

RT-Thread完全开发手册之内部机制

资料下载

导学

download.100ask.net

- ★ 视频介绍与导学(新同学请先[点击这里](#))
- 微力同步使用教程
- [GIT下载简明教程](#)
- 百度网盘方式下载资料教程

百问网直播历史

- 🎓 百问网直播列表
 - [直播资料获取入口](#) [GIT仓库](#)
 - 学习交流答疑
 - 关于百问网(韦东山)

课程介绍

对于 RT-Thread 的掌握可以分为 3 个层次：

- 第 1 层：知道怎么使用相关 API 函数
- 第 2 层：知道内部机制
- 第 3 层：掌握代码实现的细节，能够移植

百问网科技在嵌入式操作系统领域深耕 13 年，能够使用 2 天(每天 6 小时)让你达到第 2 层。

这让你能够在日常开发中使用 RT-Thread 并解决疑难问题。

12 月 18 号 RT-Thread 开发者大会即将在深圳举行，作为 RT-Thread 的合作伙伴，我们将在12月11号全天举行一场技术直播，讲解 RT-Thread 的内部机制。

RT-Thread 的线程管理与调度、线程间通信(邮箱/消息队列/信号)、线程间同步(信号量/互斥量/事件集)的方法，核心都是：

- 链表
- 定时器

基于链表和定时器，可以快速而深入地理解RT-Thread。

1. RTOS 概念及线程的引入

1.1 RTOS的概念

1.1.1 用人来类比单片机程序和RTOS



妈妈要一边给小孩喂饭，一边加班跟同事微信交流，怎么办？

对于单线条的人，不能分心、不能同时做事，她只能这样做：

- 给小孩喂一口饭
- 瞄一眼电脑，有信息就去回复
- 再回来给小孩喂一口饭
- 如果小孩吃这口饭太慢，她回复同事的信息也就慢了，被同事催：你半天都不回我？
- 如果回复同事的信息要写一大堆，小孩就着急得大哭起来。

这种做法，在软件开发上就是一般的单片机开发，没有用操作系统。

对于眼明手快的人，她可以一心多用，她这样做：

- 左手拿勺子，给小孩喂饭
- 右手敲键盘，回复同事
- 两不耽误，小孩“以为”妈妈在专心喂饭，同事“以为”她在专心聊天
- 但是脑子只有一个啊，虽然说“一心多用”，但是谁能同时思考两件事？
- 只是她反应快，上一秒钟在考虑夹哪个菜给小孩，下一秒钟考虑给同事回复什么信息

这种做法，在软件开发上就是使用操作系统，在单片机里叫做使用RTOS。

RTOS的意思是：Real-time operating system，实时操作系统。

我们使用的Windows也是操作系统，被称为通用操作系统。使用Windows时，我们经常碰到程序卡死、停顿的现象，日常生活中这可以忍受。

但是在电梯系统中，你按住开门键时如果没有即刻反应，即使只是慢个1秒，也会夹住人。

在专用的电子设备中，“实时性”很重要。

1.1.2 程序简单示例

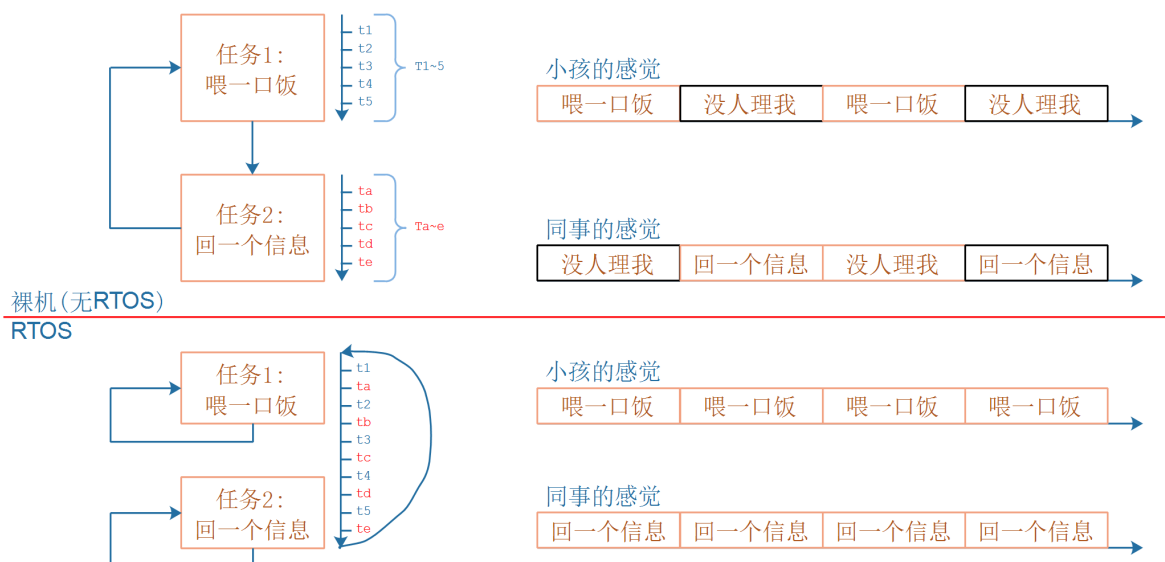
```
// 经典单片机程序
void main()
{
    while (1)
    {
        喂一口饭();
        回一个信息();
    }
}

-----

// RTOS程序
int a;
喂饭() 栈A
{
    int b = 2;
    int c;
    c = b+2;==> 1. b+2, 2. c = new val
    -----> 切换
    while (1)
    {
        喂一口饭();
    }
}

回信息() 栈B
{
    int b;
    while (1)
    {
        回一个信息();
    }
}

void main()
{
    create_task(喂饭);
    create_task(回信息);
    start_scheduler();
    while (1)
    {
        sleep();
    }
}
```



1.1.3 提出问题

什么叫线程？回答这个问题之前，先想想怎么切换线程？怎么保存线程？

- 线程是函数吗？函数需要保存吗？函数在Flash上，不会被破坏，无需保存
- 函数执行到了哪里？需要保存吗？需要保存
- 函数里用到了全局变量，全局变量需要保存吗？全局变量在内存上，还能保存到哪里去？全局变量无需保存
- 函数里用到了局部变量，局部变量需要保存吗？局部变量在栈里，也是在内存里，只要避免栈不被破坏即可，局部变量无需保存
- 运算的中间值需要保存吗？中间值保存在哪里？在CPU寄存器里，另一个线程也要用到CPU寄存器，所以CPU寄存器需要保存
- 函数运行了哪里：它也是一个CPU寄存器，名为"PC"
- 汇总：CPU寄存器需要保存！
- 保存在哪里？保存在线程的栈里
- 怎么理解CPU寄存器、怎么理解栈？

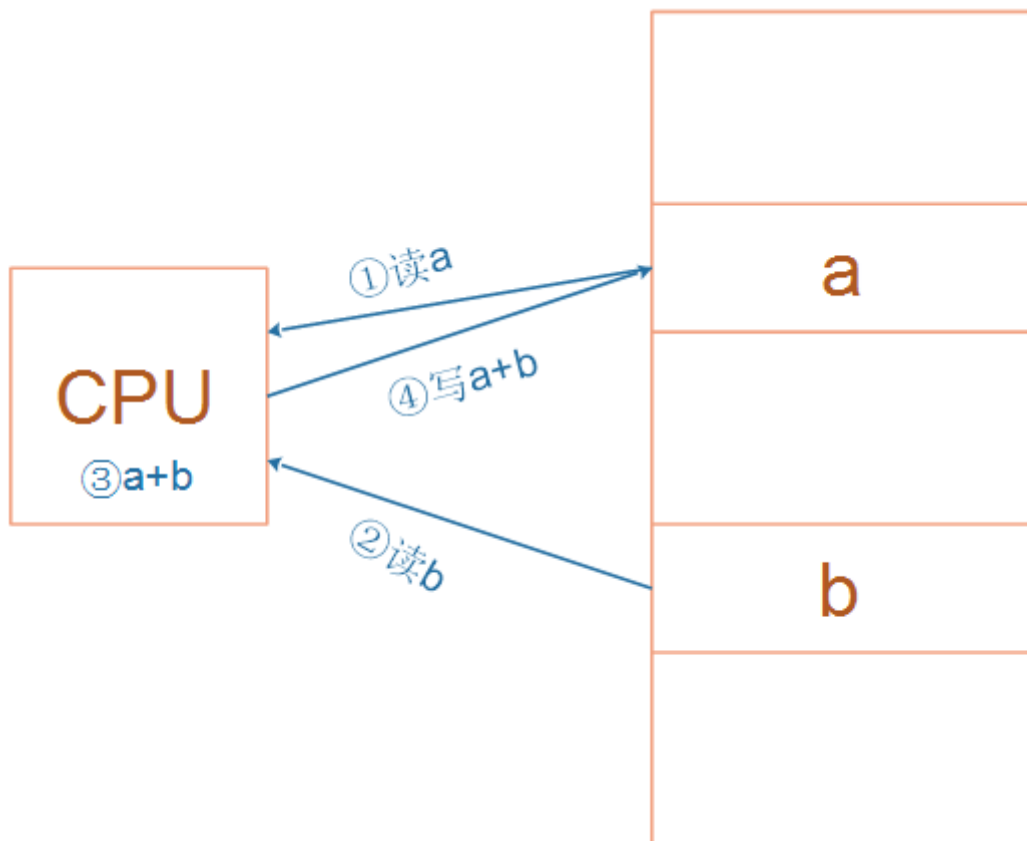
1.2 ARM 架构及汇编

1.2.1 ARM架构

ARM芯片属于精简指令集计算机(RISC: Reduced Instruction Set Computer)，它所用的指令比较简单，有如下特点：

- ① 对内存只有读、写指令
- ② 对于数据的运算是在CPU内部实现
- ③ 使用RISC指令的CPU复杂度小一点，易于设计

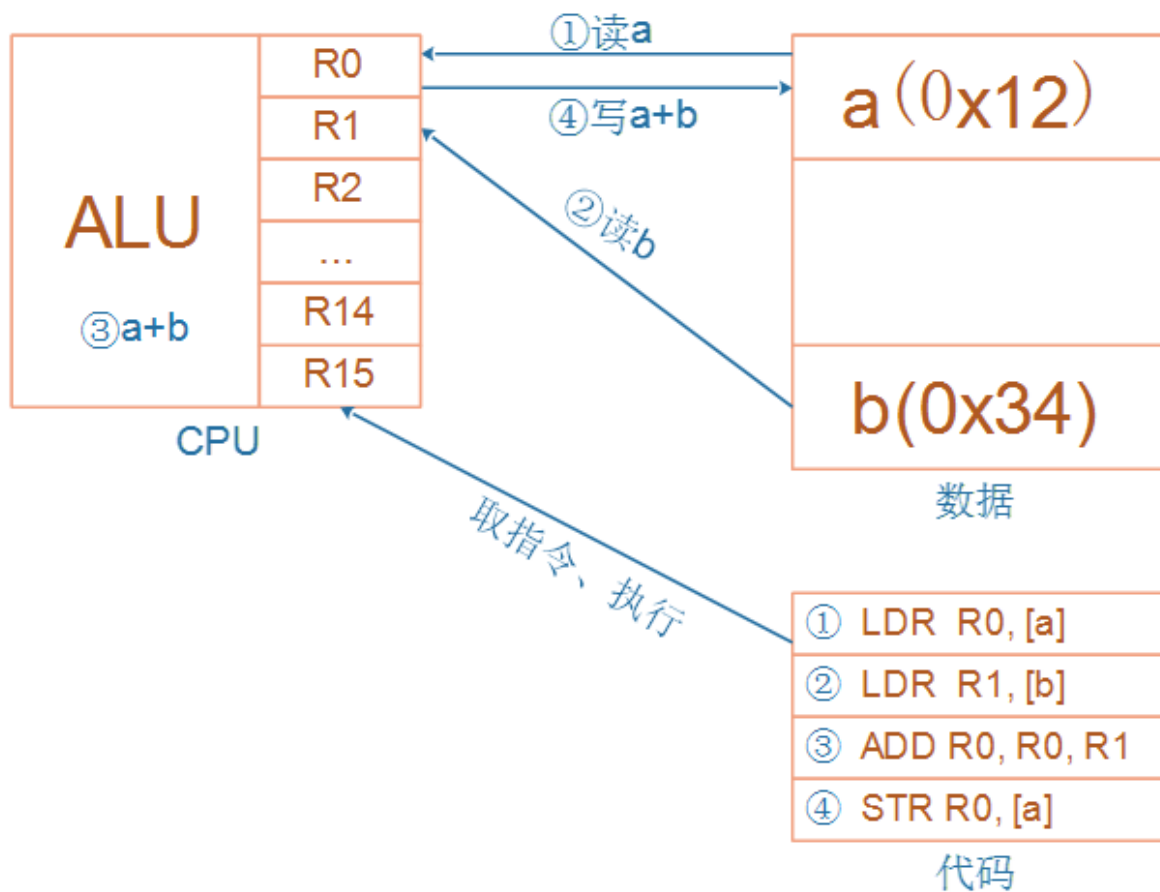
比如对于 $a=a+b$ 这样的算式，需要经过下面4个步骤才可以实现：



细看这几个步骤，有些疑问：

- ① 读a，那么a的值读出来后保存在CPU里面哪里？
- ② 读b，那么b的值读出来后保存在CPU里面哪里？
- ③ a+b的结果又保存在哪里？

我们需要深入ARM处理器的内部。简单概括如下，我们先忽略各种CPU模式(系统模式、用户模式等等)。



CPU运行时，先去取得指令，再执行指令：

- ① 把内存a的值读入CPU寄存器R0
- ② 把内存b的值读入CPU寄存器R1
- ③ 把R0、R1累加，存入R0
- ④ 把R0的值写入内存a

CPU内部有r0到r15寄存器，这些寄存器有别名(下图来自[百度文库](#)):

arm 通用寄存器及其别名		
R#	APCS 别名	意义
R0	a1	参数/结果/scratch 寄存器 1
R1	a2	参数/结果/scratch 寄存器 2
R2	a3	参数/结果/scratch 寄存器 3
R3	a4	参数/结果/scratch 寄存器 4
R4	v1	arm 状态局部变量寄存器 1
R5	v2	arm 状态局部变量寄存器 2
R6	v3	arm 状态局部变量寄存器 3
R7	v4 / wr	arm 状态局部变量寄存器 4 / thumb 状态工作寄存器
R8	v5	arm 状态局部变量寄存器 5
R9	v6 / sb	arm 状态局部变量寄存器 6 / 在支持 RWPI 的 ATPCS 中作为静态基址寄存器
R10	v7 / sl	arm 状态局部变量寄存器 7 / 在支持数据栈检查的 ATPCS 中作为数据栈限制指针
R11	v8 / fp	arm 状态局部变量寄存器 8 / 帧指针
R12	ip	内部过程调用 scratch 寄存器
R13	sp	栈指针
R14	lr	链接寄存器
R15	pc	程序计数器

1.2.2 几条汇编指令

需要我们掌握的汇编指令并不多，只有几条：

- 读内存指令：LDR，即Load之意
- 写内存指令：STR，即Store之意
- 加减指令：ADD、SUB
- 跳转：BL，即Branch And Link
- 入栈指令：PUSH
- 出栈指令：POP

视频演示。

汇编并不复杂：

加载/存储指令(LDR/STR)

- 加载指令LDR: `LDR r0,[addrA]` 意思是将地址addrA的内容加载(存放)到r0里面
- 存储指令STR: `STR r0,[addrA]` 意思是将r0中的值存储到地址addrA上

加法运算指令(ADD)

- 加法运算指令(ADD): `ADD r0,r1,r2` 意思为: $r0=r1+r2$
- 减法运算指令(SUB): `SUB r0,r1,r2` 意思为: $r0=r1-r2$

寄存器入栈/出栈指令(PUSH/POP)

- 寄存器入栈(PUSH): `PUSH {r3, lr}` 意思是将寄存器r3和pc写入内存栈
 - 本质是写内存STR指令, 高标号寄存器写入高地址的栈里, 低标号寄存器写入低地址的栈里
 - lr即r14, 写入地址为 `sp-4` 的内存, 然后: $sp=sp-4$
 - r3, 写入地址为 `sp-4` 的内存, 然后: $sp=sp-4$
- 寄存器出栈指令(POP): `POP {r3, pc}` 意思是取出内存栈的数据放入r3和pc中
 - 本质是读内存LDR指令, 高标号寄存器的内容来自高地址的栈, 低标号寄存器的内容来自低地址的栈
 - 读地址为 `sp` 的内存存入r3, 然后: $sp=sp+4$
 - 读地址为 `sp` 的内存存入pc, 然后: $sp=sp+4$

1.3 函数运行的本质

如下是一个简单的程序, 在配套源码的 `01_arm_stack`。

主函数里调用函数 `add_val()`：

```
void add_val(int *pa, int *pb)
{
    volatile int tmp;

    tmp = *pa;
    tmp = tmp + *pb;
    *pa = tmp;
}

int main()
{
    int a = 1;
    int b = 2;

    add_val(&a, &b);

    return 0;
}
```

其中调用函数 `add_val()` 的汇编代码如下, 我们加上了注释：


```

1  /* enter */
2  PUSH    {r3,lr}          //进入函数，寄存器r3、lr的值，都存入内存的栈中(lr保存程序返回地址)
3
4  /* tmp = *pa; */
5  LDR     r2,[r0,#0x00]    //将寄存器r0的值存放到r2，其中r0是函数的第一个参数值(ARM ATPCS规定)
6  STR     r2,[sp,#0x00]    //将寄存器r2的值存储到sp指向的内存
7
8  /* tmp = tmp + *pb; */
9  LDR     r2,[r1,#0x00]    //将寄存器r1的值存放到r2，其中r1是函数的第二个参数值(ARM ATPCS规定)
10 LDR     r3,[sp,#0x00]    //将寄存器sp指向内存的值存放到r3
11 ADD     r2,r2,r3         //将寄存器r2和r3相加，保存到r2
12 STR     r2,[sp,#0x00]    //将寄存器r2的值存储到sp指向的内存
13
14 /* *pa = tmp; */
15 LDR     r2,[sp,#0x00]    //将寄存器sp指向内存的值存放到r2
16 STR     r2,[r0,#0x00]    //将寄存器r2的值存储到r0，其中r0将作为函数返回值(ARM ATPCS规定)
17
18 /* quit */
19 POP     {r3,pc}          //退出函数，获取内存的栈中的数据放入r3和pc中(此时pc为lr，实现了函数返回)

```

视频里动态演示，重点演示栈的使用。

1.4 什么叫线程？ 怎么保存线程？

现在可以回答这个问题了。

什么叫线程：运行中的函数、被暂停运行的函数

怎么保存线程：把暂停瞬间的CPU寄存器值，保存进栈里。

视频里动态演示：在函数的某个位置，怎么保存当前环境？

2. 创建线程的函数

```

60: int main(void)
61: {
62:     /* 初始化静态线程1, 名称是Thread1, 入口是thread1_entry */
63:     rt_thread_init(&thread1,           //线程句柄
64:                   "thread1",          //线程名字
65:                   1.函数 thread1_entry, //入口函数
66:                   RT_NULL,             //入口函数参数
67:                   2.栈 &thread1_stack[0], //线程栈起始地址
68:                   sizeof(thread1_stack), //栈大小
69:                   THREAD_PRIORITY,      //线程优先级
70:                   THREAD_TIMESLICE);    //线程时间片大小
71:     /* 启动线程1 */
72:     rt_thread_startup(&thread1);
73:
74:
75:     /* 创建动态线程2, 名称是thread2, 入口是thread2_entry*/
76:     thread2 = rt_thread_create("thread2", //线程名字
77:                                1.函数 thread2_entry, //入口函数
78:                                RT_NULL,             //入口函数参数
79:                                2.栈 THREAD_STACK_SIZE, //栈大小
80:                                THREAD_PRIORITY,      //线程优先级
81:                                THREAD_TIMESLICE);    //线程时间片大小
82:
83:     /* 判断创建结果,再启动线程2 */
84:     if (thread2 != RT_NULL)
85:         rt_thread_startup(thread2);
86:
87:     return 0;
88: } « end main »

```

2.1 参数解析

- 线程做什么? 需要提供函数
- 线程随时会切换, 哪些寄存器保存在哪里? 需要提供栈: 可以实现分配(比如使用数组), 也可以动态分配
- 怎么记录这些信息: 栈在哪里? 需要有一个线程结构体

2.1.1 线程结构体

rt_thread用来表示一个线程, 它的重要成员如下:

- thread->entry: 函数指针
- thread->parameter: 函数参数
- thread->stack_addr: 栈的起始地址
- thread->stack_size: 栈大小
- thread->sp: 栈顶
- thread->init_priority: 初始优先级
- thread->current_priority: 当前优先级
- thread->init_tick: 一次能运行多少个tick
- thread->remaining_tick: 当次运行还剩多少个tick

```

/**
 * Thread structure
 */

```

```

struct rt_thread
{
    /* rt object */
    char      name[RT_NAME_MAX];           /**< the name of thread
*/
    rt_uint8_t  type;                       /**< type of object */
    rt_uint8_t  flags;                      /**< thread's flags */

#ifdef RT_USING_MODULE
    void      *module_id;                   /**< id of application
module */
#endif

    rt_list_t   list;                       /**< the object list */
    rt_list_t   tlist;                     /**< the thread list */

    /* stack point and entry */
    void      *sp;                          /**< stack point */
    void      *entry;                       /**< entry */
    void      *parameter;                   /**< parameter */
    void      *stack_addr;                  /**< stack address */
    rt_uint32_t stack_size;                 /**< stack size */

    /* error code */
    rt_err_t   error;                       /**< error code */

    rt_uint8_t  stat;                       /**< thread status */

    /* priority */
    rt_uint8_t  current_priority;           /**< current priority */
    rt_uint8_t  init_priority;              /**< initialized
priority */
#ifdef RT_THREAD_PRIORITY_MAX > 32
    rt_uint8_t  number;
    rt_uint8_t  high_mask;
#endif
    rt_uint32_t number_mask;

#ifdef defined(RT_USING_EVENT)
    /* thread event */
    rt_uint32_t event_set;
    rt_uint8_t  event_info;
#endif

#ifdef defined(RT_USING_SIGNALS)
    rt_sigset_t  sig_pending;               /**< the pending signals
*/
    rt_sigset_t  sig_mask;                 /**< the mask bits of
signal */
#endif

#ifdef RT_USING_SMP
    void      *sig_ret;                    /**< the return stack
pointer from signal */
#endif
    rt_sighandler_t *sig_vectors;           /**< vectors of signal
handler */
    void      *si_list;                    /**< the signal infor
list */

```

```

#endif

    rt_ubase_t  init_tick;                /**< thread's
initialized tick */
    rt_ubase_t  remaining_tick;           /**< remaining tick */

    struct rt_timer thread_timer;         /**< built-in thread
timer */

    void (*cleanup)(struct rt_thread *tid); /**< cleanup function
when thread exit */

    /* light weight process if present */
#ifdef RT_USING_LWP
    void      *lwp;
#endif

    rt_uint32_t user_data;                /**< private user data
beyond this thread */
};

```

2.2 创建线程的过程

创建线程的过程，就是构造栈的过程。

函数调用关系如下：

```

rt_thread_create
// 1. 分配线程结构体
thread = (struct rt_thread *)rt_object_allocate(RT_Object_Class_Thread,
                                                name);

// 2. 分配栈
stack_start = (void *)RT_KERNEL_MALLOC(stack_size);

// 3. 初始化栈，即构造栈的内容
_rt_thread_init
// 3.1 具体操作
thread->sp = (void *)rt_hw_stack_init

```

视频里分析这个函数：

```

62: rt_uint8_t *rt_hw_stack_init(void *tentry,
63:                               void *parameter,
64:                               rt_uint8_t *stack_addr,
65:                               void *texit)
66: {
67:     struct stack_frame *stack_frame;
68:     rt_uint8_t *stk;
69:     unsigned long i;
70:
71:     stk = stack_addr + sizeof(rt_uint32_t);
72:     stk = (rt_uint8_t *)RT_ALIGN_DOWN((rt_uint32_t)stk, 8);
73:     stk -= sizeof(struct stack_frame);
74:
75:     stack_frame = (struct stack_frame *)stk;
76:
77:     /* init all register */
78:     for (i = 0; i < sizeof(struct stack_frame) / sizeof(rt_uint32_t); i++)
79:     {
80:         ((rt_uint32_t *)stack_frame)[i] = 0xdeadbeef;
81:     }
82:
83:     stack_frame->exception_stack_frame.r0 = (unsigned long)parameter; /* r0 : argument */
84:     stack_frame->exception_stack_frame.r1 = 0; /* r1 */
85:     stack_frame->exception_stack_frame.r2 = 0; /* r2 */
86:     stack_frame->exception_stack_frame.r3 = 0; /* r3 */
87:     stack_frame->exception_stack_frame.r12 = 0; /* r12 */
88:     stack_frame->exception_stack_frame.lr = (unsigned long)texit; /* lr */
89:     stack_frame->exception_stack_frame.pc = (unsigned long)tentry; /* entry point, pc */
90:     stack_frame->exception_stack_frame.psr = 0x01000000L; /* PSR */
91:
92:     /* return task's current stack address */
93:     return stk;

```

3. 线程的调度机制(核心是链表与定时器)

3.1 使用链表来管理线程

有很多线程都想运行，优先级各不相同，怎么管理它们？

```
rt_list_t rt_thread_priority_table[RT_THREAD_PRIORITY_MAX];
```

每个优先级，都有一个就绪链表：rt_thread_priority_table[优先级]，

线程被创建后，要使用rt_thread_startup()来启动它，调用过程为：

```

rt_thread_startup
    rt_thread_resume(thread);
    rt_schedule_insert_thread(thread);
    /* insert thread to ready list */
    rt_list_insert_before(&(rt_thread_priority_table[thread-
>current_priority]),
                        &(thread->tlist));

```

3.2 使用链表来理解调度机制

3.2.1 第1个线程是谁？

最高优先级的、ready list里的、第1个线程：

```

150: void rt_system_scheduler_start(void)
151: {
152:     register struct rt_thread *to_thread;
153:     register rt_ubase_t highest_ready_priority;
154:
155:     #if RT_THREAD_PRIORITY_MAX > 32
156:         register rt_ubase_t number;
157:
158:         number = __rt_ffs(rt_thread_ready_priority_group) - 1;
159:         highest_ready_priority = (number << 3) + __rt_ffs(rt_thread_ready_table[number]) - 1;
160:     #else
161:         highest_ready_priority = __rt_ffs(rt_thread_ready_priority_group) - 1;
162:     #endif
163:
164:     /* get switch to thread */
165:     to_thread = rt_list_entry(rt_thread_priority_table[highest_ready_priority].next,
166:                             struct rt_thread,
167:                             tlist);
168:
169:     rt_current_thread = to_thread;
170:
171:     /* switch to new thread */
172:     rt_hw_context_switch_to((rt_uint32_t)&to_thread->sp);
173:
174:     /* never come back */
175: } « end rt_system_scheduler_start »
176:

```

3.2.2 抢占

最高优先级的、ready list里的、第1个线程：

```

187: void rt_schedule(void)
188: {
189:     rt_base_t level;
190:     struct rt_thread *to_thread;
191:     struct rt_thread *from_thread;
192:
193:     /* disable interrupt */
194:     level = rt_hw_interrupt_disable();
195:
196:     /* check the scheduler is enabled or not */
197:     if (rt_scheduler_lock_nest == 0)
198:     {
199:         register rt_ubase_t highest_ready_priority;
200:
201:         #if RT_THREAD_PRIORITY_MAX <= 32
202:             highest_ready_priority = __rt_ffs(rt_thread_ready_priority_group) - 1;
203:         #else
204:             register rt_ubase_t number;
205:
206:             number = __rt_ffs(rt_thread_ready_priority_group) - 1;
207:             highest_ready_priority = (number << 3) + __rt_ffs(rt_thread_ready_table[number]) - 1;
208:         #endif
209:
210:         /* get switch to thread */
211:         to_thread = rt_list_entry(rt_thread_priority_table[highest_ready_priority].next,
212:                                 struct rt_thread,
213:                                 tlist);
214:

```

3.3 使用链表和Tick来理解时间片轮转


FreeRTOS的任务轮转时：每个任务运行一个Tick。

RT-Thread的线程轮转时：每个线程可以运行指定的Tick(创建线程时指定了时间片)：

```

392: rt_thread_t rt_thread_create(const char *name,
393:                               void (*entry)(void *parameter),
394:                               void *parameter,
395:                               rt_uint32_t stack_size,
396:                               rt_uint8_t priority,
397:                               rt_uint32_t tick)

```



在线程结构体中会记录tick数值：它运行多少个Tick，才会让出CPU资源。

创建线程时，会调用到函数 `_rt_thread_init()`，里面会设置Tick参数：

```

/* tick init */
thread->init_tick      = tick;
thread->remaining_tick = tick;

```

当前任务还可以运行多少个tick？在 `thread->remaining_tick` 中记录；

每发生一次tick中断，`thread->remaining_tick`减1；

当 `thread->remaining_tick` 等于0时，要让出CPU：调用 `rt_thread_yield()`

```

67: void rt_tick_increase(void)
68: {
69:     struct rt_thread *thread;
70:
71:     /* increase the global tick */
72:     ++ rt_tick;
73:
74:     /* check time slice */
75:     thread = rt_thread_self();
76:
77:     -- thread->remaining_tick;
78:     if (thread->remaining_tick == 0)
79:     {
80:         /* change to initialized tick */
81:         thread->remaining_tick = thread->init_tick;
82:
83:         /* yield */
84:         rt_thread_yield();
85:     }
86:
87:     /* check timer */
88:     rt_timer_check();
89: } « end rt_tick_increase »
90:

```

`rt_thread_yield()` 就是把当前、用完时间的线程，放到就绪链表的最后：

```

484: rt_err_t rt_thread_yield(void)
485: {
486:     register rt_base_t level;
487:     struct rt_thread *thread;
488:
489:     /* disable interrupt */
490:     level = rt_hw_interrupt_disable();
491:
492:     /* set to current thread */
493:     thread = rt_current_thread;
494:
495:     /* if the thread stat is READY and on ready queue list */
496:     if ((thread->stat & RT_THREAD_STAT_MASK) == RT_THREAD_READY &&
497:         thread->tlist.next != thread->tlist.prev)
498:     {
499:         /* remove thread from thread list */
500:         rt_list_remove(&(amp;thread->tlist));
501:
502:         /* put thread to end of ready queue */
503:         rt_list_insert_before(&(rt_thread_priority_table[thread->current_priority]),
504:                               &(thread->tlist));
505:
506:         /* enable interrupt */
507:         rt_hw_interrupt_enable(level);
508:
509:         rt_schedule();
510:
511:         return RT_EOK;
512:     }

```

当前线程时间用完，
放到ready list的最后

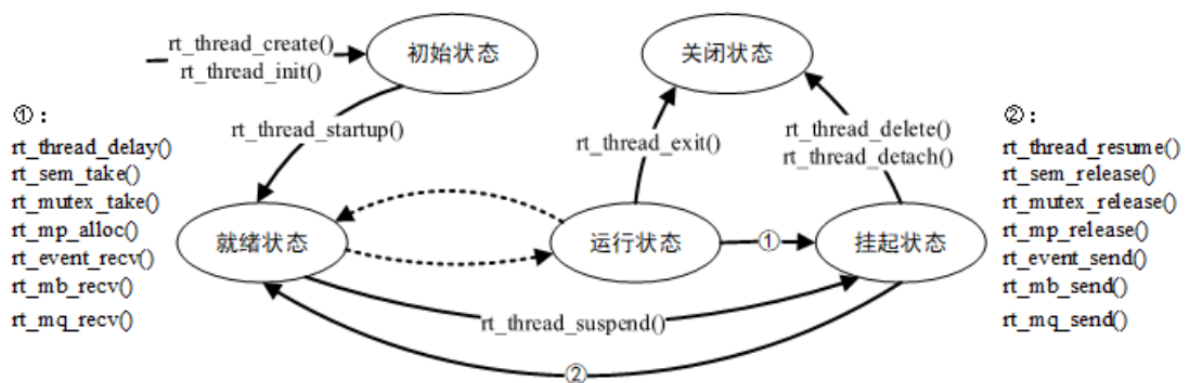
注意：

- 如果有更高优先级线程，即使当前线程是时间片没用完，也会立刻被抢占
- 当它被抢占后，再次运行时：继续运行完剩下的时间

3.5 线程状态的切换(链表+定时器)

参考程序：RT-Thread_06_taskdelay

3.5.1 线程状态切换图



3.5.2 核心：链表和定时器

每个线程内部都有一个定时器，它的作用非常大：所有的超时函数都依赖它。


```

struct rt_thread
{
    .....
    struct rt_timer thread_timer;           /**< built-in thread
timer */
    .....
}

```

以 `rt_thread_mdelay(50)` 为例，它会让当前线程挂起50ms，会先把50ms转换为Tick个数。

也可以使用 `rt_thread_delay(50)`，它会让当前线程挂起50个Tick。

挂起过程：

- 把当前线程从就绪链表中取出来
- 设定定时器：
 - 在创建线程时已经设置了超时函数

```

198:      /* initialize thread timer */
199:      rt_timer_init(&(thread->thread_timer),
200:                  thread->name,
201:                  rt_thread_timeout,
202:                  thread,
203:                  0,
204:                  RT_TIMER_FLAG_ONE_SHOT);
205:

```

- `thread_timer->timeout_tick = rt_tick_get() + timer->init_tick;` // 当前Tick加上某个数值
 - 把定时器放入链表: `rt_timer_list[xxx]`
- 切换线程: `rt_schedule`

被唤醒过程：

- 系统每隔一定时间产生Tick中断，Tick中断函数会调用 `rt_tick_increas`

```

67: void rt_tick_increas(void)
68: {
69:     struct rt_thread *thread;
70:
71:     /* increase the global tick */
72:     ++ rt_tick;
73:
74:     /* check time slice */
75:     thread = rt_thread_self();
76:
77:     -- thread->remaining_tick;
78:     if (thread->remaining_tick == 0)
79:     {
80:         /* change to initialized tick */
81:         thread->remaining_tick = thread->init_tick;
82:
83:         /* yield */
84:         rt_thread_yield();
85:     }
86:
87:     /* check timer */
88:     rt_timer_check();
89: } « end rt_tick_increas »
90:

```

- `rt_timer_check`功能

- 检查`rt_timer_list[xxx]`链表，找出超时的定时器，把它从链表中移除
- 调用定时器的超时函数：`t->timeout_func(t->parameter)`；对于线程自带的定时器，这个函数就是 `rt_thread_timeout`

```

832: void rt_thread_timeout(void *parameter)
833: {
834:     struct rt_thread *thread;
835:
836:     thread = (struct rt_thread *)parameter;
837:
838:     /* thread check */
839:     RT_ASSERT(thread != RT_NULL);
840:     RT_ASSERT((thread->stat & RT_THREAD_STAT_MASK) == RT_THREAD_SUSPEND);
841:     RT_ASSERT(rt_object_get_type((rt_object_t)thread) == RT_Object_Class_Thread);
842:
843:     /* set error number */
844:     thread->error = -RT_ETIMEOUT;
845:
846:     /* remove from suspend list */
847:     rt_list_remove(&(thread->tlist));
848:
849:     /* insert to schedule ready list */
850:     rt_schedule_insert_thread(thread);
851:
852:     /* do schedule */
853:     rt_schedule();
854: } « end rt_thread_timeout »

```

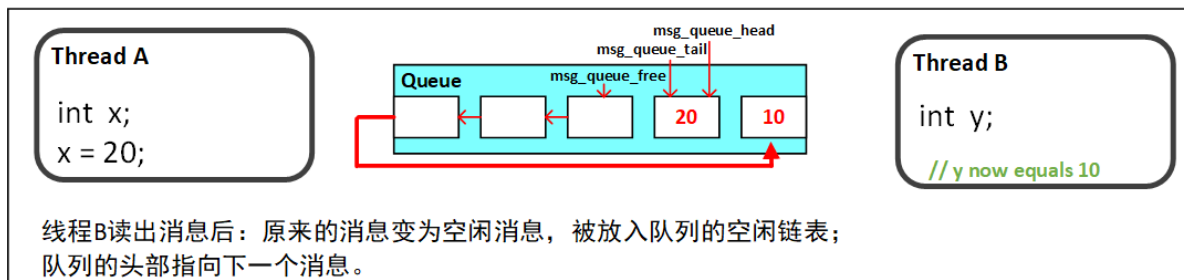
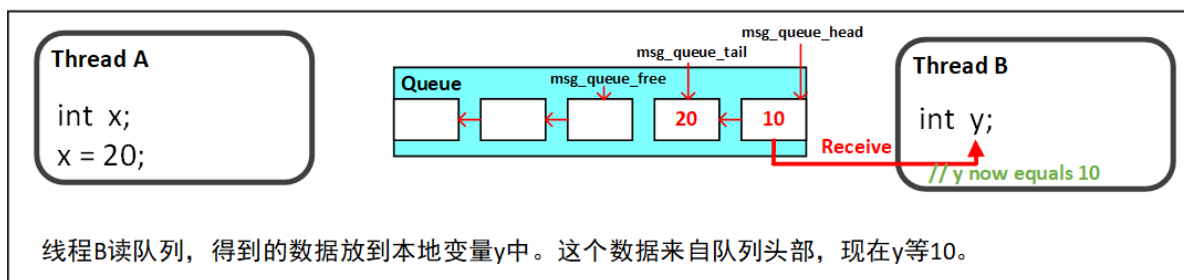
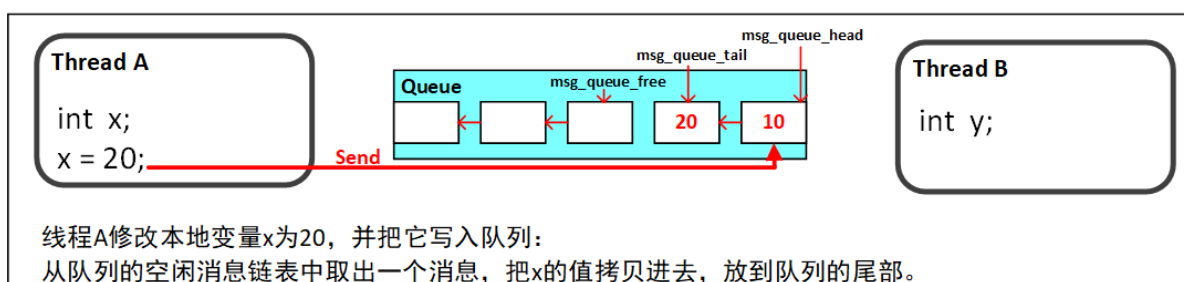
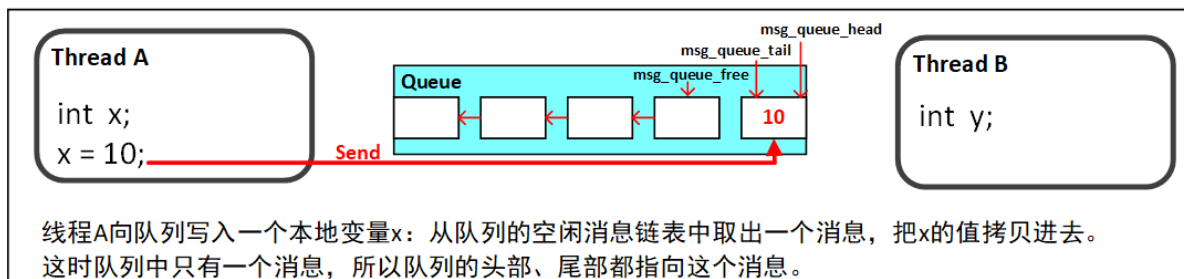
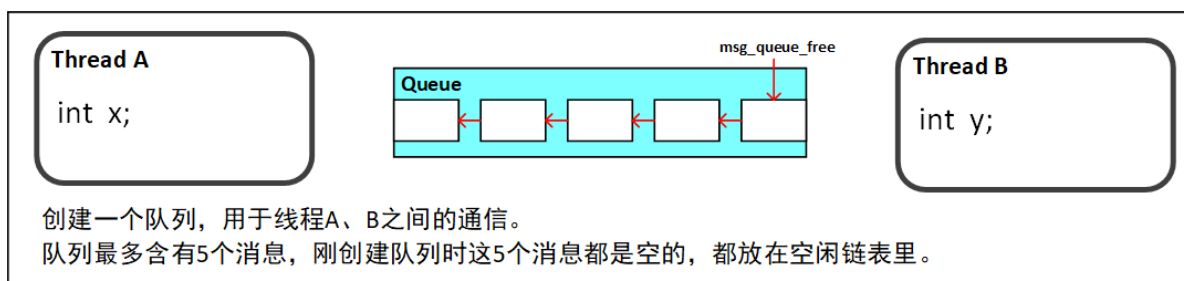
1.表示被唤醒原因是：超时

2.它可能是因为等待队列等原因而挂起，先把它从这些链表中移除

3.把线程放入就绪链表

4.发起调度

4. 消息队列(queue)



4.1 核心是：链表和定时器

有两个链表：

- 写队列不成功而挂起
- 读队列不成功而挂起

```

693: struct rt_messagequeue
694: {
695:     struct rt_ipc_object parent;
696:     void *msg_pool;
697:     rt_uint16_t msg_size;
698:     rt_uint16_t max_msgs;
699:     rt_uint16_t entry;
700:     void *msg_queue_head;
701:     void *msg_queue_tail;
702:     void *msg_queue_free;
703:     rt_list_t suspend_sender_thread;
704: };

```

1.从这里可以找到:
写此队列不成功的线程

```

609: struct rt_ipc_object
610: {
611:     struct rt_object parent;
612:     rt_list_t suspend_thread;
613: };

```

2.从这里可以找到:
读此队列不成功的线程

4.2 操作示例

参考程序: RT-Thread_08_queue

4.2.1 写队列

调用过程:

```

rt_mq_send_wait
/* 如果不成功: 当前线程挂起, 并放入链表: mq->suspend_sender_thread */
rt_ipc_list_suspend(&(mq->suspend_sender_thread),
                    thread,
                    mq->parent.parent.flag);

/* 如果指定了超时时间: 最多等多久
 * 设置、启动线程定时器
 */
rt_timer_start(&(thread->thread_timer));

```

一个线程写队列时, 如果队列已经满了, 它会被挂起, 何时被唤醒?

- 超时: 注意thread->error等于"-RT_ETIMEOUT"

```

832: void rt_thread_timeout(void *parameter)
833: {
834:     struct rt_thread *thread;
835:     thread = (struct rt_thread *)parameter;
836:     /* thread check */
837:     RT_ASSERT(thread != RT_NULL);
838:     RT_ASSERT((thread->stat & RT_THREAD_STAT_MASK) == RT_THREAD_SUSPEND);
839:     RT_ASSERT(rt_object_get_type((rt_object_t)thread) == RT_Object_Class_Thread);
840:     /* set error number */
841:     thread->error = -RT_ETIMEOUT;
842:     /* remove from suspend list */
843:     rt_list_remove(&(thread->tlist));
844:     /* insert to schedule ready list */
845:     rt_schedule_insert_thread(thread);
846:     /* do schedule */
847:     rt_schedule();
848: } « end rt_thread_timeout »

```

1.表示被唤醒原因是: 超时

2.它可能是因为等待队列等原因而挂起, 先把它从这些链表中移除

3.把线程放入就绪链表

4.发起调度

- 别的线程读队列: 注意thread->erro等于默认值

```
2459:
2460:                                     rt_mq_rcv
2461: /* resume suspended thread */
2462: if (!rt_list_isempty(&(mq->suspend_sender_thread))) 1.有线程因为写队列而挂起?
2463: {
2464:     rt_ipc_list_resume(&(mq->suspend_sender_thread)); 2.唤醒它
2465:
2466:     /* enable interrupt */
2467:     rt_hw_interrupt_enable(temp);
2468:
2469:     RT_OBJECT_HOOK_CALL(rt_object_take_hook, (&(mq->parent.parent)));
2470:     rt_schedule(); 3.调度
2471:
2472:     return RT_EOK;
2473: }
```