

文章编号:1009-671X(2008)06-0018-03

航空光电吊舱陀螺稳定系统模糊 PID 控制

谈振藩, 郭立东

(哈尔滨工程大学 自动化学院, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘 要:研究了航空光电吊舱陀螺稳定系统的模糊 PID 控制. 该系统对跟踪精度和响应速度要求高, 传统的 PID 控制难以满足对性能指标的要求. 而模糊 PID 控制可显著改善控制系统对高速动态目标的捕获跟踪能力. 因此, 将模糊 PID 应用于航空光电吊舱陀螺稳定系统, 改善了控制系统的过渡过程, 减小了超调量, 又提高了系统跟踪精度、稳定精度和响应速度, 增强系统的鲁棒性. 用 Matlab 仿真验证了该方法的有效性.

关键词:航空光电吊舱; 模糊 PID 控制; 陀螺稳定系统

中图分类号:V249.3 **文献标识码:**A

Fuzzy-PID control for gyro stabilized sighting system of airborne optoelectronic pod

TAN Zhen-fan, GUO Li-dong

(College of Automation, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China)

Abstract: Gyro stabilized sighting system demands higher accuracy and fast responding speed to track targets, but the conventional PID controllers cannot meet the demands. Instead, the fuzzy PID control can greatly improve the capturing and tracking capacities to high-speed dynamic targets. So we apply the fuzzy-PID controller in the positioning loop of the stabilized system, not only improving the transient process of the control system and decreasing the overshoot, but also enhancing the accuracy of tracking, stabilization and response. At the end, simulations were performed to test the effectiveness of this method through the Matlab platform.

Keywords: airborne optoelectronic pod; fuzzy-PID control; gyro stabilized sighting system

飞机要在空中完成对目标的探测和跟踪任务, 需要一个机载的平台和搭载一个在该平台上由探测设备组成的集成系统, 在硬件表现形式上称之为吊舱. 一般地说, 吊舱是悬挂在运动载体外的有效载荷容器装置^[1]. 航空吊舱在飞机火力控制系统、光电侦察系统中有广泛的应用. 它能够在机载环境下迅速捕获、跟踪、瞄准运动的目标. 机载环境下干扰严重, 而对吊舱的跟踪精度要求又较高, 为了精确地控制光学系统的视轴, 隔离载体扰动, 同时准确跟踪运动目标, 控制方法的选择直接影响陀螺稳定系统的性能^[2].

模糊 PID 控制的一大优点是可以在线调整 PID 控制器的 3 个参数 K_p 、 K_i 和 K_d , 可以满足不同工况

下的控制要求, 具有完全的自适应性. 在此介绍了把模糊 PID 控制应用于航空光电吊舱陀螺稳定系统后, 系统的位置精度动态性能都较传统控制器得到了提高.

1 系统模型

航空光电吊舱陀螺稳定系统的作用就是快速而准确的跟踪目标, 隔离载体的摇摆. 因此要实现高精度的位置伺服必须采用全闭环控制系统, 其功能方块图如图 1 所示. 通常这种系统中采用双闭环控制方法. 为了获得尽量小的跟踪误差, 控制系统采用模糊 PID 控制方式. 模糊 PID 控制提高系统的跟踪精

收稿日期:2007-10-12.

作者简介:谈振藩(1942-),男,教授,主要研究方向:导航、制导与控制, E-mail:tanzenfan@hrbeu.edu.cn.

度、动态精度和鲁棒性,所以这种控制器是一种智能控制器.图 1 中, θ_i 为视轴空间角度, M_f 为系统扰动

力矩, θ_o 为光轴空间角度,假设扰动力矩近似为 $0.034 \text{ N} \cdot \text{m}$,频率 3 Hz 的方波.

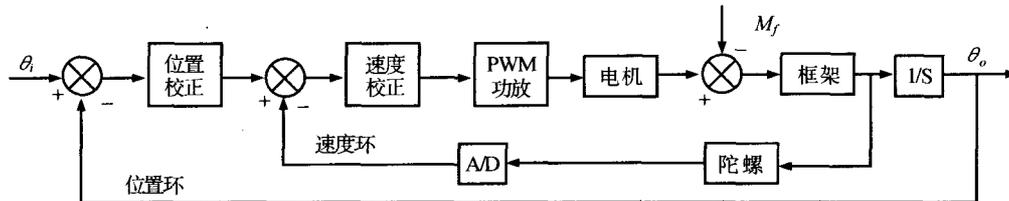


图 1 光电吊舱陀螺稳定系统框图

2 模糊 PID 控制器设计

传统的数字 PID 控制不具有在线调整参数的功能,因此不能满足在不同工况下系统对参数的自整定要求,从而影响控制效果的提高.模糊控制具有不依赖被控对象的数学模型,算法简单,易于实现,适应能力强,抗干扰能力强等优点,但控制精度不高^[3];而传统的数字 PID 控制却能使控制精度大大提高,并且可以利用模糊控制实时调整 PID 参数.因此,本系统采用模糊 PID 控制方法.

利用模糊控制器对 PID 参数进行在线修改,便构成了模糊 PID 控制器.模糊 PID 控制器结构框图如图 2 所示.它的工作过程可以描述为:先找出 PID 3 个参数与偏差 e 和偏差变化率 \dot{e} 之间的模糊关系,在工作中通过不断检测 e 和 \dot{e} ,然后根据模糊控制原理对参数 K_p 、 K_i 和 K_d 进行在线校正,以满足不同 e 和 \dot{e} 时对控制参数的要求^[4].

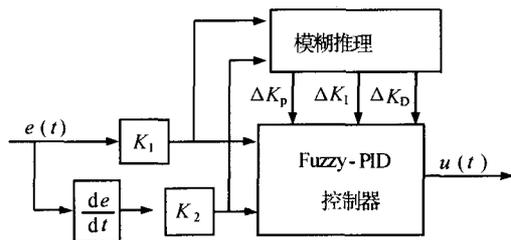


图 2 模糊 PID 控制器结构框图

首先运用 Ziegler-Nichols 法则先整定出常规 PID 控制器的 3 个参数 K_{p0} 、 K_{i0} 、 K_{d0} 作为模糊 PID 控制器的初始值^[5].

模糊控制器的输入为偏差 e 和偏差的变化量 \dot{e} ,控制输出为 K_p 、 K_i 和 K_d ,它们进入模糊控制器之前首先要进行模糊化.它们的模糊集为 $e = \dot{e} = K_p = K_i = K_d = (\text{NB}, \text{NM}, \text{NS}, \text{ZE}, \text{PS}, \text{PM}, \text{PB})$,分别代表负大,负中,负小,零,正小,正中,正大.

模糊规则的建立一般根据专家的经验,也可以通过多次仿真找出其中最佳的一组.一般情况下,在不同的 e 和 \dot{e} 下,被控过程对参数 K_p 、 K_i 、 K_d 的自整定要求归纳如下:

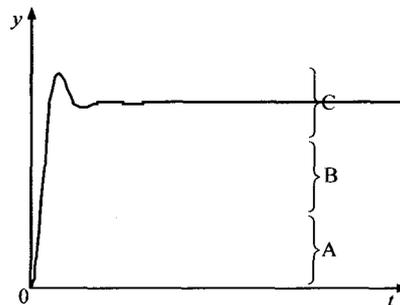


图 3 系统响应曲线

1) 当 e 较大,即系统响应处于图 3 所示输出曲线的 A 段时,为了使系统响应具有较好的快速跟踪性能,并避免因开始时偏差的瞬间变大,可能引起微分过饱和,应取较大 K_p 和较小 K_d , $K_i = 0$.

2) 当 e 为中等时,即系统响应处于图 3 所示输出曲线的 B 段时,为了使系统具有较小的超调,应取较小的 K_p 适当的 K_d 和 K_i .

3) 当 e 较小时,即系统响应处于图 3 所示输出曲线的 C 段时,为了使系统具有较好的稳态特性,应取较大的 K_p 和 K_i .同时考虑系统的抗干扰性能,当 \dot{e} 较小时, K_d 可取大些;当 \dot{e} 较大时, K_d 应取较小些^[4].

精确化计算就是把模糊量返回到精确的数值,也就是根据模糊子集的隶属度计算输出精确值.由于重心法具有平滑的输出推理原则,因此这里采用重心法求出模糊推理的最终输出值,即取模糊隶属度函数曲线和横坐标围成的面积的重心为输出的精确值^[6].在线运行过程中,控制系统通过对模糊规则的结果处理,查表和运算,完成对 PID 参数的在线自调整.其调整过程如下式所示:

$$K_p = K_{p0} + \text{Fuzzy}(e, \dot{e}),$$

$$K_I = K_{I0} + \text{Fuzzy}(e, \dot{e}),$$

$$K_D = K_{D0} + \text{Fuzzy}(e, \dot{e}).$$

式中: K_{I0} 、 K_{I0} 、 K_{D0} 分别表示 PID 控制器的初始取值。

3 仿真分析

通过 Matlab 对航空光电吊舱陀螺稳定系统进行仿真. 仿真时, 模糊 PID 控制器用 S 函数^[5]编写外框架, 内部用 Matlab 的 Fuzzy 工具箱进行设置控制规则, 最后用 Simulink 工具箱进行仿真, 并且在完

整的系统模型中使用已设计好的模糊自适应 PID 控制器. 代入电机和吊舱负载参数, 得到该轴系统传递函数框图. 为了对比模糊 PID 控制与普通 PID 控制的控制效果, 对速度环引入适当的 PI 控制器加以校正, 以减少速度环稳态误差, 在位置环采用 PD 控制器. 系统设计要求, 在干扰力矩输入下, 轴角稳定精度达到 $200 \mu\text{rad}$ (有效值), 并且系统在输入指令角时具有较好的动态特性. 仿真框图如图 4 所示.

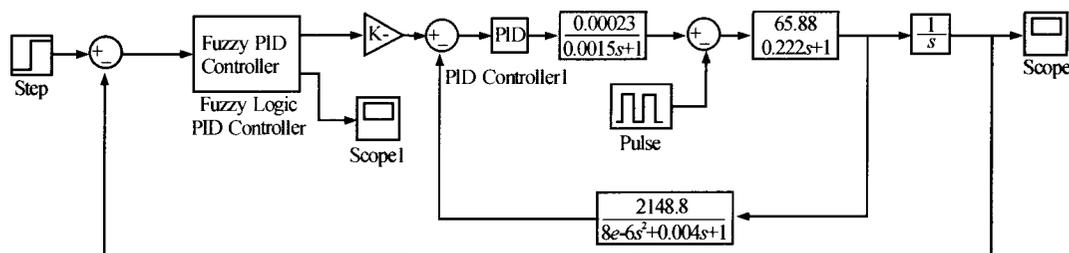


图 4 模糊控制仿真框图

图 5 为模糊 PID 和普通 PID 在 1 rad 阶跃输入信号下系统的输出比较图. 图 6 是在 3 Hz, 幅度为 $0.034 \text{ N} \cdot \text{m}$ 的干扰信号下, 模糊 PID 和普通 PID 控制下的位置误差比较图.

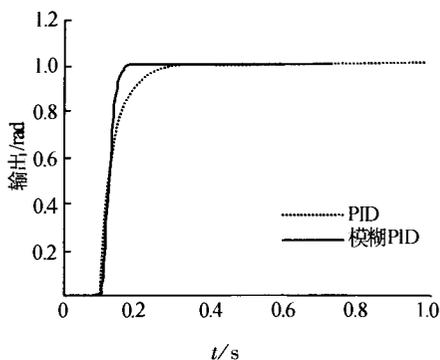


图 5 模糊 PID 与 PID 的阶跃响应

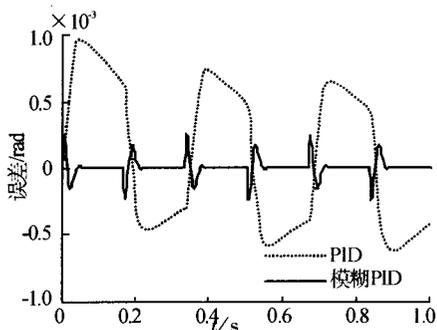


图 6 模糊 PID 与 PID 的误差比较 (稳态)

置输出, 在一定程度上对干扰产生了抑制作用, 而且系统响应速度也较快, 可是普通 PID 控制的误差不能满足设计要求, 尤其是在工况变化时, 误差更大. 采用模糊 PID 控制输出满足设计要求, 而且相对普通 PID 跟踪精度有了提高, 响应速度更快, 系统具有很强的鲁棒性, 对干扰有很强的抑制作用, 达到了设计要求.

参考文献:

- [1] 李文魁, 王俊璞, 金志华, 等. 直升机机载光电吊舱的发展现状及对策[J]. 中国惯性技术学报, 2004, 12 (5): 75-80.
- [2] 彭绪金, 马佳光. 光电精密跟踪中的复合轴控制系统的实验和研究[J]. 光电工程, 1994, 12(5): 1-9.
- [3] 李士勇. 模糊控制神经控制和智能控制论[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1998: 327-332.
- [4] 曾光奇, 胡均安, 王 东, 刘春玲. 模糊控制理论与工程应用[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2006: 92-97.
- [5] 薛定宇. 控制系统计算机辅助设计 - MATLAB 语言与应用[M]. 2 版. 北京: 清华大学出版社, 2005: 268-272, 379-383.
- [6] 陶永华, 尹怡欣, 葛芦生. 新型 PID 控制及其应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 1998: 118-128.

4 结束语

从仿真结果可以看出, 采用 PID 控制器系统位

[责任编辑: 李玲珠]