

单输入模糊控制在液位控制系统中的应用

Application of Single Input Fuzzy Controller in Liquid Level Control System

兰州理工大学电气与信息工程学院 李二超 李战明 刘微容

[摘要] 本文提出一种利用复合结构终端滑模面作为输入的单输入模糊控制器设计方法,将这种控制方法应用于液位控制系统,取得了满意的控制效果。单输入模糊控制器规则数比普通模糊控制器大大减少,这样就使得模糊控制器的设计和调节更简单、更方便。同时这种模糊控制器由于具有准滑动模态的性质,体现出较好的鲁棒性和稳定性。通过对水箱的控制实验,结果表明,该方法在实践过程中是切实可行和值得推广的。

关键词: 单输入模糊控制 准滑动模态控制 液位控制

[ABSTRACT] A simple but powerful FLC (Fuzzy Logic Controller) design method is put forward by using sliding mode switching surface as a sole fuzzy input variable. It achieves good performance for liquid level control. The total number of rules of the single input fuzzy controller is greatly reduced compared to conventional FLC. The design and tuning of controller are more simple and easy. At the same time this kind of fuzzy controller is equivalent to the quasi-sliding mode controller, so the robust property and stability is guaranteed well. Experiment result of a tank control shows that it is conscientiously feasible and deserves to be widely applied in the process of controlling industry.

Keywords: Single input fuzzy control Quasi-sliding mode control Liquid level control

液位是过程控制中的一个重要参数,它对生产的影响不容忽视。为了保证安全生产以及产品的质量和数量,对液位进行及时有效的控制是非常必要的。水箱液位控制是液位控制中的一个主要课题,它在工业生产中普遍存在,具有代表性而非常典型、实用。在液位控制中经常会碰到大滞后、时变、非线性的复杂系统。对于这样的复杂系统,常规PID(比例、积分、微分)控制由于采用固定的参数,难以保证系统适应所控制系统的参数变化和工作条件变化,液位始终有较

大波动,得不到理想效果。

由于模糊逻辑控制设计方法不需要被控对象的精确数学模型,仅通过对输入和输出信号的检测,即可达到对液位的控制要求,采用模糊控制策略是提高液位控制精度的一种有效途径。通常将模糊控制器输入变量的个数称为模糊控制器的维数。从理论上讲,模糊控制器的维数越多,控制的效果越好,但是维数多的模糊控制器实现起来相当复杂和困难。针对以上问题,我们提出一种利用滑动模态超曲面作为输入的单输入模糊控制器,该模糊控制器只有唯一的输入,因此,模糊控制规则数目比普通模糊控制器大大减少,模糊控制器的设计和调节更方便、更容易。将其应用于液位控制系统,实现了较好的跟踪效果。

1 单输入模糊控制器的设计

我们知道滑动模态变结构控制具有2个重要的特点:不变性和颤振。滑动模态的最主要和最有用的性质是对内部参数的变动和外部扰动作用具有不变性。而液位模型是很难精确确定的,在液位控制中引入滑动模态控制是可行的,而且已经取得了较好的成果^[1]。但是由于颤振是变结构控制的一个突出障碍,目前广泛应用的是具有准滑动模态的控制系统。所谓“准滑动模态”,是指系统的运动轨迹被限制在理想滑动模态的某一 Δ 邻域内的模态。从相轨迹方面来说,具有理想滑动模态的变结构控制是:一定范围内的状态点均被吸引至切换面,速度矢量始终沿切换面。而准滑动模态的变结构控制则是:一定范围内的状态点均被吸引至切换面的某一 Δ 邻域。准滑动模态控制在实现上的这种差别,使它从根本上避免或削弱了颤振,从而在实际工作中,得到广泛的应用。在这里我们引入跟踪误差滑动模态超曲面 S ,且以 S 作为模糊控制器的唯一输入,这样的模糊控制器实质上类似于准滑动模态控制,具有准滑动模态控制的优点,同时控制器的设计和实现都变得很简单。

为叙述方便,现以二阶非线性系统为例来阐明单输入模糊控制器的设计:

$$\dot{X}(t)=f(X,t)+u(t), \quad (1)$$

式中 $X=[x_1, x_2]^T=[x, \dot{x}]^T$ 是状态向量, 假定系统跟踪状态向量为: $X_d(t)=[x_d, \dot{x}_d]^T$ 。并定义广义跟踪误差为 $e=X-X_d$, 复合结构终端滑模面定义为:

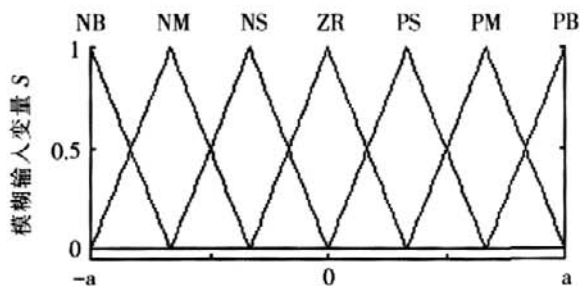
$$S=\dot{e}+\Lambda_1 e+\Lambda_2 e^{\alpha/\beta}, \quad (2)$$

$$\dot{S}=\ddot{e}+\left[\Lambda_1 e+\frac{\alpha}{\beta}\Lambda_2 \text{diag}\left[e_1^{\left(\frac{\alpha}{\beta}-1\right)}, e_2^{\left(\frac{\alpha}{\beta}-1\right)}\right]\right]\dot{e}, \quad (3)$$

式中, $\Lambda_1=\text{diag}[\Lambda_{11}, \Lambda_{12}], \Lambda_2=\text{diag}[\Lambda_{21}, \Lambda_{22}], \Lambda_{11}, \Lambda_{12}, \Lambda_{21}, \Lambda_{22}>0, \frac{1}{2}<\frac{\alpha}{\beta}\leq 1, \alpha, \beta$ 均设为正奇数, 以避免出现奇异^[2]。

终端滑模可在确保系统指数逼近滑模面 S 的同时, 系统状态也在指数时间收敛到 0。但由滑模吸引子 $e^{\alpha/\beta}$ ($\frac{1}{2}<\frac{\alpha}{\beta}\leq 1$), 可知, 当初始状态偏差较大时, 终端滑模方式的控制响应小^[3], 导致控制初期收敛速度慢于线性滑模情况, 所以引入如式(2)所示的复合终端滑模, 在初始大偏差时, 其主导作用的滑模吸引子是 $\Lambda_1 e$ 项, 系统的控制响应与线性滑模结构类似; 当逼近滑模面时, 系统主导滑模吸引子转换为 $\Lambda_2 e^{\alpha/\beta}$ 项, 此时系统以类似终端滑模的速度逼近平衡点。

取滑动模态切换面 S 作为模糊控制器的输入变



量, 根据 S 偏离切换面 $s=0$ 的大小来选择描述 S 的模糊词集, 用 7 个模糊语言变量来描述: NB、NM、NS、ZR、PS、PM、PB, 分别代表 $s\lll 0, s\ll 0, s<0, s\approx 0, s>0, s>>0, s>>>0$, 这样, 再根据经验针对 S 偏离的大小来决定施加给系统以不同大小的控制量, 作用于被控对象, 迫使系统状态点趋向于切换面并且沿切换面运动。由于 $s=0$ 的判断是模糊的, 是对在某一模糊域内而言的, 所设计的模糊控制器实质上具有准滑动模态控制器的性质。

由于只有一个变量作为模糊控制器的输入, 因而大大减少了控制规则数目, 为模糊控制器的设计和调节工作都带来了极大的方便, 设计更简单, 实现更容易。

2 液位控制系统的单输入模糊控制器设计

对应于液位控制系统, 设期望值为 $x_d(t)$, 定义误差向量: $e(t)=x_d(t)-x(t)$, 引入复合结构终端滑模面:

$$S=\dot{e}+\Lambda_1 e+\Lambda_2 e^{\alpha/\beta}. \quad (4)$$

以 S 作为模糊控制器的输入变量, 选取 m 个模糊词集来描述 S , 模糊输出 U 用 l 个模糊词集描述, 经过输出比例系数后, 作为控制信号作用于被控对象输入端。通常选取 7 个语言变量: {NB、NM、NS、ZR、PS、PM、PB} 描述输入、输出变量; 每个语言变量的隶属函数一般取为等宽的三角形, 如图 1 所示。

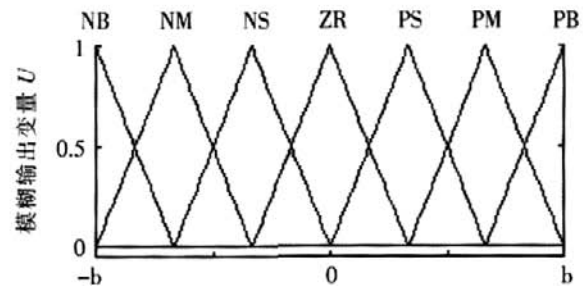


图 1 模糊变量 S, U 的隶属函数

Fig.1 Membership function of fuzzy variable S, U

模糊控制规则是由实际经验总结得来的, 根据经验, 当 $s>0$ 时, 表示状态轨迹超出了滑动面, 应施加一个负的控制输出 u , 使系统尽快达到 $s=0$; 而当 $s<0$ 时, 表示状态轨迹没有超出滑动面 $s=0$, 应施加一个正的控制输出; 当 $s\approx 0$ 时, 状态轨迹已到达滑动面, 控制输出为零。具体的模糊控制规则如表 1 所示。

模糊控制规则数目比普通模糊控制器大大减少, 这样使得模糊控制器的设计和实现都很容易。应用于

表 1 模糊控制规则表

S	NB	NM	NS	ZR	PS	PM	PB
U	PB	PM	PS	ZR	NS	NM	NB

液位控制系统, 能够实现较好的跟踪。

3 实验研究

采用兰州理工大学自动化系 PCS(Process Control

System)液位控制系统完成算法的验证工作。PCS 液位控制系统实验装置如图 2 所示,液位控制单元流程图如图 3 所示。

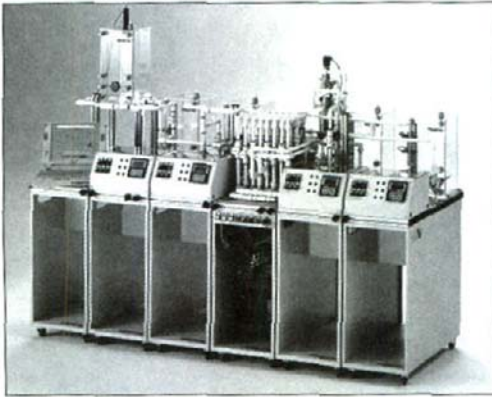


图 2 PCS 实验装置图

Fig.2 Experimental facility of PCS

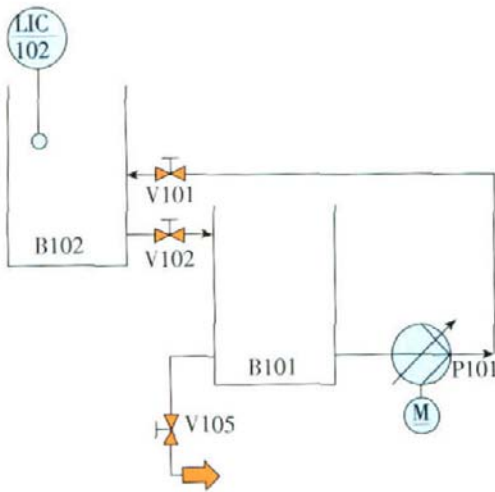


图 3 液位控制示意图

Fig.3 Diagram of liquid level control

在图 3 中,被控对象为 B102,被控参数为 B102 的水位。执行器为水泵 P101,测量变送器 LIC/102 为模拟式超声波液位传感器,调节器为电机调速器。水泵将水箱 B101 里的蒸馏水送到 B102,水箱 B102 的水在重力作用下流到水箱 B101,为保持水箱 B102 的水位在设定值,水箱 B102 上方的超声波液位传感器测得水箱 B102 的水位,并将水位信号传到控制器。实验过程中由 WinCC 软件负责测量和记录水位高度数据和控制器控制信号,并将数据通过 DDE 传到 MATLAB 中进行运算。

由于使用了 MATLAB 和 WinCC,因此控制系统

的软件设计非常简单。首先,在 WinCC 下完成画面组态、设备组态、实时数据库、主控菜单和运行策略组态,并且建立相关变量的 DDE 连接^[4];然后在 MATLAB 中建立单输入模糊控制的语言变量、隶属函数和推理规则;最后用 MATLAB 编写控制器程序,生成控制量输出,并将结果通过 DDE 返回 WinCC。

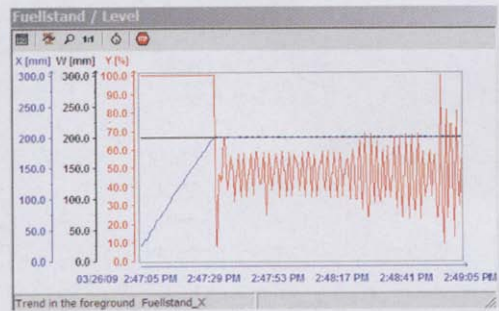


图 4 单输入模糊控制系统的实验结果

Fig.4 Experiment result of single input fuzzy control

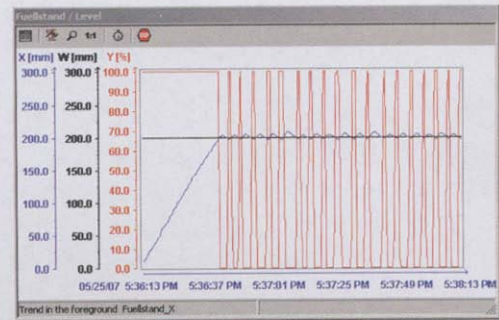


图 5 常规 PD 控制系统的实验结果

Fig.5 Experiment result of conventional PD control

WinCC 下的趋势曲线如图 4、图 5 所示。 X 表示液位实际输出, W 表示液位设定值, Y 为图 3 中电机 P101 输入电压的百分比。其中电机 P101 输入电压限定范围为 0~10V。

4 结论

本文为液位控制系统设计了一个单输入模糊控制器,取得了满意的跟踪效果。由于模糊控制器是单输入的,因而同普通模糊控制器相比,大大减少了控制规则数,使得模糊器的设计和实现都非常容易。同时该模糊控制器还具有准滑动模态的性质,因而还体现出滑动模态控制的鲁棒性。仿真表明这是一种适用于液位控制的较好方案。(下转第 89 页)

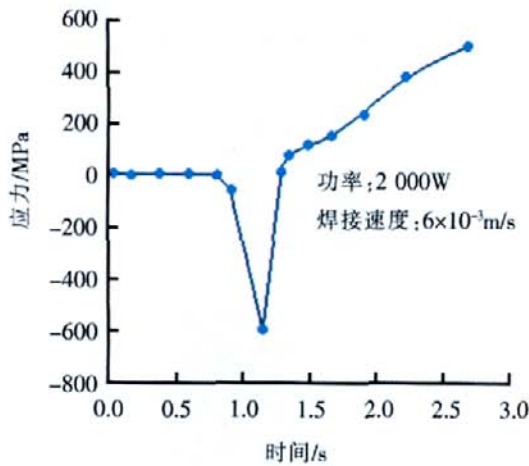


图9 沉积层上一点纵向应力演变过程
Fig.9 Evolution of longitudinal stress on one point of the sedimentary

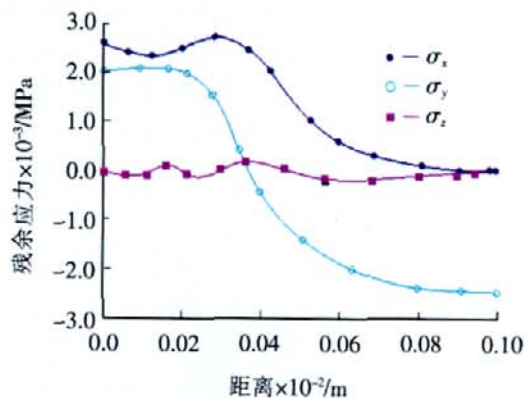


图10 冷却后的残余应力分布
Fig.10 Distribution of residual stress after cooling

图10表示焊件上表面中心线焊接残余应力的变化(因Y轴对称,仅取一半)。从图中可以看出,仅在沉积层及附近存在较高的拉应力且最大,随着远离焊点,拉应力渐渐减少,但在焊接过程中总存在一部分残余热应力,若此残余热应力超过材料的“屈服应力”,则发生塑性变形,使零件的尺寸精度受到影响;若此残余热应力超过材料的抗拉强度,零件就会产生裂纹。

5 结论

建立了基于 Gauss 曲面体热源模型的移动热源作用下的三维数学模型,对激光焊接温度场、热应力

场进行了移动线热源条件下非稳态计算。并利用 ANSYS 软件,建立钛合金管口非线性弹塑性热力耦合有限元模型,对高斯分布热源作用下的激光焊接温度场、热应力场进行了三维瞬态有限元模拟分析,得出了以下结论:

(1)激光焊接过程采用瞬间空冷后,新的沉积层进入冷却状态,沿激光束运动方向的热应力为拉应力,垂直沉积层方向的热应力也为拉应力。

(2)焊件内应力随光束移动呈动态变化,沉积区及附近存在较大的焊接残余拉应力,应力最大值接近或超过材料的屈服强度,离开焊缝区后焊接残余应力迅速衰减为压应力。

参 考 文 献

- [1] 孔祥谦. 限单元法在传热学中的应用. 科学出版社, 1998.
- [2] 郭宽良. 值计算传热学. 合肥:安徽科学出版社, 1987.
- [3] 王明伟, 张立文, 裴继斌, 等. 温度对 BT20 合金筒形件真空热胀形影响模拟研究. 材料热处理学报, 2007, 28(2).
- [4] Penasa M, Rivela C. Application of the laser welding process to low thickness stainless steels. Welding International, 2003, 17: 947-957.
- [5] Vedani M. Microstructural evolution of tool steels after Nd-YAG Laser repair welding. Journal of Material Science, 2004, 39: 241-249.
- [6] Sherman Mcelroy, Dehua Yang, Ramanag. Laser processing of titanium aluminides, Journal of Materials Engineering and Performance, 2000, 9: 506-515.
- [7] 丁林, 周永涛, 李明喜. T型接头激光焊接的温度场和应力场的数值模拟. 安徽工业大学学报, 2007, 24: 384-388.

(责编 淡蓝)

(上接第 84 页)

参 考 文 献

- [1] Hwang Guang Chyan, Lin Shih Chang. A stability approach to fuzzy control design for nonlinear systems. Fuzzy Sets and Systems, 1992, 48: 279-287.
- [2] Tang Y. Terminal sliding mode control for rigid robots. Automatica, 1998, 34(1): 51-56.
- [3] Han-Xiong Li, Gatland H B, Conventional fuzzy control and its enhancement, IEEE Trans. On Systems, Man and Cybernetics, 1996, 26(5): 791-797.
- [4] 李二超, 刘微容, 李炜. 基于 WinCC 和 Matlab 的一种简单在线仿真方法. 实验技术与管理, 2008, 3(25): 69-72.

(责编 金卯)