M031 實現定點格式 PID 控制

NuMicro® 32 位系列微控制器範例代碼介紹

文件資訊

應用簡述	此範例程式使用 M031 系列微控制器(MCU)實現定點格式的 PID 控制運算
BSP 版本	M031_Series_BSP_CMSIS_V3.06.000
開發平台	NuMaker-M032SE V1.3

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

此 PID 演示程式碼不需要額外的外部硬體模組，亦可用其他 NuMicro M0/M23 微控制器 (MCU) 執行。

PID 控制是回授控制系統常用的算術運算。 基本的 PID 控制器由比例項、積分項和微分項組成。 32 位元 Cortex-M0/M23 處理器，內建 32 位元乘法器和暫存器移位功能，適合做定點運算的 PID 控制演算法。

本範例程式碼實現了 Q15.0 格式的定點算術計算，即取值範圍為[-32768, 32767]。 使用者可以參考它修改代碼以滿足其系統數值須求。

1.1 原理

離散時間 PID 控制器框圖如下所示，其中 n 表示目前狀態，T 為取樣時間。

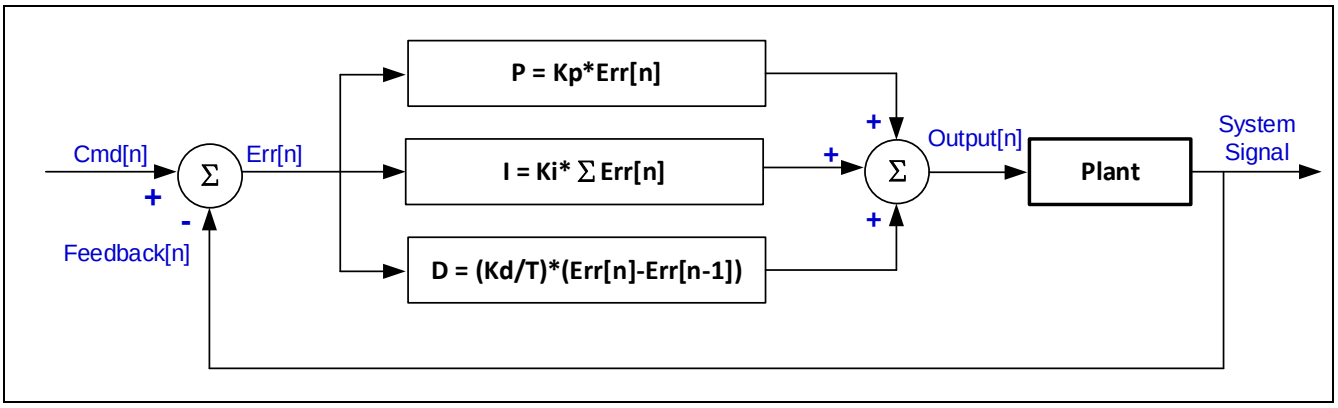

圖 1-1 PID 控制方塊圖

其中 Kp、Ki 和 Kd 是 PID 控制中的 3 個關鍵參數。 通常採樣時間是常數，可以利用 Kd/T 項作為新的 Kd。 因此離散時間 PID 控制的數學公式表示為：

Output[n] = Kp*Err[n] + Ki*Σ(Err[n]) + Kd*(Err[n] – Err[n-1])

由於 Cortex-M0/M23 MCU 提供了 32 位元乘法器暫存器移位功能，因此 16 位元 Q15.0 格式的數學運算具有良好的程式執行效率。 範例程式碼示範了定點 Q15.0 格式的 PID 控制程式。

1.2 演示結果

此演示程式碼是在 M031 系列 NuMaker-M032SE 板上開發的。 使用者可以使用 Keil IDE 開啟範例項目，透過 USB 連接埠將 NuMaker 板連接到 PC，並使用 COM 連接埠以波特率 115200bsp 啟動終端 AP。當 MCU 執行示範程式碼時，終端 AP 將接收來自 MCU 上傳的資料。 執行時之部分上傳資料畫面如圖 1-2 執行時之部分上傳資料畫面所示。Output_PID 的值將持續增加並最終接近目標指令，在示範程式碼中其值為 50。

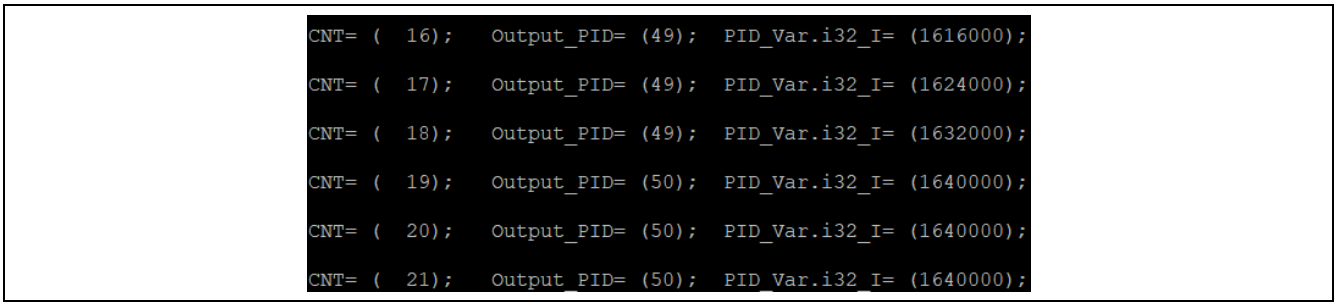

圖 1-2 執行時之部分上傳資料畫面

2. 代碼介紹

PID 運算功能代碼。 該代碼位於 *PID_Example.c*。

```
#include "PID_Example.h"

/*
 *    @brief        PID(Proportional-integral-derivative) control function
 *
 *    @param[in]    C              The variables of PID controller, inculding Kp, Ki, Kd,
                                   integral buffer and output limit
 *    @param[in]    i32_Cmd        The command input of PID controller.
 *    @param[in]    i32_Feedback   The feedback of PID controller.
 *
 *    @return       Output of PID operation
 *
 *    @details      Output = (command-feedback)*[PID operation].
 *                    The arithmetic operations is fixed-point in Q15.0 format
 *                    The value range of PID output in Q15.0 is from -32768 to 32767,
 *                    however, the value range of integral operation is in Q31.0 format.
 */
int32_t PID(PIDC_T* C, int32_t i32_Cmd, int32_t i32_Feedback)
{
    int32_t output;

    /* Calculate error */
    C->i32_Err = i32_Cmd - i32_Feedback;

    /* Integral calculation */
    C->i32_I += C->i32_Ki * C->i32_Err;

    /* PID calculation */
    output = C->i32_Kp * C->i32_Err + C->i32_I + C->i32_Kd * (C->i32_Err -
             C->i32_Last_Err);

    /* Set output in Q15.0 format */
    output = output >> 15;

    if(output > C->i32_Out_Limit)
        output = C->i32_Out_Limit;
    else if(output < -C->i32_Out_Limit)
        output = -C->i32_Out_Limit;

    /* Update last error */
    C->i32_Last_Err = C->i32_Err;

    /* Return the output of PID Controller */
    return output;
}
```

函數中所使用的變數的定義在 *PID_Example.h*。

```
#include "NuMicro.h"

/* The variable structure of PID controller */
typedef struct {
    int32_t i32_Err;                        /* Err = command-input */
    int32_t i32_I;                          /* I = Integral value */
    int32_t i32_Last_Err;                   /* Last_Err = Last error */
    int32_t i32_Kp, i32_Ki, i32_Kd;         /* Parameters of PID: Kp, Ki, Kd */
    int32_t i32_Out_Limit;                  /* Positive Limit of Output in Q15.0 format */
}PIDC_T;
```

PID 運算函數在 TIMER0 中斷中執行。 PID 函數執行多次後，PID 的輸出將逼近目標指令。

一般來說，變數的值是 Q15.0 格式，範圍是-32768 到 32767。使用者可以修改程式來改變 Q 格式。

3. 軟體與硬體需求

3.1 軟體需求

- BSP 版本
  - 範例採用 M031_Series_BSP_CMSIS_V3.06.000
- IDE version
  - Keil uVersion 5.36

3.2 硬體需求

- NuMaker-M032SE V1.3.
  - 注意事項: Nu-Link2-Me 上的 TXD 及 RXD 開關需撥至 ON 處

4. 目錄資訊

目錄結構如下圖所示。

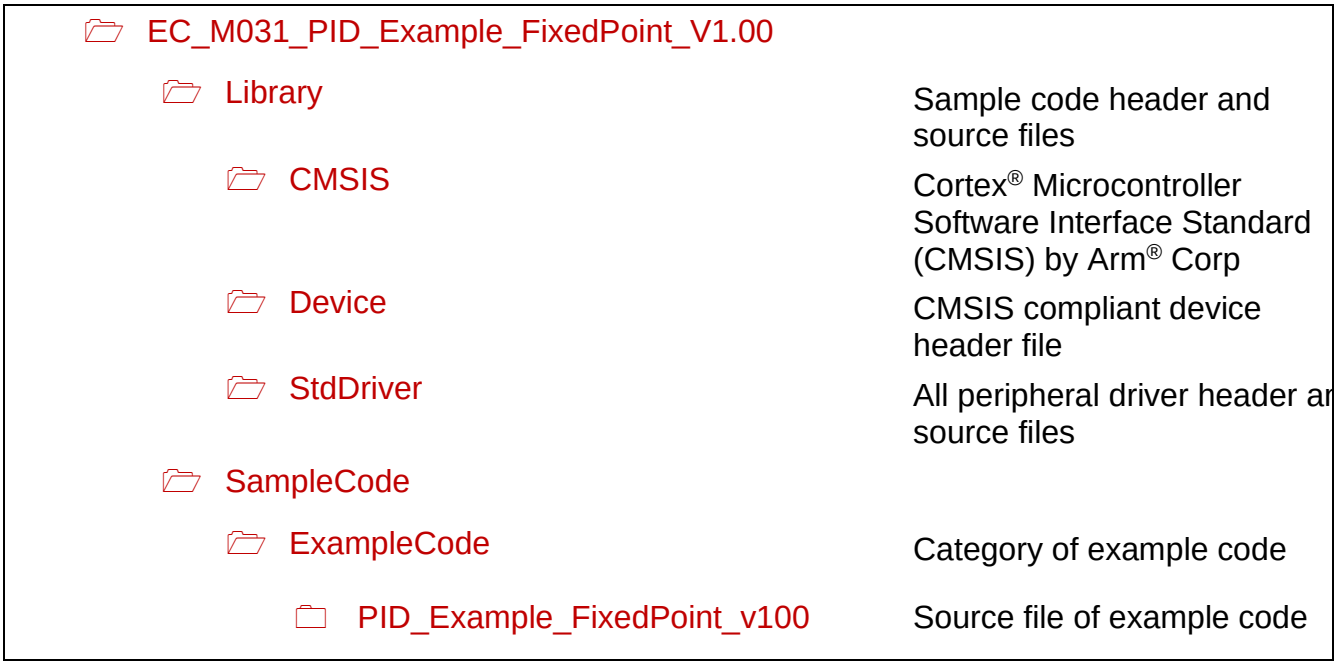

圖 4-1 目錄結構

5. 範例程式執行

1. 根據目錄資訊章節進入 SampleCode 路徑中的 KEIL 資料夾，雙擊 *PID_Example_V1.uvprojx*.
2. 進入編譯模式介面
   - 編譯
   - 下在代碼至記憶體
   - 進入/離開除錯模式
3. 打開終端機應用程式, 設定 COM 埠, 選擇鮑率為 115200bps.
4. 進入除錯模式介面
   - 執行代碼

6. 修訂紀錄

Date	Revision	Description
2023.12.7	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.