ING918XX 系列芯片外设开发者手册

桃芯科技（苏州）有限公司

官网：www.ingchips.com

www.ingchips.cn

邮箱：service@ingchips.com

电话：010-85160285

地址：北京市海淀区知春路 49 号紫金数 3 号楼 8 层 803

深圳市南山区科技园曙光大厦 1009

目录

插图

表格

版本历史

版本	信息	日期
0.5	初始版本	2022-11-21
0.6	更新 SPI	2023-04-19

第一章　概览

欢迎使用 *INGCHIPS* 918xx/916xx 软件开发工具包（SDK）.

ING918XX 系列芯片支持蓝牙 5.0/5.1 规范，内置高性能 32bit RISC MCU、Flash，以及丰富的外设、高性能低功耗 BLE RF 收发机。BLE 发射功率。

本文介绍 SoC 外设及其开发方法。每个章节介绍一种外设，各种外设与芯片数据手册之外设一一对应，但存在以下例外：

- SYSCTRL 是一个 “虚拟” 外设，负责管理各种 SoC 功能，组合了几种相关的硬件模块

SDK 外设驱动的源代码开放，其中包含很多常数，而且几乎没有注释 —— 这是有意为之，开发者只需要关注头文件，而不要尝试修改源代码。

ING918xx 包含不同的封装、型号。本手册适用于 ING918xx 系列芯片的所有封装、型号。

1.1　缩略语及术语

表 1.1: 缩略语

缩略语	说明
ADC	模数转换器（Analog-to-Digital Converter）
FIFO	先进先出队列（First In First Out）
GPIO	通用输入输出（General-Purpose Input/Output）
I2C	集成电路间总线（Inter-Integrated Circuit）
PWM	脉宽调制信号（Pulse Width Modulation）
RTC	实时时钟（Real-time Clock）
SPI	串行外设接口（Serial Peripheral Interface）
UART	通用异步收发器（Universal Asynchronous Receiver/Transmitter）

缩略语	说明

参考文档

1. Bluetooth SIG[1]
2. ING918XX 系列芯片数据手册

[1] https://www.bluetooth.com/

第二章　模数转换器（ADC）

ADC 特性：

- 最多有 5 个通道 AIN0~AIN4
- 10 位分辨率
- 输入范围 0~3.6V
- 支持采样率 3/16MHz、3/32MHz、3/64MHz、3/128MHz
- 支持单端输入转换模式
- 支持环路转换模式，每个通道可以启用或禁用

2.1　ADC 工作模式

ADC 有两种工作模式：单次模式和循环模式。

```
#define ADC_MODE_SINGLE     1
#define ADC_MODE_LOOP       0
void ADC_SetMode(const uint8_t mode);
```

2.1.1　单次模式：ADC_MODE_SINGLE

单次模式只能使能一个通道，如果使能多个通道，只有第一个通道为有效通道，完成后 ADC 将停止，数据可用，知道重置 ADC 控制器。

2.1.2　循环模式：ADC_MODE_LOOP

循环模式需要配置一个控制环路延迟：

```
void ADC_SetLoopDelay(const uint32_t delay);
```

一旦 ADC 任务开始，它将逐个从启用的通道中采样输入电压。完成一个循环后，循环延迟将启动停止 ADC，直到延迟时间结束，然后下一个循环将开始。数据每个循环都会更新。

2.2 ADC 采样数率

ADC 支持四种采样率 3/16MHz、3/32MHz、3/64MHz、3/128MHz。

```
#define ADC_CLK_16      0
#define ADC_CLK_32      1
#define ADC_CLK_64      2
#define ADC_CLK_128     3
#define ADC_CLK_EN      0x4
/** \brief Set ADC clock selection
 *  Note that: remeber to include ADC_CLK_EN.
 */
void ADC_SetClkSel(const uint8_t clk_sel);
```

2.3 ADC 校准

如果 ADC 采样计算得到的结果和实际值偏差比较大，可以对 ADC 校准，使用校准后的值计算。

2.3.1 ADC 校准预处理

```
enum adc_cali_method
{
    ADC_CALI_METHOD_1 = 1,      // calibration is done in factory
    ADC_CALI_METHOD_2,          // calibration is done in factory
```

```
    ADC_CALI_METHOD_SELF        // self-calibration
};
enum adc_cali_method adc_prepare_calibration(void);
```

在主程序内预处理一次即可，该函数会判断当前芯片是否经过校准，如果未经校准会自动校准并将校准后的数据保存到 flash 里；如果已经校准则跳过校准过程。

2.3.2 ADC 读取校准后的值

```
enum adc_sample_mode
{
    ADC_SAMPLE_MODE_SLOW,       // for ADC_CLK_128
    ADC_SAMPLE_MODE_FAST,       // for ADC_CLK_16
};
uint16_t adc_calibrate(enum adc_sample_mode mode, uint8_t channel_id,
                       uint16_t value);
```

value 是 adc 采样的原始值，该函数查表计算后，返回校准后的值。

2.4 ADC 综合示例

读取 ADC 数据：

```
uint16_t read_adc(uint8_t channel)
{
    SYSCTRL_WaitForLDO();

    ADC_Reset();
    ADC_PowerCtrl(1);

    ADC_SetClkSel(ADC_CLK_EN | ADC_CLK_128);
```

```
    ADC_SetMode(ADC_MODE_LOOP);
    ADC_EnableChannel(channel == 0 ? 1 : 0, 1);
    ADC_EnableChannel(channel, 1);
    ADC_Enable(1);

    while (ADC_IsChannelDataValid(channel) == 0) ;
    uint16_t voltage = ADC_ReadChannelData(channel);

    ADC_ClearChannelDataValid(channel);
    while (ADC_IsChannelDataValid(channel) == 0) ;
    voltage = ADC_ReadChannelData(channel);

    ADC_Enable(0);
    ADC_PowerCtrl(0);

    return adc_calibrate(ADC_SAMPLE_MODE_SLOW, channel, voltage);
}
```

主函数：

```
int app_main()
{

    setup_peripherals();

    platform_set_evt_callback(PLATFORM_CB_EVT_PUTC,
                              (f_platform_evt_cb)cb_putc, NULL);

    platform_set_evt_callback(PLATFORM_CB_EVT_PROFILE_INIT, setup_profile, NULL);

    platform_set_irq_callback(PLATFORM_CB_IRQ_TIMER1, timer_isr, NULL);

    adc_prepare_calibration();
```

```
    printf("U = %d\n", read_adc(ADC_CHANNEL));


    return 0;
}
```

第三章　嵌入式闪存（Embedded Flash）

闪存（eFlash）分为两个存储块，一个是主存储器块，另一个是信息块。主存储器块大小512KB，主要用于存放可执行代码。信息块大小为 16KB，可用于存储设备信息。闪存支持页擦除，页擦除操作将擦除一页中的所有字节。

eFlash 特性：

- 0.81V~0.99V/1.62V~3.63V 双电源
- 内存结构 512KB+16KB
- 页面擦除能力：每页 8KB
- 耐久性：10000 次循环（min）
- 125 摄氏度时数据保留期超过 10 年
- 快速页面擦除/程序操作
- 页面擦除时间：20 毫秒（最长）

3.1　eFlash 写入数据

写入数据字节数（size）必须是四字节对齐的（二进制表示的低 2 位为 0）。

注意写入数据不要越界（eFlash 用户可操作的地址空间为 0x4000~0x83FFF）。

3.1.1　eFlash 先擦除然后写入数据

```
int program_flash(const uint32_t dest_addr, const uint8_t *buffer, uint32_t size);
```

eFlash 写入操作只能把 1 写成 0，不能把 0 写成 1，所以如果 eFlash 某地址之前保存过其他数据，想要写入数据需要把当前页擦除（当前页的所有字节都变为 0xFF），再写入数据。

写入的目的地址（dest_addr）必须是页对齐的（地址落在每页的起始地址）。

3.1.2 eFlash 不擦除直接写入数据

```
int write_flash(const uint32_t dest_addr, const uint8_t *buffer, uint32_t size);
```

如果可以确认 eFlash 写入的目标地址当前数据都是 0xFF，可以不擦除直接写入数据。

第四章　通用输入输出（GPIO）

4.1　功能概述

GPIO 模块常用于驱动 LED 或者其它指示器，控制片外设备，感知数字信号输入，检测信号边沿，或者从低功耗状态唤醒系统。ING918XX 系列芯片内部支持最多 20 个 GPIO，通过PINCTRL 可将 GPIO n 引出到芯片 IO 管脚 n。

特性：

- 每个 GPIO 都可单独配置为输入或输出
- 每个 GPIO 都可作为中断请求，中断触发方式支持边沿触发（上升、下降单沿触发，或者双沿触发）和电平触发（高电平或低电平）

4.2　使用说明

4.2.1　设置 IO 方向

在使用 GPIO 之前先按需要配置 IO 方向：

- 需要用于输出信号时：配置为输出
- 需要用于读取信号时：配置为输入
- 需要用于生产中断请求时：配置为输入
- 需要高阻态时：配置为高阻态

使用 `GIO_SetDirection` 配置 GPIO 的方向。GPIO 支持四种方向：

```
typedef enum
{
    GIO_DIR_INPUT,  // 输入
    GIO_DIR_OUTPUT, // 输出
    GIO_DIR_BOTH,   // 同时支持输入、输出
    GIO_DIR_NONE    // 高阻态
} GIO_Direction_t;
```

如无必要，不要使用 GIO_DIR_BOTH。

4.2.2 读取输入

使用 GIO_ReadValue 读取某个 GPIO 当前输入的电平信号，例如读取 GPIO 0 的输入：

```
uint8_t value = GIO_ReadValue(GIO_GPIO_0);
```

使用 GIO_ReadAll 可以同时读取所有 GPIO 当前输入的电平信号。其返回值的第 n 比特（第 0 比特为最低比特）对应 GPIO n 的输入；如果 GPIO n 当前不支持输入，那么第 n 比特为 0：

```
uint64_t GIO_ReadAll(void);
```

4.2.3 设置输出

使用 GIO_WriteValue 设置某个 GPIO 输出的电平信号，例如使 GPIO 0 输出高电平（1）：

```
GIO_WriteValue(GIO_GPIO_0, 1);
```

4.2.4 配置中断请求

使用 GIO_ConfigIntSource 配置 GPIO 生成中断请求。

```
void GIO_ConfigIntSource(
  const GIO_Index_t io_index,      // GPIO 编号
  const uint8_t enable,            // 使能的边沿或者电平类型组合
  const GIO_IntTriggerType_t type // 触发类型
  );
```

其中的 enable 为以下两个值的组合（0 表示禁止产生中断请求）：

```
typedef enum
{
    ...LOGIC_LOW_OR_FALLING_EDGE = ..., // 低电平或者下降沿
    ...LOGIC_HIGH_OR_RISING_EDGE = ...  // 高电平或者上升沿
} GIO_IntTriggerEnable_t;
```

触发类型有两种：

```
typedef enum
{
    GIO_INT_EDGE,   // 边沿触发
    GIO_INT_LOGIC   // 电平触发
} GIO_IntTriggerType_t;
```

- 例如将 GPIO 0 配置为上升沿触发中断

```
GIO_ConfigIntSource(GIO_GPIO_0,
  ...LOGIC_HIGH_OR_RISING_EDGE,
  GIO_INT_EDGE);
```

- 例如将 GPIO 0 配置为双沿触发中断

```
GIO_ConfigIntSource(GIO_GPIO_0,
  ...LOGIC_HIGH_OR_RISING_EDGE | ..._HIGH_OR_RISING_EDGE,
  GIO_INT_EDGE);
```

- 例如将 GPIO 0 配置为高电平触发

```
GIO_ConfigIntSource(GIO_GPIO_0,
  ...LOGIC_HIGH_OR_RISING_EDGE,
  GIO_INT_LOGIC);
```

4.2.5 处理中断状态

在用 `platform_set_irq_callback` 注册好 GPIO 中断回调函数后，在中断里用 `GIO_GetIntStatus` 可获取某个 GPIO 上的中断触发状态，返回非 0 值表示该 GPIO 上产生了中断请求；用 `GIO_GetAllIntStatus` 一次性获取所有 GPIO 的中断触发状态，第 n 比特（第 0 比特为最低比特）对应 GPIO n 上的中断触发状态。

GPIO 产生中断后，需要消除中断状态方可再次触发。用 `GIO_ClearIntStatus` 消除某个 GPIO 上中断状态，用 `GIO_ClearAllIntStatus` 一次性清除所有 GPIO 上可能存在的中断触发状态。

第五章　集成电路间总线（I2C）

5.1　功能概述

- 两个 I2C 模块
- 支持 Master/Slave 模式
- 支持 7bit/10bit 地址
- 支持 DMA 和 QUEUE 模式

5.2　I2C 使用说明

以下场景中均以 I2C0 为例，如果需要 I2C1 则可以根据情况修改

5.3　使用方法

5.3.1　Master 读些，采用 QUEUE 模式

```
#define I2C_PORT        I2C_PORT_0
#define I2C_ADDR        0X76
```

5.3.1.1　打开 I2C 时钟

```
    SYSCTRL_ClearClkGateMulti( (1 << SYSCTRL_ClkGate_APB_I2C0)
                              |(1 << SYSCTRL_ClkGate_APB_PinCtrl));
```

5.3.1.2 配置 I2C 的 IO 口

```
    PINCTRL_SetPadMux(10, IO_SOURCE_I2C0_SCL_O);
    PINCTRL_SetPadMux(11, IO_SOURCE_I2C0_SDO);
    PINCTRL_SelI2cSclIn(I2C_PORT, 10);
```

5.3.1.3 I2C 模块初始化

```
I2C_CTRL0_CLR(I2C_BASE(I2C_PORT), I2C_CTRL0_SFTRST | I2C_CTRL0_CLKGATE);
```

5.3.1.4 I2C 写操作

```
int i2c_do_write(const i2c_port_t port, const uint32_t nrm, uint8_t addr, const uint8_t *byte_dat
{
    uint32_t *p_data = (uint32_t *)(byte_data + 3);
    uint32_t data = (addr <<  1) | 0;     // control: write
    I2C_TypeDef *BASE = I2C_BASE(port);
    int timeout = I2C_HW_TIME_OUT;

    if (length > 0)
        data |= (byte_data[0] <<  8) | (byte_data[1] << 16) | (byte_data[2] << 24);

    I2C_CTRL0_CLR(BASE, I2C_CTRL0_SFTRST | I2C_CTRL0_CLKGATE);

    // ONLY SUPPORT PIO QUEUE MODE, SET HW_I2C_QUEUECTRL_PIO_QUEUE_MODE AT FRIST
```

```
    I2C_QUEUECTRL_SET(BASE, I2C_QUEUECTRL_PIO_QUEUE_MODE);

    // frist operation, do not need clear I2C_QUEUECTRL and I2C_QUEUECMD.
    BASE->I2C_QUEUECMD.NRM = nrm + 1 + length;

    I2C_QUEUECTRL_SET(BASE, I2C_QUEUECTRL_QUEUE_RUN);


    length += 1;
    while (1)
    {
        while_with_timeout(I2C_QUEUESTAT_WR_QUEUE_FULL(BASE));
        BASE->I2C_DATA = data;
        length -= 4;
        if (length <= 0)
            break;
        data = *p_data;
        p_data++;
    }

    // WAIT I2C_CTRL1_DATA_ENGINE_CMPLT_IRQ (software polling)
    while_with_timeout(GET_I2C_CTRL1_DATA_ENGINE_CMPLT_IRQ(BASE) == 0);
    I2C_CTRL1_CLR(BASE, I2C_CTRL1_DATA_ENGINE_CMPLT_IRQ);

    // NOTE : MUST SET I2C_QUEUECTRL_WR_CLEAR
    I2C_QUEUECTRL_SET(BASE, I2C_QUEUECTRL_WR_CLEAR);
    I2C_QUEUECTRL_CLR(BASE, I2C_QUEUECTRL_WR_CLEAR);

    return 0;
}
```

5.3.1.5 I2C 读操作

```
int i2c_read(const i2c_port_t port, uint8_t addr,
             const uint8_t *write_data, int16_t write_len,
             uint8_t *read_data, int16_t read_length)
{
    I2C_TypeDef *BASE = I2C_BASE(port);
    int timeout = I2C_HW_TIME_OUT;

    if (write_len)
    {
        // STEP 1: send write command
        int r = i2c_do_write(port, I2C_QUEUECMD_PRE_SEND_START | I2C_QUEUECMD_MASTER_MODE | I2C_Q
                    addr, write_data, write_len);
        if (r != 0) return r;
    }
    else
    {
        I2C_CTRL0_CLR(BASE, I2C_CTRL0_SFTRST | I2C_CTRL0_CLKGATE);

        // ONLY SUPPORT PIO QUEUE MODE, SET HW_I2C_QUEUECTRL_PIO_QUEUE_MODE AT FRIST
        I2C_QUEUECTRL_SET(BASE, I2C_QUEUECTRL_PIO_QUEUE_MODE);
    }

    // STEP 2 : transmit (control byte + Read command), need hold SCL (I2C_QUEUECMD_RETAIN_CLOCK)
    BASE->I2C_QUEUECMD.NRM = (I2C_QUEUECMD_RETAIN_CLOCK | I2C_QUEUECMD_PRE_SEND_START | I2C_QUEUE
          1);

    I2C_QUEUECTRL_SET(BASE, I2C_QUEUECTRL_QUEUE_RUN);

    BASE->I2C_DATA = 0xA5UL << 24 | 0x5A   << 16 |0xAA   <<  8 | (addr <<  1) | 1;

    while_with_timeout(GET_I2C_CTRL1_DATA_ENGINE_CMPLT_IRQ(BASE) == 0);
```

```
// CLEAR I2C_CTRL1_DATA_ENGINE_CMPLT_IRQ
I2C_CTRL1_CLR(BASE, I2C_CTRL1_DATA_ENGINE_CMPLT_IRQ);

// NOTE : MUST SET I2C_QUEUECTRL_WR_CLEAR
I2C_QUEUECTRL_SET(BASE, I2C_QUEUECTRL_WR_CLEAR);
I2C_QUEUECTRL_CLR(BASE, I2C_QUEUECTRL_WR_CLEAR);



//
// STEP 3 : read data byte + (NO ACK) + STOP
//

BASE->I2C_QUEUECMD.NRM = (I2C_QUEUECMD_SEND_NAK_ON_LAST | I2C_QUEUECMD_POST_SEND_STOP |
     /*I2C_QUEUECMD_XFER_COUNT*/
     read_length);

I2C_QUEUECTRL_SET(BASE, I2C_QUEUECTRL_QUEUE_RUN);

// Receive DATA use I2C_QUEUEDATA;
while (read_length > 0)
{
    // check whether rdFIFO is empty
    while_with_timeout(I2C_QUEUESTAT_RD_QUEUE_EMPTY(BASE));

    int len = write_bytes(read_data, BASE->I2C_QUEUEDATA, read_length);
    read_data += len;
    read_length -= len;
}

// WAIT I2C_CTRL1_DATA_ENGINE_CMPLT_IRQ (software polling)
while_with_timeout(GET_I2C_CTRL1_DATA_ENGINE_CMPLT_IRQ(BASE) == 0);

// cLEAR I2C_CTRL1_DATA_ENGINE_CMPLT_IRQ
I2C_CTRL1_CLR(BASE, I2C_CTRL1_DATA_ENGINE_CMPLT_IRQ);
```

```
    // NOTE : CLEAR I2C_QUEUECTRL_RD_CLEAR
    I2C_QUEUECTRL_SET(BASE, I2C_QUEUECTRL_RD_CLEAR);
    I2C_QUEUECTRL_CLR(BASE, I2C_QUEUECTRL_RD_CLEAR);


    return 0;
}
```

第六章　管脚管理（PINCTRL）

6.1　功能概述

PINCTRL 模块管理芯片所有 IO 管脚的功能，包括外设 IO 的映射，上拉、下拉选择，输入模式控制，输出驱动能力设置等。

IO 管脚特性如下：

- 每个 IO 管脚可以映射多种不同功能的外设
- 每个 IO 管脚都支持上拉或下拉
- 每个 IO 管脚都支持施密特触发输入方式
- 每个 IO 管脚支持四种输出驱动能力

鉴于片内外设丰富、IO 管脚多，进行管脚全映射并不现实，为此，PINCTRL 尽量保证灵活性的前提下做了一定取舍、优化。部分常用外设的输入、输出功能管脚可与 $\{0-19\}$ 这 20 个常用 IO 之间任意连接（全映射），这部分常用外设功能管脚总结于表 6.1。表 6.2 列出了其它外设功能管脚支持映射到哪些 IO 管脚上。

表 6.1: 支持与常用 IO 全映射的常用功能管脚

外设	功能管脚
I2C0	I2C0_SCL_O, I2C0_SDO
I2C1	I2C1_SCL_O, I2C1_SDO
SPI0	SPI0_CLK, SPI0_DO, SPI0_SSN
SPI1	SPI1_CLK, SPI1_DO, SPI1_SSN
UART0	UART0_TXD, UART0_RTS
UART1	UART1_TXD, UART1_RTS

表 6.2: 其它外设功能管脚的映射关系

外设功能管脚	可连接到的 IO 管脚
PWM_0A	0-11
PWM_0B	0-11
PWM_1A	0-11
PWM_1B	0-11
PWM_2A	0-11
PWM_2B	0-11
PWM_3A	0-11
PWM_3B	0-11
PWM_4A	0-11
PWM_4B	0-11
PWM_5A	0-11
PWM_5B	0-11

6.2 使用说明

6.2.1 为外设配置 IO 管脚

1. 将外设输出连接到 IO 管脚

   通过 `PINCTRL_SetPadMux` 将外设输出连接到 IO 管脚。注意按照表 6.1 和表 6.2 确认硬件是否支持。对于不支持的配置，显然无法生效。

```
void PINCTRL_SetPadMux(
  const uint8_t io_pin_index, // IO 序号 (0..19)
  const io_source_t source    // IO 源
);
```

2. 将 IO 管脚连接到外设的输入

   对于有些外设的输入同样通过 `PINCTRL_SetPadMux` 配置。对于另一些输入，PINCTRL 为不同的外设分别提供了 API 用以配置输入。比如对于 UART 用于硬件流控的 RXD，需要通过 `PINCTRL_SelUartRxdIn` 配置：

```
void PINCTRL_SelUartRxdIn(
    const uart_port_t port, //UART 序号
    const uint8_t io_pin_index)//连接到 RXD 输入的 IO 管脚
```

6.2.2 配置下拉、下拉

IO 管脚的上拉、下拉模式通过 PINCTRL_Pull 配置：

```
void PINCTRL_Pull(
  const uint8_t io_pin_index,     // IO 管脚序号
  const pinctrl_pull_mode_t mode  // 模式
  );
```

6.2.3 配置驱动能力

通过 PINCTRL_SetDriveStrength 配置 IO 管脚的驱动能力：

```
void PINCTRL_SetDriveStrength(
  const uint8_t io_pin_index,
  const pinctrl_drive_strenght_t strenght);
```

6.2.4 配置速率

```
void PINCTRL_SetSlewRate(
  const uint8_t io_pin_index,   //IO 管脚序号
  const pinctrl_slew_rate_t rate);
```

6.2.5 IO 口 PWM 参考代码

```
#define LED1_PIN 10 //在 GPIO10 上输出
#define LED1_PWM_CH 4 //映射到 PWM_4
#define  LED_FREQ     4000 //频率 4K
SYSCTRL_ClearClkGateMulti((1 << SYSCTRL_ClkGate_APB_PWM));  //打开 PWM 时钟域
PINCTRL_SetGeneralPadMode(LED1_PIN, IO_MODE_PWM, , LED1_PWM_CH, 0); //反向输出
PWM_SetupSimple(LED1_PWM_CH, LED_FREQ, 10);
PWM_Enable(LED1_PWM_CH,1);
```

6.2.6 IO 口配置为 UART 参考代码

```
#define PIN_COMM_RX GIO_GPIO_8
#define PIN_COMM_TX GIO_GPIO_7
SYSCTRL_ClearClkGateMulti((1 << SYSCTRL_ClkGate_APB_UART1));
config_uart(OSC_CLK_FREQ, 921600);

PINCTRL_SetPadMux(PIN_COMM_RX, IO_SOURCE_GENERAL);
PINCTRL_SelUartRxdIn(UART_PORT_1, PIN_COMM_RX);
PINCTRL_SetPadMux(PIN_COMM_TX, IO_SOURCE_UART1_TXD);
```

6.2.7 IO 口配置为 SPI 参考代码

```
{
  #define SPI_MIC_CLK         GIO_GPIO_13
  #define SPI_MIC_MOSI        GIO_GPIO_16
  #define SPI_MIC_MISO        GIO_GPIO_17
  #define SPI_MIC_CS          GIO_GPIO_8
```

```
  SYSCTRL_ClearClkGateMulti((1 << SYSCTRL_ClkGate_AHB_SPI0)
                            | (1 << SYSCTRL_ClkGate_APB_PinCtrl)
                            | (1 << SYSCTRL_ClkGate_APB_GPIO));

  PINCTRL_Pull(SPI_MIC_MOSI, PINCTRL_PULL_DOWN);
  PINCTRL_Pull(SPI_MIC_CLK, PINCTRL_PULL_UP);
  PINCTRL_Pull(SPI_MIC_CS, PINCTRL_PULL_UP);
  PINCTRL_Pull(SPI_MIC_MISO, PINCTRL_PULL_UP);

  PINCTRL_SetDriveStrength(SPI_MIC_MOSI, PINCTRL_DRIVE_12mA);
  PINCTRL_SetDriveStrength(SPI_MIC_CLK, PINCTRL_DRIVE_12mA);
  PINCTRL_SetDriveStrength(SPI_MIC_CS, PINCTRL_DRIVE_12mA);

  PINCTRL_SetPadMux(SPI_MIC_MOSI, IO_SOURCE_SPI0_DO);
  PINCTRL_SetPadMux(SPI_MIC_CLK, IO_SOURCE_SPI0_CLK);

  PINCTRL_SetPadMux(SPI_MIC_CS, IO_SOURCE_SPI0_SSN);
  PINCTRL_SelSpiDiIn(SPI_PORT_0, SPI_MIC_MISO);

  apSSP_DeviceDisable(AHB_SSP0);
  SPI_Init(AHB_SSP0);
}
```

6.2.8 IO 口配置为 I2C 参考代码

```
SYSCTRL_ClearClkGateMulti(  (1 << SYSCTRL_ClkGate_APB_I2C0)
                            | (1 << SYSCTRL_ClkGate_APB_PinCtrl));
PINCTRL_SetPadMux(10, IO_SOURCE_I2C0_SCL_OUT);
PINCTRL_SetPadMux(11, IO_SOURCE_I2C0_SDA_OUT);
```

第七章　脉宽调制发生器（PWM）

PWM 模块实现脉冲宽度调制信号的产生，控制 LED 等外部器件。通过 APB 总线读写寄存器来实现整个过程。ING918x 包括 6 个 PWM 模块，每个模块包含 2 个通道，因此可以使用 12 个 PWM 通道。

PWM 特性：

- 每个通道都可以通过寄存器或 PWM 序列来控制
- 每个通道都可以屏蔽
- 寄存器中定义最多四个占空比序列
- 可以使用多种模式：命令模式、单步模式、对称模式、空白区模式

7.1　PWM 工作模式

PWM 使用的时钟频率可配置，请参考SYSCTRL。

每个 PWM 通道支持以下多种工作模式：

```
typedef enum
{
    ..._UP_WITHOUT_DIED_ZONE          = ...,
    ..._UP_WITH_DIED_ZONE             = ...,
    ..._UPDOWN_WITHOUT_DIED_ZONE      = ...,
    ..._UPDOWN_WITH_DIED_ZONE         = ...,
    ..._SINGLE_WITHOUT_DIED_ZONE      = ...,
} PWM_WorkMode_t;
```

7.1.1 最简单的模式：UP_WITHOUT_DIED_ZONE

此模式需要配置两个门限：计数器回零门限 PERA_TH、高门限 HIGH_TH，HIGH_TH 必须小于 HIGH_TH。以伪代码描述 A、B 输出如下：

```
cnt = 0;
on_clock_rising_edge()
{
    cnt = cnt < PERA_TH ? cnt + 1 : 0;
    A = HIGH_TH <= cnt;
    B = !A;
}
```

7.1.2 UP_WITH_DIED_ZONE

与 UP_WITHOUT_DIED_ZONE 相比，此模式需要一个新的死区门限 DZONE_TH，DZONE_TH 必须小于 HIGH_TH。以伪代码描述 A、B 输出如下：

cnt = 0; on_clock_rising_edge() { cnt = cnt < PERA_TH ? cnt + 1 : 0; A = HIGH_TH + DZONE_TH <= cnt; B = DZONE_TH <= cnt < HIGH_TH); }

7.1.3 UPDOWN_WITHOUT_DIED_ZONE

此模式需要的门限参数与 UP_WITHOUT_DIED_ZONE 相同。以伪代码描述 A、B 输出如下：

```
cnt = 0;
on_clock_rising_edge()
{
    cnt = cnt < 2 * PERA_TH ? cnt + 1 : 0;
    A = PERA_TH - HIGH_TH <= cnt <= PERA_TH + HIGH_TH;
    B = !A;
}
```

7.1.4 UPDOWN_WITH_DIED_ZONE

与 UP_WITHOUT_DIED_ZONE 相比，此模式需要一个新的死区门限 DZONE_TH。以伪代码描述 A、B 输出如下：

```
cnt = 0;
on_clock_rising_edge()
{
    cnt = cnt < 2 * PERA_TH ? cnt + 1 : 0;
    A = PERA_TH - HIGH_TH + DZONE_TH <= cnt <= PERA_TH + HIGH_TH;
    B = (cnt < PERA_TH - HIGH_TH) || (cnt > PERA_TH + HIGH_TH + DZONE_TH);
}
```

7.1.5 SINGLE_WITHOUT_DIED_ZONE

此模式需要配置两个门限：计数器回零门限 PERA_TH、高门限 HIGH_TH，HIGH_TH 必须小于 HIGH_TH。此模式只产生一个脉冲，以伪代码描述 A、B 输出如下：

```
cnt = 0;
on_clock_rising_edge()
{
    cnt++;
    A = HIGH_TH <= cnt < PERA_TH;
    B = !A;
}
```

以上伪代码仅用于辅助描述硬件行为，与实际行为可以存在微小差异。

7.1.6 输出控制

对于每个通道的每一路输出，另有 3 个参数控制最终的两路输出：掩膜、停机输出值、反相。最终的输出以伪代码描述如下：

```
output_control(v)
{
    if (掩膜 == 1) return A 路输出 0、B 路输出 1;
    if (本通道已停机) return 停机输出值;
    if (反相) v = !v;
    return v;
}
```

7.2 PWM 使用说明

7.2.1 启动与停止

共有两个开关与 PWM 的启动和停止有关：使能（Enable）、停机控制（HaltCtrl）。只有当 Enable 为 1，HaltCtrl 为 0 时，PWM 才真正开始工作。

相关的 API 为：

```
// 使能 PWM 通道
void PWM_Enable(
    const uint8_t channel_index,    // 通道号
    const uint8_t enable            // 使能或禁用
    );
// PWM 通道停机控制
void PWM_HaltCtrlEnable(
    const uint8_t channel_index,    // 通道号
    const uint8_t enable            // 停机 (1) 或运转 (0)
    );
```

7.2.2 配置工作模式

```
void PWM_SetMode(
    const uint8_t channel_index,    // 通道号
    const PWM_WorkMode_t mode       // 模式
    );
```

7.2.3 配置门限

```
// 配置 PERA_TH
void PWM_SetPeraThreshold(
    const uint8_t channel_index,
    const uint32_t threshold);
```

```
// 配置 DZONE_TH
void PWM_SetDiedZoneThreshold(
    const uint8_t channel_index,
    const uint32_t threshold);
```

```
// 配置 HIGH_TH
void PWM_SetHighThreshold(
    const uint8_t channel_index,
    const uint8_t multi_duty_index, // 对于 ING916XX，此参数无效
    const uint32_t threshold);
```

各门限值最大支持 0xFFFFF，共 20 个比特。

7.2.4 输出控制

```
// 掩膜控制
void PWM_SetMask(
    const uint8_t channel_index,    // 通道号
    const uint8_t mask_a,           // A 路掩膜
    const uint8_t mask_b            // B 路掩膜
    );
```

```
// 配置停机输出值
void PWM_HaltCtrlCfg(
    const uint8_t channel_index,    // 通道号
    const uint8_t out_a,            // A 路停机输出值
    const uint8_t out_b             // B 路停机输出值
    );
```

```
// 反相
void PWM_SetInvertOutput(
    const uint8_t channel_index,    // 通道号
    const uint8_t inv_a,            // A 路是否反相
    const uint8_t inv_b             // B 路是否反相
    );
```

7.2.5 综合示例

下面的例子将 channel_index 通道配置成输出频率为 frequency、占空比为 (on_duty)% 的方波，涉及 3 个关键参数：

- 生成这种最简单的 PWM 信号需要的模式为 UP_WITHOUT_DIED_ZONE；
- PERA_TH 控制输出信号的频率，设置为 PWM_CLOCK_FREQ / frequency；
- HIGH_TH 控制信号的占空比，设置为 PERA_TH * (100 - on_duty) %

```
void PWM_SetupSimple(
    const uint8_t channel_index,
    const uint32_t frequency,
    const uint16_t on_duty)
{
    uint32_t pera = PWM_CLOCK_FREQ / frequency;
    uint32_t high = pera > 1000 ?
          pera / 100 * (100 - on_duty)
        : pera * (100 - on_duty) / 100;
    PWM_HaltCtrlEnable(channel_index, 1);
    PWM_Enable(channel_index, 0);
    PWM_SetPeraThreshold(channel_index, pera);
    PWM_SetHighThreshold(channel_index, 0, high);
    PWM_SetMode(channel_index, PWM_WORK_MODE_UP_WITHOUT_DIED_ZONE);
    PWM_SetMask(channel_index, 0, 0);
    PWM_Enable(channel_index, 1);
    PWM_HaltCtrlEnable(channel_index, 0);
}
```

第八章　实时时钟（RTC）

8.1　功能概述

实时时钟（RTC）是一个独立的 48 位定时器，相较于普通 TIMER，RTC 精度低，同时功耗也会降低，适用于功耗敏感、对于精度要求不高的应用场景。

8.2　接口说明

8.2.1　RTC 使能/禁止

使用 RTC_Enable 使能或者禁止 RTC。

```
void RTC_Enable(const uint8_t flag);
```

函数根据 flag 的值来执行操作:

- flag 为 0 时，禁止 RTC；
- flag 不为 0 时，使能 RTC。

RTC 使能后，只要不进行禁能，就会根据设置的初始计数值进行递减，计数器递减为 0 后发生中断，这时只要设置新的计数值，RTC 就会马上按照新的计数值进行计时。

8.2.2　获取 RTC 当前值

可以使用 RTC_Current 读取 RTC 低 32 位的当前计数值，用 RTC_CurrentFull 读取全部 48 位的当前计数值。

```
uint32_t RTC_Current(void);
uint64_t RTC_CurrentFull(void);
```

8.2.3 设置中断的计数值

通过 RTC_SetNextIntOffset 设置 RTC 中断的计数值。

```
void RTC_SetNextIntOffset(const uint32_t offset);
```

注意 RTC 使用的时钟为 32.768K，因此计数值设置为 32768 时，RTC 的中断时间恰好为 1s，可以据此设置中断时间。

8.2.4 清 RTC 中断

使用 RTC_ClearInt 来清除当前的 RTC 中断状态，以备下一次使用。

```
void RTC_ClearInt(void);
```

8.3 RTC 中断使用流程

- 首先，定义一个中断处理函数 rtc_timer_isr (名字可以根据需要自己定义)。

```
uint32_t rtc_timer_isr(void *user_data)
{
    RTC_ClearInt();//清中断状态
    RTC_SetNextIntOffset(32768 * 10);//设置中断计数值
    //这里可以添加用户自己的代码
    return 0;
}
```

可以通过 user_data 给中断传递参数，这通常作为一个预留功能，不常用到。

- 然后，通过 platform_set_irq_callback 注册中断：

```
platform_set_irq_callback(PLATFORM_CB_IRQ_RTC, rtc_timer_isr, NULL);
```

- 接下来，设置中断时间并使能 RTC ，时间到后，中断会触发。

```
RTC_SetNextIntOffset(32768 * 10);
RTC_Enable(RTC_ENABLED);
```

- 这里注意，在使用 RTC 时，最好先通过 RTC_SetNextIntOffset 设置好计数值，再进行使能，这样 RTC 此次计数时间处于可控状态。
- 在 RTC 计数过程中，随时都可以使用 RTC_SetNextIntOffset 进行计数值的设置，设置完成后，新值会马上覆盖旧值，RTC 会按照新值开始进行计时。

第九章　SPI 功能概述

- 两个 SPI 模块
- 只支持 SPI 主模式
- 独立的 RX&TX FIFO，大小为 8*16bit
- 独立可屏蔽中断
- 不支持 DMA

9.1　SPI 使用说明

SPI Master 有两种使用方式可以选择：

- 方法 1：以 blocking 的方式操作 SPI（读写操作完成后 API 才返回），针对 SPI Master 读取外设的单一场景
- 方法 2：使用 SPI 中断操作 SPI，需要在中断中操作读写的数据

9.1.1　时钟以及 IO 配置

使用模块之前，需要打开相应的时钟，并且配置 IO，

1. IO 选择，并非所有 IO 都可以映射成 SPI，请查看对应 datasheet 获取可用 IO。
2. 通过 `SYSCTRL_ClearClkGateMulti` 打开 SPI 时钟，例如 SPI0 则需要打开 `SYSCTRL_ClkGate_AHB_SPI0`
3. 配置 IO 的输入功能 `PINCTRL_SelSpiDiIn`，没有使用到的 IO 可以使用 IO_NOT_A_PIN 替代。
4. 使用 `PINCTRL_SetPadMux` 配置 IO 的输出功能。
5. 打开 SPI 中断 `platform_set_irq_callback`。

以下示例可以将指定 IO 映射成 SPI 引脚：

```
#define SPI_MIC_CLK         GIO_GPIO_10
#define SPI_MIC_CS          GIO_GPIO_11
#define SPI_MIC_MOSI        GIO_GPIO_12
#define SPI_MIC_MISO        GIO_GPIO_13

static void setup_peripherals_spi_pin(void)
{
    SYSCTRL_ClearClkGateMulti((1 << SYSCTRL_ClkGate_AHB_SPI0)
                            | (1 << SYSCTRL_ClkGate_APB_PinCtrl));

    PINCTRL_SetPadMux(SPI_MIC_CLK, IO_SOURCE_SPI0_CLK);
    PINCTRL_SetPadMux(SPI_MIC_CS, IO_SOURCE_SPI0_SSN);
    PINCTRL_SetPadMux(SPI_MIC_MOSI, IO_SOURCE_SPI0_DO);
    PINCTRL_SelSpiDiIn(SPI_PORT_0, SPI_MIC_MISO);
}
```

9.1.2 模块初始化

模块的初始化通过 `apSSP_DeviceParametersSet` 和结构体 `apSSP_sDeviceControlBlock` 实现，结构体各个参数为：

- `ClockPrescale`：时钟速率预分频器，SSP 模块时钟频率的计算公式为：sspclkout = sspclk/(ClockPrescale*(ClockRate+1))。
- `ClockRate`：时钟速率除数，必须是一个 2~254 之间的偶数。
- `eSCLKPhase`：上升沿还是下降沿采样，参考 `apSSP_eSCLKPhase`，仅适用于 Motorola 数据帧格式。
- `eSCLKPolarity`：时钟默认是低电平还是高电平，参考 `apSSP_xSCLKPolarity`，仅适用于 Motorola 数据帧格式。
- `eFrameFormat`：指定数据帧格式，参考 `apSSP_eFrameFormat`。
- `eDataSize`：每个传输单位的 bit 个数，参考 `apSSP_xDataSize`。
- `eLoopBackMode`：是否启用 Loop back 模式，参考 `apSSP_eLoopBackMode`。
- `eMasterSlaveMode`：选择是 Master 还是 Slave 模式，参考 `apSSP_eMasterSlaveMode`。

- eSlaveOutput：指定 slave output 模式，参考 apSSP_eSlaveOutput。

具体使用请参考编程指南

9.1.3 中断配置

9.1.3.1 处理中断状态

用 apSSP_GetIntRawStatus 获取某个 SSP 上的中断触发状态，返回非 0 表示该 SSP 上产生了中断请求。

SSP 产生中断后，需要消除中断状态方可再次触发。用 apSSP_ClearInt 消除某个 SSP 上的中断状态，参数 bits 为需要清除的中断状态

示例：

在中断回调中，获取 SSP0 的中断状态，并消除

```
uint32_t spi_irq_cb(void *user_data)
{
    uint32_t status = apSSP_GetIntRawStatus(AHB_SSP0);
    apSSP_ClearInt(AHB_SSP0, status);

    return 0;
}
```

9.1.3.2 使能接收中断

使用 apSSP_DeviceReceiveEnable 使能接收中断

```
void apSSP_DeviceReceiveEnable(
    SSP_TypeDef * SSP_Ptr
    );
```

9.1.3.3 禁用接收中断

使用 apSSP_DeviceDisable 禁用接收中断

```
void apSSP_DeviceDisable(
    SSP_TypeDef * SSP_Ptr
    );
```

9.1.3.4 使能 SPI 接收 Overrun 中断

使用 apSSP_DeviceReceiveOverrunEnable 使能 Overrun 中断

```
void apSSP_DeviceReceiveOverrunEnable(
    SSP_TypeDef * SSP_Ptr
    );
```

9.1.3.5 使能发送中断

使用 apSSP_DeviceTransmitEnable 使能发送中断

```
void apSSP_DeviceTransmitEnable(
    SSP_TypeDef * SSP_Ptr
    );
```

9.1.3.6 禁用发送中断

使用 apSSP_DeviceTransmitDisable 禁用发送中断

```
void apSSP_DeviceTransmitDisable(
    SSP_TypeDef * SSP_Ptr
    );
```

9.1.4 发送数据

使用 apSSP_WriteFIFO 发送数据

```
void apSSP_WriteFIFO(
    SSP_TypeDef * SSP_Ptr, uint16_t data
    );
```

9.1.5 接收数据

使用 apSSP_ReadFIFO 接收数据

```
uint16_t apSSP_ReadFIFO(
    SSP_TypeDef * SSP_Ptr
    );
```

9.1.6 查询 TX/RX FIFO 状态

使用以下函数查看 TX/RX FIFO 状态

```
uint8_t apSSP_RxFifoFull(SSP_TypeDef * SSP_Ptr);

uint8_t apSSP_RxFifoNotEmpty(SSP_TypeDef * SSP_Ptr);

uint8_t apSSP_TxFifoNotFull(SSP_TypeDef * SSP_Ptr);

uint8_t apSSP_TxFifoEmpty(SSP_TypeDef * SSP_Ptr);
```

9.1.7 SSP 查忙

使用 apSSP_DeviceBusyGet 函数查忙，可用于 blocking 的写法

```
uint8_t apSSP_DeviceBusyGet(
    SSP_TypeDef * SSP_Ptr
    );
```

示例，同时读写时发送数据并接收数据：

```
/* Exchange a byte */
static uint8_t xchg_spi (
    uint8_t dat /* Data to send */
)
{
    apSSP_WriteFIFO(AHB_SSP0, dat
    while (apSSP_DeviceBusyGet(AHB_SSP0)) ;
    return (uint8_t)apSSP_ReadFIFO(AHB_SSP0);
}
```

9.1.8 清空 RX FIFO

使用 apSSP_DeviceReceiveClear 清空 RX FIFO

```
void apSSP_DeviceReceiveClear(
    SSP_TypeDef * SSP_Ptr
    );
```

9.2 编程指南

9.2.1 blocking 方式同时读写

9.2.1.1 IO 初始化

```
#define SPI_MIC_CLK         GIO_GPIO_10
#define SPI_MIC_CS          GIO_GPIO_11
#define SPI_MIC_MOSI        GIO_GPIO_12
#define SPI_MIC_MISO        GIO_GPIO_13

static void setup_peripherals_spi_pin(void)
{
    SYSCTRL_ClearClkGateMulti((1 << SYSCTRL_ClkGate_AHB_SPI0)
                            | (1 << SYSCTRL_ClkGate_APB_PinCtrl));

    PINCTRL_SetPadMux(SPI_MIC_CLK, IO_SOURCE_SPI0_CLK);
    PINCTRL_SetPadMux(SPI_MIC_CS, IO_SOURCE_SPI0_SSN);
    PINCTRL_SetPadMux(SPI_MIC_MOSI, IO_SOURCE_SPI0_DO);
    PINCTRL_SelSpiDiIn(SPI_PORT_0, SPI_MIC_MISO);
}
```

9.2.1.2 配置 SSP 模块

```
{
    //...
    SYSCTRL_ResetBlock(SYSCTRL_Reset_AHB_SPI0);
    SYSCTRL_ReleaseBlock(SYSCTRL_Reset_AHB_SPI0);

    apSSP_sDeviceControlBlock param;

    apSSP_Initialize(SSP_Ptr);

    /* Set Device Parameters */
    param.ClockRate         = 11;  // sspclkout = sspclk/(ClockPrescale*(ClockRate+1))
    param.ClockPrescale     = 2;  // Must be an even number from 2 to 254
    param.eSCLKPhase        = apSSP_SCLKPHASE_LEADINGEDGE;
    param.eSCLKPolarity     = apSSP_SCLKPOLARITY_IDLELOW;
```

```
    param.eFrameFormat     = apSSP_FRAMEFORMAT_MOTOROLASPI;
    param.eDataSize        = apSSP_DATASIZE_8BITS;
    param.eLoopBackMode    = apSSP_LOOPBACKOFF;
    param.eMasterSlaveMode = apSSP_MASTER;
    param.eSlaveOutput     = apSSP_SLAVEOUTPUTDISABLED;
    apSSP_DeviceParametersSet(SSP_Ptr, &param);

    apSSP_DeviceEnable(AHB_SSP0);
}
```

9.2.1.3 发送并同时接收据

```
/* Exchange a byte */
static uint8_t xchg_spi (
    uint8_t dat /* Data to send */
)
{
    apSSP_WriteFIFO(AHB_SSP0, dat);
    while (apSSP_DeviceBusyGet(AHB_SSP0)) ;
    return (uint8_t)apSSP_ReadFIFO(AHB_SSP0);
}
```

9.2.2 中断方式读取数据

9.2.2.1 IO 初始化

IO 初始化，并设置 SPI 中断处理函数

```
#define SPI_MIC_CLK         GIO_GPIO_10
#define SPI_MIC_CS          GIO_GPIO_11
#define SPI_MIC_MOSI        GIO_GPIO_12
```

```
#define SPI_MIC_MISO        GIO_GPIO_13

static void setup_peripherals_spi_pin(void)
{
    SYSCTRL_ClearClkGateMulti((1 << SYSCTRL_ClkGate_AHB_SPI0)
                            | (1 << SYSCTRL_ClkGate_APB_PinCtrl));

    PINCTRL_SetPadMux(SPI_MIC_CLK, IO_SOURCE_SPI0_CLK);
    PINCTRL_SetPadMux(SPI_MIC_CS, IO_SOURCE_SPI0_SSN);
    PINCTRL_SetPadMux(SPI_MIC_MOSI, IO_SOURCE_SPI0_DO);
    PINCTRL_SelSpiDiIn(SPI_PORT_0, SPI_MIC_MISO);

    /* 配置中断处理函数 */
    platform_set_irq_callback(PLATFORM_CB_IRQ_SPI0, spi_irq_cb, NULL);
}
```

9.2.2.2 配置 SSP 模块

配置 SSP 模块，并使能接收中断

```
{
    //...
    SYSCTRL_ResetBlock(SYSCTRL_Reset_AHB_SPI0);
    SYSCTRL_ReleaseBlock(SYSCTRL_Reset_AHB_SPI0);

    apSSP_sDeviceControlBlock param;

    apSSP_Initialize(SSP_Ptr);

    /* Set Device Parameters */
    param.ClockRate        = 11;  // sspclkout = sspclk/(ClockPrescale*(ClockRate+1))
    param.ClockPrescale    = 2;  // Must be an even number from 2 to 254
    param.eSCLKPhase       = apSSP_SCLKPHASE_LEADINGEDGE;
```

```
    param.eSCLKPolarity    = apSSP_SCLKPOLARITY_IDLELOW;
    param.eFrameFormat     = apSSP_FRAMEFORMAT_MOTOROLASPI;
    param.eDataSize        = apSSP_DATASIZE_8BITS;
    param.eLoopBackMode    = apSSP_LOOPBACKOFF;
    param.eMasterSlaveMode = apSSP_MASTER;
    param.eSlaveOutput     = apSSP_SLAVEOUTPUTDISABLED;
    apSSP_DeviceParametersSet(SSP_Ptr, &param);

    /* 使能接收中断 */
    apSSP_DeviceReceiveEnable(SSP_Ptr);
    apSSP_DeviceEnable(AHB_SSP0);
}
```

9.2.2.3 中断处理函数中接收数据

```
uint8_t read_cnt = 0;
uint8_t read_data[8] = {0};

uint32_t spi_irq_cb(void *user_data)
{
    /* 获取中断状态 */
    uint32_t status = apSSP_GetIntRawStatus(AHB_SSP0);
    /* 清除中断状态 */
    apSSP_ClearInt(AHB_SSP0, status);

    /* 读取 RX FIFO 中的数据 */
    while (apSSP_RxFifoNotEmpty(AHB_SSP0))
    {
        uint8_t data = (uint8_t) apSSP_ReadFIFO(AHB_SSP0);
        read_data[read_cnt++] = data;
    }
    return 0;
}
```

第十章　系统控制（SYSCTRL）

10.1　功能概述

SYSCTRL 负责管理、控制各种片上外设，主要功能有：

- 外设的复位
- 外设的时钟管理，包括时钟源、频率设置、门控等
- 其它功能

10.1.1　外设标识

SYSCTRL 为外设定义了几种不同的标识。最常见的几种标识为：

1.SYSCTRL 的时钟门控

```
typedef enum
{
    SYSCTRL_ClkGate_APB_I2C0    = 4,
    SYSCTRL_ClkGate_APB_SPI1    = 5,
    // ...
    SYSCTRL_ClkGate_APB_I2C1    = 19
} SYSCTRL_ClkGateItem;
```

2.SYSCTRL 的 reset

```
typedef enum
{
    SYSCTRL_Reset_AHB_DMA      = 0,
    SYSCTRL_Reset_AHB_LLE      = 1,
    // ...
    SYSCTRL_Reset_APH_TRNG     = 21
} SYSCTRL_ResetItem;
```

这些标识用于外设的复位、时钟门控等。

10.1.2 时钟树

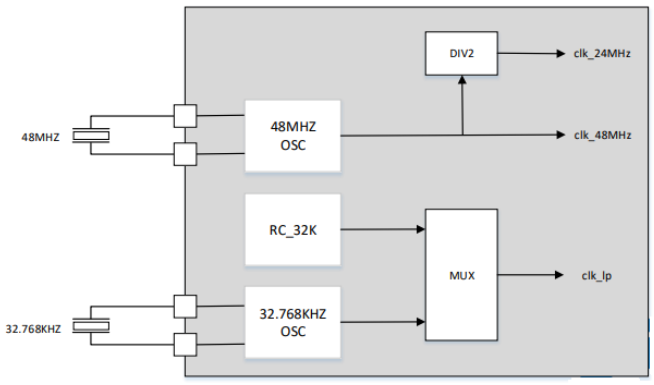
1. 32KiHz 时钟（*clk_32k*）

   32k 时钟有两个来源：内部 RC 32KHz，外部 32768Hz 晶体。

2. PLL 输入的 24MHz 时钟（*clk_pll_in*）

   24MHz 时钟的主要来源：外部 48MHz 晶体。

3. 时钟分布图



10.2 使用说明

10.2.1 外设复位

通过 SYSCTRL_ResetBlock 复位外设，通过'SYSCTRL_ReleaseBlock' 释放复位。

```
void SYSCTRL_ResetBlock(SYSCTRL_ResetItem item);
void SYSCTRL_ReleaseBlock(SYSCTRL_ResetItem item);
```

10.2.2 时钟门控

通过 SYSCTRL_SetClkGateMulti 设置门控(即关闭时钟),通过 SYSCTRL_ClearClkGateMulti 消除门控（即恢复时钟）。

```
void SYSCTRL_SetClkGateMulti(SYSCTRL_ClkGateItem item);
void SYSCTRL_ClearClkGateMulti(SYSCTRL_ClkGateItem item);
```

SYSCTRL_SetClkGateMulti 和 SYSCTRL_ClearClkGateMulti 可以同时控制多个外设的门控。items 参数里的各个比特与 SYSCTRL_ClkGateItem 里的各个外设一一对应。

```
void SYSCTRL_SetClkGateMulti(uint32_t items);
void SYSCTRL_ClearClkGateMulti(uint32_t items);
```

10.2.3 时钟配置

举例如下。

1. 开启 I2C 时钟

   使用 SYSCTRL_SelectI2sClk 为 I2C 配置时钟：

```
SYSCTRL_ClearClkGateMulti( (1 << SYSCTRL_ClkGate_APB_I2C0)
                          |(1 << SYSCTRL_ClkGate_APB_PinCtrl));
```

2. 关闭定时器 TMR0 时钟

   使用 SYSCTRL_GetClk 可获得指定外设的时钟频率：

```
SYSCTRL_ClearClkGateMulti(0
                          | (1 << SYSCTRL_ClkGate_APB_TMR0));
```

第十一章　定时器和看门狗

11.1　功能概述

ING918xx 系列有三个定时器：Timer0、Timer1 和 Timer2。三个定时器功能基本相同，可以实现定时、比较等功能。唯一的区别在于，Timer0 可以用作看门狗。

11.1.1　计时器功能

用作计时器时，主要实现了以下功能：

- 用作 32 位递增计数器或 32 位比较器。
- 可以设置为普通模式、一次性模式和自由模式：
  - 普通模式（TMR_CTL_OP_MODE_WRAPPING）——计数器以恒定间隔产生中断，在达到比较计数器中的比较值后重置为 0，并继续计数，这是默认采用的模式。
  - 一次性模式（TMR_CTL_OP_MODE_ONESHOT）——当计数器增长到等于比较器的值时，定时器会禁用，直到下次主动启用它。
  - 自由模式（TMR_CTL_OP_MODE_FREERUN）——计数器达到定时器中的值时不会停止，而是会一直递加到最大值（0xffffffff)，之后重置为零，并继续计数。
- 可以根据设置产生中断。

11.1.2　WATCHDOG 的功能

Timer0 可以用作看门狗，设定一定的延时时间，在此时间内，如果程序没有主动喂狗，则会发生重启。

看门狗可以在程序跑飞时，让程序复位。

11.2 TIMER 使用说明

11.2.1 获取 Timer 计数值

可以通过 TMR_GetCNT 获取计数器的当前计数值。

```
uint32_t TMR_GetCNT(TMR_TypeDef *pTMR);
```

pTMR：可以设置为 APB_TMR0、APB_TMR1、APB_TMR2, 对应 Timer0、Timer1 和 Timer2。

注意计数器只有使能后，计数值才会随着程序的运行递加，如果计数器未使能，计数值是不变的。

11.2.2 TIMER 计数值清零

可以通过 TMR_Reload 将计数器的当前计数值清零。

```
void TMR_Reload(TMR_TypeDef *pTMR);
```

11.2.3 设置 TIMER 的比较值

可以通过 TMR_SetCMP 设置计数器的比较值。

```
void TMR_SetCMP(TMR_TypeDef *pTMR, uint32_t value);
```

pTMR：选择要设置的计数器，APB_TMR0、APB_TMR1 或 APB_TMR2；

value：设置的比较值。

11.2.4 获取 TIMER 的比较值

使用 TMR_GetCMP 获取计数器的比较值；

```
uint32_t TMR_GetCMP(TMR_TypeDef *pTMR);
```

11.2.5 使能 TIMER

通过 TMR_Enable 使能计数器。

```
void TMR_Enable(TMR_TypeDef *pTMR);
```

计数器使能之后，计数值才会随着时钟的运行递增。

11.2.6 禁能 TIMER

通过 TMR_Disable 禁能计数器。

```
void TMR_Disable(TMR_TypeDef *pTMR);
```

11.2.7 设置 TIMER 的工作模式

通过 TMR_SetOpMode 设置计数器的工作模式。

```
void TMR_SetOpMode(TMR_TypeDef *pTMR, uint8_t mode);
```

三种模式的定义如下：

```
#define TMR_CTL_OP_MODE_WRAPPING            0
#define TMR_CTL_OP_MODE_ONESHOT             1
#define TMR_CTL_OP_MODE_FREERUN             2
```

具体说明见上文。

11.2.8 使能 TIMER 中断

通过 TMR_IntEnable 使能中断，使能中断后计时器计数值达到比较值后，会触发中断。

```
void TMR_IntEnable(TMR_TypeDef *pTMR);
```

11.2.9 禁能 TIMER 中断

通过 TMR_IntDisable 禁能计数器的中断。

```
void TMR_IntDisable(TMR_TypeDef *pTMR);
```

11.2.10 清除 TIMER 中断请求

通过 TMR_IntDisable 清除计数器的中断请求。注意，进入中断处理函数之后，要第一时间清除中断请求，不然可能会重复触发中断。

```
void TMR_IntDisable(TMR_TypeDef *pTMR);
```

11.2.11 获得 TIMER 的中断状态

通过 TMR_IntHappened 来获取计数器的中断状态。

```
uint8_t TMR_IntHappened(TMR_TypeDef *pTMR);
```

11.3 TIMER 中断使用流程

- 配置对应 Timer 的时钟，下面的代码中配置了三个 Timer 的时钟，使用时可以根据自己使用的 Timer 进行配置。

```
SYSCTRL_ClearClkGateMulti( (1 << SYSCTRL_ClkGate_APB_TMR0)
                         | (1 << SYSCTRL_ClkGate_APB_TMR1)
                         | (1 << SYSCTRL_ClkGate_APB_TMR2));
```

- 对 Timer 进行初始化，以 Timer1 为例。

```
TMR_SetCMP(APB_TMR1, TMR_CLK_FREQ);
TMR_SetOpMode(APB_TMR1, TMR_CTL_OP_MODE_WRAPPING);
TMR_Reload(APB_TMR1);
TMR_IntEnable(APB_TMR1);
```

上面四条语句分别设置了定时器的比较值，设置工作模式，将定时器的当前计数值清零，并使能中断。

- 注册中断处理函数。

```
platform_set_irq_callback(PLATFORM_CB_IRQ_TIMER1, hr_timer1_isr, NULL);
```

hr_timer1_isr 为 Timer1 的中断处理函数。

- 编写中断处理函数。

```
uint32_t hr_timer1_isr(void *user_data)
{
    TMR_IntClr(APB_TMR1);
    //user code
    return 0;
}
```

需要注意，中断处理函数中，要优先清理对应的中断请求。

11.4 Watchdog 使用说明

看门狗（Watchdog）与 Timer0 共用一套计数器，看门狗没有使能时，Timer0 与 Timer1 、Timer2 的使用没有区别，当看门狗使能时，Timer0 就不再起作用。

11.4.1 使能看门狗

通过 TMR_WatchDogEnable 使能看门狗。

```
void TMR_WatchDogEnable(uint32_t timeout);
```

timeout：设置看门狗的超时时间。

11.4.2 停用看门狗

通过 MR_WatchDogDisable 禁能看门狗。

```
void TMR_WatchDogDisable(void);
```

11.4.3 喂狗

通过 TMR_WatchDogRestart 定期喂狗，如果没有在看门狗的超时之前喂狗，程序会发生重启。

这种情况下发生的重启仅能通过硬件重置（POR 或者 RESETN) 清除，在其他复位条件下不会清除，可以帮助启动程序检查最近一次复位发生的原因。

第十二章　通用异步收发传输器（UART）

12.1　功能概述

UART 负责处理数据总线和串行口之间的串/并、并/串转换，并规定了相应的帧格式，通信双方只要采用相同的帧格式和波特率，就能在未共享时钟信号的情况下，仅用两根信号线（RX 和 TX）完成通信过程。

特性：

- 异步串行通信，可为全双工、半双工、单发送（TX）或单接收（RX）模式；
- 支持 5~8 位数据位的配置，波特率几百 bps 至几百 Kbbps；
- 可配置奇校验、偶校验或无校验位；可配置 1、1.5 或 2 位停止位；
- 将并行数据写入内存缓冲区，再通过 FIFO 逐位发送，接收时同理；
- 输出传输时，从低位到高位传输。

12.2　使用说明

12.2.1　设置波特率

使用 `apUART_BaudRateSet` 设置对应 UART 设备的波特率。

```
void apUART_BaudRateSet(
  UART_TypeDef* pBase,
  uint32_t ClockFrequency,
  uint32_t BaudRate
  );
```

12.2.2 获取波特率

使用 apUART_BaudRateGet 获取对应 UART 设备的波特率。

```
uint32_t apUART_BaudRateGet (
  UART_TypeDef* pBase,
  uint32_t ClockFrequency
  );
```

12.2.3 接收错误查询

使用 apUART_Check_Rece_ERROR 查询接收产生的错误。

```
uint8_t apUART_Check_Rece_ERROR(
  UART_TypeDef* pBase
  );
```

12.2.4 FIFO 轮询模式

在轮询模式下，CPU 通过检查线路状态寄存器中的位来检测事件：

- 使用 apUART_Check_Rece_ERROR 查询接收产生的错误字。

```
uint8_t apUART_Check_Rece_ERROR(
  UART_TypeDef* pBase
  );
```

- 用 apUART_Check_RXFIFO_EMPTY 查询 RXFIFO 是否为空。

```
uint8_t apUART_Check_RXFIFO_EMPTY(
  UART_TypeDef* pBase
  );
```

- 使用 apUART_Check_RXFIFO_FULL 查询 RXFIFO 是否已满。

```
uint8_t apUART_Check_RXFIFO_FULL(
  UART_TypeDef* pBase
  );
```

- 使用 apUART_Check_TXFIFO_EMPTY 查询 TXFIFO 是否为空。

```
uint8_t apUART_Check_TXFIFO_EMPTY(
  UART_TypeDef* pBase
  );
```

- 使用 apUART_Check_TXFIFO_FULL 查询 TXFIFO 是否已满。

```
uint8_t apUART_Check_TXFIFO_FULL(
  UART_TypeDef* pBase
  );
```

12.2.5 发送数据

使用 UART_SendData 发送 8bits 数据。

```
void UART_SendData(
  UART_TypeDef* pBase,
  uint8_t Data
  );
```

12.2.6 接收数据

使用 UART_ReceData 接收 8bits 数据。

```
uint8_t UART_ReceData(
  UART_TypeDef* pBase
  );
```

12.2.7 配置中断请求

使用 apUART_Enable_TRANSMIT_INT 使能发送中断状态。

```
void apUART_Enable_TRANSMIT_INT(
  UART_TypeDef* pBase
  );
```

使用 apUART_Disable_TRANSMIT_INT 禁用发送中断状态。

```
void apUART_Disable_TRANSMIT_INT(
  UART_TypeDef* pBase
  );
```

使用 apUART_Enable_RECEIVE_INT 使能接收中断状态。

```
void apUART_Enable_RECEIVE_INT(
  UART_TypeDef* pBase
  );
```

使用 apUART_Disable_RECEIVE_INT 禁用接收中断状态。

```
void apUART_Disable_RECEIVE_INT(
  UART_TypeDef* pBase
  );
```

12.2.8 处理中断状态

uint8_t apUART_Get_ITStatus(UART_TypeDef* pBase,uint8_t UART_IT); uint32_t apUART_Get_all_raw_int_stat(UART_TypeDef* pBase);

void apUART_Clr_RECEIVE_INT(UART_TypeDef* pBase); void apUART_Clr_TX_INT(UART_Typel pBase); void apUART_Clr_NonRx_INT(UART_TypeDef* pBase);

12.2.9 UART 初始化

两个设备使用 UART 通讯时，必须先约定好传输速率和一些数据位。

```
typedef struct UART_xStateStruct
{
    // Line Control Register, UARTLCR_H
  UART_eWLEN      word_length;   // WLEN
  UART_ePARITY    parity;        // PEN, EPS, SPS
  uint8_t         fifo_enable;   // FEN
  uint8_t         two_stop_bits; // STP2
  // Control Register, UARTCR
  uint8_t         receive_en;        // RXE
  uint8_t         transmit_en;       // TXE
  uint8_t         UART_en;           // UARTEN
  uint8_t         cts_en;            //CTSEN
  uint8_t         rts_en;            //RTSEN
  // Interrupt FIFO Level Select Register, UARTIFLS
  uint8_t         rxfifo_waterlevel; // RXIFLSEL
  uint8_t         txfifo_waterlevel; // TXIFLSEL
  //UART_eFIFO_WATERLEVEL    rxfifo_waterlevel; // RXIFLSEL
  //UART_eFIFO_WATERLEVEL    txfifo_watchlevel; // TXIFLSEL

  // UART Clock Frequency
  uint32_t        ClockFrequency;
  uint32_t        BaudRate;
```

```
} UART_sStateStruct;
```

定义函数 config_uart，

```
void config_uart(
  uint32_t freq,
  uint32_t baud
  );
```

在函数中，对 UART_sStateStruct 的各项参数初始化，并调用 apUART_Initialize 对 UART 进行初始化。

```
void config_uart(uint32_t freq, uint32_t baud)
{
    UART_sStateStruct config;

    config.word_length       = UART_WLEN_8_BITS;
    config.parity            = UART_PARITY_NOT_CHECK;
    config.fifo_enable       = 1;
    config.two_stop_bits     = 0;
    config.receive_en        = 1;
    config.transmit_en       = 1;
    config.UART_en           = 1;
    config.cts_en            = 0;
    config.rts_en            = 0;
    config.rxfifo_waterlevel = 1;
    config.txfifo_waterlevel = 1;
    config.ClockFrequency    = freq;
    config.BaudRate          = baud;

    apUART_Initialize(PRINT_PORT, &config, 0);
}
```

12.2.10 发送数据

使用 UART_SendData 发送数据。

```
void UART_SendData(
  UART_TypeDef* pBase,
  uint8_t Data
  );
```

12.2.11 接收数据

使用 UART_ReceData 接收数据。

```
uint8_t UART_ReceData(
  UART_TypeDef* pBase
  );
```

12.2.12 清空 FIFO

使用 uart_empty_fifo 清空 UART 的 FIFO。

```
static void uart_empty_fifo(
  UART_TypeDef* pBase
  );
```

12.2.13 使能 FIFO

使用 uart_enable_fifo 使能 UART 的 FIFO。

```
static void uart_enable_fifo(
  UART_TypeDef* pBase
  );
```

12.2.14 处理中断状态

用 apUART_Get_ITStatus 获取某个 UART 上的中断触发状态，返回非 0 值表示该 UART 上产生了中断请求；用 apUART_Get_all_raw_int_stat 一次性获取所有 UART 的中断触发状态，第 n 比特（第 0 比特为最低比特）对应 UART n 上的中断触发状态。

UART 产生中断后，需要消除中断状态方可再次触发。用 apUART_Clr_RECEIVE_INT 消除某个 UART 上接收中断的状态，用 apUART_Clr_TX_INT 消除某个 UART 上发送中断的状态。用 apUART_Clr_NonRx_INT 消除某个 UART 上除接收以外的中断状态。