

用模糊逻辑实现动力定位船舶的艏向寻优

哈尔滨工程大学 李家炜 庞永杰 徐玉如 肖 坤

由于各种环境因素随时间不断变化,船舶作动力定位作业时,最优艏向也是不断变化的,所以艏向寻优是动力定位的关键技术之一。本文用模糊逻辑实现艏向寻优,其优点是:不依赖于环境要素的测量值和数学模型,寻优与控制相结合,反应快,准确程度高。

关键词 动力定位 模糊控制 艏向寻优

船舶 模糊逻辑

1 概 述

船舶进行动力定位作业时,在一定的海情下,总存在一个(也可能是多个)最优艏向,此时推力器只需发出较小的推力就可保持船位。偏离最优艏向越大所需推力越大,一旦环境干扰力超过推力器的最大能力,船位就无法保持。所以船舶动力定位系统必须找到最优艏向,并使船舶艏向保持在最优艏向附近的较小范围里。传统的船舶艏向寻优技术依赖于传感器对环境因素的测量,以及关于环境要素的准确数学模型。但海洋环境是极其复杂的,其环境因素只能部分测得,而且环境因素的准确数学模型也很难得到,所以传统的艏向寻优技术在海洋环境变化较大、随机干扰剧烈的情况下效果不理想。

为此,本文提出一种根据船舶运动状态,运用模糊逻辑实现船舶艏向寻优的新技术。

2 模糊艏向寻优

由于船舶纵剖面积远大于横剖面积,其横向受力一般远大于纵向受力。因此,船舶动力定位的纵向位置较容易确定,而最优艏向也就成为横向受力最小的方向。对此,文献[1]提出用侧向推力器的平均负荷作为横向受力的反映,并据此改变船的艏向指令。即当改变艏向,如果侧向推力器的平均负荷减小,则可在这一方向以预定的增量继续改变艏向;若情况相反,则在相反方向使艏向指令变化一个预定的增量,艏向指令将继续向减小推力器平均负荷的方向变化,直到平均负荷开始改变符号而出现增加的趋势为止。但是,此方法中推力器的负荷不一定能直接且迅速地反映船的受力情况,并且它也和所采用的控制规律有关,比如控制规律采用 Bang-Bang 控制,虽然船舶的横向受力减小,推力器的负荷也不

会减小,其结果是船舶艏向在一定范围内振荡。所以这种艏向寻优方法实现起来很困难。

实际上,船舶的运动直接反映其受力情况,根据船舶的横向运动可以推知其横向受力。所以本文提出利用船舶横向运动作为船舶横向受力的反映,由横向偏差与横向速度寻找船舶最优艏向的方法。此方法,采用模糊控制技术。模糊控制可以很方便地将上述构想表示成模糊控制规则的形式,再给定输入、输出的隶属函数,即可进行有效控制。具体控制方法同文献[1]。

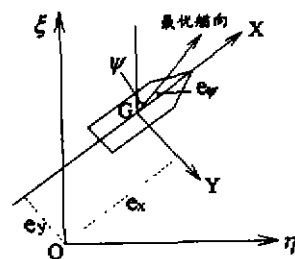


图1 坐标系

动力定位系统所关心的是船舶在水平面内三自由度的运动,即纵荡、横荡和摇艏。建立船舶坐标系如图1所示,随船坐标系 XGY 的原点取在船舶重心 G 上,固定坐标系 $\xi\eta$ 为原点取在定位点的大地坐标系。若船舶重心在固定坐标系的坐标为 (ξ_0, η_0) ,其偏离定位点的位置偏差:

$$e_x = \xi_0 \cos \psi + \eta_0 \sin \psi$$

$$e_y = \xi_0 \sin \psi - \eta_0 \cos \psi$$

本文设计的船舶动力定位运动控制系统由三个独立的控制器构成,分别控制船舶的纵荡、横荡与摇艏运动,系统框图如图2所示。由于纵向控制器、横

作者简介:李家炜,男,27岁。现为哈尔滨工程大学博士生,从事船舶动力定位技术与模糊控制技术的研究。

向控制器与艏向控制器有类似的结构,所以本文着重介绍艏向寻优与艏向控制器。艏向寻优与艏向控制器形成一种串级控制的形式,前一级完成艏向寻优的功能,其输入为横向偏差与横向速度,输出是艏向设定值;后一级的输入是艏向偏差与转艏角速度,输出为转艏力矩指令。前后两级都由模糊控制实现。前一级的结构与基本模糊控制器完全相同;后一级为基本模糊控制器加上自适应项,以消除稳态偏差。下面以一种动力定位船舶为例,介绍艏向寻优控制器的详细结构。

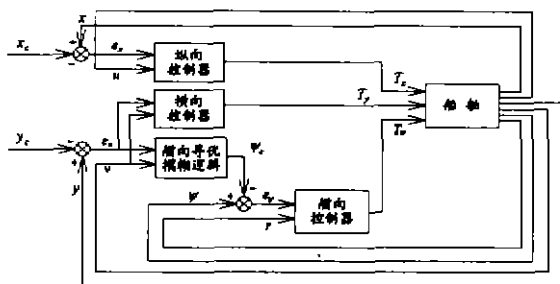


图 2 动力定位控制系统框图

基本模糊控制器的结构如图 3 所示。其模糊化部分根据隶属函数将输入变换成相应的语言变量,然后由模糊控制规则推导出控制量的语言值;反模糊化部分将语言值变换为精确的控制量。其设计内容包括:

- (1)输入、输出变量量化等级与隶属函数的设计;
- (2)给出模糊控制规则;
- (3)定义模糊推理的算子及反模糊化算法;



图 3 基本模糊控制器

隶属函数与模糊控制规则是设计的关键所在。

本文中的模糊控制规则采用表 1 的形式。这种对称的形式使得输出的控制曲面较光滑,没有局部的突起或凹陷,对不同给定值可以达到同样的控制效果。对于艏向寻优部分输入、输出变量都划分为 11 个语言变量值,并简单地用数字表示为:-5、-4、-3、-2、-1、0、1、2、3、4、5。横向偏差的论域为-100m、100m;横向速度为:-1.5m/s、1.5m/s;艏向偏差为:-45°、45°。隶属函数的形式如图 4 所示。其形状取为三角形是为了计算简便,但在达到控制精度方面与其它复杂形状的隶属函数并无多大差别。

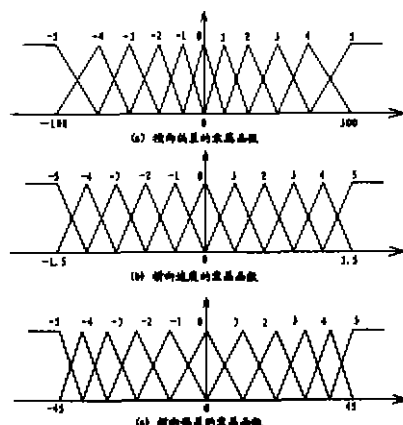


图 4 输入、输出的隶属函数

反模糊化采用重心法,即

$$u^* = \frac{\sum \mu_i \cdot u_i}{\sum \mu_i}$$

其中, μ_i 为隶属度。

由于基本模糊控制器不具有积分作用,如果环境干扰力较大,船舶在定位点附近总会存在稳态偏差,所以后一级艏向控制由基本模糊控制器与一自适应项构成自适应控制器。自适应项用于自适应环境的变化以消除稳态偏差,它的结构与基本模糊控

表 1 模糊控制规则表

控制量 偏差变化	偏 差										
	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
-5	5	5	5	5	5	5	4	3	2	1	0
-4	5	5	5	5	5	4	3	2	1	0	-1
-3	5	5	5	5	4	3	2	1	0	-1	-2
-2	5	5	5	4	3	2	1	0	-1	-2	-3
-1	5	5	4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4
0	5	4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-5
1	4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-5	-5
2	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-5	-5	-5
3	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-5	-5	-5	-5
4	1	0	-1	-2	-3	-4	-5	-5	-5	-5	-5
5	0	-1	-2	-3	-4	-5	-5	-5	-5	-5	-5

制器相似,不同之处在于模糊规则,其模糊规则表形式同表1,但意义不同。普通模糊控制器的输出直接对应不同的推力,而自适应项的输出对应推力的增加值。它的模糊逻辑可以这样来描述:

“当船位的稳态偏差较大,且速度很小,则推力要有较大的增加。”

“当船位的稳态偏差较大,且速度很小,则推力要有较小的增加。”

.....

模糊规则表中,语言值“0”表示推力值不变,“1”表示推力值增加一很小值,“-4”表示推力值减小一较大值……这样,自适应项可以实现对环境干扰的自适应。其余部分的结构与前一级控制器类似,这里不再重述。

3 仿真试验

仿真试验在一个较为完整的船舶运动仿真系统里进行。数学模型采用文献[2]的形式,水动力系数由船模实验测得,风、流作用力由实验测定,波浪漂移力由理论计算得到,阵风与不规则波按风谱、波浪谱模拟。

为检验上述艏向寻优控制器的抗干扰能力,将环境条件设定为五级海况,三节流,风浪与流夹角 90° 。图5(a)为艏向随时间变化的曲线,(b)为横向偏差随时间变化曲线。

仿真结果表明,上述艏向寻优控制器在各种环境下均表现出良好的控制性能,在变化的环境中同样可以迅速找到最优艏向,使横向船位得以保持。图

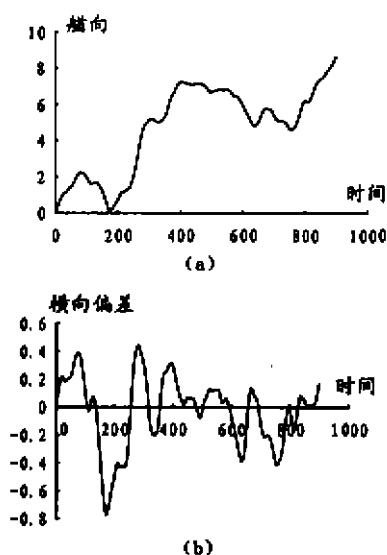


图 5

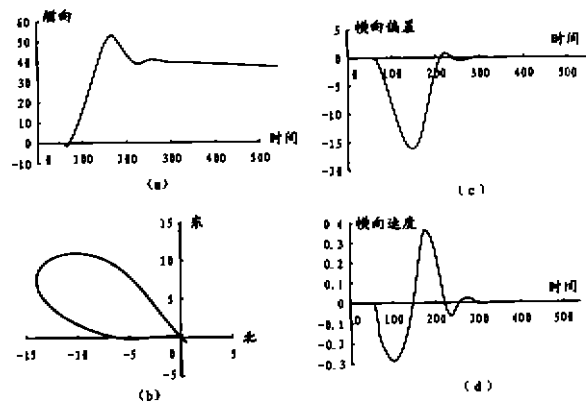


图 6

6所示情况,初始状态为船艏顶风,平均风速为 10m/s 。投入动力定位以后,将风向变化为船艏 45° 方向。其中(a)显示艏向的变化情况,(b)为大地坐标系中船舶的运动轨迹,(c)、(d)分别为横向偏差、横向速度随时间的变化。由图6可以看出,该艏向寻优控制器对于环境变化有较强的适应能力。上述控制系统采用完全的反馈控制,如果有如风传感器等测量环境要素的设备加入前馈控制,则艏向寻优过程中的船位偏差将进一步减小。

4 结 论

船舶动力定位的艏向寻优是一个复杂的控制问题。应用常规的控制方法不仅要确定船舶运动的数学模型,还要建立环境干扰力(包括风、浪、流)的精确模型,而后者又依赖于对环境要素的准确测量,其实现十分困难。而模糊控制不依赖于对象的精确数学模型,非常适合于复杂对象的控制。本文的研究表明,模糊控制是解决动力定位船舶艏向寻优问题的一个好方法,可以取得令人满意的效果。

5 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,1984
- 2 庞永杰,王宗义,朱德耀,动力定位中的船舶运动方程,第七届全国操纵性学术会议论文集,1996
- 3 汪济民,戴冠中,隶属函数对模糊控制系统性能的影响,第一届全球华人智能控制大会论文集,1994
- 4 余永权,曾碧,单片机模糊逻辑控制,北京航空航天大学出版社,1994
- 5 Michael G Parsons, Alan C Chubb, Yusong Cao. An Assessment of Fuzzy Logic Vessel Path Control. IEEE Journal of Oceanic Engineering. Vol. 20, No. 4, Oct 1995
- 6 D J Wiltshire. The SRMH Platform Control and Monitoring system. Maritime Defence, Vol. 8, 1988
- 7 Zhen-Yuzhao, M Tomizuka and S Sagar. A Fuzzy Tuner for Fuzzy Logic Controller. ACC, TP3, 1992