3.15 麦克风录播

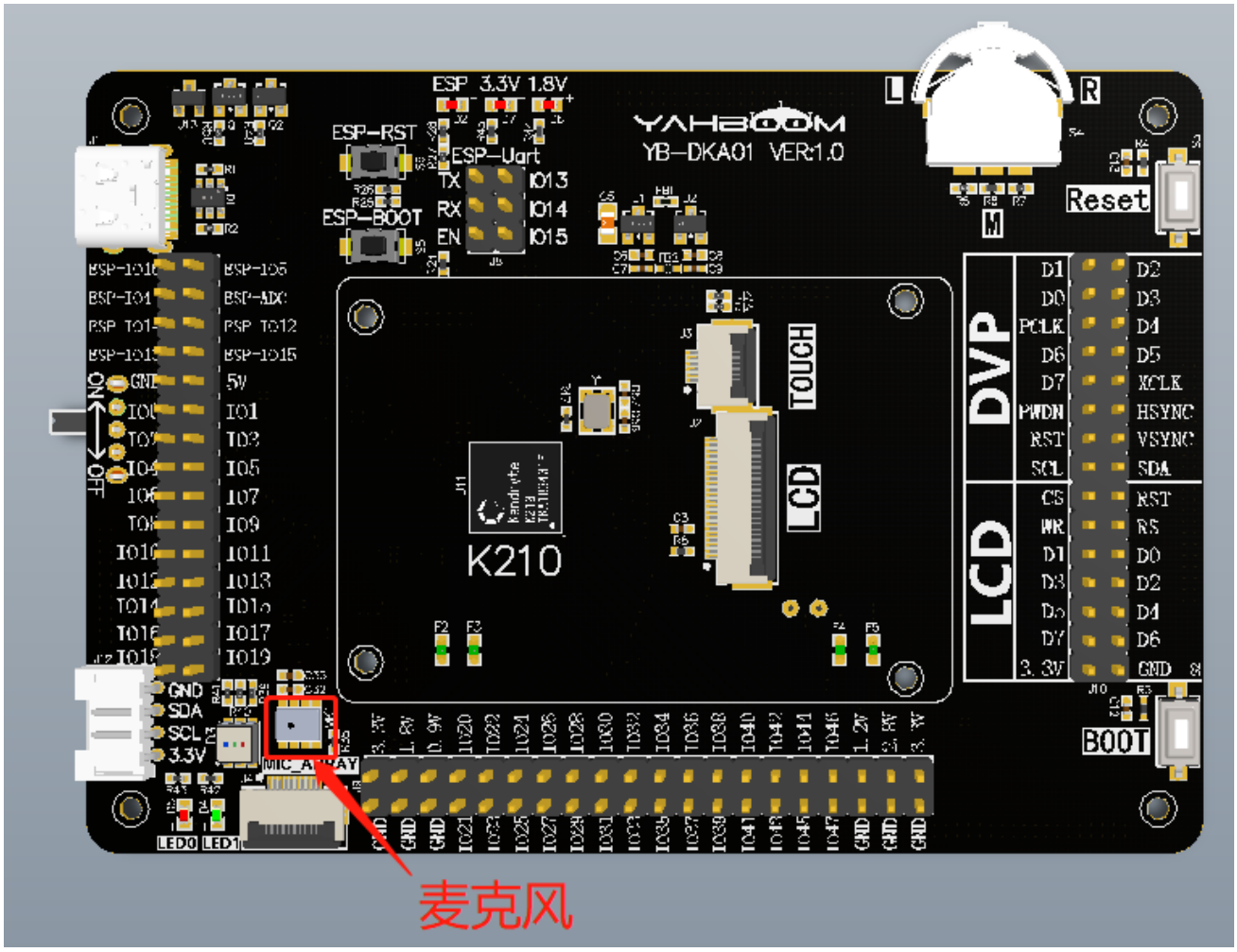
一、实验目的

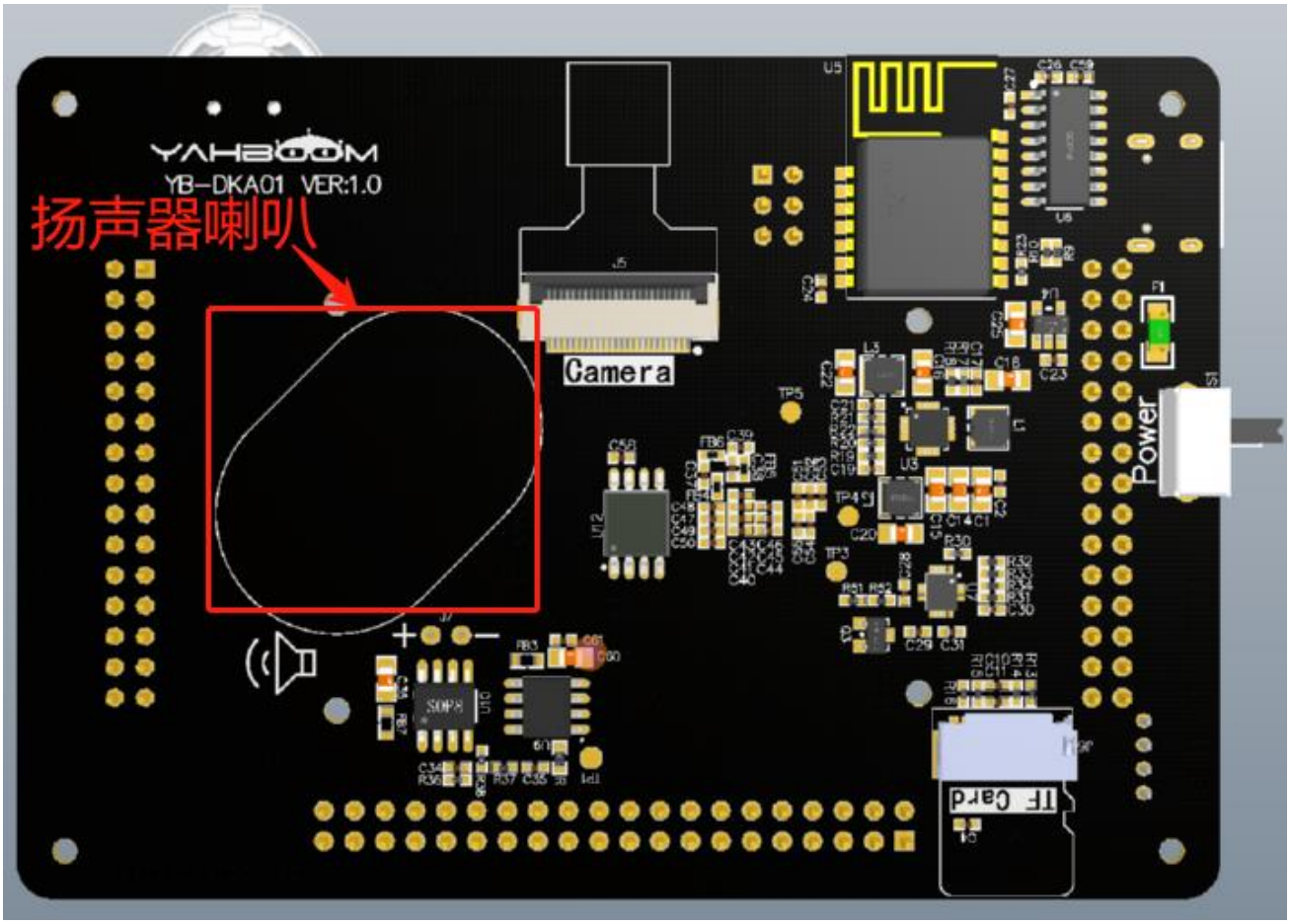
本节课主要学习 K210 通过 I2S 接收和发送的功能，麦克风录音，扬声器播放。

二、实验准备

1.实验元件

扬声器、麦克风





2.元件特性

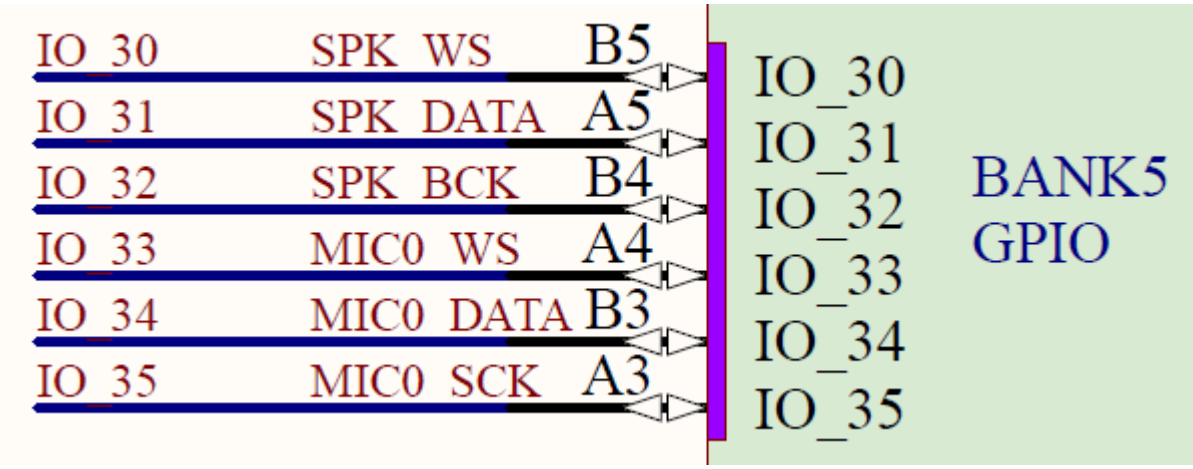
K210 开发板的麦克风同样是使用 I2S 传输数据，只不过麦克风使用的是 I2S 输入模式。

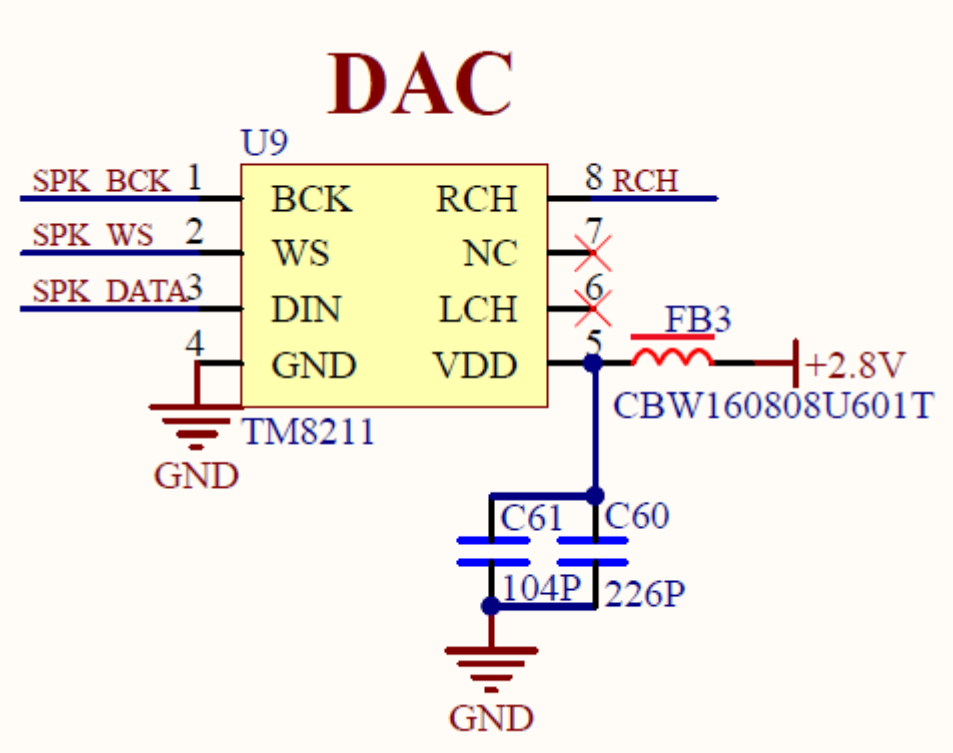
MSM261S4030H0R 麦克风是基于 MEMS（微型机电系统）技术制造的麦克风，内置一个集成了一个电容器的微硅晶片，能够承受很高的回流焊温度，改进噪声消除性能，具有良好的 RF 及 EMI 抑制能力。

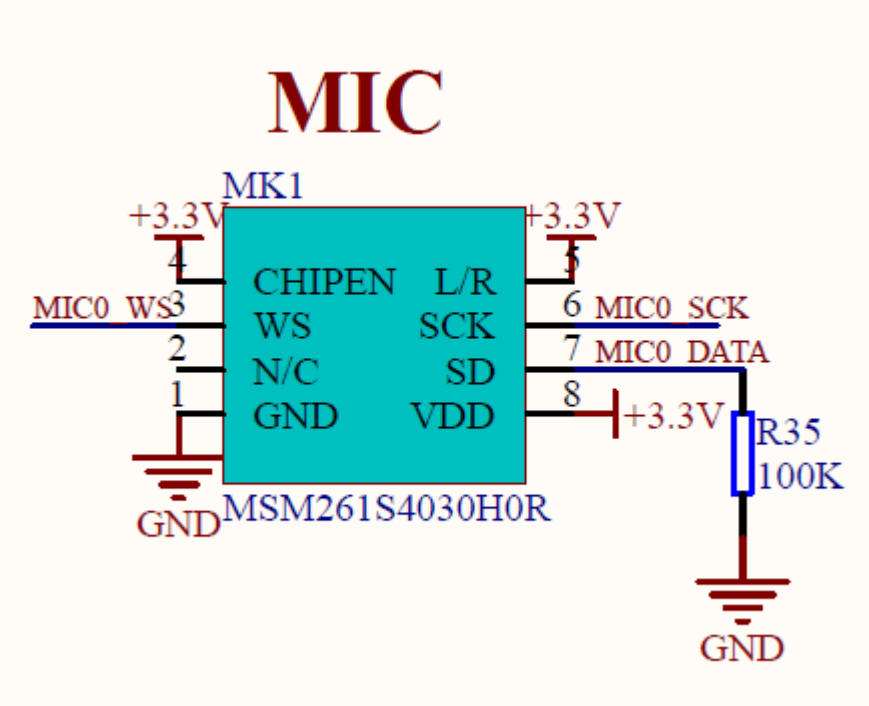
相比传统 ECM（驻极体电容器）麦克风，MEMS 麦克风具有在不同温度下性能稳定，其敏感性不受温度、振动、湿度和时间等因素影响，尺寸较小，重量较轻，能将声音直接转换成电能讯号等特点。

3.硬件连接

K210 开发板出厂默认已经焊接麦克风和扬声器及相关配件，其中 SPK_WS 连接到 IO30，SPK_DATA 连接到 IO31，SKP_BCK 连接到 IO32。







4.SDK 中对应 API 功能

对应的头文件 i2s.h

I2S 标准总线定义了三种信号：时钟信号 BCK、声道选择信号 WS 和串行数据信号 SD。一个基本的 I2S 数据总线有一个主机和一个从机。主机和从机的角色在通信过程中保持不变。I2S 模块包含独立的发送和接收声道，能够保证优良的通信性能。

为用户提供以下接口：

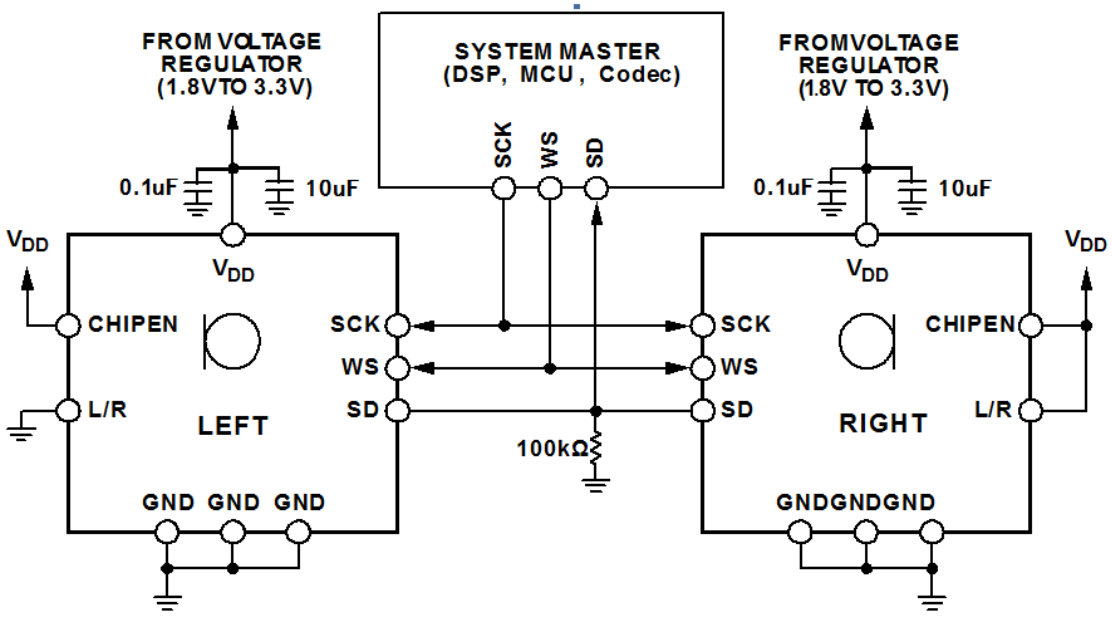
- i2s_init：初始化 I2S 设备，设置接收或发送模式，通道掩码。
- i2s_send_data_dma：I2S 发送数据。
- i2s_recv_data_dma：I2S 接收数据。
- i2s_rx_channel_config：设置接收通道参数。
- i2s_tx_channel_config：设置发送通道参数。
- i2s_play：发送 PCM 数据，比如播放音乐
- i2s_set_sample_rate：设置采样率。
- i2s_set_dma_divide_16：设置 dma_divide_16，16 位数据时设置 dma_divide_16，DMA 传输时自动将 32 比特 INT32 数据分成两个 16 比特的左右声道数据。

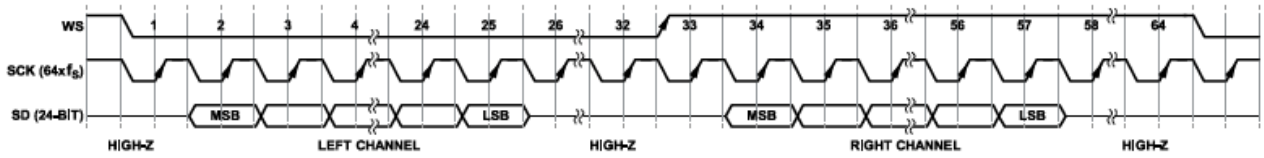
- i2s_get_dma_divide_16:获取 dma_divide_16 值。用于判断是否需要设置 dma_divide_16。
- i2s_handle_data_dma：I2S 通过 DMA 传输数据。

三、实验原理

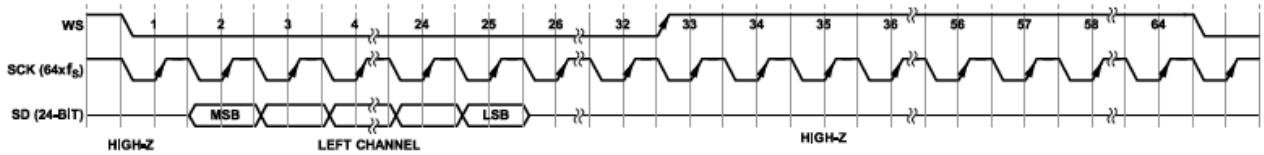
MEMS（微型机电系统）麦克风的一般由 MEMS 微电容传感器、微集成转换电路、声腔、RF 抗干扰电路等部分组成，MEMS 微电容传感器包括接收声音的硅振膜和硅背极，硅振膜可以直接接收到音频信号，经过 MEMS 微电容传感器传输给微集成电路，微集成电路把高阻的音频点信号转换并放大成低阻的电信号，通过经过 RF 抗噪电路滤波，输出与前置电路匹配的电信号，就完成了声电转换，通过读取电信号，就可以识别到声音。

以下是麦克风通过 I2S 读取数据的流程，当 WS 为低时，数据采集的是左声道的数据，当 WS 为高时，数据采集的是右声道的数据。

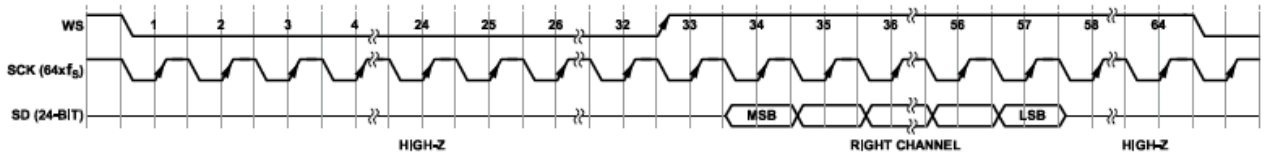




Stereo Output I2S Format



Mono Output I2S Format Left Channel (L/R=0)



Mono Output I2S Format Right Channel (L/R=1)

四、实验过程

1. 首先初始化 K210 的硬件引脚和软件功能使用的是 FPIOA 映射关系。

```
/*****************************HARDWARE-PIN********
// 硬件IO口，与原理图对应
#define PIN_SPK_WS              (30)
#define PIN_SPK_DATA            (31)
#define PIN_SPK_BCK             (32)

#define PIN_MIC0_WS             (33)
#define PIN_MIC0_DATA           (34)
#define PIN_MIC0_SCK            (35)

/*****************************SOFTWARE-GPIO*******
// 软件GPIO口，与程序对应


/*****************************FUNC-GPIO***********
// GPIO口的功能，绑定到硬件IO口
#define FUNC_SPK_WS             FUNC_I2S2_WS
#define FUNC_SPK_DATA           FUNC_I2S2_OUT_D0
#define FUNC_SPK_BCK            FUNC_I2S2_SCLK

#define FUNC_MIC0_WS            FUNC_I2S0_WS
#define FUNC_MIC0_DATA          FUNC_I2S0_IN_D1
#define FUNC_MIC0_SCK           FUNC_I2S0_SCLK
```

```
void hardware_init(void)
{
    /* mic */
    fpioa_set_function(PIN_MIC0_WS,   FUNC_MIC0_WS);
    fpioa_set_function(PIN_MIC0_DATA, FUNC_MIC0_DATA);
    fpioa_set_function(PIN_MIC0_SCK,  FUNC_MIC0_SCK);

    /* speak dac */
    fpioa_set_function(PIN_SPK_WS,   FUNC_SPK_WS);
    fpioa_set_function(PIN_SPK_DATA, FUNC_SPK_DATA);
    fpioa_set_function(PIN_SPK_BCK,  FUNC_SPK_BCK);
}
```

2. 设置系统时钟频率，由于 uarths 的时钟来自 PLL0，所以设置 PLL0 之后需要重新初始化以下 uarths，否则 printf 可能会打印乱码。

```
/* 设置系统时钟 */
sysctl_pll_set_freq(SYSCTL_PLL0, 320000000UL);
sysctl_pll_set_freq(SYSCTL_PLL1, 160000000UL);
sysctl_pll_set_freq(SYSCTL_PLL2, 45158400UL);
uarths_init();
```

3. 初始化系统中断，使能全局中断，初始化 dmac。

```
/* 初始化中断，使能全局中断，初始化dmac */
plic_init();
sysctl_enable_irq();
dmac_init();
```

4. 初始化扬声器对应的 I2S 设备，设置采样率为 16000。

```
void init_speaker(void)
{
    /* 初始化I2S，第三个参数为设置通道掩码，通道0:0x03,通道1: 0x0C,通道2: 0x30,通道3:0xC0 */
    i2s_init(I2S_DEVICE_2, I2S_TRANSMITTER, 0x03);

    /* 设置I2S发送数据的通道参数 */
    i2s_tx_channel_config(
        I2S_DEVICE_2, /* I2S设备号*/
        I2S_CHANNEL_0, /* I2S通道 */
        RESOLUTION_16_BIT, /* 接收数据位数 */
        SCLK_CYCLES_32, /* 单个数据时钟数 */
        TRIGGER_LEVEL_4, /* DMA触发时FIFO深度 */
        RIGHT_JUSTIFYING_MODE); /* 工作模式 */
    /* 设置采样率 */
    i2s_set_sample_rate(I2S_DEVICE_2, 16000);
}
```

5.初始化麦克风配置，麦克风使用的是 I2S0 设备的通道 1，设置采样率为 16000，与上面扬声器设置的采样率设置相同，再设置 DMA 中断回调函数为 i2s_receive_dma_cb，最后启动 DMA 传输，当 DMA 数据传输结束后就会触发 DM 中断。

```
void init_mic(void)
{
    /* I2S设备0初始化为接收模式 */
    i2s_init(I2S_DEVICE_0, I2S_RECEIVER, 0x0C);

    /* 通道参数设置 */
    i2s_rx_channel_config(
        I2S_DEVICE_0, /* I2S设备0 */
        I2S_CHANNEL_1, /* 通道1 */
        RESOLUTION_16_BIT, /* 接收数据16bit */
        SCLK_CYCLES_32, /* 单个数据时钟为32 */
        TRIGGER_LEVEL_4, /* FIFO深度为4 */
        STANDARD_MODE); /* 标准模式 */

    /* 设置采样率 */
    i2s_set_sample_rate(I2S_DEVICE_0, 16000);

    /* 设置DMA中断回调 */
    dmac_set_irq(DMAC_CHANNEL1, i2s_receive_dma_cb, NULL, 4);

    /* I2S通过DMA接收数据，保存到rx_buf中 */
    i2s_receive_data_dma(I2S_DEVICE_0, &rx_buf[g_index], FRAME_LEN * 2, DMAC_CHANNEL1);
}
```

6.在 DMA 中断函数中接收麦克风的原始数据，保存到 g_rx_dma_buf 中，由于我们使用的是右声道作为传输，所以我们只取右声道的数据，保存到 rx_buf 中，其中 MIC_GAIN 是麦克风的增益，可以根据实际设置调大录音音量，但是太大可能会引起麦克风和扬声器共鸣的问题。

```
/* 麦克风增益值，可以根据实际调大录音的音量 */
#define MIC_GAIN      1
```

```
int i2s_receive_dma_cb(void *ctx)
{
    uint32_t i;

    if(g_index)
    {
        /* 接收DMA数据 */
        i2s_receive_data_dma(I2S_DEVICE_0, &g_rx_dma_buf[g_index], FRAME_LEN * 2, DMAC_CHANNEL1);
        g_index = 0;
        for(i = 0; i < FRAME_LEN; i++)
        {
            /* 保存数据 */
            rx_buf[2 * i] = (int16_t)((g_rx_dma_buf[2 * i + 1] * MIC_GAIN) & 0xffff);
            rx_buf[2 * i + 1] = (int16_t)((g_rx_dma_buf[2 * i + 1] * MIC_GAIN) & 0xffff);
        }
        i2s_rec_flag = 1;
    }
    else
    {
        i2s_receive_data_dma(I2S_DEVICE_0, &g_rx_dma_buf[0], FRAME_LEN * 2, DMAC_CHANNEL1);
        g_index = FRAME_LEN * 2;
        for(i = FRAME_LEN; i < FRAME_LEN * 2; i++)
        {
            rx_buf[2 * i] = (int16_t)((g_rx_dma_buf[2 * i + 1] * MIC_GAIN) & 0xffff);
            rx_buf[2 * i + 1] = (int16_t)((g_rx_dma_buf[2 * i + 1] * MIC_GAIN) & 0xffff);
        }
        i2s_rec_flag = 2;
    }
    return 0;
}
```

7.编译调试，烧录运行

把本课程资料中的 mic 复制到 SDK 中的 src 目录下，然后进入 build 目录，运行以下命令编译。

cmake .. -DPROJ=mic -G "MinGW Makefiles"

make

```
[100%] Linking C executable mic
Generating .bin file ...
[100%] Built target mic
PS C:\K210\SDK\kendryte-standalone-sdk-develop\build>
```

编译完成后，在 build 文件夹下会生成 mic.bin 文件。

使用 type-C 数据线连接电脑与 K210 开发板，打开 kflash，选择对应的设备，再将程序固件烧录到 K210 开发板上。

五、实验现象

麦克风会采集当前环境的声音，并且通过扬声器播放出来。注意播放的声音比较小，需要把耳朵贴到喇叭上听，然后说话才可以听到。如果把麦克风的增益设置大了，会导致麦克风和喇叭共振，导致很大的杂音。

六、实验总结

1.麦克风与扬声器都是使用 I2S 来传输数据的，只不过麦克风使用的是输入的模式，扬声器使用的是输出的模式。

2.麦克风缓存的数据通过 DMA 通道直接传输给扬声器连接的 DAC 元件，从而实现了一边录声音，一边播放的功能。

3.麦克风是声音敏感型元件，具有超高灵敏度，能将声音直接转换成电能讯号。

附：API

i2s_init

描述

初始化 I2S。

函数原型

```
void i2s_init(i2s_device_number_t device_num, i2s_transmit_t rxtx_mode,
uint32_t channel_mask)
```

参数

成员名称	描述	输入输出
device_num	I2S 号	输入

成员名称	描述	输入输出
rxtx_mode	接收或发送模式	输入
channel_mask	通道掩码	输入

返回值

无。

i2s_send_data_dma

描述

I2S 发送数据。

函数原型

```
void i2s_send_data_dma(i2s_device_number_t device_num, const void *buf, size_t buf_len, dmac_channel_number_t channel_num)
```

参数

成员名称	描述	输入输出
device_num	I2S 号	输入
buf	发送数据地址	输入
buf_len	数据长度	输入
channel_num	DMA 通道号	输入

返回值

无。

i2s_recv_data_dma

描述

I2S 接收数据。

函数原型

```
void i2s_recv_data_dma(i2s_device_number_t device_num, uint32_t *buf, size_t buf_len, dmac_channel_number_t channel_num)
```

参数

成员名称	描述	输入输出
device_num	I2S 号	输入
buf	接收数据地址	输出
buf_len	数据长度	输入
channel_num	DMA 通道号	输入

返回值

无

i2s_rx_channel_config

描述

设置接收通道参数。

函数原型

```
void i2s_rx_channel_config(i2s_device_number_t device_num, i2s_channel_num_t channel_num, i2s_word_length_t word_length, i2s_word_select_cycles_t word_select_size, i2s_fifo_threshold_t trigger_level, i2s_work_mode_t word_mode)
```

参数

成员名称	描述	输入输出
device_num	I2S 号	输入
channel_num	通道号	输入
word_length	接收数据位数	输出
word_select_size	单个数据时钟数	输入
trigger_level	DMA 触发时 FIFO 深度	输入
word_mode	工作模式	输入

返回值

无。

i2s_tx_channel_config

描述

设置发送通道参数。

函数原型

```
void i2s_tx_channel_config(i2s_device_number_t device_num, i2s_channel_num_t
channel_num, i2s_word_length_t word_length, i2s_word_select_cycles_t
word_select_size, i2s_fifo_threshold_t trigger_level, i2s_work_mode_t
word_mode)
```

参数

成员名称	描述	输入输出
device_num	I2S 号	输入
channel_num	通道号	输入
word_length	接收数据位数	输出
word_select_size	单个数据时钟数	输入
trigger_level	DMA 触发时 FIFO 深度	输入
word_mode	工作模式	输入

返回值

无。

i2s_play

描述

发送 PCM 数据，比如播放音乐

函数原型

```
void i2s_play(i2s_device_number_t device_num, dmac_channel_number_t
channel_num,
              const uint8_t *buf, size_t buf_len, size_t frame, size_t
bits_per_sample, uint8_t track_num)
```

参数

成员名称	描述	输入输出
device_num	I2S 号	输入
channel_num	通道号	输入
buf	PCM 数据	输入
buf_len	PCM 数据长度	输入
frame	单次发送数量	输入
bits_per_sample	单次采样位宽	输入

成员名称	描述	输入输出
track_num	声道数	输入

返回值

无。

i2s_set_sample_rate

描述

设置采样率。

函数原型

```
uint32_t i2s_set_sample_rate(i2s_device_number_t device_num, uint32_t sample_rate)
```

参数

成员名称	描述	输入输出
device_num	I2S 号	输入
sample_rate	采样率	输入

返回值

实际的采样率。

i2s_set_dma_divide_16

描述

设置 dma_divide_16，16 位数据时设置 dma_divide_16，DMA 传输时自动将 32 比特 INT32 数据分成两个 16 比特的左右声道数据。

函数原型

```
int i2s_set_dma_divide_16(i2s_device_number_t device_num, uint32_t enable)
```

参数

成员名称	描述	输入输出
device_num	I2S 号	输入
enable	0:禁用 1：使能	输入

返回值

返回值 描述
0　　成功
非 0　失败

i2s_get_dma_divide_16

描述

获取 dma_divide_16 值。用于判断是否需要设置 dma_divide_16。

函数原型

```
int i2s_get_dma_divide_16(i2s_device_number_t device_num)
```

参数

成员名称　描述　输入输出
device_num　I2S 号　输入

返回值

返回值	描述
1	使能
0	禁用
<0	失败

i2s_handle_data_dma

描述

I2S 通过 DMA 传输数据。

函数原型

```
void i2s_handle_data_dma(i2s_device_number_t device_num, i2s_data_t data,
plic_interrupt_t *cb);
```

参数

参数名称	描述	输入输出
device_num	I2S 号	输入
data	I2S 数据相关的参数，详见 i2s_data_t 说明	输入

参数名称	描述	输入输出
cb	dma 中断回调函数，如果设置为 NULL 则为阻塞模式，直至传输完毕后退出函数	输入

返回值

无

举例

```
/* I2S0 通道 0 设置为接收通道，接收 16 位数据，单次传输 32 个时钟，FIFO 深度为 4，标准模式。接收 8 组数据*/
/* I2S2 通道 1 设置为发送通道，发送 16 位数据，单次传输 32 个时钟，FIFO 深度为 4，右对齐模式。发送 8 组数据*/
uint32_t buf[8];
i2s_init(I2S_DEVICE_0, I2S_RECEIVER, 0x3);
i2s_init(I2S_DEVICE_2, I2S_TRANSMITTER, 0xC);
i2s_rx_channel_config(I2S_DEVICE_0, I2S_CHANNEL_0, RESOLUTION_16_BIT,
SCLK_CYCLES_32, TRIGGER_LEVEL_4, STANDARD_MODE);
i2s_tx_channel_config(I2S_DEVICE_2, I2S_CHANNEL_1, RESOLUTION_16_BIT,
SCLK_CYCLES_32, TRIGGER_LEVEL_4, RIGHT_JUSTIFYING_MODE);
i2s_recv_data_dma(I2S_DEVICE_0, rx_buf, 8, DMAC_CHANNEL1);
i2s_send_data_dma(I2S_DEVICE_2, buf, 8, DMAC_CHANNEL0);
```

数据类型

相关数据类型、数据结构定义如下：

- i2s_device_number_t：I2S 编号。
- i2s_channel_num_t：I2S 通道号。
- i2s_transmit_t：I2S 传输模式。
- i2s_work_mode_t：I2S 工作模式。
- i2s_word_select_cycles_t：I2S 单次传输时钟数。
- i2s_word_length_t：I2S 传输数据位数。
- i2s_fifo_threshold_t：I2S FIFO 深度。
- i2s_data_t：通过 DMA 传输时数据相关的参数。
- i2s_transfer_mode_t：I2S 传输方式。

i2s_device_number_t

描述

I2S 编号。

定义

```
typedef enum _i2s_device_number
{
    I2S_DEVICE_0 = 0,
    I2S_DEVICE_1 = 1,
    I2S_DEVICE_2 = 2,
    I2S_DEVICE_MAX
} i2s_device_number_t;
```

成员

成员名称	描述
I2S_DEVICE_0	I2S 0
I2S_DEVICE_1	I2S 1
I2S_DEVICE_2	I2S 2

i2s_channel_num_t

描述

I2S 通道号。

定义

```
typedef enum _i2s_channel_num
{
    I2S_CHANNEL_0 = 0,
    I2S_CHANNEL_1 = 1,
    I2S_CHANNEL_2 = 2,
    I2S_CHANNEL_3 = 3
} i2s_channel_num_t;
```

成员

成员名称	描述
I2S_CHANNEL_0	I2S 通道 0
I2S_CHANNEL_1	I2S 通道 1
I2S_CHANNEL_2	I2S 通道 2
I2S_CHANNEL_3	I2S 通道 3

i2s_transmit_t

描述

I2S 传输模式。

定义

```
typedef enum _i2s_transmit
{
    I2S_TRANSMITTER = 0,
    I2S_RECEIVER = 1
} i2s_transmit_t;
```

成员

成员名称	描述
I2S_TRANSMITTER	发送模式
I2S_RECEIVER	接收模式

i2s_work_mode_t

描述

I2S 工作模式。

定义

```
typedef enum _i2s_work_mode
{
    STANDARD_MODE = 1,
    RIGHT_JUSTIFYING_MODE = 2,
    LEFT_JUSTIFYING_MODE = 4
} i2s_work_mode_t;
```

成员

成员名称	描述
STANDARD_MODE	标准模式
RIGHT_JUSTIFYING_MODE	右对齐模式
LEFT_JUSTIFYING_MODE	左对齐模式

i2s_word_select_cycles_t

描述

I2S 单次传输时钟数。

定义

```
typedef enum _word_select_cycles
{
    SCLK_CYCLES_16 = 0x0,
    SCLK_CYCLES_24 = 0x1,
    SCLK_CYCLES_32 = 0x2
} i2s_word_select_cycles_t;
```

成员

成员名称	描述
SCLK_CYCLES_16	16 个时钟
SCLK_CYCLES_24	24 个时钟
SCLK_CYCLES_32	32 个时钟

i2s_word_length_t

描述

I2S 传输数据位数。

定义

```
typedef enum _word_length
{
    IGNORE_WORD_LENGTH = 0x0,
    RESOLUTION_12_BIT = 0x1,
    RESOLUTION_16_BIT = 0x2,
    RESOLUTION_20_BIT = 0x3,
    RESOLUTION_24_BIT = 0x4,
    RESOLUTION_32_BIT = 0x5
} i2s_word_length_t;
```

成员

成员名称	描述
IGNORE_WORD_LENGTH	忽略长度
RESOLUTION_12_BIT	12 位数据长度
RESOLUTION_16_BIT	16 位数据长度
RESOLUTION_20_BIT	20 位数据长度

成员名称	描述
RESOLUTION_24_BIT	24 位数据长度
RESOLUTION_32_BIT	32 位数据长度

i2s_fifo_threshold_t

描述

I2S FIFO 深度。

定义

```
typedef enum _fifo_threshold
{
    /* Interrupt trigger when FIFO level is 1 */
    TRIGGER_LEVEL_1 = 0x0,
    /* Interrupt trigger when FIFO level is 2 */
    TRIGGER_LEVEL_2 = 0x1,
    /* Interrupt trigger when FIFO level is 3 */
    TRIGGER_LEVEL_3 = 0x2,
    /* Interrupt trigger when FIFO level is 4 */
    TRIGGER_LEVEL_4 = 0x3,
    /* Interrupt trigger when FIFO level is 5 */
    TRIGGER_LEVEL_5 = 0x4,
    /* Interrupt trigger when FIFO level is 6 */
    TRIGGER_LEVEL_6 = 0x5,
    /* Interrupt trigger when FIFO level is 7 */
    TRIGGER_LEVEL_7 = 0x6,
    /* Interrupt trigger when FIFO level is 8 */
    TRIGGER_LEVEL_8 = 0x7,
    /* Interrupt trigger when FIFO level is 9 */
    TRIGGER_LEVEL_9 = 0x8,
    /* Interrupt trigger when FIFO level is 10 */
    TRIGGER_LEVEL_10 = 0x9,
    /* Interrupt trigger when FIFO level is 11 */
    TRIGGER_LEVEL_11 = 0xa,
    /* Interrupt trigger when FIFO level is 12 */
    TRIGGER_LEVEL_12 = 0xb,
    /* Interrupt trigger when FIFO level is 13 */
    TRIGGER_LEVEL_13 = 0xc,
    /* Interrupt trigger when FIFO level is 14 */
    TRIGGER_LEVEL_14 = 0xd,
    /* Interrupt trigger when FIFO level is 15 */
    TRIGGER_LEVEL_15 = 0xe,
```

```
    /* Interrupt trigger when FIFO level is 16 */
    TRIGGER_LEVEL_16 = 0xf
} i2s_fifo_threshold_t;
```

成员

成员名称	描述
TRIGGER_LEVEL_1	1 字节 FIFO 深度
TRIGGER_LEVEL_2	2 字节 FIFO 深度
TRIGGER_LEVEL_3	3 字节 FIFO 深度
TRIGGER_LEVEL_4	4 字节 FIFO 深度
TRIGGER_LEVEL_5	5 字节 FIFO 深度
TRIGGER_LEVEL_6	6 字节 FIFO 深度
TRIGGER_LEVEL_7	7 字节 FIFO 深度
TRIGGER_LEVEL_8	8 字节 FIFO 深度
TRIGGER_LEVEL_9	9 字节 FIFO 深度
TRIGGER_LEVEL_10	10 字节 FIFO 深度
TRIGGER_LEVEL_11	11 字节 FIFO 深度
TRIGGER_LEVEL_12	12 字节 FIFO 深度
TRIGGER_LEVEL_13	13 字节 FIFO 深度
TRIGGER_LEVEL_14	14 字节 FIFO 深度
TRIGGER_LEVEL_15	15 字节 FIFO 深度
TRIGGER_LEVEL_16	16 字节 FIFO 深度

i2s_data_t

描述

通过 DMA 传输时数据相关的参数。

定义

```
typedef struct _i2s_data_t
{
    dmac_channel_number_t tx_channel;
    dmac_channel_number_t rx_channel;
    uint32_t *tx_buf;
    size_t tx_len;
    uint32_t *rx_buf;
    size_t rx_len;
    i2s_transfer_mode_t transfer_mode;
    bool nowait_dma_idle;
```

```
    bool wait_dma_done;
} i2s_data_t;
```

成员

成员名称	描述
tx_channel	发送时使用的 DMA 通道号
rx_channel	发送时使用的 DMA 通道号
tx_buf	发送的数据
tx_len	发送数据的长度
rx_buf	接收的数据
rx_len	接收数据长度
transfer_mode	传输模式，发送或接收
nowait_dma_idle	DMA 传输前是否等待 DMA 通道空闲
wait_dma_done	DMA 传输后是否等待传输完成，如果 cb 不为空则这个函数无效

i2s_transfer_mode_t

描述

I2S 传输方式。

定义

```
typedef enum _i2s_transfer_mode
{
    I2S_SEND,
    I2S_RECEIVE,
} i2s_transfer_mode_t;
```

成员

成员名称	描述
I2S_SEND	发送
I2S_RECEIVE	软件