

基于工控机的船舶航向/横摇控制 信息处理系统

刘胜¹, 孔琳^{1,2}

(1. 哈尔滨工程大学 自动化学院, 黑龙江 哈尔滨 150001; 2. 北京航天自动控制研究所, 北京 100854)

摘要: 船舶航向/横摇控制信息处理系统是基于工控机设计的软硬件系统。为解决船舶航行时复杂多变的运动信息处理问题, 在船舶舵/翼舵-鳍/翼鳍联合控制系统模型的基础上, 设计出一种以工控机为实现基础, 利用数据采集卡进行 A/D、D/A 转换的信息处理系统。在 VC++ 环境下进行系统软件开发, 利用模块化编程思想设计了系统的软件结构。实验结果表明, 采用智能算法的信息处理系统能够对船舶航向/横摇进行综合控制, 操作界面友好。

关键词: 航向/横摇控制; 信息处理系统; 工控机

中图分类号: TP14 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-4785(2011)03-0268-04

An information processing system of ship course/roll control based on an industrial computer

LIU Sheng¹, KONG Lin^{1,2}

(1. College of Automation, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China; 2. Beijing Aerospace Automatic Control Institute, Beijing 100854, China)

Abstract: An information processing system of ship course/roll control was designed based on an industrial computer. The system was designed to settle complex information processing problems during navigation based on ship main/flap rudder angles and the combined control system model. It realized A/D and D/A conversion using a data acquisition card and used an industrial computer as an implementation base. Software was exploited in the circumstance of VC++ and its construction was designed according to modular programming methods. Results show that ship course/roll can be controlled by making use of the information intelligent processing systems and also that the operation interface is user-friendly.

Keywords: course/roll control; information processing system; industrial computer

在当前计算机和信息应用时代, 各行业均尽可能运用计算机进行信息处理, 以提高信息处理系统的智能性和实时性。近年来, 信息处理技术被广泛地应用到交通、船舶等领域, 针对控制量复杂多变的实时系统, 取得了良好的效果^[1]。

由于船舶行驶时航行工况和海洋情况复杂多变, 使得船舶运动信息的处理十分繁琐, 如何实时、准确、方便地对船舶进行运动控制和信息处理, 成为船舶控制系统需要解决的关键性问题^[2-4]。针对上述问题, 本文研究设计了船舶航向/横摇控制信息处理系统, 为实现复杂的控制算法和简洁的操作界面等目标进行了系统的软硬件设计。

1 船舶运动模型及参数

船舶航向/横摇控制信息处理系统的船舶运动模型是船舶横荡/艏摇/横摇三自由度运动非线性模型。在 Matlab 环境下采用遗传算法对该模型进行仿真试验, 得到了良好的控制效果^[5]。

根据质心运动定理和相对于质心运动的动量矩定理, 建立船舶横荡/艏摇/横摇三自由度运动模型为:

$$m(\dot{v} + ur) = Y_{\Sigma},$$

$$I_z \dot{r} = N_{\Sigma},$$

$$I_x \dot{p} = K_{\Sigma},$$

式中: m 为船舶质量, u 为纵荡速度, I_z 为船舶对 z 轴的转动惯量, I_x 为船舶对 x 轴的转动惯量, v 为横荡速度, r 为艏摇角速度, p 为横摇角速度, Y_{Σ} 、 N_{Σ} 、 K_{Σ} 为船

船受到的横荡力、艏摇力矩和横摇力矩,分别为:

$$\begin{aligned} Y_{\Sigma} = & -m_y \dot{v} - m_x ur + Y_v v + Y_r r + Y_{v|r} |v| + \\ & Y_{r|r} r |r| + Y_{vv} v^2 r + Y_{vr} vr^2 + \\ & Y_r(\alpha_r, \beta_r) + Y_f(\alpha_f, \beta_f) + Y_d, \\ N_{\Sigma} = & -\Delta I_z \dot{r} + N_v v + N_r r + N_{v|r} v |v| + N_{r|r} r |r| + \\ & N_{vv} v^2 r + N_{vr} vr^2 + N_{\varphi} \varphi + N_{v|\varphi} v |\varphi| + \\ & N_{r|\varphi} r |\varphi| + N_r(\alpha_r, \beta_r) + N_f(\alpha_f, \beta_f) + N_d, \\ K_{\Sigma} = & -\Delta I_x \dot{p} - 2N_p p - Wh\varphi - z_H(-m_y \dot{v} - m_x ur + Y_v v + \\ & Y_r r + Y_{v|r} v |v| + Y_{r|r} r |r| + Y_{vv} v^2 r + \\ & Y_{vr} vr^2) + K_r(\alpha_r, \beta_r) + K_f(\alpha_f, \beta_f) + K_d. \end{aligned}$$

式中: m_x 为纵荡附加质量, m_y 为横荡附加质量, ΔI_z 为船舶对 z 轴的附加转动惯量, ΔI_x 为船舶对 x 轴的附加转动惯量, $2N_p$ 为每单位横摇角速度的船舶阻尼力矩, W 为船舶排水量, h 为横稳心高, z_H 为船舶横向力的作用点至重心的垂向距离, φ 为横摇角, Y_r 、 N_r 为船舶粘性水动力系数, α_r 为舵角, β_r 为翼舵角, $Y_r(\alpha_r, \beta_r)$ 、 $N_r(\alpha_r, \beta_r)$ 、 $K_r(\alpha_r, \beta_r)$ 为舵/翼舵产生的横荡力、艏摇力矩和横摇力矩, α_f 为鳍角, β_f 为翼鳍角, $Y_f(\alpha_f, \beta_f)$ 、 $N_f(\alpha_f, \beta_f)$ 、 $K_f(\alpha_f, \beta_f)$ 为鳍/翼鳍产生的横荡力、艏摇力矩和横摇力矩, Y_d 、 N_d 、 K_d 为船舶受到的横荡干扰力、艏摇干扰力矩和横摇干扰力矩。

根据上述分析,得到船舶横荡/艏摇/横摇三自由度运动非线性模型为:

$$\begin{aligned} m(\dot{v} + ur) = & -m_y \dot{v} - m_x ur + Y_v v + Y_r r + \\ & Y_{v|r} v |v| + Y_{r|r} r |r| + Y_{vv} v^2 r + Y_{vr} vr^2 + \\ & Y_r(\alpha_r, \beta_r) + Y_f(\alpha_f, \beta_f) + Y_d, \\ I_z \dot{r} = & -\Delta I_z \dot{r} + N_v v + N_r r + N_{v|r} v |v| + N_{r|r} r |r| + \\ & N_{vv} v^2 r + N_{vr} vr^2 + N_{\varphi} \varphi + N_{v|\varphi} v |\varphi| + \\ & N_{r|\varphi} r |\varphi| + N_r(\alpha_r, \beta_r) + N_f(\alpha_f, \beta_f) + N_d, \\ I_x \dot{p} = & -\Delta I_x \dot{p} + 2N_p p - Wh\varphi - z_H(-m_y \dot{v} - m_x ur + Y_v v + \\ & Y_r r + Y_{v|r} v |v| + Y_{r|r} r |r| + Y_{vv} v^2 r + Y_{vr} vr^2) + \\ & K_r(\alpha_r, \beta_r) + K_f(\alpha_f, \beta_f) + K_d. \end{aligned}$$

本文所用船舶数据以某船为研究对象,其主要参数为:船长105 m、船宽37 m、船舶吨位2 180 t、吃水为9 m、恒稳心高1 m、船速18 kn。

2 系统硬件设计

2.1 系统硬件总体设计

信息处理系统是船舶航向/横摇控制的核心部分,担负着初始信号的接收、传感器信号的采集、控制算法的实现、控制指令的智能分配和输出及视景仿真信号的输出等任务。系统外部的物理参数大部分是模拟信号,而工控机^[6]采用的信号是数字信号,因此在整个控制过程中要采用 A/D 和 D/A 转换,以实现 2 种信号之间的互相转换。船舶航向/横

摇控制信息处理系统的硬件组成主要是由运算及存储单元、外部设备、过程输入输出设备等组成,其系统结构如图 1 所示。

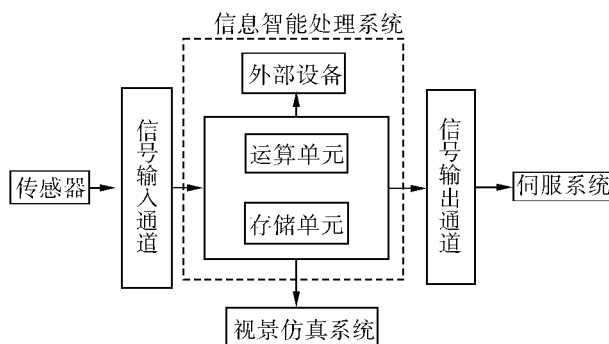


图1 船舶航向/横摇控制信息处理系统结构

Fig.1 The structure of information processing system of ship course/roll control

本文实现的信息处理系统对参数采集要求频率高且精确,系统工作一次连续采集的数据量须达到 12 MB 以上,为了方便测量并实现多个部位、多个参数值的同时自动采集,要求系统具有大容量的数据缓冲区。故采用 PCA-6007 工业主板处理数字信号,其可靠性强、稳定性高、测试准确、使用方便且人机界面友好,同时采用 PCI-1716 和 PCI-1723 型数据采集卡进行数据输入输出。

采用 PCA6007 作为核心主板后,可将主要精力放在软件和接口的设计上,而且 PCA6007 的开发、维护和扩展都非常方便,它兼容性好,可以很快掌握其软、硬件的使用,为系统应用提供了标准的平台。

2.2 输入输出通道设计

选用 PCI-1716 型数据采集卡作为传感器与工控机间 A/D 转换的硬件设备。数据采集卡是外界电信号与计算机之间联系的桥梁,它不仅具有数据采集的功能,还具有信号控制和输出的功能。它能把模拟电信号转化为数字信号传递给计算机,也可直接读取数字信号,接受计算机传来的数据或控制信号,将模拟或数字信号传递给外部设备^[7-8]。过程如图 2 所示。

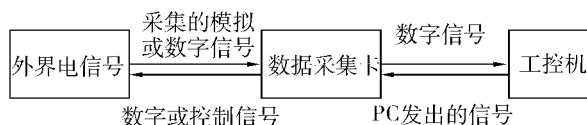


图2 数字采集卡转换和传递信号的过程

Fig.2 The process of tranfering and delivering signal in digital acquisition card

PCI-1716 是一款功能强大的高分辨率多功能 PCI 数据采集卡,可实现各类电信号的采集、控制和输出,非常适合于以工控机为开发平台的自动控制领域。同时还具有很完善的软件支持,可以在 Visual C++6.0 及多种开发语言环境下进行开发。

PCI-1716 具有即插即用的功能,卡上还带有1 KB的采样 FIFO 缓冲器,且具有 16 路数字输入和 16 路数字输出、高达250 KB/s采样速率等主要特点,能够满足信息处理系统的要求。

选用 PCI-1723 型模拟量输出卡作为信息处理系统中工控机与伺服系统之间的 D/A 转换设备。PCI-1723 每个模拟量输出通道都带有一个16 bits的双缓冲 DAC,能够满足信息处理系统多路模拟量输出的要求^[9]。PCI-1723 在系统热重新启动时能够保持上一次的模拟量输出值,或者返回到默认配置。这种特有的功能能够避免在系统意外重新启动过程中的误操作给系统带来的影响。

3 系统软件设计

3.1 软件模块设计

信息处理系统的软件设计是在 VC++ 环境下^[10],以 C++ 语言为编程语言实现的。根据 Matlab 环境下已搭建模型,根据 C++ 语言编程模块对控制系统模型进行简化,如图 3 所示。

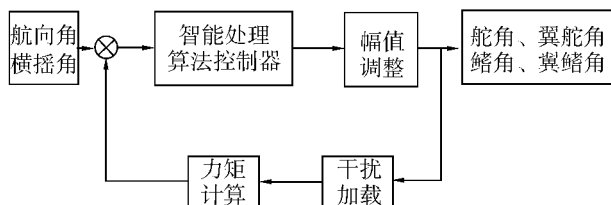


图3 控制系统简化模型

Fig.3 Simplified model of control system

信息处理系统软件设计主要分为以下几个模块。

1) 智能控制算法模块。采用遗传算法对舵角、翼舵角、鳍角、翼鳍角进行优化,其编程的依据是 Matlab 环境下搭建的系统模型,将船舶航向/横摇控制的驱动能量方程以适应度函数的形式来表示,经计算对舵角/翼舵角和鳍角/翼鳍角进行实时的智能决策分配。

2) 通信模块。信息处理系统的应用程序需要与驱动程序进行通信,以控制输入输出数据的读取,同时还需要设计中断程序使系统顺利完成信息的采集和计算。

3) 人机界面模块。由于 Visual C++ 可实现友好的人机界面,本系统采用对话框方式输入设定的初始参数,运行智能控制算法模块后即可查看相关参数的曲线图,并可将数据保存为文本方式,可随时更新查看,方便与仿真结果进行对照分析。

3.2 软件设计流程

系统软件设计依据已有模型,针对船舶舵/翼舵、鳍/翼鳍联合控制,在设计的海情下,通过控制规

律的优化设计,完成舵角、翼舵角、鳍角、翼鳍角的分配,从而达到改善船舶航向/横摇控制效果、提高可靠性的目的。信息处理系统输入量为 k 时刻的航向角和横摇角,输出量为舵角、翼舵角、鳍角、翼鳍角及 $k+1$ 时刻的航向角和横摇角。

信息处理系统处理的信息包括与船舶运动模型和环境干扰模型有关的数据和运行过程中的测试结果数据等^[11]。具体包括:1) 船舶运动模型的参数;2) 风、浪、流等环境干扰的参数;3) 船舶运动模型的初始运动状态;4) 船舶运动过程中的各种变量参数。

系统软件设计的最终形式是实现船舶运动的智能信息处理,即接受数字仿真传感器测得的船舶运动信息,经算法控制器运算进行智能分配,给出舵角、翼舵角、鳍角、翼鳍角指令信号,从而使船舶的航向和横摇运动稳定保持在期望的姿态。系统软件运行流程图如图 4 所示。

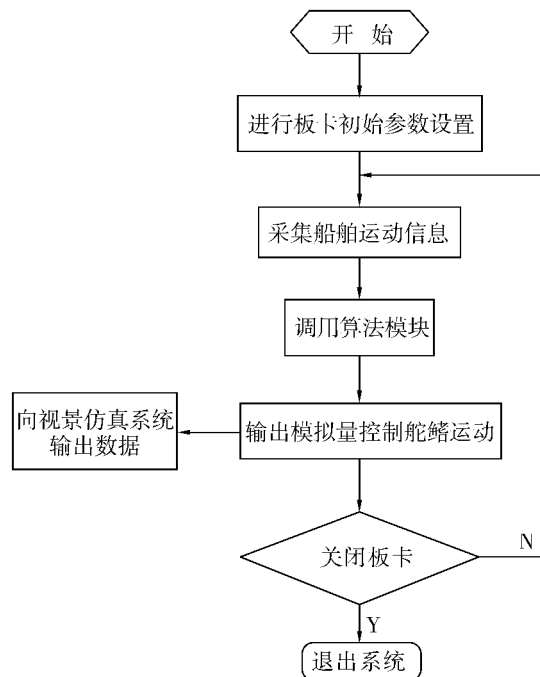


图4 智能信息处理系统软件运行流程

Fig.4 Software flow diagram of information processing system

4 系统测试

系统初始输入可由程序设定,但由于计算机无法模拟复杂波形的输入,采用程序编制导入一组反馈数据,将其与初始信号循环叠加,并用示波器查看其输出结果。图 5、图 6 是系统以 0.1 s 为采样周期,经 200 s 后得出的航向角与横摇角控制效果,在波峰波谷处虽有毛刺出现,且整体控制效果与仿真结果呈现的稳定性有所差距,但是仍然能够达到控制效果^[12]。究其原因可能是由于硬件干扰或程序仿真未

能达到Matlab计算的精度。

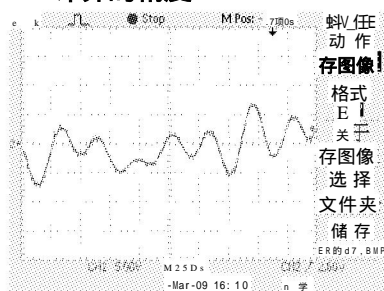


图5系统航向角测试结果

Fig.5 The results of course angle testing

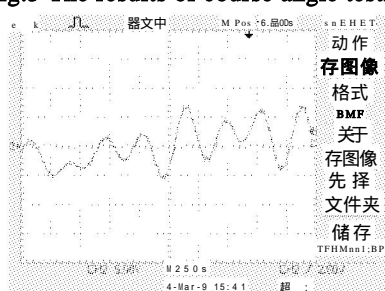


图6系统横摇角测试结果

Fig.6 The results of roll angle testing

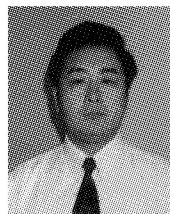
5 结束语

基于工控机的船舶信息处理系统的设计,使船舶航向/横摇控制系统的仿真结果可以应用于实际。系统测试表明,提出的设计方法能够使系统对船舶航向角、横摇角等运动信息实现比较有效的控制,同时开发的软件界面操作简单,便于对系统运行结果进行保存和察看;但这种方法目前未进行传感器模拟量输入测试,下一步的工作将结合船舶航向/横摇控制系统的其他组成部分,展开更深入的研究。

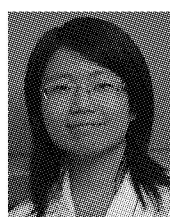
参考文献:

- [1] 廉清云,黄涌忠.港口船舶监控与信息管理系统:中国, CN1909015[P]. 2007-02-07.
- [2] 杨盐生.船舶运动控制研究中存在的问题与对策[C]//2001航海技术现状与发展趋势论文集.[S.1.], 2001: 193-201.
- [3] 郭远星,施一明,叶莹.船舶综合控制系统研究与设计[J].中国造船,2010,52(3): 191-198.
GUO Yuaning,SHI Yiming,YE Ying. Investigation and design of the integrated ship control system[J]. Shipbuilding of China,2010,52(3): 191-198.
- [4] 刘彦文,刘胜,王毅.船舶舵减摇的H.控制设计[J].电机与控制学报,2009,13(1): 133-137.
LIU Yanwen,LIU Sheng,WANG Yi. H.design for rudder roll stabilization of ships[J]. Electric Machines and Control,2009,13(1): 133-137.
- [5] 刘胜,陈胜仲,孙静川.主鳍/襟翼鳍船舶减摇联合控制系统的研究[J].哈尔滨工程大学学报,1999,20(4): 20-26.
LIU Sheng,CHEN Shengzhong,SUN Jingchuan. Study of joint control system of main/flapped fin stabilizer[J]. Journal of Harbin Engineering University,1999,20(4): 20-26.
- [6] 孙廷才,王杰,孙中健.工业控制计算机组成原理[M].北京:清华大学出版社,2001: 32-34.
- [7] 金超.多路信号数据采集系统[D].成都:电子科技大学,2002: 55-56.
- [8] 袁赣南,董景均,卢志忠.雷达信号采集系统的设计与实现[J].应用科技,2010,37(4): 52-55.
YUAN Gannan,DONG Jingjun,LU Zhizhong. The design and implementation of radar signal acquisition system[J]. Applied Science and Technology,2010,37(4): 52-55.
- [9] 张华力,郭庆祝,王宏智,等.可编程逻辑控制器在船舶主机遥控系统中的应用[J].船电技术,2006(1): 36-39.
ZHANG Huali,GUO Qingzhu,WANG Hongzhi,et al. Application of PLC in remote control of main engine on the ship[J]. Marine Electric & Electronic Engineering,2006(1): 36-39.
- [10] KRUGLINSKI DJ. Visual C++6.0技术内幕[M].4版.潘爱民,王国印,译.北京:清华大学出版社,2009: 39-42.
- [11] 黄永华.机器人语言编程系统的设计与实现[D].南京:东南大学,2004: 29-30.
- [12] LYONS R G. Understanding digital signal processing[M].北京:机械工业出版社,2005: 78-79.

作者简介:



刘胜,男,1957年生,教授,博士生导师,黑龙江省教学名师.兼任教育部工程研究中心“船舶控制工程研究中心”主任,中国造船学会仪器仪表学术委员会副主任,黑龙江省自动化学会副理事长.主要研究方向为智能控制、鲁棒控制、船舶航行与姿态控制.目前承担国家“973”计划项目、国防基础研究基金项目、国防预研项目4项,省部级科研项目6项.曾获省部级科学技术奖7项,省教学成果奖一等奖2项、二等奖2项,省教育科学研究成果一等奖4项,省部级自然科学技术学术成果奖8项.发表学术论文150余篇,被SCI、EI、ISTP检索70余篇,出版学术著作3部.



孔琳,女,1983年生,助理工程师,硕士,主要研究方向为船舶运动控制、系统软件测试.