

基于 Fuzzy-PID 控制的雷达伺服系统研究

季 辉 李志坚 陈小刚

(中国卫星海上测控部 江阴 214431)

摘要: 针对传统 PID 控制方法存在的参数控制难度大、动态性能差等缺陷,提出基于 Fuzzy-PID 控制器的雷达伺服系统。根据需求设计了以模糊控制器为核心的 Fuzzy-PID 控制器,将传统 PID 控制与模糊控制进行有效结合。通过 MATLAB 软件对基于 Fuzzy-PID 控制器的雷达伺服系统进行仿真实验。与传统 PID 控制方法相比,Fuzzy-PID 控制显著提高了雷达伺服系统的快速性和平稳性,有效改善了伺服系统的动态性能。

关键词: 伺服系统;PID 控制器;模糊控制;MATLAB 仿真

中图分类号: TP2 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.1050

Research on radar servo system based on Fuzzy-PID control

Ji Hui Li Zhijian Chen Xiaogang

(China Satellite Maritime Tracking and Controlling Department, Jiangyin 214431, China)

Abstract: According to the existing defect parameters of traditional PID, such as: the difficulty of controlling the parameters and poor dynamic performance, the radar servo system based on Fuzzy-PID controller is proposed. According to the requirement, Fuzzy-PID controller is designed to combine traditional PID control with Fuzzy control. Through MATLAB software for radar servo system based on Fuzzy-PID controller in simulation experiment, compared with the traditional PID control method, Fuzzy-PID control significantly increase the rapidity and stability of the radar servo system, effectively improve the dynamic performance of servo system.

Keywords: servo system; PID control; fuzzy control; MATLAB simulation

0 引 言

现代雷达伺服系统通常由三环所组成的,即电流环、速度环以及位置环。伺服系统性能的好坏直接影响雷达设备的测量精度。因为传统 PID 控制简单可靠、方便调节,所以被作为雷达伺服系统最基本的一种实现方法^[1]。可是基于传统 PID 控制器的雷达伺服控制系统存在许多不足之处,如控制规律太过于简单、难以实现改变结构、改变参数控制,而且 PID 调节器的元件参数具有离散、漂移等特点,都降低了系统的性能及其可靠性。

Fuzzy 控制器作为一种简单的控制器,因其自身欠缺积分控制作用,不可消除系统稳态误差。但 Fuzzy 控制器具有适应被控制对象时变性及非线性的优点,拥有较好的鲁棒性,对复杂、建模困难的系统均能实现有效地控制,特别在系统各种参数容易变化的环境中,模糊控制往往能起到较好的控制效果。为了弥补模糊控制器与传统 PID 控制器的缺陷,把两者整合起来,设计了具有两者优势的 Fuzzy-PID 控制器,用于改善雷达伺服系统性能。

1 基本原理

如图 1 所示,基于传统 PID 控制器的伺服系统结构,此结构已经普遍运用于现代雷达伺服机构中。因此,在运用模糊控制与 PID 控制相结合的方法——Fuzzy-PID 控制器对伺服系统进行控制时,仍参考三环控制的结构^[2]。而 PID 控制的电流环具有较高的动态响应带宽、静态控制精度,且电流环参数相对稳定,因此电流环仍使用传统 PID 控制器^[3]。出于对伺服系统准确捕获、稳定跟踪的考虑,速度环运用 Fuzzy-PID 控制器,根据误差信号大小选择是否独立转换控制。当前针对具有多个环路的伺服控制系统,无法在内环与外环同时运用模糊控制器。因此只在速度环中设置了 Fuzzy-PID 控制器。

如图 2 所示,在速度环中,设计一个模式交换器并设置其阈值,根据阈值与误差信号的比较结果,自动选择模式^[4]。当误差信号超出阈值时,信号输送到 Fuzzy 控制器当中,进而减少系统当中的上升时间,取得较好的瞬态功能;误差信号低于阈值的时候,则信号输送到传统 PID 控

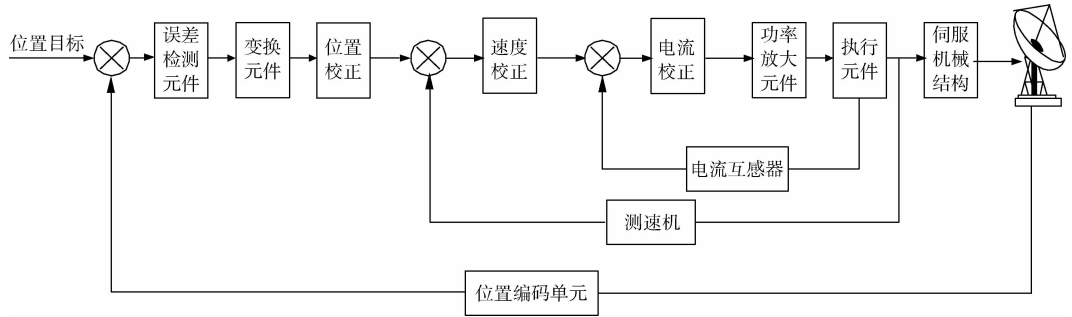


图 1 基于传统 PID 控制器的伺服系统结构

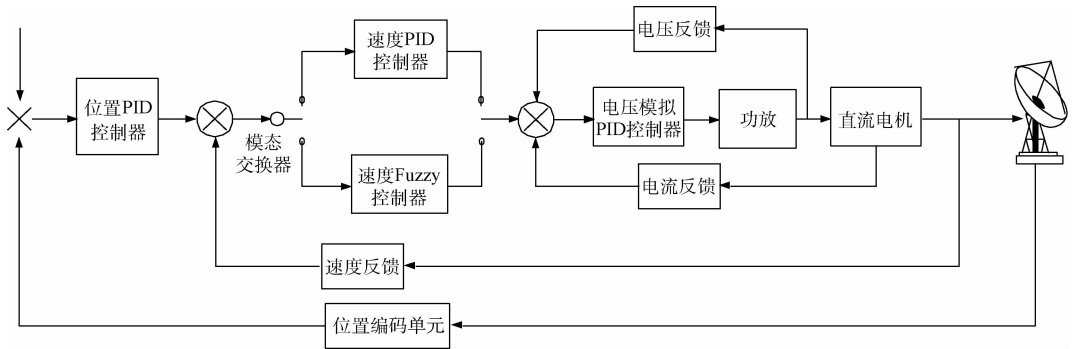


图 2 基于 Fuzzy-PID 控制器的伺服系统结构

制器中,发挥 PID 控制器具有控制精度较高的优点,使系统的稳定性、快速性和准确性均达到比较理想的状态。

2 模糊控制器设计

Fuzzy-PID 控制的核心是设计模糊控制器。本设计中运用双输入模糊控制器。其输入信号就是精确量化后的反馈信号与给定信号的差值,输入信号经过模糊化变成模糊量^[5]。按照创建的模糊知识库,将模糊量输入到含有模糊规则的模糊推理模块之中,通过近似推理得出结论,即模糊集合^[6]。模糊集合被清晰化模块转换为清晰量,输送到下一级调节器中,最后取得准确的控制变量。

2.1 输入量的模糊化

输入量的模糊化是指把控制信号与反馈信号的偏差及变化率离散化,将其从精确量逐渐变为模糊量^[7]。考虑到控制精度和控制范围,设定了 15 个等级的整数论域。对于范围为 $x=[a,b]$ 的输入量,其整数论域为:

$$N = \{-n, -n+1, \dots, -1, 0, 1, \dots, n\} \quad (1)$$

相对应的量化因子 k 为:

$$K = \frac{a-b}{2n} \quad (2)$$

Fuzzy-PID 控制器运用输入输出归一量化处理的规则基,而量化因子是模糊控制器的控制性能主要决定因素^[8]。根据量化因子可计算得到论域值:

$$E = k \times e; E_c = k \times e_c \quad (3)$$

式中: e 为控制信号和反馈信号的偏差, e_c 为偏差的变化

率, E, E_c 为 e, e_c 模糊化后的变量^[9]。根据雷达伺服控制系统的特性,设置速度环模糊控制器的参数如表 1 所示。

表 1 速度环 Fuzzy_PID 控制器输入输出量参数

	下限 a	上限 b	量化因子	Fuzzy-PID 转换点
S_e	-280	+280	40	
S_{e_c}	-210	+210	30	150
	S_u		200	

2.2 模糊分割的确定

输入变量 E 和输出量 EC 及控制量 U 三者的模糊集合标记为正大、正中、正小、零、负小、负中、负大等 7 档,分别用: $PB, PM, PS, ZE, NS, NM, NB$ 表示^[10]。

隶属函数选取高斯型,表示为:

$$F(x) = \exp\left[-\left(\frac{x-a}{\delta}\right)^2\right] \quad (4)$$

其波形输入如图 3 所示。

2.3 模糊规则与模糊判决

将精确的输入控制量通过模糊化,转变为模糊控制量。然后进行系统控制,并制定相应的控制规则,选用 Mamdani 控制规则。模糊推理采用 Mamdani 推理,推理规则如下: IF A_i AND B_j THEN C_{ij} , 其中设计的 E, EC 和 U 的对应值分别为 A_i, B_j, C_{ij} ^[11]。根据系统的模糊控制关系可以得到模糊控制规则库,共 49 条规则,如表 2 所示。

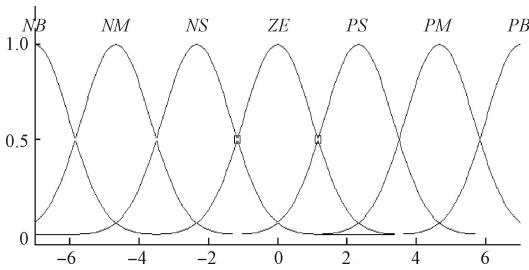


图 3 输入输出变量隶属函数

表 2 模糊控制规则

	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NB	NM	ZE	ZE
NM	NB	NB	NB	NB	NM	ZE	ZE
NS	NM	NM	NM	NM	ZE	PS	PS
ZE	NM	NM	NS	ZE	PS	PM	PM
PS	NS	NS	ZE	PM	PM	PM	PM
PM	ZE	ZE	PM	PB	PB	PB	PB
PB	ZE	ZE	PM	PB	PB	PB	PB

为了可以更好的把模糊集合转变成真值变量输出,必须实行模糊的判决^[12]。解模糊通常运用重心法。按照相应的比例因子 k_u ,运用加权的基本法来实行反模糊化,进而使模糊判决更好的完成^[13]。将输出控制量进行一定的设置, U 的语言变量所具有的论域元素是 x_1, x_2, \dots, x_n , 输

出元素的隶属度为 $u(i)$, 则:

$$U_o = \frac{\sum_i^n x_i \times \mu(i)}{\sum_i^n \mu(i)}$$

3 仿真实验

依据模糊输入量、隶属函数、模糊控制规则及模糊判决,在 MATLAB 软件中对控制器的设计进行相应的仿真^[14]。图 4 所示为 Fuzzy-PID 控制器的输出特性。

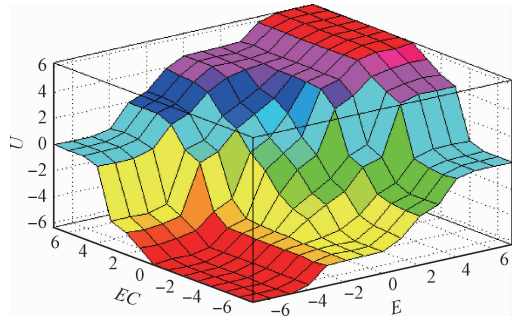


图 4 Fuzzy-PID 控制器的输出特性

按照模糊控制器的设计,完成基于 Fuzzy-PID 控制器的速度环仿真模型^[15]。如图 5 所示, Fuzzy Logic Controller 是设计模糊控制器; V_I_Subsys 是电流环模型; Con_Subsys 是机械结构模型。

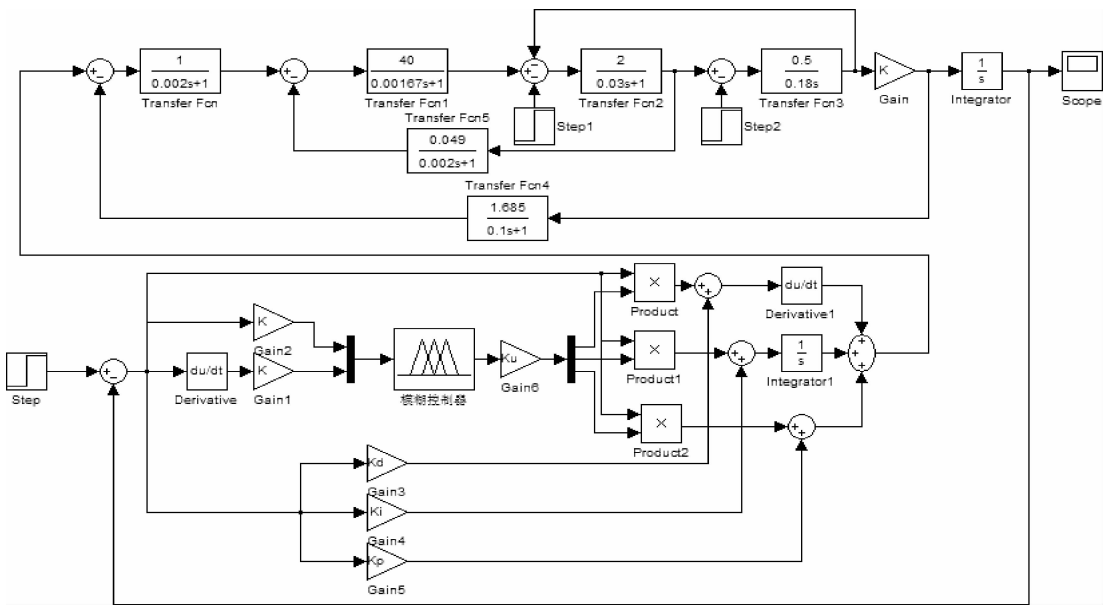


图 5 Fuzzy-PID 控制器的速度环路模型

由图 6 可得出,基于 Fuzzy-PID 控制器的速度环(图 6(a))与传统的 PID 控制器(图 6(b))相比,响应速度显著加快,系统超调量明显减小,动态性能有了较大提升。经过对比仿真结果,当伺服系统受到外界干扰时,基于 Fuzzy-

PID 控制的速度环路可以智能地根据系统误差 e 和误差的变化率 ec 对 PID 参数 K_p 、 K_i 和 K_d 进行实时修正,使伺服系统能够很快恢复稳态。

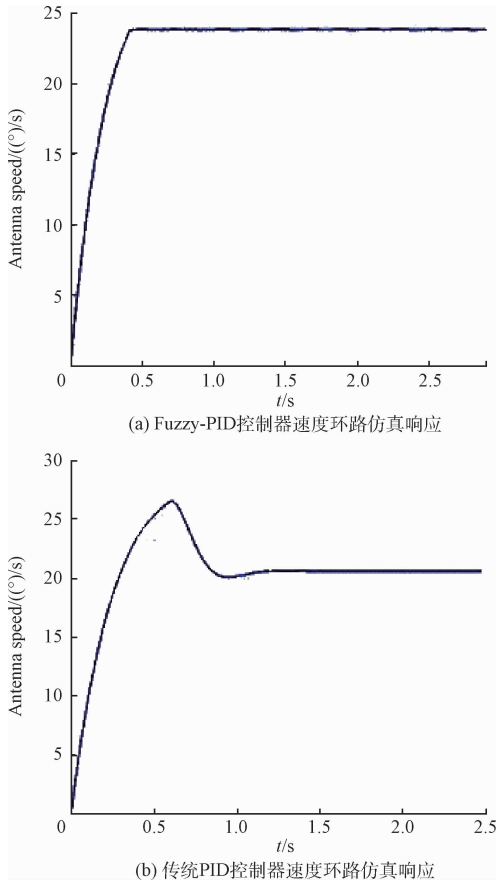


图 6 Fuzzy-PID 控制器与传统 PID 控制器的速度环路仿真响应

4 结 论

本文对传统 PID 控制器与模糊控制器的性能进行了全面分析,提出了基于 Fuzzy-PID 控制的雷达伺服控制系统。通过模糊化输入量、确定模糊分割空间、制定模糊规则、进行模糊判决等步骤设计了 Fuzzy-PID 控制器。最后,通过 MATLAB 软件对基于 Fuzzy-PID 控制器的雷达伺服系统进行仿真,与传统 PID 控制的伺服系统进行比较。充分证明了 Fuzzy-PID 控制器可以大幅度提升雷达伺服系统响应速度,缩短系统调整时间,提高了系统的动态性能。

参 考 文 献

- [1] 宋斌,齐永龙,李波. 机载天线伺服机构设计[J]. 国外电子测量技术,2016,35(3):54-57.
- [2] 胡金辉,黄坤,李志坚,等. 船载大型测控系统自适应

跟踪技术研究[J]. 科学技术与工程,2012,12(32): 8539-8542.

- [3] 李军显,陈春红,武亚平. 基于复合控制的雷达导引头伺服系统设计[J]. 弹箭与制导学报,2011,31(2): 54-56.
- [4] 陈涛,李智,胡聪. 基于 DSP 的无刷直流电机模糊 PID 控制系统设计[J]. 国外电子测量技术,2010, 29(2):50-53.
- [5] 冯小冬. 基于模糊 PID 控制的呼吸机压力控制研究[D]. 南京:南京医科大学,2010.
- [6] 赵爽,邓先荣. 基于模糊自整定 PID 控制方法的雷达伺服系统[J]. 现代雷达,2012,34(3):61-64.
- [7] 王宝忠,王维,王波. 基于模糊 PI 自整定的 SVPWM 伺服系统的仿真研究[J]. 电子科学与工程,2013, 29(7):18-22.
- [8] 焦舟波. 模糊 PID 控制研究及其在水箱过程控制系统中的应用[D]. 上海:东华大学,2011.
- [9] 贾森,王新华,龚华军,等. 基于模糊 PID 的直升机增稳控制系统设计与实现[J]. 电子测量技术,2015, 38(11):70-73.
- [10] 荆红莉,赵鹏,胡大伟. 参数自整定 Fuzzy-PID 在液奶杀菌系统的应用研究[J]. 电子测量技术,2016, 39(10):34-36.
- [11] 韩宇光,曹军,朱良宽. 刨花板热压控制系统模糊自适应 PID 控制[J]. 森林工程,2011(4):30-33.
- [12] JIANG H, WANG X, ZHENG Y H, et al. Multiple models fuzzy PID controller design in air-condition temperature control system[J]. Advanced Materials Research, 2014, 860-863: 1616-1619.
- [13] 郭发东,马明珠,白星振. 基于 MATLAB 环境下的 PID 参数优化设计[J]. 山东科学,2005,18(5):87-89.
- [14] 刘佐成. MATLAB 在物理学专业教学中的应用研究[J]. 中国科技博览,2009(5):201-201.
- [15] 黄尔烈,吴开兴. MATLAB 在 VB 中的数学调用[J]. 河北工程大学学报,2003,20(1):27-29.

作者简介

季辉,工学学士,助理工程师,主要研究方向为航天测量与控制。

E-mail:834445867@qq.com