南京理工大学

NANJING UNIVERSITY OF SCIENCE & TECHNOLOGY

计算机科学与工程学院

“嵌入式系统”实验报告书

题目：嵌入式系统作业 4——gpio_intr

学号：922106840127

姓名：刘宇翔

成绩

日期：　　2025 年　　3 月　　18 日

1 题目要求

1. 题目设计要求

【1】作业目标：

（1）熟悉中断工作原理；

（2）能够熟练外部中断开发编程；

（3）能够使用中断函数。

【2】作业内容：

设计一个输入输出的综合项目实例，使用 BTN_LEFT 按键翻转红色 LED_R 灯、BTN_RIGHT 按键翻转蓝色 LED_B 灯，按下 BTN_UP 按键发出 5s 救护车报警声，按下 BTN_DOWN 键按发出 5s 电动车报警声。

【3】完成要求：

（1）工程名称命名为：学号_gpio_intr；

（2）采用中断的方式检测按键状态，且按键带有消抖功能；

（3）作业提交：实验报告、工程和运行结果拍摄视频压缩后 QQ 上提交，压缩文件名称为“学号_姓名_gpio_intr”，不按要求进行命名的，该实验或作业没有分。

2. 拟实现的具体功能

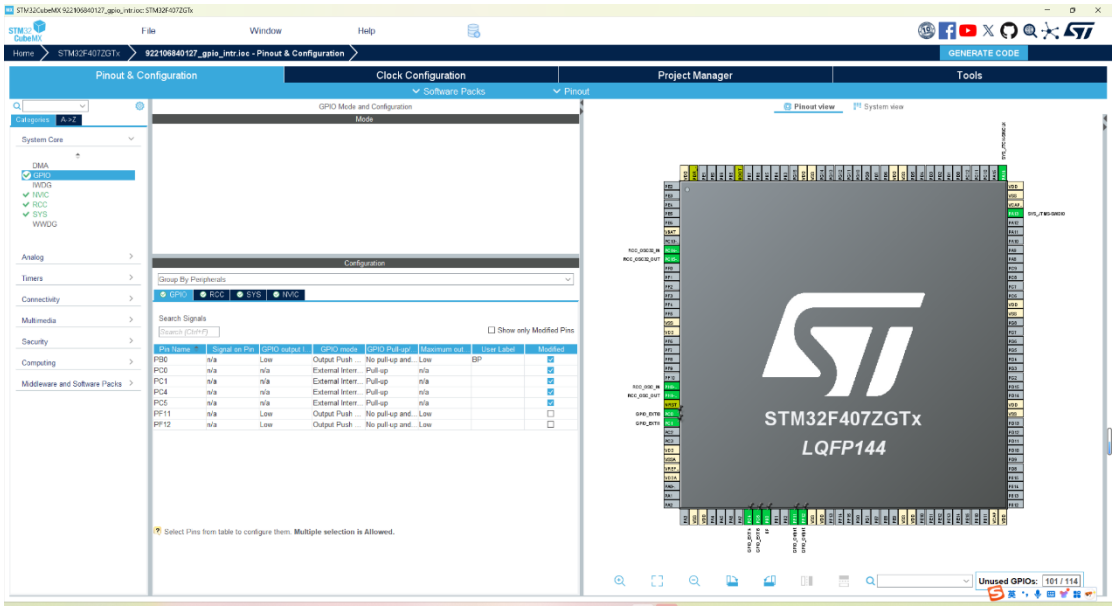
完成基于 STM32CubeMX 硬件设计平台实现的基于方向键加以中断实现对应的 LED 灯输出，使用 BTN_LEFT 按键翻转红色 LED_R 灯、 BTN_RIGHT 按键翻转蓝色 LED_B 灯，按下 BTN_UP 按键发出 5s 救护车报警声，按下 BTN_DOWN 键按发出 5s 电动车报警声。

2 总体设计

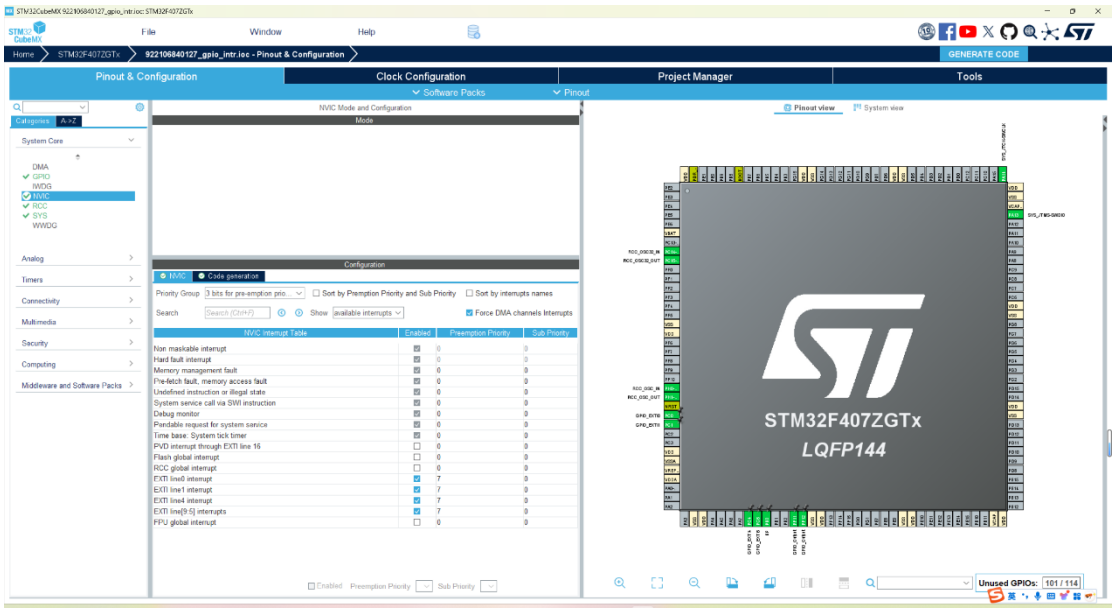
2.1 硬件设计

1. 硬件设计思路

我通过查阅相关开发板原理图确定了本芯片开发板的四个方向键对应的引脚以及两个 LED 灯与开发板实现声音信号输出的相关引脚，具体的代码工程配置硬件设计如下：



如图所示，我成功设置好了对应的引脚，其中四个方向键设置为下降沿触发，即为当按键被按下时实现函数中断相关的内容。



如图所示，我在 NVIC 的相关设置界面对几种中断的相关属性做了具体的规定。其他设置与前几次相同，如 RCC 采用 Crystal/Ceramic Resonator 作为时钟设置，使用 Serial Wire 用于调试对应的 debug 接口，对 Clock Configuration 的时钟配置也做好了相应的规范化，并且在 Project Manager 中选择了 MDK-ARM V5.32 作为编译工具链，其他内容此处省略。

以上配置图是我作为 STM32CUBEMX 进行的配置设置，设置后点击“Generate Code”生成初始化代码。

2.2 软件设计

1. 软件设计概述

本软件主要实现基于外部中断的输入响应功能，通过按键触发控制 LED 状态翻转和报警声音的输出。系统基于 STM32 单片机，利用 HAL 库进行外设初始化，并采用中断机制实现对按键事件的实时响应，整体设计结构清晰，功能模块划分明确。具体设计内容如下：

（1） 系统初始化模块

在 main 函数中，系统首先通过 HAL_Init()完成底层硬件的复位及初始化，然后调用 SystemClock_Config()对系统时钟和 PLL 参数进行配置，确保 MCU 及外设在预定频率下稳定运行；接着通过 MX_GPIO_Init()初始化 GPIO 外设，为后续的按键检测、LED 控制以及报警声音输出提供硬件支持。

（2）外部中断处理模块

通过外部中断技术实现对四个按键（BTN_LEFT、BTN_RIGHT、BTN_UP 和 BTN_DOWN）的实时检测。在 HAL_GPIO_EXTI_Callback 中，通过判断中断触发的 GPIO 引脚，实现不同按键的功能响应：

- 当检测到对应 BTN_LEFT 的中断（GPIO_PIN_0）时，调用 HAL_GPIO_TogglePin 函数翻转红色 LED_R 状态；
- 当检测到对应 BTN_RIGHT 的中断（GPIO_PIN_4）时，翻转蓝色 LED_B 状态；
- 当检测到对应 BTN_DOWN 的中断（GPIO_PIN_1）时，通过循环调用 sound2 函数产生约 5 秒的电动车报警声；
- 当检测到对应 BTN_UP 的中断（GPIO_PIN_5）时，调用 sound1 函数两次以生成 5 秒的救护车报警声。

在中断服务中还采用了短暂延时（HAL_Delay(15)）来实现简单的按键消抖，确保信号稳定。

（2） 延时模块

设计了基于空循环的延时函数 delay，该函数用于在声音输出函数中产生所需的时间延迟，同时也辅助中断服务中简单的去抖处理，从而保证按键触发后各模块响应的稳定性。

（4）声音输出模块

软件设计了两个声音函数以模拟不同报警器的声音特效：

• sound1 函数用于产生救护车报警声。该函数通过不断地控制指定引脚的电平（先置低电平，再置高电平）并逐步减少延时参数，模拟出变化的音调；

• sound2 函数用于产生电动车报警声，其原理与 sound1 类似，但初始延时和变化速率不同，以达到不同的声音效果。

在中断回调中，根据按键不同，通过循环调用相应的声音函数实现 5 秒左右的报警声输出。

总体而言，本软件在有限的硬件资源下，通过系统初始化、外部中断响应、延时消抖及声音输出四大模块协同工作，实现了对输入按键的精准检测和多种外部信号（LED 指示和报警声）的实时反馈，确保系统具有较高的实时性和可靠性。

2. 软件流程图

A. 初始阶段

开始 → 系统初始化

程序启动后首先完成系统硬件初始化，包括：

- 系统时钟配置（通过 SystemClock_Config() 确保 MCU 及外设稳定运行）
- GPIO 端口初始化（MX_GPIO_Init() 配置各引脚用于按键、LED 及蜂鸣器控制）
- 外部中断设置（配置各按键对应的中断线）

B. 主循环结构

进入主循环 → 等待外部中断触发

由于本系统采用外部中断响应机制，主循环内不执行其他任务，系统处于等待状态，直到有按键事件发生。

C. 外部中断触发流程

按键按下 → 外部中断产生

当用户按下任一按键（BTN_LEFT、BTN_RIGHT、BTN_UP 或 BTN_DOWN）时，相应的 GPIO 引脚电平发生变化，触发外部中断，系统自动进入中断服务函数（HAL_GPIO_EXTI_Callback）。

D. 按键检测与消抖流程

进入中断服务函数 → 软件延时去抖 → 检测按键电平状态

在中断服务函数中，首先执行短暂延时（例如 HAL_Delay(15)），以消除机械按键抖动带来的误触发，再次检测按键状态，确保信号稳定后继续执行相应操作。

E. 数据处理与执行阶段

根据检测到的按键确定相应响应：

- **BTN_LEFT（GPIO_PIN_0）**：翻转红色 LED_R 状态
- **BTN_RIGHT（GPIO_PIN_4）**：翻转蓝色 LED_B 状态
- **BTN_UP（GPIO_PIN_5）**：调用 sound1() 函数两次，通过循环方式产生约 5 秒救护车报警声
- **BTN_DOWN（GPIO_PIN_1）**：循环调用 sound2() 函数，通过循环方式产生约 5 秒电动车报警声

在每个操作结束后，通过适当控制蜂鸣器（关闭声音输出）确保操作完整。

F. 循环机制

操作执行完毕 → 退出中断服务函数 → 返回主循环

中断服务函数执行完毕后，系统返回主循环，继续等待下一次外部中断触发，实现对按键操作的持续响应。

3. μ vision 详细代码

```
/* USER CODE BEGIN Header */
/**

**********************************************************************
*********
  * @file           : main.c
  * @brief          : Main program body

**********************************************************************
*********
  * @attention
  *
```

```
  * 本程序实现基于外部中断的输入响应控制，包括 LED 灯状态翻转和报警声音输出。
  * 按键功能：
  *     - BTN_LEFT (GPIO_PIN_0)：翻转红色 LED_R（连接在 GPIOF 的 PIN_12）
  *     - BTN_DOWN (GPIO_PIN_1)：发出电动车报警声（调用 sound2 函数约 5 秒）
  *     - BTN_RIGHT (GPIO_PIN_4)：翻转蓝色 LED_B（连接在 GPIOF 的 PIN_11）
  *     - BTN_UP (GPIO_PIN_5)：发出救护车报警声（调用 sound1 函数两次，约 5 秒）
  *
  * 系统基于 STM32 单片机和 HAL 库，通过外部中断及延时函数实现按键消抖和声音控制。

**********
  */
/* USER CODE END Header */

/* Includes ------------------------------------------------------------------*/
#include "main.h"
#include "gpio.h"

/* Private includes ----------------------------------------------------------*/
/* USER CODE BEGIN Includes */
// 此处可根据需要添加其他头文件
/* USER CODE END Includes */

/* Private typedef -----------------------------------------------------------*/
/* USER CODE BEGIN PTD */
```

```
// 可在此处添加自定义数据类型
/* USER CODE END PTD */

/* Private define ------------------------------------------------------------*/
/* USER CODE BEGIN PD */
// 可在此处定义宏常量
/* USER CODE END PD */

/* Private macro -------------------------------------------------------------*/
/* USER CODE BEGIN PM */
// 可在此处定义私有宏
/* USER CODE END PM */

/* Private variables ---------------------------------------------------------*/
/* USER CODE BEGIN PV */
// 可在此处定义全局变量
/* USER CODE END PV */

/* Private function prototypes -----------------------------------------------*/
void SystemClock_Config(void);
/* USER CODE BEGIN PFP */
// 声明自定义的延时函数和声音输出函数
void delay(uint32_t i);
void sound1(void);
void sound2(void);
/* USER CODE END PFP */

/* Private user code ---------------------------------------------------------*/
/* USER CODE BEGIN 0 */
```

```
/**
  * @brief  外部中断回调函数
  * @param  GPIO_Pin: 产生中断的 GPIO 引脚号
  * @note   该函数根据不同的引脚号实现不同功能：
  *             - GPIO_PIN_0: 切换红色 LED_R 的状态（翻转 LED）
  *             - GPIO_PIN_1: 循环调用 sound2()函数产生电动车报警声
  *             - GPIO_PIN_4: 切换蓝色 LED_B 的状态（翻转 LED）
  *             - GPIO_PIN_5: 调用 sound1()函数产生救护车报警声
  *             同时通过短暂延时实现简单按键消抖处理。
  */
void HAL_GPIO_EXTI_Callback(uint16_t GPIO_Pin)
{
  // 延时 15ms 进行简单的软件消抖
  HAL_Delay(15);

  // 检查对应引脚是否仍处于按下状态（低电平有效）
  if(HAL_GPIO_ReadPin(GPIOC, GPIO_Pin) == GPIO_PIN_RESET)
  {
    // BTN_LEFT：按下时翻转红色 LED_R（GPIOF PIN_12）
    if(GPIO_Pin == GPIO_PIN_0)
    {
      HAL_GPIO_TogglePin(GPIOF, GPIO_PIN_12);
    }
    // BTN_DOWN：按下时发出电动车报警声，通过循环调用 sound2 函数产生
声音
    if(GPIO_Pin == GPIO_PIN_1)
    {
      for(int i = 0; i < 38; i++)
      {
        sound2();
```

```
        }
        // 声音播放完毕后，关闭蜂鸣器输出
        HAL_GPIO_WritePin(GPIOB, GPIO_PIN_0, GPIO_PIN_RESET);
      }
      // BTN_RIGHT：按下时翻转蓝色 LED_B（GPIOF PIN_11）
      if(GPIO_Pin == GPIO_PIN_4)
      {
        HAL_GPIO_TogglePin(GPIOF, GPIO_PIN_11);
      }
      // BTN_UP：按下时发出救护车报警声，通过调用 sound1 函数两次实现
      if(GPIO_Pin == GPIO_PIN_5)
      {
        sound1();
        sound1();
        // 声音播放完毕后，关闭蜂鸣器输出
        HAL_GPIO_WritePin(GPIOB, GPIO_PIN_0, GPIO_PIN_RESET);
      }
    }
}
/* USER CODE END 0 */

/**
  * @brief  主函数入口
  * @retval int
  */
int main(void)
{
  /* USER CODE BEGIN 1 */
  // 用户可以在此处添加初始化前的代码
  /* USER CODE END 1 */
```

```
/* MCU Configuration--------------------------------------------------------*/

/*  重置所有外设，初始化 Flash 接口和 SysTick 定时器  */
HAL_Init();

/* USER CODE BEGIN Init */
//  此处可添加其他初始化代码
/* USER CODE END Init */

/*  配置系统时钟  */
SystemClock_Config();

/* USER CODE BEGIN SysInit */
//  系统时钟配置后，可进行其他系统相关初始化
/* USER CODE END SysInit */

/*  初始化所有配置的外设  */
MX_GPIO_Init();

/* USER CODE BEGIN 2 */
//  可在此处添加其他初始化代码（如串口、定时器等初始化）
/* USER CODE END 2 */

/*  无限循环  */
/* USER CODE BEGIN WHILE */
while (1)
{
   //  主循环中无其他任务，所有操作均由中断处理完成
   /* USER CODE END WHILE */
```

```
    /* USER CODE BEGIN 3 */
    // 可在此处添加其他后台任务或低功耗处理代码
  }
  /* USER CODE END 3 */
}

/**
  * @brief  系统时钟配置函数
  * @note   配置 PLL 和各总线时钟，确保 MCU 及外设运行在预定频率下
  * @retval None
  */
void SystemClock_Config(void)
{
  RCC_OscInitTypeDef RCC_OscInitStruct = {0};
  RCC_ClkInitTypeDef RCC_ClkInitStruct = {0};

  /** 配置内部电压调节器输出电压
  */
  __HAL_RCC_PWR_CLK_ENABLE();

__HAL_PWR_VOLTAGESCALING_CONFIG(PWR_REGULATOR_VOLTAGE_SCALE1);

  /** 初始化 RCC 振荡器，根据 RCC_OscInitTypeDef 结构体指定的参数配置
  */
  RCC_OscInitStruct.OscillatorType = RCC_OSCILLATORTYPE_HSE;
  RCC_OscInitStruct.HSEState = RCC_HSE_ON;
  RCC_OscInitStruct.PLL.PLLState = RCC_PLL_ON;
  RCC_OscInitStruct.PLL.PLLSource = RCC_PLLSOURCE_HSE;
```

```
  RCC_OscInitStruct.PLL.PLLM = 4;
  RCC_OscInitStruct.PLL.PLLN = 168;
  RCC_OscInitStruct.PLL.PLLP = RCC_PLLP_DIV2;
  RCC_OscInitStruct.PLL.PLLQ = 4;
  if (HAL_RCC_OscConfig(&RCC_OscInitStruct) != HAL_OK)
  {
    Error_Handler();
  }

  /** 初始化 CPU、AHB 和 APB 总线时钟
  */
  RCC_ClkInitStruct.ClockType = RCC_CLOCKTYPE_HCLK |
RCC_CLOCKTYPE_SYSCLK
                              | RCC_CLOCKTYPE_PCLK1 |
RCC_CLOCKTYPE_PCLK2;
  RCC_ClkInitStruct.SYSCLKSource = RCC_SYSCLKSOURCE_PLLCLK;
  RCC_ClkInitStruct.AHBCLKDivider = RCC_SYSCLK_DIV1;
  RCC_ClkInitStruct.APB1CLKDivider = RCC_HCLK_DIV4;
  RCC_ClkInitStruct.APB2CLKDivider = RCC_HCLK_DIV2;

  if (HAL_RCC_ClockConfig(&RCC_ClkInitStruct, FLASH_LATENCY_5) !=
HAL_OK)
  {
    Error_Handler();
  }
}

/* USER CODE BEGIN 4 */
/**
```

```
  * @brief  简单延时函数
  * @param  i: 延时计数值，根据 MCU 频率调整实际延时
  * @retval None
  * @note   该函数采用空循环方式实现延时，精度不高，仅适用于简单延时需求
  */
void delay(uint32_t i)
{
  while(i--);
}

/**
  * @brief  产生救护车报警声
  * @note   通过控制蜂鸣器引脚电平的周期性变化，并逐步减小延时参数，模拟出声音频率变化
  * @retval None
  */
void sound1(void)
{
  uint32_t i = 30000;  // 初始延时参数
  while(i)
  {
    // 输出低电平使蜂鸣器发声
    HAL_GPIO_WritePin(GPIOB, BP_Pin, GPIO_PIN_RESET);
    delay(i);
    // 输出高电平使蜂鸣器停止发声
    HAL_GPIO_WritePin(GPIOB, BP_Pin, GPIO_PIN_SET);
    delay(i);
    i = i - 6;  // 逐步减小延时，改变声音频率
  }
```

```
}

/**
  * @brief  产生电动车报警声
  * @note   与 sound1 函数类似，但初始延时参数较小，从而产生不同的声音效果
  * @retval None
  */
void sound2(void)
{
  uint32_t i = 6000;  // 初始延时参数
  while(i)
  {
    // 输出低电平使蜂鸣器发声
    HAL_GPIO_WritePin(GPIOB, BP_Pin, GPIO_PIN_RESET);
    delay(i);
    // 输出高电平使蜂鸣器停止发声
    HAL_GPIO_WritePin(GPIOB, BP_Pin, GPIO_PIN_SET);
    delay(i);
    i = i - 6;  // 逐步减小延时，改变声音频率
  }
}
/* USER CODE END 4 */

/**
  * @brief  错误处理函数
  * @note   当程序发生错误时调用，禁止中断并进入死循环
  * @retval None
  */
void Error_Handler(void)
```

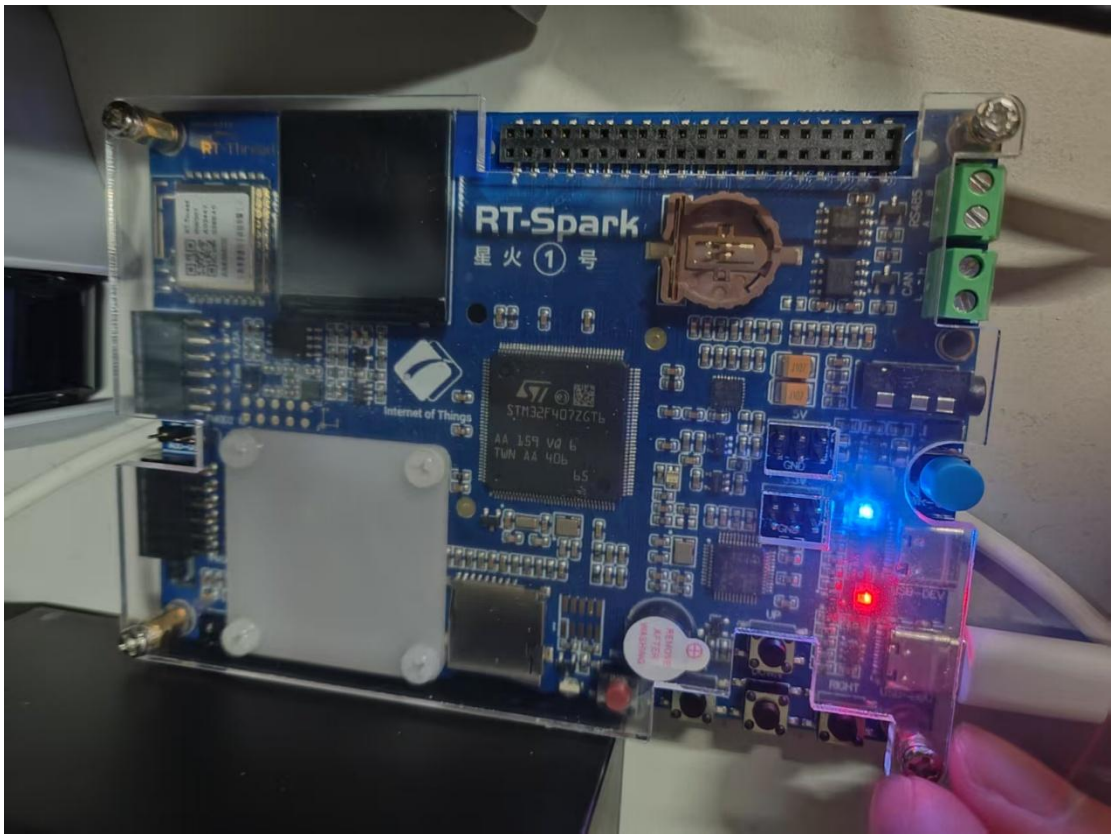
```
{
  /* USER CODE BEGIN Error_Handler_Debug */
  // 禁止所有中断，防止系统继续运行
  __disable_irq();
  while (1)
  {
    // 可在此处添加错误指示或重启代码
  }
  /* USER CODE END Error_Handler_Debug */
}

#ifdef  USE_FULL_ASSERT
/**
  * @brief  断言失败处理函数
  * @param  file: 出错的源文件名称指针
  * @param  line: 出错的行号
  * @retval None
  * @note   用户可以在此处添加自定义的错误处理代码
  */
void assert_failed(uint8_t *file, uint32_t line)
{
  /* USER CODE BEGIN 6 */
  // 例如，可通过 printf 打印错误信息：
  // printf("Wrong parameters value: file %s on line %d\r\n", file, line);
  /* USER CODE END 6 */
}
#endif /* USE_FULL_ASSERT */
```

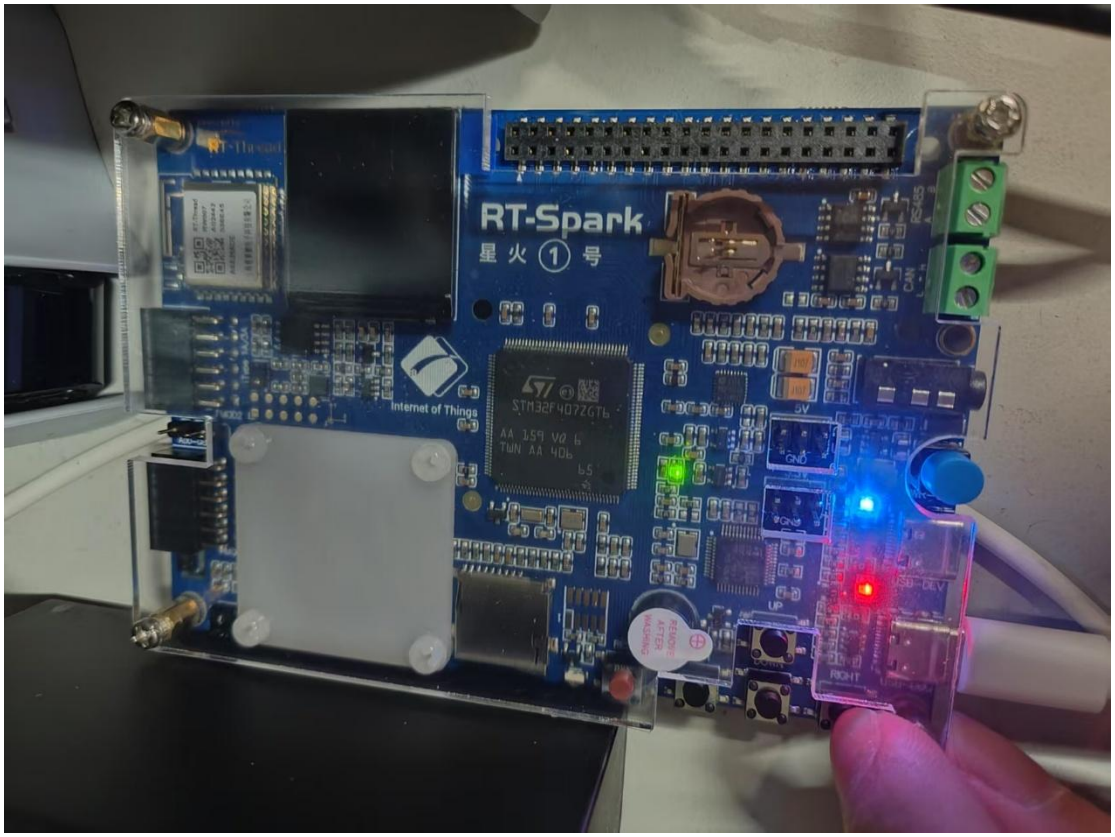
3 实验结果分析与总结

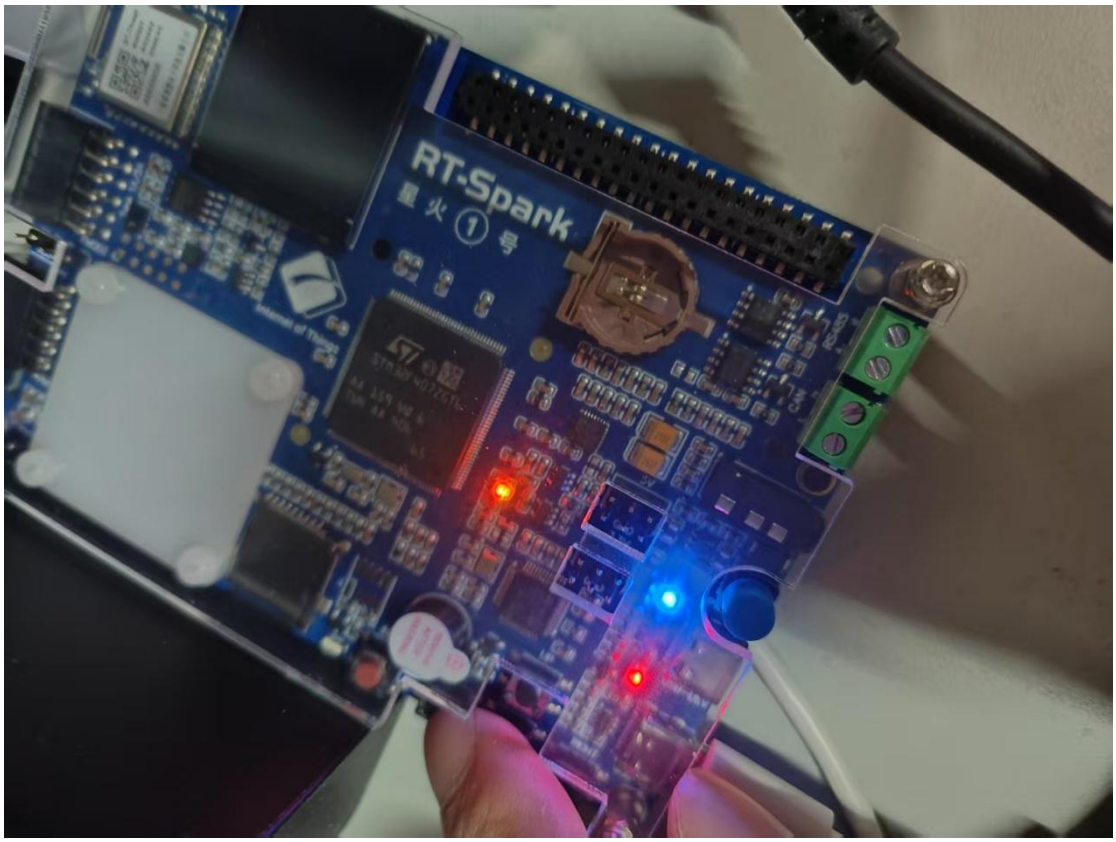
由于本次实验涉及按下按键发出相关报警声的内容，图片形式无法展现，故在附件中添加视频以完全展现。

本小节主要是展示完成按下 BTN_LEFT 按键翻转红色 LED_R 灯、 BTN_RIGHT 按键翻转蓝色 LED_B 灯的实验内容。

如图可知，在开发板刚启动的时候，所有灯都是灭的。当我按下右方向键时亮蓝色 LED 灯，按下左方向键时亮红色 LED 灯。




RT-Spark
星火①号
Internet of Things
STM32F407ZGT6


RT-Spark
星火①号