

## M031 实现定点格式 PID 控制

NuMicro® 32 位系列微控制器范例代码介绍

### 文件信息

应用简述	此范例程序使用 M031 系列微控制器(MCU)实现定点格式的 PID 控制运算
BSP 版本	M031_Series_BSP_CMSIS_V3.06.000
开发平台	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](http://www.nuvoton.com)

## 1. 概述

此 PID 演示程序代码不需要额外的外部硬件模块，亦可用其他 NuMicro M0/M23 微控制器 (MCU) 执行。

PID 控制是反馈控制系统常用的算术运算。基本的 PID 控制器由比例项、积分项和微分项组成。32 位 Cortex-M0/M23 处理器，内建 32 位乘法器和寄存器移位功能，适合做定点运算的 PID 控制算法。

本范例程序代码实现了 Q15.0 格式的定点算术计算，即取值范围为[-32768, 32767]。使用者可以参考它修改代码以满足其系统数值须求。

### 1.1 原理

离散时间 PID 控制器框图如下所示，其中 n 表示目前状态，T 为取样时间。

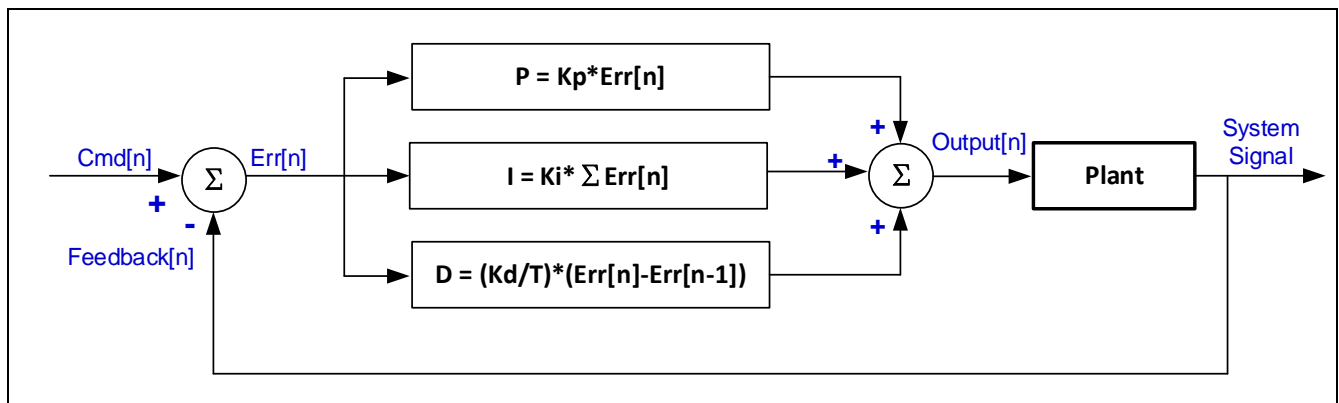


图 1-1 PID 控制方块图

其中  $K_p$ 、 $K_i$  和  $K_d$  是 PID 控制中的 3 个关键参数。通常采样时间是常数，可以利用  $K_d/T$  项作为新的  $K_d$ 。因此离散时间 PID 控制的数学公式表示为：

$$\text{Output}[n] = K_p \cdot \text{Err}[n] + K_i \cdot \sum (\text{Err}[n]) + K_d \cdot (\text{Err}[n] - \text{Err}[n-1])$$

由于 Cortex-M0/M23 MCU 提供了 32 位乘法器寄存器移位功能，因此 16 位 Q15.0 格式的数学运算具有良好的程序执行效率。范例程序代码示范了定点 Q15.0 格式的 PID 控制程序。

## 1.2 演示结果

此演示程序代码是在 M031 系列 NuMaker-M032SE 板上开发的。用户可以使用 Keil IDE 开启范例项目，透过 USB 端口将 NuMaker 板连接到 PC，并使用 COM 端口以波特率 115200bsp 启动串口调试助手。当 MCU 执行示范程序代码时，串口调试助手 将接收来自 MCU 上传的数据。执行时之部分上传数据画面如图 1-2 所示。Output\_PID 的值将持续增加并最终接近目标指令，在示范程序代码中其值为 50。

```
CNT= ( 16);   Output_PID= (49);   PID_Var.i32_I= (1616000);  
CNT= ( 17);   Output_PID= (49);   PID_Var.i32_I= (1624000);  
CNT= ( 18);   Output_PID= (49);   PID_Var.i32_I= (1632000);  
CNT= ( 19);   Output_PID= (50);   PID_Var.i32_I= (1640000);  
CNT= ( 20);   Output_PID= (50);   PID_Var.i32_I= (1640000);  
CNT= ( 21);   Output_PID= (50);   PID_Var.i32_I= (1640000);
```

图 1-2 执行时之部分上传数据画面

## 2. 代码介绍

PID 运算功能代码。该代码位于 *PID\_Example.c*。

```
#include "PID_Example.h"

/*
 * @brief      PID(Proportional-integral-derivative) control function
 *
 * @param[in]  C          The variables of PID controller, including 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;
}
```

函数中所使用的变量的定义在 *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 运算函数在 TIMER0 中断中执行。PID 函数执行多次后，PID 的输出将逼近目标指令。

一般来说，变量的值是 Q15.0 格式，范围是-32768 到 32767。用户可以修改程序来改变 Q 格式。

### 3. 软件与硬件需求

#### 3.1 软件需求

- BSP 版本
  - 范例采用 M031\_Series\_BSP\_CMSIS\_V3.06.000
- IDE version
  - Keil uVersion 5.36

#### 3.2 硬件需求

- NuMaker-M032SE V1.3.
  - 注意事项: Nu-Link2-Me 上的 TXD 及 RXD 开关需拨至 ON 处

## 4. 目录信息

目录结构如下图所示。

<div> <div>EC_M031_PID_Example_FixedPoint_V1.00</div> <div> <div>Library</div> <div> <div>CMSIS</div> <div>Device</div> <div>StdDriver</div> <div>SampleCode</div> <div> <div>ExampleCode</div> <div> <div>PID_Example_FixedPoint_v100</div> </div> </div> </div> </div> </div>	<div>Sample code header and source files</div> <div>Cortex® Microcontroller Software Interface Standard (CMSIS) by Arm® Corp</div> <div>CMSIS compliant device header file</div> <div>All peripheral driver header and source files</div> <div></div> <div>Category of example code</div> <div>Source file of example code</div>
---	--

图 4-1 目录结构

## 5. 范例程序执行

1. 根据目录信息章节进入 SampleCode 路径中的 KEIL 文件夹，双击 *PID\_Example\_V1.uvprojx*.
2. 进入编译模式接口
  - 编译
  - 下在代码至内存
  - 进入/离开除错模式
3. 打开终端机应用程序, 设定 COM 端口, 选择速率 115200bps.
4. 进入除错模式接口
  - 执行代码



## 6. 修订纪录

Date	Revision	Description
2023.12.7	1.00	初始发布

### 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.*