

内河船舶数字化舵机智能控制技术研究

季 禹, 龚 旭

(南通航运职业技术学院 轮机工程系, 江苏 南通 226010)

摘 要:针对目前内河船舶舵机控制方式的弊端,提出模糊自适应 PID 控制策略,运用 MATLAB/SIMULINK 进行仿真分析验证其可行性。基于西门子 S7-200PLC 开发了控制程序,结合数字化设备,改进传统内河船舶舵机的控制方式,为数字伺服控制技术的实际应用提供了有益借鉴。

关键词:内河船舶舵机;模糊自适应控制;数字化控制

中图分类号:U664.4

文献标识码:A

文章编号:1671-9891(2019)01-0034-06

0 引言

当前,内河船舶舵机系统主要采用液压驱动。液压系统具有易控制、动力强的特点,在工业场合中被广泛使用,但由于其自身结构和能源的因素,存在效率低下和液压油泄漏等问题。在全球“节能减排”的大背景下,人们对能源节约和环境保护的意识不断增强,因此如何既利用液压系统的优点,又能通过某种措施弥补其不足,倡导“绿色航运”,成为主要研究方向之一。近年来,随着数字化技术的不断发展,数字化控制技术凭借其迅速、稳定、更加精确和容易维护的特点,展现了无与伦比的优势。最有代表性的是基于专家控制经验数据库的模糊控制。^[1]

本研究利用先进的数字化智能控制手段,改进了传统内河船舶舵机的控制方式。研究方案首次采用大量的数字化设备,以取代原有的内河船舶舵机控制技术,为数字伺服控制技术的实际应用提供了诸多有益借鉴之处。

1 内河船舶舵机模糊 PID 控制器的设计

船舶航行时往往伴随着诸多随机事件,使船舶舵机的控制成为一种非线性过程。虽然目前经典 PID 控制器广泛应用在各种工业控制领域,但对于船舶舵机控制系统的适应性不够理想,一旦系统运行工况出现改变,就需要对参数重新整定调节,实效性和准确性都较低。模糊自适应控制器是将模糊推理过程融入经典 PID 中,使控制器能够对自身的运行参数进行在线自我调整,这是应对各种非线性和不确定系统控制系统的极好手段。^[2]

1.1 模糊 PID 算法基本原理

首先,利用模糊数学的基本理论和方法,将操作人员的经验量化为规则表存入计算机知识库中。然后将采样信号模糊化,得出与模糊输入量相匹配的控制规则,最后对模糊输出量进行解模糊处理,使最终结果以模拟量或者数字量的形式输出,并作为执行器的输入信号。运用这种模糊推理对 PID 控制参数进行在线适时调整,以应对不同情况下偏差的大小和偏差的变化率对 PID 控制参数的要求,从而使控制系统具有良好的灵活性和机动性。模糊自适应 PID 控制器的调节参数可以在调节过程中运用模糊逻辑进行自我整定以应对不同的情况,是目前较为先进的智能控制器,其结构如图 1 所示。^[3]

收稿日期:2019-02-08

作者简介:季禹(1988—),男,江苏南通人,南通航运职业技术学院轮机工程系讲师,硕士。

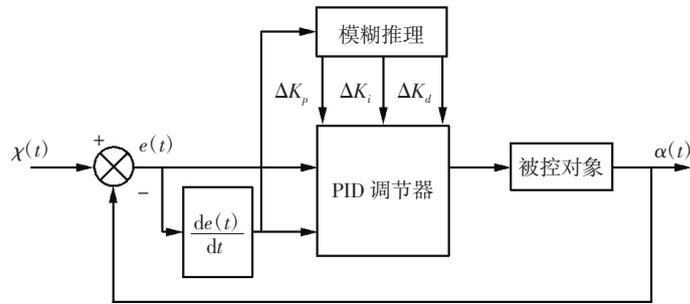


图 1 模糊 PID 控制器结构

1.2 基于 S7-200PLC 的自整定模糊 PID 控制器设计

一般来说,模糊控制器的设计主要可以分为以下几个步骤:

(1)确定模糊控制器的结构。对于一台控制器而言,首先要确定的是输入量与输出量。输入量一般为偏差量、偏差的变化量以及偏差变化率,由此需要的控制器必然是三维的模糊控制器。然而,如果控制器的维度过大,将使控制规律变得更加复杂,算法的实现也将更难。但是维度过低,例如一维控制器,只考虑了单个变量,而忽视变量之间的相互关系,造成控制效果过于片面化,效果也不容乐观。所以,居中的二维控制器就成了最常用的选择,此时控制器的两个输入信号分别是系统的偏差量 e 和偏差的变化量 ec 。

SIEMENS 系列 S7-200PLC 对 PID 参数调整具备自整定的功能,其内部使用的 PID 算法是上述文中的位置式算法,其表达式可简化如下。^[4]

$$Y_n = K_c (SP_n - PV_n) + K_c \frac{T}{T_i} (SP_n - PV_n) + YX + K_c \frac{T_d}{T} (PV_{n-1} - PV_n) \quad (1)$$

式中 Y_n 为采样时刻为 n 时,计算出的回路控制量用于控制后续的执行器; K_c 是控制过程的增益量; SP_n 是采样时刻为 n 时系统的给定值; PV_n 是在采样时刻为 n 时的过程变量; PV_{n-1} 是在采样时刻为 $(n-1)$ 时的过程变量; T 是采样周期; T_d 是微分时间; T_i 是积分时间; YX 是在采样时刻为 $(n-1)$ 时的积分输出量。

系统选取二维模糊控制器来实现 PID 参数的模糊自整定。此控制器具有两个输入量、三个输出量,其结构如图 2 所示。偏差的大小 e 和偏差变化量 ec 作为控制器的输入量, ΔK_c 、 ΔT_i 、 ΔT_d 作为控制器的输出量。

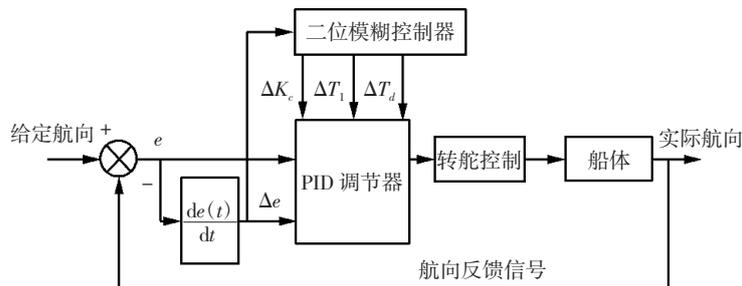


图 2 数字化舵机系统模糊 PID 控制器结构图

(2)确定论域。所谓论域,是指模糊控制系统的输入量和输出量所能变化的界限。此处设定模糊集合的论域取为 $[-6, +6]$,并量化成 7 个等级 $\{-6, -4, -2, 0, 2, 4, 6\}$ 。

(3)确定输入/输出量的隶属函数。隶属函数的意义在于使用了一个闭合区间内的连续函数来反映事物的模糊性。这个闭合区间,称为模糊集合。常用隶属函数的形式有三种,分别为三角形、梯形和高斯型。三角形结构的变量运算更为简便,也比较符合人们普遍的思维方式。在三角形的隶属函数中,我们往往以“大、中、小”的概念来描述输入量和输出量的状态,并且在进行设备操作时,其动作又具备正、反两个方向。综合以上两点,通常我们可以定义 7 个模糊子集[NL, NM, NS, ZO, PS, PN, PL],表示[负大,负中,负小,零,正小,正中,正大]。其中 e 、 Δe 、 ΔK_c 、 ΔT_i 、 ΔT_d 均以三角形隶属函数分布,如图 3 所示。

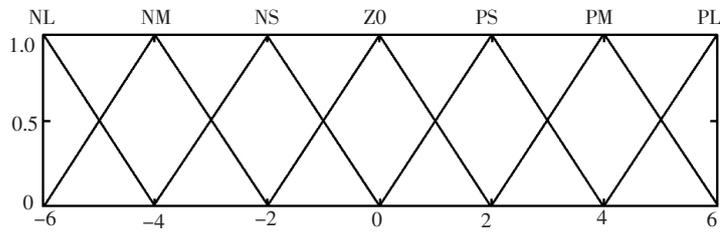


图3 隶属函数曲线

(4)确定模糊规则。根据PID控制参数对系统响应特性的影响,结合操舵实践经验进行总结,得出偏差量和偏差变化率在不同时刻的值对系统造成扰动影响,以此确定模糊推理规则。

若此时系统偏差较大,为了达到消除偏差的效果, K_p 和 K_i 都应取的较大,以加快系统的响应速度。并且由于舵机系统的惯性较大,为防止出现系统超调严重的现象, K_d 的取值应当合适。

若此时偏差并不大,则系统处于跟随阶段,为了使系统既不能超调严重,又要保证良好的响应速度, K_p 和 K_i 都不该取值过大。并且为了保证系统的动态稳定, K_d 的取值也应较小。

若此时没有偏差,为了保持系统的良好动态性能, K_p 应取较小值,而 K_i 应取较大些。并且为了避免系统过于灵敏导致抗干扰能力下降、动态过程振荡、调节时间过长等问题,此时的 K_d 应尽量取小。

将控制器设定在离线模式下,上传模糊规则表在PLC储存,此后若PLC需要执行模糊算法程序,则可以查表,并根据指令调用。经模糊控制器运算后输出了三个修正量(ΔK_c 、 ΔT_i 、 ΔT_d)。计算过程如下:

- (1)读取VB112、VB120、VB124,得到 K_c' 、 T_i' 、 T_d' 的初始值;
- (2)计算 $K_c = K_c + K_c'$, $T_i = T_i + T_i'$, $T_d = T_d + T_d'$;
- (3)将校正后的 K_c 、 T_i 、 T_d 重新赋值至VB112、VB120、VB124。

一旦PLC执行完模糊算法的工作,事先编辑好的中断程序将被自动调用,使模糊控制的过程趋于完成。

1.3 基于MATLAB/SIMULINK的系统模型仿真分析

通过MATLAB/SIMULINK对数字化舵机的智能控制系统进行了动态仿真,建立模糊自整定PID控制系统的仿真模型。如图4所示。

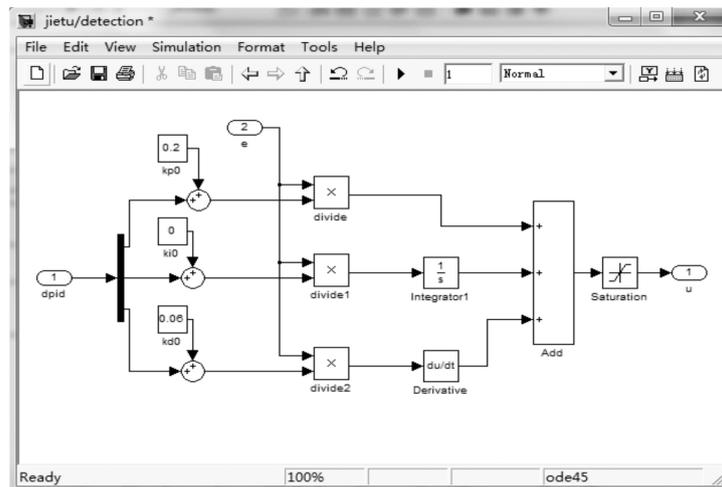


图4 模糊自整定PID控制系统仿真模型

若此时给系统一个单位阶跃扰动量,通过仿真可得模糊自整定PID与传统PID的仿真响应结果,如图5所示,虚线为传统PID响应曲线,实线为模糊自适应PID响应曲线。

由图5可以看出模糊PID参数自整定的过程。采用模糊PID的舵机自动控制系统无论从动态特性还是静态特性,其运行效果都非常优秀。其动态过程振荡一至两次就可以达到收敛的效果,超调量为0.56%左右,

在受到扰动信号之后,上升时间为 1.5 s 左右,达到新稳态过渡时间为 3.5 s 左右。

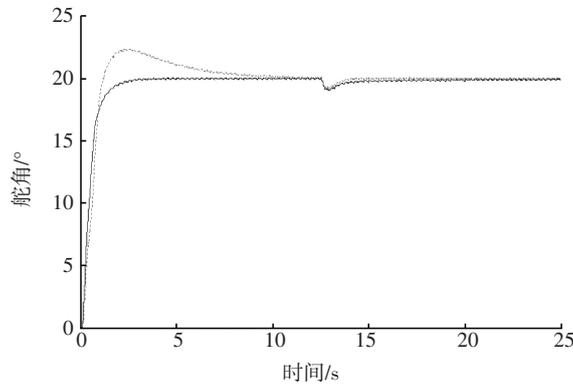


图 5 阶跃响应曲线比较图

若此时给系统一个单位脉冲信号,模糊自适应 PID 与传统 PID 的仿真响应结果,如图 6 所示,虚线为传统 PID 响应曲线,实线为模糊自适应 PID 响应曲线。

由图 6 可知,对于同一脉冲信号,模糊自整定 PID 的响应速度比传统 PID 的响应速度快,对信号的跟踪性更迅速,并且后期的衰减时间也比传统 PID 快。

由于 S7-200PLC 的自整定 PID 采用继电反馈算法^[5],在实际使用中,初期需要一段振荡过程。在此过程中,模糊 PID 控制器可以进行自我学习和经验积累。在此过程结束后,系统根据动态过程中的参数惯性、系统迟延和增益的具体情况,在线整定 PID 参数,确定之后即可进行智能控制状态。

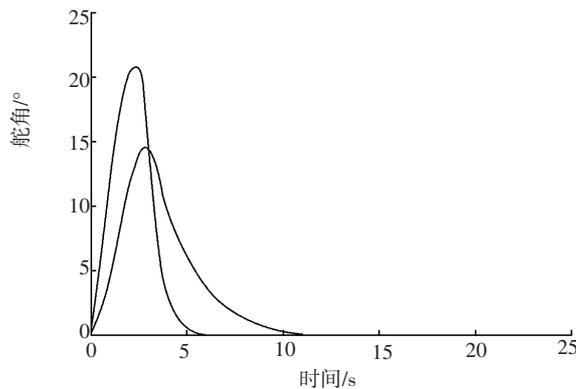


图 6 脉冲响应曲线比较图

2 内河船舶数字化舵机控制系统的设计

2.1 控制系统的组成结构

根据自动控制系统原理和船舶舵机的工作特性,结合传统液压系统的特点,提出新型数字化船舶舵机控制系统,其控制系统的方框图如图 7 所示,形成了两个闭环控制回路。

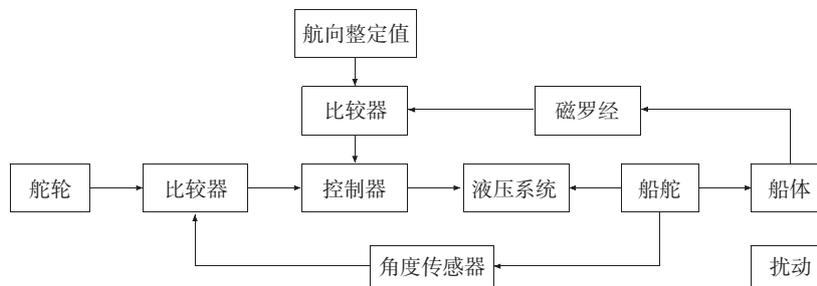


图 7 数字化舵机控制系统方框图

(1)舵角闭环控制回路。由操舵人员通过舵轮发出的舵角指令在比较模块中与传感器反馈过来的实际舵角信号进行对比,得出偏差值,由此驱动控制器,控制舵机的液压系统,使船舵开始偏转,直至与舵轮的操

舵舵角相一致为止。在航向过程中,当船体收到扰动偏离航向时,操舵人员需通过观察航向指示仪表,及时操舵,以保证船舶的正确航向。此闭环控制可用于对舵机实现随动操舵模式。

(2)航向闭环控制回路。由操舵人员设置的船舶航向整定值在比较模块中与磁罗经通信接口(内河船舶一般只配备磁罗经)反馈过来的船舶实际航向进行对比,得出偏差值,由此驱动控制器,控制舵机的液压系统,使船舵发生偏转,改变船舶的航向,直至与航向整定值保持一致。在航向过程中,一旦船体受到扰动偏离航向,磁罗经便会将当前的实际航向反馈给比较模块,此时势必会与操舵人员的航向整定值形成偏差,再次驱动系统对船舵舵角进行调节,直至消除偏差为止。此闭环控制可用于对舵机实现自动操舵模式。

2.2 系统电气控制部分

电气控制系统为整个数字化舵机控制系统的核心,其组成如图 8 所示。

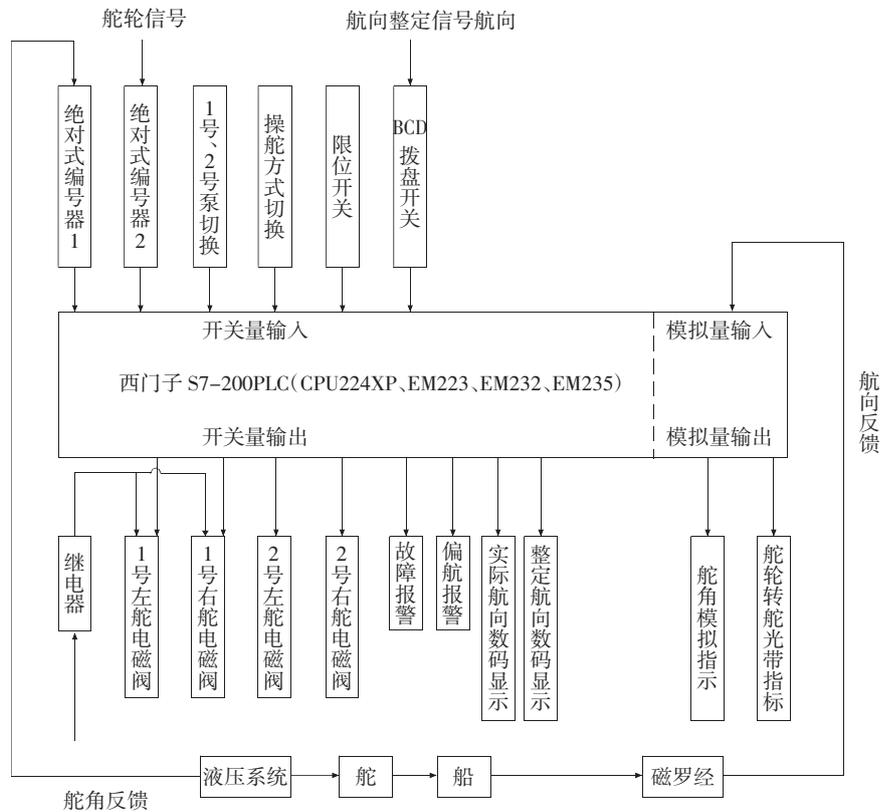


图 8 数字化舵机电气控制系统

电气控制部分是以 SIEMENS 的 S7-200PLC CPU224XP 和扩展模块 EM223、EM232 为核心构建的,其主要输入/输出信号情况如下。

(1)主要输入信号。其一是 BCD 拨盘开关,用于在自动操舵模式中航向整定值的输入。其二是操舵方式转关开关,用于舵机在随动舵、自动舵、手动应急操舵三种模式中切换。其三是泵组转换开关,用于在其中一个液压供油回路出现故障时,可以自动或手动切换至另一供油回路,以保证整个系统的正常运作。其四是旋转编码器,一个用于在随动模式下将操舵人员的舵轮角度转变为数字量信号,作为 PLC 的输入;另一个用于将实际的舵角信号以数字量的方式反馈至 PLC,并与操舵舵角进行比较。其五是磁罗经航向信号,用于在自动操舵模式下,将船舶的实际航向反馈至 PLC,与整定航向进行比较。上述输入信号中除磁罗经给出的航向反馈信号外,其余输入信号的类型均为数字量信号。航向反馈信号的数据类型一般有模拟量和数字量两种,要根据具体磁罗经的接口电路决定。

(2)主要输出信号。其一是电磁阀控制信号,用于控制液压系统中的换向电磁阀,决定液压油流量,以实现船舵的转舵换向。此系统设置左、右舵各一套,以实现互为备用,提高系统安全性能。其二是故障报警,此为控制系统的自检功能,当电气控制系统发生故障时,能及时发出故障信号传递至船舶监测与报警系统,能

实现向集控室、驾驶台的延伸报警。其三是偏航报警,用于在船舶收到外界扰动,实际航向与整定航向发生偏离时的报警信号输出。其四是实际航向数码显示,用于将磁罗经反馈的船舶实际航向信号,通过数字量输出,利用数码显示器供驾驶台操作人员查看。其五是航向整定数码显示,用于将操舵人员输入的航向整定值,通过数字量输出,利用数码显示器供驾驶台操作人员查看。其六是舵角模拟显示,通过模拟量仪表指示此时的舵角实际值,供驾驶台操作人员查看。其七是舵角光带显示,将与模拟舵角显示电压信号通过 D/A 转换模块形成数字量型号,利用 LED 光柱进行舵角指示,方便操舵人员更加直观地查看舵角。

3 结束语

将先进的数字化控制手段创新性地与传统内河船舶液压舵机系统相结合,通过采用智能控制技术,使内河船舶舵机控制系统的动态和稳态性能更加优化,在能源使用效率和对环境的友好程度方面,都具得到较大改善。随着数字化控制手段和智能控制技术的不断发展,对船舶舵机系统进行数字化改造和升级已成为一种必然趋势,在船舶航运业具有非常广阔的应用前景。

参考文献:

- [1]徐小增.智能控制的方法及现状[J].佛山科学技术学院学报,2012,(4):14-17.
- [2]韦巍.智能控制技术的研究现状和展望[J].机电工程,2000,(6):1-4.
- [3]文元全,孙才勤.新型船舶自适应舵机系统的研究[J].大连海事大学学报,2006,(3):70-72.
- [4]黄勇亮,卢晓春.船舶舵机的模糊 PID 控制[J].装备制造技术,2009,(5):27-29.
- [5]李鑫.浅谈西门子 PLC 的 PID 参数整定[J].科技视界,2014,(5):89-90.

(责任编辑:顾力豪)

Research on Intelligent Control Technology of Digitized Steering Gear for Inland River Ship

JI Yu, GONG Xu

(Dept. of Marine Engineering, Nantong Vocational & Technical Shipping College, Nantong 226010, China)

Abstract: According to the drawbacks of steering gear control of current inland river ship, the fuzzy self-adaptive control strategy is proposed and the MATLAB/SIMULINK software is used for simulation analysis for verification of its feasibility. The control program is developed based on Siemens S7-200PLC. Integrated with the digitalized equipment, the traditional inland river ship steering gear control mode has been modified and improved, which provides beneficial reference for practical application of digital servo control technology.

Key words: inland river ship steering gear; fuzzy self-adaptive control; digitalized control