南方科技大学
SOUTHERN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

Embedded System and Microcomputer Principle

LAB3 External Interrupts

2022 Fall
wangq9@mail.sustech.edu.cn

南方科技大学
SOUTHERN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

CONTENTS

01

NVIC Function Description

1. NVIC -- 概述

- Nested Vectored Interrupt Controller
- Cortex-M3内核支持256个中断，其中包含了16个内核中断和240个外部中断，具有256级的可编程中断设置
- STM32并没有使用Cortex-M3内核的全部中断，STM32有84个中断，包括16个内核中断和68个可屏蔽中断，具有16级可编程的中断优先级
- STM32F103系列上面，只有60个可屏蔽中断

1. NVIC -- 概述

0	7	可设置	WWDG	窗口定时器中断	0x0000_0040
1	8	可设置	PVD	连到EXTI的电源电压检测(PVD)中断	0x0000_0044
2	9	可设置	TAMPER	侵入检测中断	0x0000_0048
3	10	可设置	RTC	实时时钟(RTC)全局中断	0x0000_004C
4	11	可设置	FLASH	闪存全局中断	0x0000_0050
5	12	可设置	RCC	复位和时钟控制(RCC)中断	0x0000_0054
6	13	可设置	EXTI0	EXTI线0中断	0x0000_0058
7	14	可设置	EXTI1	EXTI线1中断	0x0000_005C
8	15	可设置	EXTI2	EXTI线2中断	0x0000_0060
9	16	可设置	EXTI3	EXTI线3中断	0x0000_0064
10	17	可设置	EXTI4	EXTI线4中断	0x0000_0068
11	18	可设置	DMA1通道1	DMA1通道1全局中断	0x0000_006C
12	19	可设置	DMA1通道2	DMA1通道2全局中断	0x0000_0070
13	20	可设置	DMA1通道3	DMA1通道3全局中断	0x0000_0074
14	21	可设置	DMA1通道4	DMA1通道4全局中断	0x0000_0078
15	22	可设置	DMA1通道5	DMA1通道5全局中断	0x0000_007C
16	23	可设置	DMA1通道6	DMA1通道6全局中断	0x0000_0080
17	24	可设置	DMA1通道7	DMA1通道7全局中断	0x0000_0084
18	25	可设置	ADC1_2	ADC1和ADC2的全局中断	0x0000_0088
19	26	可设置	USB_HP_CAN_TX	USB高优先级或CAN发送中断	0x0000_008C
20	27	可设置	USB_LP_CAN_RX0	USB低优先级或CAN接收0中断	0x0000_0090
21	28	可设置	CAN_RX1	CAN接收1中断	0x0000_0094
21	28	可设置	CAN_RX1	CAN接收1中断	0x0000_0094
22	29	可设置	CAN_SCE	CAN SCE中断	0x0000_0098
23	30	可设置	EXTI9_5	EXTI线[9:5]中断	0x0000_009C
24	31	可设置	TIM1_BRK	TIM1刹车中断	0x0000_00A0
25	32	可设置	TIM1_UP	TIM1更新中断	0x0000_00A4
26	33	可设置	TIM1_TRG_COM	TIM1触发和通信中断	0x0000_00A8
27	34	可设置	TIM1_CC	TIM1捕获比较中断	0x0000_00AC
28	35	可设置	TIM2	TIM2全局中断	0x0000_00B0
29	36	可设置	TIM3	TIM3全局中断	0x0000_00B4
30	37	可设置	TIM4	TIM4全局中断	0x0000_00B8
31	38	可设置	I2C1_EV	I^2C1事件中断	0x0000_00BC
32	39	可设置	I2C1_ER	I^2C1错误中断	0x0000_00C0
33	40	可设置	I2C2_EV	I^2C2事件中断	0x0000_00C4
34	41	可设置	I2C2_ER	I^2C2错误中断	0x0000_00C8
35	42	可设置	SPI1	SPI1全局中断	0x0000_00CC
36	43	可设置	SPI2	SPI2全局中断	0x0000_00D0
37	44	可设置	USART1	USART1全局中断	0x0000_00D4
38	45	可设置	USART2	USART2全局中断	0x0000_00D8
39	46	可设置	USART3	USART3全局中断	0x0000_00DC
40	47	可设置	EXTI15_10	EXTI线[15:10]中断	0x0000_00E0
41	48	可设置	RTCAlarm	连到EXTI的RTC闹钟中断	0x0000_00E4
42	49	可设置	USB唤醒	连到EXTI的从USB待机唤醒中断	0x0000_00E8
43	50	可设置	TIM8_BRK	TIM8刹车中断	0x0000_00EC
44	51	可设置	TIM8_UP	TIM8更新中断	0x0000_00F0
45	52	可设置	TIM8_TRG_COM	TIM8触发和通信中断	0x0000_00F4
46	53	可设置	TIM8_CC	TIM8捕获比较中断	0x0000_00F8
47	54	可设置	ADC3	ADC3全局中断	0x0000_00FC
48	55	可设置	FSMC	FSMC全局中断	0x0000_0100
49	56	可设置	SDIO	SDIO全局中断	0x0000_0104
50	57	可设置	TIM5	TIM5全局中断	0x0000_0108
51	58	可设置	SPI3	SPI3全局中断	0x0000_010C
52	59	可设置	UART4	UART4全局中断	0x0000_0110
53	60	可设置	UART5	UART5全局中断	0x0000_0114
54	61	可设置	TIM6	TIM6全局中断	0x0000_0118
55	62	可设置	TIM7	TIM7全局中断	0x0000_011C
56	63	可设置	DMA2通道1	DMA2通道1全局中断	0x0000_0120
57	64	可设置	DMA2通道2	DMA2通道2全局中断	0x0000_0124
58	65	可设置	DMA2通道3	DMA2通道3全局中断	0x0000_0128
59	66	可设置	DMA2通道4_5	DMA2通道4和DMA2通道5全局中断	0x0000_012C

1. NVIC -- 中断优先级分组

- 中断管理方法
  - （1）对STM32中断进行分组，组0~4
  - （2）对每个中断设置一个抢占优先级和一个子优先级（响应优先级）的值，数值越小优先级越高

组	AIRCR[10：8]	IP bit[7：4]分配情况	分配结果
0	111	0：4	0位抢占优先级，4位子优先级
1	110	1：3	1位抢占优先级，3位子优先级
2	101	2：2	2位抢占优先级，2位子优先级
3	100	3：1	3位抢占优先级，1位子优先级
4	011	4：0	4位抢占优先级，0位子优先级

1. NVIC -- 中断优先级分组

- 分组配置：Group0~4
- 一般情况下，系统代码执行过程中，只设置一次中断优先级分组，比如分组2，设置好分组之后一般不会再改变分组。随意改变分组会导致中断管理混乱，程序出现意想不到的执行结果。
- 此处的“分组”，不是将中断源分为若干组的意思，可以理解为中断管理的不同配置方式。

1. NVIC -- 中断优先级分组

- 抢占优先级和子优先级的区别
  - 高优先级的抢占优先级可以打断正在进行的低抢占优先级中断
  - 抢占优先级相同的中断，子优先级较高的中断不可以打断子优先级较低的中断
  - 抢占优先级相同的中断，当两个中断同时发生的情况下，哪个子优先级高，哪个先执行
  - 如果两个中断的抢占优先级和子优先级都是一样的话，则看哪个中断先发生就先执行

1. NVIC -- 中断优先级分组

- 举例
  - 假定设置中断优先级组为2。
  - 设置中断3的抢占优先级为2，子优先级为1。
  - 中断6的抢占优先级为3，子优先级为0。
  - 中断7的抢占优先级为2，子优先级为0。
  - 那么这3个中断的优先级顺序为：中断7 > 中断3 > 中断6

1. NVIC -- 中断优先级设置步骤

- 系统运行后先设置中断优先级分组。整个系统执行过程中，只设置一次中断分组。
- 针对每个中断，设置对应的抢占优先级和响应优先级。
- 如果需要挂起/解挂，查看中断当前激活状态，分别调用相关函数即可。

02

EXTI Function Description

2. EXTI -- 概述

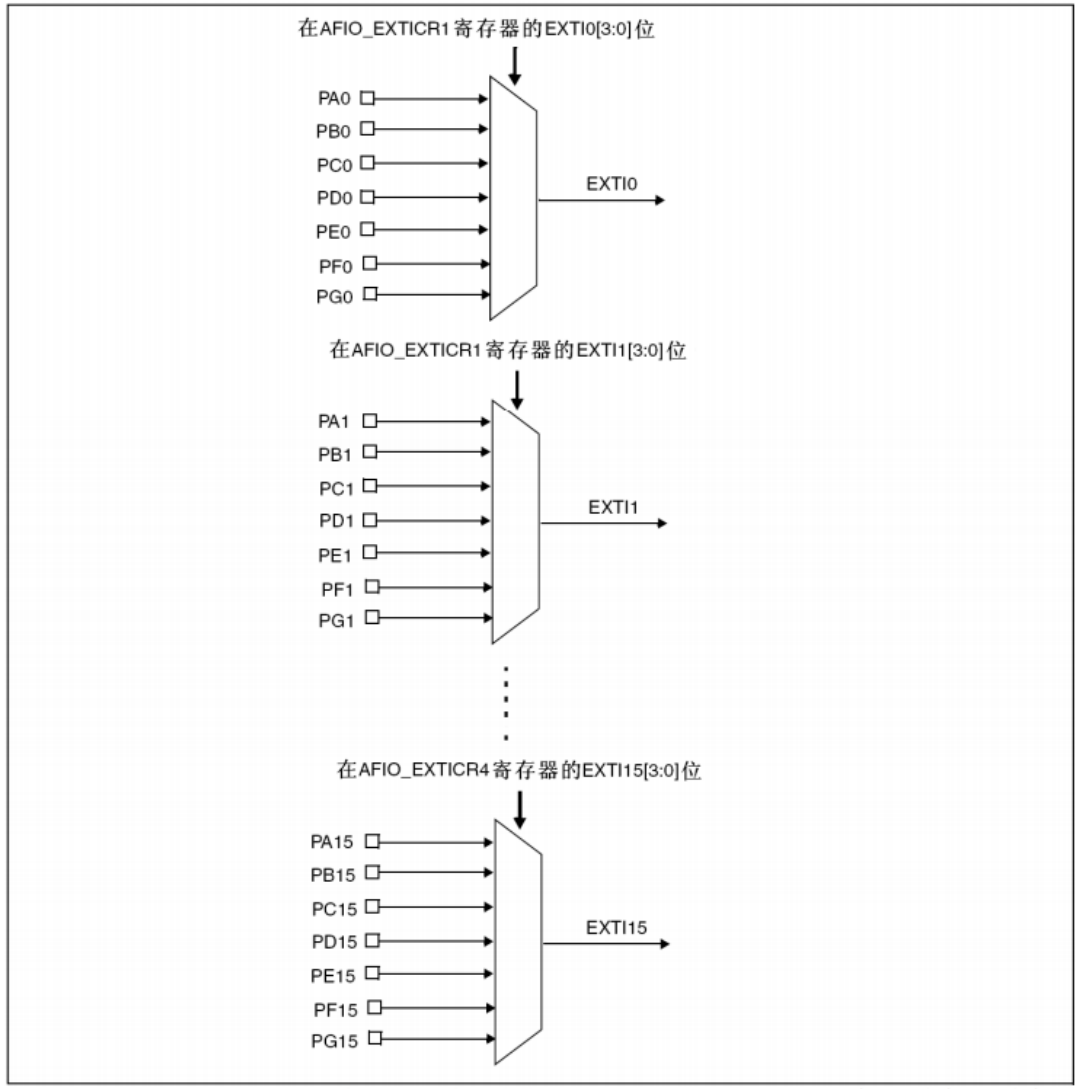
- EXTernal Interrupt/event
- STM32的每个IO都可以作为外部中断输入。
- STM32的中断控制器支持19个外部中断/事件请求：
  - 线0~15：对应外部IO口的输入中断。
  - 线16：连接到PVD输出。
  - 线17：连接到RTC闹钟事件。
  - 线18：连接到USB唤醒事件。
- 每个外部中断线可以独立的配置触发方式（上升沿，下降沿或者双边沿触发），触发/屏蔽，专用的状态位。
- How to use 16 wires to control 51 GPIO ports?

2. EXTI -- 外部中断线映射

GPIOx.0映射到EXTI0
GPIOx.1映射到EXTI1
…
GPIOx.15映射到EXTI15

对于每个中断线，我们可以设置相应的触发方式（上升沿触发，下降沿触发，边沿触发）以及使能。

图20　外部中断通用I/O映像



2. EXTI -- 外部中断服务函数

- IO口外部中断在中断向量表中只分配了7个中断向量，也就是只能使用7个中断服务函数
- 外部中断线5~9分配一个中断向量，共用一个服务函数
- 外部中断线10~15分配一个中断向量，共用一个中断服务函数。

位置	优先级	优先级类型	名称	说明	地址	中断服务函数
6	13	可设置	EXTI0	EXTI线0中断	0x0000_0058	EXTI0_IRQHandler
7	14	可设置	EXTI1	EXTI线1中断	0x0000_005C	EXTI1_IRQHandler
8	15	可设置	EXTI2	EXTI线2中断	0x0000_0060	EXTI2_IRQHandler
9	16	可设置	EXTI3	EXTI线3中断	0x0000_0064	EXTI3_IRQHandler
10	17	可设置	EXTI4	EXTI线4中断	0x0000_0068	EXTI4_IRQHandler
23	30	可设置	EXTI9_5	EXTI线[9:5]中断	0x0000_009C	EXTI9_5_IRQHandler
40	47	可设置	EXTI15_10	EXTI线[15:10]中断	0x0000_00E0	EXTI15_10_IRQHandler

2. EXTI -- 外部中断配置步骤

- 初始化IO口为输入
- 开启IO口复用时钟
- 设置IO口与中断线的映射关系
- 初始化线上中断，设置触发条件等
- 配置中断分组（NVIC），并使能中断
- 编写中断服务函数
- 清除中断标志位

03

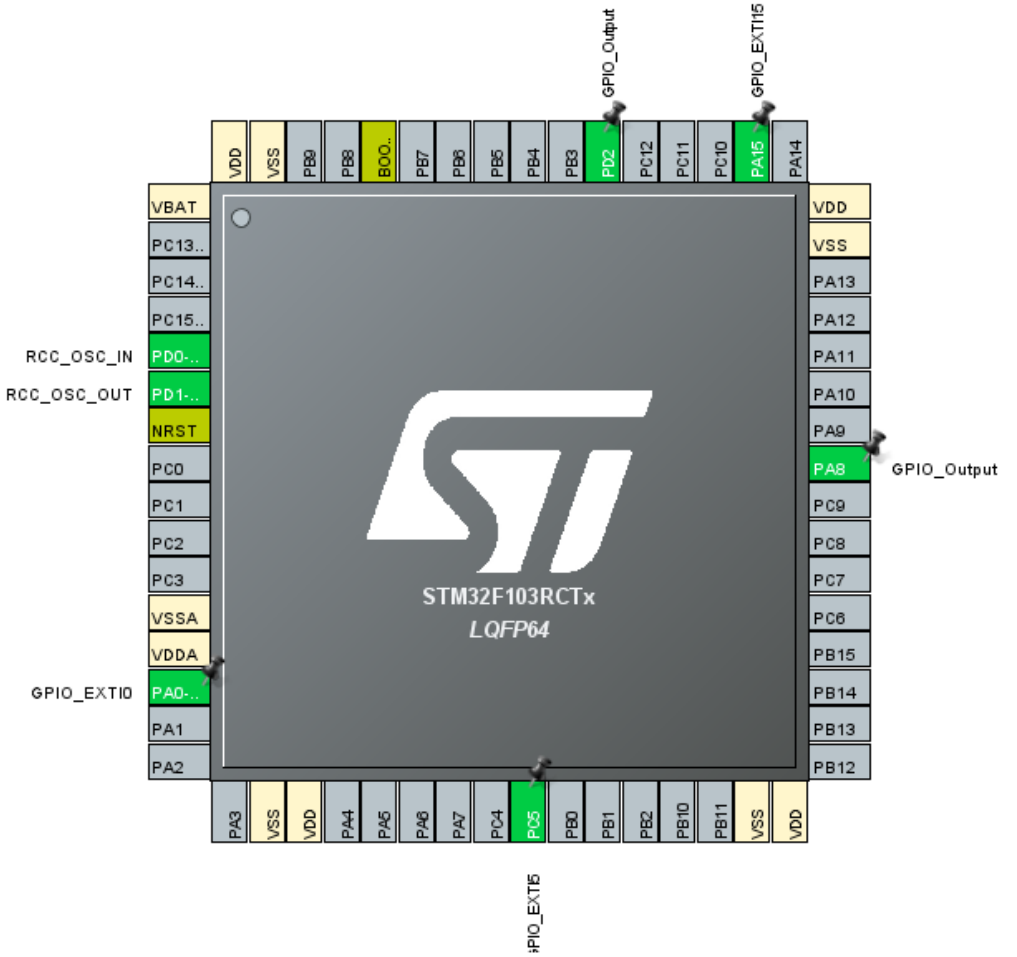
How to program

3. How to program

- Our goal
  - Use the three buttons, KEY0, KEY1 and WK_UP as EXTI input to control the LEDs, rather than check the value of these three GPIO pins in the main routine.

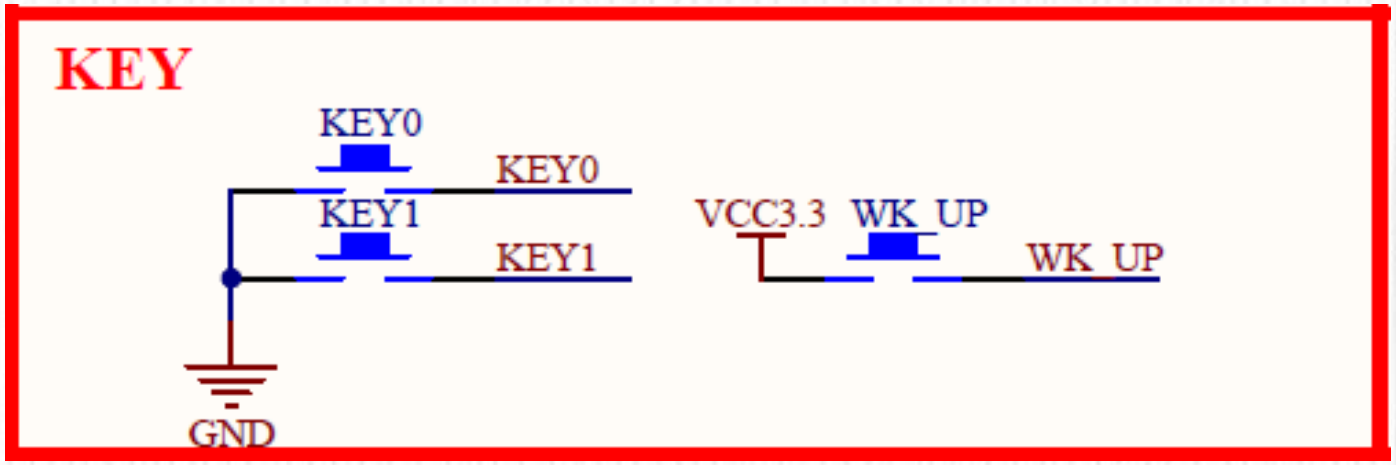
3. How to program

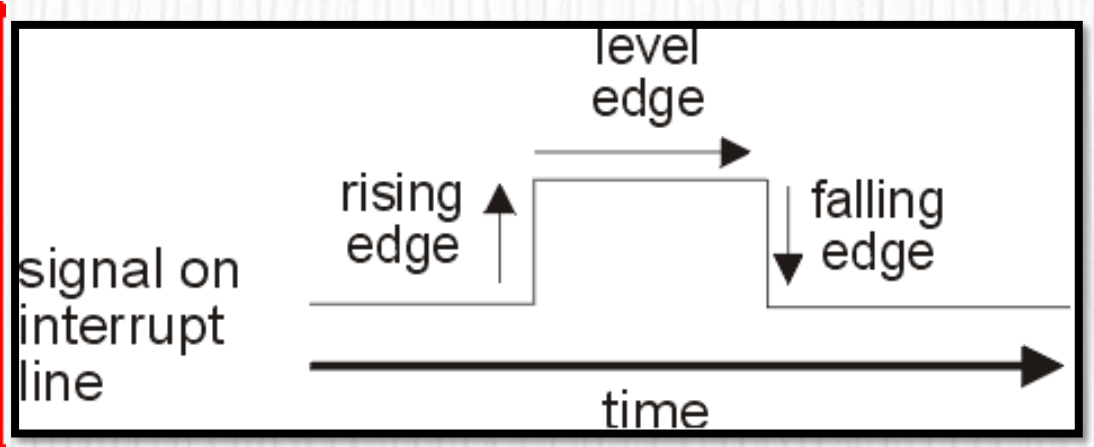
- GPIO configuration
  - Find the pins connected to KEY0, KEY1, WK_UP, LED0 and LED1, which is **PC5, PA15, PA0, PA8** and **PD2**
  - Config the pins connected to the buttons as **GPIO_EXTI**, and the pins connected to LEDs as **GPIO_Output**



3. How to program

- Schematic
  - we can configure the **GPIO Mode** as rising edge, falling edge or rising/falling edge to decide when to trigger interrupt
  - The voltage should be 0v when KEY0 and KEY1 are pressed down, while the voltage should be 3.3v when WK_UP is pressed down. So the GPIO Mode of PA15 and PC5 should be falling edge, while the GPIO Mode of PA0 should be rising edge





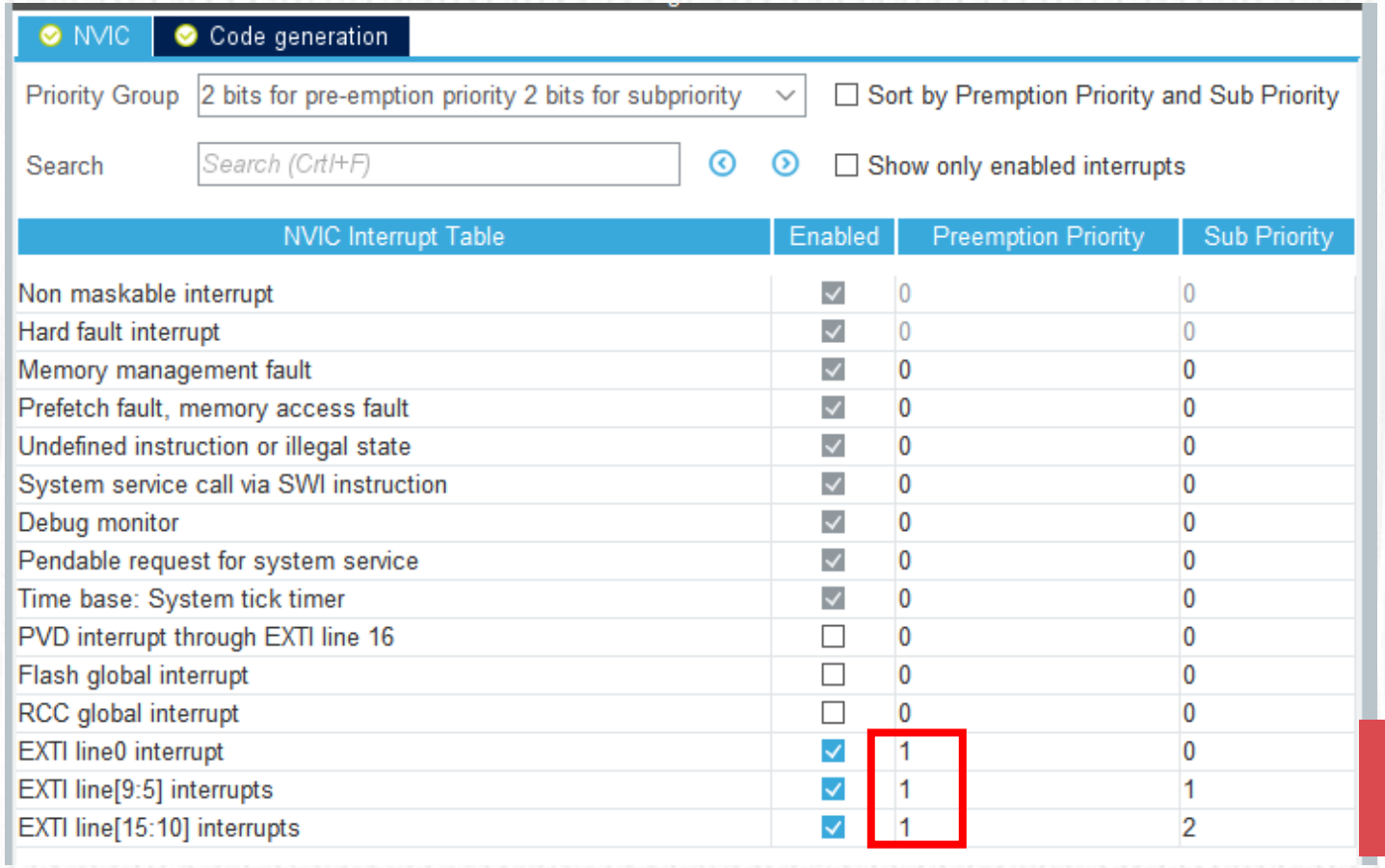
3. How to program

- GPIO configuration
  - KEY_WK: EXTI with rising edge, GPIO pull-down
  - KEY0 and KEY1: EXTI with falling edge, GPIO pull-up

Pin Name	Signal on Pin	GPIO o...	GPIO mode	GPIO Pull-up/P...	Maximum out...	User Label
PA0-WKUP	n/a	n/a	External Interrupt Mode with Rising ...	Pull-down	n/a	KEY_WK
PA8	n/a	Low	Output Push Pull	No pull-up and ...	Low	LED0
PA15	n/a	n/a	External Interrupt Mode with Falling...	Pull-up	n/a	KEY1
PC5	n/a	n/a	External Interrupt Mode with Falling...	Pull-up	n/a	KEY0
PD2	n/a	Low	Output Push Pull	No pull-up and ...	Low	LED1

3. How to program

- Priority configuration
  - Two kinds of priority in STM32: preemption priority and sub priority.



NVIC Interrupt Table	Enabled	Preemption Priority	Sub Priority
Non maskable interrupt	☑	0	0
Hard fault interrupt	☑	0	0
Memory management fault	☑	0	0
Prefetch fault, memory access fault	☑	0	0
Undefined instruction or illegal state	☑	0	0
System service call via SWI instruction	☑	0	0
Debug monitor	☑	0	0
Pendable request for system service	☑	0	0
Time base: System tick timer	☑	0	0
PVD interrupt through EXTI line 16	☐	0	0
Flash global interrupt	☐	0	0
RCC global interrupt	☐	0	0
EXTI line0 interrupt	☑	1	0
EXTI line[9:5] interrupts	☑	1	1
EXTI line[15:10] interrupts	☑	1	2

Do not use 0 as Preemption Priority

3. How to program

- EXTI interrupt function
  - Following is the code generated by STM32CubeIDE related to EXTI

```c
/**
  * @brief This function handles EXTI line0 interrupt.
  */
void EXTI0_IRQHandler(void)
{
  /* USER CODE BEGIN EXTI0_IRQn 0 */

  /* USER CODE END EXTI0_IRQn 0 */
  HAL_GPIO_EXTI_IRQHandler(GPIO_PIN_0);
  /* USER CODE BEGIN EXTI0_IRQn 1 */

  /* USER CODE END EXTI0_IRQn 1 */
}
```

```c
/**
  * @brief This function handles EXTI line[9:5] interrupts.
  */
void EXTI9_5_IRQHandler(void)
{
  /* USER CODE BEGIN EXTI9_5_IRQn 0 */

  /* USER CODE END EXTI9_5_IRQn 0 */
  HAL_GPIO_EXTI_IRQHandler(GPIO_PIN_5);
  /* USER CODE BEGIN EXTI9_5_IRQn 1 */

  /* USER CODE END EXTI9_5_IRQn 1 */
}
```

```c
/**
  * @brief This function handles EXTI line[15:10] interrupts.
  */
void EXTI15_10_IRQHandler(void)
{
  /* USER CODE BEGIN EXTI15_10_IRQn 0 */

  /* USER CODE END EXTI15_10_IRQn 0 */
  HAL_GPIO_EXTI_IRQHandler(GPIO_PIN_15);
  /* USER CODE BEGIN EXTI15_10_IRQn 1 */

  /* USER CODE END EXTI15_10_IRQn 1 */
}
```

  - It is clear that all the handler call the public EXTI handler
  - HAL_GPIO_EXTI_IRQHandler();

3. How to program

- HAL_GPIO_EXTI_IRQHandler() function
  - __HAL_GPIO_EXTI_CLEAR_IT() clear the EXTI's line pending bits, otherwise, the EXTI handler will be executed all the time
  - HAL_GPIO_EXTI_Callback() is a weak function

```
void HAL_GPIO_EXTI_IRQHandler(uint16_t GPIO_Pin)
{
  /* EXTI line interrupt detected */
  if (__HAL_GPIO_EXTI_GET_IT(GPIO_Pin) != 0x00u)
  {
    __HAL_GPIO_EXTI_CLEAR_IT(GPIO_Pin);
    HAL_GPIO_EXTI_Callback(GPIO_Pin);
  }
}
```

```
__weak void HAL_GPIO_EXTI_Callback(uint16_t GPIO_Pin)
{
  /* Prevent unused argument(s) compilation warning */
  UNUSED(GPIO_Pin);
  /* NOTE: This function Should not be modified, when the callback is needed,
           the HAL_GPIO_EXTI_Callback could be implemented in the user file
   */
}
```

3. How to program

- HAL_GPIO_EXTI_Callback() re-implement
  - we should re-implement HAL_GPIO_EXTI_Callback() function in stm32f1xx_it.c

```
void HAL_GPIO_EXTI_Callback(uint16_t GPIO_Pin)
{
  HAL_Delay(100);
  switch (GPIO_Pin) {
      case KEY0_Pin:
          if (HAL_GPIO_ReadPin(KEY0_GPIO_Port, KEY0_Pin) == GPIO_PIN_RESET) {
              HAL_GPIO_TogglePin(LED0_GPIO_Port, LED0_Pin);
          }
          break;
      case KEY1_Pin:
          if (HAL_GPIO_ReadPin(KEY1_GPIO_Port, KEY1_Pin) == GPIO_PIN_RESET) {
              HAL_GPIO_TogglePin(LED1_GPIO_Port, LED1_Pin);
          }
          break;
      case KEY_WK_Pin:
          if (HAL_GPIO_ReadPin(KEY_WK_GPIO_Port, KEY_WK_Pin) == GPIO_PIN_SET) {
              HAL_GPIO_TogglePin(LED0_GPIO_Port, LED0_Pin);
              HAL_GPIO_TogglePin(LED1_GPIO_Port, LED1_Pin);
          }
          break;
      default:
          break;
  }
}
```

南方科技大学
SOUTHERN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

04

Practice

4. Practice

南方科技大学
SOUTHERN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

- Run the demo on MiniSTM32 board
- Use EXTI to control the LED
  - Press KEY_WK to turn off LED0 and LED1.
  - Press KEY0 to blink LED0 two times, and then maintain LED0 on.
  - Press KEY1 to blink LED1 two times, and then maintain LED1 on.