

〈系统与amp;设计〉

大口径快速反射镜的模糊自适应PID控制

蔡玉生^{1,2}, 朱军³, 石磊¹, 张景忠⁴

(1. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033; 2. 中国科学院大学, 北京 100049;
3. 山东核电有限公司, 山东 烟台 265116; 4. 黑龙江省森林保护研究所, 黑龙江 哈尔滨 150000)

摘要: 快速反射镜能否精确稳定跟踪目标取决于良好的伺服控制性能。快速反射镜的通光口径越大, 柔性支撑铰链和驱动器设计难度就越大, 同时也会对伺服控制提出更高的要求。针对此问题, 本文提出模糊自适应整定PID (proportional integral derivative) 控制算法, 该算法既能运用模糊推理进行自适应整定控制参数, 又能继承传统PID控制器便于工程实现。本文对音圈电机 (voice coil motor) 驱动的 $\phi 500\text{ mm}$ 大口径快速反射镜进行控制器设计且进行仿真实验, 并将其结果与基于传统PID控制下的相比较。结果表明, 基于模糊自适应整定PID控制的 $\phi 500\text{ mm}$ 大口径快速反射镜的超调量为5.40%, 调节时间51.0 ms, 且抗干扰能力强于传统PID控制。此外, 与传统PID控制相比, 本文提出的控制方法提高了 $\phi 500\text{ mm}$ 大口径快速反射镜的响应速度, 减小了跟踪误差, 提升了 $\phi 500\text{ mm}$ 大口径快速反射镜系统的跟踪性能和鲁棒性。

关键词: 快速反射镜; 大口径; 音圈电机; 模糊控制; 自适应整定PID

中图分类号: TP273

文献标识码: A

文章编号: 1001-8891(2021)06-0523-09

Fuzzy Adaptive PID Control of Large Aperture Fast Steering Mirror

CAI Yusheng^{1,2}, ZHU Jun³, SHI Lei¹, ZHANG Jingzhong⁴

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;
2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Shandong Newclear Power Co. Ltd, Yantai 265116, China;
4. Heilongjiang Institute of Forest Protection, Harbin 150040, China)

Abstract: The ability of a fast-steering mirror (FSM) to track a target accurately and steadily depends on its servo control performance. The larger the aperture of the FSM is, the more difficult it is to design the flexible supporting hinge and the driver; in addition, it will also demand greater requirements on the servo control. To solve this problem, this paper proposes a fuzzy adaptive tune(FAT) proportional integral derivative (PID) control algorithm, which not only uses fuzzy theory for adaptively tuning the control parameters, but also inherits the classic PID controller for engineering realization. In this study, we designed a controller for the $\phi 500\text{ mm}$ FSM driven by a voice coil motor, conducted simulation experiments, and compared the results with the simulation results based on classic PID control. According to the results, the overshoot was 5.4%, the settling time was 51.0 ms based on FAT PID control, and the capacity of resisting disturbance was stronger than that of the classical PID control. In addition, compared with traditional PID control, the proposed control method improved the $\phi 500\text{ mm}$ FSM response speed, decreased the tracking error, and improved $\phi 500\text{ mm}$ FSM system tracking performance and robustness.

Key words: fast steering mirror, large aperture, voice coil motor, fuzzy control, adaptive tuning PID

0 引言

快速反射镜由精密伺服控制相应的转角从而精

确控制光束的偏转角度, 它相对于普通的反射镜具有响应速度快、工作带宽高、指向精度高等优点^[1-2]。伴随着航空光学成像、遥感技术等领域对成像分辨率的

收稿日期: 2020-12-24; 修订日期: 2020-12-30.

作者简介: 蔡玉生 (1994-), 男, 湖北黄冈人, 硕士研究生, 主要从事精密机械控制研究。E-mail: caiys1994@163.com.

基金项目: 黑龙江省省属科研项目 (CZKYF2020B0009)。

©1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

要求不断提高,大口径、长焦距光学系统在光电稳定平台获得广泛的应用。为满足大口径航空光学系统成像的高质量的要求,基于大口径快速反射镜温度-高度环境下的高精度跟瞄测试方法,大口径快速反射镜模拟框架粗稳伺服残差,测试光学系统精稳跟踪性能,能较真实地评估光学系统成像质量。如图1所示。

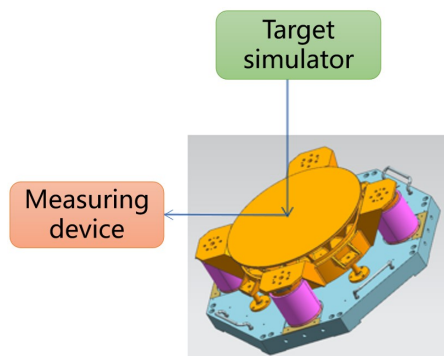


图1 模拟应用简图

Fig.1 Simulation application sketch

其中对于大口径快速反射镜的控制方法决定了其稳定性能,间接地影响对光学系统成像质量的评价。其中文献[3]采用改进根轨迹方法去设计PID (proportional integral derivative) 参量,保证良好的系统动态性能且改善系统机械谐振问题。但该方法需精准系统模型数学表达式。文献[4]采用改进自抗扰的方法,验证了低频信号下,该方法在原有自抗扰算法的基础上减小系统响应时间,提升系统跟踪精度。但缺乏工程化的理论保障。文献[5]采用基于内积的逆模型补偿方法可获得较好的控制效果,但当外界环境变化或受到干扰,则需要重新设计。

因此本文提出模糊自适应整定PID控制算法,在传统PID控制算法基础上,引入模糊理论和参数自整定方法,既具有模糊理论不完全依赖于精确模型,又能发挥出传统PID控制设计上简单、易于工程实现、鲁棒性好等特点。

1 $\phi 500$ mm 大口径快速反射镜系统的结构与模型

1.1 大口径快速反射镜系统简介

本文以 $\phi 500$ mm大口径快速反射镜系统为研究对象,由反射镜、音圈电机、控制器、线性功率放大器、

电涡流位移传感器、反射镜基座等部分组成。该系统机械结构如图2所示。

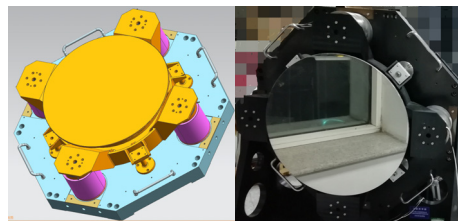


图2 $\phi 500$ mm 大口径快速反射镜结构

Fig.2 $\phi 500$ mm large aperture fast steering mirror mechanical structure

该反射镜系统有X、Y两轴,每一个轴上装有两个音圈电机,反射镜安装在镜托上,镜托又通过“金字塔”状柔性铰链^[6](如图3所示)与反射镜基座相连,同一轴上两个音圈电机直线运动推挽镜托,围绕旋转中心形成推挽力矩,推动“金字塔”状柔性铰链产生弹性位移,进而使得反射镜偏转。反馈测量元件为电涡流传感器,安装位置是与两轴成 45° 夹角。

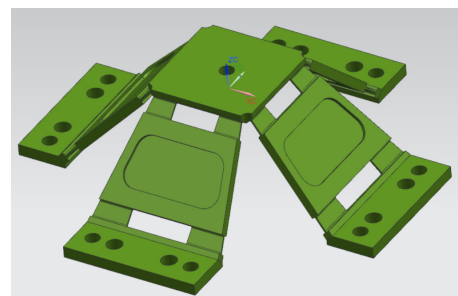


图3 “金字塔”状柔性铰链

Fig.3 Pyramid flexible hinges

其工作原理为当给定输入信号时,控制器根据相应控制算法将控制量输出到音圈电机驱动器上,同轴上的两个音圈电机获得大小相等且方向相反的驱动力,进而产生推挽驱动力矩,推动“金字塔”状柔性铰链在这个轴线方向上产生位移变化,通过电涡流传感器检测位移的变化(转换为转角),反馈给控制器,形成一个闭环控制系统。 $\phi 500$ mm大口径快速反射镜的控制框图如图4所示。

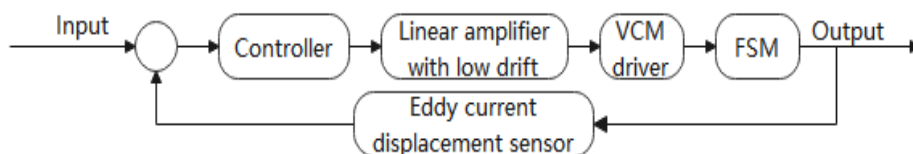


图4 $\phi 500$ mm FSM 系统控制原理框图

Fig.4 $\phi 500$ mm FSM system control schematical diagram

1.2 大口径快速反射镜系统的数学模型

φ500 mm 大口径快速反射镜系统中包含有功率放大器、电涡流传感器、“金字塔”状柔性铰链和音圈电机等部分。其中功率放大器，传感器、柔性铰链等数学模型都可等效为一个比例模块，主要是音圈电机的数学模型的建立，将其等效为一个质量-阻尼-弹簧模型。如图 5 所示。其中力学平衡方程方程为：

$$F_t - kx - c \frac{dx}{dt} = m \frac{d^2x}{dt^2}$$
$$F_t = K_t I = BLI$$

(1)

电压平衡方程为：

$$u = L \frac{di}{dt} + Ri + K_e \frac{dx}{dt}$$

(2)

式中： F 为作用在质量块 m 上的力； c 为阻尼系数； I

为电流； k 为弹簧弹性系数； x 为位移； L 为电机电感； R 为电机内阻； K_t 为推力常数； K_e 为反电动势系数。

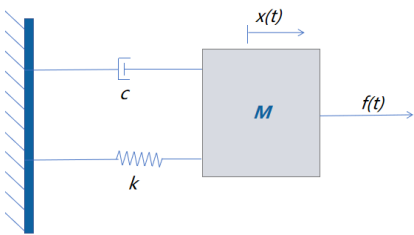


图 5 质量-阻尼-弹簧模型
Fig.5 Mass-damped-spring model

根据各部分元器件的物理特性，建立大口径快速反射镜系统的数学模型如图 6 所示。

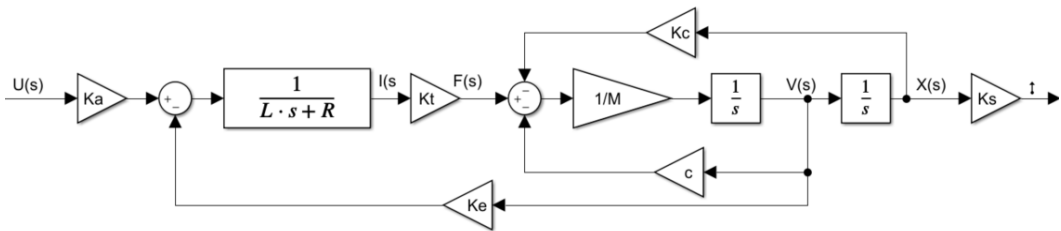


图 6 系统数学模型
Fig.6 System mathematical model

各参数的定义如表 1 所示。

表 1 数学模型的参数定义

Table 1 The parameter definition of the mathematical model

Symbol	Parameter
L	VCM inductance
R	VCM internal resistance
K_e	Back EMF coefficient
K_t	Force sensitivity
K_c	Flexible hinge elastic coefficient
K_a	Amplification coefficient
M	Load mass
c	System damping coefficient

根据图 6 可以求得被控对象的传递函数为：

$$G(s) = \frac{X(s)}{U(s)} = \frac{K_a K_t K_s}{(Ms^2 + cs + k)(Ls + R) + K_t K_e s}$$

(3)

式中： s 为复频率。

但由于实际系统中，音圈电机的电感数值非常小，可以忽略不计。

本文采用白噪声为输入信号，偏转位移角度作为输出信号，采用 Matlab 中的系统辨识工具箱对大口径快速反射镜系统进行模型辨识，得到 φ500 mm 大口径快速反射镜系统的开环传递函数为：

$$G(s) = \frac{X(s)}{U(s)} = \frac{5515.6}{s^2 + 173.8s + 3473.2}$$

(4)

式(4)就作为下面实验部分的被控对象的数学模型，对它展开实验仿真。

2 模糊自适应整定 PID 控制

2.1 模糊理论

模糊理论可解决专家经验不易精确描述和不易定量表示等问题。其运用模糊数学理论和方法，用模糊数集表示规则的条件、操作，并把控制规则以及其他有关信息（如初始 PID 参数、评价指标等）作为知识库存入到计算机中，然后根据实际系统的响应情况，运用模糊理论推理，得到最佳输出参数，即可实现对最佳 PID 参数的自动调整^[7]。

模糊控制器是把误差 e 和误差变化率 e_c 作为输入，以满足任意时刻的 e 和 e_c 对 PID 调节器中 K_p 、 K_i 、 K_d 3 个参数自整定的要求^[8]，其控制器结构如图 7 所示。

2.2 模糊控制

模糊控制的核心就是模糊控制器，具备下列 3 个功能：

①将系统偏差从准确数字量转化为模糊量，即为模糊化过程。

②由给定的对应模糊规则对模糊量进行模糊推理。

③将推理后的模糊输出量转化为精确量，即为反模糊化。

2.2.1 模糊化

模糊化是对精准数字量到模糊量的转换。模糊化过程中的模糊化函数一般用隶属度函数来表示。图8有常用的3种模糊化函数。

设输入变量为 e 、 e_c ，输出变量为 K_p 、 K_i 、 K_d ，且定义模糊变量对应的变化区间 $[-6,6]$ ，对应论域为：

$e, e_c, K_p, K_i, K_d = \{-6, -4, -2, 0, 2, 4, 6\}$

并设其模糊子集为：

$e, e_c, K_p, K_i, K_d = \{NB, NM, NS, Z, PS, PM, PB\}$

其中 N、Z、P 表示负、零、正。B、M、S 表示大、中、小。输入、输出变量的隶属度曲线如图9、图10所示。

2.2.2 建立模糊控制规则表

知识库包含规则库和数据库。通常以规则表的形式表示模糊规则。

根据3个控制参数 K_p 、 K_i 、 K_d 在控制过程中的作用及其变化对控制系统产生不同的影响，得到模糊控制器中3个控制参数的自整定原则。

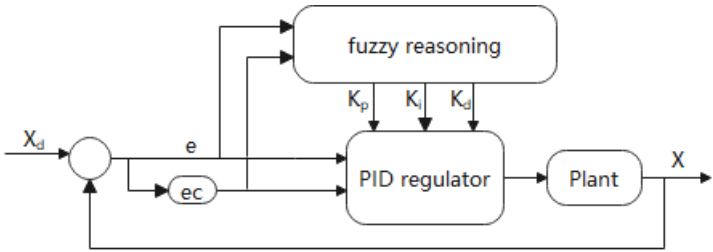


图7 模糊控制器结构图

Fig.7 Fuzzy controller structure diagram

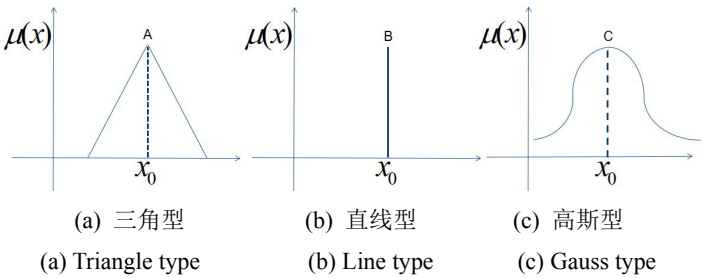


图8 三种模糊化函数

Fig.8 3 kinds of fuzzy functions

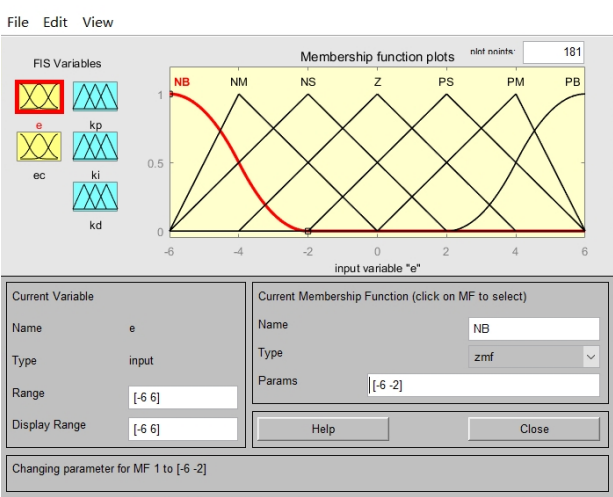


图9 e 、 e_c 的隶属度曲线

Fig.9 e, e_c membership curves

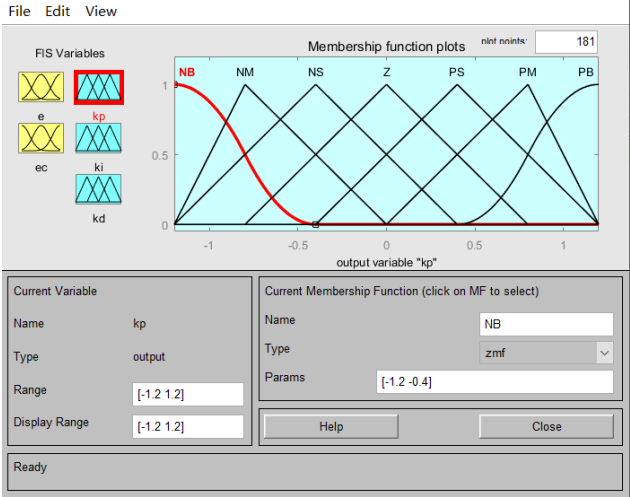


图10 K_p 、 K_i 、 K_d 的隶属度曲线

Fig.10 K_p, K_i, K_d membership curves

参考文献[9]中自整定原则并综合专家的控制经验，建立如下模糊逻辑语句。

- 1) If (e is NB) and (e_c is NB) then (K_p is PB)(K_i is NB)(K_d is PS)
- 2) If (e is NB) and (e_c is NM) then (K_p is PB)(K_i is NB)(K_d is NS)
- 3) If (e is NB) and (e_c is NS) then (K_p is PM)(K_i is NM)(K_d is NB)
-
- 49) If (e is PB) and (e_c is PB) then (K_p is NB)(K_i is PB)(K_d is PB)

由以上逻辑模糊语句可以得到以下 K_p 、 K_i 、 K_d 的模糊规则表（如表 2~表 4 所示）。

表 2 K_p 的模糊规则表

Table 2 Fuzzy rules table of K_p

K_p		e_c						
		NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
e	NB	PB	PB	PM	PM	PS	Z	Z
	NM	PB	PB	PM	PS	PS	Z	NS
	NS	PM	PM	PM	PS	Z	NS	NS
	Z	PM	PM	PS	Z	NS	NM	NM
	PS	PS	PS	Z	NS	NS	NM	NM
	PM	PS	Z	NS	NM	NM	NM	NB
	PB	Z	Z	NM	NM	NM	NB	NB

表 3 K_i 的模糊规则表

Table 3 Fuzzy rules table of K_i

K_i		e_c						
		NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
e	NB	NB	NB	NM	NM	NS	Z	Z
	NM	NB	NB	NM	NS	NS	Z	Z
	NS	NB	PM	NS	NS	Z	PS	PS
	Z	NM	NM	NS	Z	PS	PM	PM
	PS	NM	NS	Z	PS	PS	PM	PB
	PM	Z	Z	PS	PS	PM	PB	PB
	PB	Z	Z	PS	PM	PM	PB	PB

2.2.3 反模糊化处理

反模糊化过程就是精确化。在模糊集合中取出代

表模糊推理结果最大可能性的精确值。

表 4 K_d 的模糊规则表

Table 4 Fuzzy rules table of K_d

K_d		e_c						
		NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
e	NB	PS	NS	NB	NB	NB	NM	PS
	NM	PS	NS	NB	NM	NM	NS	Z
	NS	Z	NS	NM	NM	NS	NS	Z
	Z	Z	NS	NS	NS	NS	NS	Z
	PS	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z
	PM	PB	NS	PS	PS	PS	PS	PB
	PB	PB	PM	PM	PM	PS	PS	PB

综合考虑，最大隶属度函数法常用于对控制要求不高且计算相对简单的系统，而重心法的推理控制输出会更加平滑，因此本文采用重心法来进行反模糊化处理。得到 K_p' 、 K_i' 、 K_d' 的模糊控制调整参数，定义参数 K_p 、 K_i 、 K_d 调整算式如下：

$$\begin{cases} K_p = K_{p0} + \{e, e_c\} K_p' = K_{p0} + \Delta_p K_p' \\ K_i = K_{i0} + \{e, e_c\} K_i' = K_{i0} + \Delta_i K_i' \\ K_d = K_{d0} + \{e, e_c\} K_d' = K_{d0} + \Delta_d K_d' \end{cases} \quad (5)$$

式中： $\Delta_p=1/5$ ， $\Delta_i=1/10$ ， $\Delta_d=1/10$ 为量化因子， K_{p0} 、 K_{i0} 、 K_{d0} 为初始参数。通过不断检测、计算 e 和 e_c ，并传入模糊控制器中，得到 3 个输出参数 K_p 、 K_i 、 K_d 的调整量，实现对控制器参数的自适应调整^[10]。

3 系统仿真分析

在 Matlab/Simulink 中搭建整个系统模型如图 11 所示，基于模糊控制与基于传统 PID 控制的 $\phi 500\text{ mm}$ 大口径快速反射镜仿真模型。

传统的 PID 控制参数通过临界比例度法^[11]整定控制参数，得到的 3 个参数 K_p 、 K_i 、 K_d ，同时显示阶跃输入信号（在某一时刻加干扰）、正弦信号，传统 PID 输出和模糊自适应 PID 输出如图 12、图 13 所示， $\phi 500\text{ mm}$ 大口径快速反射镜系统的阶跃响应如图 14 所示，正弦信号跟踪如图 15 所示。

根据上图 12、图 13、图 14、图 15 输出波形可分析得到，模糊自适应 PID 与传统 PID 控制相比，动态性能上调节时间更短，超调量也稍小，能够比较迅速地进入稳态，并且抗干扰的能力更强，能较快恢复到系统的稳定状态。具体数值如表 5 所示。

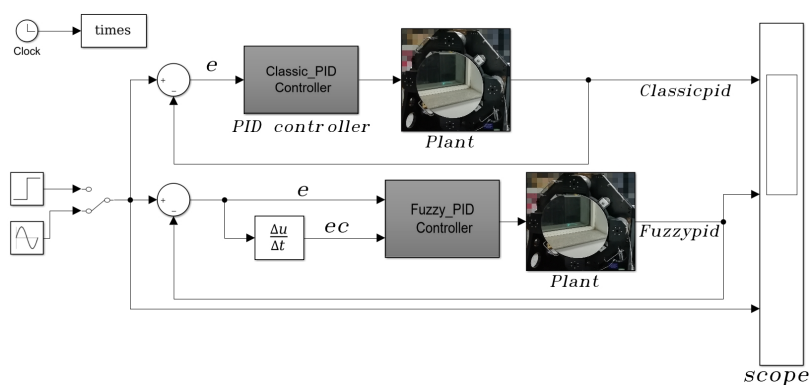


图 11 $\phi 500$ mm FSM 系统模型

Fig.11 $\phi 500$ mm FSM system model

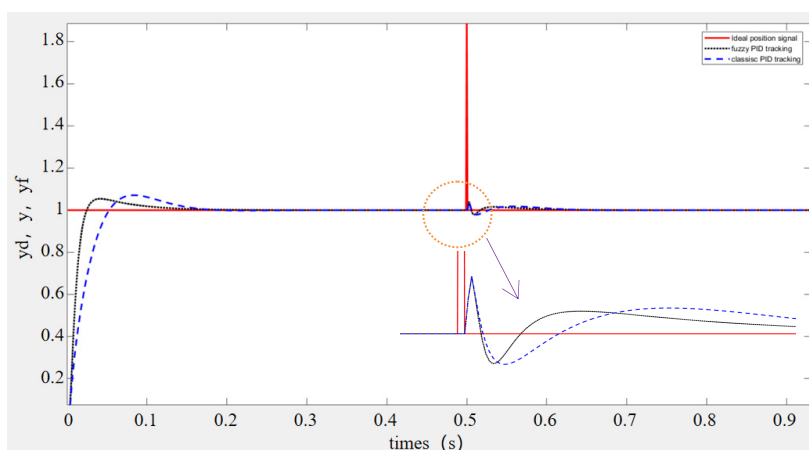


图 12 控制系统阶跃响应输出

Fig.12 Control system step response output

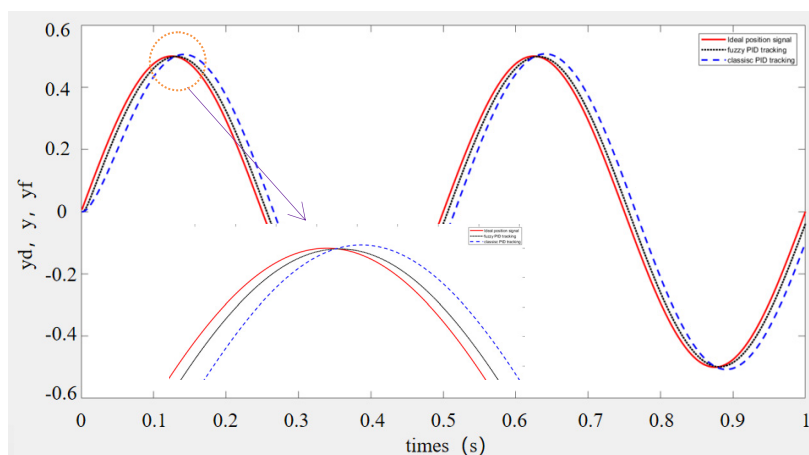


图 13 控制系统正弦跟踪输出

Fig.13 Control system sine tracking output

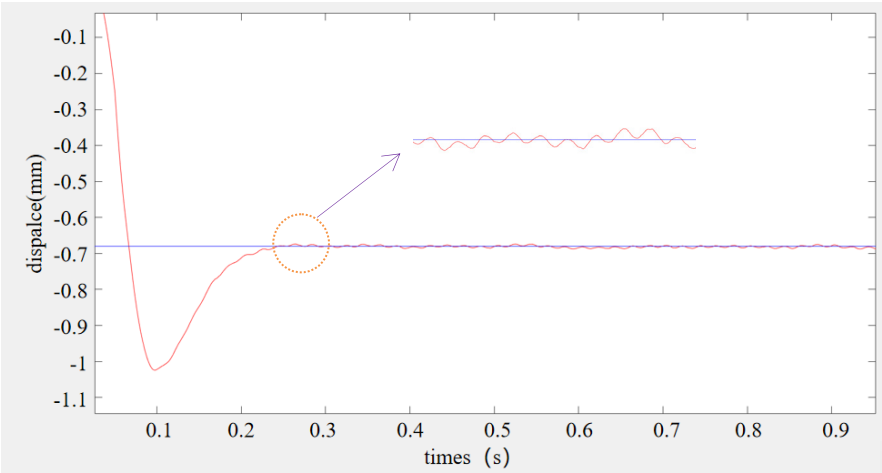


图 14 $\phi 500$ mm 快速反射镜系统阶跃响应
Fig.14 $\phi 500$ mm FSM system step response

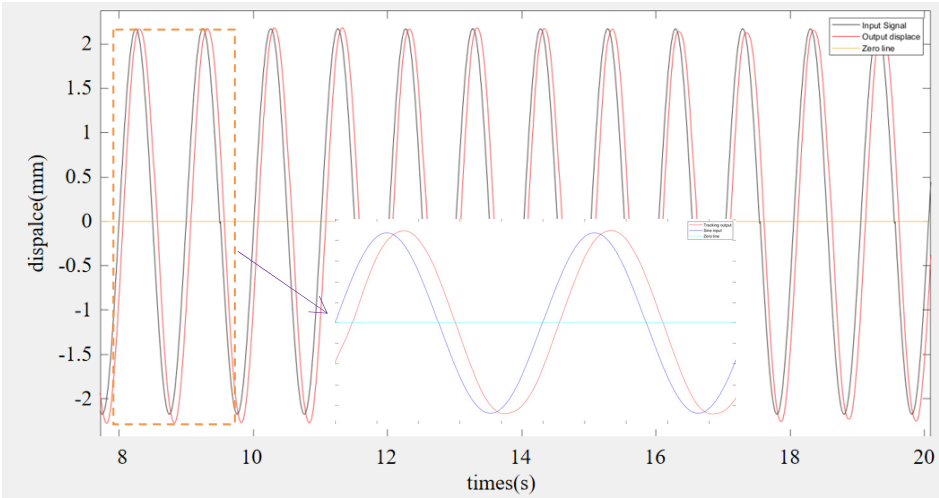


图 15 $\phi 500$ mm 快速反射镜系统正弦跟踪
Fig.15 $\phi 500$ mm FSM system sine tracking

表 5 控制性能对比
Table 5 The comparison of control performance

Controller	Control performance				
	Transition process	Overshoot/(%)	Settling time/ms	Raising time/ms	Peaking time/ms
Classic PID	Dampled oscillation	7.10	112.0	35.5	81.0
Fuzzy PID	Dampled oscillation	5.40	51.0	12.8	40.0

针对模糊控制部分，进一步观察模糊控制器的 3 个输出 K_p 、 K_i 、 K_d 的变化如图 16、图 17 所示。
由图 16、17 分析可见，模糊控制器的 3 个输出参数随着系统调节发生变化，待系统趋于稳定后，参

数不再发生变化且趋于稳定。对于正弦响应，系统稳态一直在变化，3 个参数输出也一直处于类似正弦规律性变化。

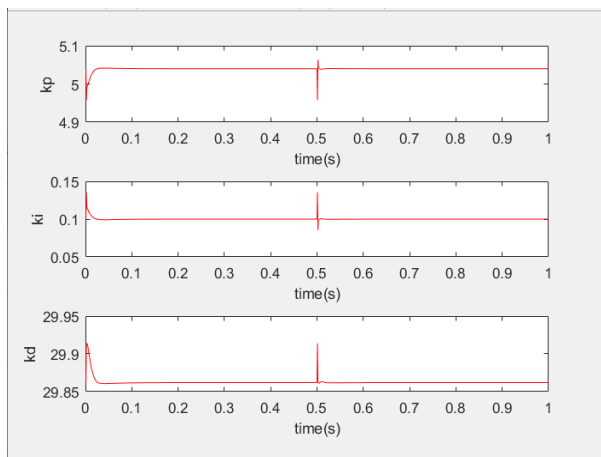


图16 阶跃信号下 K_p 、 K_i 、 K_d 的变化曲线

Fig.16 Parameters K_p , K_i , K_d change curves under step signal

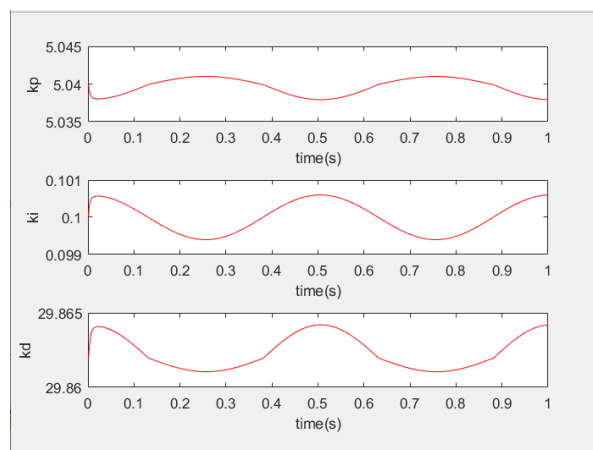


图17 正弦信号下 K_p 、 K_i 、 K_d 的变化曲线

Fig.17 Parameters K_p , K_i , K_d change curves under sine signal

4 结论

与传统 PID 控制相比,本文提出的控制算法,系统上升时间缩短至 12.8 ms 左右,超调量减小了 31% 左右,达 5.4%,调节时间提前 2.2 倍左右,达 51 ms 左右,而且抗干扰能力相对较强。均优于传统 PID 控制,明显改善大口径快速反射镜系统的动态、稳态性能,提高了响应速度,减小了跟踪误差。所以选用大口径快速反射镜去模拟框架的粗稳伺服残差进而检测光学成像系统的精稳跟踪性能。航空光学成像检测系统的精度能直接评价成像质量好坏。系统检测精度越高,就能对光学成像质量给出越高的评价,具有重大意义。

模糊控制算法的控制效果很大程度上依赖于专家控制经验,因此整个系统的动态、稳态性能受到专家控制经验的局限,但人工智能和机器学习的不断发展^[12],上述存在问题慢慢就会有新的解决途径。

参考文献:

- [1] KLUK D J, BOULET M T, TRUMPER D L. A high-bandwidth, high-precision, two-axis steering mirror with moving iron actuator[J]. *Mechatronics*, 2012, **22**(3): 257-270.
- [2] 刘力双, 夏润秋, 吕勇, 等. 音圈电机快速控制反射镜研究现状[J]. *激光杂志*, 2020, **9**(1): 1-7.
LIU Lishuang, XIA Runqiu, LV Yong, et al. Research situation of fast steering mirror driven by voice coil motor[J]. *Laser Journal*, 2020, **9**(1): 1-7.
- [3] 艾志伟, 谭毅, 吴琼雁, 等. 改进根轨迹的快速反射镜控制参量设计[J]. *激光技术*, 2017, **41**(4): 558-561.
AI Zhiwei, TAN Yi, WU Yanqiong, et al. Design of control parameters

for fast steering mirrors by improving root locus[J]. *Laser Technology*, 2017, **41**(4): 558-561.

- [4] 魏文军, 赵雪童. 基于改进自抗扰的快速反射镜控制研究[J]. *红外技术*, 2018, **40**(11): 1071-1076.
WEI Wenjun, ZHAO Xuotong. Fast steering mirror control based on improved active disturbance rejection[J]. *Infrared Technology*, 2018, **40**(11): 1071-1076.
- [5] 党选举. 压电陶瓷执行器的神经网络实时自适应逆控制[J]. *光学精密工程*, 2008, **20**(7): 1266-1272.
DANG Xuanju. Real-time adaptive inverse control based on neural networks for piezo ceramic actuator[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2008, **20**(7): 1266-1272.
- [6] 石磊, 许永森, 沈宏海, 等. 一种大口径偏摆镜[P]. 中国: CN 107526159B [2019-09-10].
SHI Lei, XU Yongsan, SHEN Honghai, et al. A large-aperture deflection mirror[P]. CHINA: CN107526159B[2019-09-10].
- [7] 欧长劲, 吴海列, 李军, 等. 基于模糊神经网络的 SBR 污水处理控制系统研究[J]. *计算机测量与控制*, 2006, **14**(12): 1643-1645.
OU Changjin, WU Hailie, LI Jun, et al. Study of SBR control system based on fuzzy neural network[J]. *Computer Measurement & Control*, 2006, **14**(12): 1643-1645.
- [8] 陈泰潮. 基于模糊自适应 PI 控制的电梯调速系统仿真研究[J]. *机电技术*, 2018, **3**(1): 135-137.
CHEN Taichao. Simulation research on elevator speed regulation system based on fuzzy adaptive PI control[J]. *Mechanical & Electrical Technology*, 2018, **3**(1): 135-137.
- [9] 赵继庭, 金刚石, 高旭辉. 基于快速反射镜的模糊自适应 PID 控制算法研究[J]. *激光与红外*, 2018, **48**(6): 756-761.
ZHAO Jiting, JIN Gangshi, GAO Xuhui. Fuzzy adaptive PID control algorithm based on fast steering mirror[J]. *Laser & Infrared*, 2018, **48**(6): 756-761.
- [10] Bullard A, Shawki I. Responder fast steering mirror[J]. *Proceedings of*

- SPIE - The International Society for Optical Engineering*, 2013, 6(2): 88-91.
- [11] 于明星, 王瑛, 邵帅, 等. 基于 Matlab 的临界比例度法在工程 PID 参数自整定数值模拟中的应用[J]. *辽宁师专学报: 自然科学版*, 2018, 2(1): 6-8.
- YU Mingxing, WANG Ying, SHAO Shuai, et al. Application of critical proportioning method based on Matlab in PID parameters auto-tuning numerical simulation in engineering[J]. *Journal of Liaoning Teachers College*, 2018, 2(1): 6-8.
- [12] 孟子流, 李腾龙. 机器学习技术发展的综述与展望[J]. *集成电路应用*, 2020, 37(10): 56-57.
- MENG Ziliu, LI Tenglong. Review and prospect of machine learning technology[J]. *Application of IC*, 2020, 37(10): 56-57.

<书讯>

光电系统设计基础

本书于2021年5月由清华大学出版社出版,作者基于高校光电类专业培养高层次、综合性、创新性人才的需求,以及“新工科”课程建设的实际需要,从工程实际和教学出发,编著适合光学工程学科研究生和光电信息科学与工程专业高年级本科生的教材,同时也适合光电行业的技术、管理人员学习参考,提高光电系统总体技术设计能力。

本书是作者结合自己长期从事光电系统(装备)工作的经验,将基础理论与工程技术相结合,融合科研成果与心得体会的一部教材。

本书内容丰富,深入浅出;取材科研,源于工程;突出重点,应用性强;系统全面,概念清晰;通过示例,触类旁通;层次分明,易教易学。

《光电系统设计基础》与作者于2019年和2018年编著出版的《光电系统设计——方法、实用技术及应用》、《光电系统环境与可靠性工程技术》,一起构成一套有特色、有联系、有深度、有广度的专业用书,对从事光电系统总体设计、开发的行业技术人员,以及从事各种光电系统研究的科研人员,都具有很高的实用参考价值。

作者简介:

吴晗平,男,1964年10月生,工学博士,教授,博士生导师。任中国光学学会光学教育专业委员会常务委员,中国兵工学会光电子技术专业委员会委员,中国电子学会量子电子学与光电子学分会委员,教育部学位与研究生教育发展评议专家,湖北省仪器仪表学会副理事长,湖北省光学学会常务理事,以及湖北省重大科技成果转化与产业化项目、省自然科学基金项目、省创新创业战略团队项目评审专家等。同时担任《光学精密工程》《光子学报》《中国光学》《激光与红外》《应用光学》《红外技术》《现代电子技术》《光电技术应用》等专业学术期刊编委。曾从事光电系统(装备)的立项论证、技术研究、设计、研制、检验、试验等一线工作近二十年,主持、承担或参与完成了多个国防高新重大光电装备研制项目和军队科研课题。曾获省(部)级科学技术奖一等奖两次(其中国防科学技术奖一等奖一次),省(部)级科学技术进步三等奖四次。出版国家军用标准一项。独撰出版学术著作(专著)四部,独撰出版教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会规划教材两部。先后在国内外三十多种专业学术期刊上发表论文一百余篇。主要研究方向为光电系统总体技术与设计,环境与可靠性工程技术,红外与紫外技术等。

