

# 动力定位模拟器软件系统的设计与实现

李国梁, 杨兆俊, 刘君虎

(中海油服船舶事业部船员培训中心, 天津 300450)

[摘要] 为有效解决国内动力定位操作员的培训问题, 以康斯博格 K-POS 系统为原型, 设计动力定位模拟器。在传统航海模拟器架构的基础上, 通过 C++ 进行软件设计, 完成 Matlab 代码转化, 设计动力定位操作模拟界面, 实现了动力定位培训需要的动力分配相关功能。经安装调试, 模拟器系统基本满足培训需求。

[关键词] 船舶; 动力定位系统; 操作培训; 动力定位模型; 模拟器

[中图分类号] U 664.8

## Design and Implementation of Software System for Dynamic Positioning Simulator

LI Guoliang, YANG Zhaojun, LIU Junhu

(CNOOC Business Department Seafarers Training Center, Tianjin 300456, China)

**Abstract:** In order to effectively solve the training problem of domestic dynamic positioning operators, a dynamic positioning simulator was designed based on the Kongsberg K-POS system. Based on the traditional navigation simulator architecture, software design using C++ and matlab code conversion are completed, and a dynamic positioning operation simulation interface is designed to realize the power distribution and other functions required for dynamic positioning training. Through installation and testing, the training needs are basically met.

**Keywords:** ship; dynamic positioning system; operation training; dynamic positioning model; simulator

## 0 引言

动力定位系统是一种闭环控制系统, 由动力系统、推进系统、动力定位控制系统构成<sup>[1-4]</sup>。BALCHEN 等<sup>[5]</sup>提出一种利用多变量的线性最优控制和卡尔曼滤波理论相结合的动力定位控制方法, 产生了第二代动力定位系统; SAELID S 等<sup>[6]</sup>提出了频率自适应算法, 主要用于克服恶劣海况下船舶突然进入缓慢振荡运动; FUNG P 等<sup>[7]</sup>提出了自校正卡尔曼滤波器算法, 可以使系统根据不同海况环境进行调整; FOSSEN T I<sup>[8]</sup>考虑到推进器产生的力和力矩的延迟问题, 同时在控制器设计过程中引入积分环节, 以克服均值不为零的外界环境扰动; Chin<sup>[9]</sup>运用 Simulink, 对某钻井船动力定位实现了仿真; Asgeir J<sup>[10]</sup>采用 PID 控制器分别控制海平面上的船舶在纵荡、横荡以及艏摇三个自由度上的运动。国内学者对动力系统的研究也十分重视, 成立了船舶动力系统国家工程实验室<sup>[11]</sup>; 哈尔滨工程大学的“DP<sub>3</sub> 动力定位系统”项目, 成功通过工信部验收<sup>[12]</sup>。

[收稿日期] 2019-01-18

[作者简介] 李国梁 (1971—), 男, 工程师, 从事航海技术研究。E-mail: ligl22@cosl.com.cn

http://xuebaobangong.jmu.edu.cn/zkb

动力定位模拟器是一种介于理论研究和实际应用的闭环控制仿真系统, 借助虚拟现实技术, 把动力定位系统的功能和操作环境模拟出来, 主要用于动力定位操作员的培训。Kongsberg 公司、Transas 公司等国际知名航海模拟器厂家均已开发了功能完善的动力定位模拟器。获得 DNV 模拟器 A 级认证的 动力定位模拟器均为国外产品, 其中挪威 Kongsberg 公司在国际动力定位模拟器市场占主要地位<sup>[13]</sup>。随着我国航海模拟器技术的发展, 也开发了拥有自主知识产权的 DP 模拟器, 但与国外主流产品相比还存在较大差距。通过了解国内外动力定位系统和动力定位模拟器的研究现状, 本文提出了一种动力定位模拟器的体系架构以及我国开发 DP 模拟器的可行途径。

1 船舶动力定位模拟器系统构架

船舶动力定位模拟器系统可以分为三维可视化区、教师工作站、学员操作平台三大部分, 如图 1 所示。

由于船舶动力定位时, 船舶航行速度较小, 因此在建立船舶运动数学模型时通常只考虑纵荡、横摇、艏摇三个自由度。软件系统主要对动力定位船舶需要的测量系统、控制系统、推进系统和动力系统 4 部分进行仿真。基本原理框架图如图 2 所示。

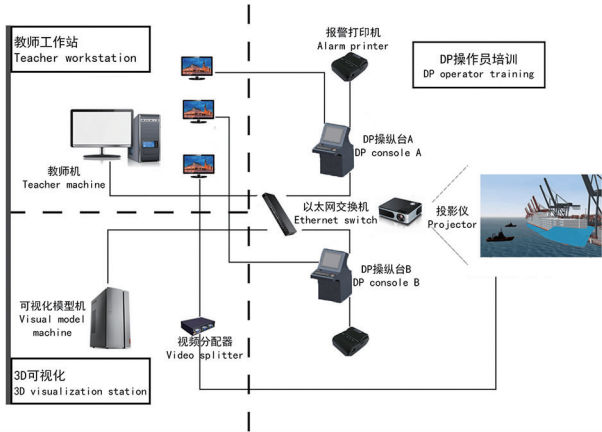


图 1 动力定位模拟器系统架构

Fig.1 Dynamic positioning simulator system architecture

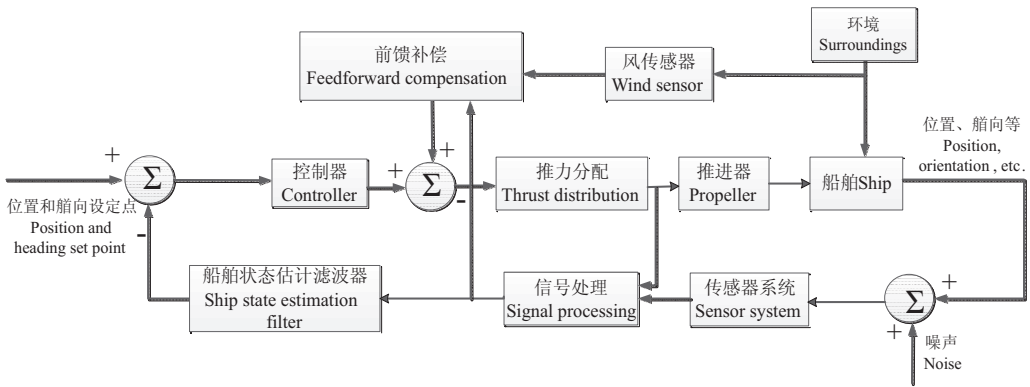


图 2 动力定位原理框图

Fig.2 Block diagram of dynamic positioning

2 动力定位模拟器软件设计与实现

2.1 动力定位操作界面设计与实现

本系统首先根据特定船舶推进器配置及定位需求, 在 MATLAB 环境中完成动力定位船舶推力分配策略的仿真计算, 并将用于计算的分配策略函数以 .m 文件形式留存; 然后利用 Matlab Coder 工具箱, 将推力分配策略函数 .m 文件转化为 .h 以及 .cpp 文件, 并通过动态链接库技术, 设置相应 API, 将程序执行 .cpp 文件编译生成二进制文件 .dll。在 QT 界面设计语言中, 导入相应的头文件及 dll, 动态加载函数库, 调用预先设定的 API 函数, 通过计算得到推力分配结果数据, 并在界面上显示, 实现数据交互。

利用 Windows 平台下的 QT 界面库开发系统交互软件, 整体界面与实船装载的动力定位系统保持一致。动力定位模拟器根据虚拟操控面板以及实际硬件发来的指令进行处理, 并实时在软件界面上做出相应的变化。其工作原理是采用 QT 中的定时器, 按照一定的时间间隔 (500 ms) 进行数据的显示以及图形界面的重绘。

软件界面的开发分以下 4 个模块。

1) 顶栏 主要显示用户连接信息、报警警告信息以及主菜单按钮。

2) 仪表盘显示界面 主要显示动力定位模拟器的仪表盘界面，从左往右依次是船舶速度仪表盘、Joystick 方向仪表盘、位置偏差仪表盘、船舶向仪仪表盘、船舶中心位置仪表盘、能量消耗仪表盘。

3) 侧栏 可以通过菜单按钮对白天、傍晚、晚上模式进行显示，Conning 显示按钮，可以通过不同功能的按钮对工作区界面进行配置。

(4) 工作区 其中主工作区显示当前的船舶位置、当前风速、剩余的电流值，副工作区主要显示推进器、各种传感器等数值界面，如图 3 所示。

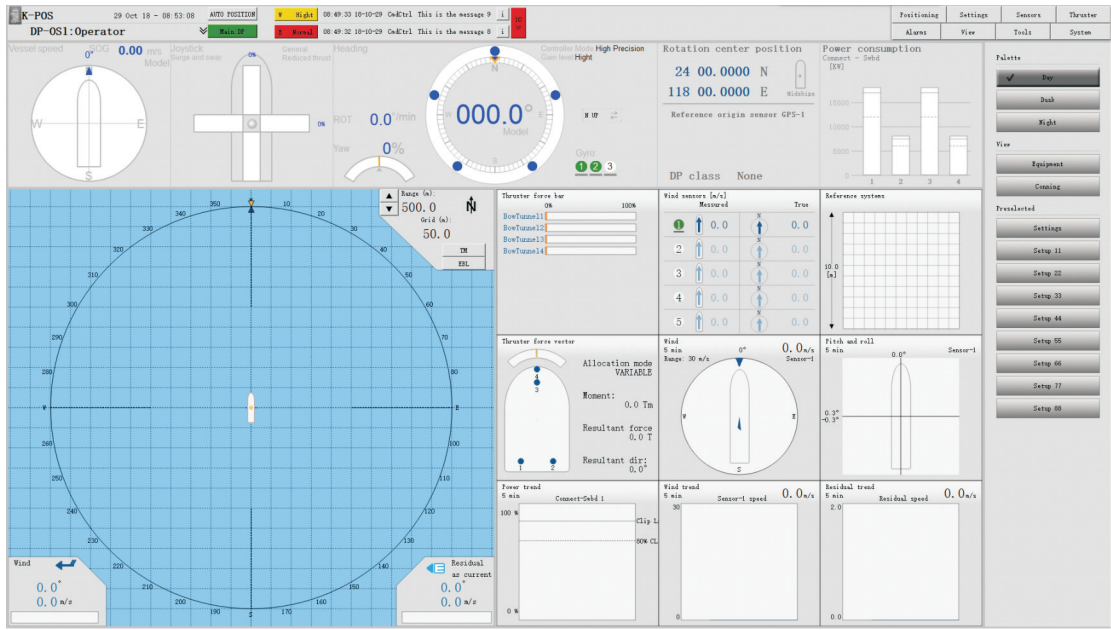


图 3 工作区部分截图

Fig.3 Work area screenshot

本系统具有 Joystick、Auto position、Auto Track 以及 Target Follow 等几种操作模式，现对其相应的软件功能设计进行具体说明。

在 Joystick 模式下，操作者通过使用操纵杆控制船舶运动。前后移动操纵杆，可以控制船舶的纵向移动；左右移动操纵杆，控制船舶横向移动；旋转操纵杆可以改变船舶航向角，使船舶发生转向运动。旋转操纵杆的方向决定了力方向，操纵杆旋转的幅度决定了旋转力矩的施加量。Joystick 模式是通过自定义的 hgJoystickWidget 类中的船舶初始位置函数、鼠标事件函数以及绘画事件函数等进行编程实现。

在 Auto position 模式下，系统自动维持船舶航向和位置，这种模式至少需要一个主动陀螺罗盘和一个主动位置参考系统。所需活动传感器的实际数量取决于执行操作的要求。操作员在海图上选择一点，船舶自动分配推力行进到此位置。Auto position 模式通过自定义的 hgPositionWidget 类中的函数编程实现。

在 Auto Track 模式下，系统对目标船的航向和位置进行自动目标跟踪，跟踪船舶根据被跟踪船舶的当前信息编辑航线，通过控制系统自动分配推力运动。

在 Target Follow 模式下，船舶根据传感器自动分配推力运动。此模式有单个传感器跟随、多个传感器跟随，并且有航向跟随和位置跟随。在目标跟踪过程中，控制系统起着关键作用，通过控制算法分析，对实时传输的外部风流浪等环境信息进行计算，并转化为各个推进单位的推力，对当前船舶位置及方向进行调整，向预期目标位置及方向角度靠近。控制功能模块通过船舶当前的位置及艏向角度



与目标船位置及期望的船艏向的角度进行对比结算后, 才能对船舶进行各个方向的推力分配。

2.2 动力定位硬件控制设计与实现

系统设计时本着“能实不虚”的原则, 动力定位模拟器的操作界面严格按照原型机 (K-POS) 进行设计, 其硬件界面布局包括: 系统功能、主要模式、侧推器控制、指令职责、报警、参考系统与传感器、航向设定、数值输入等动力定位系统的快捷功能键以及轨迹球与3轴手柄。由于按键逻辑关系较为复杂, 采用硬件按钮的方式开发难度较大, 为了解决这个问题, 将航向设定、数值输入以及3轴手柄独立出来, 所有面板上的键盘统一用一体机 (触摸屏) 搭载软件面板实现, 动力定位模拟器操作台如图4所示。图4中1为动力定位模拟器软件界面; 2为触摸屏, 主要包含动力定位模拟器的功能按钮; 3为航向航速设置模块, 用来控制输入船舶的航向航速; 4为轨迹球, 用于控制动力定位模拟器软件界面的功能选择; 5为Joystick模块, 即动力定位手动控制手柄; 6和7为全回转手柄, 即船舶推进器。

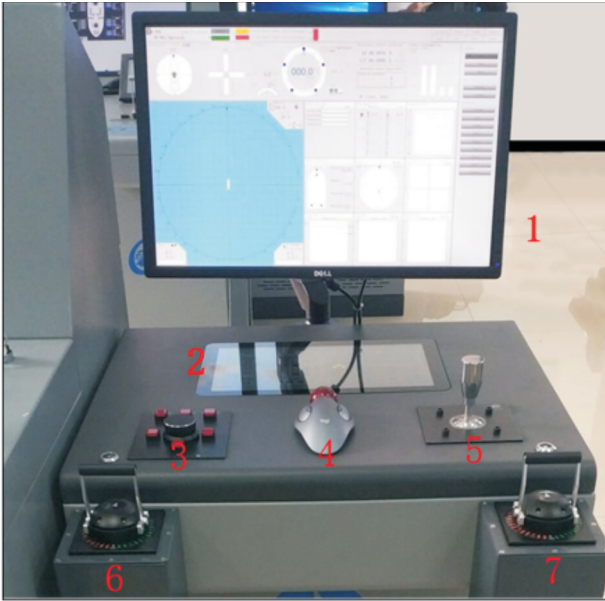
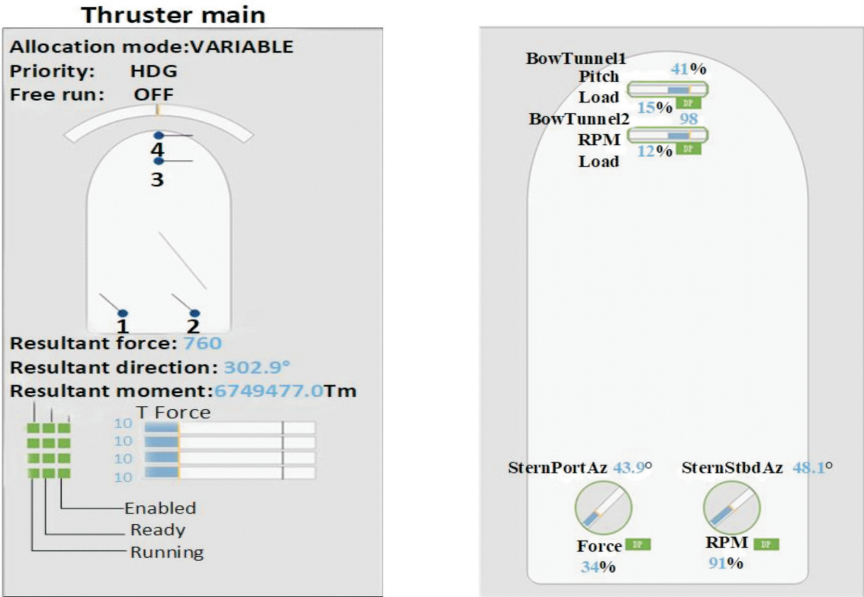


图4 动力定位模拟器操作台  
Fig.4 Dynamic positioning simulator console

2.3 动力分配功能模块

2.3.1 动力分配策略

如图5所示, 图5a为推进器位置分布图, 其中: 1、2为位于船尾的全回转推进器, 3、4为位于船首的槽道式推进器, 其线段长度表示推力大小, 推力越大, 线段越长, 线段方向就是推力方向。图5a下方的数值为每个推进器单元的推力, 条形图显示最大可用推力的百分比, 状态框显示每个推进器单元的运行状态、就绪状态和启用状态。图5b为推进器主视图, 上方为两个槽道式推进器, 下



a) 位置分布图 Thruster position map  
b) 主视图 Main view

图5 推进器主视图  
Fig.5 Thruster main view

方为两个全回转推进器, 阴影部分的面积为所占最大可用推力百分比。

### 2.3.2 动力定位能力分析

动力定位能力指船舶在海上定位作业时, 动力设备输出的动力平衡风流的能力, 一般通过封闭的包络曲线表示。在设置海洋环境载荷时, 将流速固定, 而风速以及波浪条件以同比率增加, 波浪的有义波高与风速成正比关系, 因此, 包络曲线表示的是在特定流速条件下所能承受的极限风速, 如图 6 所示。图 6 的中心位置为本船, 以本船中心为圆心, 根据不同的风速形成了 20, 40, 60, 80, 100 m/s 的风速等级, 极坐标从 0° 到 360° 封闭包络曲线代表本船在固定流速下各个方向所能承受的最大风速能力。需要指出的是, 作业区域不同, 风速与波浪条件之间的关系也会有所差异, 可根据地区长期统计资料确定。

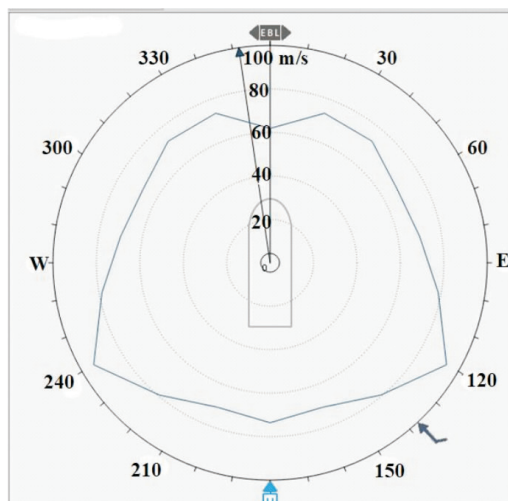


图 6 动力定位分析能力

Fig.6 Dynamic positioning analysis capability

## 3 结论

本文详细说明了动力定位模拟器的设计方案, 并对总体设计和部分软件模块设计功能进行了阐述。该动力定位模拟器采用基础船舶运动模型与动力定位控制模型相结合的方式, 实现与船舶动力定位装置相应的操作界面与动力定位分配的仿真, 在动力定位性能方面表现良好, 所实现的模拟系统可满足教学及船员培训的任务。但动力定位系统功能复杂度极高, 今后将在本平台的基础上继续深入研究动力定位系统的其他功能。

## [ 参考文献 ]

- [1] 李文华. 动力定位系统模型预测控制与失效移位研究 [D]. 大连: 大连海事大学, 2016.
- [2] 钱小斌, 尹勇, 孙霄峰, 等. 船舶动力定位模拟器综述 [J]. 重庆交通大学学报 (自然科学版), 2017, 36(2): 108-114.
- [3] 龙洋, 王猛. 动力定位船舶模糊解耦定速航行控制算法 [J]. 中国舰船研究, 2019(3): 152-157.
- [4] 邓英杰, 张显库, 张国庆. 水面舰船动力定位系统 ESO 输入饱和控制 [J]. 系统工程与电子技术, 2019, 41(5): 110-117.
- [5] BALCHEN J G, JENSSEN N A, MATHISEN E, et al. A dynamic positioning system based on kalman filtering and optimal control [J]. Modeling, Identification and Control, 1980, 1(3): 135-163.
- [6] SAELID S, JENSSEN N A, BALCHEN J G. Design and analysis of a dynamic positioning system based on kalman filtering and optimal control [J]. Automatic Control IEEE Transactions on, 1983, 28(3): 331-339.
- [7] FUNG P, GRIMBLE M J. Dynamic ship positioning using a self-tuning kalman filter [J]. Automatic Control IEEE Transactions on, 1983, 28(3): 339-350.
- [8] FOSSENT I. Handbook of marine craft hydrodynamics and motion control [M]. New York: Wiley, 2011.
- [9] CHIN C S. Dynamic positioning simulation, thrust optimization design and control of a drill ship under disturbances and faulty thruster [J]. Simulation, 2012, 88(11): 1338-1349.
- [10] ASGEIR J, SORENSEN. A survey of dynamic positioning control systems [J]. Annual Reviews in Control, 2011, 35(1): 123-136.
- [11] 潘戎蕙. 船舶动力国家工程实验室获批 [N]. 中国船舶报, 2009-05-13(001).
- [12] 孙明泉, 张士英. DP<sub>3</sub> 船舶动力定位系统自主研发制成功 [N]. 光明日报, 2014-10-22(006).
- [13] DET NORSKE VERITAS. Simulators by type of certificate [M]. Norway: DNV Press, 2014.

(责任编辑 陈 敏 英文审校 周云龙)