

**GigaDevice Semiconductor Inc.**

**Arm<sup>®</sup> Cortex<sup>®</sup>-M3/4/23/33 32-bit MCU**

**应用笔记**

**AN037**

# 目录

目录.....	2
图索引.....	3
表索引.....	4
1. 简介.....	5
1.1. HPDF 主要特性.....	5
1.2. HPDF 与 $\Sigma$ - $\Delta$ 调制器.....	5
2. MAC 音频播放方案.....	7
2.1. 单声道方案.....	7
2.2. 立体声方案.....	7
3. 立体声方案中 HPDF 的配置.....	9
3.1. 转换 PDM 数据流的流程.....	9
3.2. 时钟与音频采样率.....	9
3.3. HPDF 模块配置.....	9
3.4. I2S 与 DMA 模块配置.....	11
4. 版本历史.....	14

## 图索引

图 1-1. HPDF 与 $\Sigma\text{-}\Delta$ 调制器连接框图 .....	6
图 2-1. HPDF 单声道音频方案 .....	7
图 2-2. HPDF 立体声音频方案 .....	8

## 表索引

表 3-1. 音频数据输出速率 .....	9
表 3-2. GD 工程下的 HPDF 配置 .....	10
表 3-3. GD 工程下的 DMA 配置 .....	12
表 3-4. GD 工程下的 I2S 配置 .....	13
表 4-1. 版本历史 .....	14

## 1. 简介

GD32W51x内部集成了一种专门用于外部 $\Sigma$ - $\Delta$ 调制器的高性能数字滤波器模块(HPDF)。HPDF支持SPI接口和曼彻斯特编码单线接口，通过串行接口可将外部的 $\Sigma$ - $\Delta$ 调制器与MCU连接，并对 $\Sigma$ - $\Delta$ 调制器输出的串行数据流进行滤波。此外，HPDF还支持并行数据流输入功能，实现对MCU内部存储器里的数据进行滤波处理。

本文提供了一种基于HPDF和I2S模块的实时播放音频信号方案，并详细介绍了HPDF模块的配置方法。以便客户能够更快速地学会使用GD32 MCU的HPDF模块。

### 1.1. HPDF 主要特性

- 2 个复用数字串行输入通道：
  - 可配置的SPI和曼切斯特接口；
- 2 个内部数字并行输入通道：
  - 高达 16 位分辨率的输入；
- 可配置的 Sinc 滤波器和积分器：
  - 可配置 Sinc 滤波器的阶数、过采样率（抽取率）；
  - 可配置积分器的采样率；
- 阈值监视功能：
  - 独立的 Sinc 滤波器，可配置阶数和过采样率（抽取率）；
  - 可配置的数据输入源：串行通道输入数据或 HPDF 输出数据；
- 故障监视功能：
  - 拥有 8 位的计数器，用于监视串行通道输入数据流中连续的 0 或 1；
- 极值监视器功能：
  - 存储 HPDF 输出数据的最大值和最小值；
- 高达 24 位的输出数据分辨率；
- 可向外部  $\Sigma$ - $\Delta$  调制器提供时钟信号：
  - 通过 CKOUT 引脚提供可配置的时钟信号；
- 具有灵活的转换配置功能：
  - 转换通道分为规则组和注入组；
  - 支持多种转换模式和启动模式；
- HPDF 输出数据为有符号格式；

### 1.2. HPDF 与 $\Sigma$ - $\Delta$ 调制器

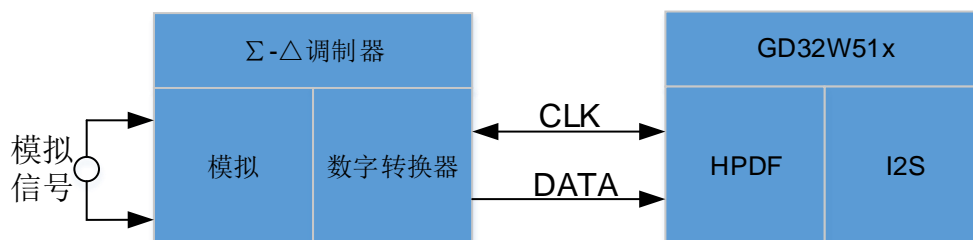
HPDF模块需要与外部 $\Sigma$ - $\Delta$ 调制器配合使用，其连接方式如[图1-1. HPDF与 \$\Sigma\$ - \$\Delta\$ 调制器连接框图](#)所示。

外部 $\Sigma$ - $\Delta$ 调制器将模拟信号转换为数字1位流（DATA和CLK信号），从而对外部模拟信号进行处理。1位流是逻辑1和0的快速串行线流：DATA信号由CLK（时钟信号）采样。在足够长的持续时间内计算的这些逻辑1和0的平均值表示模拟输入值。取平均值周期的持续时间决定了模拟输

入信号捕获的精度。

由GD32微控制器HPDF外设对1位流取平均值，HPDF获取并处理1位数据流（数字滤波，取平均）。HPDF以低于输入1位流的数据速率、更高的分辨率输出数据样本。HPDF数字滤波器设置输出分辨率和数据速率。

图 1-1. HPDF 与  $\Sigma$ - $\Delta$  调制器连接框图



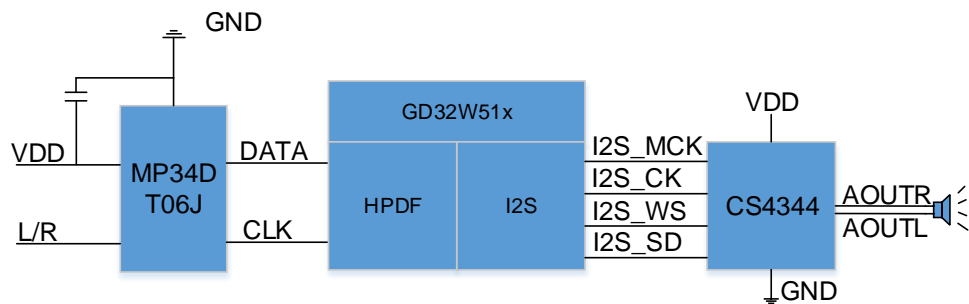
如[图1-1. HPDF与 \$\Sigma\$ - \$\Delta\$ 调制器连接框图](#)所示，GD32 MCU的HPDF模块使用两根线与 $\Sigma$ - $\Delta$ 调制器连接，作为串行通信的信号线。两根信号线分别为数据（DATA）线和时钟（CLK）线。时钟信号可由 $\Sigma$ - $\Delta$ 调制器产生，也可由HPDF模块产生。

## 2. MAC 音频播放方案

### 2.1. 单声道方案

基于 HPDF 模块的单声道音频播放方案如[图 2-1. HPDF 单声道音频方案](#)所示。此方案中 HPDF 模块使用一个串行通道与外部  $\Sigma$ - $\Delta$  调制器连接。由于外部只有一个  $\Sigma$ - $\Delta$  调制器连接，故该方案只能采集左/右声道的数据。

图 2-1. HPDF 单声道音频方案

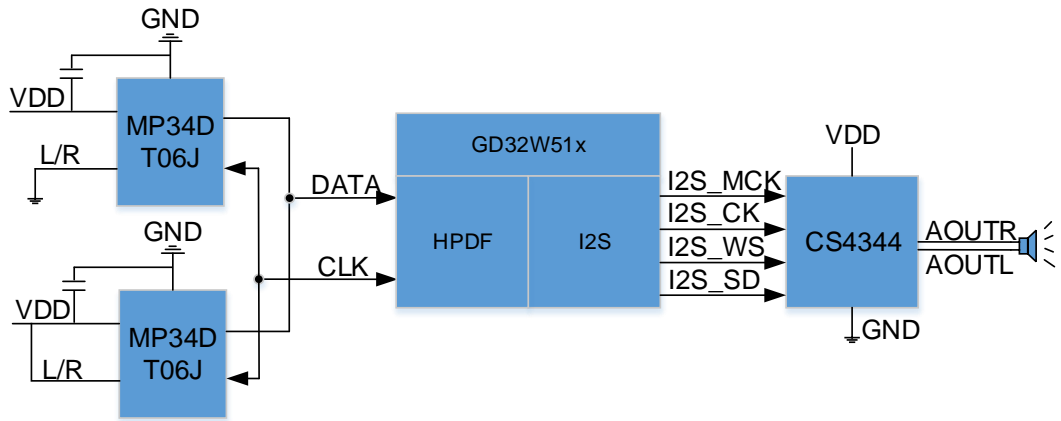


### 2.2. 立体声方案

基于 HPDF 模块的立体声音频播放方案如[图 2-2. HPDF 立体声音频方案](#)所示。此方案中 HPDF 模块使用两个串行通道与外部两个  $\Sigma$ - $\Delta$  调制器连接，而信号线是共享一组 DATA 和 CLK 信号线。

立体声方案中需要使用 HPDF 的通道引脚重定向功能。通道引脚重定向是指 HPDF 模块的串行通道 0 的引脚可以配置为通道 1 的引脚，即通道 0 可从 MCU 的 DATAIN1 和 CKIN1 引脚读取信息。引脚重定向功能适用于采集 PDM 麦克风的音频数据。PDM 麦克风音频信号包含数据和时钟信号，数据分为左/右通道数据，左通道数据在时钟信号的上升沿采集，右通道数据在时钟信号的下降沿采集。

图 2-2. HPDF 立体声音频方案





### 3. 立体声方案中 HPDF 的配置

#### 3.1. 转换 PDM 数据流的流程

PDM 麦克风数据流输入串行通道时，其配置流程如下：

1. 选择 PDM 麦克风数据流输入的 HPDF 串行通道 1。
2. 将通道 1 的 HPDF\_CHxCTL 寄存器中的 CHPINSEL 位写 0，通道 1 的输入引脚为自身引脚 DATAIN1 和 CKIN1。将 SITYP[1:0]=0，串行数据流在时钟信号的上升沿被采样，即通道 1 输入的为左通道数据。
3. 将通道 0 的 CHPINSEL 位置 1，通道 0 的输入引脚为引脚 DATAIN1 和 CKIN1。将 SITYP[1:0]=1，串行数据流在时钟信号的下降沿被采样，即通道 0 输入的为右通道数据。
4. 将通道 0 和通道 1 配置相应的滤波器，对 PDM 麦克风左右通道数据进行滤波处理。

上述流程中的 CKIN 引脚，也可改为使用 HPDF 共用的 CKOUT 引脚。

#### 3.2. 时钟与音频采样率

HPDF 要输出指定采样频率的音频数据，需要配置 HPDF 模块 CKOUT 时钟、通道滤波器参数和积分器参数。使用串行数据流作为输入源，HPDF 输出音频数据的计算公式如[表 3-1. 音频数据输出速率](#)。

表 3-1. 音频数据输出速率

输入源	转换模式	滤波器类型	输出数据速率 (采样/秒)
串行输入	非快速模式 (FAST=0)	Sinc <sup>X</sup>	$\frac{f_{CKOUT}}{SFOR \times (IOR - 1 + SFO) + (SFO + 1)}$
	非快速模式 (FAST=0)	Sinc <sup>X</sup>	$\frac{f_{CKOUT}}{SFOR \times (IOR - 1 + 4) + (2 + 1)}$
	快速模式 (FAST=1)	FastSinc 和 Sinc <sup>X</sup>	$\frac{f_{CKOUT}}{SFOR \times IOR}$

注：表中 SFOR 表示滤波器过采样率，SFO 表示滤波器阶数，IOR 表示积分器过采样率， $f_{CKOUT}$  表示 HPDF 输出的时钟 CKOUT。

#### 3.3. HPDF 模块配置

以快速模式为例，假设要配置的音频采样率为 16KHz，HPDF 模块的滤波器选择 3 阶 Sinc 滤波器，过采样率为 64，积分器旁路 (IOR = 1)，则  $f_{CKOUT} = 1.2042\text{MHz}$ 。如果 HPDF 选择 CK\_HPDF 作为模块的工作时钟源，则 CK\_HPDF = CK\_APB2 = 90MHz，且 CKOUT 的时钟分频系数为 88。

参考 HPDF 用户手册，可知 Sinc3 滤波器，SFOR = 64 时，HPDF 输出数据的最大有效分辨率为 19 位，输出的音频数据可以不进行右移操作。HPDF 模块的详细配置如[表 3-2. GD 工程下的 HPDF 配置](#)。

**表 3-2. GD 工程下的 HPDF 配置**

```

/*!
\brief      configure the HPDF
\param[in]  none
\param[out] none
\retval    none
*/
void hpdf_config(void)
{
    hpdf_channel_parameter_struct hpdf_channel_init_struct;
    hpdf_filter_parameter_struct hpdf_filter_init_struct;
    hpdf_rc_parameter_struct hpdf_rc_init_struct;

    /* reset HPDF */
    hpdf_deinit();

    /* initialize the parameters */
    hpdf_channel_struct_para_init(&hpdf_channel_init_struct);
    hpdf_filter_struct_para_init(&hpdf_filter_init_struct);
    hpdf_rc_struct_para_init(&hpdf_rc_init_struct);

    /* configure serial clock output */
    hpdf_clock_output_config(SERIAL_SYSTEM_CLK,CKOUTDIV_88,CKOUTDM_ENABLE);

    /* initialize HPDF channel0 */
    hpdf_channel_init_struct.data_packing_mode      = DPM_STANDARD_MODE;
    hpdf_channel_init_struct.channel_pin_select     = CHPINSEL_NEXT;
    hpdf_channel_init_struct.ck_loss_detector       = CLK_LOSS_DISABLE;
    hpdf_channel_init_struct.malfunction_monitor    = MM_ENABLE;
    hpdf_channel_init_struct.spi_ck_source          = INTERNAL_CKOUT;
    hpdf_channel_init_struct.channel_muxlexer       = SERIAL_INPUT;
    hpdf_channel_init_struct.serial_interface       = SPI_FALLING_EDGE;
    hpdf_channel_init_struct.calibration_offset     = 0;
    hpdf_channel_init_struct.right_bit_shift        = 0;
    hpdf_channel_init_struct.tm_filter              = TM_FASTSINC;
    hpdf_channel_init_struct.tm_filter_oversample   = TM_FLT_BYPASS;
    hpdf_channel_init_struct.mm_break_signal        = DISABLE;
    hpdf_channel_init_struct.mm_counter_threshold   = 255;
    hpdf_channel_init_struct.plsk_value             = 0;
    hpdf_channel_init(CHANNEL0, &hpdf_channel_init_struct);

```

```

/* initialize HPDF channel1 */
hpdf_channel_init_struct.channel_pin_select    = CHPINSEL_CURRENT;
hpdf_channel_init_struct.serial_interface     = SPI_RISING_EDGE;
hpdf_channel_init(CHANNEL1, &hpdf_channel_init_struct);

/* initialize HPDF filter0 and filter1 */
hpdf_filter_init_struct.sinc_filter           = FLT_SINC3;
hpdf_filter_init_struct.sinc_oversample      = FLT_OVER_SAMPLE_64;
hpdf_filter_init_struct.integrator_oversample = INTEGRATOR_BYPASS;
hpdf_filter_init(FLT0, &hpdf_filter_init_struct);
hpdf_filter_init(FLT1, &hpdf_filter_init_struct);

/* initialize HPDF filter0 regular conversions */
hpdf_rc_init_struct.fast_mode                = FAST_ENABLE;
hpdf_rc_init_struct.rcs_channel              = RCS_CHANNEL0;
hpdf_rc_init_struct.rcdmaen                  = RCDMAEN_ENABLE;
hpdf_rc_init_struct.continuous_mode          = RCCM_ENABLE;
hpdf_rc_init(FLT0, &hpdf_rc_init_struct);

/* initialize HPDF filter1 regular conversions */
hpdf_rc_init_struct.rcs_channel              = RCS_CHANNEL1;
hpdf_rc_init(FLT1, &hpdf_rc_init_struct);

/* enable channel */
hpdf_channel_enable(CHANNEL0);
hpdf_channel_enable(CHANNEL1);
/* enable filter */
hpdf_filter_enable(FLT0);
hpdf_filter_enable(FLT1);
/* enable the HPDF module globally */
hpdf_enable();
/* enable regular channel conversion by software */
hpdf_rc_start_by_software(FLT0);
hpdf_rc_start_by_software(FLT1);
}
    
```

如表 3-2. GD 工程下的 HPDF 配置中配，HPDF 使用了 2 个通道作为规则组转换通道，通道 0 在 CKOUT 时钟的上升沿采样右声道数据，通道 1 在下降沿采样左声道数据。

### 3.4. I2S 与 DMA 模块配置

HPDF 转换的音频数据通过 DMA 将数据搬到 Buffer 中。由于采用的是立体声方案，所以需要

2 个 DMA 通道。将数据分别放置左右声道的数据 Buffer 中，然后再将左右声道的数据依次交替存入音频播放数据的 Buffer 中。I2S 则从音频播放数据 Buffer 中读取音频数据。DMA 配置如 [表 3-3. GD 工程下的 DMA 配置](#)。

**表 3-3. GD 工程下的 DMA 配置**

```

/*!
 * \brief      configure DMA
 * \param[in]  none
 * \param[out] none
 * \retval     none
 */
void dma_config(void)
{
    dma_single_data_parameter_struct dma_init_parameter;
    dma_single_data_para_struct_init(&dma_init_parameter);
    /* deinitialize DMA1_CH1 */
    dma_deinit(DMA1, DMA_CH1);
    /* configure DMA1_CH1 */
    dma_init_parameter.periph_addr      = (int32_t)&HPDF_FLTyRDATA(FLT0);
    dma_init_parameter.periph_inc      = DMA_PERIPH_INCREASE_DISABLE;
    dma_init_parameter.memory0_addr    = (uint32_t)pcm_right_data;
    dma_init_parameter.memory_inc      = DMA_MEMORY_INCREASE_ENABLE;
    dma_init_parameter.periph_memory_width = DMA_PERIPH_WIDTH_32BIT;
    dma_init_parameter.circular_mode    = DMA_CIRCULAR_MODE_ENABLE;
    dma_init_parameter.direction       = DMA_PERIPH_TO_MEMORY;
    dma_init_parameter.number          = BUFFER_SIZE;
    dma_init_parameter.priority        = DMA_PRIORITY_ULTRA_HIGH;
    dma_single_data_mode_init(DMA1, DMA_CH1, &dma_init_parameter);
    /* connect DMA1_CH1 to HPDF_FLT0 */
    dma_channel_subperipheral_select(DMA1, DMA_CH1, DMA_SUBPERI7);
    /* enable DMA channel */
    dma_channel_enable(DMA1, DMA_CH1);

    /* deinitialize DMA1_CH2 */
    dma_deinit(DMA1, DMA_CH2);
    /* configure DMA1_CH2 */
    dma_init_parameter.periph_addr     = (int32_t)&HPDF_FLTyRDATA(FLT1);
    dma_init_parameter.memory0_addr    = (uint32_t)pcm_left_data;
    dma_init_parameter.priority        = DMA_PRIORITY_HIGH;
    dma_single_data_mode_init(DMA1, DMA_CH2, &dma_init_parameter);
    /* connect DMA1_CH2 to HPDF_FLT1 */
    dma_channel_subperipheral_select(DMA1, DMA_CH2, DMA_SUBPERI7);
    /* enable DMA channel */
    dma_channel_enable(DMA1, DMA_CH2);
}
    
```

```
}

```

HPDF 输出的数据由 I2S 进行播放，参考上小节，可将 I2S 的音频采样率配置为 16KHz，数据通道为 16 bit，使用 MSB 标准模式。I2S 配置如[表 3-4. GD 工程下的 I2S 配置](#)。

**表 3-4. GD 工程下的 I2S 配置**

```

/*!
  \brief      configure the I2S peripheral
  \param[in]  none
  \param[out] none
  \retval    none
*/
void i2s_config()
{
    spi_i2s_deinit(SPI1);
    /* I2S1 peripheral configuration */
    i2s_psc_config(SPI1, I2S_AUDIOSAMPLE_16K, I2S_FRAMEFORMAT_DT16B_CH16B,
    I2S_MCKOUT_ENABLE);
    i2s_init(SPI1, I2S_MODE_MASTERTX, I2S_STD_MSB, I2S_CKPL_HIGH);
    /* enable the I2S1 peripheral */
    i2s_enable(SPI1);
}

```

## 4. 版本历史

表 4-1. 版本历史

版本号.	说明	日期
1.0	首次发布	2021 年 12 月 13 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.