使用 PDM 麥克風錄製聲音

NuMicro® 32 位系列微控制器範例代碼介紹

文件資訊

應用簡述	在沒有 PDM 麥克風專用介面時，以 SPI 或 I²S 介面連接 PDM 麥克風接收 PDM 格式的聲音資料，再用軟體轉換成 PCM 格式。透過 USB Audio Class (UAC) 做為一個聲音裝置，提供給主機端錄音。
BSP 版本	M480 Series BSP CMSIS V3.05.001
開發平台	NuMaker-PFM-M487 v3.0

The information described in this document is the exclusive intellectual property of Nuvoton Technology Corporation and shall not be reproduced without permission from Nuvoton.

Nuvoton is providing this document only for reference purposes of NuMicro microcontroller and microprocessor based system design. Nuvoton assumes no responsibility for errors or omissions.

All data and specifications are subject to change without notice.

For additional information or questions, please contact: Nuvoton Technology Corporation.

www.nuvoton.com

1 概述

PDM 麥克風有兩條訊號線，一個是資料，另一個是時脈。當微控制器沒有專門介面連接 PDM 麥克風時，可以採用 SPI 或 I²S 介面讀取這個 1-bit 的資料串流。

這個範例選用 NuMicro M487 微控制器的 SPI 或 I²S 介面讀取 PDM 麥克風的資料，再透過抽取 (Decimation)、高通和低通濾波器將 PDM 資料轉換成常用的 PCM 格式。這個範例也是個 USB Audio Class 裝置。主機可以透過 USB 錄得聲音。

濾波器原始碼是 STMicroelectronics 以 Apache License 釋出在 Mbed OS 網站 (*1) 給 STM MP45D 與 MP34D 系列的 MEMS 麥克風使用。配件採用配置一個 MP34D MEMS 麥克風的 Adafruit 4346 模組 (*2) 。

1.1 執行結果

觀看執行輸出，請先確認 Nu-Link 設定開關 ISW1 如圖示，再連接 Nu-Link 的 USB 到 PC 。

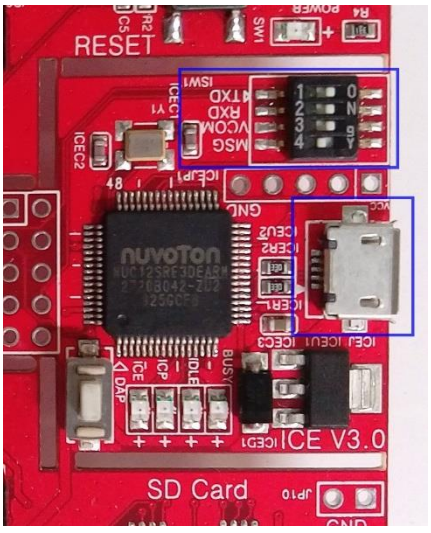

圖 1-1 Nu-Link 的設定開關與 USB

*1 https://os.mbed.com/teams/ST/code/X_NUCLEO_CCA02M1/file/53f8b511f2a1/Middlewares/OpenPDM2PCM/

*2 https://www.adafruit.com/product/4346

執行 COM 工具開啟對應的 COM 埠。當 NuMaker-PFM-M487 接上電源，COM 工具可以看到如下的訊息。

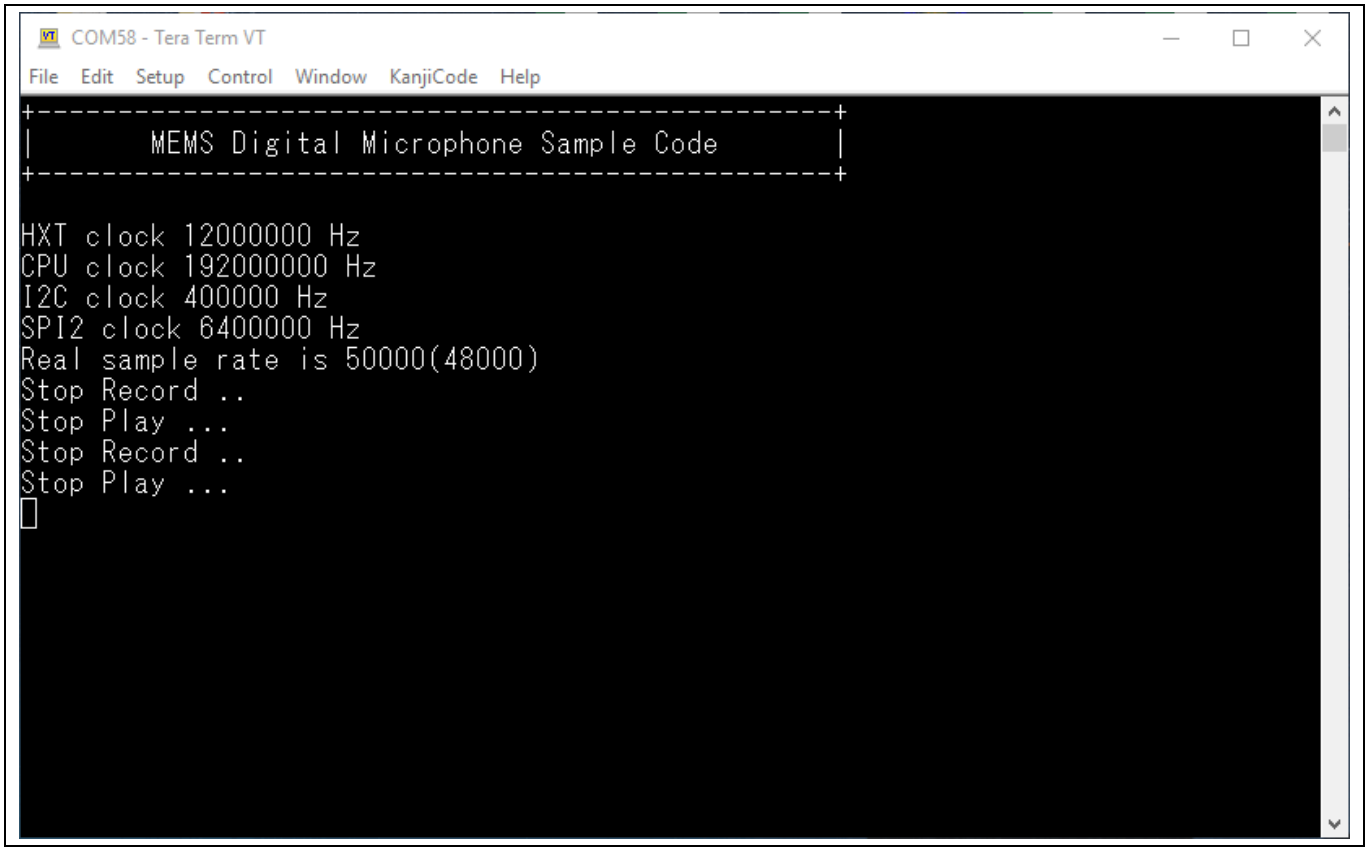

圖 1-2 NuMaker-PFM-M487 開機執行本範例的輸出訊息

再連接 NuMaker-PFM-M487 的 USB 2.0 到 PC，此時 PC 會認出一個 USB Audio 裝置。

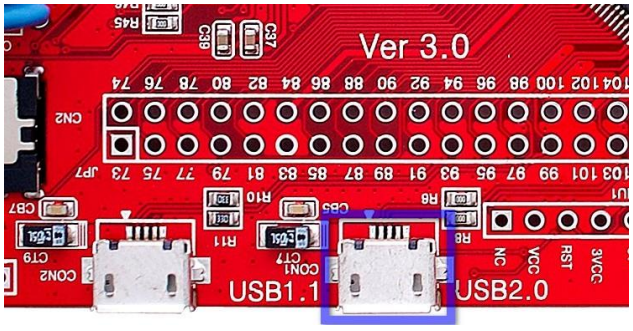

圖 1-3 NuMaker-PFM-M487 USB 2.0 埠

在 PC 上執行錄音軟體，選取 USB Audio 為錄音裝置，啟動錄音即可。

2 代碼介紹

2.1 啟始

在 main.c 裡啟始 M487 的 UART、I²C、I²S、SPI、Timer、NAU88L25 和 HSUSBD，再以一個無限迴圈檢查 USB Audio Class 狀態以及處理錄音的資料。

```
int main(void)
{
    uint32_t volatile i;

    /* Init System, peripheral clock and multi-function I/O */
    SYS_Init();
    /* Init UART for printf */
    UART_Init();

    printf("+-----------------------------------------------------+\n");
    printf("|       MEMS Digital Microphone Sample Code           |\n");
    printf("+-----------------------------------------------------+\n\n");
    printf("HXT clock %d Hz\n", CLK_GetHXTFreq());
    printf("CPU clock %d Hz\n", CLK_GetCPUFreq());

    /* Init I2C2 to access NAU88L25 */
    I2C2_Init();

#if ENABLE_PDM

  #if PDM_ON_SPI
    SPI2_Init();
  #else
    I2S0_Init();
  #endif
    PDM_MIC_Init();

#else
    I2S0_Init();
#endif

    /* Configure PDMA */
    PDMA_Init();

    HSUSBD_Open(&gsHSInfo, UAC_ClassRequest, UAC_SetInterface);

    /* Endpoint configuration */
    UAC_Init();
    NVIC_EnableIRQ(USBD20_IRQn);
    HSUSBD_Start();

    while(1)
    {
        if (g_usbd_rxflag)
        {
            UAC_GetPlayData();
        }
        else if(u8AudioPlaying && (u8TxDataCntInBuffer < 1))
        {
            UAC_DeviceDisable(1);
```

```
        }

        if ((g_usbd_UsbAudioState == UAC_START_AUDIO_RECORD) && g_usbd_txflag)
        {
            UAC_SendRecData();
        }

        if ((u8TxDataCntInBuffer != 0) && ((++i % 0x50000) == 0))
        {
            printf("%d <-> %d\n", u8TxDataCntInBuffer, u8RxDataCntInBuffer);
        }
#if ENABLE_PDM
        if ((g_usbd_UsbAudioState == UAC_START_AUDIO_RECORD) && (gu8SpiRxCnt > 0))
        {
            process_pdm_data();
        }
#endif
    }
}
```

2.2 編譯定義

本範例修改自 M480BSP 的 HSUSBD_Audio10_Codec 範例，支援 NAU88L25 錄放音。編譯選項在 *pdm_converter.h*

- *ENABLE_PDM*
  - 0 : 以 NAU88L25 做為錄音輸入
  - 1 : 以 PDM 麥克風做為聲音輸入 (預設)
- *PDM_ON_SPI*
  - 0 : PDM 麥克風接在 I2S0 介面
  - 1 : PDM 麥克風接在 SPI2 介面 (PA10 / PA9) (預設)
- *PDM_ON_I2S_ALT*
  - 0 : PDM 麥克風接在 I2S0 介面的 PF10 / PF8。這與 NAU88L25 衝突
  - 1 : PDM 麥克風接在 I2S0 介面的 PE1 / PH8 (預設)

PDM 麥克風的取樣率由 SPI 或 I^2S 輸出的時脈決定。配合濾波器與 USB Audio Class 的設計，對應 PCM 的取樣率僅支援 8K、16K、32K 和 48K Hz。SPI 或 I^2S 會自動設定成最接近需求的時脈輸出。

- *DEAFULT_FREQUENCY*
  - 8000 : 設定 8K Hz 取樣率
  - 16000 : 設定 16K Hz 取樣率

- 32000 : 設定 32K Hz 取樣率
- 48000 : 設定 48K Hz 取樣率 (預設)

目前僅支援一個 PDM 麥克風，因此 *DEFAULT_CHANNELS* 只能設定為 1。

USB Audio Class 回報給主機是固定 48K 取樣率。因此不論麥克風取樣率設定，會再軟體提昇至 48K Hz。這部分不用設定，範例程式裡自動調整。

3 軟體與硬體需求

3.1 軟體需求

- BSP 版本
  - M480 Series BSP CMSIS V3.05.001
- IDE 版本
  - Keil uVision 5.28

3.2 硬體需求

- 電路元件
  - NuMaker-PFM-M487 開發板
  - Adafruit 4346 模組 (搭載 STM MP34D MEMS 麥克風)

PDM 麥克風的 L/R 設定在時脈為低/高時輸出資料。SPI / I²S 為時脈上緣取樣，必須確認 PDM 麥克風的 L/R 設定為低。Adafruit 4346 模組預設 L/R 為高，請如圖 3-1的紅線做切割即可。

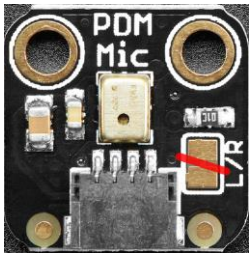

圖 3-1 Adafruit 4346 模組切斷紅線處

■ 示意圖

VDD	↔	VDD (3.3V)
GND	↔	GND
SPI2_MISO (PA.9 / Pin 15)	↔	DAT
SPI2_CLK (PA.10 / Pin 14)	↔	CLK
NuMaker-PFM-M487 開發板		Adafruit 4346 模組

圖 3-2 SPI 介面與 PDM 麥克風線路連接

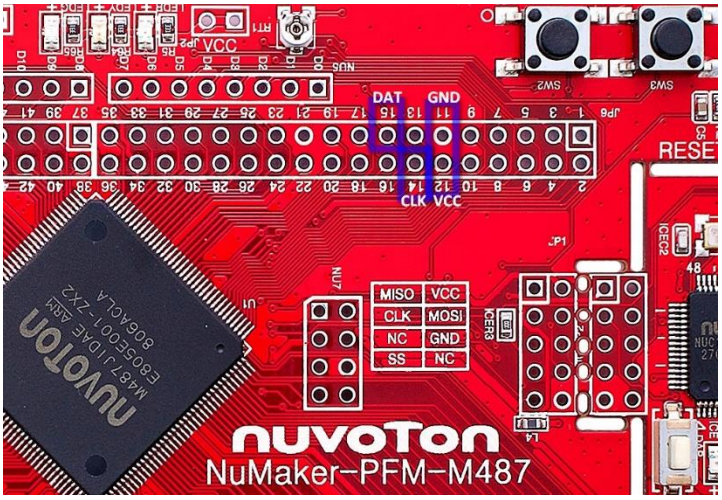

圖 3-3 SPI 介面的接腳

VDD	↔	VDD (3.3V)
GND	↔	GND
I2S0_DI (PH.8 / Pin 119)	↔	DAT
I2S0_BCLK (PE.1 / Pin 117)	↔	CLK
NuMaker-PFM-M487 開發板		Adafruit 4346 模組

圖 3-4 I²S 介面與 PDM 麥克風線路連接

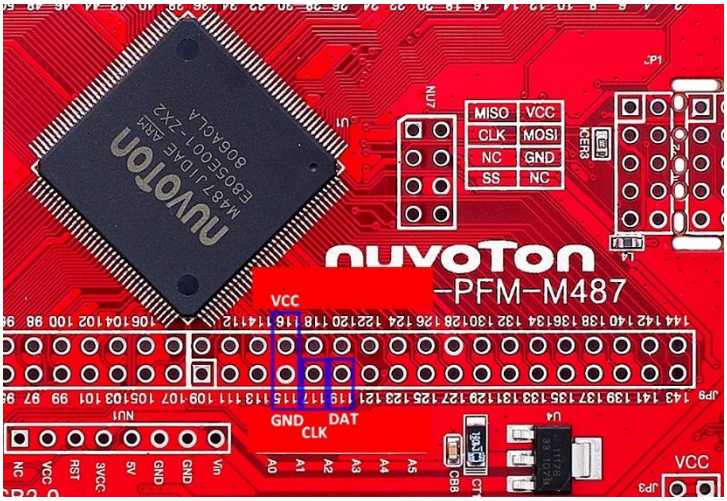

圖 3-5 I²S 介面的接腳

4 目錄資訊

EC_M480_ PDM_Mic_on_SPI_V1.00	
Library	程式庫原始碼檔案
CMSIS	Arm® 的 Cortex® Microcontroller Software Interface Standard (CMSIS) 檔案
Device	CMSIS 相關的裝置檔案
StdDriver	所有週邊介面的檔案
SampleCode	
ExampleCode	範例原始碼檔案
ThirdParty	
OpenPDM2PCM	PDM 轉 PCM 的原始碼檔案

圖 4-1 目錄資訊

5 範例程式執行

1. PC 連接 NuMaker-PFM-M487 開發板的 Nu-Link 的 USB
2. 根據目錄資訊章節進入 *ExampleCode* 路徑中的 *KEIL* 資料夾，雙擊 *PDM_Mic_on_SPI.uvproj*
3. 進入編譯模式介面
   - 編譯
   - 下載代碼至記憶體
4. 如果需要查看輸出的訊息，在 PC 執行一個 COM 工具，baud rate 是 115200
5. PC 連接 NuMaker-PFM-M487 開發板上的 USB 2.0
6. 按下 NuMaker-PFM-M487 開發板上的 RESET 鍵，重新執行 firmware。PC 會認到一個 USB Audio 裝置
7. 在 PC 執行錄音工具軟體， 如免費軟體 Audacity
   - 指定來源為 USB Audio
   - 按下錄音鍵開始錄製
   - 按下停止鍵停止錄音
   - 按播放鍵開始播放錄製的聲音

6 修訂紀錄

Date	Revision	Description
2021.12.30	1.00	1. 初始發布。

Important Notice

Nuvoton Products are neither intended nor warranted for usage in systems or equipment, any malfunction or failure of which may cause loss of human life, bodily injury or severe property damage. Such applications are deemed, "Insecure Usage".

Insecure usage includes, but is not limited to: equipment for surgical implementation, atomic energy control instruments, airplane or spaceship instruments, the control or operation of dynamic, brake or safety systems designed for vehicular use, traffic signal instruments, all types of safety devices, and other applications intended to support or sustain life.

All Insecure Usage shall be made at customer's risk, and in the event that third parties lay claims to Nuvoton as a result of customer's Insecure Usage, customer shall indemnify the damages and liabilities thus incurred by Nuvoton.

Please note that all data and specifications are subject to change without notice.
All the trademarks of products and companies mentioned in this datasheet belong to their respective owners.