

高性能船舶动力定位系统技术分析

黎 南¹, 刘晓冰¹, 孙长江²

(1. 大连理工大学 机械工程学院, 辽宁 大连 116023; 2. 大连造船厂 军事代表室, 辽宁 大连 116001)

摘 要: 对国外某些船舶动力定位控制系统设计方案中存在的控制精度不足以及控制响应速度较慢等问题进行了分析和研究, 提出了相应的改进的方案。文章根据该定位控制系统设备的基本配置情况对该系统的基本工作原理进行了分析, 得到了该定位控制系统基本的数学模型和传递函数, 并根据该控制系统的工作特性提出了解决问题的方法。该方法在控制系统中采用了神经网络控制算法, 取代了原方案中的多变量系统控制算法。通过对改进前后方案的控制性能进行数值仿真比较, 表明改进后的方案比原方案的控制性能有了较大提高。

关键词: 船舶动力; 定位; 设计; 改进

中图分类号: U664.1 **文献标识码:** B

1 前 言

大连造船厂为国外某公司承造的多用途工作船具有向钻井平台输送物资、起锚、消防、救生及拖带船舶和钻井平台等作业功能。根据该船设计任务书的要求, 该船必须配置动力自动定位系统, 既能克服自动化操船问题, 又能解决该船在大风浪下的安全作业问题。该系统原由国外某公司进行设计, 使用表明, 其系统的设计方案基本可行, 但尚有改进之处。本文对该系统的基本设计思路进行了分析和研究, 提出了系统的设计改进方案, 仿真结果表明该改进方案优于原设计方案, 可供有关人员参考及借鉴。

2 原设计方案

根据 DNV 规范及船东的要求, 设计方提出了本船动力定位系统的设计方案的基本配置如下:

2.1 电力系统

电力系统包括 2 台 2 000 kW 的轴带发电机, 2 台 1 360 kW 及 500 kW 的主柴油发电机, 1 台 200 kW 的应急发电机, 12 屏的主配电板一个, 应急配电板一个, 电站设有电站管理系统, 可实现自动起停机组、自动并车、转移负载、大功率负载询问、故障报警

及处理功能。电力系统为动力定位系统的侧推、方位推等设备提供驱动动力, 为各设备及控制系统提供工作电源。

2.2 推进系统

推进系统包括 2 台主机及齿轮箱、2 根轴系及 2 个可调桨、2 台舵机、艏艉侧推及方位推各 1 个以及相关的辅助设备。在推进系统中, 方位推与艏侧推、艉侧推与桨及舵、主机与轴带电机之间可互为备用, 能够保证推进系统的有效运性, 从而确保动力定位系统的功能能够安全可靠地实现。推进系统的各主要设备均通过通讯线路与动力定位控制系统相联, 可由动力定位系统自动控制或人工操控, 实现动力推进功能。

2.3 动力定位控制系统

该系统包括动力定位操作台、便携式定位操作板、动力定位系统控制器等设备。能够实现: 手动操作、自动转向、自动定位、自动寻迹航行、自动导航和自动跟踪目标航行等功能。动力定位操纵台: 该操纵台为动力定位系统的主要控制中心, 配有显示器及操纵杆等设备。便携式操作板可作为动力定位操作台的备用设备, 其接线盒分别安装驾驶室的前后台、左右两翼及后操作椅上共 5 个位置。动力定位系统控制器: 该装置为动力定位系统信号采集、控制信息处理中心。本船采用的动力定位控制处理器将采集到的各种信号进行分析处理后, 送到控制模块进行运算, 并将得出的控制指令发送至所控制的推进或报警设备, 实现船舶推进控制及报警等功能。

3 动力定位控制系统设计原理

本船动力定位系统的控制原理是预先在动力定位控制器上输入终点坐标和预定的航行轨迹(由一系列坐标点组成), 动力定位控制系统根据这些预定

的轨迹,利用定位控制算法算出船舶的航向和航速,控制船舶在预定的轨迹上航行,如果船舶与每个预定坐标点的距离误差均在允许范围内,可认为船舶自动定位成功。图 1 为船舶动力自动定位原理示意。图中各符号表示如下:

- p_i 及 p_{i+1} : 预定的航行轨迹坐标点;
- x_u, y_u, z_u : 船舶航行的坐标系;
- x_B, y_B, z_B : 船舶自身坐标系;

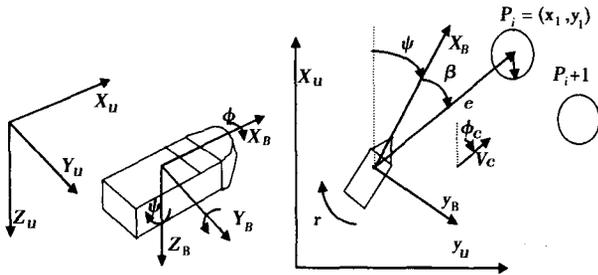


图 1 船舶动力自动定位原理示意图

- Ψ : 船舶航向;
- ϕ_c : 海水流动方向与 x_u 轴的夹角;
- r : 船舶绕自身转动角速度。

动力定位控制算法:

根据图示,可得如下计算公式:

$$x = u \cos \Psi - v \sin \Psi \quad (1)$$

$$y = u \sin \Psi + v \cos \Psi \quad (2)$$

其中: u —船头方向的航行速度; v —船舶左右摇摆速度, r —船舶绕自身旋转的角速度。

本动力定位控制系统的输入值有两个,一为船体与各预定位置 $p_i (i = 1; 2; \dots; n,)$ 的距离 e ; 二为航线上 p_i 点与船舶航向夹角 β 。

根据图 1 进行坐标变换,可得:

$$e = -u_r \cos \beta - v_r \sin \beta - V_c \cos(\beta + \Psi - \phi_c) \quad (3)$$

$$\beta = \frac{\sin \beta}{e} u_r - \frac{\cos \beta}{e} v_r - r + \frac{V_c}{e} \sin(\beta + \Psi - \phi_c) \quad (4)$$

$$u_r = \frac{\beta e}{\sin \beta} + \text{ctg} \beta v_r + \frac{er}{\sin \beta} - v_c \frac{\sin(\beta + \Psi - \phi_c)}{\sin \beta} \quad (5)$$

$$r = \frac{\sin \beta}{e} u_r - \beta + \frac{V_c}{e} \sin(\beta + \Psi - \phi_c) \cos \beta - v_r / e \cos \beta \quad (6)$$

由上述公式及图 2 可以看出,动力定位控制系统为一双输入(e, β)双输出(r, u)的多变量系统, $e,$

r 通道的传递函数为一时变函数(随 β 值和 r 值而变),该函数在 β 值和 r 值不变的时段内可近似为一线性比例函数($G_1(S) = k$),因此,其控制器为一比例控制器(k_p)。而 β, r 通道的传递函数为一非线性函数($G_2(S) = \frac{K_1 S + K_2 \omega_2}{S^2 + \omega_2} - K_3 S + \frac{K_4 \omega_1}{S^2 + \omega_1}$),其控制器可近似为一比例和积分控制器($k_p + s$)。

当船舶向预定方位点行驶时,预定方位点 p_i 中的 i 选取可按下式选取:

$$\eta(i) = \begin{cases} i, & e = e(i) > \epsilon_i, e(i) = \min, i = 1, 2, \dots, n \\ i + 1, & e = e(i) \leq \epsilon_i; i \neq n \\ n, & i = n \end{cases}$$

其中: i 的初始值为 1,在满足上述条件后,该船可依次向离其最近的点驶去,并最终到达预定的终点。

根据上述原理,可得该动力定位系统的控制系统的原理图如图 2 所示。

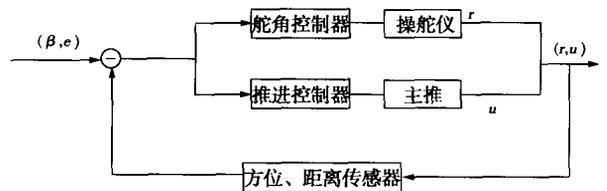


图 2 船舶动力控制系统结构图

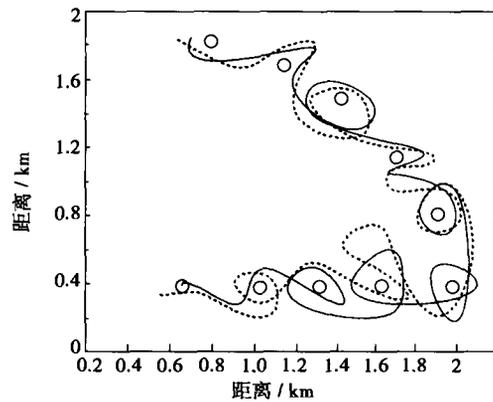


图 3 船舶航行及仿真时自动定位运动曲线

由图 2 可知,该控制系统实际上是一个双输入双输出的多变量控制系统,控制算法较为复杂。根据该航海试验数据,可得动力自动定位运动曲线如图 3 中的实线所示,为了便于比较,还根据航海的环境条件对其自动定位过程进行了数值仿真,其结果如虚线所示。从图中可以看出,仿真结果与实际

过程较为接近,说明仿真算法基本可信。

从运动曲线上可以看出,由于该动力定位控制系统结构复杂,虽对控制器进行了简化,但控制效果仍然不是很理想,系统响应较慢,控制偏差较大。

4 控制系统技术分析

对于双输入双输出这种控制对象,由于两个控制通道之间存在着一定的关联和耦合,需采用多变量控制或解耦算法进行处理,算法复杂,响应较慢。对一个不确定的多变量对象而言,采用神经网络算法比较适用。

本控制方案选用较为成熟的神经网络 BP 算法。该方案的 BP 网络采用二级网,隐含层含有 5 个单元。其原理是根据样本集中的样本 (X_k, Y_k) 计算出实际输出 O 和误差测度 $E(E = Y_k - O)$,对输出层权 $W^{(1)}$ 、 $W^{(2)}$ 、 \dots 、 $W^{(L)}$ 各做一次调整,重复循环,直到 $E < \epsilon$ 。通过将所有样本进行反复训练,在满足容限误差及给定的学习速率后,可认为训练工作完成。

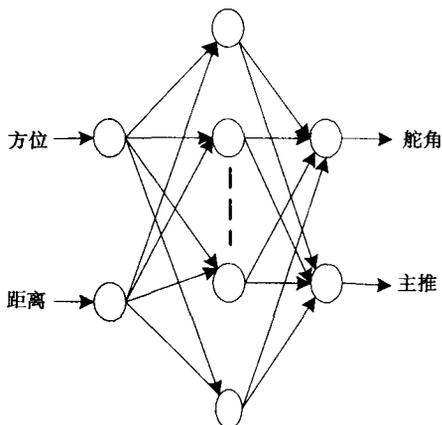


图 4 动力定位神经网络控制系统模型结构图

在本次动力定位的控制方案中,方位和距离作为神经网络的输入元素,而舵角和主机运转方向则作为网络的输出,以前期人工操船所取得的数据作为样本对网络进行训练,使网络识别出船舶在航行过程中向指定位置移动时舵机和主机运行的规律,并将该规律贮存在网络权重中。这样,如果预先确定了船舶运行的航线,完成训练的网络就会预报出船舶在航行的各个时刻下的舵角和主机转向,自动引导船舶向指定位置航行。其网络模型的结构示意图如图 4 所示。

将完成训练的网络用来作为整个动力定位系统的控制器,其运算输出直接用来控制操舵仪和主推进器,从而改变船的航向和航速,自动操纵船只逐渐向指定位置逼近。

5 系统运行性能数值仿真

为检验动力定位神经网络控制系统的运行性能本文根据实船航行试验的数据,对该系统进行了仿真,条件与前面仿真工作一样。仿真结果如图 5 所示。

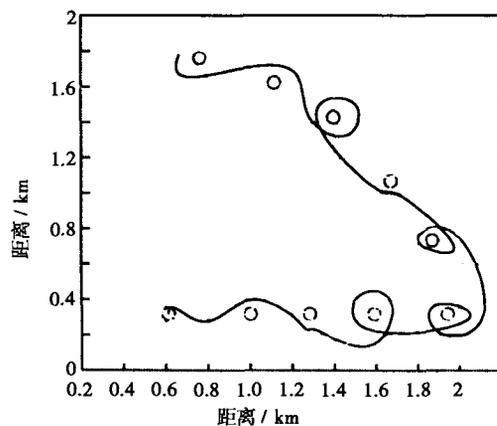


图 5 神经网络定位控制系统自动定位运动仿真曲线

6 结 论

通过仿真结果可以看出,神经网络控制系统的定位控制精度和响应速度均优于原系统(无论是实测还是仿真)。因此,可以认为,在动力定位系统这种多变量系统的控制方案上,采用神经网络控制算法在理论上是可行的,可以用来改进原 PID 的控制方案。

参考文献:

- [1] RICHARD C DORF, ROBERT H BISHOP. Modern control systems [M]. 北京:高等教育出版社,2002.
- [2] 商圣义. 民用船舶动力装置[M]. 北京:人民交通出版社,2003.
- [3] ANTONIO PEDRO AGUIAR. Dynamic position and way point tracking of underactuated AUS[A]. 41 IEEE conference on design and control[C]. Las Vegas: IEEE, 2002.
- [4] 金以慧. 过程控制[M]. 北京:清华大学出版社,1993.
- [5] 郑大钟. 线性系统理论[M]. 北京:清华大学出版社,1990.
- [6] 韩曾晋. 自适应控制[M]. 北京:清华大学出版社,1995.
- [7] 顾启泰. 系统设计与仿真[M]. 北京:清华大学出版社,1995