GigaDevice Semiconductor Inc.

Arm® Cortex®- M3/M4/M23/M33 32-bit MCU

应用笔记

AN018

目录

目录 2
图索引 3
表索引 4
1. 简介 5
2. MPU 应用 6
2.1. 开发环境 6
2.2. 开发目标 6
2.3. 代码解读 6
3. 特权模式和用户模式切换 11
3.1. 开发环境 11
3.2. 特权模式和用户模式切换简介 11
3.3. 开发目标 11
3.4. 代码解读 11
4. 版本历史 15

图索引

图 2-1. MPU 流程图 7
图 3-1. 特权模式与用户模式的切换 11

表索引

表 **2-1.** 主程序代码 ... 7
表 **2-2. mpu_setup()**函数代码 ... 8
表 **2-3. mpu_access_permission()**函数代码 ... 10
表 **3-1.** 主程序代码 ... 12
表 **4-1.** 版本历史 ... 15

1. 简介

存储保护单元（MPU）是 Cortex-M3/M4 控制器中一个可以选配的单元，它可以实施对存储器的保护，从而使软件系统更加健壮和可靠。更多关于 MPU 的基础知识在 Cortex-M3 权威指南中文版的第 14 章有非常详细的介绍，或者查看 Cortex-M4 权威指南英文版第 11 章。本应用笔记基于 GD32F4xx 系列，分别介绍如何根据应用设置 MPU 以及如何实现特权模式和用户模式之间的切换。

2. MPU 应用

IAP 程序通常由两个部分组成：Bootloader 和 APP。Bootloader 和 APP 分别为两个工程程序，存放在 Flash 的 Main Flash 区，即 0x08000000 开始的区域。

2.1. 开发环境

开发板：GD32450Z-EVAL

开发工具：GD32F4xx_MPU_example

Keil/IAR

2.2. 开发目标

在软件中定义一个数组 PrivilegedReadOnlyArray，并把该数组所属的区域属性定义为特权级下只读，验证对该区域进行写操作时会导致存储管理异常。

2.3. 代码解读

MPU 的编程可以分成四个步骤：

(a) 通过 MPU 类型寄存器检查内核是否支持 MPU；

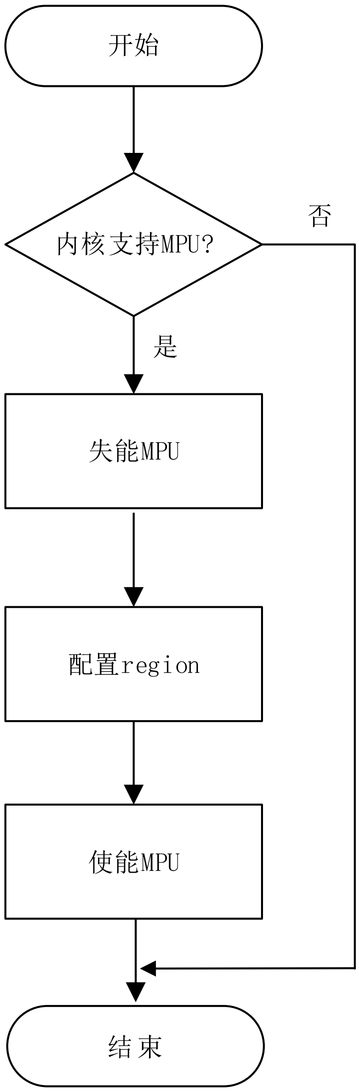
(b) 失能 MPU；

(c) 根据应用需要配置每个 region 的大小和属性；

(d) 使能 MPU。

流程图如*图 2-1. MPU 流程图*所示。

图 2-1. MPU 流程图



在主程序中，先配置 systick，然后初始化 LED1 和 LED2，接着判断内核是否支持 MPU。如果不支持，程序就进入无限循环。如果支持，就对 MPU 进行配置。最后让 LED1 每隔一秒钟翻转一次。主程序代码如*表 2-1. 主程序代码*所示。

表 2-1. 主程序代码

```
int main(void)
{
    systick_config();
    gd_eval_led_init(LED1);
    gd_eval_led_init(LED2);
    gd_eval_led_off(LED2);

    /* if core dose not support MPU, go to infinite loop */
    if(FALSE == mpu_test()){
        while(1);
```

```
    }

    mpu_setup();
    mpu_access_permission_config();
    while(1){
        /* toggle led1*/
        gd_eval_led_toggle(LED1);
        delay_1ms(1000);
    }
}
```

在 mpu_setup() 函数中对 RAM、FLASH、外设所属区域的属性进行配置，在 mpu_access_permission_config()函数中对数组 PrivilegedReadOnlyArray 所属区域的属性进行配置。下面着重介绍 mpu_setup()函数和 mpu_access_permission_config()函数。

在 mpu_setup()函数中，程序开始先失能 MPU，然后对 RAM 所在的区域进行属性设置。设置 RAM 为 region 0，起始地址为 0x20000000，大小为 8kB，在特权级和用户级下可读可写。不可共享，不可缓存，不可缓冲，允许取指。接着对 FLASH 所在的区域进行属性设置。设置 FLASH 为 region 1，起始地址为 0x08000000，大小为 1MB，在特权级和用户级下可读可写。不可共享，不可缓存，不可缓冲，允许取指。最后对外设所在的区域进行属性设置。设置外设为 region 2，起始地址为 0x40000000，大小为 512MB，在特权级和用户级下可读可写。不可共享，不可缓存，不可缓冲，不允许取指。设置完成后，使能 MPU。mpu_setup()函数的代码如*表 2-2. mpu_setup()函数代码*所示。

表 2-2. mpu_setup()函数代码

```
void mpu_setup(void)
{
    mpu_region_init_struct mpu_init_struct;

    /* disable MPU */
    mpu_disable();

    /* configure RAM region as region 0, 8kB of size and R/W region */
    mpu_init_struct.enable                    =   MPU_REGION_ENABLE;
    mpu_init_struct.base_address              =   RAM_BASE_ADDRESS;
    mpu_init_struct.region_size               =   RAM_SIZE;
    mpu_init_struct.access_permission=MPU_REGION_PRIV_READ_WRITE_USER_READ_WRI
    TE;
    mpu_init_struct.bufferable                =   MPU_ACCESS_NOT_BUFFERABLE;
    mpu_init_struct.cacheable                 =   MPU_ACCESS_NOT_CACHEABLE;
    mpu_init_struct.shareable                 =   MPU_ACCESS_NOT_SHAREABLE;
    mpu_init_struct.number                    =   MPU_REGION_NUMBER_0;
    mpu_init_struct.type_extension_field      =   MPU_TEX_LEVEL_0;
    mpu_init_struct.sub_region_disable        =   MPU_SUB_REGION_ALL_DISABLE;
    mpu_init_struct.instruction_accessable =   MPU_INSTRUCTION_ACCESS_ENABLE;
```

```
    mpu_region_config(&mpu_init_struct);

    /* configure FLASH region as region 1, 1MB of size and R/W region */
    mpu_init_struct.base_address              = FLASH_BASE_ADDRESS;
    mpu_init_struct.region_size               = FLASH_SIZE;
    mpu_init_struct.number                    = MPU_REGION_NUMBER_1;

    mpu_region_config(&mpu_init_struct);

    /* configure peripheral region as region 2, 512MB of size, R/W and execute never region */
    mpu_init_struct.base_address              = PERIPH_BASE_ADDRESS;
    mpu_init_struct.region_size               = PERIPH_SIZE;
    mpu_init_struct.number                    = MPU_REGION_NUMBER_2;
    mpu_init_struct.instruction_accessable =  MPU_INSTRUCTION_ACCESS_DISABLE;

    mpu_region_config(&mpu_init_struct);

    /* enable MPU */
    mpu_enable(MPU_HFNMI_DISABLE_PRIVDEF_ENABLE);

}
```

在 mpu_access_permission_config()函数中，程序开始先失能 MPU，然后对数组 PrivilegedReadOnlyArray 所在的区域进行属性配置。设置数组为 region 3，起始地址为 0x20002000，大小为 32byte，仅在特权级下可读。不可共享，不可缓存，不可缓冲，允许取指。设置完成后，使能 MPU。由于设置为仅在特权级下可读，因此执行 read_data = PrivilegedReadOnlyArray[0];后不会进入 MemManage_Handler。但是，如果执行了写操作 PrivilegedReadOnlyArray[0] = 'a'; 就会进入 MemManage_Handler，点亮 LED2。mpu_access_permission_config()函数的代码如*表 2-3. mpu_access_permission()函数代码*所示。

表 2-3. mpu_access_permission()函数代码

```
void mpu_access_permission_config(void)
{
    mpu_region_init_struct mpu_struct;

    /* disable MPU */
    mpu_disable();

    /* configure region for privileged read only array as region 3, 32 byte and read only in privileged mode */
    mpu_struct.enable                   = MPU_REGION_ENABLE;
    mpu_struct.base_address             = ARRAY_BASE_ADDRESS;
    mpu_struct.region_size              = ARRAY_SIZE;
    mpu_struct.access_permission=MPU_REGION_PRIV_READ_ONLY_USER_DISABLE;
    mpu_struct.bufferable               = MPU_ACCESS_NOT_BUFFERABLE;
    mpu_struct.cacheable                = MPU_ACCESS_NOT_CACHEABLE;
    mpu_struct.shareable                = MPU_ACCESS_NOT_SHAREABLE;
    mpu_struct.number                   = MPU_REGION_NUMBER_3;
    mpu_struct.type_extension_field     = MPU_TEX_LEVEL_0;
    mpu_struct.sub_region_disable       = MPU_SUB_REGION_ALL_DISABLE;
    mpu_struct.instruction_accessable   = MPU_INSTRUCTION_ACCESS_ENABLE;

    mpu_region_config(&mpu_struct);

    /* enable MPU */
    mpu_enable(MPU_HFNMI_DISABLE_PRIVDEF_ENABLE);

    /* read from privileged read only array. This will not generate error */
    read_data = PrivilegedReadOnlyArray[0];

    /* uncomment the following line to write to privileged read only array. This will generate error */
//    PrivilegedReadOnlyArray[0] = 'a';
}
```

3. 特权模式和用户模式切换

3.1. 开发环境

开发板：GD32450Z-EVAL

开发工具：GD32F4xx_privileged_mode_unprivileged_mode_switch

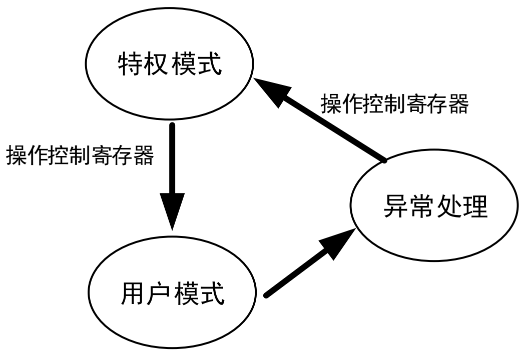
Keil

3.2. 特权模式和用户模式切换简介

特权模式和用户模式是 Cortex-M3/M4 支持的两种模式，可以通过控制寄存器的位 0 进行设定。在特权模式下，可以通过置位 CONTROL[0]进入用户模式。用户模式下的代码不能再试图修改 CONTROL[0]来回到特权模式，必须通过一个异常处理操作，比如 SVC(Supervisor Calls)。在异常处理中修改 CONTROL[0]，可以从用户模式回到特权模式。特权模式和用户模式的切换过程如*图 3-1. 特权模式与用户模式的切换*所示。在不同的模式下，代码拥有不同的访问权限。当代码运行在特权模式下，它拥有所有的访问许可；而在用户模式下，它的访问权限受到限制。

特权模式和用户模式不是 MPU 的一部分，但是与 MPU 有关联。通过 MPU，可以设定内存的访问规则，这些规则包括内存所在空间在特权级下是否可读可写。因此，通过 MPU 设定内存的读写属性，对该内存进行读写操作，可以更好的理解特权模式和用户模式的切换。

图 3-1. 特权模式与用户模式的切换



3.3. 开发目标

通过本例程的学习，开发者可以更好的理解特权模式和用户模式的切换。

3.4. 代码解读

在主程序中，先配置 systick 并初始化 LED1、LED2。然后判断内核是否支持 MPU。接着把堆

栈指针从主堆栈指针切换为进程堆栈指针，对 MPU 进行配置。在 mpu_access_permission_config()函数中把数组 PrivilegedReadOnlyArray 所属区域的属性定义为特权级下可读可写。把线程模式从特权模式切换为用户模式，此时如果对数组 PrivilegedReadOnlyArray 进行写操作，会触发存储管理异常，点亮 LED2。直接修改控制寄存器不能切换回特权模式，必须在异常中修改。程序中进入 SVC 异常，在异常中切换回特权模式，此时在主程序中对数组 PrivilegedReadOnlyArray 进行写操作不会触发存储管理异常，进入 while 循环，实现 LED1 翻转。主程序代码如*表 3-1. 主程序代码*所示.

表 3-1. 主程序代码

```
int main(void)
{
    systick_config();
    gd_eval_led_init(LED1);
    gd_eval_led_init(LED2);
    gd_eval_led_off(LED2);

    /* core dose not support MPU, go to infinite loop */
    if(FALSE == mpu_test()){
        while(1);
    }
    /* switch thread mode stack from main to process */
    /* initialize memory reserved for process stack */
    for(Index = 0; Index < SP_PROCESS_SIZE; Index++)
    {
      PSPMemAlloc[Index] = 0x00;
    }

    /* set process stack value */
    __set_PSP((uint32_t)PSPMemAlloc + SP_PROCESS_SIZE);

    /* select process stack as thread mode stack */
    __set_CONTROL(SP_PROCESS);

    /* execute ISB instruction to flush pipeline as recommended by arm */
    __ISB();

    /* get the thread mode stack used */
    if((__get_CONTROL() & 0x02) == SP_MAIN){
        /* main stack is used as the current stack */
        CurrentStack = SP_MAIN;
    }else{
        /* process stack is used as the current stack */
        CurrentStack = SP_PROCESS;
```

```
        /* get process stack pointer value */
        PSPValue = __get_PSP();
    }

    mpu_setup();
    mpu_access_permission_config();

    /* switch thread mode from privileged to unprivileged */
    /* thread mode has unprivileged access */
    __set_CONTROL(THREAD_MODE_UNPRIVILEGED | SP_PROCESS);

    /* execute ISB instruction to flush pipeline as recommended by arm */
    __ISB();

    /* unprivileged access mainly affect ability to:
      - use or not use certain instructions such as MSR fields
      - access System Control Space (SCS) registers such as NVIC and SysTick */

    /* check thread mode privilege status */
    if((__get_CONTROL() & 0x01) == THREAD_MODE_PRIVILEGED){
        /* thread mode has privileged access */
        ThreadMode = THREAD_MODE_PRIVILEGED;
    }else{
        /* thread mode has unprivileged access */
        ThreadMode = THREAD_MODE_UNPRIVILEGED;
    }

    /* the thread mode is unprivileged now. It will cause MemManage fault if uncomment the following
       four lines.*/
//      if(PrivilegedReadOnlyArray[0])
//      {
//          PrivilegedReadOnlyArray[0] = 'e';
//      }

    /* switch back thread mode from unprivileged to privileged */
    /* try to switch back thread mode to privileged (Not possible, this can be
         done only in Handler mode) */
    __set_CONTROL(THREAD_MODE_PRIVILEGED | SP_PROCESS);

    /* execute ISB instruction to flush pipeline as recommended by arm */
    __ISB();

    /* generate a system call exception, and in the ISR switch back thread mode to privileged */
```

```
    __SVC();

    /* check Thread mode privilege status */
    if((__get_CONTROL() & 0x01) == THREAD_MODE_PRIVILEGED)
    {
        /* Thread mode has privileged access */
        ThreadMode = THREAD_MODE_PRIVILEGED;
    }else{
        /* Thread mode has unprivileged access */
        ThreadMode = THREAD_MODE_UNPRIVILEGED;
    }

    /* the thread mode is privileged now ,write to PrivilegedReadOnlyArray[0] will not cause
      MemManage fault */
    if(PrivilegedReadOnlyArray[0])
    {
        PrivilegedReadOnlyArray[0] = 'e';
    }

    while(1){
        /* toggle led1*/
        gd_eval_led_toggle(LED1);
        delay_1ms(1000);
    }
}
```

4. 版本历史

表 4-1. 版本历史

版本号.	说明	日期
1.0	首次发布	2021 年 11 月 30 日

Important Notice