

模糊控制器在船舶动力定位系统中的应用及改进

张桂兰, 邓志良

(江苏科技大学电子与信息系, 江苏 镇江 212003)

摘 要

本文研究了船舶动力定位中模糊控制的应用问题,探讨了模糊控制中隶属函数和模糊规则的具体制定,并应用可变论域的思想对模糊控制器进行改进。对船舶的纵向运动进行了控制与仿真,并且做了比较与分析。仿真结果表明,改进的模糊控制器能对船舶的动力定位实施更有效的控制。

关键词: 船舶、舰船工程;模糊控制;动力定位;可变论域;仿真

中图分类号: U664.8 **文献标识码:** A

1 引 言

随着地球人口的急剧增加,陆上资源供应也日益趋于极限,各国都把经济发展的重点转移到丰富的海洋资源上。21 世纪必将是海洋经济时代。人们对海洋资源的开发和探索范围越来越广,因此,海上作业系统的系泊方式的研究显得日益重要。船舶动力定位是指系统利用其本身的动力装置来克服风、波浪和海流等外部环境的干扰,从而使其能保持在一定的位置与方向上。与锚泊系统相比,动力定位系统的定位成本不会随着水深的增加而增加,并且操作也很方便。

模糊控制主要有以下特点:① 不需要知道控制对象的数学模型;② 可以实现对非线性系统的控制;③ 对参数的变化有较强的适应性,鲁棒性好。船在海上的动力学特性很难用精确的数学模型加以描述,而风、浪、流等外部随机干扰的统计特性也随着不同的海况而发生很大变化且难以预知。因此,模糊控制技术非常适合船舶动力定位系统。但由于模糊控制策略的局限性,控制效果不是很理想。鉴于此,本文应用可变论域思想对模糊控制进行改进,提高控制精度和响应时间^[1]。

2 船舶运动的数学模型

船舶动力定位系统主要考虑船舶在水平面内 3 个自由度的运动,即船舶的纵荡、横荡和艏摇运动。为描述船舶的运动,建立以大地上的 E 为原点的大地坐标系 $\zeta E\eta$ 和以船重心 O 为原点的随船坐标系 xOy ,其中 x 轴平行于船体基线方向, y 轴平行于基面且指向右舷,见图 1。图 1 中的 ψ 为艏向角。

动力定位系统低频运动的数学模型有多种形式,下面是一种较实用的形式^[2]:

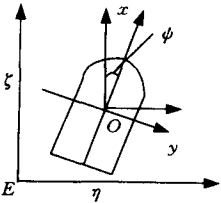
$$(m + m_x)\dot{u} - (m + m_y)vr = X_H + X_{wa} + X_{wi} + X_T \quad (1)$$

$$(m + m_y)\dot{v} - (m + m_x)ur = Y_H + Y_{wa} + Y_{wi} + Y_T \quad (2)$$

$$(I_z + J_z)\dot{r} = N_H + N_{wi} + N_T \quad (3)$$

式中 u, v 分别为随船坐标系原点的线速度矢量在 x 轴和 y 轴上的投影; \dot{r} 为艏向角 ψ 的变化率,式中 $\dot{\cdot}$ 表示对时间 t 的导数; X_T, Y_T, N_T 分别为作用于船 3 个自由度方向上的动力; m 为船的质量; m_x, m_y 分

别为船在纵荡和横荡方向运动中产生的附加质量; I_z 为船纵向的附加转动惯量; J_z 为船横向的附加转动惯量; X 、 Y 分别为纵荡和横荡方向的力; N 为艏向的力矩; 下标 H 、 wa 、 wi 、 T 分别表示船体的水动力、波浪漂力、风力和推进器力。



3 动力定位系统中模糊控制器的建立

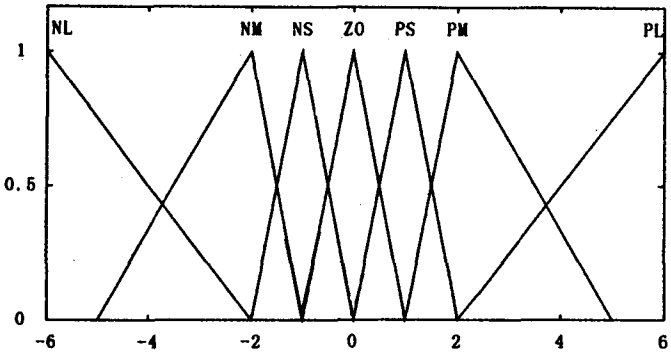
通常模糊控制器由下述几个部分组成:① 输入、输出量的规范化;② 输入量的模糊化;③ 语言控制规则;④ 模糊逻辑推理;⑤ 输出量的去模糊化。其中语言控制规则部分和模糊逻辑推理部分是控制器的核心。模糊控制器首先根据模糊输入量和语言控制规则,由模糊逻辑推理决定输出量的一个分布函数;然后将输出量的分布函数转化为规范化的输出量,再把它输出给执行机构去控制系统。

3.1 控制变量的选择

由于船舶在定位过程中处于相对较低的航速状态,各种运动状态之间的耦合并不十分严重。为便于控制器的设计,可以认为:船在执行定位的过程中各种运动状态是不考虑耦合的。本文只针对船舶的纵向运动进行考虑,以纵向的位置偏差及速度作为模糊控制器的两个输入量。

3.2 模糊控制知识库

所选取的控制器各变量的语言值可分为正大(PL)、正中(PM)、正小(PS)、零(ZO)、负小(NS)、负中(NM)、负大(NL)七个等级。为便于计算,文中的输入模糊集和输出模糊集的隶属函数都取为三角形,并且与其它复杂形状的隶属函数相比,它在达到控制要求方面并无多大的差别。相邻三角形隶属函数的顶点和起点对应,这样能获得较高的隶属度函数重叠率和重叠鲁棒性(如图 2 所示)^[2]。



模糊控制规则库由一系列“IF-THEN”型的模糊条件语句所构成,它是建立在实践经验的基础上的。纵向控制器推力 F 的模糊

图 2 隶属度函数

控制规则如表 1 所示(表中 x 为位移, v 为速度)。由表 1 显然可见,模糊控制共有 7×7 条控制规则。

表 1 推力 F 的模糊控制规则表

x	v						
	PL	PM	PS	ZO	NS	NM	NL
PL	PL	PL	PM	PM	PS	PS	ZO
PM	PL	PM	PM	PS	PS	ZO	NS
PS	PM	PM	PS	PS	ZO	NS	NS
ZO	PM	PS	PS	ZO	NS	NS	NM
NS	PS	PS	ZO	NS	NS	NM	NM
NM	PS	ZO	NS	NS	NM	NM	NL
NL	ZO	NS	NS	NM	NM	NL	NL

3.3 去模糊化

由模糊逻辑中的蕴涵关系及推理规则进行模糊推理得到控制量,然后经去模糊化转变为实际用于控制的精确量。去模糊化的计算方法有:最大隶属度法、中位数法和加权平均法。其中,加权平均法也称为质(重)心法,是最常用的去模糊化方法。本文中的船舶动力定位系统就采用这一方法进行去模糊化计

算。

4 可变论域思想

Fuzzy 控制器依赖于专家的知识总结,只适用于粗糙控制场合,对于高精度的控制问题,Fuzzy 控制器的控制效果不是很理想。事实上只要抓住 Fuzzy 控制的真谛,Fuzzy 控制器是可以用于高精度的控制场合的。控制的主要目的是要把误差控制在“零点”附近,这是一个“局部”问题。然而控制规则是有限的且是固定的,这样势必会造成以规则的不变应误差之万变的矛盾,精度当然不会很高。如果扬弃“僵化”的弊病,采用“变化”的手段,上述矛盾便可迎刃而解。

现以单输入单输出 Fuzzy 控制器为例简述这种新方法。设输入变量为误差 x ,其初始化论域(误差最大变化范围)为 $[-E, E]$, E 为实数;一般常用七个等级,即如图 3 所示的划分。

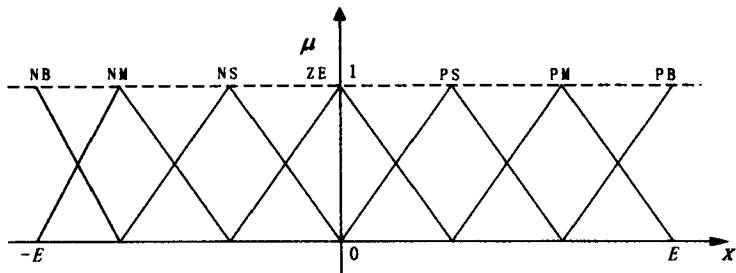


图 3 初始论域及其 Fuzzy 划分

随着控制过程的进行,误差缩小,即向零位(ZE)靠近。若还用图 3 所示的论域及划分进行推理,控制精度当然不会很高。其原因在于论域 $[-E, E]$ 对于缩小后的误差偏大。因此,可以提出一种“可变论域”的思想:在规则形式(形状)不变的前提下,论域随着误差变小而收缩;当然亦可以随着误差增大而伸展(如图 4 所示)。

初始论域 $[-E, E]$ 通过伸缩因子 $a(x)$ 变换为 $[-a(x)E, a(x)E]$, 其中 $a(x)$ 为误差变量 x 的连续函数, $a(x) = 1 - e^{-kx^2}$, 式中 k 可作为设计参数,根据实际控制场合来确定^[5]。

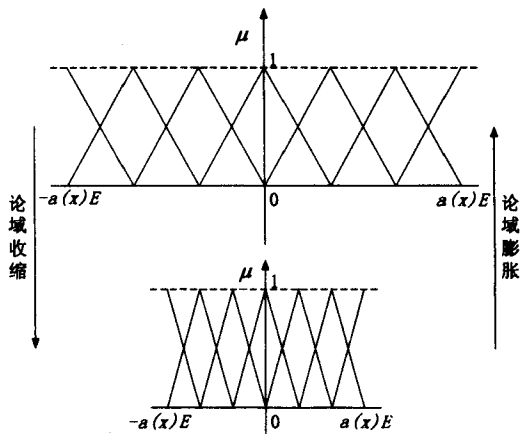


图 4 论域的伸展与压缩

5 仿真结果

本文的研究对象为一种新型的动力定位船舶,长、总宽分别为 25.5m 和 8.5m,质量为 46t,纵向水动力导数为 -0.00122N/m^2 。针对这个研究对象,分别采用常规模糊控制器和改进后的模糊控制器进行船舶的纵向运动控制,相应的模糊控制子集、隶属度函数及模糊控制规则见 3.2 节。船舶的初始位置为 $x(0) = 0$, 初始速度 $\dot{x}(0) = 0$, 定位点为 20m。根据可变论域的思想,将位置偏差分为三个区间 $[-20, 20]$, $[-10, 10]$, $[-5, 5]$;速度也分为三个区间 $[-1, 1]$, $[-0.8, 0.8]$, $[-0.5, 0.5]$ 。通过 function 函数来实现整个系统随着误差的变化选择不同的论域。选用的干扰为白噪声信号和恒值信号。图 5 示出了系统的干扰力 R 与时间 t 的关系曲线。在 $t = 0$ 时加入随机干扰, $t = 200\text{s}$ 时叠加常值干扰。图 6 和图 7 分别为系统的位移 x 响应曲线和推力 F 响应曲线。图中各有两条曲线,其中一条为常规模糊控制器下的响应曲线,另一条为改进后的模糊控制器的响应曲线。

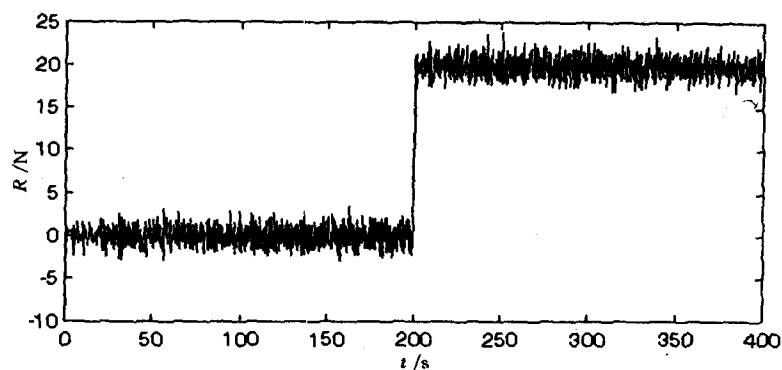


图 5 干扰曲线

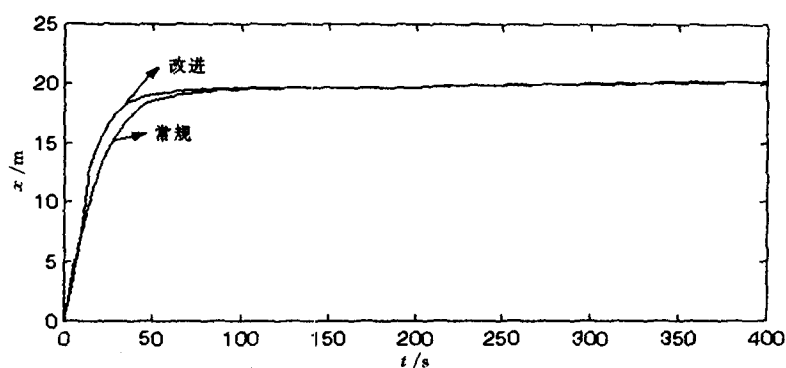


图 6 系统的位移仿真曲线

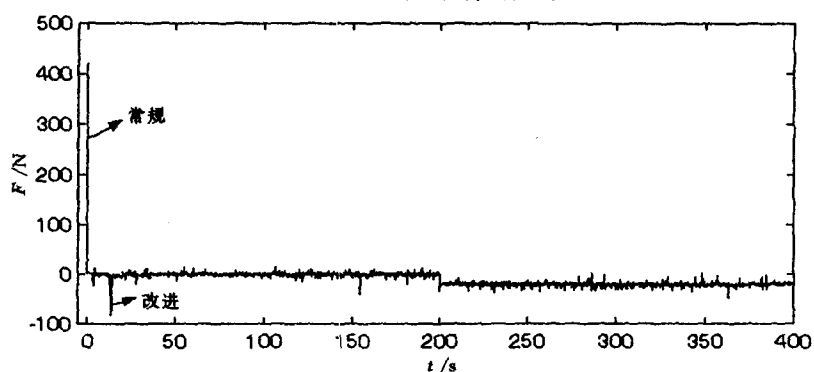


图 7 系统的推力仿真曲线

6 结 语

从仿真结果可以看出,改进的模糊控制器的控制效果明显优于常规模糊控制器的效果,缩短了响应时间,提高了控制精度。同时在定位趋于稳定且存在干扰的时候仍能保持稳定状态,满足定位要求。可变论域思想是根据 Fuzzy 控制的插值机理而来,倘若在整个控制过程中都能及时调整 Fuzzy 的论域,即以论域的“万变”应误差之“万变”,达到控制在某一点“不变”之效果,则效果会更佳,因此可应用于高精度控制的场合。须指出的是,文中仿真实例只是将误差划分了三个区间,而在实际应用中可依据实际工况合理地选择论域。

参 考 文 献

- 1 赵志高,杨建民,王磊,程俊勇. 动力定位系统发展状况及研究方法[J]. 海洋工程, 2002, 20(1): 91~97.

- 2 李和贵,翁正新,施颂椒. 基于模糊控制的船舶动力定位系统设计与仿真[J]. 系统工程与电子技术,2002, 24(11): 42~44.
- 3 韩启纲,吴锡祺. 计算机模糊控制技术与仪表装置[M]. 北京:中国计量出版社,1999.
- 4 王丽娟,李英辉,赵希人. 模糊控制技术在船舶动力定位中的应用研究[J]. 船舶工程,1999, (3): 8~11.
- 5 刘增良. 模糊技术与应用选编[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,1998.
- 6 Lee T H, Cao Y S, Lin Y M. Dynamic positioning of drilling vessels with a fuzzy logic controller[J]. International Journal of Systems Science, 2002, 33(12): 979~993.

Application and Improvement of Fuzzy Controller in Ship Dynamic Positioning Systems

ZHANG Gui-lan, DENG Zhi-liang

(Department of Electronics and Information, Jiangsu University of Science and Technology,
Zhenjiang 212003, China)

Abstract

The fuzzy logic controller used for ship dynamic positioning system is studied and the design of membership functions and fuzzy rules are discussed in this paper. The idea of variable domain is applied to improve the fuzzy logic controller. The control and simulation for a ship longitudinal motion are performed by means of the two controllers, one is the normal controller, another is the improved controller. Then the results of the two different ways are compared and analyzed. It shows that the result of the improved controller is better than that of the normal controller for the ship dynamic positioning systems.

Key words: ship engineering; fuzzy control; dynamic positioning system; variable domain; simulation

作者简介

张桂兰 女,1980年生,硕士研究生。