

文章编号 1004-924X(2016)02-0335-08

光电跟踪系统的双模控制

彭树萍^{1,2*}, 李 博¹, 姜润强¹, 陈长青¹, 于洪君¹

(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)

摘要: 引入了模糊控制法和滞后超前校正法相结合的双模控制技术来提高光电跟踪系统的响应速度、抗干扰性能并降低超调。分别介绍了模糊控制法和滞后超前校正法的工作原理, 基于两种方法的优势, 设计了双模控制系统。利用 MATLAB 对双模控制系统进行了仿真实验和相应的实验验证。仿真实验显示: 相比滞后超前校正法, 双模控制法能够有效降低系统超调, 提高系统响应速度, 同时具有更强的抗干扰性。利用实际光电跟踪转台对双模控制法进行了实验验证, 分别对转台进行了方位系统 180°阶跃实验和俯仰系统 60°阶跃实验, 并与滞后超前校正法进行了对比。结果显示, 双模控制法使方位系统和俯仰系统的超调都达到了 0%, 调节时间和稳态精度也都有所提高。得到的结果表明提出的双模控制法能够有效降低光电跟踪系统的超调, 提高响应速度, 增强系统的抗干扰性。

关键词: 光电跟踪系统; 双模控制; 模糊控制器; 滞后超前校正

中图分类号: TP273 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20162402.0335

Dual mode control for electro-optical tracking systems

PENG Shu-ping^{1,2*}, LI Bo¹, JIANG Run-qiang¹, CHEN Chang-qing¹, YU Hong-jun¹

(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)*

* *Corresponding author, E-mail: pengshuping 666 @126. com*

Abstract: A dual mode control technology in combination of fuzzy control method with lag-lead compensation method was introduced to improve the response speed, anti-jamming performance and to reduce the overshoot of an electro-optical tracking system. The operation principles of fuzzy control method and lag-lead compensation method were introduced respectively. Based on the advantages of two methods mentioned above, the dual mode control system was designed. Then the MATLAB was used to perform the simulation experiments for the dual mode control system and corresponding actual experimental verification. The simulation results show that dual mode control technology reduces the overshoot of the system, improves the response speed of the system effectively and has a much better capability in anti-jamming as compared with the lag-lead compensation method. Furthermore, the actual experiment of the dual mode control technology was performed on an electro-optical tracking plat-

收稿日期: 2015-04-20; 修订日期: 2015-05-23.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No. 61205143)

form, the experiments by 180° step for azimuth subsystem and 60° step for elevation subsystem were carried out. The results show that the overshoots of both azimuth and elevation subsystems reach 0%, meanwhile their adjusting time and precision of steady state are improved. It concludes that the dual mode control method is characterized by faster responding speeds, small overshoot and higher capability in anti-jamming.

Key words: electro-optical tracking system; dual mode control; fuzzy controller; lag-lead compensation

1 引言

自 1965 年美国 Zadeh 教授创建模糊集理论以来,模糊控制得到了迅速发展和广泛应用,其根源在于模糊逻辑本身提供了由专家构造语言信息并将其转化为控制策略的一种系统的推理方法,是处理推理系统和控制系统中不精确和不确定性的一种有效方法^[1-2]。

在光电跟踪系统中,系统性能指标不仅要求响应速度快、过渡过程好、跟踪精度高,还要求具有较强的抗干扰能力,单独使用一种控制策略已经不能同时满足这些要求,人们已经尝试采用多种控制策略相结合的方法。经典的滞后超前校正法在光电跟踪系统中被广泛应用,由于受到自身及国内工艺水平等因素的制约,采用滞后超前校正控制算法已经很难再进一步提高光电跟踪伺服系统的动态性能^[3-5]。模糊控制作为一种智能控制理论,具有许多传统控制无法比拟的优点,可极大地提高伺服系统的动态性能。采用模糊控制与滞后超前校正控制相结合的方法可以兼顾系统稳态精度和动态性能,达到既能提高系统动态性能又不降低系统稳态精度的目的。目前这一研究已经取得了诸多成果,但多数研究还处于仿真研究阶段。

本文对模糊控制法与滞后超前校正控制法相结合的双模控制方法进行了研究,通过仿真实验和实际实验验证双模控制法在光电跟踪系统中的应用,并与滞后超前法进行对比。提高了响应速度,增强了系统的抗干扰性。

2 双模控制法的原理

2.1 滞后超前校正方法

光电跟踪伺服控制系统采用滞后超前校正方法,控制系统由速度内环与位置外环组成,控制原

理如图 1 所示。

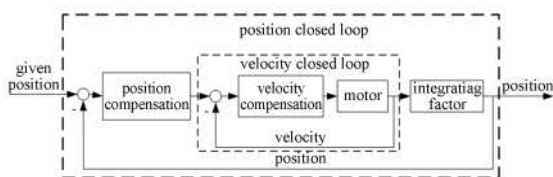


图 1 滞后超前伺服控制系统原理图

Fig. 1 Principle of lag-lead compensation servo system

光电跟踪伺服系统由方位和俯仰两套相互独立又相互配合的子系统组成,两套子系统结构形式相同。位置回路根据位置给定值与反馈值之间的偏差进行位置校正,输出速度控制量给速度回路。速度回路对速度控制量和实际速度之差进行速度校正,输出电机控制量,进而控制电机运动。

将图 1 中各个环节用相应的数学模型表示,如图 2 所示。位置校正环节的数学模型为 $G_p(s) = \frac{K_p(T_2^v s + 1)(T_3^v s + 1)}{(T_1^v s + 1)(T_4^v s + 1)}$,速度校正环节的数学模型为 $G_v(s) = \frac{K_v(T_2^v s + 1)(T_3^v s + 1)}{(T_1^v s + 1)(T_4^v s + 1)}$,电机的数学模型为 $G_m(s) = \frac{K}{(T_m s + 1)(T_e s + 1)}$,积分环节的数学模型为 $\frac{1}{s}$,校正环节的参数可以通过 Matlab 仿真获得。

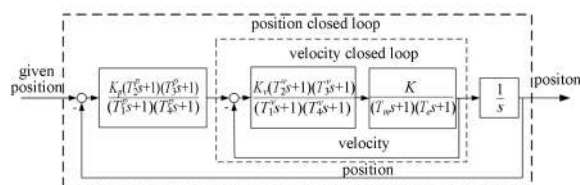


图 2 光电跟踪伺服系统数学模型图

Fig. 2 Mathematical model of electro-optical tracking servo system

2.2 双模控制法

滞后超前校正方法在控制光电跟踪设备进行大调转时,具有较大的超调,在电视跟踪时往往因为控制速度过快导致目标跑出视场。为解决这一问题,采用模糊控制与滞后超前校正控制相结合的双模控制方法。双模控制方法,就是在跟踪误差较大时,采用模糊控制,而在跟踪误差较小时,采用滞后超前校正控制,这样既能改善跟踪系统的动态性能,降低超调,又可以提高光电跟踪伺服系统的抗干扰能力^[6-7]。模糊控制器又分为一维模糊控制器、二维模糊控制器和三维模糊控制器等。一维模糊控制器是单输入单输出控制器,以位置误差为输入量。二维模糊控制器是双输入单输出控制器,以位置误差和位置误差变化率为输入量。本文主要研究二维模糊控制器与滞后超前校正结合的双模控制策略。双模控制策略的工作原理如图3所示。

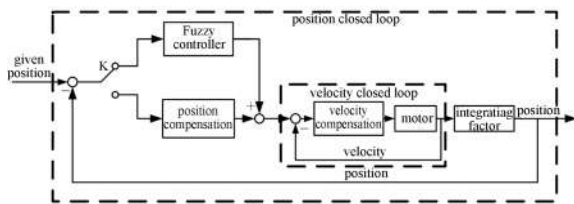


图3 双模控制策略原理图

Fig. 3 Principle of dual mode control strategy

双模控制策略在大误差时由模糊控制器来实现动态时的控制,在小误差时由开关K切换到滞后超前校正器以消除稳态误差。常规的二维模糊控制器实质上是一个非线性的PD模糊控制器,适当地选择量化因子和比例因子,可以实现暂态过程时的快速性和稳定性,具有较强的鲁棒性,但存在着稳态误差,而滞后超前校正控制器能够快速消除稳态误差,双模控制兼顾了这两种控制器的优点^[8-9]。

3 双模控制法的设计

3.1 模糊控制原理

模糊控制器通常由模糊化接口、知识库、推理机和反模糊化4个部分组成,其组成框图如图4所示^[10]。

精确量的输入必须通过模糊化转换成模糊量才能适用于模糊控制器,用相应的模糊集合表示。

数据库所存放的是所有输入、输出变量的全部模糊子集的隶属度矢量值,在规则推理中,向推理机提供数据。规则库是基于专家知识或经验按人的直觉推理的一种语言表示形式,是用模糊语言变量表示的一系列控制规则,在推理时为推理机提供控制规则^[11-12]。

模糊推理是根据输入量,由模糊控制规则完成模糊推理来求解模糊关系,并获得模糊控制量。

清晰化即解模糊是将不可直接作为被控对象控制量的模糊量(模糊推理结果)转化成可被执行机构所实现的精确量,是模糊空间到清晰空间的一种映射^[13]。

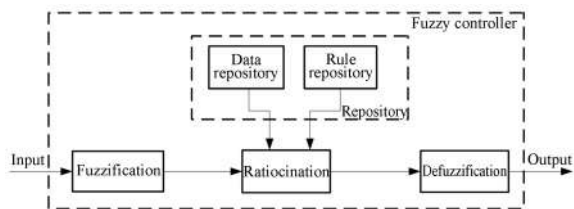


图4 模糊控制器组成图

Fig. 4 Constitution of fuzzy controller

3.2 模糊控制器的设计

二维模糊控制器的输入是位置误差 e 和位置误差变化率 ec ,输出是速度回路的指令角速度 u 。

模糊控制器的输入输出变量的实际范围称为这些变量的基本论域,基本论域内的变量为精确量^[14]。

对于输入变量,方位、俯仰的最大误差角和最大误差变化率均不能超过光电跟踪设备的最大工作范围。在本文中,跟踪设备的方位和俯仰子系统是两套相互独立且相互配合的系统。以方位系统为例,方位系统的工作在 $[-180^\circ, 180^\circ]$,因此,位置误差 e 的基本论域为 $[-180^\circ, 180^\circ]$ 。位置误差变化率 ec 相当于角速度量,电机的最大输出角速度是 $84^\circ/\text{s}$,因此位置误差变化率 ec 的基本论域为 $[-84^\circ/\text{s}, 84^\circ/\text{s}]$ 。

输出变量是速度回路的指令角速度,也不能超过电机的最大输出角速度,因此输出变量的基本论域为 $[-84^\circ/\text{s}, 84^\circ/\text{s}]$ 。

输入输出变量需要进行模糊化才能进行模糊计算,模糊变量的变化范围称为模糊论域。

位置误差 e 和位置误差变化率 ec 的模糊论域均为 $\{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3\}$,模糊控制器输出的模糊论域为 $\{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1,$

2,3,4,5,6}。

e 和 ec 的对应语言变量值为 {NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB}, u 的对应语言变量值为 {N6, N5, N4, N3, N2, N1, ZO, P1, P2, P3, P4, P5, P6}。

输入变量基本论域与模糊论域语言变量的对应关系见表 1 和表 2 所示。输出变量基本论域与模糊论域语言变量的对应关系如表 3 所示。

表 1 e 的模糊语言变量对应范围

Tab. 1 Range of fuzzy language variables e ($^{\circ}$)

模糊语言变量	对应范围
NB	$[-180, -6.87]$
NM	$[-34.3, -1.37]$
NS	$[-6.87, 0]$
ZO	$[-1.37, 1.37]$
PS	$[0, 6.87]$
PM	$[1.37, 34.3]$
PB	$[6.87, 180]$

表 2 ec 的模糊语言变量对应范围

Tab. 2 Range of fuzzy language variables ec ($^{\circ}/s$)

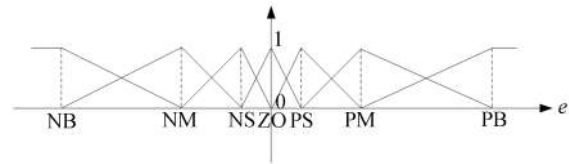
模糊语言变量	对应范围
NB	$[-84, -38.46]$
NM	$[-57.69, -19.23]$
NS	$[-38.46, 0]$
ZO	$[-19.23, 19.23]$
PS	$[0, 38.46]$
PM	$[19.23, 57.69]$
PB	$[38.46, 84]$

表 3 u 的模糊语言变量对应范围

Tab. 3 Range of fuzzy language variables u ($^{\circ}/s$)

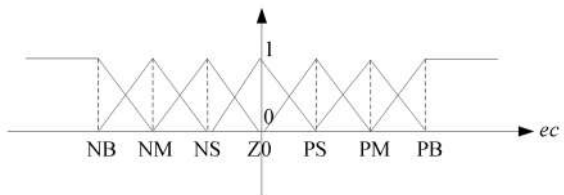
模糊语言变量	对应范围
N6	$[-84, -54.95]$
N5	$[-82.41, -27.47]$
N4	$[-54.95, -20.60]$
N3	$[-27.47, -13.73]$
N2	$[-20.60, -6.86]$
N1	$[-13.73, 0]$
ZO	$[-6.86, 6.86]$
P1	$[0, 13.73]$
P2	$[6.86, 20.60]$
P3	$[13.73, 27.47]$
P4	$[20.60, 54.95]$
P5	$[27.47, 82.41]$
P6	$[54.95, 84]$

输入输出变量的隶属函数 (Membership Function, 简称“MF”) 根据取值范围和经验选定。选取输入输出变量的隶属函数均为三角形, 但与大多数模糊控制方法选择规则三角隶属函数不同, 本文选用的隶属函数为不规则三角隶属函数。图 5 所示为输入输出隶属函数示意图, 其中, 图 (a)、图 (b)、图 (c) 分别为 e 、 ec 和 u 的隶属函数示意图。



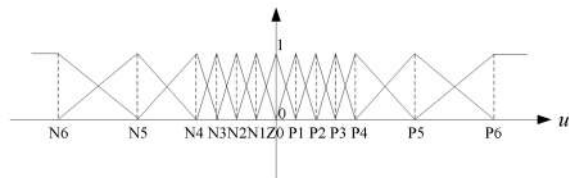
(a) e 的隶属函数示意图

(a) Sketch map of membership functions of e



(b) ec 的隶属函数示意图

(b) Sketch map of membership functions of ec



(c) u 的隶属函数示意图

(c) Sketch map of membership functions of u

图 5 输入输出隶属函数示意图

Fig. 5 Sketch map of membership functions of inputs and outputs

模糊推理规则根据经验总结, 如表 4 所示。当误差 e 和误差变化 ec 均较大时输出控制量较大, 当误差 e 和误差变化 ec 均较小时输出控制量较小。

经过模糊逻辑推理后, 输出的是模糊集合, 由于其为多条模糊控制规则所得结论的综合, 需要对模糊输出进行清晰化, 转化为所需要的控制量。模糊量清晰化的方法有很多, 如重心法、面积评分法、最大隶属度法, 本文采用重心法进行清晰化。

表 4 模糊规则表

Tab. 4 Table of fuzzy rule

e								
u		NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
ec								
NB		N6	N6	N6	N5	N5	N5	N4
NM		N5	N4	N4	N3	N2	N2	N1
NS		N4	N3	N2	N1	ZO	P1	P2
ZO		N4	N3	N1	ZO	P1	P3	P4
PS		N2	N1	ZO	P1	P2	P3	P4
PM		P1	P2	P2	P3	P4	P4	P5
PB		P4	P5	P5	P5	P6	P6	P6

设论域 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ 上模糊集合 A 的隶属函数为 $A(u_j)$, $u_j \in U$, 重心法的计算公式为^[15]:

$$u = \frac{\sum_{j=1}^n u_j A(u_j)}{\sum_{j=1}^n A(u_j)}.$$

(1)

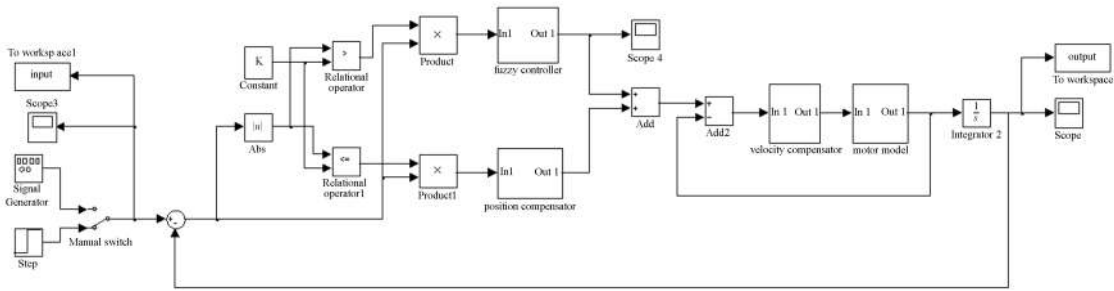


图 6 双模控制 Matlab 仿真图

Fig. 6 Emulation figure of dual mode control in Matlab

4 测量实验与结果

4.1 仿真实验

4.1.1 阶跃实验

在如图 6 所示 Matlab 仿真图中,给定阶跃输入,设定阶跃输入幅值为 30° ,分别采用滞后超前控制法、规则隶属函数的双模控制法及不规则隶属函数的双模控制法进行仿真,仿真结果如图 7 所示。

从图中可以看出,双模控制法能够有效降低超调,提高系统稳定性且不影响稳态误差,而不规则隶属函数的双模控制法相比规则隶属函数的双模控制法,又能提高系统响应速度,达到快速响应

3.3 双模控制法的 Matlab 设计

双模控制法中,设计好模糊控制器后,将其与滞后超前控制器结合,利用开关进行这两种控制器的切换。根据实际需要,选择切换点为 0.3° ,即当位置误差大于 0.3° 时,切换为模糊控制器,当位置误差小于等于 0.3° 时,切换为滞后超前控制器。

根据双模控制原理,设计 Matlab 仿真图,如图 6 所示。Matlab 的仿真模块库中,设有专门的模糊逻辑工具箱,利用该工具箱根据前面设计的模糊控制参数进行模糊控制器模块的设计,通过阈值判断逻辑开关控制模糊控制器与滞后超前校正器之间的切换。阈值判断逻辑开关选择的误差切换点是 K 度,当误差大于 K 时采用模糊控制器,否则采用滞后超前校正器。误差切换点 K 的选取应根据实际情况进行选择调整,选择的误差切换点为 0.3° 。

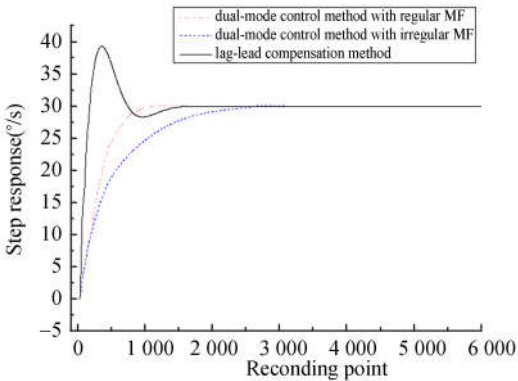


图 7 阶跃响应结果对比

Fig. 7 Comparison of step response

且无超调的控制效果。

模糊论域的选择直接影响系统的响应结果,

因此改变输入变量 e 和 ec , 及输出变量 u 的模糊论域, 会得到不同的响应结果。 e 、 ec 和 u 的模糊论域分布是不均匀的, 越接近零点模糊论域范围越小, 随着与零点距离的加大模糊论域的范围也逐渐变大。 e 、 ec 和 u 模糊论域的选择非常灵活的, 可以根据实际情况进行调整。通过大量实验, 发现对于光电跟踪系统大转角范围的情况, 改变 u 的模糊论域, 使其接近零点处的模糊论域范围变小, 有利于提高系统的稳态精度, 而改变 e 和 ec 的模糊论域, 使其接近零点处的模糊论域范围变小, 则有利于提高系统的响应速度。

4.1.2 抗干扰实验

为了检验系统的抗干扰能力, 对滞后超前控制法、模糊控制法和双模控制法的抗干扰能力进行了对比。在 Matlab 仿真过程中, 第 50 s 时刻通过在位置环加入单脉冲来模拟干扰, 对比分别采用滞后超前校正法、模糊控制法、双模控制法时系统的抗干扰性能。采用滞后超前校正法、模糊控制法和双模控制法的响应结果如图 8 所示。图 8 中右下角图是将紫色虚线框中部分的响应进行放大后所得。

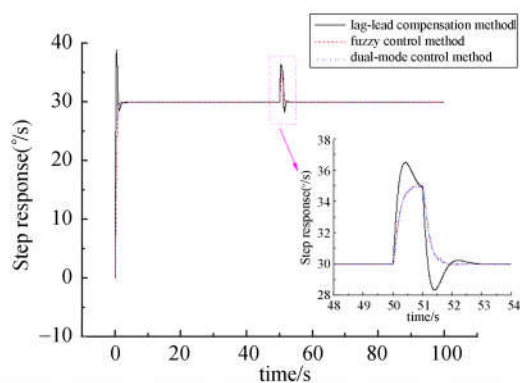


图 8 抗干扰实验的响应对比

Fig. 8 Comparison of responses of anti-jamming experiments

滞后超前校正法、模糊控制法和双模控制法的抗干扰性能的具体对比如表 5 所示。从图 8 和表 5 可知, 模糊控制法和双模控制法的超调量和达到二次稳定的时间均相差无几, 说明双模控制法继承了模糊控制法良好的抗干扰性能。而模糊控制法和双模控制法相比滞后超前校正法抗干扰性能明显增强, 不仅使系统超调量明显降低, 而且

系统再次达到二次稳定的时间也缩短, 这对于提高系统动态稳定性和鲁棒性具有重要意义。因此可以得出结论双模控制法具有很强的抗干扰性。

表 5 抗干扰实验结果对比

Tab. 5 Comparison of results of anti-jamming experiments

性能	滞后超前	模糊	双模
	校正法	控制法	控制法
超调量/%	21.5	16.6	16.8
二次稳定时间/s	2.89	1.83	2.20

4.2 实际实验

为了验证双模控制方法在实际光电跟踪系统中的应用, 利用某大型光电跟踪系统的转台进行双模控制法的实验验证。

利用转台先后进行方位 180° 阶跃和俯仰 60° 阶跃实验, 对滞后超前控制法和双模控制法的实验结果进行对比。方位系统双模控制法与滞后超前校正法的对比结果如图 9 所示, 俯仰系统双模控制法与滞后超前校正法的结果对比如图 10 所示。为了更好的分析两种方法的优劣, 将性能进行对比, 对比结果如表 6 所示。

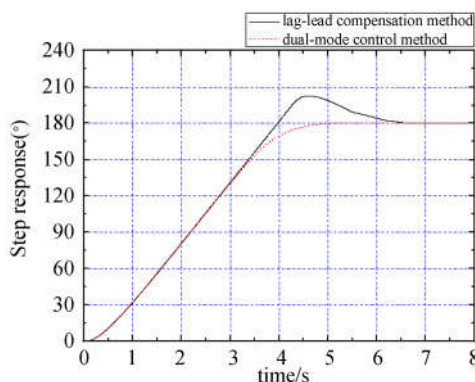


图 9 方位系统双模控制法与滞后超前校正法的结果对比

Fig. 9 Comparison of results of dual-mode control method and lag-lead compensation method in azimuth subsystem

通过对比可知, 双模控制法方位和俯仰系统的超调量均为 0%, 大大降低了系统超调, 系统的响应速度和稳态精度也都有所提高, 但对稳态精度的改善效果不是很明显。

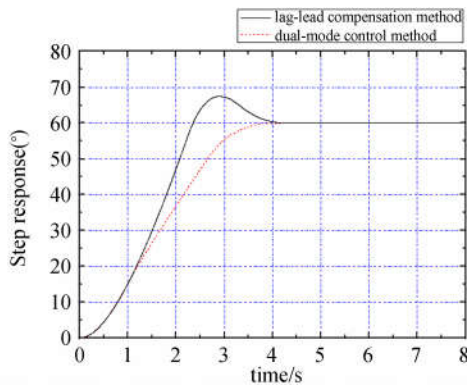


图 10 俯仰系统双模控制法与滞后超前校正法的结果对比

Fig. 10 Comparison of results of dual-mode control method and lag-lead compensation method in elevation subsystem

表 6 实验结果对比

Tab. 6 Comparison of experimental results

性能		滞后超前校正法	双模控制法
超调量/%	方位	12.2	0
	俯仰	12.3	0
调节时间/s	方位	5.48	4.07
	俯仰	3.67	3.21
稳态精度/($''$)	方位	3.7	1.2
	俯仰	4.2	2.8

参考文献:

[1] 胡大军. 基于模糊控制的舰载光电跟踪伺服及系统设计[D]. 武汉:武汉工程大学,2012.
HU D J. *Design of Servo System to Shipborne Optical-Electronic Tracking Based on Fuzzy Control* [D]. Wuhan: Wuhan Institute of Technology, 2012. (in Chinese)

[2] JIANG J,ZHANG X S. Application of self-adjustment PID fuzzy controller in inverter air-conditioning control system [J]. *SPIE*,2013,8768:1-9.

[3] 张明月,杨洪波,章家保,等. 改进自抗扰控制谐波式电动舵机伺服系统[J]. *光学精密工程*,2014,22(1): 99-107.
ZHANG M Y,YANG H B,ZHANG J B, *et al.*. Servo system of harmonic drive electromechanical actuator using improved ADRC [J]. *Opt. Precision*

5 结 论

本文对光电跟踪系统双模控制技术进行了研究,利用 Matlab 对双模控制系统进行了仿真实验,实验中对比了双模控制法和滞后超前校正法的阶跃响应,结果表明双模控制法能够有效降低系统超调,达到零超调,同时也对比了规则隶属函数的双模控制法和不规则隶属函数的双模控制法的结果,对光电跟踪系统来说,不规则隶属函数具有更快的响应速度。然后进行了抗干扰性实验,对模糊控制法、滞后超前校正法和双模控制法的抗干扰性能作了对比,结果表明双模控制法很好的继承了模糊控制法的抗干扰性,与滞后超前校正法相比具有更强的抗干扰性。最后利用实际光电跟踪转台对双模控制法进行了实验验证,分别对转台进行了方位系统 180°阶跃实验和俯仰系统 60°阶跃实验,并与滞后超前校正法进行了对比。实验结果显示方位和俯仰系统的超调量均为 0%,相比滞后超前校正法,系统超调大大降低,响应速度和稳态精度都有所提高,但对稳态精度的改善效果不是很明显。因此将双模控制法应用在实际光电跟踪系统中不仅有利于改善系统的动态性能,提高稳态精度,而且具有很强的抗干扰性,具有重要意义。

Eng. , 2014, 22(1): 99-107. (in Chinese)

[4] 徐晓霞. 模糊 PID 控制光电跟踪系统的抗干扰性分析[J]. *电子设计工程*,2011,19(22): 174-177.
XU X X. Research on fuzzy PID control electro-optical pointing and tracking systems of interference [J]. *Electronic Design Engineering*, 2011, 19(22): 174-177. (in Chinese)

[5] 韩晓泉,王建立,赵金宇,等. 模糊控制算法在光电跟踪伺服系统中的应用[J]. *光电工程*,2004,31(增):19-25.
HAN X Q,WANG J L,ZHAO J Y, *et al.*. Application on fuzzy control algorithm in an opto-electronic tracking servo system [J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2003,31(Sup):19-25. (in Chinese)

[6] 刘珊中,孙隆,车宏. 模糊控制在光电跟瞄平台稳定控制中的应用[J]. *航天控制*,2008,6(2):55-58.
LIU SH ZH,SUN L,CHE H. Application of fuzz-

- y control in electro-optical trackhg and pointing platform stabilization control [J]. *Aerospace Control*, 2008, 6(2):55-58. (in Chinese)
- [7] FARZAD H, ESMAIL K. Determine the optimal number and position of damping viscose (MR) in Seismic vibration control of buildings to use genetic algorithms [J]. *SPIE*, 2012, 8349:1-5.
- [8] LI Y Z, XIAO CH, SUN J H. Fuzzy PID controller combines with closed-loop optimal fuzzy reasoning for pitch control system [J]. *SPIE*, 2013, 8783:1-6.
- [9] 李广军, 金炜东, 陈春俊. 列车横向半主动悬挂系统变论域模糊控制[J]. *光学 精密工程*, 2013, 21(12): 3298-3307.
LI G J, JIN W D, CHEN CH J. Variable universe fuzzy control of train lateral semi-active suspension system [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2013, 21(12): 3298-3307. (in Chinese)
- [10] AMINE B, KHALIFA, HICHEM F. Fusion of multiple algorithms for detecting buried objects using fuzzy inference [J]. *SPIE*, 2014, 9072:1-10.
- [11] ZHANG ZH Y, ZHANG J, CHENG Y. A fuzzy control system design based on double module structure [J]. *SPIE*, 2007, 6794:1-6.
- [12] EL-KHATIB M M, HUSSEIN W M. Design, Modelling, implementation and intelligent fuzzy control of a hovercraft [J]. *SPIE*, 2011, 8045:1-15.
- [13] TANG J, SHEYKHZADEL M, CLAUSEN B F, *et al.*. Genetic fuzzy system predicting contractile reactivity patterns of small arteries [J]. *CPT Pharmacometrics Syst. Pharmacol.*, 2014, 3 (2014):1-9.
- [14] MAO J, HOU J, SHEN D. The application of PID parameter self-tuning fuzzy controller in the constant-power speed control system of heading machine [J]. *SPIE*, 2013, 8768:1-5.
- [15] 田广, 梁国. 探针定位系统的模糊——PID 双模控制[J]. *应用科技*, 2009, 36(10): 44-48.
TIAN G, LIANG G. Dual-mode control of fuzzy-PID of the probe positioning system [J]. *Applied Science and Technology*, 2009, 36(10):44-48. (in Chinese)

作者简介:



彭树萍 (1984—), 女, 河北沧州人, 博士, 2008 年于哈尔滨工程大学获得学士学位, 2011 年于哈尔滨工程大学获得硕士学位, 2015 年于中科院长春光学精密机械与物理研究所获得博士学位, 主要从事光电经纬仪的精密控制及其算法的研究。E-mail: pengshuping666@126.com



姜润强 (1965—), 男, 辽宁丹东人, 本科, 副研究员, 2001 年于吉林大学获得学士学位, 主要从事伺服控制方面的研究。E-mail: jiang_rq@sina.com

(版权所有 未经许可 不得转载)