M251 QSPI 搭配 PDMA 模擬 PWM 訊號

NuMicro® 32 位元系列微控制器範例程式碼介紹

文件資訊

應用簡述	本範例程式碼使用 M251 的 QSPI 搭配 PDMA 輸出 PWM 訊號
BSP 版本	M251_Series_BSP_CMSIS_V3.02.007
開發平台	NuMaker-M251SD-V1.1

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

本範例程式碼使用 M251 的 QSPI 搭配 PDMA 來輸出 PWM 訊號。

大部分晶片都會自帶 PWM 介面，但如果需要多個 PWM 的輸出，可能會面臨 Channel 數量不夠的問題。如果在應用中有不會用到的其他周邊，便可以藉由該周邊模擬 PWM 訊號。本範例程式碼使用 QSPI 介面搭配 PDMA 輸出 PWM 訊號，PDMA 使用 Scatter-Gather 模式持續進行傳輸。

本範例程式碼不需另接外部硬體模組，若需要觀察輸出訊號，可使用示波器、邏輯分析儀等儀器對輸出波型進行測量。

1.1 原理

要使用 QSPI 模擬 PWM 訊號需要先決定可以控制的最小單位，用以推算出 QSPI 傳送資料的單筆資料大小與一次傳輸需要的資料數量。本範例是以 0.1% 佔空比(duty)為最小可控制單位，可控制範圍在 0.0%~100.0% 佔空比。根據上述，QSPI 傳送的每筆資料大小為 25 bits，每次傳送 40 筆資料，總共用 1000 個 bits 模擬 1 次 PWM 訊號，因此 PWM 訊號頻率為 QSPI 時脈頻率的千分之一。若 QSPI 時脈頻率為 1MHz，則 PWM 訊號頻率為 1kHz。

傳送的資料儲存在元素數量為 40 的陣列中，陣列中元素的值用佔空比做計算。需要三個變數來決定陣列內的元素:佔空比的十倍數、佔空比的十倍數除以 25 的商數、佔空比的十倍數除以 25 的餘數。因為宣告資料類型為整數 unsigned int，不希望包含小數資訊，因此記錄佔空比的十倍數而不是佔空比實際數值。透過將佔空比做除法運算，得出來的商數可以決定在陣列中的哪個元素發生訊號轉折，餘數可以決定是該元素在哪個 bit 發生訊號轉折。

在一個完整的 PWM 訊號週期中，在發生訊號轉折的前訊號皆為 1，發生訊號轉折後訊號皆為 0。以陣列來表示，在發生訊號轉折的元素前元素值皆為 1，發生訊號轉折的元素後元素值皆為 0。發生訊號轉折的元素中，在第(25-餘數)~(25-餘數+1) 個 bit 會從 1 轉換成 0。根據此規則來建立 QSPI 要傳送的陣列。

舉例說明，想模擬佔空比為 63.5%的 PWM，需要在第 25 個元素的第 15~16 個 bit 發生訊號轉折(635/25=25…10)，用移位和邏輯符號決定陣列中第 25 個元素的值為 0x1FFFC00。第 1~24 個元素數值皆為 0x1FFFFFF 模擬訊號值為 1; 第 26~40 個元素數值皆為 0 模擬訊號值為 0。

因為使用 1000 個 bit 去模擬一個完整 PWM 週期訊號，因此 PWM 訊號頻率為 QSPI bit clock 頻率的千分之一。

腳位僅需要用作模擬傳送 PWM 訊號，因此在 multi-pin function 中只需要宣告 MOSI 腳位做輸出，CLK、MISO、SS 腳位皆不需要做宣告使用。

QSPI 的傳送有搭配 PDMA 以加快執行效率。PDMA 執行於 Scatter-gather mode，使用 DSCT 表對 PDMA 進行設定，DSCT 表的內容包括對 PDMA 的傳輸設定值、數據來源位址、數據目的地以及傳送完後的下一個 DSCT 表進行設定。

1.2 執行結果

本範例程式碼執行編譯和燒錄的結果如圖 1-1 所示。

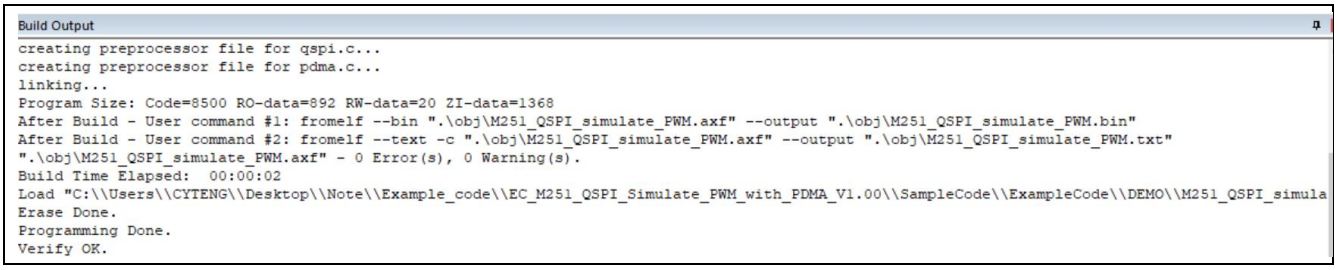

圖 1-1 執行編譯和燒錄結果

使用邏輯分析儀量測輸出 MOSI 訊號腳位(PA0)，PWM 訊號的佔空比取決於傳送資料的修改，圖 1-2 佔空比為 75%下的輸出訊號和圖 1-3 佔空比為 25%下的輸出訊號為佔空比為 75%和 25%下的輸出訊號。

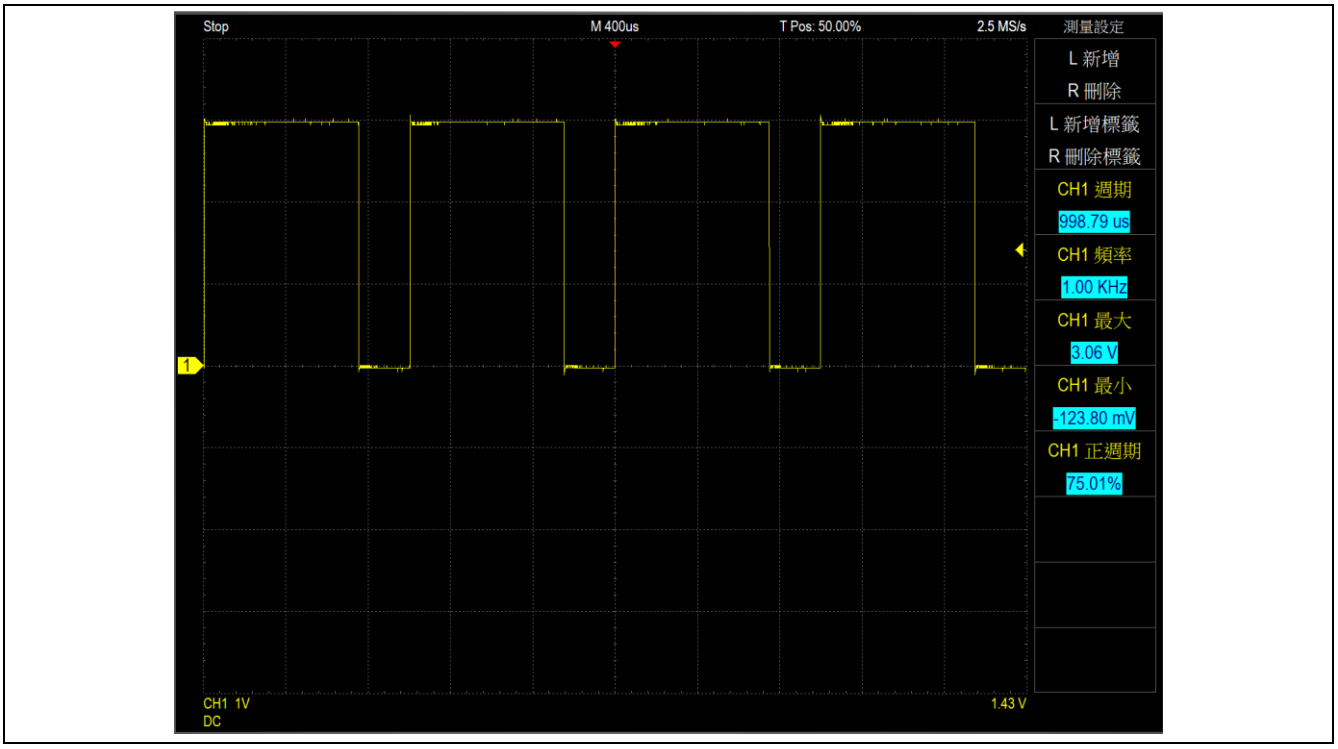

圖 1-2 佔空比為 75%下的輸出訊號

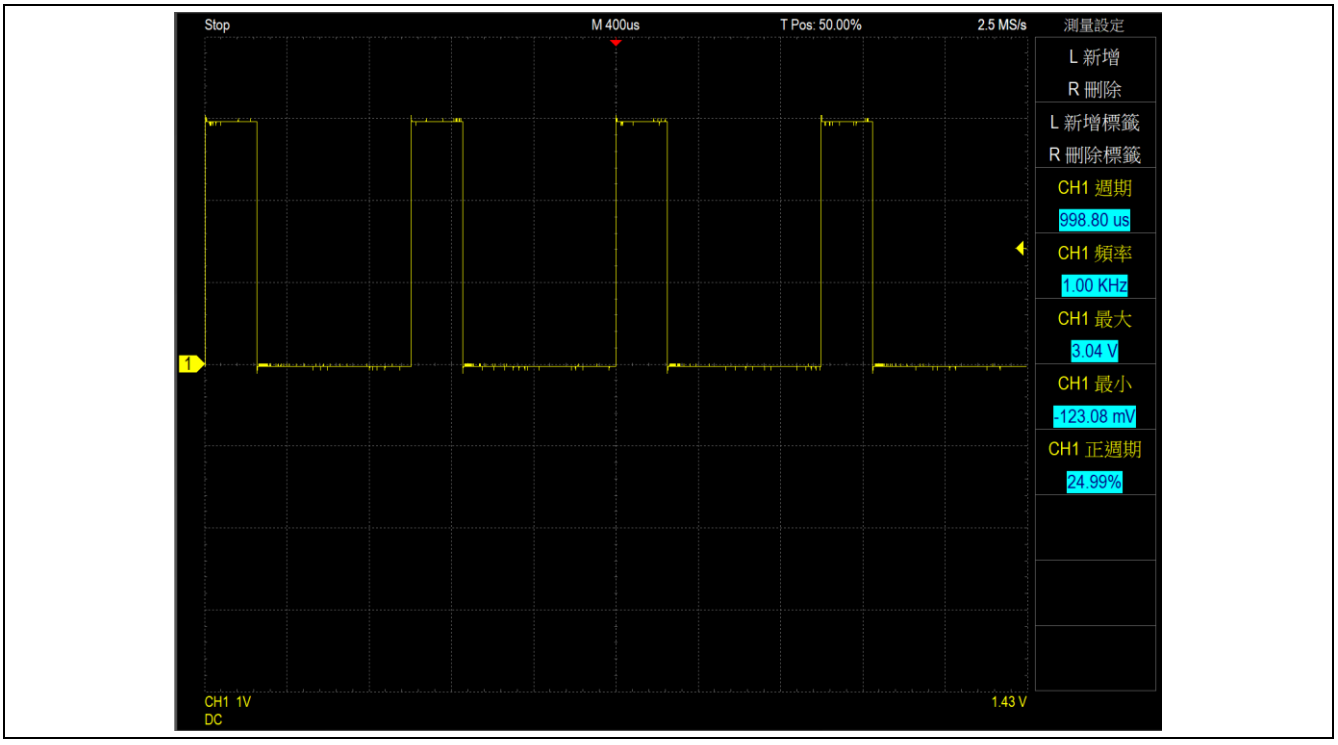

圖 1-3 佔空比為 25%下的輸出訊號

2. 程式碼介紹

初始化系統後，建立 QSPI 傳送資料用到的陣列，透過對變數 Duty_right_now 變數進行計算得到的商數與餘數創建陣列內容。程式碼位於 *main.c*。

```
int32_t main(void)
{
    /* Unlock protected registers */
    SYS_UnlockReg();

    /* Init System, IP clock and multi-function I/O */
    SYS_Init();

    /* Lock protected registers */
    SYS_LockReg();

    /* Init UART */
    UART0_Init();

    /* Calculate Duty array */
    Calculate_Duty_array(Duty_right_now);
```

函數 Calculate_Duty_array 內容，用於計算陣列內容。

```
void Calculate_Duty_array(uint16_t Duty_Value)
{
    uint8_t Duty_remainder, Duty_Quotient;

    /* Calculate Duty parameter about quotient */
    Duty_Quotient = Duty_Value / 25;

    /* Calculate Duty parameter about remainder */
    Duty_remainder = Duty_Value % 25;

    /* Build transmission data array */
    for (uint8_t i = 0; i < 40; i++)
    {

        /*High signal before signal transition*/
        if (i <  Duty_Quotient)
        {
            Duty_array[i] = 0x1FFFFFF;
        }

        /*Signal transition located*/
        else if (i ==  Duty_Quotient)
        {
            Duty_array[i] = 0x1ffffff & (~(0x1ffffff+(1 << (25 - Duty_remainder))));
        }

        /*Low signal after signal transition*/
        else if (i >  Duty_Quotient)
        {
            Duty_array[i] = 0;
        }
    }

}
```

開啟 PDMA 和 QSPI，並對 QSPI 資料傳送間的間隔時間進行設定

```
    /* Open Channel 1, 2 */
    PDMA_Open(PDMA, 1 | 2);

    /* Enable QSPI functions */
    /* Bit clock rate 1 MHz. */
    /* Master mode, 25-bit word width, mode 0. */
    QSPI_Open(QSPI0, SPI_MASTER, SPI_MODE_0, 25, 1000000);

    /* Set Suspend cycle */
    QSPI_SET_SUSPEND_CYCLE(QSPI0, 0);
```

對 PDMA 下 Scatter-gather mode 使用到的 DSCT 表進行設定，以結構體的形式對暫存器 PDMA_DSCTn_CTL、PDMA_DSCTn_SA、PDMA_DSCTn_DA、PDMA_DSCTn_NEXT 進行設定，並且開啟 QSPI 與 PDMA。

```
    /* Define DSCT structure */
    DMA_DESC_T DMA_DESC[2];

    /*DSCT0 Description*/
    DMA_DESC[0].u32Ctl =
        ((40 - 1) << PDMA_DSCT_CTL_TXCNT_Pos) | /* Transfer count is 40 */ \
        PDMA_WIDTH_32 |     /* Transfer width is 32 bits(one word) */ \
        PDMA_SAR_INC |      /* Source increment size is 32 bits(one word) */ \
        PDMA_DAR_FIX |      /* Destination increment size is 32 bits(one word) */ \
        PDMA_REQ_SINGLE |   /* Transfer type is single transfer type */ \
        PDMA_BURST_128 |    /* No effect in single transfer type */ \
        PDMA_TBINTDIS_DISABLE |    /* Disable transfer done and table empty interrupt */ \
        PDMA_OP_SCATTER;    /* Operation mode is scatter-gather mode */

    /* Configure source address */
    DMA_DESC[0].u32Src = (uint32_t)Duty_array;

    /* Configure destination address */
    DMA_DESC[0].u32Dest = (uint32_t)&QSPI0->TX;

    /* Configure next descriptor table address */
    DMA_DESC[0].u32Offset = (uint32_t)&DMA_DESC[1] - (PDMA->SCATBA); /* next descriptor
    table is table 2 */

    DMA_DESC[1].u32Ctl =
        ((40 - 1) << PDMA_DSCT_CTL_TXCNT_Pos) | /* Transfer count is 40 */ \
        PDMA_WIDTH_32 |     /* Transfer width is 32 bits(one word) */ \
        PDMA_SAR_INC |      /* Source increment size is 32 bits(one word) */ \
        PDMA_DAR_FIX |      /* Destination increment size is 32 bits(one word) */ \
        PDMA_REQ_SINGLE |   /* Transfer type is single transfer type */ \
        PDMA_BURST_128 |    /* No effect in single transfer type */ \
        PDMA_TBINTDIS_DISABLE |    /* Disable transfer done and table empty interrupt */ \
        PDMA_OP_SCATTER;    /* Operation mode is scatter-gather mode */

    /* Configure source address */
    DMA_DESC[1].u32Src = (uint32_t)Duty_array;

    /* Configure destination address */
    DMA_DESC[1].u32Dest = (uint32_t)&QSPI0->TX;

    /* Configure next descriptor table address */
    DMA_DESC[1].u32Offset = (uint32_t)&DMA_DESC[0] - (PDMA->SCATBA); /* next descriptor
    table is table 1 */
```

設定 PDMA 的 Transfer mode，並開始 QSPI 搭配 PDMA 的傳送。

```
     /* Set transfer mode*/
    PDMA_SetTransferMode(PDMA, 0, PDMA_QSPI0_TX, TRUE, (uint32_t)&DMA_DESC[0]);
```

```
    PDMA_SetTransferMode(PDMA, 1, PDMA_QSPI0_TX, TRUE, (uint32_t)&DMA_DESC[1]);

    /* Start QSPI with PDMA */
    QSPI_TRIGGER_TX_PDMA(QSPI0);
```

3. 軟體與硬體需求

3.1 軟體需求

- BSP 版本
  - M251_Series_BSP_CMSIS_V3.02.007
- IDE 版本
  - Keil uVision 5.39

3.2 硬體需求

- 電路元件
  - NuMaker-M251SD V1.1
- 線路示意圖
  - 將 UART0 TX (PB.13) pin 腳連接到 PC UART RX，以顯示範例程式碼的執行結果。若要測量 PWM 輸出訊號，可以將儀器接在 QSPI0 MOSI (PA.0) pin 腳上測量。

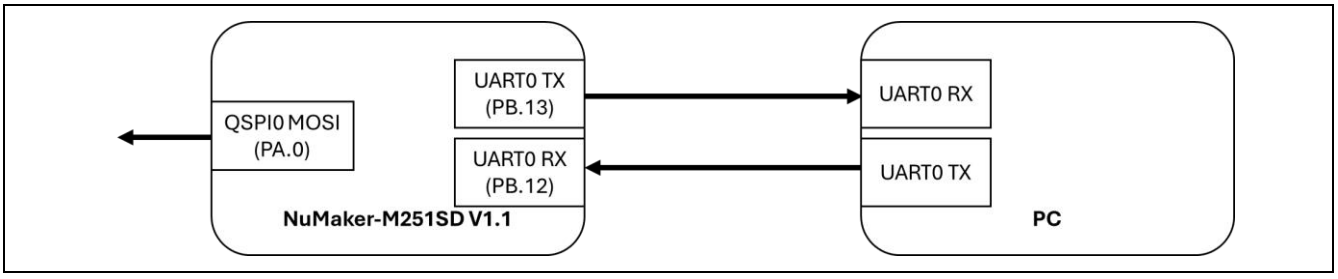

圖 3-1 線路示意圖

4. 目錄資訊

目錄結構如下圖所示。

EC_M251_QSPI_with_PDMA_to_Simulate_PWM_ V1.00	
Library	Sample code header and source files
CMSIS	Cortex® Microcontroller Software Interface Standard (CMSIS) by Arm® Corp.
Device	CMSIS compliant device header file
StdDriver	All peripheral driver header and source files
SampleCode	
ExampleCode	
Project	Source file of example code

圖 4-1 目錄資訊

5. 範例程式執行

1. 根據目錄資訊章節進入 ExampleCode 路徑中的 KEIL 資料夾，雙擊 *M251_QSPI_with_PDMA_to_Simulate_PWM.uvprojx*。
2. 進入編譯模式介面
   - 編譯
   - 下載程式碼至記憶體
   - 進入 / 離開除錯模式
3. 進入除錯模式介面
   - 執行程式碼

6. 修訂紀錄

Date	Revision	Description
2025.01.15	1.00	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.