

基于 C8051F020 的 PID 参数自整定控制器的研究与实现

朱丹

(南京理工大学 紫金学院, 江苏 南京 210046)

摘要: 提出了一种基于 C8051F020 单片机的 PID 参数自整定控制器设计, 制作了实物并在液位控制设备中验证。该系统采用自校正控制原理和常规 PID 控制相结合的算法, 能快速整定出 PID 控制器的参数。用单片机 C8051F020 为主芯片完成控制器系统设计, 能根据当前输出值和目标值的偏差求出控制增量输出, 使被控对象能快速达到目标值并保持。所有数据通过串口发送至 PC 保存, 以便进行进一步数据分析。

关键词: C8051F020; PID; 参数自整定

中图分类号: TP273+.2

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2013)09-0021-03

Research and implementation of PID parameters self-tuning controller based on C8051F020

Zhu Dan

(Zijin College, Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210046, China)

Abstract: This paper proposes one kind of PID parameters self-tuning controller design based on the C8051F020 MCU, and produces the physical one which is verified in level control equipment. The system adopts self-tuning control principle and conventional PID control algorithms, and can fast set PID controller parameters. The system is designed with MCU C8051F020 as its main chip controller, which can work out the control increment output according to the current output value and target value deviation, so that the object can quickly reach the target value and maintain. All data is sent to PC through the serial port to save for data analysis.

Key words: C8051F020; PID; parameters self-tuning

随着航空航天、工业控制和各种过程控制的发展, 对被控对象的控制要求越来越高。PID 控制器因结构简单、容易实现, 被广泛应用于各种工业控制中^[1]。但 PID 控制的参数整定是一个问题, 不合适的 PID 参数会使得控制效果变差, 甚至不能达到控制目标。本文设计的 PID 参数自整定控制器基于高速单片机 C8051F020, 通过自校正控制原理和常规 PID 控制相结合, 可以根据被控对象数学模型及控制要求快速整定出 PID 控制器参数, 从而完成控制器设计, 最终实现控制要求。

可通过在 Matlab 中以被控对象的数学模型和控制要求作为已知条件求出 PID 控制器参数, 将参数输入单片机程序中, 或通过上位机由串口设置, 完成设计任务。

1 自校正 PID 算法

常规 PID 控制系统图^[2]如图 1 所示。

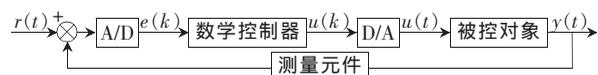


图 1 常规 PID 控制器原理图

自校正 PID 控制应用在已知被控对象数学模型和控制目标的情况下, 通过自校正 PID 算法可快速求出自校正 PID 控制器参数。自校正 PID 控制器的设计思路是: 通过系统对象离散传递函数的参数按自校正的极点配置法进行控制器参数的设计。下面介绍 PID 控制器的设计过程^[3]。

设所调整的被控对象为:

$$A(z^{-1})y(k) = z^{-d}B(z^{-1})u(k) + e(k) \quad (1)$$

其中, $u(k)$ 和 $y(k)$ 表示系统的输入和输出; $e(k)$ 为外部扰动; $d \geq 1$, 为系统的纯延时, 且:

$$\begin{cases} A(z^{-1}) = 1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} \\ B(z^{-1}) = b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + \dots + b_{n_b} z^{-n_b} \end{cases} \quad (2)$$

增量式 PID 控制算法为:

$$\Delta u(k) = K_p [e(k) - e(k-1)] + K_i e(k) + K_d [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] \quad (3)$$

其中, K_p, K_i, K_d 为 PID 调节参数, 且:

$$\begin{cases} \Delta u(k) = u(k) - u(k-1) \\ e(k) = y_r(k) - y(k) \end{cases} \quad (4)$$

其中, $u(k), y_r(k)$ 和 $y(k)$ 分别为控制量、期望输出和实际输出。

式(3)可表示为:

$$\Delta u(k) = g_0 e(k) + g_1 e(k-1) + g_2 e(k-2) \quad (5)$$

其中, $g_i (i=0, 1, 2)$ 为可调参数。

由式(4)可得控制器离散时间传递函数为:

$$\frac{u(k)}{e(k)} = \frac{g_0 + g_1 z^{-1} + g_2 z^{-2}}{1 - z^{-1}} \quad (6)$$

此时, 对应的 PID 控制器可表示为:

$$F(z^{-1})u(k) = R(z^{-1})y_r(k) - G(z^{-1})y(k) \quad (7)$$

其中, $F(z^{-1}) = 1 - z^{-1}, R(z^{-1}) = G(z^{-1}) = g_0 + g_1 z^{-1} + g_2 z^{-2}$ 。

另外, $F(z^{-1}), R(z^{-1})$ 还可以取其他形式, 如:

$$F(z^{-1}) = F_1(z^{-1})\Delta \quad (8)$$

其中, $\Delta = 1 - z^{-1}$ 。且:

$$\begin{cases} F(z^{-1}) = 1 + f_1 z^{-1} + \dots + f_{n_f} z^{-n_f} \\ G(z^{-1}) = g_0 + g_1 z^{-1} + g_2 z^{-2} \\ R(z^{-1}) = G(1) = g_0 + g_1 + g_2 \end{cases} \quad (9)$$

于是, 该 PID 控制系统的结构如图 2 所示。

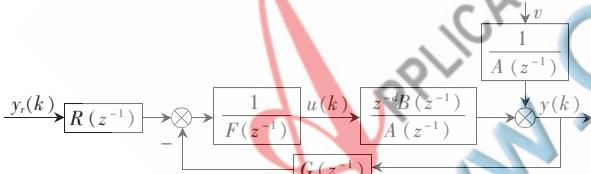


图2 自校正PID控制系统结构图

将式(7)代入式(1)中, 得闭环系统输出为:

$$y(k) = \frac{z^{-d}BR}{AF + z^{-d}BG} y_r(k) + \frac{F}{AF + z^{-d}BG} e(k) \quad (10)$$

闭环特性方程的 Diophantine^[4] 方程为:

$$AF + z^{-d}BG = T \quad (11)$$

由于该设计任务的要求是根据系统的固有特性和控制要求来确定期望的闭环特征多项式 $T(z^{-1})$, 进而确定 $F(z^{-1}), G(z^{-1})$, 最后确定控制量, 因此令闭环特征多项式为期望传递函数, 即“理想”模型的分母多项式:

$$AF + z^{-d}BG = A_m \quad (12)$$

结合式(8), 式(12)可表示为:

$$\Delta A F_1 + z^{-d}BG = A_m \quad (13)$$

其中, $\Delta A(z^{-1}) = (1 - z^{-1})A(z^{-1})$ 。

为保证式(13)有唯一解, 令 $\Delta A F_1$ 和 $z^{-d}BG$ 的阶次相同(已知 $\deg A = 2$, 则 $\deg \Delta A = 3, \deg G = 2$), 且等式右边阶次小于左边阶次, 即要求各多项式的阶次满足下列关系:

$$\begin{cases} \deg F = \deg B + d - 1 \\ \deg A < \deg B + d + 2 \end{cases} \quad (14)$$

求解形如式(13)的 Diophantine 方程可以求解问题。通过编写 Matlab 中 M 文件可以快速得出结果。

2 系统总体方案及硬件电路设计

根据 PID 控制器的工作内容, 确定系统的硬件和软件设计方案。其中硬件需要包括 A/D、D/A。为了简化外围电路, 选用 Cygnal 公司的 C8051F020 单片机, 它是具有与 8051 兼容的微控制器内核。在一个芯片内集成了两个多通道 ADC 子系统、两个电压输出 DAC、UART 以及与 8051 兼容的高速微控制器内核。具体设计方案如图 3 所示。

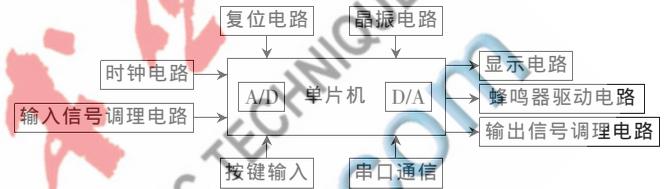


图3 电路系统框图

(1) 输入输出调理电路: 工业控制系统中信号的传递是通过电流信号实现的, 其范围为 $4 \text{ mA} \sim 20 \text{ mA}$ 。则输入信号调理电路的功能为将 $4 \text{ mA} \sim 20 \text{ mA}$ 的电流信号转化为电压信号, 输出信号调理电路的功能则相反。

(2) 控制器电路: 主要为以单片机 C8051F020 为主控芯片的控制器, 内置 PID 控制算法。包括构成单片机系统最基本的晶振电路和复位电路。

(3) 实时显示、报警电路: 包括实时时钟电路、蜂鸣器驱动电路。实时时钟采用低功耗的 CMOS 实时时钟/日历芯片。显示电路采用数码管显示。

(4) 串口通信电路: 单片机和 PC 通过串口电路进行通信, 可在 PC 上实现对当前情况的实时监控, 并可通过串口设置。

(5) 按键电路: 通过中断按键电路对最终控制的目标值进行设定。

3 C8051F020 内部子系统

PID 控制器中, A/D、D/A 模块以及定时采集数据的定时器均使用 C8051F020 的内部资源^[5]。

(1) A/D 模块: 本系统使用 12 bit 的 ADC0。使用内部基准电压标准的 2.4 V 作为 ADC0 的 VREF, 设置其向 ADC0BUSY 写 1 为启动 ADC 的方式, 并通过串口通信将结果输出给 PC。

(2) D/A 模块: DAC0 采用内部基准电压作为参考电压, 并采用直接赋值的方法更新输出值。更新 DAC0 的输出方式为直接写数据更新, 当 DAC0L 装入新的数据后, DAC0 开始工作, 输出当前 D/A 转换结果, 进而控制执行机构动作。

4 系统软件设计

根据 Matlab 中相关函数求得自校正 PID 控制器的参数 F_1 、 G 和 R ，编写 PID 控制器的程序完成 PID 控制任务。PID 控制的流程图如图 4 所示。

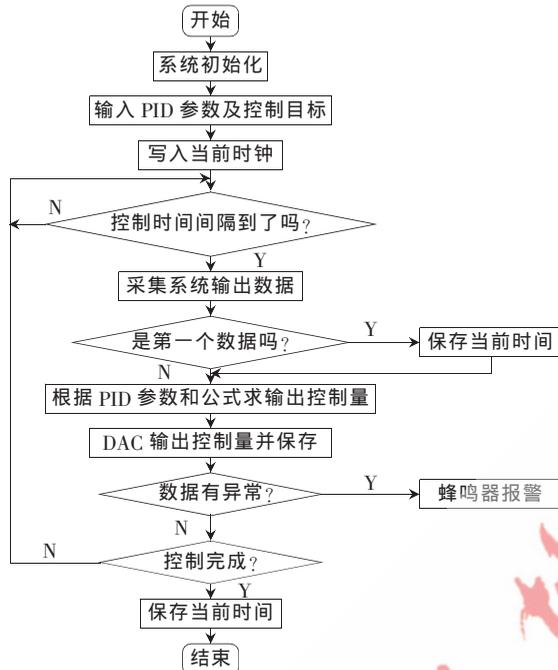


图 4 自校正 PID 控制流程图

控制时间根据被控对象表达式中的采样时间间隔而定。主要过程为根据当前系统的采集值和目标值的偏差通过自校正 PID 控制器的计算求得控制量输出，驱动执行机构动作。当系统计算出的控制量始终为 D/A 输出的最大值或最小值时，可以认为系统异常，此时驱动蜂鸣器报警，请求进行人工处理。

系统可通过按键对最终控制的目标设定值进行修改。两个按键对程序中预设的目标值进行步进加和步进减，采用中断方式完成功能。

5 实验结果及测试

液位控制是一个比较传统的被控对象，因此将液位控制作为设计 PID 参数自整定控制器的验证被控对象。系统验证的实验设备使用东南大学过程控制实验室的液位控制设备，该装置原理图如图 5 所示。

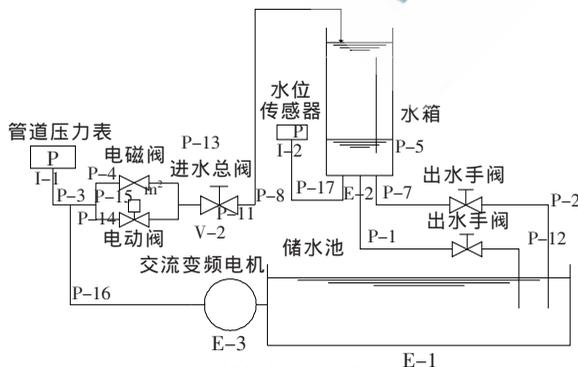


图 5 被控对象原理图

其被控对象的离散传递函数为：

$$y(k) - 0.4547y(k-1) - 0.4475y(k-2) = 0.2009u(k-1) + 0.1289u(k-2) + 0.0218u(k-3) \quad (15)$$

控制目标为期望闭环系统，即自然频率为 $\omega=1$ rad/s 和阻尼系数为 $\xi=1$ 的二阶系统，则其闭环特征多项式为：

$$T(s) = s^2 + 2s + 1 \quad (16)$$

离散化后为：

$$A_m(z^{-1}) = 1 - 0.2707z^{-1} + 0.0183z^{-2} \quad (17)$$

根据 Matlab 求出的 PID 控制器参数为： $F_1=1.0000$ $0-0.2154$ -0.6257 -0.1589 ； $G=1.9733$ 3.8014 -3.5759 ； $R=2.1988$ 。

首先在程序中设定液位目标控制值为 1.5 V 电压对应处。单片机通过串口采集数据如图 6 所示。

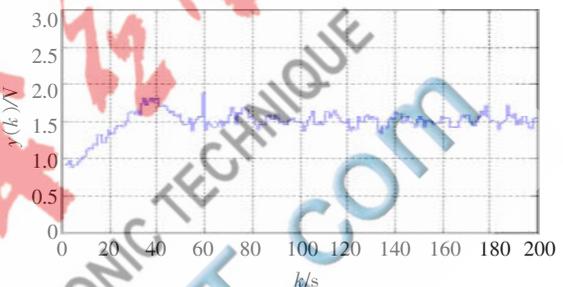


图 6 期望液位电压为 1.5 V 数据图

将控制目标值调整为 2 V，通过串口采集数据如图 7 所示。

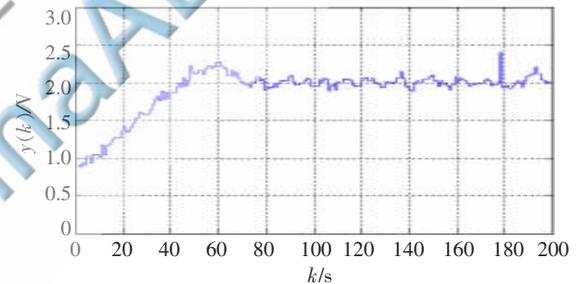


图 7 期望液位电压为 2 V 数据图

从图 6、图 7 可以看出，被控对象能较快速地达到目标值，并能根据设定的控制目标进行控制。

参考文献

- [1] 王伟, 张晶涛, 柴天佑. PID 参数先进整定方法综述[J]. 自动化学报, 2000, 26(3): 20-24.
- [2] 陶永华. 新型 PID 控制及其应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 1998.
- [3] 庞中华, 崔红. 系统辨识与自适应控制 Matlab 仿真[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2008.
- [4] 董宁. 自适应控制[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2009.
- [5] 潘琢金, 施国君. C8051Fxxx 高速 SoC 单片机原理及应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2002.

(收稿日期: 2012-12-11)

作者简介:

朱丹, 女, 1984 年生, 硕士研究生, 助理实验师, 主要研究方向: 单片机应用。