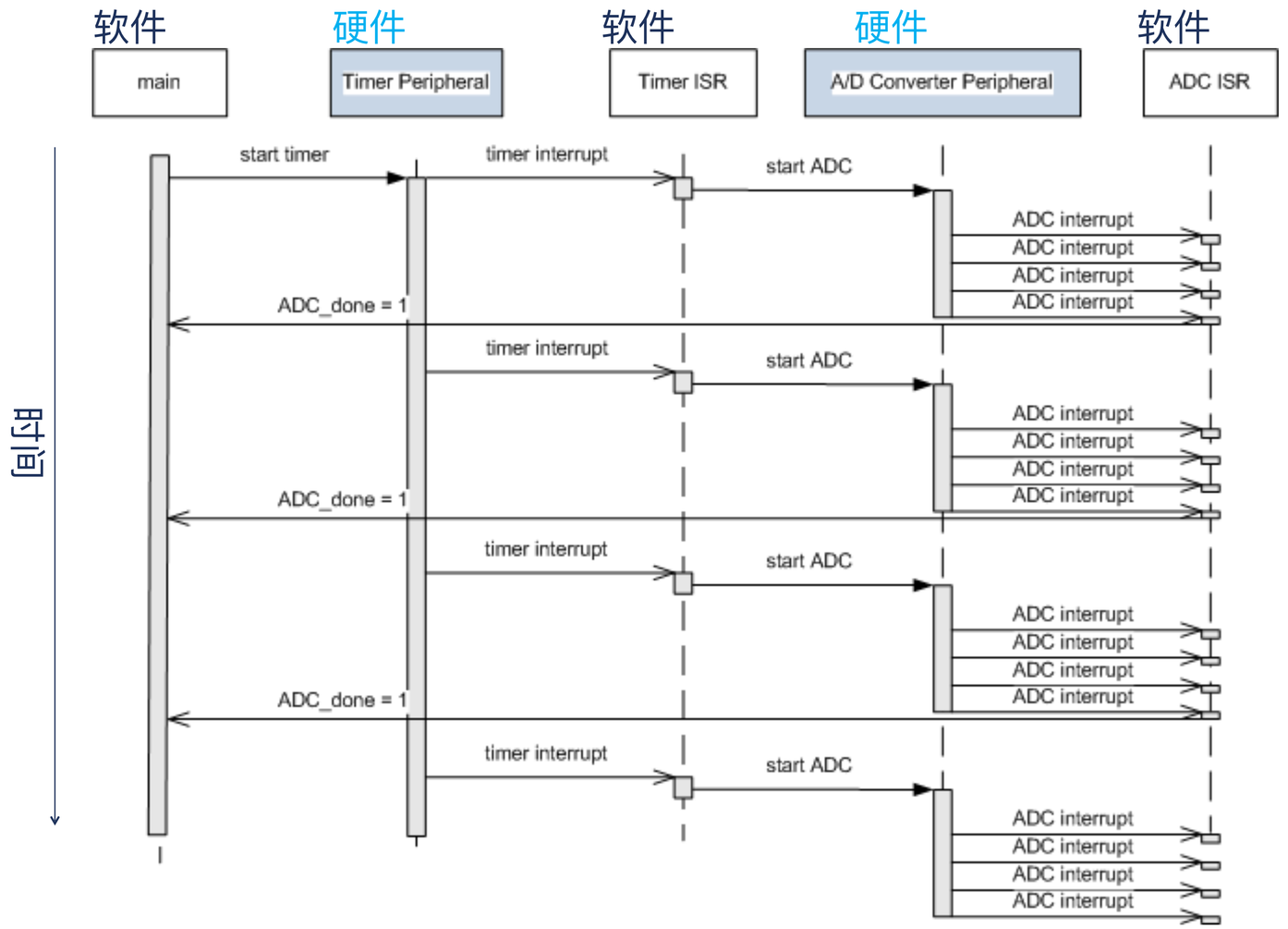
嵌入式软件特点

支持并行的MCU硬件和软件

- CPU执行一个或多个线程的指令
- 特殊的硬件外围部件实现专门的并行处理
  - DMA – 在内存和外围器件之间传输数据
  - 看门狗定时器
  - 模拟接口
  - 定时器
  - 与其他器件通信
  - 检测外部信号事件
- 外围部件用中断来通知CPU事件的发生



并行的硬件和软件操作



- 嵌入式系统既依赖硬件和外围部件也依赖软件来保证一切按时完成

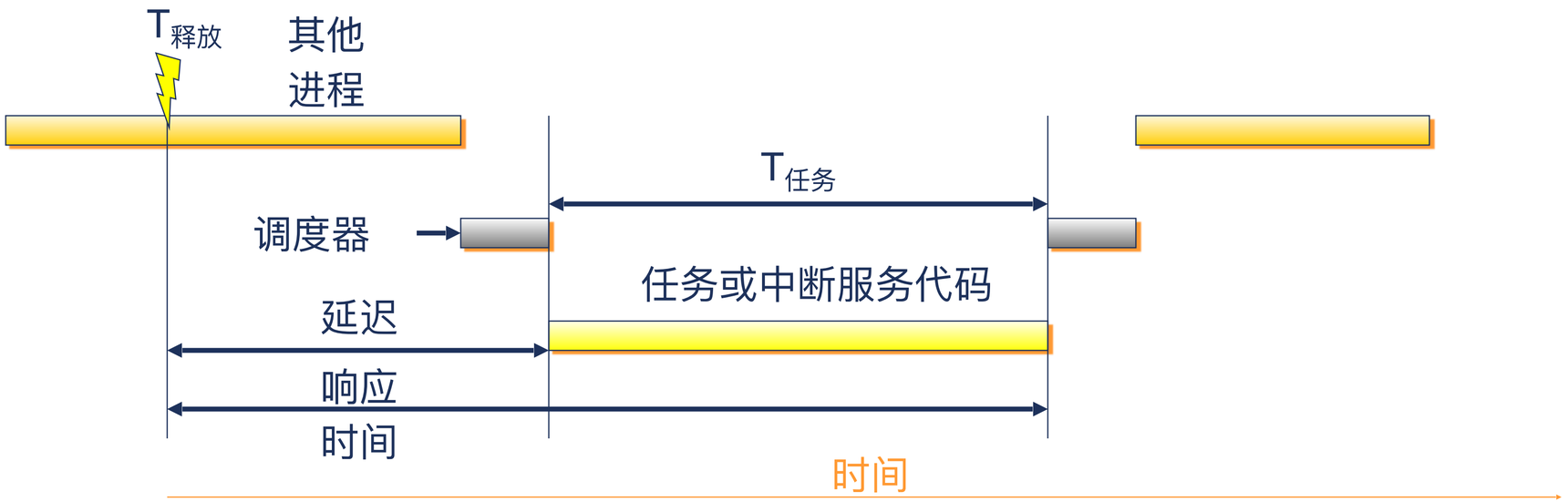
嵌入式vs单片机

- 单片机课程关注具体外设部件的使用
- 嵌入式课程关注软件架构和编程模型

CPU调度

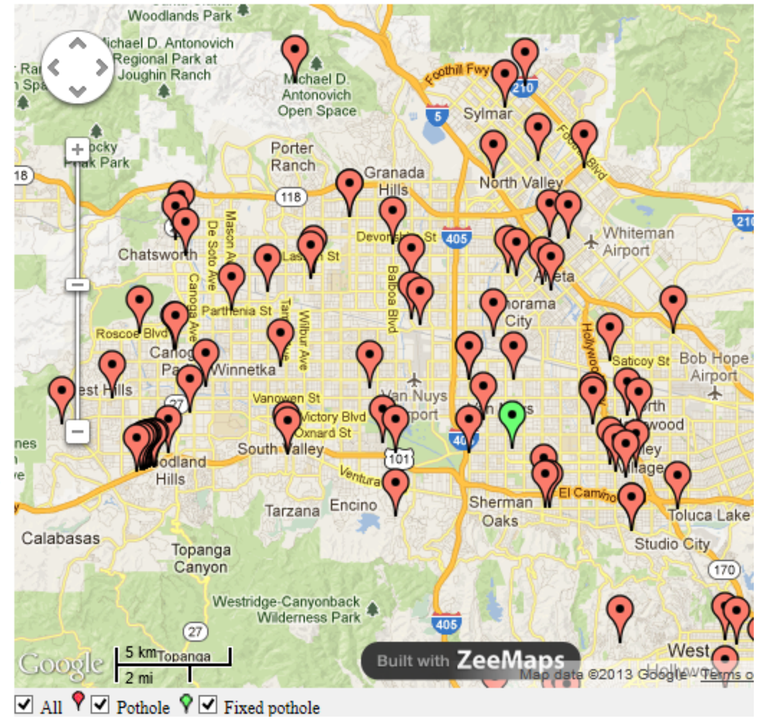
- **MCU的中断系统实现了基本的CPU调度方法**
  - “每次这个硬件事件发生的时候就运行这个子程序”
  - 适用于简单系统
- **更复杂的系统需要支持多个独立的线程并行执行**
  - 用任务调度器来共享CPU
  - 有不同的任务调度方法
- **如何让处理器是有响应的？（如何能让它在正确的时间做正确的事情？）**
  - 如果要运行的软件线程比硬件处理器多，就需要共享处理器了。

定义



- $T_{释放}$ (i) = 任务（或中断）i请求服务/已经释放/就绪可以运行的时刻
- $T_{延迟}$ (i) = 在释放CPU和任务i开始运行之间的时间
- $T_{响应}$ (i) = 任务i请求服务到完成之间的时间
- $T_{任务}$(i) = 实现任务i的计算所需的时间
- $T_{中断服务}$(i) = 完成中断服务程序i所需的时间

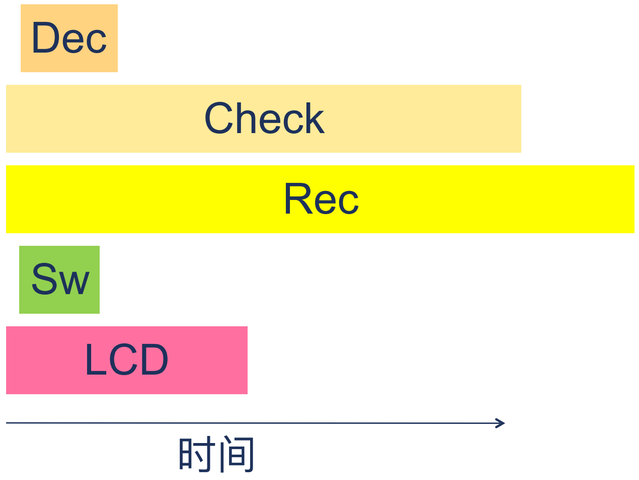
更复杂的应用



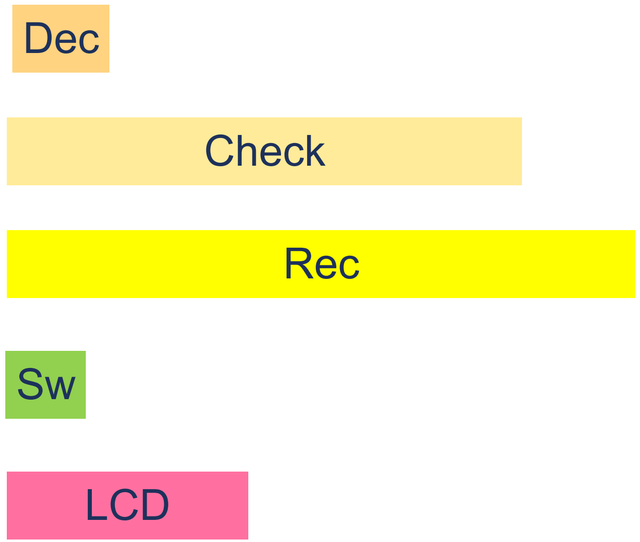
- **基于GPS的坑洼告警和移动地图**
  - 当靠近坑洼时发出声音报警
  - 在LCD上显示车辆位置
  - 同时记录车辆位置数据
  - 硬件：GPS、用户开关、扬声器、LCD、闪存

应用系统的软件任务

- Dec: 解码GPS输出来获得车辆当前的位置；
- Check: 检查是否靠近某个坑洼的位置。当数据库中的坑洼数量增加时这一步会花更长时间；
- Rec: 把位置记录到闪存中，如果要删除区块会花更长的时间；
- Sw: 读用户输入开关。每秒运行10次；
- LCD: 更新LCD上的地图，每秒运行4次。



如何调度这些任务?



- 任务调度：决定现在应该运行哪个任务
- 两个基础问题
  - 是否每次都以相同的顺序运行这些任务?
    - 是：静态调度（轮流执行、轮换执行）
    - 否：动态、有优先级的调度
  - 一个任务是否可以抢占其他任务，还是必须等待别人完成?
    - 是：抢占式
    - 否：非抢占式（协作、运行到结束再切换）

轮询

轮询

- 整个程序就是一个循环
- 程序按顺序检查每一个需要关心的I/O设备，完成每一件需要完成的工作

任务

- 轮询模式下，会将循环中的代码分解为多个任务
- 每个任务有确定的执行时间（延迟）和执行周期
- 整个循环有确定的执行时间也即执行周期

静态调度（轮流执行）


```
while (1){
    Dec();
    Check();
    Rec();
    Sw();
    LCD();
}
```

轮询程序的特点

- 延时（定时）通过循环实现
- IO操作通过循环等待来确定完成
  - 串口
  - ADC

轮询的优势

- 程序逻辑简单直观
- 不使用中断
  - 系统执行的时间是可预计的
  - 系统执行所需的内存是可预计的
  - 没有共享数据冲突的风险

轮询的问题

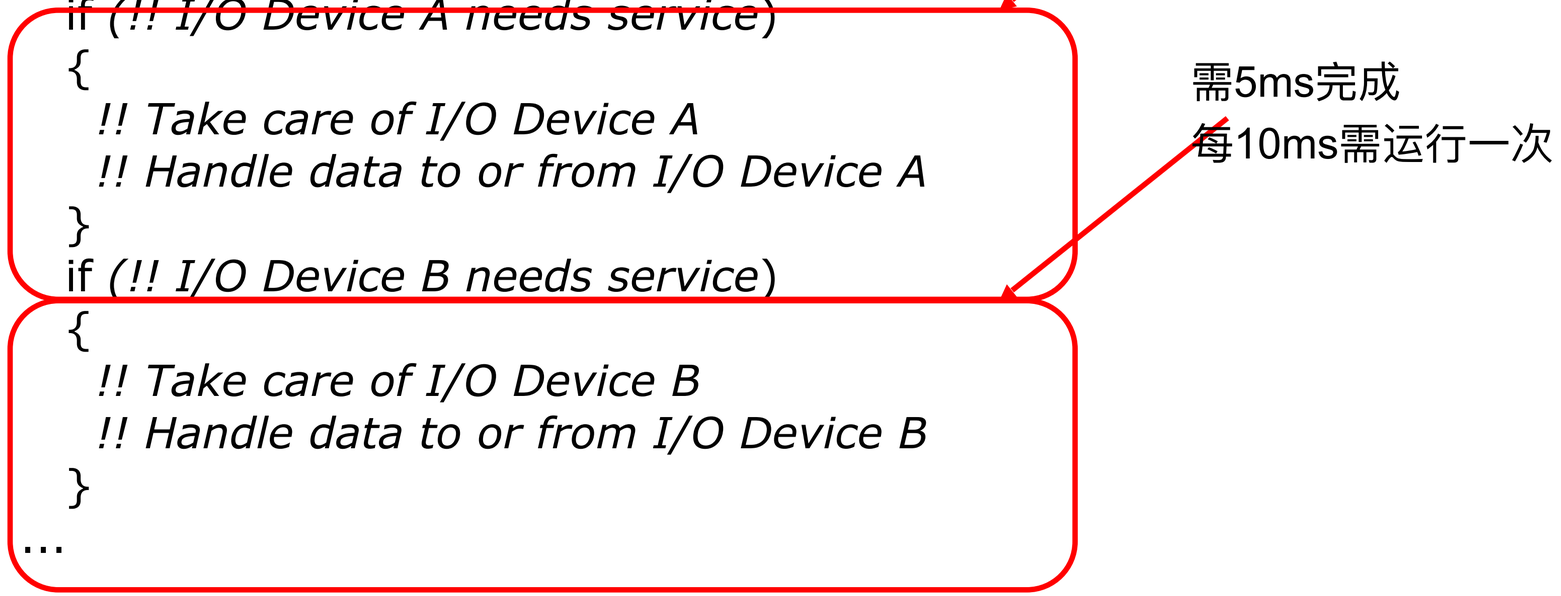
- 无法对外部事件作出及时响应

轮询的问题

- 如果一个设备需要的最长响应时间小于程序循环一次的时间，轮询模型就无法满足要求。
- 例如下面例子中，设备Z需要至少7ms访问一次，而设备A和B访问的时间都为5ms，轮询无法满足这样的设计。

轮询的问题

```
void main(void)
{
  while(TRUE)
  {
    if (!! I/O Device A needs service)
    {
      !! Take care of I/O Device A
      !! Handle data to or from I/O Device A
    }
    if (!! I/O Device B needs service)
    {
      !! Take care of I/O Device B
      !! Handle data to or from I/O Device B
    }
...
```



静态调度的例子

- **如果在Rec刚好开始运行的时候收到GPS数据会怎样?**
- **延迟**
  - 必须等待Rec、Sw、LCD完成才能在Dec阶段开始解码位置数据;
  - 必须等待Rec、Sw、LCD、Dec、Check完成才能知道是否靠近一个坑!

轮询的问题

- 一个工作如果需要很长时间完成，后续的工作必须等待其完成后才能执行
- 十分脆弱。即使通过努力让系统满足性能要求，但是只要增加一个新的功能或者访问一个新的设备，就可能让系统不再满足性能要求
- 紧急的任务得不到优先处理

轮询适用的产品

- 不需要对外部事件作出及时响应的产品
  - 如万用表、电风扇
- 或不能接受执行过程未知的产品
  - 如早期的卫星

时间驱动

时间驱动模式

- 将整个工作分解为若干个任务，确定每个任务所需的时间和周期
- 开启定时器中断，以定时器中断来调用相应时间结点上的任务

时间驱动模式2

- 将所有的任务分解为若干个小的阶段，让每个阶段所需的时间等长
- 以定时器中断来轮流执行每个小阶段

时间驱动模式

- 能保证任务在规定的时间节点上得到运行
- 能实现任务的轮流运行
- 实现方式复杂，任务间协调麻烦
  - 没有OS的时间片轮转

前后台

前后台

- 中断用来处理硬件的紧急请求，并设置相应的操作标识
- 主循环轮询这些标识，进行后续处理
- 前后台?
  - 主循环是前台：是主动执行的代码
  - 主循环是后台：是默默执行的代码

用中断实现轮转执行

- 两个优先级
  - main代码—前台
  - 中断——后台
- 一个前/后台系统的例子
- 主的用户代码在前台运行
- 中断程序在后台运行（高优先级）
  - 一旦触发则运行
  - 处理大多数紧急的工作
  - 设置标志要求前台主循环做处理

```
BOOL DeviceARequest, DeviceBRequest,
DeviceCRequest;
void interrupt HandleDeviceA(){
  /* 做A的紧急工作 */
  ...
  DeviceARequest = TRUE;
}
void main(void) {
  while (TRUE) {
    if (DeviceARequest) {
      FinishDeviceA();
    }
    if (DeviceBRequest) {
      FinishDeviceB();
    }
    if (DeviceCRequest) {
      FinishDeviceC();
    }
  }
}
```

前后台

```
BOOL fDeviceA = FALSE;
BOOL fDeviceB = FALSE;
...
BOOL fDeviceZ = FALSE;

void main(void)
{
 if (fDeviceA)
  {
    fDeviceA = FALSE;
    !! Handle data to and from I/O device A
  }
 if (fDeviceB)
  {
    fDeviceB = FALSE;
    !! Handle data to and from I/O device B
  }
…
 if (fDeviceZ)
  {
    fDeviceZ = FALSE;
    !! Handle data to and from I/O device Z
  }
  !! do other jobs
}
```

```
void interrupt HandleDeviceA(void)
{
  !! Take care of I/O device A
  fDeviceA = TRUE;
}

void interrupt HandleDeviceB(void)
{
  !! Take care of I/O device B
  fDeviceB = TRUE;
}

...
void interrupt HandleDeviceZ(void)
{
  !! Take care of I/O device Z
  fDeviceZ = TRUE;
}
```

前后台程序的特点

- 延时通过定时器中断实现
  - 在大小循环中查看定时标识
- 不在主循环中做外设的等待
  - 由等待外设完成变成等待中断置标志
  - 这样的等待可以化解到大循环中（等待的同时可以做其他任务）

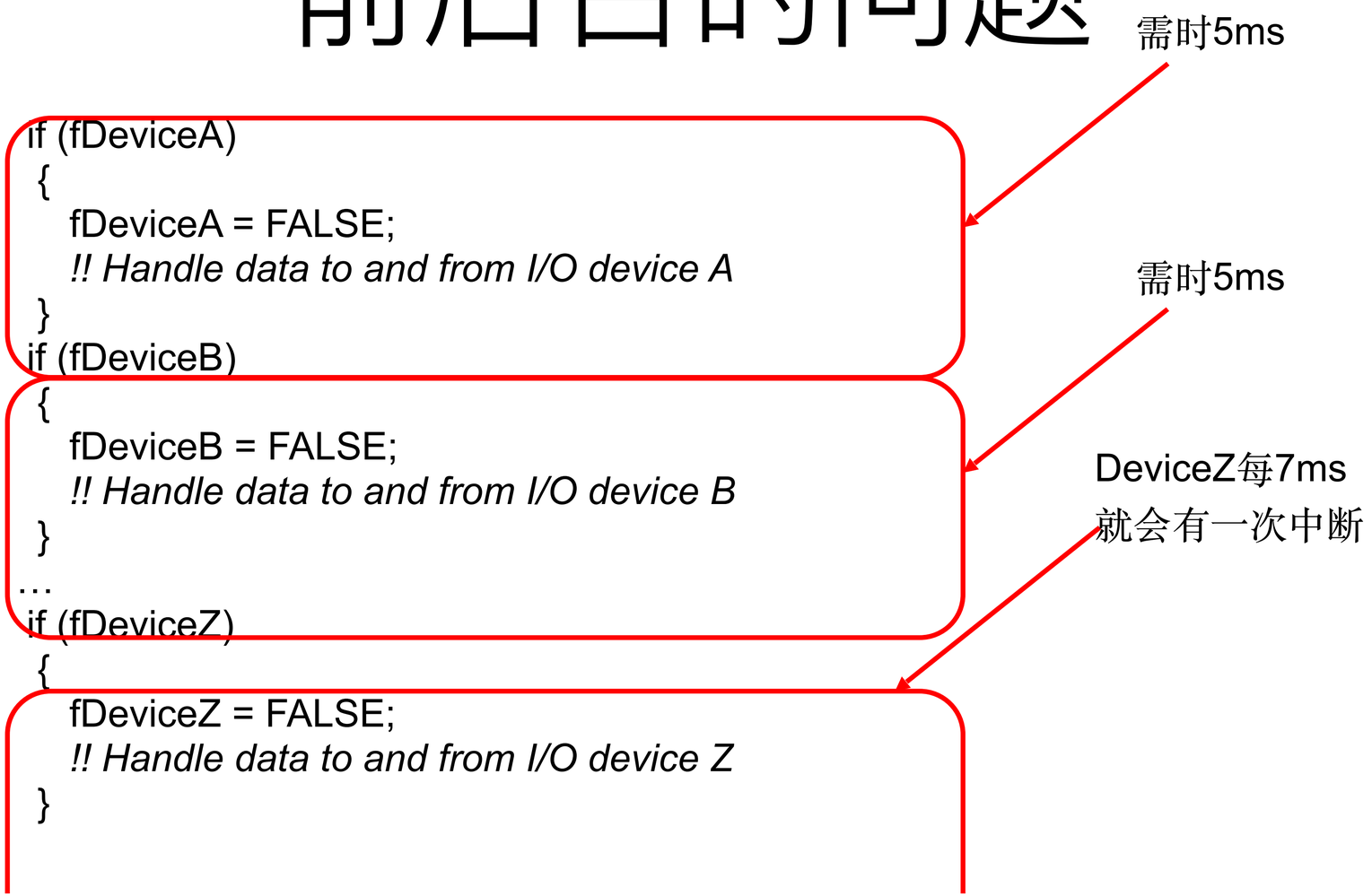
前后台的优点

- 紧急任务可以放在中断中优先处理
- 大量计算的任务放在主循环，对其他任务的影响被减轻了
- 任务被分隔在中断处理程序和主循环中，代码更加清晰
- 当设备没有产生中断时，就无需查询和等待，节省了处理时间

前后台的困难

- 对CS人存在编程习惯问题
- 共享数据存在冲突问题
- 仍然无法保证重要且具有大计算量的任务优先完成
- 被认为是轮询的变种，只是用中断解决了在轮询中等待的问题

前后台的问题



- 解决方案是将AB任务展开，在AB任务中做Z的标识检查和Z任务的执行

前后台模式下的优先级

- 主循环可以增加高优先级任务的标识检查机会

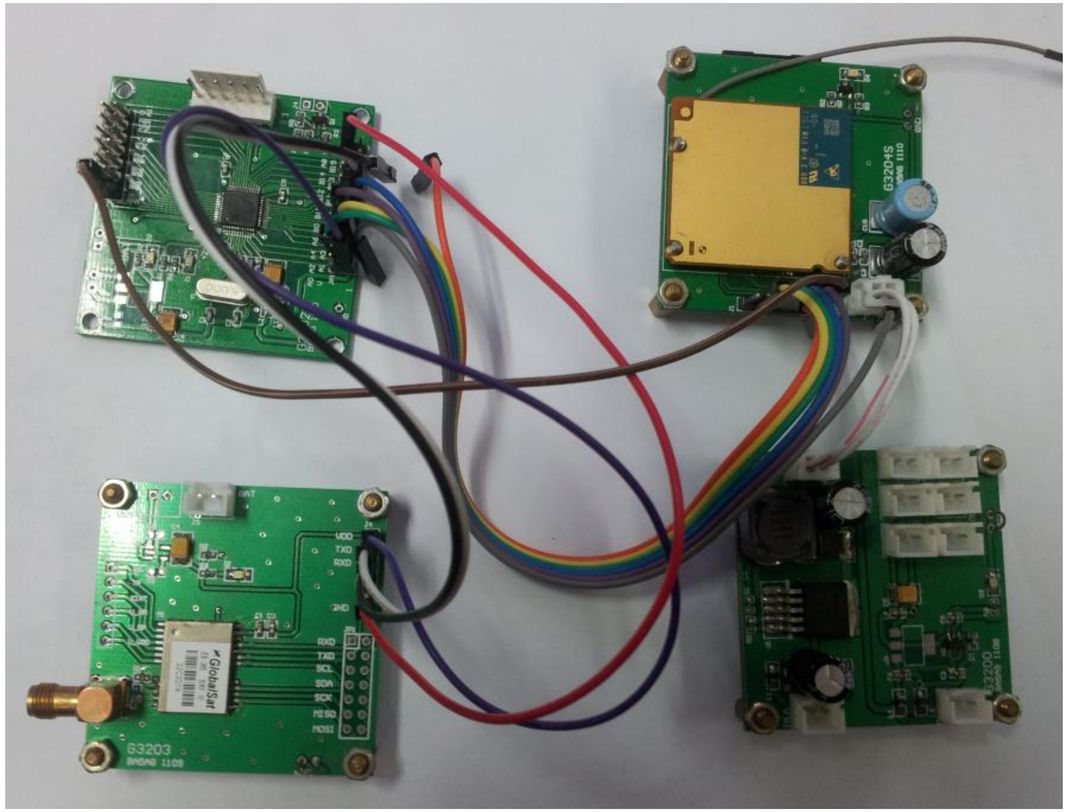
前后台适用的产品

- 大量MCU产品使用前后台模式
- EE的最爱

例子：车载定位器

CPU

GPS



GPRS

电源

前后台

- 前台：
  - 初始化之后—>infinite loop
- 后台：
  - 两个串口中断
  - 定时器中断

前台

- 连接服务器
- 读GPS数据
- 如果GPS数据有效
  - 亮绿灯
  - 符合发送数据条件？发送
- 如果各种时间到，做相应的操作
- 喂狗

后台

- 串口中断1：读GPS数据
- 串口中断2：GPRS模块
- 定时器中断：1秒一次

GPS数据

- NMEA-1083
- 每秒一次数据
- 文本，$开头
- 有多种语句，一般只考虑GPRMC

```
$GPGLL,3015.68511,N,12006.96848,E,043352.00,A,A*68
$GPRMC,043353.00,A,3015.68510,N,12006.96849,E,0.028,,280414,,,A*71
$GPVTG,,T,,M,0.028,N,0.051,K,A*2D
$GPGGA,043353.00,3015.68510,N,12006.96849,E,1,03,3.19,-6.9,M,7.2,M,,*43
$GPGSA,A,2,25,31,14,,,,,,,,,,3.34,3.19,1.00*0D
$GPGSV,1,1,03,14,66,081,36,25,43,042,44,31,51,310,37*45
$GPGLL,3015.68510,N,12006.96849,E,043353.00,A,A*69
$GPRMC,043354.00,A,3015.68506,N,12006.96848,E,0.057,,280414,,,A*78
$GPVTG,,T,,M,0.057,N,0.106,K,A*26
$GPGGA,043354.00,3015.68506,N,12006.96848,E,1,03,3.19,-7.4,M,7.2,M,,*4E
$GPGSA,A,2,25,31,14,,,,,,,,,,3.34,3.19,1.00*0D
$GPGSV,1,1,03,14,66,081,36,25,43,042,44,31,51,310,37*45
$GPGLL,3015.68506,N,12006.96848,E,043354.00,A,A*68
$GPRMC,043355.00,A,3015.68501,N,12006.96845,E,0.527,,280414,,,A*71
$GPVTG,,T,,M,0.527,N,0.976,K,A*2B
$GPGGA,043355.00,3015.68501,N,12006.96845,E,1,03,3.19,-6.8,M,7.2,M,,*48
$GPGSA,A,2,25,31,14,,,,,,,,,,3.34,3.19,1.00*0D
$GPGSV,1,1,03,14,66,081,36,25,43,042,44,31,51,310,37*45
$GPGLL,3015.68501,N,12006.96845,E,043355.00,A,A*63
$GPRMC,043356.00,A,3015.68502,N,12006.96846,E,0.652,,280414,,,A*73
$GPVTG,,T,,M,0.652,N,1.207,K,A*26
$GPGGA,043356.00,3015.68502,N,12006.96846,E,1,03,3.19,-7.0,M,7.2,M,,*42
$GPGSA,A,2,25,31,14,,,,,,,,,,3.34,3.19,1.00*0D
$GPGSV,1,1,03,14,66,081,36,25,43,042,44,31,51,310,37*4
```

1秒的数据

$GPGGA,043434.00,3015.68487,N,12006.96918,E,1,03,3.15,-12.0,M,7.2,M,,*7F
$GPGSA,A,2,25,31,14,,,,,,,,,,3.30,3.15,1.00*05
$GPGSV,1,1,03,14,66,082,36,25,43,042,43,31,51,310,37*41
$GPGLL,3015.68487,N,12006.96918,E,043434.00,A,A*65
$GPRMC,043435.00,A,3015.68486,N,12006.96917,E,0.408,,280414,,,A*74
$GPVTG,,T,,M,0.408,N,0.756,K,A*2B

GPRMC

- <消息 ID>,<UTC 时间>,<数据有效性状态>,<纬度>,<南北指示>,<经度>,<东西指示>,<运动速度>,<运动方向>,<UTC 日期>,<磁场变动>,<数据模式>,<校验和><行尾>

- $GPRMC,004319.00,A,3016.98468,N,12006.39211,E,0.047,,130909,,,D*79

在PC上如何做?

- $GPRMC,004319.00,A,3016.98468,N,12006.39211,E,0.047,,130909,,,D*79

- scanf

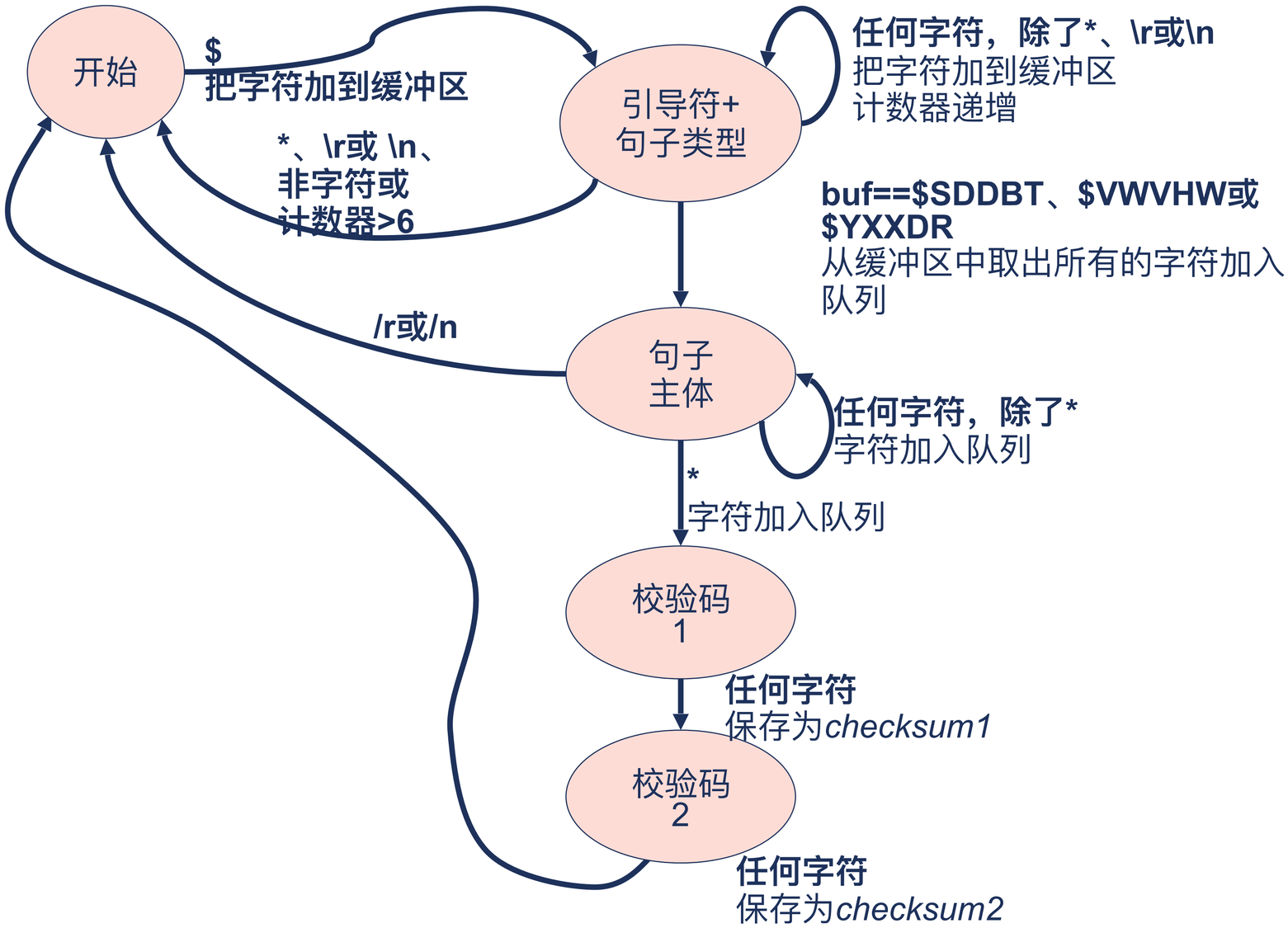
```
if ( strncmp(buf, "$GPRMC,",7) == 0 )
  sscanf(buf,"%*[^,],%[^,],%[^,],%[^,],%[^,],%[^,],%[^,],%[^,],%[^,],%[^,]",
  sTime,sAV,sLati,&sNW,sLong,&sEW,sSpeed,sAngle,sDate);
```

- 从键盘到你的程序的scanf，究竟有多远?

嵌入式系统如何做?

- 是否可以和PC一样，实现一个环形缓冲区，中断往环缓里填，主程序在需要的时候读
- 问题：
  - 多大合适？GPS数据大量是无用的
  - 大了浪费，小了，很容易读不到所需的头

解析NMEA-0183的状态机



串口状态机

- 是很多嵌入式系统的选择
  - 所需内存小，运行效率高
  - 需要为每种协议设计专门的中断响应程序
  - 代码较为复杂

GPRS接口

- 西门子MC52i
- 内置TCP/IP协议栈
  - GPRS上的socket通信是一种代理方式
  - tcp的链路保持是由GSM信令实现而非socket层
- AT指令接口

AT指令

- DTE向DCE主动发送指令
- 指令以AT开头
  - AT+CSMS=1
- DCE回答结果，并以OK或ERROR结束
- 所有的通信都是文本的，以0D0A结束

状态机 vs 环缓

- 通信具有明显的write-read模式
- DCE的回答是可控可预期的，而且没有不需要的内容
- 采用环缓能有助于简化代码

环缓代码

```
uartBuf[1][uartPtrPut[1]] = U1RBR;
if ( uartIsEcho[1] )
        U0THR = uartBuf[1][uartPtrPut[1]];

PTR_INC(uartPtrPut[1]);
if ( uartPtrPut[1] == uartPtrGet[1] ) {
        PTR_INC(uartPtrGet[1]);
}
```

有了环缓就像PC

```
int uartGetChar(int port);
void uartPutChar(int port, char c);
int uartPeek(int port);
void uartPushback(int port);
int uartHasNewLine(int port);
int uartReadLine(int port, char* buf, int maxlen);
void uartWriteLine(int port, char* buf);
void uartPrintln(int port, char* buf);
void uartPrintf(int port, const char *fmt, ...);
```

轮询 vs 主动通知

- GPRS模块可以配置为具有主动通知功能，在特定的事件发生时会主动向DTE发出文本
  - 收到短信、网络连接断开
- 传统设计认为主动通知比轮询好，因为轮询不够及时
- 但是通知会夹杂在AT和回答之间，使得DTE的逻辑复杂
- 所以我们宁愿采用发送AT指令轮询来获得这些事件的消息

定时器

- 硬件上通常具有多个定时器
- 程序逻辑上需要定时器用于：
  - 等待一定时间后再做某事
  - 某个等待（如串口的回答）不能超时
  - 一定时间后需要做某事（不等待）

EE vs CS

- EE习惯为每一个定时需要开启一个硬件定时器
  - 定时器时间到了产生中断，中断响应程序去做事，或设标志，在主程序中读到标志做事
- CS习惯用一个硬件定时器产生时间，在每个时间节拍判断有什么挂着要做的事情的时间到了
  - 因为1970年代的PDP11只有一个硬件定时器!

STM32 F0 SERIES - ARM CORTEX™-M0 ENTRY-LEVEL MCUS

Part number	Flash size (Kbytes)	Internal RAM size (Kbytes)	Package	Timer functions		ADC	DAC	I/Os	Serial interface						
				16-/32-bit timers	Others				SPI	I²S	I²C	USART	CEC	USB FS	CAN 2.0B
STM32F051C4	16	4	LQFP48	7x16-bit / 1x32-bit	2 x WDG, RTC, 24-bit downcounter	13x12-bit	1x12-bit	39	1	1	1	1	1		
STM32F051K4	16	4	UFQFPN32	7x16-bit / 1x32-bit		13x12-bit	1x12-bit	27	1	1	1	1	1		
STM32F051R4	16	4	LQFP64	7x16-bit / 1x32-bit		19x12-bit	1x12-bit	55	1	1	1	1	1		
STM32F051C6	32	4	LQFP48	7x16-bit / 1x32-bit		13x12-bit	1x12-bit	39	1	1	1	2	1		
STM32F051K6	32	4	UFQFPN32	7x16-bit / 1x32-bit		13x12-bit	1x12-bit	27	1	1	1	2	1		
STM32F051R6	32	4	LQFP64	7x16-bit / 1x32-bit		19x12-bit	1x12-bit	55	1	1	1	2	1		
STM32F051C8	64	8	LQFP48	7x16-bit / 1x32-bit		13x12-bit	1x12-bit	39	2	1	2	2	1		
STM32F051K8	64	8	UFQFPN32	7x16-bit / 1x32-bit		13x12-bit	1x12-bit	27	1	1	1	2	1		
STM32F051R8	64	8	LQFP64	7x16-bit / 1x32-bit		19x12-bit	1x12-bit	55	2	1	2	2	1		
STM32F071V8	64	16	LQFP100	9x16-bit / 1x32-bit		19x12-bit	1x12-bit	87	2	1	2	4	1		
STM32F071CB	128	16	LQFP48	9x16-bit / 1x32-bit		13x12-bit	1x12-bit	37	2	1	2	4	1		
STM32F071RB	128	16	LQFP64	9x16-bit / 1x32-bit		19x12-bit	1x12-bit	51	2	1	2	4	1		
STM32F071VB	128	16	LQFP100	9x16-bit / 1x32-bit		19x12-bit	1x12-bit	87	2	1	2	4	1		
STM32F0x2 line - 48 MHz CPU with USB															
STM32F042C4	16	6	LQFP48 WLCSP49	5x16-bit / 1x32-bit	2 x WDG, RTC, 24-bit downcounter	10x12-bit		38	2	2	1	2	1	1	1
STM32F042F4	16	6	TSSOP20	5x16-bit / 1x32-bit		10x12-bit		16	2	2	1	2	1	1	1
STM32F042G4	16	6	UFQFPN28	5x16-bit / 1x32-bit		10x12-bit		24	2	2	1	2	1	1	1

```
struct timerr
{
        int raw;            //      设定值，对于动态分配的定时器，0表示未分配
        int now;            //      当前计数值，-1表示未启动
        int enable;         //      是否已经被触发（计数
};
```

```
void __irq IRQ_TIMER0 (void)
{
        int i;
        for(i=0;i<NUM_TIMERS;i++) {
                if(freq[i].now>0) {
                        freq[i].now--;
                        if(freq[i].now==0) {
                                freq[i].enable=1;
                                freq[i].now=freq[i].raw;
                        }
                }
        }
        T0IR=0x01;
        VICVectAddr=0x00;
}
```

```
timerConfig(TIMER_SHELL, 20);   //      20s
timerStart(TIMER_SHELL);

while ( ( ch = uartGetChar(UART0) ) != '~' ) {
        if ( ch == '$' )
                goto EXIT;
        if ( timerIsSet(TIMER_SHELL) )
                goto EXIT;
}
```

中断驱动

用中断做事件触发的调度

- **基础体系结构，对于简单低功耗设备有用**
  - 非常少的代码或额外时间开销
- **中断系统内置的任务分派机制的作用**
  - 可以用输入变化、定时器到时、UART收到数据、模拟数据电平跨越比较器阈值等来触发中断响应程序（ISR）
- **函数类型**
  - 主函数配置好系统就去睡眠
    - 如果被中断了，它还会回去继续睡眠
  - 只用中断来做正常的程序操作
- **例子：自行车码表**
  - Int1: 钢圈旋转
  - Int2: 模式按钮
  - Int3: 时钟
  - Output: 液晶屏

自行车码表功能

启动

```
配置定时器、
输入和
输出

cur_time = 0;
rotations = 0;
tenth_miles = 0;

while (1) {
  sleep;
}
```

ISR 1: 钢圈旋转

```
rotations++;
if (rotations>
  R_PER_MILE/10) {
  tenth_miles++;
  rotations = 0;
}
speed =
 circumference/
 (cur_time – prev_time);
计算avg_speed;
prev_time = cur_time;
从中断返回
```

ISR 2: 模式按钮

```
mode++;
mode = mode %
   NUM_MODES;
从中断返回
```

ISR 3: 时间定时器

```
cur_time ++;
lcd_refresh--;
if (lcd_refresh==0) {
 转换tenth_miles
    并显示
 转换speed
    并显示
  if (mode == 0)
    转换cur_time
      并显示
  else
    转换avg_speed
      并显示
  lcd_refresh =
     LCD_REF_PERIOD
}
```

中断驱动的特点

- 没有主循环，大量时间睡眠，功耗低
- 编程模型类似事件驱动的GUI程序
- 通过中断优先级和中断嵌套实现不同任务之间的协调
- 适用于功能任务简单，任务之间冲突机会小，空闲时间多的产品
- 不适合任务间存在冲突可能的产品

动态队列

动态执行队列

- 将处理的各个功能编写成函数的形式
- 中断产生时，将相应的处理函数的指针放入队列中
- 主循环不断的读取队列，取出函数指针并调用该函数

动态执行队列

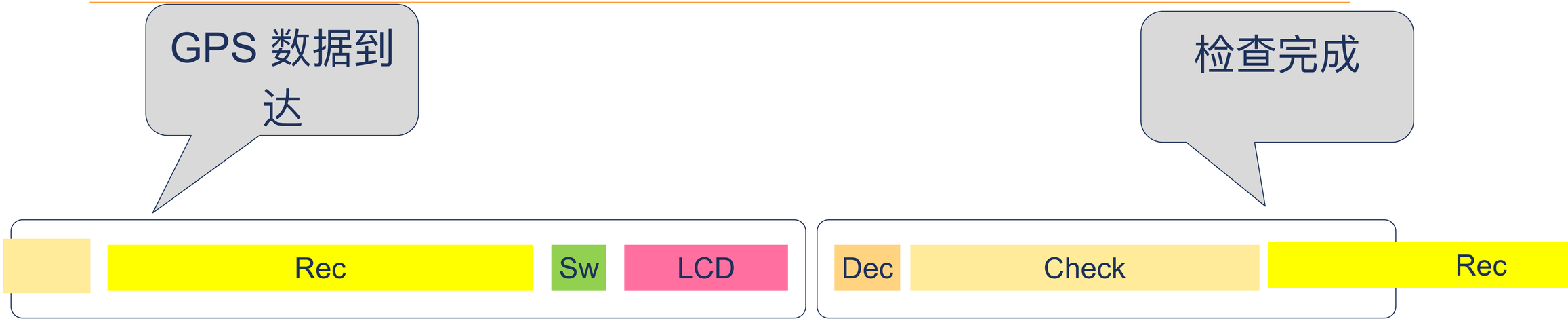
```
Queue functionsQueue;

void main(void)
{
  while(TRUE)
  {
    while(QueueHasItems(functionsQueue))
      !! Call first function on queue
      !! Remove the function from queue
  }
}
```

```
void interrupt HandleDeviceA(void)
{
  !! Take care of Device A
  QueueAppend(functionsQueue, FunctionA);
}
void interrupt HandleDeviceB(void)
{
  !! Take care of Device B
  QueueAppend(functionsQueue, FunctionB);
}

void FunctionA(void)
{
  !! Handle actions required by device A
}
void FunctionA(void)
{
  !! Handle actions required by device A
}
```

轮询

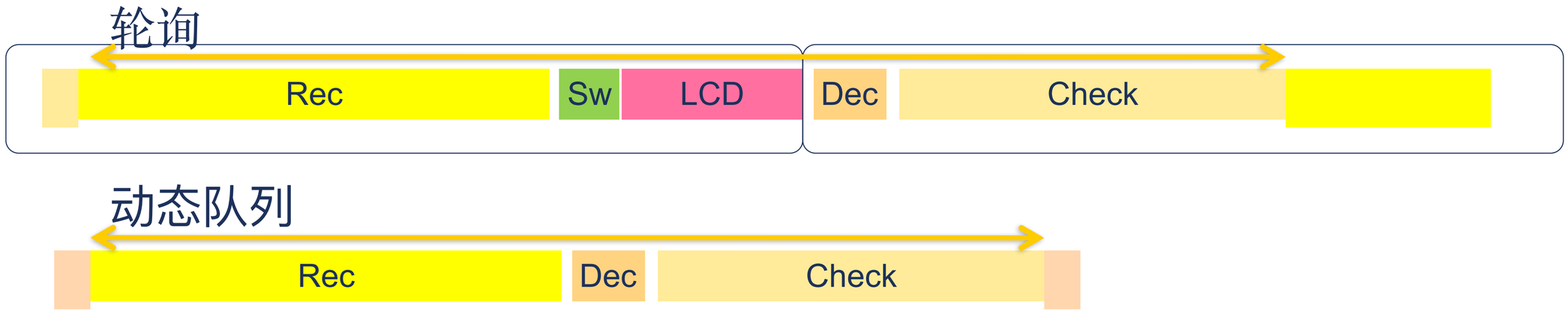


- 如果在Rec刚好开始运行的时候收到GPS数据会怎样?
- 延迟
  - 必须等待Rec、Sw、LCD完成才能在新的一轮中开始解码位置数据
  - 必须等待Rec、Sw、LCD、Dec、Check完成才能知道是否靠近一个坑

动态执行队列

- **如果在Rec刚好开始运行的时候收到GPS数据会怎样?**
- **延迟**
  - 等待Rec完成后就能启动Dec开始解码位置数据
  - 等待Rec、Dec、Check完成就能知道是否靠近一个坑

响应时间的比较



- 优点
  - 动态队列有更好的响应时间
    - 可以做更多的处理（支持更多的坑洼数据或更高的车辆速度）；
    - 或可以用更低的处理器速度、节省内存、降低功耗

动态队列的优点

- 主函数可以按照任何优先级策略来调用队列中的函数
  - 或中断函数可以以任何策略来插入函数
- 高优先级的功能能得到更多的CPU资源
  - 在轮询中每一轮主循环，高优先级的功能只能得到一次执行机会
- 与此相对，低优先级的功能将获得更少的CPU资源，甚至有可能饿死

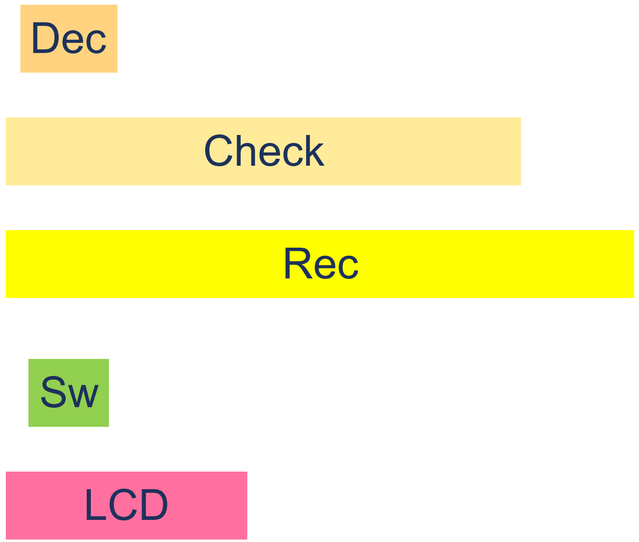
动态队列的缺点

- 如果某个低优先级的功能执行时间很长的话，一旦这个功能被执行，高优先级的功能就需要等待很长时间才能执行
- 编程复杂，接近于自己实现一个OS了

问题

- 上面提到的四种模型始终没有很好解决高优先级功能响应速度的问题：
  - 在轮询和前后台模型中，高优先级的功能一轮只获得一次执行机会
  - 在动态队列模型中，如果耗时的低优先级的功能已经开始执行了，那么高优先级的功能只有等待其执行完毕才能获得CPU
- 理想的模型应该让高优先级的功能只要想执行就能获得CPU，尽量提高其响应速度

如何调度这些任务?



- 任务调度：决定现在应该运行哪个任务
- 两个基础问题
  - 是否每次都以相同的顺序运行这些任务?
    - 是：静态调度（轮流执行、轮换执行）
    - 否：动态、有优先级的调度
  - 一个任务是否可以抢占其他任务，还是必须等待别人完成?
    - 是：抢占式
    - 否：非抢占式（协作、运行到结束再切换）

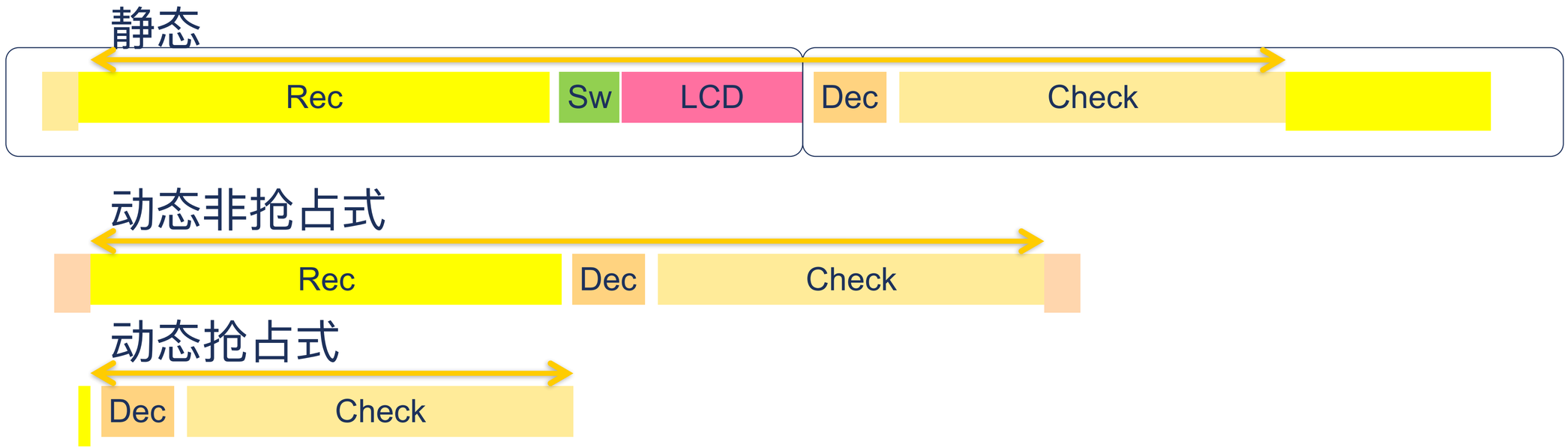
动态调度

- **让调度可以按照需要执行**
  - 基于重要程度或其他因素
  - 使得构建多种速率的系统变得简单
- **基于重要程度的调度**
  - 优先级意味着不那么重要的任务不会推迟更重要的任务的执行
- **何时需要决定要运行哪个任务?**
  - 粗粒度——任务结束的时候。叫做从运行到完成的工作方式（RTC），也叫做非抢占式；
  - 细粒度——任何时刻。叫做抢占式，因为任何任务都可能抢占其他任务。

动态抢占式调度

- 如果在Rec刚好开始运行的时候收到GPS数据会怎样?
- 延迟
  - 调度器把Rec切换出去，这样就可以立刻启动Dec来解码位置数据了；
  - 只要等待Dec和Check完成就能知道是否靠近一个坑

响应时间的比较



- **优点**
  - 抢占式实现了最佳响应时间
    - 可以做更多的处理（支持更多的坑洼数据或更高的车辆速度）；
    - 或可以用更低的处理器速度、节省内存、降低功耗

- **缺点**
  - 需要更复杂的编程和更多的内存
  - 引入了数据竞争可能造成的不可靠性

运行到完成的调度器

- **用一个调度器函数以适当的速率运行任务函数**
  - 存放每个任务的数据的表格
    - Period周期：任务每次释放之间有多少时钟嘀嗒（时间）
    - Release Time释放时间：任务还要多久可以就绪运行
    - ReadyToRun就绪：任务已经就绪马上可以运行
  - 调度器始终运行，检查调度表查看就绪可以运行的任务（已经被“释放”了的）；
  - 由一个定时器中断触发一个ISR，由它更新调度表
    - 递减“直到下一次释放的时间”；
    - 如果这个时间递减为0了，设那个任务的运行标志，然后重置它的周期时间。

- **采用“运行到完成”模式**
  - 任务的执行不会和任何其他任务交叠
  - 只有ISR可以中断一个任务
  - 在ISR完成后，会恢复之前正在运行的任务

- **优先级通常是静态的，所以可以用一个最高优先级任务排在前面的表格，以简化调度器的实现**

抢占式调度器

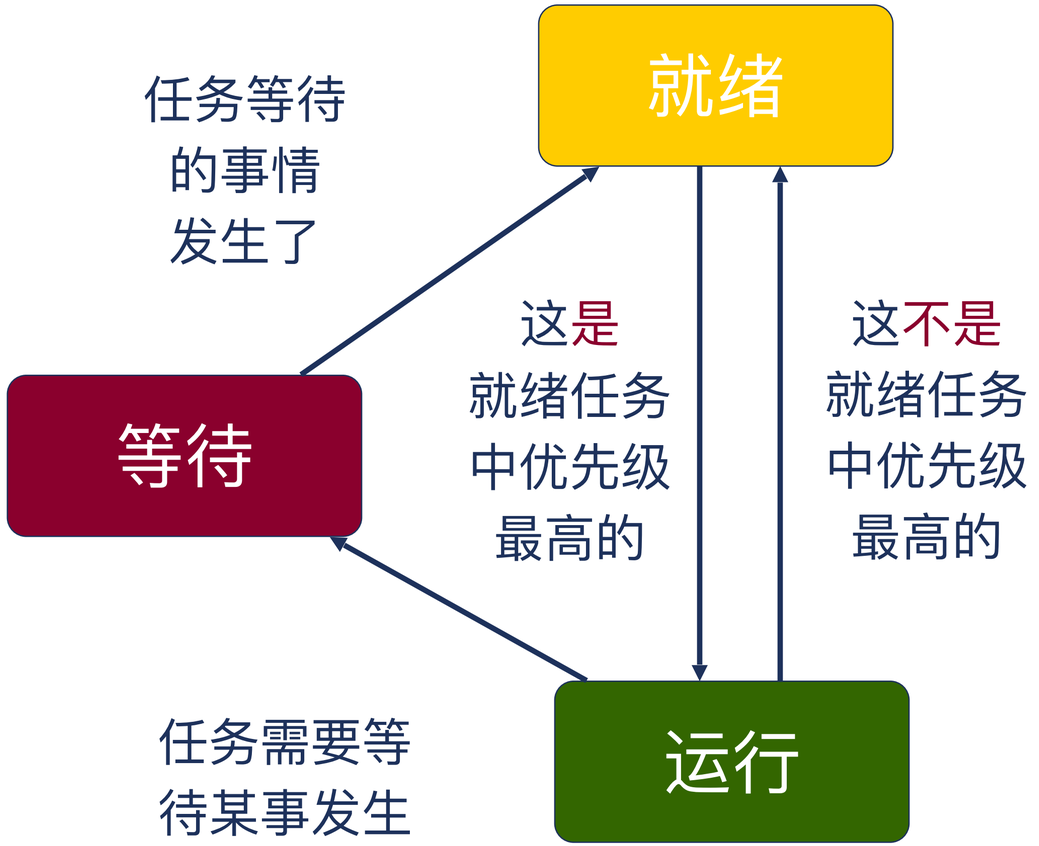
- **任务函数不需要一次性运行到结束，但是可能可其他的任务交替运行**
  - 简化了软件的编写
  - 改进了响应时间
  - 引入了新的潜在问题

- **最高优先级任务的最劣响应时间与其他任务无关，只受ISR和调度器制约**
  - 较低优先级任务只受更高优先级任务制约

任务状态和调度规则

- **调度器根据优先级在就绪任务中选择**

- **调度规则**
  - 任务所做的事情可能导致自己等待（阻塞）；
  - 一个等待的任务永远不能得到CPU，必须由ISR或其他任务唤醒；
  - 只有调度器可以将任务在就绪和运行状态之间切换



OS?

- 程序逻辑上需要定时器用于：
  - 等待一定时间后再做某事
  - 某个等待（如串口的回答）不能超时
  - 一定时间后需要做某事（不等待）

什么是RTOS?

- **实时是什么意思?**
  - 每个任务和中断服务程序的最大响应时间是可以计算和得到保证的
  - 响应时间的这个“绑定”使得它可以用在硬实时系统中（具有必须满足的截止时间）

- **RTOS里有什么**
  - 任务调度器
    - 采用抢占式和优先级策略以使得响应时间最小
    - 支持中断
  - RTOS核心集成的服务
    - 进程间通信和同步（安全的数据共享）
    - 时间管理
  - RTOS集成的可选服务
    - *I/O*抽象?
    - 内存管理?
    - 文件系统?
    - 网络支持?
    - *GUI??*

状态机模型

GPRMC

- <消息 ID>,<UTC 时间>,<数据有效性状态>,<纬度>,<南北指示>,<经度>,<东西指示>,<运动速度>,<运动方向>,<UTC 日期>,<磁场变动>,<数据模式>,<校验和><行尾>

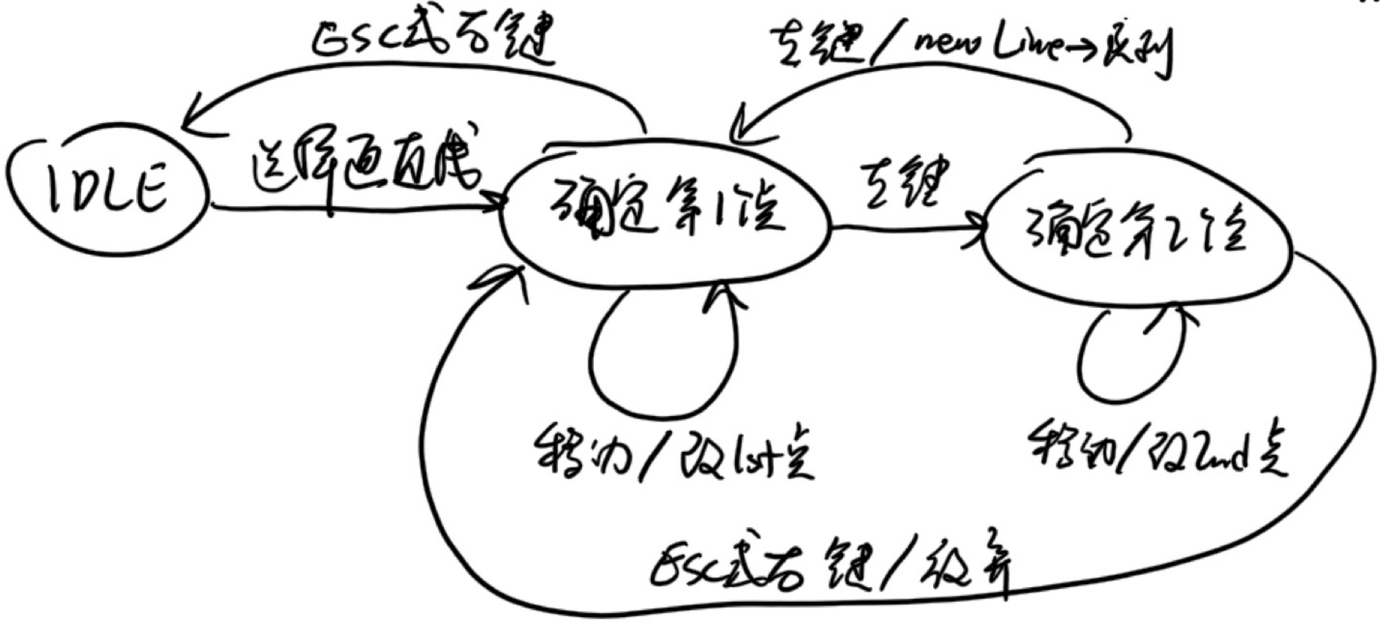
- $GPRMC,004319.00,A,3016.98468,N,12006.39211,E,0.047,,130909,,,D*79

识别状态

- $GPRMC,004319.00,A,3016.98468,N,12006.39211,E,0.047,,130909,,,D*79

代码实现

- switch-case
- 多个状态vs多个输入，哪个在外层?



数据保存问题

- $GPRMC,004319.00,A,3016.98468,N,12006.39211,E,0.047,,130909,,,D*79
- 选项1：一旦确定数据是A的，保存直到行末
- 选项2：在每个数据读到后，保存单个数据，并做校验和的计算

数据保存问题

- $GPRMC,004319.00,A,3016.98468,N,12006.39211,E,0.047,,130909,,,D*79
- 选项1：一旦确定数据是A的，保存直到行末
  - P：状态少，代码简单，中断时间短
  - C：存储空间大
- 选项2：在每个数据读到后，保存单个数据，并做校验和的计算
  - P：存储空间小（不需要保存全部字符）
  - C：状态多，代码复杂，中断时间长

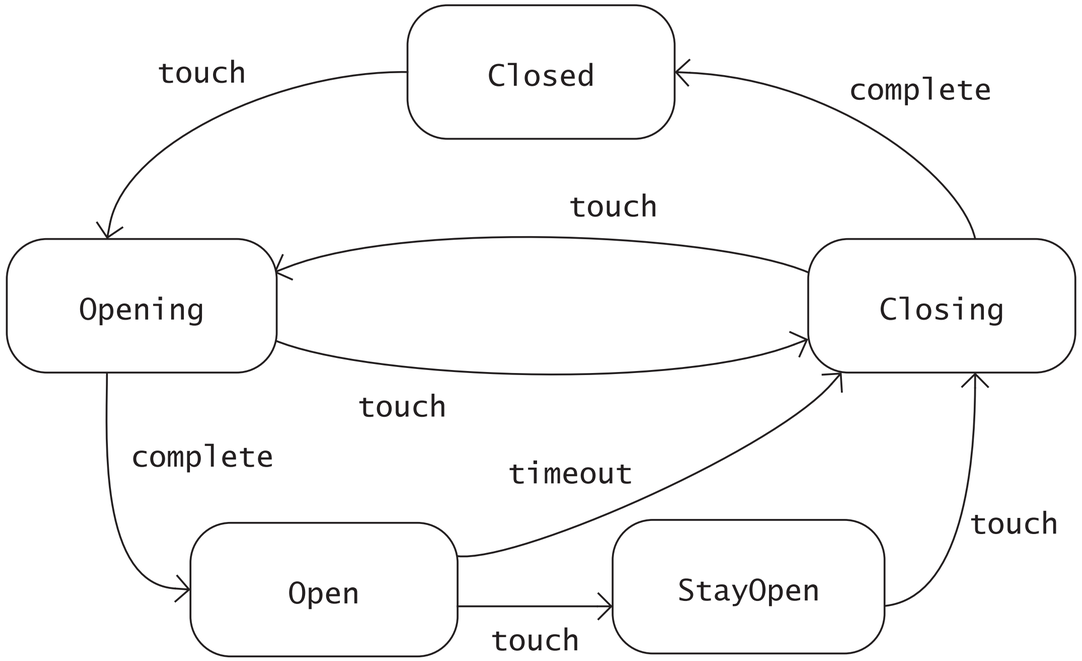
共享安全问题

- $GPRMC,004319.00,A,3016.98468,N,12006.39211,E,0.047,,130909,,,D*79
- 主循环读数据时应该关中断
- 选项1：关中断后读数据、分析、解码
- 选项2：关中断后拷贝数据至另一区域，开中断后再解码
- 选项3：中断处理程序中开启DMA拷贝数据到另一区域，同时禁止串口中断，DMA完成后设置标志通知主程序并开启串口中断

状态（state）模式

- The intent of the STATE pattern is to distribute state-specific logic across classes that represent an object’s state.

- When you model an object whose state is important, you may find that you have a particular variable that tracks how the object should behave, depending on its state. This variable may appear in complex, cascading if statements that focus on how to react to the events that an object can experience.



- Suppose that you open the door and place a material bin in the doorway. Is there a way to make the door begin closing without waiting for it to time out?

行人红灯问题

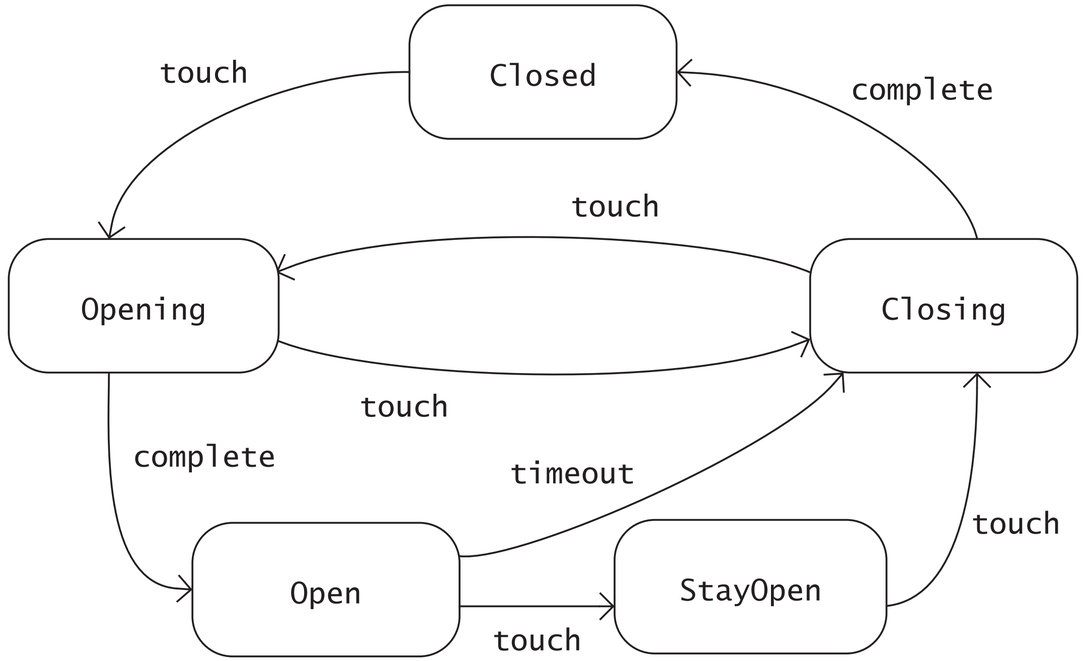
- 10分钟讨论
- 小组讨论识别其中的状态、输入和转移关系
- 车道简化成只有一个方向，行人则有两个方向

- 信号灯默认车行绿灯，行人红灯
- 行人按下按钮，10秒后红绿灯切换，行人绿灯10秒后切换回红灯
- 车道上有摄像头可以识别车道上50米内是否有车

状态机的实现

- switch-case

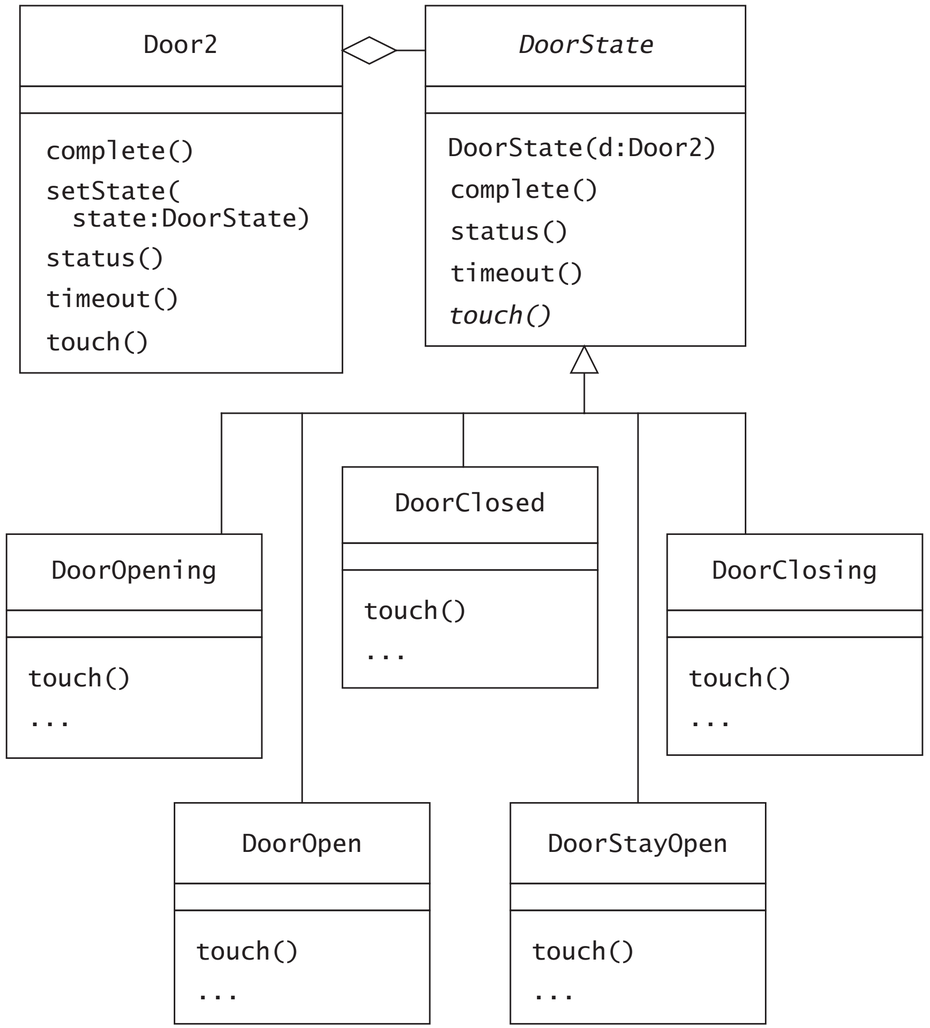
```
public void touch() {
    switch (state) {
case OPENING:
case STAYOPEN:
    setState(CLOSING);
    break;
case CLOSING:
case CLOSED:
    setState(OPENING);
    break;
case OPEN:
    setState(STAYOPEN);
    break;
default:
    throw new Error("can't happen");
```



状态机的实现

- 状态对象（结构）
  - 不同的状态是不同的对象
  - 对象的函数是各种输入
  - 函数的返回值是下一个状态对象

重构


Door2
complete()
setState(
state:DoorState)
status()
timeout()
touch()
DoorState
DoorState(d:Door2)
complete()
status()
timeout()
touch()
DoorOpening
touch()
...
DoorClosed
touch()
...
DoorClosing
touch()
...
DoorOpen
touch()
...
DoorStayOpen
touch()
...

如何更新状态?

```
public void touch() {
        state = state.touch();
}

…

public DoorState touch() {
        return DoorState.STAYOPEN;
}
```