



复旦微电子

FM33XX ***低功耗系列 MCU*** ***应用笔记***

KEIL&IAR 程序在 RAM 执行

AN014

V1.0



本资料是为了让用户根据用途选择合适的上海复旦微电子集团股份有限公司（以下简称复旦微电子）的产品而提供的参考资料，不转让属于复旦微电子或者第三者所有的知识产权以及其他权利的许可。

在使用本资料所记载的信息最终做出有关信息和产品是否适用的判断前，请您务必将所有信息作为一个整体系统来进行评价。

采购方对于选择与使用本文描述的复旦微电子的产品和服务全权负责，复旦微电子不承担采购方选择与使用本文描述的产品和服务的责任。除非以书面形式明确地认可，复旦微电子的产品不推荐、不授权、不担保用于包括军事、航空、航天、救生及生命维持系统在内的，由于失效或故障可能导致人身伤亡、严重的财产或环境损失的产品或系统中。

未经复旦微电子的许可，不得翻印或者复制全部或部分本资料的内容。

今后日常的产品更新会在适当的时候发布，恕不另行通知。在购买本资料所记载的产品时，请预先向复旦微电子在当地的销售办事处确认最新信息，并请您通过各种方式关注复旦微电子公布的信息，包括复旦微电子的网站(<http://www.fmsh.com/>)。

如果您需要了解有关本资料所记载的信息或产品的详情，请与上海复旦微电子集团股份有限公司在当地的销售办事处联系。

商 标

上海复旦微电子集团股份有限公司的公司名称、徽标以及“复旦”徽标均为上海复旦微电子集团股份有限公司及其分公司在中国的商标或注册商标。

上海复旦微电子集团股份有限公司在中国发布，版权所有。

上海复旦微电子集团股份有限公司
Shanghai Fudan Microelectronics Group Company Limited

应用笔记

AN014—KEIL&IAR 程序在 RAM 执行

版本 1.0

论坛: <http://www.fmdevelopers.com.cn>



目 录

1 说明	1
2 背景	1
3 KEIL	1
①RAM 中分配中断向量表空间	1
②中断向量表搬移以及重定向	2
③将代码定位到 RAM 中	2
④测试结果	3
4 IAR	5
①RAM 中分配中断向量表空间	5
②中断向量表搬移以及重定向	5
③将代码定位到 RAM 中	6
④测试结果	7
版本信息	8
上海复旦微电子集团股份有限公司销售及网点	9



图目录

图 3-1 分配 RAM 空间保存中断向量表	1
图 3-2 中断向量表重定向.....	2
图 3-3 单函数在 RAM 执行指令	2
图 3-4 多函数在 RAM 中执行指令	3
图 3-5 RAM 执行测试结果	4
图 4-1 分配 RAM 空间保存中断向量表	5
图 4-2 中断向量表重定向.....	5
图 4-3 单函数在 RAM 执行指令	6
图 4-4 RAM 执行测试结果	7



1 说明

本文档为 FM33XX 系列低功耗 MCU 的应用笔记，用于说明将程序代码放到 RAM 执行的方法。FM33XX 系列是复旦微电子公司开发的低功耗 MCU 芯片，请联系复旦微电子公司提供更多相关文档支持设计开发。

2 背景

为什么需要将代码放到 RAM 中执行？

因为 CPU 在 Flash 中取指时进行 Flash 擦写，则 CPU 取指将被暂停，直到擦写操作完成(针对 FM33LC0XX 系列，擦 Page 时间为 2ms，写一个 word 的时间 55us)。所以针对将 flash 当成 EE 来用于存储数据，系统中断时间小于 2ms 并且要求实时性很高的应用需要考虑。

解答方法：如果 CPU 跳转到 RAM 中取指运行，则 Flash 擦写不会暂停 CPU 的执行。Flash 擦写过程中，若用户希望在 RAM 中执行代码时仍然能够实时响应中断，应将中断向量表重新映射到 RAM 中。下面关于 KEIL 和 IAR 给出简单的配置流程。

3 KEIL

①RAM 中分配中断向量表空间

修改 SCT 文件，分配 RAM 空间保存中断向量表，如图 3-1 所示

PS: cortex-m0 中断入口一共 48 个，分配 $48 * 4 = 192 = 0xC0$ 字节空间即可,比如分配的空间放到 RAM 起始位置，其他可用 RAM 起始地址为 0x200000C0

```
LR_IROM1 0x00000000 0x00040000 { ; load region size_region
ER_IROM1 0x00000000 0x00040000 { ; load address = execution address
*.o (RESET, +First)
*(InRoot$$Sections)
.ANY (+RO)
}
RW_IRAM1 0x200000c0 0x00006000-0xc0 { ; RW data
.ANY (+RW +ZI)
.ANY (TORAM)
}
}
```

图 3-1 分配 RAM 空间保存中断向量表

②中断向量表搬移以及重定向

如图 3-2 所示

```
void VTOR2RAM(void)
{
    __disable_irq();
    memcpy( (void*)0x20000000, (void*)0x00000000, 0xc0);
    SCB->VTOR = 0x20000000;
    __enable_irq();
}
```

图 3-2 中断向量表重定向

③将代码定位到 RAM 中

将在 Flash 擦写期间运行的程序(包括擦写函数),用__attribute__((section("TORAM"))))指令使其放到 RAM 中,如图 3-3 所示

```
LR_IROM1 0x00000000 0x00040000 { ; load region size_region
ER_IROM1 0x00000000 0x00040000 { ; load address = execution address
*.o (RESET, +First)
*(InRoot$$Sections)
.ANY (+RO)
}
RW_IRAM1 0x200000c0 0x00006000-0xc0 { ; RW data
.ANY (+RW +ZI)
.ANY (TORAM)
}

__attribute__((section("TORAM"))) void BSTIM_IRQHandler()
{
    time++;
    BSTIM32->ISR = 0X01;
    if(GPIOC->DO & 0X01)
        GPIOC->DRST = 0X01;
    else
        GPIOC->DSET = 0X01;
}

__attribute__((section("TORAM"))) void DataErase(uint32_t Space)
{
    RCC->PCLKCR2 |= BIT5;
    RCC->OPCCR2 |= BIT22;

    FLASH->EPCR = BIT0;
    FLASH->KEY = 0x96969696U;
    FLASH->KEY = 0xEAEAEAEAU;
    *((uint32_t *)Space) = 0x1234ABCDU;

    while(!(FLASH->ISR & BIT0));
    FLASH->ISR |= BIT0;
    FLASH->KEY = 0x00000000;

    RCC->OPCCR2 &= ~BIT22;
    RCC->PCLKCR2 &= ~BIT5;
}
```

图 3-3 单函数在 RAM 执行指令

Tip1: 使用 `__attribute__((section("name")))` 修饰的函数中调用到的所有函数也要放到 `section("name")` 中, 否则子函数如果在 FLASH 中取指时, CPU 也会暂停, 直到擦写完成。

Tip2: 如果很多的代码需要放到 RAM 中执行, 可以只用以 `#pragma arm section code = "RUNRAM"` 开头(“”里的名字与 `sct` 内部名字对应即可), 以 `#pragma arm section` 结尾。将所有需要放到 RUNRAM section 的函数包括进来。如图 3-4 所示

```

#pragma arm section code = "RUNRAM "
void BSTIM_IRQHandler()
{
    time++;
    BSTIM32->ISR = 0X01;
    if(GPIOC->DO & 0X01)
        GPIOC->DRST =0X01;
    else
        GPIOC->DSET =0X01;
}
#pragma arm section

```

图 3-4 多函数在 RAM 中执行指令

④测试结果

→测试条件: BSTIM-200us 中断, 使用 PC0 进行翻转。当对 FLASH 进行擦流程时(擦时间 2ms), 通过观察进中断的次数以及翻 IO 的频率, 来判断 CPU 是否被暂停。如图 3-5 所示



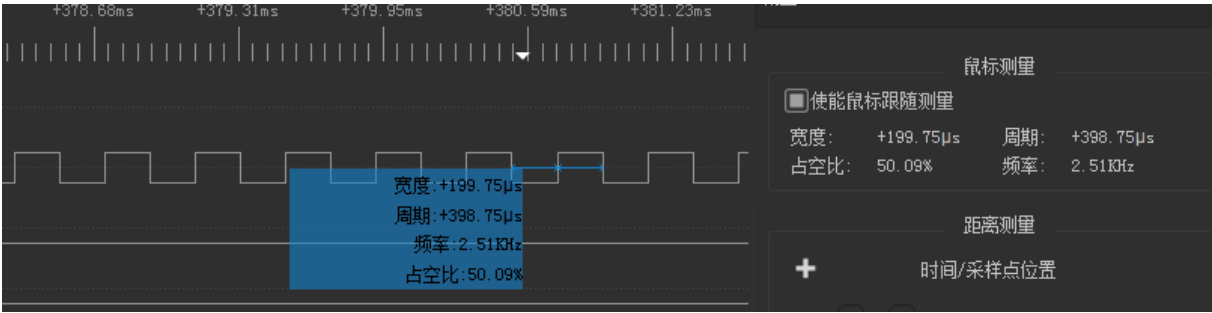


图 3-5 RAM 执行测试结果

4 IAR

①RAM 中分配中断向量表空间

修改 ICF 文件，分配 RAM 空间保存中断向量表，如图 4-1 所示

PS: cortex-m0 中断入口一共 48 个，分配 $48 \times 4 = 192 = 0xC0$ 字节空间即可,比如分配的空间放到 RAM 起始位置，其他可用 RAM 起始地址为 0x200000C0

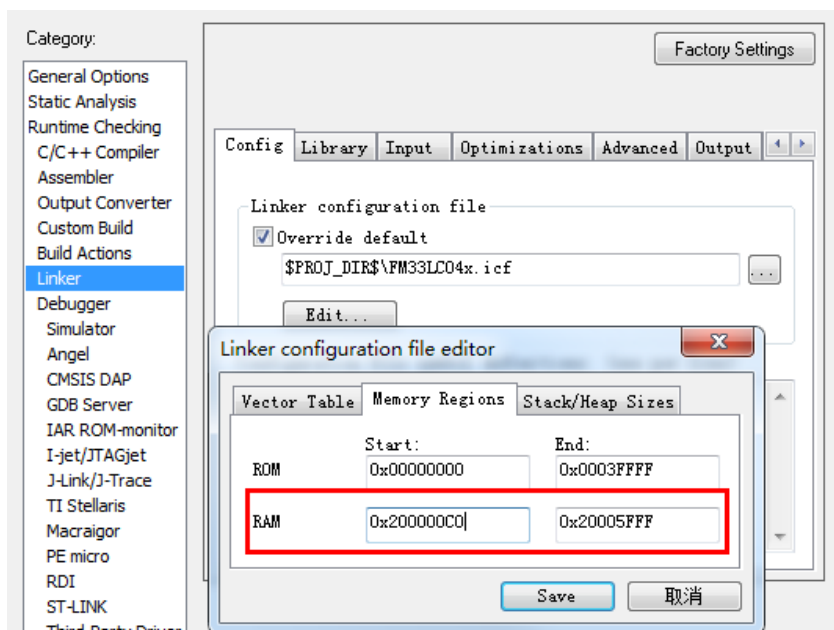


图 4-1 分配 RAM 空间保存中断向量表

②中断向量表搬移以及重定向

如图 4-2 所示

```
void VTOR2RAM(void)
{
    __disable_irq();
    memcpy( (void*)0x20000000, (void*)0x00000000, 0xc0);
    SCB->VTOR = 0x20000000;
    __enable_irq();
}

int main(void)
{
    VTOR2RAM(); // 中断向量表重定向到RAM
}
```

图 4-2 中断向量表重定向

③将代码定位到 RAM 中

将需要在 Flash 擦写期间运行的程序(包括擦写函数),使用__ramfunc 指令使其放到 RAM 中,如图 4-3 所示

```
__ramfunc void DataErase(uint32_t Space)
{
    RCC->PCLKCR2 |= BIT5;
    RCC->OPCCR2 |= BIT22;

    FLASH->EPCR = BIT0;
    FLASH->KEY = 0x96969696U;
    FLASH->KEY = 0xEAEAEAEAU;
    *((uint32_t *)Space) = 0x1234ABCDU;

    while(! (FLASH->ISR & BIT0));
    FLASH->ISR |= BIT0;
    FLASH->KEY = 0x00000000;

    RCC->OPCCR2 &= ~BIT22;
    RCC->PCLKCR2 &= ~BIT5;
}

__ramfunc void BSTIM_IRQHandler()
{
    time++;
    BSTIM32->ISR = 0X01;
    if(GPIOC->DO & 0X01)
        GPIOC->DRST =0X01;
    else
        GPIOC->DSET =0X01;
}
```

图 4-3 单函数在 RAM 执行指令

Tip1: 使用__ramfunc 修饰的函数中调用到的所有函数也要使用__ramfunc 定义, 否则子函数如果在 FLASH 中取指时, CPU 也会暂停, 直到擦写完成。

Tip2: 如果很多的代码需要放到 RAM 中执行, 使用#pragma default_function_attributes = @ " Section Name "的格式作为要指定函数的开始以及#pragma default_function_attributes =的格式作为要指定函数的结束。

PS: ①关于 Tip2 中, 还需要修改 ICF 文件

initialize by copy { readwrite , Section Name };

place in RAM_region { readwrite,block CSTACK, block HEAP, Section Name };

②由于 IAR startup 启动过程的链接保护机制, 使用 Tip2 中的方法如果范围内有中断函数, 则不会搬移, 可以在 ICF 文件中手动搬移或者该中断函数使用__ramfunc

④测试结果

→测试条件：BSTIM-200us 中断，使用 PC0 进行翻转。当对 FLASH 进行擦流程时(擦时间 2ms)，通过观察进中断的次数以及翻 IO 的频率，来判断 CPU 是否被暂停。如图 4-4 所示

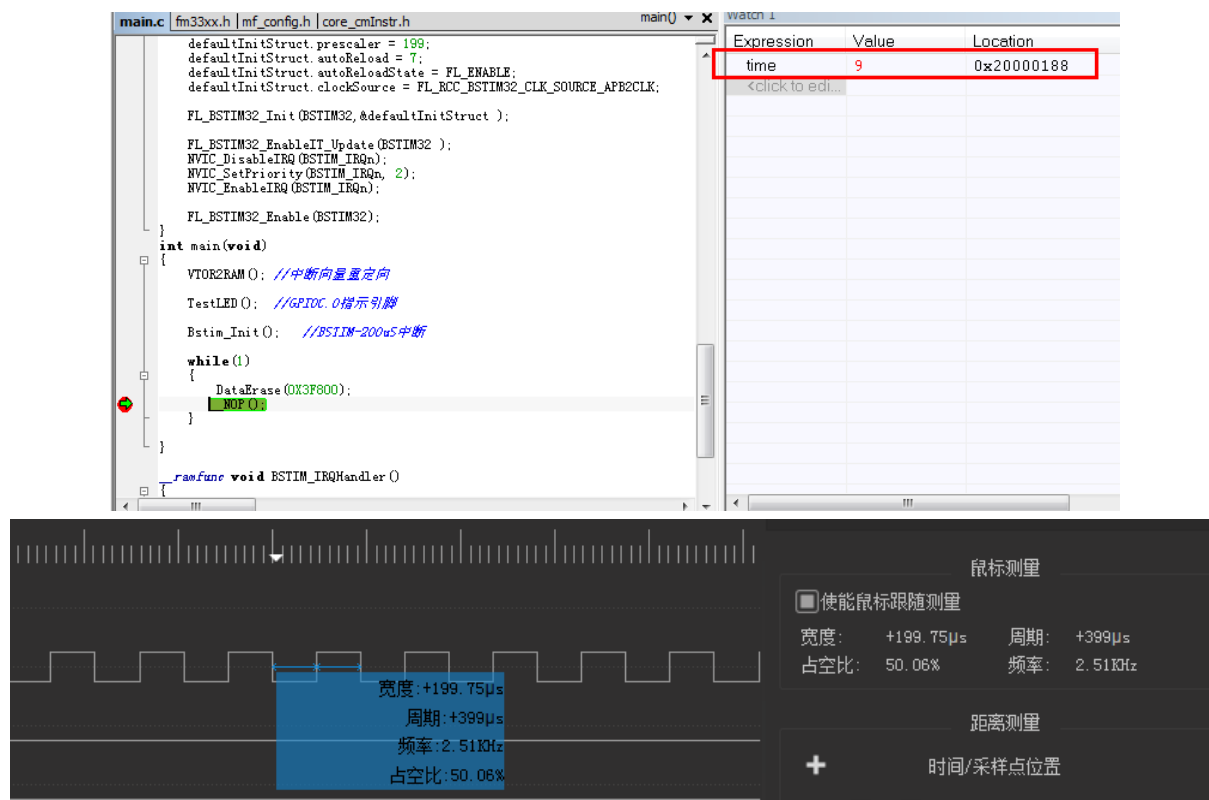


图 4-4 RAM 执行测试结果



版本信息

版本号	发布日期	更改说明
1.0	2021.11	首次发布



上海复旦微电子集团股份有限公司销售及服 务 网 点

上海复旦微电子集团股份有限公司

地址：上海市国泰路 127 号 4 号楼

邮编：200433

电话：(86-021) 6565 5050

传真：(86-021) 6565 9115

上海复旦微电子（香港）股份有限公司

地址：香港九龙尖沙咀东嘉连威老道 98 号东海商业中心 5 楼 506 室

电话：(852) 2116 3288 2116 3338

传真：(852) 2116 0882

北京办事处

地址：北京市东城区东直门北小街青龙胡同 1 号歌华大厦 B 座 423 室

邮编：100007

电话：(86-10) 8418 6608

传真：(86-10) 8418 6211

深圳办事处

地址：深圳市华强北路 4002 号圣廷苑酒店世纪楼 1301 室

邮编：518028

电话：(86-0755) 8335 0911 8335 1011 8335 2011 8335 0611

传真：(86-0755) 8335 9011

台湾办事处

地址：台北市 114 内湖区内湖路一段 252 号 12 楼 1225 室

电话：(886-2) 7721 1889

传真：(886-2) 7722 3888

新加坡办事处

地址：237, Alexandra Road, #07-01, The Alexcior, Singapore 159929

电话：(65) 6472 3688

传真：(65) 6472 3669

北美办事处

地址：2490 W. Ray Road Suite#2 Chandler, AZ 85224 USA

电话：(480) 857-6500 ext 18

公司网址：<http://www.fmsh.com/>