

GigaDevice Semiconductor Inc.

GD32F4xx I2S 全双工通信及帧格式配置

应用笔记

AN161

1.0 版本

(2023 年 9 月)

目录

目录.....	2
图索引.....	3
表索引.....	4
1. 前言.....	5
2. I2S 全双工通信.....	6
3. I2S 帧格式配置.....	7
3.1. 16 位数据打包 16 位帧格式.....	7
3.2. 16 位数据打包 32 位帧格式.....	7
3.3. 24 位数据打包 32 位帧格式.....	7
3.4. 32 位数据打包 32 位帧格式.....	8
4. I2S 全双工通信的 DMA 发送与接收.....	9
4.1. 24 位数据打包 32 位帧格式测试.....	9
4.1.1. DMA 发送.....	9
4.1.2. DMA 接收.....	9
4.2. 32 位数据打包 32 位帧格式测试.....	10
4.2.1. DMA 发送.....	10
4.2.2. DMA 接收.....	10
4.3. 16 位数据打包 32 位帧格式测试.....	11
4.3.1. DMA 发送.....	11
4.3.2. DMA 接收.....	11
5. 版本历史.....	12

图索引

图 2-1. I2S 全双工通信原理图	6
图 3-1. I2S 飞利浦标准的 16 位数据打包 16 位帧	7
图 3-2. I2S 飞利浦标准的 16 位数据打包 32 位帧	7
图 3-3. I2S 飞利浦标准的 16 位数据打包 32 位帧	8
图 3-4. I2S 飞利浦标准的 32 位数据打包 32 位帧	8
图 4-1. I2S 24 位数据打包 32 位帧的 DMA 发送	9
图 4-2. I2S 24 位数据打包 32 位帧格式下接收数据存储	10
图 4-3. I2S 32 位数据打包 32 位帧的 DMA 发送	10
图 4-4. I2S 32 位数据打包 32 位帧格式下接收数据存储	10
图 4-5. I2S 16 位数据打包 32 位帧的 DMA 发送	11
图 4-6. I2S 16 位数据打包 32 位帧格式下接收数据存储	11

表索引

表 2-1. I2S 全双工通信配置代码	6
表 5-1. 版本历史	12

1. 前言

GD32F4xx 系列的片上音频接口（Inter-IC Sound，缩写为 I2S）支持四种音频标准，分别是 I2S 飞利浦标准，MSB 对齐标准，LSB 对齐标准和 PCM 标准。它可以在四种模式下运行，包括主机发送模式，主机接收模式，从机发送模式和从机接收模式。可通过使用附加的 I2S 模块：I2S1_ADD 和 I2S2_ADD，SPI1 和 SPI2 支持 I2S 全双工模式。

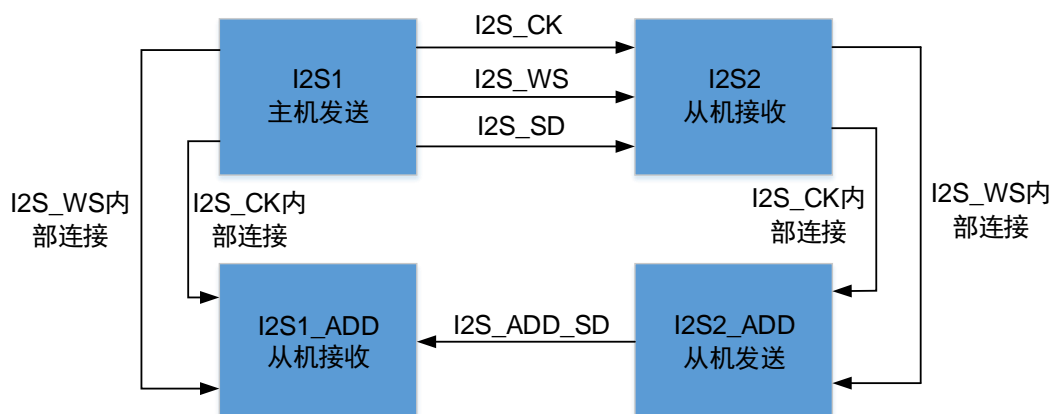
I2S 支持输入数据的长度为 16 位、24 位和 32 位，支持的通道长度为 16 位和 32 位。在使用时，通道长度必须要大于或等于输入的数据长度，因此 I2S 支持 4 种帧格式，分别为 16 位数据打包 16 位帧，16 位数据打包成 32 位帧格式，24 位数据打包成 32 位帧格式，32 位数据打包成 32 位帧格式。

本文主要介绍 I2S 的全双工通信配置及 4 种帧格式的使用方法，该方法配合 DMA，实现数据的接收和发送，以使用户能够快速地完成 I2S 驱动代码的开发，从而提高开发效率。

2. I2S 全双工通信

GD32F4xx 内部通过附加的 I2S 模块 (I2S_ADD 模块) 可以实现 I2S 的全双工模式。I2S_ADD 模块只用于全双工模式通信, 且只能工作在从模式。I2S_ADD 模块的 SCK 和 WS 信号由对应的 I2S 模块提供。

图 2-1. I2S 全双工通信原理图



I2S 和 I2S_ADD 的配置如, I2S1 配置为主机发送模式, I2S1_ADD 配置为从机接收模式, I2S2 配置为从机模式, I2S2_ADD 配置为从机发送模式。I2S 帧格式配置为 16 位数据打包 16 位帧格式。

表 2-1. I2S 全双工通信配置代码

```

spi_i2s_deinit(SPI2);
spi_i2s_deinit(SPI1);

/* configure I2S1 and I2S1_ADD */
i2s_init(SPI1, I2S_MODE_MASTERTX, I2S_STD_PHILLIPS, I2S_CKPL_LOW);
i2s_psc_config(SPI1, I2S_AUDIOSAMPLE_11K, I2S_FRAMEFORMAT_DT16B_CH16B,
I2S_MCKOUT_DISABLE);
i2s_full_duplex_mode_config(I2S1_ADD, I2S_MODE_MASTERTX, I2S_STD_PHILLIPS,
I2S_CKPL_LOW, I2S_FRAMEFORMAT_DT16B_CH16B);

/* configure I2S2 and I2S2_ADD */
i2s_init(SPI2, I2S_MODE_SLAVEX, I2S_STD_PHILLIPS, I2S_CKPL_LOW);
i2s_psc_config(SPI2, I2S_AUDIOSAMPLE_11K, I2S_FRAMEFORMAT_DT16B_CH16B,
I2S_MCKOUT_DISABLE);
i2s_full_duplex_mode_config(I2S2_ADD, I2S_MODE_SLAVEX, I2S_STD_PHILLIPS,
I2S_CKPL_LOW, I2S_FRAMEFORMAT_DT16B_CH16B);
  
```

I2S 和 I2S_ADD 均支持 DMA 传输功能, 详细的软件配置可参考 GD32F4xx_Firmware_Library 中 I2S_master_slave_fullduplex_dma 例程。

3. I2S 帧格式配置

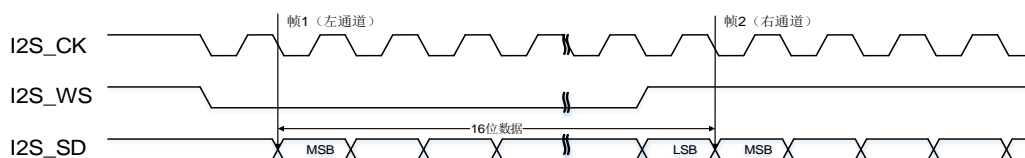
I2S 数据长度和通道长度可以通过 SPI_I2SCTL 寄存器中的 DTLEN 位和 CHLEN 位来设置。由于通道长度必须大于或等于数据长度，故 I2S 支持 4 种帧格式，分别是：16 位数据打包成 16 位数据帧格式，16 位数据打包成 32 位数据帧格式，24 位数据打包成 32 位数据帧格式，32 位数据打包成 32 位数据帧格式。

本节以 I2S 飞利浦标准为例，将对 4 种帧格式进行详细的说明。

3.1. 16 位数据打包 16 位帧格式

当 SPI_I2SCTL 寄存器中 DTLEN = 0 和 CHLEN = 0 时，此时 I2S 为 16 位数据打包 16 位帧格式，如所示，此时 I2S 输出帧的左右声道数据宽度均为 16 个 bit。

图 3-1. I2S 飞利浦标准的 16 位数据打包 16 位帧

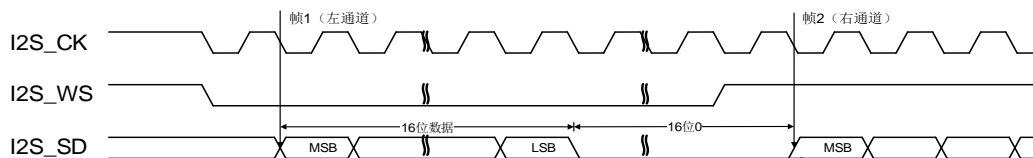


当 16 位数据打包成 16 位帧时，DMA 可配置为 16 位访问宽度，每完成一帧数据的传输只需要访问 SPI_DATA 寄存器一次。

3.2. 16 位数据打包 32 位帧格式

当 SPI_I2SCTL 寄存器中 DTLEN = 0 和 CHLEN = 1 时，此时 I2S 为 16 位数据打包 32 位帧格式，如所示，此时 I2S 输出帧的左右声道数据宽度均为 32 个 bit。为了将该 16 位数据扩展成 32 位数据，输出帧的低 16 位被硬件强制填充为 0x0000。

图 3-2. I2S 飞利浦标准的 16 位数据打包 32 位帧



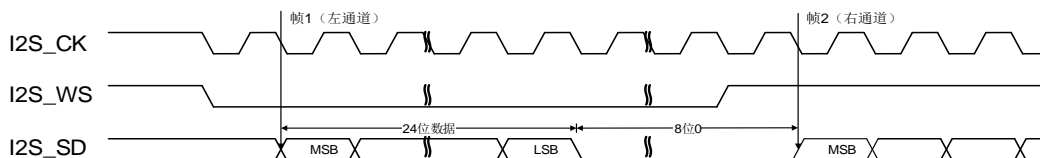
当 16 位数据打包成 32 位帧时，DMA 可配置为 16 位访问宽度，每完成一帧数据的传输只需要访问 SPI_DATA 寄存器一次。

3.3. 24 位数据打包 32 位帧格式

当 SPI_I2SCTL 寄存器中 DTLEN = 1 和 CHLEN = 1 时，此时 I2S 为 24 位数据打包 32 位帧

格式，如图所示，此时 I2S 输出帧的左右声道数据宽度均为 32 个 bit。为了将该 24 位数据扩展成 32 位数据，输出帧的低 8 位被硬件强制填充为 0x00。

图 3-3. I2S 飞利浦标准的 16 位数据打包 32 位帧



当 24 位数据打包成 32 位帧时，DMA 可配置为 16 位访问宽度，每完成 1 帧数据的传输需要访问 SPI_DATA 寄存器 2 次。

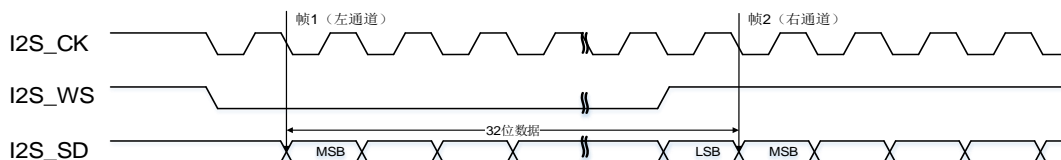
在发送模式下，如果要发送一个 24 位数据 $D[23:0]$ ，第一个写入 SPI_DATA 寄存器的数据应该是高 16 位数据 $D[23:8]$ ，第二个数据应该是一个 16 位数据，该 16 位数据的高 8 位是 $D[7:0]$ ，低 8 位数据可以是任意值。

在接收模式下，如果要接收一个 24 位数据 $D[23:0]$ ，第一个从 SPI_DATA 寄存器读到的数据应该是高 16 位数据 $D[23:8]$ ，第二个数据应该是一个 16 位数据，该 16 位数据的高 8 位是 $D[7:0]$ ，低 8 位数据全是 0。

3.4. 32 位数据打包 32 位帧格式

当 SPI_I2SCTL 寄存器中 DTLEN = 1 和 CHLEN = 1 时，此时 I2S 为 32 位数据打包 32 位帧格式，如图所示，此时 I2S 输出帧的左右声道数据宽度均为 32 个 bit。

图 3-4. I2S 飞利浦标准的 32 位数据打包 32 位帧



当 32 位数据打包成 32 位帧的时，DMA 可配置为 16 位访问宽度，每完成 1 帧数据的传输需要访问 SPI_DATA 寄存器 2 次。

在发送模式下，如果要发送一个 32 位数据，第一个写入 SPI_DATA 寄存器的数据应该是高 16 位数据，第二个数据应该是低 16 位数据。

在接收模式下，如果要接收一个 32 位数据，第一个从 SPI_DATA 寄存器读到的数据应该是高 16 位数据，第二个数据应该是低 16 位数据。

4. I2S 全双工通信的 DMA 发送与接收

用户使用 24 位数据打包 32 位帧或 32 位数据打包 32 位帧时，需要对输入数据进行调整，才能保证数据传输的正确性。

注意 MCU 存储数据的大小端问题，GD32 MCU 为小端模式，对于一个 24 bit 或 32 bit 的数据，在存入 Buffer 数组中时，需要调整数据的大小端格式以保证 I2S 输出帧满足 MSB 的规则。

本节主要介绍 I2S 使用 DMA 传输数据时需要注意的三种帧格式：24 位数据打包 32 位帧或 32 位数据打包 32 位帧。

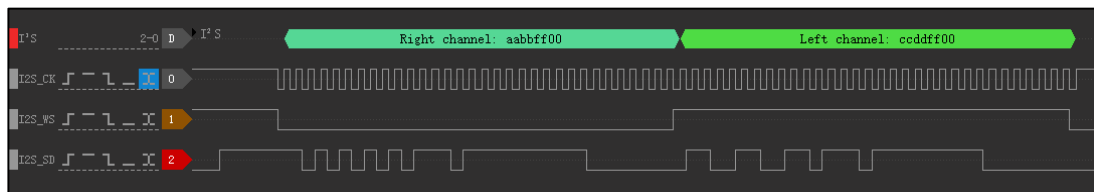
4.1. 24 位数据打包 32 位帧格式测试

4.1.1. DMA 发送

以两个 24-bit 数据为例，DMA 访问宽度配置为 16-bit。若 I2S 传输 0xAABBFF 和 0xCCDDFF 两个数据，如果数据放入一个 `uint16_t` 类型的 `TxBuffer` 数组中，其数据应调整为{0xAABB, 0xFF00, 0xCCDD, 0xFF00}。调整数据后,由 24-bit 调整为 32-bit 数据，源数据左移了 8 位，低 8 位可以填充任意值的数据，传输数据时，I2S 硬件将 32 位帧的低 8 填充为 0x00。

根据 24 位数据打包 32 位帧格式，当使用 DMA 传输时，24 bit 数据的高 16 位在 DMA 第一次访问 Data 寄存器时被写入，低 8 位数据在 DMA 第二次访问 Data 寄存器时被写入。此种帧格式下，数据传输的时序如 [图 4-1. I2S 24 位数据打包 32 位帧的 DMA 发送](#)所示。

图 4-1. I2S 24 位数据打包 32 位帧的 DMA 发送



I2S 输出帧为 32 位，有效数据占据传输帧的高 24 位，其低 8 位被硬件填充为 0x00。

4.1.2. DMA 接收

I2S 使用 DMA 接收数据时，第一次 DMA 访问 Data 寄存器读到 24-bit 数据的高 16 位，第二次 DMA 访问读回 16 位数据中高 8 位是 24-bit 数据的有效数据，低 8 位数据全是 0。在两次 DMA 读取完成一帧 24-bit 数据后，DMA 开始读取下一帧数据。此时 RxBuffer 中存储的数据如 [图 4-2. I2S 24 位数据打包 32 位帧格式下接收数据存储](#)所示：

图 4-2. I2S 24 位数据打包 32 位帧格式下接收数据存储

i2s2_rxbuffer	0x20000018 i2s2_rxbuf...	unsigned short[4]
[0]	0xAABB	unsigned short
[1]	0xFF00	unsigned short
[2]	0xCCDD	unsigned short
[3]	0xFF00	unsigned short

由于 GD32 MCU 存储数据采用小端模式，如果不调整 RxBuffer 中的数据，以 uint32_t 型指针访问 RxBuffer 时，读取的值则变成 0xFF00AABB 和 0xFF00CCDD。因此需要将读出的 uint32_t 型数据的高 16 位与低 16 位交换位置。

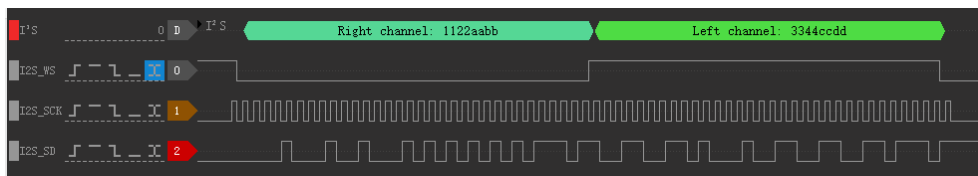
4.2. 32 位数据打包 32 位帧格式测试

4.2.1. DMA 发送

以两个 32-bit 数据为例，DMA 访问宽度配置为 16-bit。若 I2S 传输 0x1122AABB 和 0x3344CCDD 两个数据，如果数据放入一个 uint16_t 类型的 Buffer 数组中，其数据应调整为 {0x1122, 0xAABB, 0x3344, 0xCCDD}。

根据 32 位数据打包 32 位帧格式，当使用 DMA 传输时，32bit 数据的高 16 位在 DMA 第一次访问 Data 寄存器时被写入，低 16 位数据在 DMA 第二次访问 Data 寄存器时被写入。此种帧格式下，数据传输的时序如 [图 4-3. I2S 32 位数据打包 32 位帧的 DMA 发送](#) 所示。

图 4-3. I2S 32 位数据打包 32 位帧的 DMA 发送



4.2.2. DMA 接收

I2S 使用 DMA 接收数据时，第一次 DMA 访问 Data 寄存器读到 32-bit 数据的高 16 位，第二次 DMA 访问读到 32-bit 数据的低 16 位。在两次 DMA 读取完成一帧 32-bit 数据后，DMA 开始读取下一帧数据。此时 RxBuffer 中存储的数据如 [图 4-4. I2S 32 位数据打包 32 位帧格式下接收数据存储](#) 所示：

图 4-4. I2S 32 位数据打包 32 位帧格式下接收数据存储

i2s2_rxbuffer	0x20000018 i2s2_rxbuf...	unsigned short[4]
[0]	0x1122	unsigned short
[1]	0xAABB	unsigned short
[2]	0x3344	unsigned short
[3]	0xCCDD	unsigned short

由于 GD32 MCU 存储数据采用小端模式，如果不调整 RxBuffer 中的数据，以 uint32_t 型指针

访问 RxBuffer 时,读取的值则变成 0xAABB1122 和 0xCCDD3344。因此需要将读出的 uint32_t 型数据的高 16 位与低 16 位交换位置。

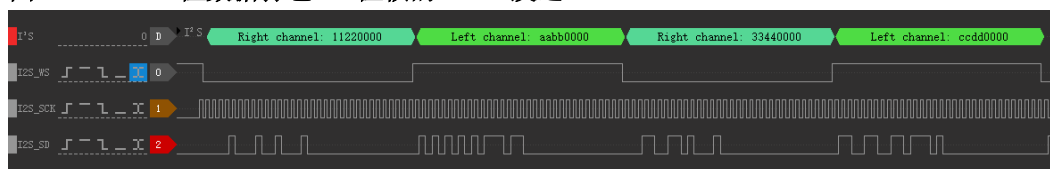
4.3. 16 位数据打包 32 位帧格式测试

4.3.1. DMA 发送

以 4 个 16-bit 数据为例, DMA 访问宽度配置为 16-bit。I2S 传输的数据为{0x1122, 0x3344, 0x5566, 0x7788}。

根据 16 位数据打包 32 位帧格式, 当使用 DMA 传输时, 只需要执行一次 DMA 写入, I2S 硬件会自动将 16 位数据扩展成 32 位帧, 并将 32 位帧的低 16 位填充为 0x0000。此种帧格式下, 数据传输的时序如 [图 4-5. I2S 16 位数据打包 32 位帧的 DMA 发送](#) 所示。

图 4-5. I2S 16 位数据打包 32 位帧的 DMA 发送



I2S 输出帧为 32 位, 有效数据占据传输帧的高 16 位, 其低 16 位被硬件填充为 0x0000。

4.3.2. DMA 接收

I2S 使用 DMA 接收数据时, DMA 只需要执行一次读访问, 就能完有效数据的读取。I2S 硬件会自动丢被填充的数据。在 DMA 读取完成一帧 16-bit 有效数据后, DMA 开始读取下一帧数据。此时 RxBuffer 中存储的数据如 [图 4-6. I2S 16 位数据打包 32 位帧格式下接收数据存储](#) 所示:

图 4-6. I2S 16 位数据打包 32 位帧格式下接收数据存储

i2s2_rxbuffer		0x20000018 i2s2_rxbuf...	unsigned short[4]
[0]	0x1122		unsigned short
[1]	0x3344		unsigned short
[2]	0x5566		unsigned short
[3]	0x7788		unsigned short

此帧格式下, RxBuffer 中的数据无需再次进行大小端的调整。

5. 版本历史

表 5-1. 版本历史

版本号.	说明	日期
1.0	首次发布	2023 年 9 月 5 日

Important Notice

This document is the property of GigaDevice Semiconductor Inc. and its subsidiaries (the "Company"). This document, including any product of the Company described in this document (the "Product"), is owned by the Company under the intellectual property laws and treaties of the People's Republic of China and other jurisdictions worldwide. The Company reserves all rights under such laws and treaties and does not grant any license under its patents, copyrights, trademarks, or other intellectual property rights. The names and brands of third party referred thereto (if any) are the property of their respective owner and referred to for identification purposes only.

The Company makes no warranty of any kind, express or implied, with regard to this document or any Product, including, but not limited to, the implied warranties of merchantability and fitness for a particular purpose. The Company does not assume any liability arising out of the application or use of any Product described in this document. Any information provided in this document is provided only for reference purposes. It is the responsibility of the user of this document to properly design, program, and test the functionality and safety of any application made of this information and any resulting product. Except for customized products which has been expressly identified in the applicable agreement, the Products are designed, developed, and/or manufactured for ordinary business, industrial, personal, and/or household applications only. The Products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems designed or intended for the operation of weapons, weapons systems, nuclear installations, atomic energy control instruments, combustion control instruments, airplane or spaceship instruments, transportation instruments, traffic signal instruments, life-support devices or systems, other medical devices or systems (including resuscitation equipment and surgical implants), pollution control or hazardous substances management, or other uses where the failure of the device or Product could cause personal injury, death, property or environmental damage ("Unintended Uses"). Customers shall take any and all actions to ensure using and selling the Products in accordance with the applicable laws and regulations. The Company is not liable, in whole or in part, and customers shall and hereby do release the Company as well as its suppliers and/or distributors from any claim, damage, or other liability arising from or related to all Unintended Uses of the Products. Customers shall indemnify and hold the Company as well as its suppliers and/or distributors harmless from and against all claims, costs, damages, and other liabilities, including claims for personal injury or death, arising from or related to any Unintended Uses of the Products.

Information in this document is provided solely in connection with the Products. The Company reserves the right to make changes, corrections, modifications or improvements to this document and Products and services described herein at any time, without notice.