

8-11

## 模糊控制在船舶动力定位中的应用研究

哈尔滨工程大学 王丽娟 李英辉<sup>V</sup> 赵希人U661.33  
TP13

**摘要** 在进行某船动力定位系统的设计过程中,采用了模糊控制器作为系统的控制器,并针对仿真过程中出现的问题进行优化,得到了一个切实可行的模糊控制器,并对该模糊控制器进行了仿真试验验证。

**关键词** 模糊控制 动力定位 操纵性 船舶

## 1 动力定位系统的组成

动力定位系统由下列三部分组成:(1)船位、艏向传感器及环境力传感器;(2)控制器;(3)推力器。下面分别讨论各组成部分的功能。

## 1.1 船位、艏向传感器及环境力传感器

这一部分的用途是以足够的精度和速度获取所需的信息,以便控制器产生推力指令,去抗衡环境因素的干扰。这一部分通常包括声纳、无线电导航设备、罗经、测位系统及风传感器等。

## 1.2 控制器

动力定位系统的控制器是一种多回路反馈控制系统。其主要功能包括:

- (1) 处理传感器信息,求得实际位置与艏向。
- (2) 将实际位置与艏向同基准值相比较,产生误差信号。
- (3) 计算力和力矩指令,使误差的平均值减小到零。
- (4) 计算抗风力和力矩,提供风变化的前馈信息。
- (5) 将前反馈的风力和力矩信息叠加到误差信号所代表的力和力矩信息上,形成总的力和力矩。
- (6) 按照推力分配逻辑,将力和力矩指令分配给各个推力器。
- (7) 将推力指令转换为推力器指令(转速、转向)。

同时,它还要起到下列重要作用:补偿动力定位系统所固有的滞后,以免造成不稳定的闭环动作(稳定性补偿);消除传感器的错误信号,防止推力器做不必要的运转(推力器调制)。

## 1.3 推力器

推力器提供推力抵抗外力和力矩。从动力定位的要求可以看出,至少需要两个推力器;实际上,装有动力定位系统的船舶上一般都装有多组推力器。我们所研讨的某船,在尾部有两台可转向导管螺旋桨装置,用以产生纵向推力和横向推力及力矩,在艏部有两只侧向推力器,用以产生横向推力和力矩。

## 2 船舶操纵性数学模型的建立

为了描述船舶的运动,采用下述两个右手直角坐标系:一个是固定坐标系  $O_1-X_1Y_1Z_1$  (以下简称“定系”)固定于地球;另外一个运动坐标系  $G-xyz$  (简称“动系”)固联于船舶,随船一起运动。动系的原点在船的重心  $G$ ,  $Gx$ 、 $Gy$ 、 $Gz$  分别是经过  $G$  的三个方向轴,  $Gx$  为纵剖面与水线面的交线,  $Gy$  为横剖面与水线面的交线,  $Gz$  为纵剖面与横剖面的交线。正方向按右手系的规定,即  $Gx$  向首,  $Gy$  向右,  $Gz$  向下(见图 1)。

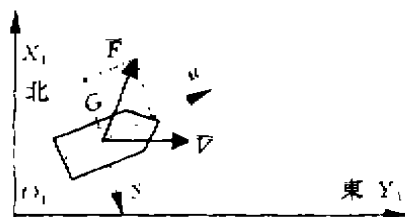


图 1 坐标系

设船的质量为  $m$ , 重心  $G$  的航速为  $\vec{V}(u, v, w$  为  $\vec{V}$  在  $G-xyz$  上的投影), 角速度为  $\vec{\Omega}(p, q, r$  为  $\vec{\Omega}$  在  $G-xyz$  上的投影), 所受外力为  $\vec{F}(X, Y, Z$  为  $\vec{F}$  在  $G-xyz$  上的投影), 外力对重心的力矩为  $\vec{M}(L, M, N$  为  $\vec{M}$  在  $G-xyz$  上的投影)。

考虑船作操纵运动时, 升沉、纵倾和横倾很小, 可忽

略升沉、纵倾和横倾对水平面内运动的影响,故只考虑水平面内运动,其运动方程为:

$$\begin{cases} m(\dot{u} - rv) = X \\ m(\dot{v} + ru) = Y \\ I_z \dot{r} = N \end{cases} \quad (1)$$

式中  $I_z$  为船对动坐标系轴的转动惯量。

### 3 动力定位系统中常规模糊控制器的建立

如图 2 所示、模糊控制系统和常见的负反馈闭环控制系统相似,唯一不同之处是控制装置由模糊控制器来实现。模糊控制器(Fuzzy controller)通常由下列几个部分组成(图 3): (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)输出量非模糊化。

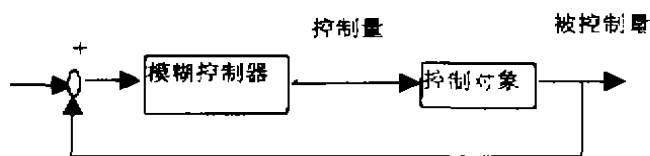


图 2 模糊控制系统

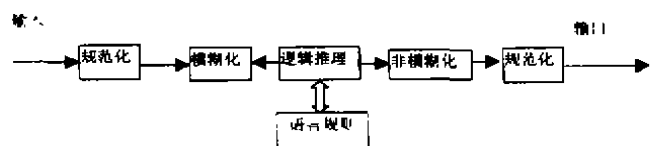


图 3 模糊控制器

输入、输出量的规范化是指将控制器输入、输出限制在规定的范围内,以便于控制器的设计和实现。因为控制器的输入值一般都不是模糊数,因此模糊化过程就是将输入值转化为模糊量。语言控制规则和模糊逻辑推理是控制器的核心。根据模糊输入量和语言控制规则,模糊逻辑推理决定输出量的一个分布函数。非模糊化过程将输出量的分布函数转化为规范化的输出量。最后控制器将规范化的输出量转化为实际的输出值(即控制量)去控制系统。在图 2 所示的控制系统中,给定值和被控量之间的偏差是控制器的输入。控制器通过偏差控制被控对象的输出值,使其稳定在给定值。

#### 3.1 控制变量的选择

针对本船动力定位系统而言,因船均处于相对较低的航速状态,各种运动状态之间的耦合不十分严重,为了便于控制器的设计,可认为该船在执行动

力定位任务时,不发生运动状态之间的耦合,各种运动状态之间是完全独立的。因此,本文分别设计纵向运动控制器、横向运动控制器和艏向运动控制器。对于每个控制器而言,把船在该控制器方向上与定位点的偏差和在该方向上的分速度作为控制器的两个输入,而把推力器需要发出的力作为控制器的输出变量。

纵向方向:输入变量为位置偏差  $\Delta x$  和纵向速度  $u$ ,输出变量为纵向推力  $F_x$ 。

横向方向:输入变量为位置偏差  $\Delta y$  和横向速度  $v$ ,输出变量为横向推力  $F_y$ 。

艏向方向:输入变量为位置偏差  $\Delta \psi$  和旋转速度  $r$ ,输出变量为旋转力矩  $M$ 。

其中:

$$\begin{aligned} \Delta x &= (x - x_0)\cos(\Psi - \Psi_0) + (y - y_0)\sin(\Psi - \Psi_0) \\ \Delta y &= (x - x_0)\sin(\Psi - \Psi_0) + (y - y_0)\cos(\Psi - \Psi_0) \\ \Delta \Psi &= \Psi - \Psi_0 \end{aligned} \quad (2)$$

式中  $x_0, y_0, \Psi_0$  为动力定位目标点的位置参数。

#### 3.2 量化因子的确定——精确量的模糊化

设误差的基本论域为  $[-x, x]$ 。误差所取的模糊集的论域为:  $X = \{-n, -n+1, \dots, n-1, n\}$ , 其中  $x$  为表征误差大小的精确量,  $n$  为将在  $0 \sim x$  范围内连续变化的误差离散化(或量化)后分成的档次。它构成论域  $X$  的元素,一般常取  $n=6$  或  $7$ 。这时,需要通过所谓量化因子进行论域变换。其中量化因子  $K_e$  的定义是:

$$K_e = \frac{n}{x_e}$$

式中  $K_e$  为误差的量化因子,  $x_e$  为误差的论域的最大值。

把误差  $E(e)$  的范围设定为  $[-6, 6]$  之间变化的连续量,然后将这一连续量(精确量)离散化,即将之分为  $n$  档,每一档对应一个模糊集,然后进行模糊处理。但是,由于精确量的变化范围不是在  $[-6, 6]$  之间,而是在  $[a, b]$  之间,故需通过下述变化式进行转化:

$$y = \frac{12}{b-a} \left[ x - \frac{a+b}{2} \right] \quad (4)$$

#### 3.3 语言变量的选取及论域上的模糊子集

选取控制器各变量的语言值可以分成:正大、正中、正小、零、负小、负中、负大这样七档。经过综合考虑,决定先初步选择等腰三角形的隶属函数曲线,各模糊集之间均匀分布,其曲线如图 4 所示,还可表格表示,如表 1。

表 1 语言变量值

	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
NL	1.0	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NM	0	0.5	1.0	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NS	0	0	0	0.5	1.0	0.5	0	0	0	0	0	0	0
ZO	0	0	0	0	0	0.5	1.0	0.5	0	0	0	0	0
PS	0	0	0	0	0	0	0	0.5	1.0	0.5	0	0	0
PM	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	1.0	0.5	0	0
PL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	1.0	0

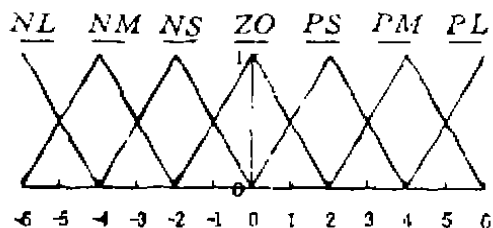


图 4 语言变量值的隶属度函数曲线

### 3.4 模糊控制规则的确定

得到纵向控制器的一个明确的规则集如表 2 所示。从该表中可以看出：本模糊控制器有  $7 \times 7$  条控制规则。

表 2 模糊控制规则表

		U						
		NL	NM	NS	ZO	PS	PM	PL
$\Delta x$	NL	PL	PL	PM	PM	PS	PS	ZO
	NM	PL	PM	PM	PS	PS	ZO	NS
	NS	PM	PM	PS	PS	ZO	NS	NS
	ZO	PM	PS	PS	ZO	NS	NS	NM
	PS	PS	PS	ZO	NS	NS	NM	NM
	PM	PS	ZO	NS	NS	NM	NM	NL
	PL	ZO	NS	NS	NM	NM	NL	NL

### 3.5 模糊控制算法

本文采用的是直接推理法算法。下面具体解释该算法：

考虑控制规则 if  $A$  and  $B$  then  $C$

如果存在输入  $a^*$ ,  $b^*$ , 并且有对  $A$ ,  $B$  的隶属度分别为:  $\mu_A(a^*)$ ,  $\mu_B(b^*)$ , 则有强度  $\omega$ :

$$\omega = \mu_A(a^*) \wedge \mu_B(b^*) \quad (5)$$

并得推理结果  $\alpha$ :

$$\alpha = \omega \wedge \mu_C(c) \quad (6)$$

其中,  $\mu_C(c)$  表示输出  $c$  对  $C$  的隶属度。

对于  $k$  条控制规则:

if  $A_i$  and  $B_i$  then  $C_i$  ( $i=1, 2, \dots, k$ )

则有:

$$\alpha_1 = \omega_1 \wedge \mu_{C_1}(c)$$

$$\alpha_2 = \omega_2 \wedge \mu_{C_2}(c)$$

.....

$$\alpha_k = \omega_k \wedge \mu_{C_k}(c)$$

从而有:

$$\alpha = \bigcup_{i=1}^k \omega_i \wedge \mu_{C_i}(c)$$

最后, 用重心法可以求出精确控制量  $C^*$ :

$$C^* = \int \alpha \cdot c dc / \int \alpha dc$$

也可表示为:

$$C^* = \frac{\sum \alpha \cdot c}{\sum \alpha}$$

## 4 仿真实验结果

下面是本文利用该模糊控制器在计算机数字仿真系统下获得的实验数据, 以验证模糊控制器的性能。本文中的各类位置信息, 均未加入高频干扰, 可看作是经过滤波后的结果。

实验 1(海况: 无风、浪、流):

初始位置:  $x=50\text{m}$ ,  $y=0\text{m}$ ,  $\alpha=0^\circ$

定位点:  $x=0\text{m}$ ,  $y=0\text{m}$ ,  $\alpha=0^\circ$

实验结果见图 5

实验 2(海况: 无风、浪、流):

初始位置:  $x=0\text{m}$ ,  $y=30\text{m}$ ,  $\alpha=0^\circ$

定位点:  $x=0\text{m}$ ,  $y=0\text{m}$ ,  $\alpha=0^\circ$

实验结果见图 6

实验 3(海况: 无风、浪、流):

初始位置:  $x=50\text{m}$ ,  $y=0\text{m}$ ,  $\alpha=0^\circ$

定位点:  $x=0\text{m}$ ,  $y=0\text{m}$ ,  $\alpha=0^\circ$

实验结果见图 7

实验 4(海况: 无风、浪、流):

初始位置:  $x=0\text{m}$ ,  $y=0\text{m}$ ,  $\alpha=45^\circ$

定位点:  $x=0\text{m}$ ,  $y=0\text{m}$ ,  $\alpha=0^\circ$

实验结果见图 8

从仿真实验结果中可以看出, 在常规模糊控制器的控制下, 船是能够完成动力定位任务的, 且定位精度满足要求。

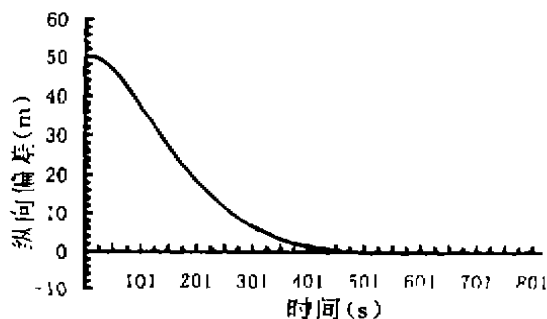


图 5 实验 1 的纵向偏差图

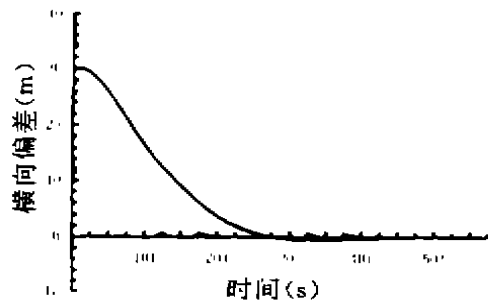


图 6 实验 2 的横向偏差图

## 参 考 文 献

- 1 M J 摩根, 近海船舶的动力定位, 国防工业出版社
- 2 陈厚泰, 船舶操纵性, 国防工业出版社

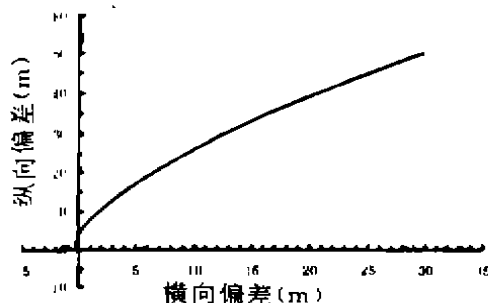


图 7 实验 3 的运动轨迹图

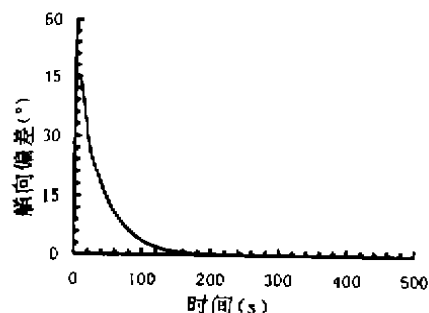


图 8 实验 4 的艏向偏差图

- 3 李友善, 李军, 模糊控制理论及其在过程控制中的应用, 国防工业出版社
- 4 范晓英等, 一个新型的模糊控制器, 控制理论与应用, 1995, 12

(上接第 7 页)

(1) 编写指导船员、潜水员如何进行水下检验的操作说明书。

(2) 船底所有开孔处, 分舱标志、放水塞、水密舱壁标志等都要按分类编号, 标出其识别符号, 用焊珠按图施工焊在船壳板上, 最后涂上白漆, 使潜水员在水中可以清楚自己所处的位置。该项工作通过检验后, 必须对各部位进行拍照, 所有的照片汇编成册与操作说明一起送审。

(3) 海底阀箱格栅应设计成铰链式, 使潜水员可在水下用工具打开阀箱格栅到里面进行必要的作业。

(4) 舵系、轴系的轴承处刻上醒目标志, 便于潜水员在水下可测量轴间隙和位移的变化。该项要求的难度在于, 既要能使操作人员在舵轴系的外面能观察到轴、衬套与轴承之间的间隙和位移, 而且还能从手孔里伸进去测量具体的数值。

(5) 所有出水口都配备涨式橡胶栓塞, 以便在

船内可拆检管路。

(6) 所有海底阀箱格栅都配置专用橡皮密封罩, 以便必要时可在舱内检修箱处设备。船壳上焊有固定橡皮罩的眼板, 使用时, 潜水员先将罩子罩在阀箱外, 然后在阀箱内抽水, 利用外部海水压力使橡皮罩紧贴外板, 达到水密的要求。

## 8 结束语

30000DWT 多用途集装箱船是一艘成功的、有较高附加值的船型, 极有进一步开发的价值。如果船东需要, 结构吃水可从 11.0m 提高到 11.4m, 集装箱数可提高到 1906 只, 装载量可提高到 34500t<sup>[1]</sup>。该型船市场前景十分乐观。

## 参 考 文 献

- 1 GL, 1997 年年度报告, 入级 12/13~14/15