



中南大學
CENTRAL SOUTH UNIVERSITY

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____

1. 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。

2. 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。

3. 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。

4. 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；
- 支持多达 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，同时的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：

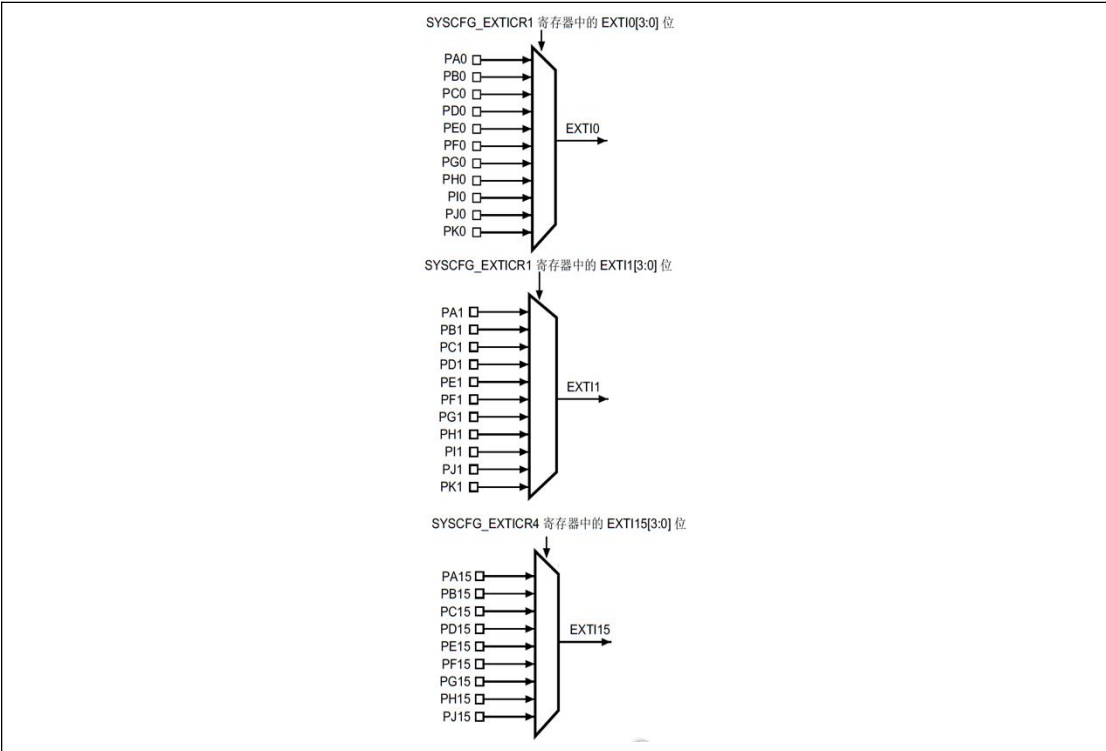
- ① 配置相应的屏蔽位（EXTI_IMR）；
- ② 配置中断线的触发选择位（EXTI_RTSTR 和 EXTI_FTSR）；
- ③ 配置对应到外部中断控制器（EXTI）的 NVIC 中断通道的使能和屏蔽位，使得 24 个中断线中的请求可以被正确的响应。

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_RTSTR 和 EXTI_FTSR）；

● 外部中断/事件线映射及控制器框图

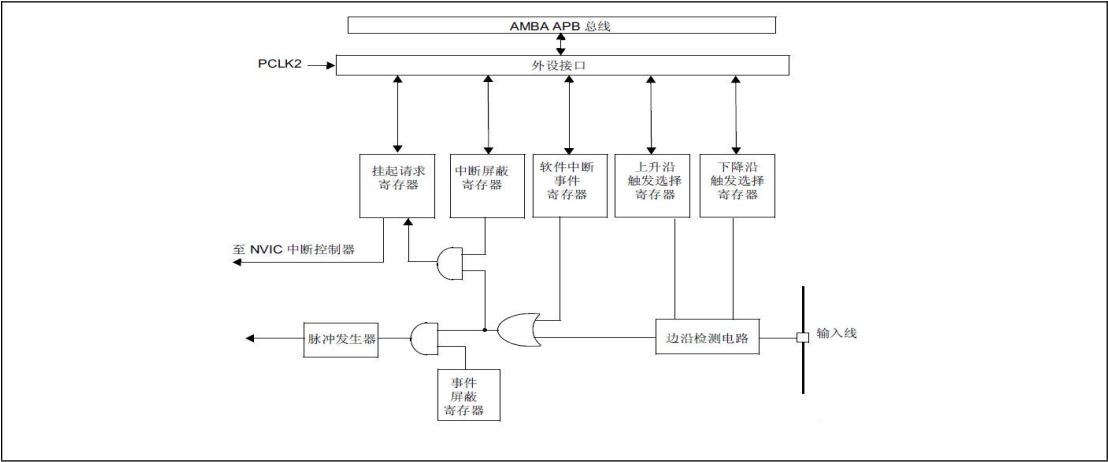
如图 3-16 所示，多达 168 个 GPIO 通过图中方式连接到 16 个外部中断/事件线。



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。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Res.	Res.	Res.	Res.	Res.	Res.	Res.	Res.	MR23	MR22	MR21	MR20	MR19	MR18	MR17	MR16
								r/w	r/w	r/w	r/w	r/w	r/w	r/w	r/w
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
MR15	MR14	MR13	MR12	MR11	MR10	MR9	MR8	MR7	MR6	MR5	MR4	MR3	MR2	MR1	MR0
r/w	r/w	r/w	r/w	r/w	r/w	r/w	r/w	r/w	r/w	r/w	r/w	r/w	r/w	r/w	r/w

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。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Res.	Res.	Res.	Res.	Res.	Res.	Res.	Res.	MR23	MR22	MR21	MR20	MR19	MR18	MR17	MR16
								r/w	r/w	r/w	r/w	r/w	r/w	r/w	r/w
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
MR15	MR14	MR13	MR12	MR11	MR10	MR9	MR8	MR7	MR6	MR5	MR4	MR3	MR2	MR1	MR0
r/w	r/w	r/w	r/w	r/w	r/w	r/w	r/w	r/w	r/w	r/w	r/w	r/w	r/w	r/w	r/w

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。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Res.	Res.	Res.	Res.	Res.	Res.	Res.	Res.	TR23	TR22	TR21	TR20	TR19	TR18	TR17	TR16
								r/w	r/w	r/w	r/w	r/w	r/w	r/w	r/w
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
TR15	TR14	TR13	TR12	TR11	TR10	TR9	TR8	TR7	TR6	TR5	TR4	TR3	TR2	TR1	TR0
r/w	r/w	r/w	r/w	r/w	r/w	r/w	r/w	r/w	r/w	r/w	r/w	r/w	r/w	r/w	r/w

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。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Res.	Res.	Res.	Res.	Res.	Res.	Res.	Res.	TR23	TR22	TR21	TR20	TR19	TR18	TR17	TR16
								rW	rW	rW	rW	rW	rW	rW	rW
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
TR15	TR14	TR13	TR12	TR11	TR10	TR9	TR8	TR7	TR6	TR5	TR4	TR3	TR2	TR1	TR0
rW	rW	rW	rW	rW	rW	rW	rW	rW	rW	rW	rW	rW	rW	rW	rW

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。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Res.	Res.	Res.	Res.	Res.	Res.	Res.	Res.	SWIER 23	SWIER 22	SWIER 21	SWIER 20	SWIER 19	SWIER 18	SWIER 17	SWIER 16
								rW	rW	rW	rW	rW	rW	rW	rW
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
SWIER 15	SWIER 14	SWIER 13	SWIER 12	SWIER 11	SWIER 10	SWIER 9	SWIER 8	SWIER 7	SWIER 6	SWIER 5	SWIER 4	SWIER 3	SWIER 2	SWIER 1	SWIER 0
rW	rW	rW	rW	rW	rW	rW	rW	rW	rW	rW	rW	rW	rW	rW	rW

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。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Res.	Res.	Res.	Res.	Res.	Res.	Res.	Res.	PR23	PR22	PR21	PR20	PR19	PR18	PR17	PR16
								rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
PR15	PR14	PR13	PR12	PR11	PR10	PR9	PR8	PR7	PR6	PR5	PR4	PR3	PR2	PR1	PR0
rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1

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

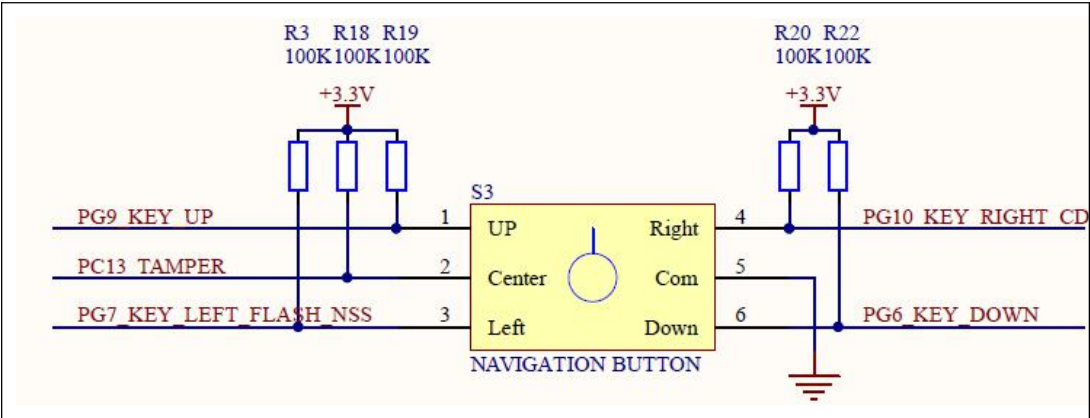
注：当在外部中断线上发生了选择的边沿事件，该位被置 1，将此位编程为“1”可清除此位。

- 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。

5. 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

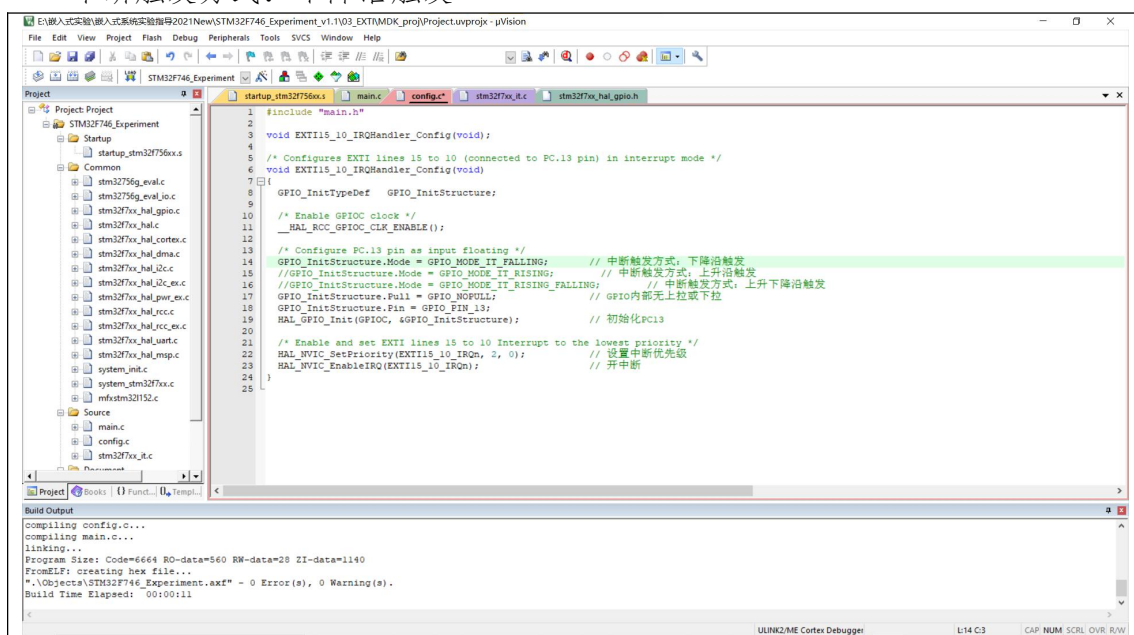
拷贝实验平台附带程序“03_EXTI”，使用μVision IDE for ARM 通过 ULINK2 USB-JTAG 仿真器连接实验板，打开工程文件，编译链接工程，根据本实验指导书中 2.3.2 小节中“编译配置”部分对工程进行配置（工程默认已经配置正确），点击 MDK 的 Project 菜单，选择 Rebuild all target files 进行编译，编译成功后，点击 Debug 菜单，选择 Start/Stop Debug Session 项或点击工具栏中的图标，下载工程生成的.axf 文件到目标板的 RAM 中调试运行。

● 观察实验结果

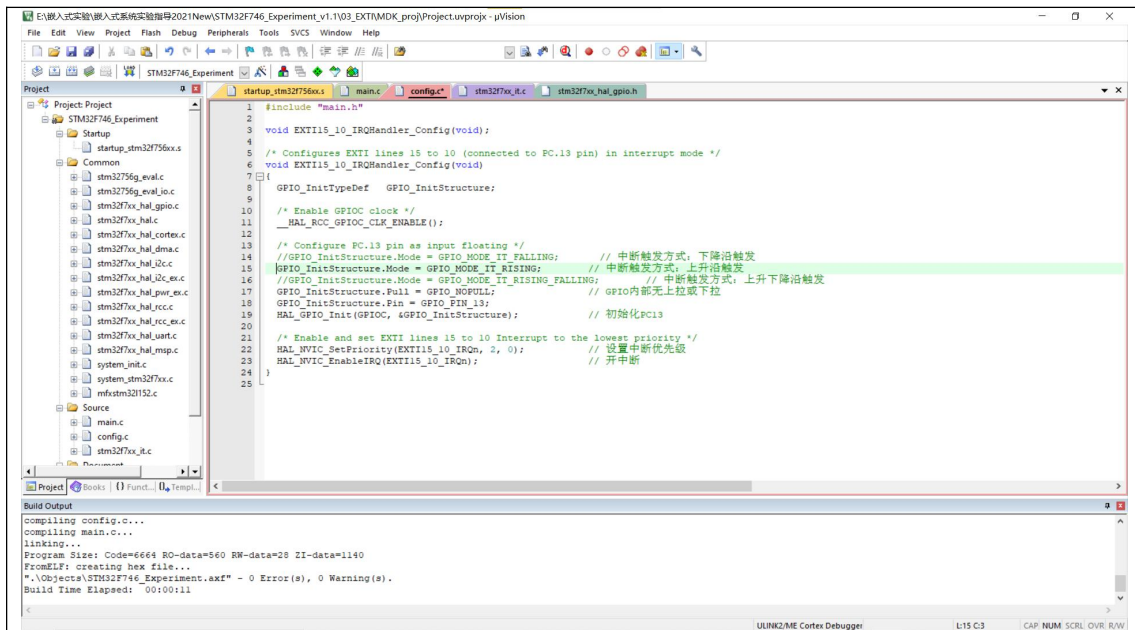
结合实验内容和相关资料，使用一些调试命令，观察程序运行。注意观察按键 S3 按下和释放时发光二极管 D1 的亮灭情况，观察到的现象与前面实验内容中的相符，则说明实验程序通过将 GPIO 配置为 EXTI 的中断源，通过按键开关触发外部中断，MCU 响应中断并点亮/熄灭发光二极管

6. 结果演示

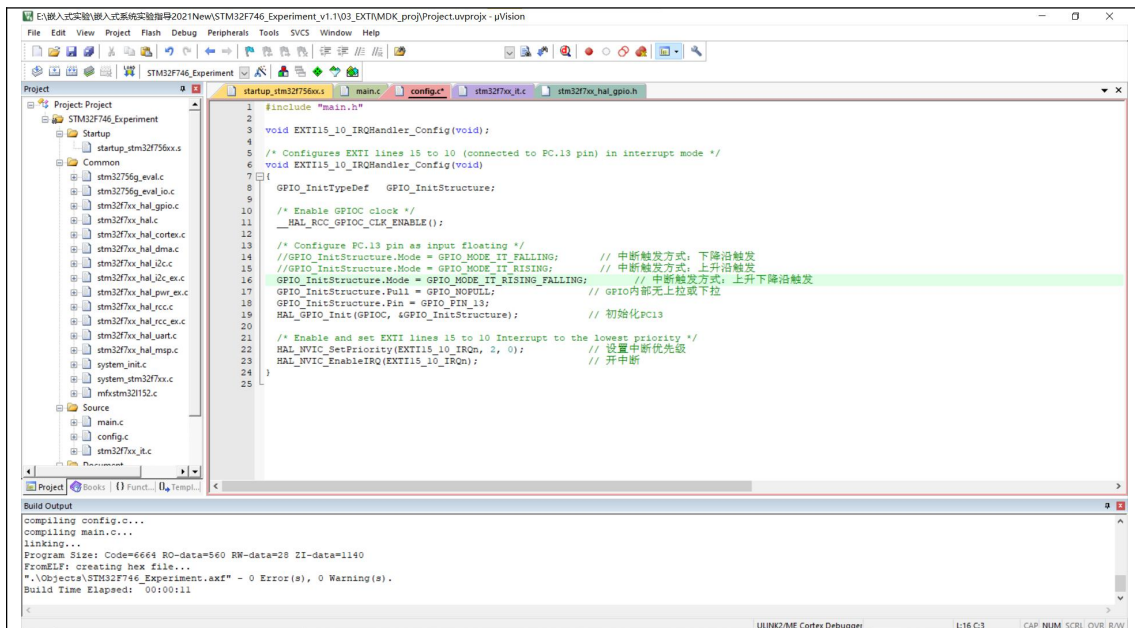
● 中断触发方式：下降沿触发



● 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

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。

8. 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。

