

# AG32 驱动部分的使用

AG32 片内资源列表:

CAN0	--- CAN0_BASE
UART0 ~ 4	--- UART0_BASE
IIC0 ~ 1	--- I2C0_BASE
TIMER0 ~ 1	--- base timer, TIMER0_BASE
GPTIMER0~4	--- advanced timer, GPTIMER0_BASE
MAC0	--- MAC0_BASE
USB0	--- USB0_BASE
watchDog0	--- WATCHDOG0
ADC0 ~ 2	--- ADC0 ---默认 IP 下 3 路, 参考 example_analog;
DAC0 ~ 1	--- DAC0 ---默认 IP 下 2 路
SPI0 ~ 1	--- SPI0

描述项:

1. 时钟的配置;
2. GPIO 使用;
3. MTimer 的使用;
4. Base Timer 的使用;
5. GpTimer 的使用;
6. Uart 的使用;
7. IIC 的使用;
8. CAN 的使用;
9. USB 的使用;
10. MAC 的使用;
11. SPI 的使用;
12. ADC/DAC 的使用;
13. WatchDog 的使用;
14. RTC 的使用;
15. 中断说明;
16. 系统休眠 (sleep、stop、stanby) ;
17. 使用 custom\_ip;

## 一、时钟的配置：

AG32 需要 HSE 外部晶振（范围：4M~16M）。

一般情况下，AG32 中不需要手动设置 PLL 时钟，只需在配置文件中给出外部晶振频率和系统主频即可。

配置方式：

在 ve 文件中配置如下：

```
example_board.ve
1  SYSCLK 100 ← 系统要跑100M主频
2
3  HSECLK 8 ← 外部晶振使用的是8M的
4
```

这里配置的值，会在系统初始化时自动获取并使能。

系统主频的可配置范围：参考 datasheet 中各型号的最高主频

外部晶振的可配置范围：4 ~ 16

如果在 fpga 中需要设置多个 PLL，则 ve 里要给出配置如：

PLLCLK3 40 # 40MHz

PLLCLK4 60 # 60MHz

PLL\_CLKOUT3 pll\_clk3

PLL\_CLKOUT4 pll\_clk4

这样 ip 里会有 pll\_clk3 和 pll\_clk4 两个输入。

参考文档：AGRV2K\_逻辑设置.pdf

PIN_HSE_OUT	HSE clock output	Can drive any logic
PLL_CLKIN	PLL input clock	Use HSE clock if not specified
PLL_LOCK	PLL lock (OUTPUT)	
PLL_CLKOUT0 ... PLL_CLKOUT4	PLL output clock 0-4	Can drive any logic
PLLINCLK	Frequency for PLL input clock (MHz)	Use HSE frequency if not specified
PLLCLK1	Frequency for PLL clock 1 (MHz)	Fixed to 60MHz if USB0 is used
PLLCLK2	Frequency for PLL clock 2 (MHz)	Fixed to 25/50MHz if MAC0 is used
PLLCLK3	Frequency for PLL clock 3 (MHz)	
PLLCLK4	Frequency for PLL clock 4 (MHz)	
PLLCLK0_PHASE ... PLLCLK4_PHASE	PLL output clock phase 0-4	In Degrees

## 二、GPIO 的使用:

### 可用 GPIO:

AG32 芯片内部可用 gpio 共有 80 个, 分为 10 组, 每组 8 个。

代码中各组对应为: GPIO0、GPIO1、GPIO2、...

组内各 IO 用 bit 表示: GPIO\_BIT0、GPIO\_BIT1、GPIO\_BIT2、...

使用时, 用 组 ID+组内 ID 来标识唯一的 IO。

这里和 ST 是相仿的, ST 分为 GPIOA/GPIOB/GPIOC, PIN\_1/PIN\_2/PIN\_3...

AG32 为: GPIO0/GPIO1/GPIO2..., GPIO\_BIT0/GPIO\_BIT1/GPIO\_BIT2...

### 对外映射:

程序中使用到的 GPIO 要映射到对外的管脚 PIN。

映射方式, 就是在 ve 文件中配置, 如下图:

```
5
6  GPIO4_1 PIN_92  # LED1 ← 配置GPIO4_1到92引脚
7  #GPIO4_2 PIN_93  # LED2
8
```

上图的示例, 就是把 gpio4\_1 映射到管脚 92。

在 AG32 中, 必须映射后, 代码中操作 gpio 时, 才会真正使能到硬件管脚。

这里 GPIOx\_y 的角标取值范围: x (0 ~ 9), y (0 ~ 7)

PIN\_z 的取值范围: z 小于最大引脚数

在取值范围内, 满足限制条件下, 任意 GPIOx\_y 可以映射到任意 PIN\_z。

(“哪些管脚不能被使用”的限制条件, 参考文档: AGRV2K\_逻辑设置.pdf)

这里配置的 GPIO0\_0, 等同于代码中的 (GPIO0, GPIO\_BIT0)。

### 样例 1:

用 pin3 引脚接 led 灯, 并控制亮灯 (高为亮)。

步骤一:

先做 ve 文件中定义引脚映射 (gpio 使用 4-1):

```
5
6  GPIO4_1 PIN_3  # LED ← gpio映射到pin
7
```

步骤二:

定义使用的宏: (也可以不定义, 直接在代码中使用)

```
#define LED_GPIO GPIO4 ← group 4
#define LED_GPIO_MASK APB_MASK_GPIO4
#define LED_GPIO_BITS GPIO_BIT1 ← bit1
```

步骤三:

代码中调用:

```
SYS_EnableAPBClock(LED_GPIO_MASK); ← 开时钟
GPIO_SetOutput(LED_GPIO, LED_GPIO_BITS); ← 设置为输出
GPIO_SetHigh(LED_GPIO, LED_GPIO_BITS); ← 置高IO
```

步骤四:

编译并烧录 ve 文件, 编译并烧录 code;

驱动开放的 API 包含:

GPIO\_SetOutput/GPIO\_SetInput ---设置 IO 为输入输出  
GPIO\_SetHigh/GPIO\_SetLow ---置高置低  
GPIO\_Toggle ---高低切换  
GPIO\_IntConfig ---配置中断触发方式  
GPIO\_EnableInt/GPIO\_DisableInt/GPIO\_ClearInt ---中断控制  
GPIO\_AF\_ENABLE/GPIO\_AF\_DISABLE ---切换 GPIO 模式 (如果有复用)  
Gpio 中断函数 SDK 中已经默认指定: GPIOx\_isr  
如果要重定向为函数, 通过 plic\_isr[GPIOx\_IRQn] = gpio\_xxx\_isr 的方式来设置;

**样例 2:**

用 pin96 接外部按键, 处理按键消息;

步骤一:

在 ve 文件中配置 gpio4\_5 映射到 pin96;

```
GPIO4_5 PIN_96 # button
```

步骤二:

在测试代码中, 编写 IO 初始化, 并实现中断函数:

```
void GPIO4_isr()
{
    if (GPIO_IsRawIntActive(GPIO4, GPIO_BIT5)) {
        GPIO_ClearInt(GPIO4, GPIO_BIT5);
        printf("detect key-press\r\n");
    }
}

void TestGpio()
{
    SYS_EnableAPBClock(APB_MASK_GPIO4);
    GPIO_SetInput(GPIO4, GPIO_BIT5);
    GPIO_EnableInt(GPIO4, GPIO_BIT5);
    GPIO_IntConfig(GPIO4, GPIO_BIT5, GPIO_INTMODE_FALLEDGE);
    INT_EnableIRQ(GPIO4_IRQn, GPIO_PRIORITY);
}
```

注: 这里的中断函数 GPIO4\_isr 无需程序中再次指定。

步骤三:

如果外部电路没有上拉设计, 则需要设置芯片内的上拉。

设置方式:

在\platforms\AgRV\boards\agrv2k\_x0x\board.asf 文件 中添加 (下图红框内容):

```
if { [info exists USB0_MODE] } {  
    alta::tcl_info "USB0_MODE = $USB0_MODE"  
    set_config -loc 0 1 3 CFG_PULLUP_ENB 1'b0  
    set_config -loc 0 1 3 CFG_PULLDN_ENB 1'b0  
}
```

```
set_instance_assignment -name WEAK_PULL_UP_RESISTOR ON -to PIN_96
```

内容：set\_instance\_assignment -name WEAK\_PULL\_UP\_RESISTOR ON -to PIN\_96

上拉关键字：WEAK\_PULL\_UP\_RESISTOR

下拉关键字：WEAK\_PULL\_DOWN\_RESISTOR

步骤四：

编译并烧录 ve 文件，编译并烧录 code；

### 三、MTimer 的使用：

MTime 是 risc-v 中定义的一个 64 位系统定时器。

在 STM32 中，我们一般用 systick(滴答计时器)作为时基，而在 riscv 中我们用 mechine timer(简称 mtime)作为时基。

MTime 中有两个主要寄存器：mtime 和 mtimecmp；

当 mtime 使能后，mtime 寄存器里的值会随着 tick 自增，当自增到 大于等于 mtimecmp 寄存器的值时(无符号比较)，就触发 MTimer 中断。

在移植操作系统时，mtime 一般被用于系统时间片的调度定时。

相关函数：

INT\_SetMtime：设置寄存器的值；

INT\_SetMtimeCmp：设置比较寄存器的值；

INT\_EnableIntTimer：打开 timer 中断；

中断函数 SDK 中已默认指定：void MTIMER\_isr()

如果要重定向函数，通过 clint\_isr[IRQ\_M\_TIMER] = MTIMER\_user\_isr 来设置；

如果要设置 1ms 触发一次的连续定时，需要调用：

```
INT_SetMtime(0);
```

```
INT_SetMtimeCmp(SYS_GetSysClkFreq() / 1000); //1ms
```

然后在中断里重新计时：

```
INT_SetMtime(0);
```

完整代码样例请参考 example 部分：

```

void MTIMER_isr(void)
{
    INT_SetMtime(0);
    printf("MTimer int\r\n");
}
void TestMtimer(int ms)
{
    //clint_isr[IRQ_M_TIMER] = MTIMER_isr;
    INT_SetMtime(0);
    INT_SetMtimeCmp(SYS_GetSysClkFreq() / 1000 * ms);
    INT_EnableIntTimer();
}

```

#### 四、Base Timer 的使用:

AG32 中包含 2 个 Base Timer: 分别对应 TIMER0 和 TIMER1。

这两个 timer 中, 每个又有两组寄存器, 每组寄存器可以单独产生定时。

所以, 真正可用的普通定时器有 4 个: TIMER0-0、TIMER0-1、TIMER1-0、TIMER1-1。

4 个定时器均可独立设置。

普通定时器特点:

- 定时器支持 16 位和 32 位的设置,

- 支持 3 种类型分频 (1 分频, 16 分频, 256 分频),

- 支持单次定时和循环定时。

驱动 API 函数命名中的 1 和 2, 分别对应第一组和第二组寄存器。

如, TIM\_Init1 设置的是第一组寄存器, TIM\_Init2 设置的是第二组寄存器。

举例:

用 Timer1 的 group2 产生 1s 的循环定时:

```

void TIMER1_isr()
{
    if (TIM_IsRawIntActive2(TIMER1)) {
        TIM_ClearInt2(TIMER1);
        printf("Timer1 g2 INT\r\n");
    }
}
void TestTimer()
{
    SYS_EnableAPBClock(APB_MASK_TIMER1);
    TIM_Init2(TIMER1, 1e6, TIMER_MODE_PERIODIC); //1e6 = 1000000 , 1s
    TIM_EnableInt2(TIMER1);
    TIM_EnableTimer2(TIMER1);
    INT_EnableIRQ(TIMER1_IRQn, TIMER_PRIORITY);
}

```

中断函数 TIMER1\_isr 在 SDK 中已经默认指定。

说明:

设置函数: TIM\_Init1 <-> TIM\_SetLoad1/TIM\_SetSize1/TIM\_SetMode1/...

中断函数: TIMER0\_isr/TIMER1\_isr

函数说明:

```
void TIM_Init1(TIMER_TypeDef *tim, uint32_t timeInUs, TIMER_ModeTypeDef mode)
```

作用: 启动 Timer0 或 Timer1 的第一个定时器 (TIM\_Init2 则启动第二个定时器)。

参数: tim: TIMER0 or TIMER1

timeInUs: 多少 us 触发定时

mode: TIMER\_MODE\_PERIODIC:循环触发 TIMER\_CTRL\_ONESHOT:只触发一次

举例:

```
TIM_Init1(TIMER0, 500000, TIMER_MODE_PERIODIC);
```

表示启动 TIMER0 的第一个定时器, 500ms 触发一次定时中断, 循环触发。

除了直接调用 TIM\_Init1 来启动一个定时外, 还可以调用各个子函数来启动。如,

```
TIM_Init2(TIMER0, 500000, TIMER_MODE_PERIODIC)
```

功能等价于:

```
TIM_SetLoad2(TIMER0, SYS_GetPclkFreq() / 1000000 * 500000);
```

```
TIM_SetSize2(TIMER0, TIMER_SIZE_32);
```

```
TIM_SetMode2(TIMER0, TIMER_MODE_PERIODIC);
```

```
TIM_SetPrescaler2(TIMER0, TIMER_PRESCALE_1);
```

```
TIM_EnableInt2(TIMER0);
```

```
TIM_EnableTimer2(TIMER0);
```

以上几个函数中,

TIM\_SetPrescaler2 是设置分频,

三个参数可选: TIMER\_PRESCALE\_1/TIMER\_PRESCALE\_16/TIMER\_PRESCALE\_256

分别表示分频数: 1 分频, 16 分频, 256 分频;

TIM\_SetSize2 设置计时器位宽,

两个参数可选: TIMER\_SIZE\_32/TIMER\_SIZE\_16

表示计数器的 load 的位宽是 32 位还是 16 位。

TIM\_SetLoad2 设置触发时间 (以 tick 为单位)

如果定时单位为 ms, 则需要将 tick 转为 ms: SYS\_GetPclkFreq()/1000000\*ms

中断函数: void TIMER0\_isr()

函数说明: 该函数为 TIMER0 的中断函数;

在该函数中需要先查询是第一个还是第二个定时器, 然后再清中断。

该中断函数已默认关联, 不需要程序中来手工设置。

完整代码样例请参考 example 部分。

## 五、General Purpose Timer 的使用:

AG32 中包含 5 个通用计时器 (GpTimer),

代码中分别对应: GPTIMER0、GPTIMER1、GPTIMER2...

通用定时器可以实现更多功能，包括：计时、生成 pwm、生成任意波形、输入捕获。  
5 个定时器均可独立设置。

每个定时器支持 4 个独立通道（channel）：

- 输入捕获
- PWM 输出（边缘或中间对齐模式）
- 单脉冲输出

主要函数：GPTIMER\_Init / GPTIMER\_OC\_Init

#### 1. 用于定时：

用于简单定时，只需要关注一个函数：GPTIMER\_Init，  
设置好参数后，启动计时即可。

举例：

用 gpTimer1 产生 2 秒一次的定时。

```
void GPTIMER1_isr()
{
    GPTIMER_ClearFlagUpdate(GPTIMER1);
    GPTIMER_EnableCounter(GPTIMER1);
    printf("gpTimer1 INT\r\n");
}

void TestGpTimer()
{
    SYS_EnableAPBClock(APB_MASK_GPTIMER1);
    GPTIMER_InitTypeDef tm_init;
    GPTIMER_StructInit(&tm_init);
    tm_init.Autoreload = 2e6; //2e6 = 2000000, that is 2S
    tm_init.Prescaler = 100; //主频为100MHz时，这里设置为100
    GPTIMER_Init(GPTIMER1, &tm_init);
    GPTIMER_SetOnePulseMode(GPTIMER1, GPTIMER_ONEPULSEMODE_SINGLE);
    GPTIMER_EnableCounter(GPTIMER1);

    INT_EnableIRQ(GPTIMER1_IRQn, TIMER_PRIORITY);
    GPTIMER_EnableIntUpdate(GPTIMER1);
}
```

这里使用到的中断函数 GPTIMER1\_isr，已被 SDK 自动设置。

#### 2. 用于 pwm 输出：

用于 pwm 输出时，要设置两个函数：GPTIMER\_Init 和 GPTIMER\_OC\_Init。  
GPTIMER\_Init 中设置多长时间触发一次 timer；

GPTIMER\_OC\_Init 中指定 pwm 输出通道及设置 pwm 的占空比；

举例：

用 gpTimer4 在通道 0 上产生 pwm 输出。



```

void TestGpTimerPwm()
{
    SYS_EnableAPBClock(APB_MASK_GPTIMER4);
    GPTIMER_InitTypeDef tm_init;
    GPTIMER_StructInit(&tm_init);
    const uint32_t frequency = 10000;        // In Hz 每秒产生多少次切换
    const float pwm_ratio = 0.3;
    tm_init.Autoreload = SYS_GetPclkFreq() / frequency;
    GPTIMER_Init(GPTIMER4, &tm_init);

    GPTIMER_OC_InitTypeDef oc_init;
    oc_init.OCState = GPTIMER_OCSTATE_ENABLE;
    oc_init.OCMode = GPTIMER_OCMODE_PWM1;
    oc_init.CompareValue = tm_init.Autoreload * pwm_ratio; //设置占空比
    GPTIMER_OC_Init(GPTIMER4, GPTIMER_CHANNEL_CH0, &oc_init); //设置通道
    GPIO_AF_ENABLE(GPTIMER4_CH0);          //GPIO复用为TIMER的channel输出

    GPTIMER_EnableAllOutputs(GPTIMER4);
    GPTIMER_EnableCounter(GPTIMER4);
}

```

除了上述的代码控制外，还需要在 ve 中添加映射关系：

GPTIMER4\_CH0 PIN\_7 ← 输出的IO映射到管脚

这样的情况下，pwm 才会输出到管脚上。

典型案例：呼吸灯（用 timer+timerPWM 来控制 led 灯逐渐变量逐渐变暗）

### 3. 输出任意波形：

如果要输出的不是 pwm 的规则波形，而是不规则波形（比如正弦波），则可借助于 DMA 方式来模拟实现。

思路：事先在数组中定义好数据序列，然后通过 dma 每次搬运，作用到输出。

这部分功能，参考例程函数：TestGpTimerDma

这种方式也同样需要管脚映射。

### 4. 输入捕获：

暂无例程。

## 六、Uart 的使用：

AG32 可用的 UART 有 4 个，分别对应 UART0、UART1、UART2、UART3；

样例工程中，UART0 被做为输出 log 的串口。其他几个 UART 可供应用使用；

初始化函数：

```

void UART_Init(UART_TypeDef          *uart,
               UART_BaudRateTypeDef  baudrate,
               UART_LCR_DataBitsTypeDef databits,

```

```
UART_LCR_StopBitsTypeDef stopbits,  
UART_LCR_ParityTypeDef  parity,  
UART_LCR_FifoTypeDef    fifo)
```

参数说明:

Uart: UART0、UART1、UART2 or UART3

Baudrate: 波特率, 如 115200

Databits/stopbits/parity:

Fifo: 是否开启 16 字节的 fifo 缓冲

收发函数:

```
UART_Send(UART_TypeDef *uart, const unsigned char *p, unsigned int num)
```

```
UART_Receive(UART_TypeDef *uart, unsigned char *p, unsigned int num, unsigned  
int timeout)
```

收函数的 timeout, 是如果收不满 num 个字符, 就等待多少个 tick。可以为 0。

**样例 1:**

实现 Uart1 的简单收发:

1. 增加 ve 对 uart1 的管脚配置:

```
UART1_UARTTXD PIN_52  
UART1_UARTRXD PIN_51
```

2. 代码中实现如下:

```
void TestUart(void)  
{  
    char txbuf[] = "simple uart1\n";  
    char rxbuf[256];  
  
    GPIO_AF_ENABLE(UART1_UARTRXD)  
    GPIO_AF_ENABLE(UART1_UARTTXD);  
    SYS_EnableAPBClock(APB_MASK_UART1);  
    UART_Init(UART1, 115200, UART_LCR_DATABITS_8, UART_LCR_STOPBITS_1,  
             UART_LCR_PARITY_NONE, UART_LCR_FIFO_16);  
  
    UART_Send(UART1, txbuf, strlen(txbuf));  
    while (1)  
    {  
        int rLen = UART_Receive(UART1, rxbuf, 12, 0);  
        if (rLen > 0)  
        {  
            UART_Send(UART1, rxbuf, rLen);  
        }  
    }  
}
```

**样例 2:**

使用接收中断来收取数据。

代码部分可参考以下方式（新增的红框代码）：

```
volatile char isRecv = 0;
char rxbuf[32];
void UART1_isr()
{
    if (UART_IsRawIntActive(UART1, UART_INT_RX)) {
        UART_ClearInt(UART1, UART_INT_RX);
        UART_Receive(UART1, rxbuf, 8, 0); //half: 16/2=8
        isRecv = 1;
    }
}
void TestUart(void)
{
    const char txbuf[] = "uart1 rx INT\n";

    GPIO_AF_ENABLE(UART1_UARTRXD);
    GPIO_AF_ENABLE(UART1_UARTTXD);
    SYS_EnableAPBClock(APB_MASK_UART1);
    UART_Init(UART1, 115200, UART_LCR_DATA_BITS_8, UART_LCR_STOPBITS_1,
             UART_LCR_PARITY_NONE, UART_LCR_FIFO_16);
    UART_EnableInt(UART1, UART_INT_RX);
    UART_SetRxIntFifoLevel(UART1, UART_INT_FIFO_HALF);
    INT_EnableIRQ(UART1_IRQn, UART_PRIORITY);

    UART_Send(UART1, txbuf, strlen(txbuf));
    while (1)
    {
        if (isRecv > 0)
        {
            UART_Send(UART1, rxbuf, 8);
            isRecv = 0;
        }
    }
}
```

中断函数 UART1\_isr 在 SDK 中已经默认关联，不用手动设置。

在中断函数中，要判别中断来源再继续操作。

上例中，收 FIFO 因为设置为 16 字节，半数触发时，收到 8 个字节就会触发中断。

如果每来一个字节中断接收一次，可以在 UART\_Init 中设置参数为 UART\_LCR\_FIFO\_1，并且不用再调用 UART\_SetRxIntFifoLevel 函数。

### 3. 使用 DMA 收发：

如果要启用 DMA 功能，参考 sdk 中自带的样例。

需要增加 3 个函数：

DMAC\_Init：启动 dma

UART\_SetDmaMode：设置只要收/发 dma，或收发都要 dma

DMAC\_Config：设置 dma 的详细参数。

如果收发都要 dma，则需要调用 2 次 DMAC\_Config 来分别设置。

函数 DMAC\_Config 的参数说明：

```

void DMAC_Config(
    DMAC_ChannelNumTypeDef channel, //DMA 通道
    uint32_t srcAddr, //DMA 数据源地址
    uint32_t dstAddr, //DMA 数据目标地址
    DMAC_AddrIncTypeDef srcIncr, //传输后源地址是否自增
    DMAC_AddrIncTypeDef dstIncr, //传输后目标地址是否自增
    DMAC_WidthTypeDef srcWidth, //源地址传输数据的字节宽度（可选 8/16/32）
    DMAC_WidthTypeDef dstWidth, //目标地址传输数据的字节宽度（可选 8/16/32）
    DMAC_BurstTypeDef srcBurst, //源地址一次传输多少?? ?
    DMAC_BurstTypeDef dstBurst,
    uint32_t transferSize, //传输多少次
    DMAC_FlowControlTypeDef transferType, //传输方向类型（8 种）
    uint32_t srcPeripheral, //源地址的外设类型
    uint32_t dstPeripheral //目标地址的外设类型
)

```

比如，设置收 DMA，会设置参数如：

```

DMAC_Config(DMAC_CHANNEL1,
    (uint32_t)&UART3->DR, //串口数据寄存器
    (uint32_t)rxbuf, //收缓冲 buff
    DMAC_ADDR_INCR_OFF, //源地址不自增
    DMAC_ADDR_INCR_ON, //目标地址自增
    DMAC_WIDTH_8_BIT, //源数据宽度以 8bit 为单位
    DMAC_WIDTH_8_BIT, //目标数据宽度以 8bit 为单位
    DMAC_BURST_1,
    DMAC_BURST_1,
    0, //传输多少次，如果是 0 则无限制
    DMAC_PERIPHERAL_TO_MEM_PERIPHERAL_CTRL, //外设到内存的方向
    UART3_RX_DMA_REQ, //源数据外设类型
    0 ); //目标数据外设类型

```

设置发的 DMA，会设置参数如：

```

DMAC_Config(DMAC_CHANNELO,
    (uint32_t)txbuf, //发缓冲
    (uint32_t)&UART3->DR, //串口数据寄存器
    DMAC_ADDR_INCR_ON, //发缓冲自增
    DMAC_ADDR_INCR_OFF, //寄存器不自增
    DMAC_WIDTH_8_BIT, //源数据宽度以 8bit 为单位
    DMAC_WIDTH_8_BIT, //目标数据宽度以 8bit 为单位
    DMAC_BURST_1,
    DMAC_BURST_1,
    dma_count, //要传输的数据量
    DMAC_MEM_TO_PERIPHERAL_DMA_CTRL, //内存到外设的方向
    0, //源数据外设类型
    tx_dma_req); //目标数据外设类型

```

以上完整代码样例请参考 example 部分。

## 七、IIC 的使用:

AG32 支持两路 I2C, 分别对应: I2C0、I2C1;

I2C 是一种简单的双向两线制总线协议, 半双工, 支持多主从模式。I2C 最大的特点之一就是有完善的应答机制。

MCU 端是 I2C 的主端。

样例程序参考 example\_i2c.c

在使用 I2C 时的流程:

1. Ve 中先配置对应的引脚:

```
I2C0_SDA PIN_36
I2C0_SCL PIN_35
```

2. 代码中时钟使能、中断使能、设置频率:

```
PERIPHERAL_ENABLE(I2C, 0);
INT_EnableIRQ(I2C0_IRQn, I2C_PRIORITY);

I2C_Init(I2C0, frequency);
```

3. 使能 I2C:

```
I2C_Enable(I2C0);
```

3. 收发数据:

IIC 的收过程和发过程, 都有对应的应答流程, 启动->收/发->结束。

使用中, 收发函数会被完整的封装。

请参考例程函数 (函数流程可参考, 封装请自行调整):

```
bool I2cReadPROM(uint8_t *mem, bool verify)
```

```
bool I2cWritePROM(uint8_t *mem)
```

4. 关闭 I2C:

```
I2C_Disable(I2C0);
```

另外, 例程中还使用到了中断函数。当 I2C 准备好时, 会触发该中断。

## 八、CAN 的使用:

AG32 支持 1 路 CAN, 对应: CAN0

样例程序参考 example\_can.c

在使用 CAN 时的流程:

1. ve 中先配置对应的引脚:

```
CAN0_TX0 PIN_39
CAN0_RX0 PIN_38
```

2. 代码中使能时钟、开中断:

```
PERIPHERAL_ENABLE(CAN, 0);
INT_EnableIRQ(CAN0_IRQn, CAN_PRIORITY);
```

3. 配置参数（参数较多）并开启 can、开启收中断：

```
CAN_Init(CAN0, &init);
CAN_EnableIntRx(CAN0);
```

4. 发送数据：

```
CanTx(can_id, frame_format, CAN_DATA_FRAME, CAN_DATA_LENGTH_8, "test can");
CAN_WaitForTx(CAN0);
```

5. 在中断函数中接收数据：

```
void CAN0_isr()
{
    uint32_t can_ir = CAN_GetIntStatus(CAN0);
    if (can_ir & CAN_IR_TI) { // Tx done
        printf("can tx done\n");
    }
    if (can_ir & CAN_IR_RI) { // Rx done
        CAN_RxMessageTypeDef rx_msg;
        GPIO_Toggle(EXT_GPIO, 0x04);
        CAN_Receive(CAN0, &rx_msg);
```

使用时，请参考样例修改。

## 九、USB 的使用：

AG32 已经在工程中集成 tinyUSB，可自行关联使用。

usb 使用的管脚，是固定的管脚，不能在 ve 中进行改变。

在例程中，usb 被同时枚举为 cdc 和 msc（还支持 HID 和 MIDI）。

简单应用（使用 tinyUsb 样例）：

1. vsCode 打开 tinyUsb 的文件夹工程（同 exmaple 并列）；

agmWork2 > AgRV_pio > platforms > AgRV > examples		
名称	修改日期	类型
analog	2023/2/1 18:28	文件夹
custom_ip	2023/2/1 18:28	文件夹
dfu	2023/2/1 18:28	文件夹
example	2023/2/10 20:34	文件夹
freeRTOS	2023/2/1 18:28	文件夹
logic_ip	2023/2/1 18:28	文件夹
lwip	2023/2/1 18:28	文件夹
rtthread	2023/2/1 18:28	文件夹
tinysub	2023/5/8 16:33	文件夹
tinysub_lwip	2023/2/1 18:28	文件夹
uCOS	2023/2/1 18:28	文件夹

打开后如图：

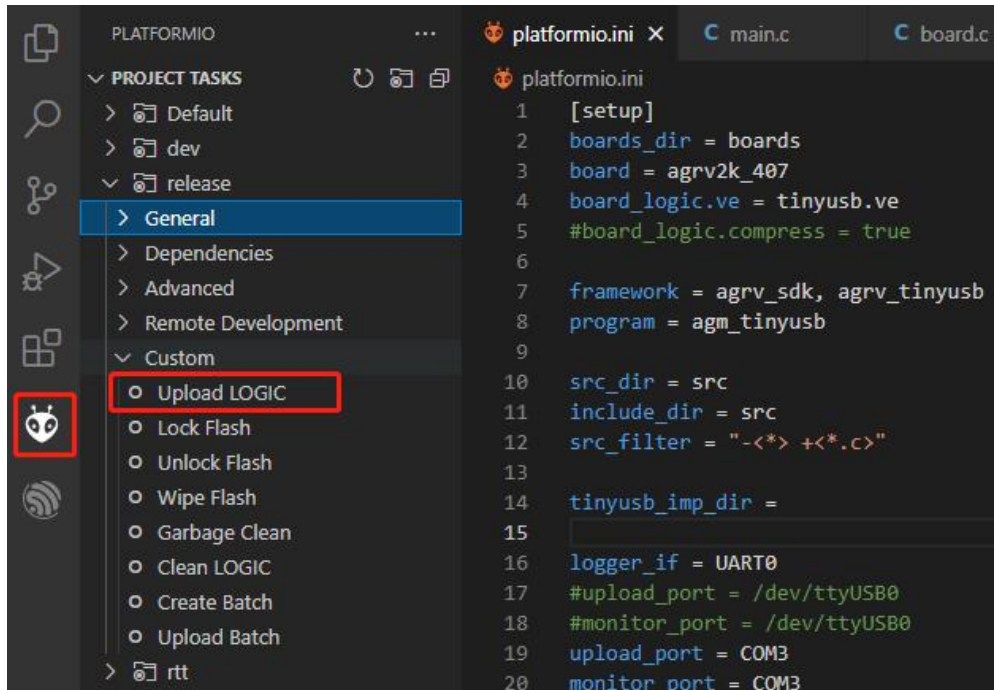
The screenshot shows the VS Code interface. On the left, the '资源管理器' (Resource Manager) sidebar displays the project structure under 'TINYUSB', including folders like '.pio', '.vscode', and 'src', and files like 'main.c', 'msc\_disk.c', 'tusb\_config.h', 'usb\_descriptors.c', '.gitignore', 'platformio.ini', and 'tinysub.ve'. The main editor area shows the 'platformio.ini' file with the following configuration:

```

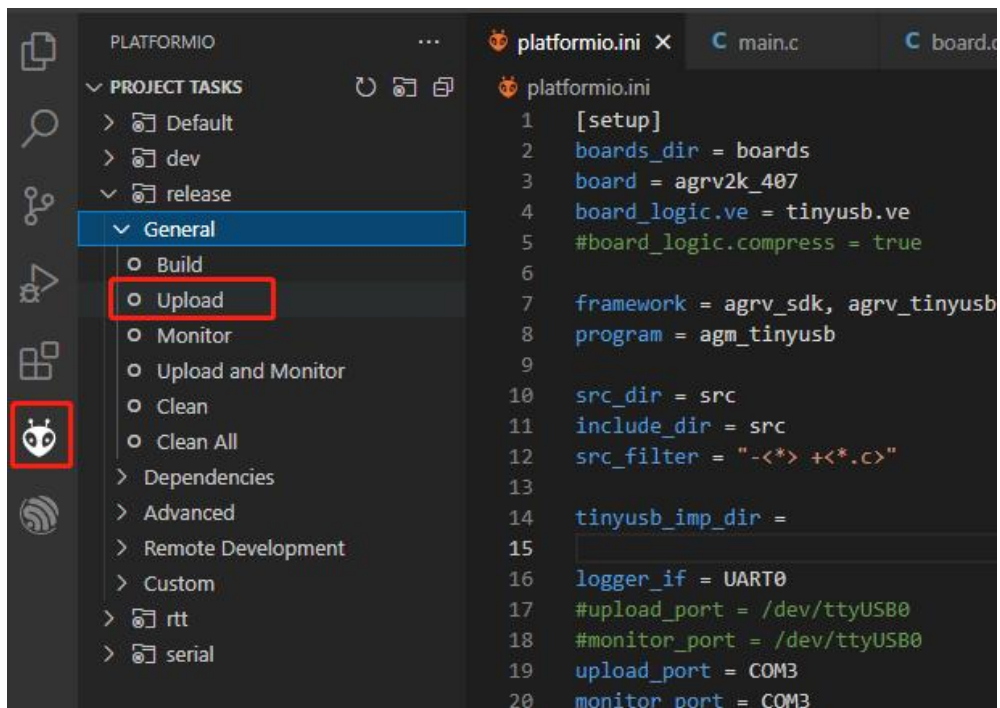
1 [setup]
2 boards_dir = boards
3 board = agrv2k_407
4 board_logic.ve = tinysub.ve
5 #board_logic.compress = true
6
7 framework = agrv_sdk, agrv_tinysub
8 program = agm_tinysub
9
10 src_dir = src
11 include_dir = src
12 src_filter = "-<*> +<*.c>"
13

```

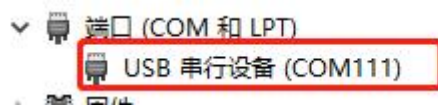
2. 直接烧录 ve 和程序 bin;  
烧录 ve:



烧录 bin:



3. Usb 供电启动，就可以看到 PC 端的 U 盘和 cdc 串口，如图；  
(cdc 串口)



(U 盘)





如果没有显示出来，可以烧录并跟踪程序，看是否出现 `board_init` 失败（板子不同，可能会带来 `board` 初始化的失败）

如果要集成到自己的工程（如，要在 `example` 中使用），需要修改：

1. Platformio.ini 中增加对 `tinyusb` 的引用：

```
framework = agrv_sdk, agrv_tinyusb  
program = agm_example
```

注意，引用多个库时，用逗号隔开，并且逗号后边要加空格。

2. `ve` 文件中增加：

```
#USB0_ID PIN_78  
USB0 device
```

3. 代码部分调整：

将 `tinyusb` 下的 `src` 路径文件，修改 `main.c` 后放入 `example` 下的 `src`。

修改点：

`Main.c` 文件重命名；`main()` 函数重命名；去除 `main()` 中的 `board_init` 函数；

重命名后的 `main` 函数在 `example` 下的 `main()` 中调用；

4. 编译并烧录 `ve` 和代码，即可正常运行。

在例程中，USB 描述符、回调、配置（CDC、HID、MSC、MIDI）均已通过接口开放出来，在 `src` 路径下的 `.c.h` 中。用户可根据自己的需求订制或修改。

关于配置部分及 `usb` 接口使用详解，可参考 `sdk` 下 `tinyUSB` 路径下的文件描述，或者参考 `tinyUSB` 官方介绍。

## 十、MAC 的使用：

AG32 支持 MAC 模块。

支持 RMII/MII 接口。

目前 SDK 中集成了 `Lwip2.1.0` 版本。在样例中，使用了 `server` 端的功能。

样例使用：

打开样例工程 `lwip`,

example	2023/5/9 17:41
freeRTOS	2023/2/1 18:28
logic_ip	2023/2/1 18:28
lwip	2023/5/10 11:29
rtthread	2023/5/10 15:56
tinysb	2023/5/8 16:33

修改 ve 配置文件中 mac 相关 IO 对应，如：

```
# Pins for RMII
MAC0_RXD0    PIN_59
MAC0_RXD1    PIN_60
MAC0_TXD0    PIN_62
MAC0_TXD1    PIN_63
MAC0_TX_EN   PIN_64
MAC0_CR5     PIN_58
MAC0_RX_ER   PIN_56

# Extra pins for MII
# MAC0_RX_DV  PIN_65
# MAC0_RXD2   PIN_62
# MAC0_RXD3   PIN_61
# MAC0_TXD2   PIN_56
# MAC0_TXD3   PIN_55
# MAC0_COL    PIN_42
# MAC0_RX_CLK PIN_60 # Do NOT assign

# MAC reset, MDC, MDIO, and clocks
GPIO5_5      PIN_65 # MAC0_PHYRSTB
MAC0_MDC     PIN_55
MAC0_MDIO    PIN_54
#MAC0_TX_CLK PIN_61
MAC0_CLK_OUT PIN_61

# INTB is shared with RXD2 on 32-pin
MAC0_PHY_INTB PIN_57
```

根据自己的板子，可能需要修改的是 phy 地址，

```
uint8_t board_mac_phy_addr(void)
{
    // PHY address depends on how it is physically connected
    return 1;
}
```

正常情况下，以上两处设置好，就可以测试样例程序了。  
编译并烧录 ve 文件和程序 bin。

测试:

PC 通过网线连接开发板，修改 PC 的 IP 为 192.168.5.2，然后在浏览器中输入：  
<http://192/168.5.1>，就可以看到开发板上的展示网页。

## 十一、SPI 的使用:

AG32 支持两路 SPI，分别对应：SPI0、SPI1；

SPI 是一种全双工同步的串行通信，可支持高速数据传输。

采用主-从模式 (Master-Slave) 的控制方式，通过对 Slave 设备进行片选 (Slave Select) 来控制多个 Slave 设备。

MCU 端是 SPI 的主端。

样例程序参考 `example_spi.c`

在例程中，使用了 SPI\_FLASH 的 dma 方式。

注意，这里的 SPI 是针对 SPI\_FLASH 的，并不是通用 SPI。

如果是用于通用 SPI (非 FLASH 或 dma)，需要调整驱动函数。

(如果需要全双工，当前是不能满足的，需要编辑 FPGA 实现该逻辑)

SPI 支持 1 线和 4 线。更详细的参考 SPI 文档。

## 十二、ADC/DAC 的使用:

ADC/DAC 包含模拟电路，需要 fpga 部分的支持。

AG32 自带一套 fpga 逻辑 (默认 ip)，

在默认的 ip 中，支持 3 路 ADC 和 2 路 DAC，1 路比较器 CMP (双通道，可独立运行)。

使用样例 ADC:

在样例代码 `example_analog.c` 中，adc 默认是宏关闭的。可在 `platformio.ini` 中打开该宏:

```
build_flags = -DBAUD_RATE=${setup.monitor_speed} -DIPS_ANALOG_IP
```

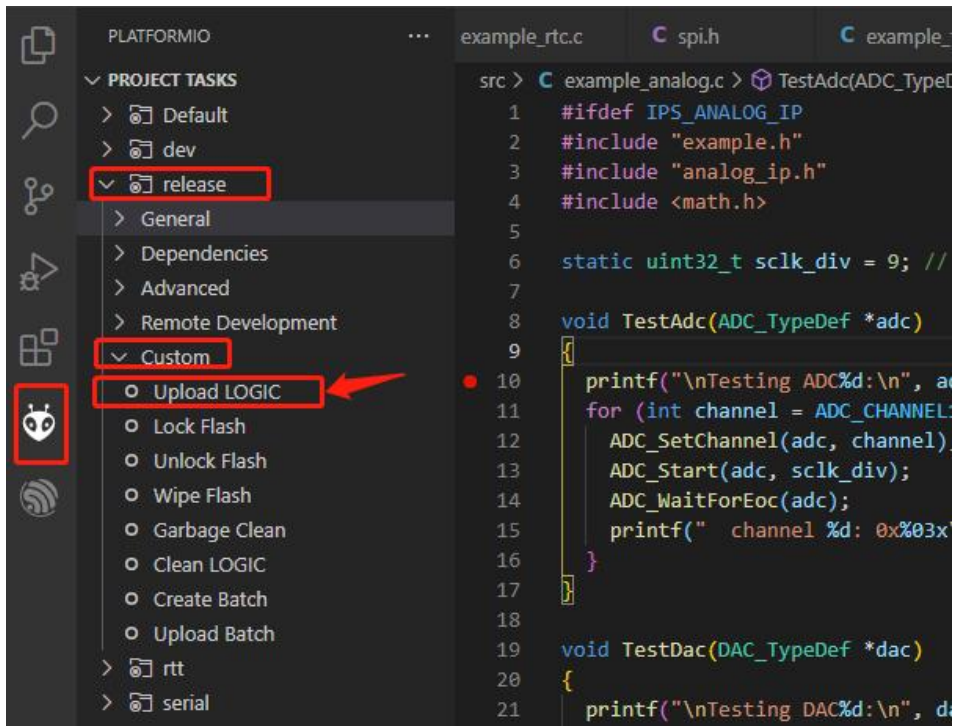
【-DIPS\_ANALOG\_IP】

同时，使能默认的 ip，在 `platformio.ini` 中配置:

```
#ips_dir = ../ips  
ip_name = analog_ip  
#logic_dir = logic
```

然后在 `main()` 函数中放开 `TestAnalog()` 即可。

注意，第一次打开 ADC/DAC 功能时，需要重新编译烧录一次 ve:



ADC 共有 15 个 channel，每个 channel 均可配置到任一个 ADC 上。

ADC 的简单使用：

参考 TestAdc 函数，ADC 不需要在 ve 里管脚映射，不需要设置 IO 复用。

使用以下 4 个函数即可：

```

ADC_SetChannel(adc, channel);
ADC_Start(adc, sclk_div);
ADC_WaitForEoc(adc);
printf(" channel %d: 0x%03x\r\n", channel - ADC_CHANNEL0, ADC_GetData(adc));

```

如果需要多次转换，则重复调用后 3 个函数。

DAC/比较器/dma 参后续例程。

### 十三、WatchDog 的使用：

AG32 支持 1 个独立看门狗模块。

WDOG 主要性能：

- 自由运行的递减计数器
  - 看门狗被激活后，则在计数器计数至 0x000 时产生复位
- 默认情况下，在 debug 状态下看门狗是不工作的。

使用逻辑：

1. 为看门狗使能时钟，并使能中断（中断可选）；
 

```

SYS_EnableAPBClock(APB_MASK_WATCHDOG);
INT_EnableIRQ(WATCHDOG0_IRQn, WDOG_PRIORITY);

```
2. 启动看门狗，同时设置看门狗时间；

```
WDOG_Init(SYS_GetPclkFreq()); // 1 second
```

3. 定时（或在中断函数中）喂狗；

```
WDOG_Feed();
```

看门狗中断函数为：`void WATCHDOG0_isr();`

4. 系统启动后，可以通过查看寄存器，确定是否为看门狗导致的重启；

```
if (READ_BIT(SYS->RST_CNTL, SYS_RSTF_WDOG)) { /*reset by Watchdog*/ }
```

在处理中需要自行清除掉该标记，以避免下次重启时误判。

看门狗中是否使用中断：

1. 如果开启看门狗中断，则中断来了后，必须要在中断里清除标记（清除中断的动作就是喂狗的动作），不然中断函数会一直被调用。

2. 如果关闭看门狗中断，则必须要应用程序在重启时间到来前及时喂狗。

3. 还可以中断函数和应用程序两者一起喂狗。即：开启看门狗中断，然后在中断函数和应用中都调用喂狗函数。

如果应用中的喂狗周期比中断周期短，则中断函数永远不会被触发。

看门狗的中断时间和重启时间：

在 `WDOG_Init` 函数中设置的时间，是看门狗中断来一次的时间。而重启的时间，是两个这样的时间（2 倍整）。

比如：`WDOG_Init` 设置了 5 秒，没启动看门狗中断，当应用中 10 秒没喂狗动作时，系统才被重启。

## 十四、RTC 的使用：

RTC（Real Time Clock）是个独立的定时器。

RTC 模块拥有一个连续计数的计数器，可进行软件配置，提供时钟日历的功能。RTC 还包含用于管理低功耗模式的自动唤醒单元。

只要芯片的备用电源一直供电，在 `mcu` 断电情况下 RTC 仍可以独立运行。

RTC 只支持 LSE 作为时钟源（32768）；

支持 3 种中断类型：

1. 秒中断；

2. 溢出中断；

3. 定时中断；

主要寄存器：

RTC 控制寄存器 (`RTC_CRH`, `RTC_CRL`)

RTC 预分频装载寄存器 (`RTC_PRLH`, `RTC_PRL`)

RTC 预分频余数寄存器 (`RTC_DIVH`, `RTC_DIVL`)

RTC 计数器寄存器 (`RTC_CNTH`, `RTC_CNTL`)

RTC 闹钟寄存器 (`RTC_ALRH`, `RTC_ALRL`)

以上寄存器都有对应的函数来进行操作。

执行逻辑：

`RTC_PRL`（预分频装载寄存器）的值决定 `TR_CLK` 脉冲产生的周期，`RTC_DIV`（预分频器余数寄存器）可读不可写，当 `RTCCLK` 的一个上升沿到来，`RTC_DIV` 的值减 1，减到 0

后硬件重载为 RTC\_PRL 的值同时产生一个 TR\_CLK 脉冲，一个 TR\_CLK 脉冲的到来会使 RTC\_CNT（计数器寄存器）的值加 1，同时产生一个 RTC\_Second 中断（由软件配置是否使能，“秒中断”并不一定是一秒触发一次，具体是根据 RTC 时钟和 RTC\_PRL 的值决定）。当 RTC\_CNT 的值溢出后从 0 开始，并产生一个溢出中断（由软件配置是否使能）。当 RTC\_CNT 等于 RTC\_CNTRTC\_ALR（闹钟寄存器）时，产生一个闹钟中断（由软件配置是否使能，可在用在系统待机模式下唤醒系统）。

#### BKP 备份寄存器

备份寄存器有 16 组 16 位的寄存器（每组 2 个）。可用来存储 64 个字节数据。

它们处在备份区域，当 VDD 电源切断，仍然由 VBAT 维持供电。

当系统在待机模式下被唤醒，或者系统复位或者电源复位，它们也不会复位。

一般用 BKP 来存储 RTC 的校验值或者记录一些重要的数据。

可通过以下两个函数接口来读写：

```
RTC_WriteBackupRegister(uint16_t idx, uint16_t value)
```

```
RTC_ReadBackupRegister(uint16_t idx)
```

RTC 常用于三种定时：

##### 1. 秒中断：

RTC 的秒中断功能类似 SysTick 系统滴答的功能。RTC 秒中断功能其实是每计数一次就中断一次。注意，秒中断并非一定是一秒的时间，它是由 RTC 时钟源和分频值决定的“秒”的时间，当然也是可以做到 1 秒钟中断一次。通常通过函数 RTC\_SetPrescaler(32768) 来进行设置。

完整代码需要：

```
RTC_Init(board_rtc_source());
```

```
RTC_EnableInt(RTC_FLAG_SEC);
```

```
RTC_SetPrescaler(32768);
```

```
RTC_SetOutputMode(RTC_OUTPUT_CLOCK);
```

##### 2. 溢出中断：

溢出中断是 RTC\_CNT 的值溢出时触发的中断。

##### 3. 定时中断：

使用时一般设置秒中断周期为 1s，用 RTC\_CNT 计数器计数。假如 1970 设置为时间起点为 0s，通过当前时间的秒数计算得到当前的时间。RTC\_ALR 是设置闹钟时间，RTC\_CNT 计数到 RTC\_ALR 就会产生计数中断。

中断函数在 SDK 中已经默认关联，函数名：RTC\_isr

在中断函数中，需要先判断中断来源，再进行相应的处理。

## 十五、中断说明：

RISC-V 系统支持中断嵌套。但 SDK 中推荐（并默认）使用非嵌套中断方式，如果需要嵌套方式，请打开宏 AGRV\_NESTED\_INTERRUPT。

中断系统被封装在 SDK 的 interrupt.c 中，由 INT\_Init() 函数来完成初始化。

RISC-V 有两套中断向量，分别对应于 PLIC 和 CLINT。目前只有 MTime 是对应到 CLINT 中断，其他都对应于 PLIC 中断。

用户级别的中断设置，都通过函数 `INT_EnableIRQ(uint32_t irq, uint32_t priority)` 来设置使能。中断向量表和中断函数名都已内置定义。从用户角度，只需要设置中断使能即可使用对应的中断函数。

开关系统总中断函数：

`INT_EnableIntGlobal/INT_DisableIntGlobal`

系统中断向量表及中断函数名，可从 `AltaRiscv.h` 中查看。如：

向量 ID: `TIMERO_IRQn`

中断函数: `TIMERO_isr`

异常和中断都在这里处理。

程序运行中出现异常的解决思路：

如果程序运行中跑飞（进入异常中断函数 `exception_handler`），可以查看几个寄存器：

`mepc`: 进入异常前的 `pc` 地址，结合编译 `map` 可以定位到是从哪个函数飞掉的；

`mcause`: 是 `machine cause register`，记录进入异常的原因。

异常列表如下：

0	Instruction address misaligned
1	Instruction access fault
2	Illegal instruction
3	Breakpoint
4	Load address misaligned
5	Load access fault
6	Store/AMO address misaligned
7	Store/AMO access fault
8	Environment call from U-mode
9	Environment call from S-mode
10	<i>Reserved</i>
11	Environment call from M-mode
12	Instruction page fault
13	Load page fault

## 十六、系统休眠 (sleep、stop、stanby)

AG32 支持 3 种休眠方式: `sleep`、`stop`、`standby`。

代码样例参考 `example_system.c`

其中进入 `standby` 后，有三种唤醒方式: `IWDG`、`RTC(Alarm)`、外部 `IO`。

如果要使用低功耗，在系统进入休眠前，需要先关掉不必要的外设时钟。

## 十七、使用 `custom_ip`:

ADC 部分描述了使用默认 `ip` 的方法。

默认 `ip` 中只包含了 `ADC/DAC/CMP` 的功能，如果要特殊功能，需要构建自己的 `ip`。

构建方法，参考《`AGRV2KLxx` 使用入门》。

构建并生成完毕后，会生成一个 `custom_ip` 的文件夹，放在工程目录下。

在构建后，需要 `platformio.ini` 文件中设置的配置项（三项）：

```
ip_name = xxxxx_ip  
logic_dir = logic  
board_logic.ve = project_xxx.ve
```

其中，

ip\_name 为新建的 custom\_ip 名字；

logic\_dir 为生成的文件夹名称；

board\_logic.ve 为生成自定义 ip 时共同使用的 ve 文件；

三种情况在 platformio.ini 文件中的配置对比：

1. 如果连默认 ip 都用不到（没有用 ADC/DAC）：

只需要配置一项：

```
board_logic.ve = project_xxx.ve
```

2. 如果仅用到默认 ip：

需要配置两项：

```
board_logic.ve = project_xxx.ve
```

```
ip_name = analog_ip
```

3. 如果要用到自定义 ip：

需要配置三项：

```
board_logic.ve = project_xxx.ve
```

```
ip_name = xxxxx_ip
```

```
logic_dir = logic
```