****

**嵌入式系统 实验三**

**实 验 报 告**

指导老师： 贺建彪 戴训华

学 院： 计算机学院

专 业： 物联网工程

班 级： 物联网1802

学 号： 8208181125 8213180228

姓 名： 王灏洋 王云鹏

## 实验目的

1. 掌握外部中断的处理流程；
2. 掌握Cortex-M7处理器的中断方式和中断处理过程；
3. 通过实验学习Cortex-M7处理器的中断响应流程；
4. 通过实验掌握Cortex-M7处理器中断处理的软件编程方法；
5. 通过实验掌握Cortex-M7处理器中断响应过程中相关寄存器的使用方法。

## 实验设备

* 硬件：ARM Cortex-M7实验平台，ULINK2 USB-JTAG仿真器套件，PC机。
* 软件：µVision IDE for ARM集成开发环境，Windows 98/2000/NT/XP。

## 实验要求

编写程序，对指定GPIO端口进行初始化，完成外部中断相关寄存器的配置，使用ARM Cortex-M7实验平台的按键S3产生外部中断，在中断响应过程中对LED进行控制，并采用不同的中断设置方法实现多种中断触发方式。

实验过程中观察上升沿触发选择寄存器（EXTI\_RTSR）和下降沿触发选择寄存器（EXTI\_FTSR）的值对中断触发条件的影响。

学习Cortex-M7外部中断线的设置方法和初始化，以及外部中断的触发方式和响应过程。

## 实验原理

* STM32F746NG的外部中断和事件控制器（EXTI）

STM32F746NG具有多达24个用于产生中断/事件请求的边沿检测器（输入线）。每根输入线都可以单独进行配置，以选择类型（中断或事件）和响应的触发事件（上升沿触发、下降沿触发或边沿触发），每根输入线还可以单独屏蔽。挂起寄存器用于保持中断请求。

EXTI控制器的主要特性如下：

* 每个中断/事件线上都具有独立的触发和屏蔽；
* 每个中断线具有专用的状态位；
* 支持多大24个软件事件/中断请求；
* 检测脉冲宽度低于APB2时钟宽度的外部信号。

要产生中断，必须先配置好并使能中断线。根据需要的边沿检测设置2个触发寄存器，同时在中断屏蔽寄存器的相应位写“1”使能中断请求。当外部中断线上出现选定信号沿时，便会产生中断请求，对应的挂起位也会置1。在挂起寄存器的对应位写“1”，将清除该中断请求。

要产生事件，必须先配置好并使能事件线。根据需要的边沿检测设置2个触发寄存器，同时在事件屏蔽寄存器的相应位写“1”使能事件请求。当事件线上出现选定信号沿时，便会产生事件脉冲，对应的挂起位会置1。

通过在软件中对中断/事件寄存器写“1”，也可以产生中断/事件请求。

要将一根输入线配置为中断源，需执行以下步骤：

1. 配置相应的屏蔽位（EXTI\_IMR）；
2. 配置中断线的触发选择位（EXTI\_RTSR和EXTI\_FTSR）；
3. 配置对应到外部中断控制器（EXTI）的NVIC中断通道的使能和屏蔽位，使得24个中断线中的请求可以被正确的响应。

要将一根输入线配置为事件源，需执行以下步骤：

1. 配置相应的屏蔽位（EXTI\_EMR）；
2. 配置事件线的触发选择位（EXTI\_RTSR和EXTI\_FTSR）；

* 外部中断/事件线映射及控制器框图

如图3-16所示，多达168个GPIO通过图中方式连接到16个外部中断/事件线。

|  |
| --- |
|  |

另外8根EXTI线连接方式如下：

* EXTI16连接到PVD输出；
* EXTI17连接到RTC闹钟事件；
* EXTI18连接到USB OTG FS唤醒事件；
* EXTI19连接到以太网唤醒事件；
* EXTI20连接到USB OTG HS唤醒事件
* EXTI21连接到RTC侵入和时间戳事件
* EXTI22连接到RTC唤醒事件；
* EXTI23连接到LPTIM1异步事件。

EXTI控制器框图如图3-17所示。

|  |
| --- |
|  |

* EXTI寄存器
  + 中断屏蔽寄存器（EXTI\_IMR）

偏移地址：0x00

复位值：0x0000 0000

中断屏蔽寄存器如图3-18所示。

|  |
| --- |
|  |

位31:24保留，必须保持复位值。

MRx：x线上的中断屏蔽

0：屏蔽来自x线的中断请求

1：开放来自x线的中断请求

* + 事件屏蔽寄存器（EXTI\_EMR）

偏移地址：0x04

复位值：0x0000 0000

事件屏蔽寄存器如图3-19所示。

|  |
| --- |
|  |

位31:24保留，必须保持复位值。

MRx：x线上的事件屏蔽

0：屏蔽来自x线的事件请求

1：开放来自x线的事件请求

* + 上升沿触发选择寄存器（EXTI\_RTSR）

偏移地址：0x08

复位值：0x0000 0000

上升沿触发选择寄存器如图3-20所示。

|  |
| --- |
|  |

位31:24保留，必须保持复位值。

TRx：x线的上升沿触发事件配置位

0：禁止输入线上升沿触发（事件和中断）

1：开放输入线上升沿触发（事件和中断）

注：外部唤醒线配置为边沿触发时，在这些线上不能出现毛刺信号。

如果在向EXTI\_RTSR寄存器写入值的同时外部中断线上产生上升沿，挂起位将被置位。在同一中断线上，可以同时设置上升沿和下降沿触发，即任一边沿都可触发中断。

* + 下降沿触发选择寄存器（EXTI\_FTSR）

偏移地址：0x0C

复位值：0x0000 0000

下降沿触发选择寄存器如图3-21所示。

|  |
| --- |
|  |

位31:24保留，必须保持复位值。

TRx：x线的下降沿触发事件配置位

0：禁止输入线下降沿触发（事件和中断）

1：开放输入线下降沿触发（事件和中断）

注：外部唤醒线配置为边沿触发时，在这些线上不能出现毛刺信号。

如果在向EXTI\_FTSR寄存器写入值的同时外部中断线上产生下降沿，挂起位将被置位。在同一中断线上，可以同时设置上升沿和下降沿触发，即任一边沿都可触发中断。

* + 软件中断事件寄存器（EXTI\_SWIER）

偏移地址：0x10

复位值：0x0000 0000

软件中断事件寄存器如图3-22所示。

|  |
| --- |
|  |

位31:24保留，必须保持复位值。

SWIERx：x线的软件中断

当SWIERx位设置为“0”时，将“1”写入该位会将EXTI\_PR寄存器中相应挂起位置1。如果在EXTI\_IMR寄存器中允许在x线上产生该中断，则产生中断请求。通过清除EXTI\_PR的对应位（写入“1”），可以清除该位为“0”。

* + 挂起寄存器（EXTI\_PR）

偏移地址：0x14

复位值：未定义

挂起寄存器如图3-23所示。

|  |
| --- |
|  |

位31:24保留，必须保持复位值。

PRx：x线的挂起位

0：未发生触发请求

1：发生了选择的触发请求

注：当在外部中断线上发生了选择的边沿事件，该位被置1，将此位编程为“1”可清除此位。

* EXTI寄存器边界地址

EXTI寄存器边界地为0x4001 3C00 – 0x4001 3FFF。

* 实验电路

验电路如图3-24所示。

|  |
| --- |
|  |

如图中所示，STM32F746芯片的PC13外接上拉电路，串联开关S3的Center（对应五向导航键S3的确定功能）后接地。由于I/O口外接上拉电路，所以在对I/O口进行初始化时可设置为浮空输入。开关S3断开时，PC13输入高电平；反之，PC13输入低电平。所以，当按下开关S3时，PC13输入由高变低，产生一个下降沿；当释放开关S3时，PC13输入由低变高，产生一个上升沿。根据外部中断触发条件设置，当满足所需的边沿条件时，触发中断，MCU响应中断点亮/熄灭发光二极管D1。

## 实现内容和步骤

* 准备实验环境

使用ULINK2 USB-JTAG仿真器连接ARM Cortex-M7实验板与PC，实验板一侧接右下方的P1接口。使用串口线，连接实验板右侧的串口J3和PC机的串口。

* 串口接收设置

在PC机上运行windows自带的超级终端串口通信程序（波特率115200 、1 位停止位、无校验位、无硬件流控制）；或者使用其它串口通信程序。

* 打开实验例程

拷贝实验平台附带程序“03\_EXTI”，使用µVision IDE for ARM通过 ULINK2 USB-JTAG仿真器连接实验板，打开工程文件，编译链接工程，根据本实验指导书中2.3.2小节中“编译配置”部分对工程进行配置（工程默认已经配置正确），点击MDK的Project菜单，选择Rebuild all target files进行编译，编译成功后，点击Debug菜单，选择Start/Stop Debug Session项或点击工具栏中的图标，下载工程生成的.axf 文件到目标板的 RAM中调试运行。

* 观察实验结果

结合实验内容和相关资料，使用一些调试命令，观察程序运行。注意观察按键S3按下和释放时发光二极管D1的亮灭情况，观察到的现象与前面实验内容中的相符，则说明实验程序通过将GPIO配置为EXTI的中断源，通过按键开关触发外部中断，MCU响应中断并点亮/熄灭发光二极管

## 结果演示

* 中断触发方式：下降沿触发

|  |
| --- |
|  |

* 中断触发方式：上升沿触发

|  |
| --- |
|  |

* 中断触发方式：下降沿触发 + 上升沿触发

|  |
| --- |
|  |

* 串口输出内容

|  |
| --- |
|  |

## 总结收获

首先证明王灏洋和王云鹏同学来上课了。

|  |
| --- |
|  |

通过本次实验，我们得知，触发的方式有上升沿和下降沿，而这两种方式的触发会有不同的效果。以前只是在课本中学习到这些知识，没有更为深入的了解，通过本次的实验，我对两种触发方式有了更为深刻的认识，同时，我们在讨论中前进，在互相帮助中一步一步完成了这个实验，有一说一，收获还是巨大的。

如果这次实验我能够完成，那么需要感谢我的老师，贺建飚老师和戴训华，他对我们的教诲如同春风化雨，润物细无声。我们不知不觉就学会了很多关于嵌入式的知识，更了解了许多嵌入式技术实际应用的生动例子。相信经过一学期的学习，我肯定学到了嵌入式的基本要领与精髓，更是能在以后的人生中披荆斩棘，所向披靡。

## 附录：源代码与分析

* 因为直接写内容会乱码，所以我们通过截图进行分析。

|  |
| --- |
|  |