

Research on NC Machine Tool Position Control Base on Fuzzy Self-Turning PID

ZENG Xian-da HUANG Wei-zhi MA Liang

(Tianjin Polytechnic University Institute of Information and Communication Engineering, Tianjin, 300160, China)

E-mail: zeng-xianda@163.com

Abstract: With the development of science and technology, all industrial control equipment is developing in the direction of high performance, high degree of automation and high reliability. It is difficult to realizing PID control parameters for NC machine tool position control system. because it's mathematic model has several disadvantages, such as parameters uncertainly and varying as time. In this paper introduce a design scheme of PID parameter self-turning controller based on fuzzy control principle to solve the problem. And the application of the controller in NC machine tool position control system is studied with MATLAB. The results of simulation indicate that the controller has the function of self-turning PID parameter and has high real time capability.

Keywords: fuzzy control; PID; self-turning; MATLAB; Position control

基于模糊自适应 PID 数控机床位置控制的研究

曾显达 黄伟志 马亮

(天津工业大学信息与通信工程学院 天津 300160)

摘要: 随着科学技术的进步,所有的工业控制器都朝着性能优越,自动化程度高和可靠性高的方向发展。本文针对数控机床生产过程中数学模型的不确定性和参数时变性,很难为其控制系统选定 PID 参数的特点。介绍了一种模糊自适应 PID 参数控制器的设计方法,有效地解决上述问题,并利用 MATLAB 对本方法在机床位置控制系统中进行了仿真,仿真结果表明,控制器具有随着环境变化自适应调整 PID 参数的功能,且具有较高的实时性。

关键词: 模糊控制;PID;自适应;MATLAB;位置控制

1. 前言

控制器是数控系统的核心,控制算法是控制器的灵魂。随着科技的进步,对数控机床加工精度要求也越来越高,这样就需要有高精度的控制器与之配合,控制算法的选择是实现高精度控制器的关键。在控制领域数字 PID 控制算法被广泛的采用,其结构简单具有良好的控制效果和鲁棒性^[1],但其突出缺点就是无自适应性,一组 PID 参数只能对应一种工作条件,工作条件改变就必须根据数控系统新的数学模型重新设定参数,给实际生产造成了很大不便。为解决数控系统的这一问题,本文提出了一种模糊自适应整定 PID 参数的方法,发挥了模糊控制的长处,克服了传统 PID 控制的缺点,并将其运用到机床位置控制系统中。

2. 模糊自适应 PID 控制原理

2.1 传统 PID 控制理论

传统的 PID 控制是一种线性的控制,它将控制系统的给定理论值控制量 $r(t)$ 与系统实际输出量 $c(t)$ 的差值:

$$e(t) = r(t) - c(t) \quad (2-1)$$

将差值(偏差)的比例(P)、积分(I)和微分(D)的线性组合构成控制量 $u(t)$, 利用 $u(t)$ 对执行机构被控对象进行控制。其原理如图 2-1 所示。

其控制控制规律为:

$$u(t) = Kp[e(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t e(t)dt + \frac{T_D de(t)}{dt}] \quad (2-2)$$

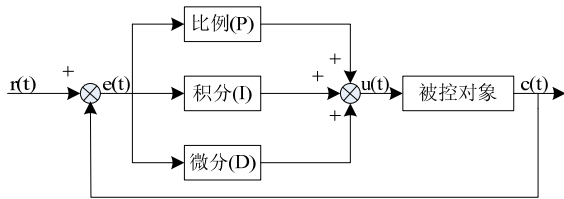


Figure 2-1. PID control system schematic diagram
图 2-1 传统 PID 控制系统原理图

2.2 模糊自适应控制 PID^[2]

在机床的实际生产过程中，机床的传递函数随着加工对象、工作环境的改变而发生变化，模糊自适应 PID 控制器运用现代控制理论在线调整 PID 参数，实时改变其控制策略，使控制系统的品质指标保持在最优范围内^[3]。

这种控制器无需精确固定的数学模型，只需将操作人员（专家）长期实践积累的经验知识用于控制规则模糊化，然后运用推理便可对 PID 参数实现最佳调整，其原理如图 2-2 所示。

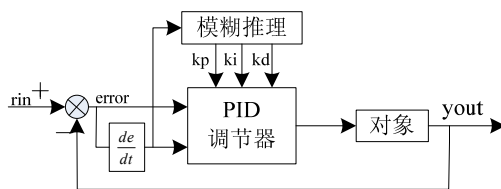


Figure 2-1. Fuzzy Self-Tuning PID
图 2-2 模糊自适应 PID 原理图

该系统主要由传统的 PID 调节器和模糊推理两部分组成，以偏差 E(即 error)和变化率 Ec (即 de/dt) 作为模糊控制器的输入，根据推理机中的模糊控制规则对 PID 参数进行自适应调整，其公式为：

$$\begin{aligned} Kp &= Kp' + kp \\ Ki &= Ki' + ki \\ Kd &= Kd' + kd \end{aligned} \quad (2-3)$$

式中：Kp、Ki、Kd 为模糊自调整控制器的最终输出；Kp'、Ki'、Kd' 为参数的初始值；kp、ki、kd 为模糊自适应控制器的输出。

PID 控制器的控制算式为：

$$U(k) = KpE(k) + Ki \sum E(k) + KdEc(k) \quad (2-4)$$

式中 $\sum E(k) = E(k) + E(k-1)$ 和 $Ec(k) = E(k) -$

$E(k-1)$ ($k = 0, 1, 2$) 分别为输入量偏差与输入量偏差变化率。

3. 机床位置控制系统数学模型^[4]

典型机床位置控制系统的组成结构如图 3-1 所示，下面将对其各部分进行介绍。

- 位置控制器：通常用比例或比例积分环节。为便于分析，位置控制器采用的是比例环节，其传递函数： $Gp(S) = Kp$ (Kp 为比例系数)。

- D/A 部分：此部分完成 D/A 转换功能，采用的也是比例环节，其传递函数为： $Ga(S) = Ka$ (Ka 为比例系数)。

- 调速单元：采用的是交流伺服电机作为驱动，故此调速单元可等效为带有纯滞后的放大环节，其传递函数可看成一阶惯性环节： $Gv(S) = Kv / (TvS + 1)$ (其中 Kv 为调速单元的放大倍数、 Tv 为惯性时间常数)。

- 伺服单元：指由伺服电机旋转带动滚珠丝杠转动完成刀具进给、工作台移动等操作。此单元是积分环节(即将速度量变成角位移量)。传递函数： $Gc(s) = 1 / S$

- 位置检测单元：此单元由位置传感器以及位置处理电路组成，做是比例环节。其传递函数： $Gb(S) = Kb$ (其中 Kb 为比例系数)。

根据以上分析将机床位置控制系统的组成结构转化为数控系统的动态结构，如图 3-2 所示。

根据上图可以求的整个系统的传递函数为：

$$G(S) = \frac{KaKpKb}{TvS^2 + S + KaKpKvKb} \quad (3-1)$$

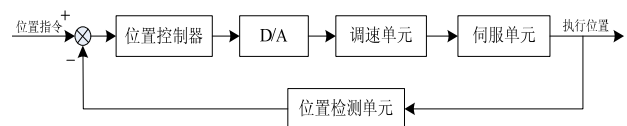


Figure 3-1. NC structure figure
图 3-1 机床组成结构图

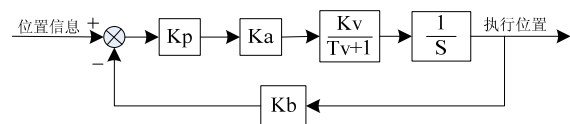


Figure 3-2. Position control system schematic diagram
图 3-2 机床位置控制的动态结构图

将其整理得

$$G(S) = \frac{KaKpKb/Tv}{S^2 + S/Tv + KaKpKvKb/Tv} \quad (3-2)$$

为了减小运算量取Ka = 2 Kp = 1 Kb = 16.05 Kv = 2.89 Tv = 0.0098, 系统的传递函数可近似为:

$$G(S) = \frac{3275.51}{S^2 + 102.04S + 9466.22} \quad (3-3)$$

4. 模糊自适应 PID 控制器的设计过程^[5]

1) 确定模糊控制器的模糊集和论域

E、Ec、u 的模糊集为 {NB,NM,NS,ZO,PS,PM,PB} 分别代表: 负大, 负中, 负小, 零, 正小, 正中, 正大。E 和 Ec 的论域均为: {-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3}

2) 定义输入输出隶属函数

在模糊变量误差 E、误差变化 Ec 及控制量和论域确定后, 需要对模糊语言变量确定隶属函数输入输出的隶属函数分别如图 4-1 和 4-2 所示。

3) 建立模糊控制规则

根据专家的经验, 由系统误差及误差的变化率来设计模糊控制规则。为直观表示输入输出关系通常采用模糊规则控制表的方式来描述。

4) 模糊推理

模糊推理是模糊控制系统的核心, 它利用某种模糊推理算法和模糊规则进行推理, 得出最终的控制量。

5) 反模糊变化

由模糊推理得到的结果是一个模糊集合。在实际的控制中, 必须只有确定值才能控制执行元件, 因此需要将模糊推理结果转化为精确的值

5. 基于 MATLAB 的系统仿真

MATLAB 的仿真过程如下:

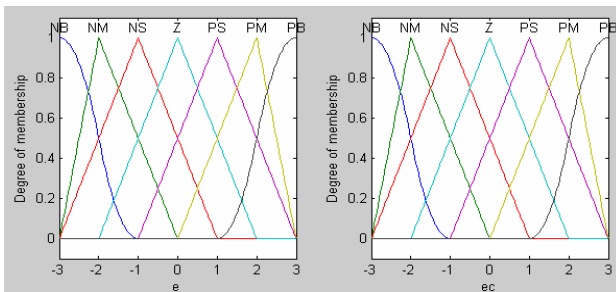


Figure 4-1. input membership function
图 4-1 输入 e、ec 的隶属函数

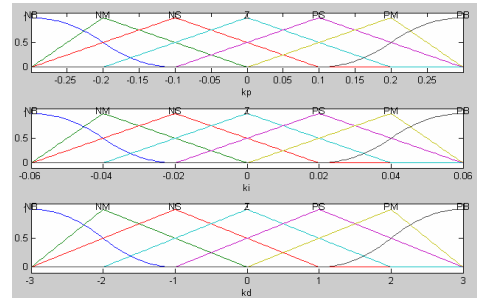


Figure 4-2. kp、ki、kd membership function
图 4-2 输出 kp、ki、kd 的隶属函数

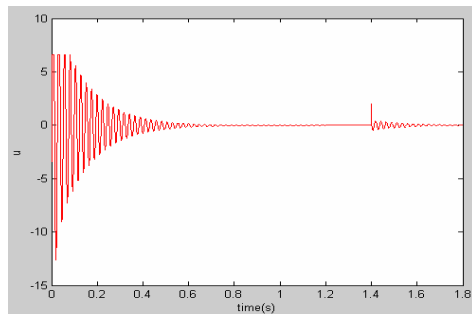


Figure 5-1. Controller Output u
图 5-1 控制器输出 u

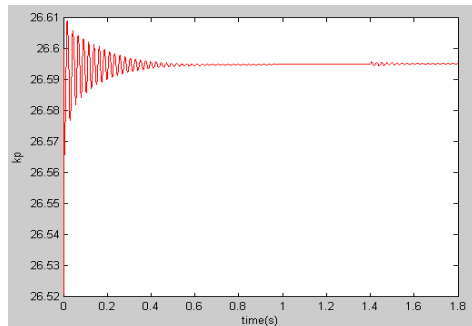


Figure 5-2. self-turning output kp
图 5-2 自适应调整输出 kp

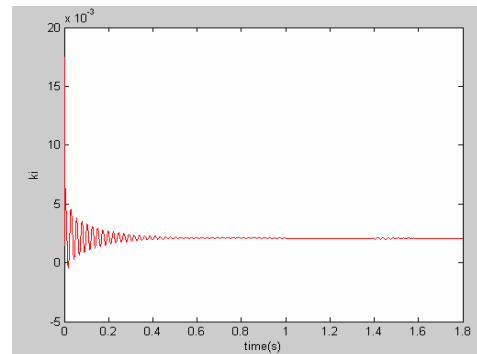


Figure 5-3. self-turning output ki
图 5-3 自适应调整输出 ki

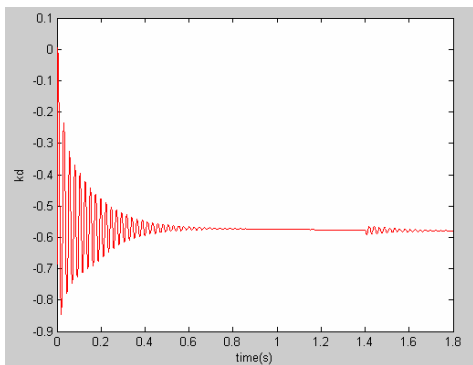


Figure 5-4. self-turning output kd
图 5-4 自适应调整输出 kd

首先在 MATLAB 环境下运用 Ziegler-Nichols 整定 PID 初值 $Kp' = 26.59$ 、 $Ki' = 0.006$ 、 $Kd' = 0.0015$ 将其作为模糊自适应算法的初值。然后在初定的 PID 控制参数的基础上，根据机床位置控制系统的响应过程和控制目标期望值，自动修正初定的 PID 参数，直至系统的控制指标符合所要求为止。

为验证系统所实现的控制算法是否具有实时自调节性质在第 1400 个采样时间时控制器输出 u 加幅值 2.0 的干扰信号，观察模糊自适应控制器输出参数 kp 、 ki 、 kd 的变化。控制器输出 u 、自适应调整输出 kp 、 ki 、 kd 分别如图 5-1、5-2、5-3 所示。

6. 结论

从仿真结果图像可以看出当在 1400 个采样时刻加入干扰信号，此模糊自适应 PID 机床位置控制系统的输出 kp 、 ki 、 kd 能立即完成自适应调整，且响应时间极短近乎于实时。综上所述，本控制器在保留传统 PID 优点的同时实现了实时在线自适应整定参数的功能。

致谢

感谢我的导师黄伟志教授的悉心指导和实验室同学的鼎力相助。更要感谢我的家人尤其是我的母亲张桂荣女士所给予我的一切。

References (参考文献)

- [1] YIN Yun-hua, FAN Shui-kang, CHEN Min-e. The Design and Simulation of Adaptive Fuzzy PID Controller[J]. Fire Control and Command Control, 2008(33):96-99.
殷云华, 樊水康, 陈敏鄂. 自适应模糊 PID 控制器的设计和仿真[J]. 火力与指挥控制, 2008(33):96-99.
- [2] WANG Gang, SHU Zhi-bing. The Application of Intelligent PID Algorithm Control in Servo System[J]. Machine Tool & Hydraulics, 2008, 7(36):320-322.
王刚, 舒志兵. 智能 PID 算法控制在伺服系统中的应用[J]. 机床与液压, 2008, 7(36):320-322.
- [3] PENG Yu-hai, BAI Hai-qing, HE Ning. PID Parameters Adjustment of NC Technology Test Bench Based on PMAC [J]. Machinery & Electron. 2008(6):29-31.
彭玉海, 白海清, 何宁. 基于 PMAC 的数控技术试验台 PID 参数整定[J]. 机械与电子, 2008(6):29-31.
- [4] SHU Zhi-bing, LIU Jun-quan, LIN Jin-guo, ZHAO Ying-kai. Mathematical Model Research of Close-Loop Servo System[J]. Journal of System Simulation. 2002, 14(12): 1611-1613.
舒志兵, 刘峻泉, 林锦国, 赵英凯. 闭环伺服系统的数学模型研究[J]. 系统仿真学报, 2002, 14(12):1611-1613.
- [5] YANG Yong-mei, CHEN Ning. Design and Simulation Research of PID Fuzzy Controller Based MATLAB [J]. Control and Automation. 2005, 21(12):61-63.
杨永梅, 陈宁. 基于 MATLAB 的模糊自整定 PID 参数控制器的设计与仿真[J]. 微计算机信息, 2005, 21(12):61-63.