

DOI:10.3963/j.issn.1671-4431.2012.01.013

基于人工神经元 PID 调节器的“水鸟”控制系统性能分析

史斌杰,张维竞,刘 涛,张广磊,吴喆莹

(上海交通大学海洋工程国家重点实验室,上海 200240)

摘 要: 介绍了人工神经元 PID 调节器基本概念。在控制系统建模过程中假设了边界条件,对水鸟进行了受力分析,确定了水鸟运动方程;绘制了控制系统原理图;建立了基于人工神经元 PID 调节器的控制模型。利用 Simulink 软件建立了仿真程序,对运用人工神经元 PID 调节器的水鸟在受到深度方向上的干扰情况下深度位置的变化情况进行了仿真。将仿真结果与传统 PID 控制系统仿真结果进行比较,发现运用人工神经元 PID 调节器控制效果得到了改进。

关键词: 人工神经元 PID 调节器; 水鸟控制系统; 设计

中图分类号: TP 273; P 742

文献标识码: A

文章编号: 1671-4431(2012)01-0056-04

Performance Analysis of the “Birds” Control System Based on Artificial Neural PID Controller

SHI Bin-jie, ZHANG Wei-jing, LIU Tao, ZHANG Guang-lei, WU Zhe-ying

(State Key Laboratory of Ocean Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: The artificial neural PID controller was introduced. During the process of modeling control system, the boundary conditions was assumed, the stress analysis of the bird was made, the equation of motion waterfowl was determined, the control system diagram was drawn, and the control model based on artificial neural PID controller was set up. The Simulink was used to build simulation program and simulate the change of the depth for the bird with artificial neural PID controller in the case of the interference on depth direction. Comparing the simulation result with the one of the traditional control system simulation, it was shown that the control system performance is improved.

Key words: artificial neural PID controller; control system of bird; design

海洋地震勘探是目前世界上进行海洋油气资源勘探的主要手段。海洋地震勘探系统通常由海洋勘探船、拖缆阵列、各种探测控制设备等组成。实现海上拖缆定位的装置称作“水鸟”。它是海上地震拖缆系统的重要组成部分,控制着勘探过程中拖缆的深度与间距。“水鸟”分为外挂式和嵌入式两种,所谓嵌入式,是指“水鸟”嵌在拖缆中,不仅能实现拖缆的深度定位,也能调节拖缆间的间距;所谓外挂式是指“水鸟”通过卡环悬挂在拖缆上,只能实现拖缆的深度调节。另外,外挂式“水鸟”还存在其他一些缺点,例如回收拖缆时需要将水鸟全部取下,工作寿命受到所需电池限制等^[1-5]。

作者设计了基于人工神经元 PID 调节器的嵌入式“水鸟”控制系统,并就“水鸟”在受到深度方向干扰的情况下,尽可能保持设定深度位置的要求,进行了“水鸟”深度控制效果的仿真对比分析,研究了控制性能。

1 人工神经元 PID 调节器

人工神经网络是模仿大脑神经网络结构和功能而建立起来的一种信息处理系统^[6]。人工神经网络是在现代生物学研究人脑组织成果的基础上提出的,用来模拟人类大脑神经网络的结构和行为,它从微观结构和

收稿日期:2011-09-08.

基金项目:国家“863”计划(2006AA09Z308)和国家自然科学基金(51079083).

作者简介:史斌杰(1987-),男,硕士生. E-mail:shibinjie@sjtu.edu.cn

功能上对人脑进行抽象和简化,是模拟人类智能的一条重要途径,反映了人脑功能的若干基本特征^[7]。

人工神经元是人工神经网络的基本处理单元,是一种具有输入、处理、输出 3 层的多输入单输出的功能模型(见图 1),输出函数为^[8]

$$y(t) = f(\sum_{i=1}^n W_i(t) X_i(t) - Q)$$

(1)

式中,共有 n 个输入; X_i 是第 i 个输入信号; W_i 是相应的连接强度加权值; Q 是神经元的阈值。

人工神经元 PID 调节器是人工神经网络应用于 PID 控制并与传统 PID 控制相结合而产生的一种新型控制调节器,是对传统的 PID 控制的一种改进和优化^[9]。在神经网络控制中,神经元是最基本的控制元件,结合常规 PID 控制,将误差的比例、积分和微分作为耽搁神经元的输入量,就构成了人工神经元 PID 调节器。人工神经元 PID 调节器输出是由对输入的比例、积分、微分进行加权合成。与传统的 PID 控制器相比,人工神经元 PID 调节器通过对加权系数(K_P 、 K_I 、 K_D)的调整实现自学习、自适应、自组织功能,可以使被控系统的实际输出跟踪给定的期望输出。以人工神经元 PID 调节器作控制器的负反馈控制系统称为人工神经元闭环控制系统(见图 2)。

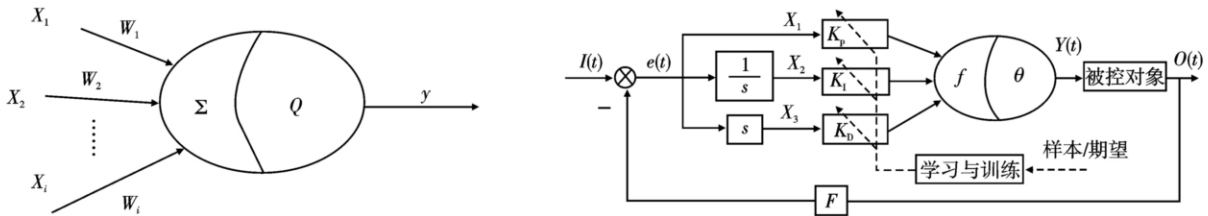


图1 人工神经元

图2 人工神经元闭环控制系统

由人工神经元 PID 调节器作为控制器的人工神经元闭环控制系统,具有控制结构简单、鲁棒性较强的特点。应用人工神经元 PID 调节器闭环控制系统具有很强自学习、自适应能力,对于一些参数时变、模型不确定的系统,控制效果好,较传统 PID 控制方法有明显的优越性^[10]。

2 建立模型

假设勘探船在做无干扰匀速直线运动情况下,即水鸟跟随拖缆在静水状态作一维匀速运动,则相对于拖缆长度来说,拖缆缆型的变形都属于小变形,所以假设拖缆成直线状态。此时仅第 N 个水鸟受到一个深度方向上的阶跃扰动,其他水鸟都没有受到影响,仍在平衡位置。以下对受干扰的水鸟进行建模分析。

首先将水鸟看成为一个质点,对水鸟进行受力分析(见图 3),其中 F_t 表示拖缆对水鸟的拉力, F_s 表示水鸟水翼提供的升力, F_g 表示外界干扰力(海流、波浪等对水鸟的作用力), F_z 表示水阻力, G' 表示水中重力(浮力和重力之和)。由于水鸟处于零浮力状态,所以可以认为 G' 等于 0。依据牛顿第二定律建立如下方程

$$F_s + F_g + F_z + F_t = ma = m\ddot{Y}$$

(2)

式中, m 为水鸟质量; a 为水鸟运动加速度; Y 为水鸟偏离平衡位置的位移。假设水阻力为比例阻尼, $F_z = -Cv = -\dot{C}Y$ (其中, C 为水阻力系数; v 为水鸟运动速度)。由于假设拖缆缆型属于小变形并且水鸟跟随拖缆在静水状态作一维匀速运动,故可认为第 N 个水鸟的拖缆拉力 F_t 为常值。对拖缆拉力 F_t 进行分解,沿拖缆方向上的两个分力相互抵消,由于拖缆成直线状态,深度方向上的分力 $F_{ts} = \frac{2F_t Y}{L}$ (其中 L 为两个水鸟的间距)。令 $X = F_s + F_g$,则可以得到

$$X - \dot{C}Y + \frac{2F_t}{L}Y = m\ddot{Y}$$

(3)

对式(3)进行拉普拉斯变换并进行整理可得

$$Y_s = \frac{X_s}{ms^2 + Cs - \frac{2F_t}{L}}$$

(4)

令输入为 X ,输出为 Y ,则 $Y = f(X)$ 的传递函数为 $G(s) = 1/(ms^2 + Cs - 2F_t/L)$ 。

然后绘制控制系统原理图(见图 4)。控制系统原理为在存在干扰的情况下,依据指定深度与深度传感

器反馈的实际深度差值控制电机转动水翼一定角度,形成一定的升力以对抗外界的干扰,使水鸟尽可能保持在指定位置。

第N-2个水鸟 第N-1个水鸟 第N个水鸟 第N+1个水鸟 第N+2个水鸟

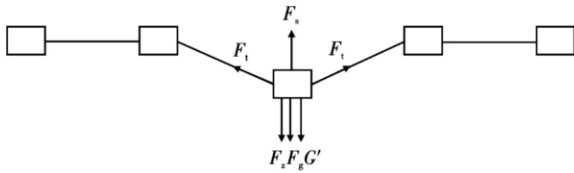


图3 水鸟受力分析

最后建立控制器中的人工神经元 PID 调节器控制模型(见图 5)。人工神经元 PID 调节器是单神经元控制系统,可实现自适应 PID 控制;人工神经元 PID 调节器的输入为 3 项,分别是指定深度与实际深度差值、指定深度与实际深度差值的积分、指定深度与实际深度差值的微分;人工神经元 PID 调节器的输出为水鸟提供的水翼升力大小;人工神经元 PID 调节器的学习算法采用有导师学习,期望为深度偏差等于 0,权值 W 具体调整规则为有监督的 Hebb 学习算法,公式如下

$$\Delta W_p = \eta (d - y) Z U_p \tag{5}$$

式中, ΔW_p 为第 p 项权值调整值; η 为学习率; d 为指定深度; y 为实际深度; Z 为人工神经元 PID 调节器的输出; U_p 为权值 W_p 所对应的输入。

3 仿真结果

利用 Simulink 软件建立仿真程序(见图 6),对水鸟受到深度方向上的干扰情况下,经过人工神经元 PID 调节器控制后,深度位置的变化情况进行仿真,其中 a 、 b 、 c 分别是人工神经元 PID 调节器输出的比例部分 ($a = W_1 \times U_1$)、积分部分 ($b = W_2 \times U_2$) 和微分部分 ($c = W_3 \times U_3$); fcn 中的加权系数调整公式为 $W'_p = W_p + Wd_p = 0.8 \times y \times U_p \times Z$, W_p 为原加权系数, W'_p 为新加权系数, Wd_p 为调整值。设定初始条件为 $m = 2.32 \text{ kg}$, $C = 2$, $L = 100 \text{ m}$, $F_t = 6\,000 \text{ N}$, $d = 10 \text{ m}$, $W_1 = 10$, $W_2 = 10$, $W_3 = 10$, F_g 为阶跃函数。将仿真结果与传统 PID 控制器 ($K_p = 10$, $K_i = 10$, $K_d = 10$) 进行控制的仿真结果对比(见图 7),可知传统 PID 控制下水鸟深度最深到达 10.976 m 并且有震荡,而使用了人工神经元 PID 调节器控制后,最深到达 10.72 m 并且无震荡,同时过渡时间缩短,恢复平衡位置速度更快。

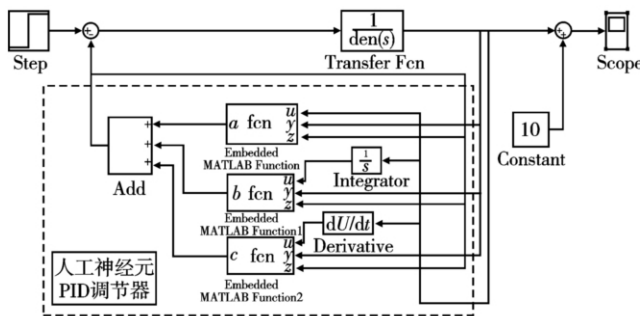


图6 Simulink仿真程序

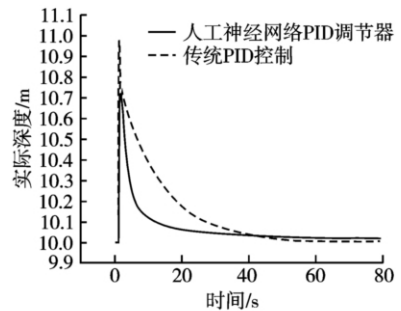


图7 仿真结果对比

4 结 语

通过仿真结果的对比,可知运用人工神经元 PID 调节器改善了水鸟控制系统性能。文中研究了只存在深度方向干扰的情况,但是可以类推得知横向干扰等其他情况,运用人工神经元 PID 调节器同样会使控制系统性能更好。

参考文献

[1] 王春杰,张维竞,刘 涛,等. 横向流作用下海洋地震拖缆姿态控制[J]. 大连海事大学学报,2011,37(1):9-13.

[2] 刘晓伟. 嵌入式水鸟操控系统软件开发研究[D]. 上海:上海交通大学,2009.

[3] 张维竞,张小卿,陈 峻. 基于嵌入式水鸟的海洋地震拖缆运动状态仿真研究[J]. 海洋工程, 2009,27(4):81-86.

[4] Andre W Oliver, Robert E Rouquette, Brien G Rau. Control Device for an Underwater Cable; US, 6525992 B1[P]. 2003-02-25.

[5] Oyvind Hillesund, Simon Hastings Bittleston. Control System for Positioning of Marine Seismic Streamers;US,7162967 B2[P]. 2007-06-16.

[6] 张志国. 人工神经网络及其在地学中的应用研究[D]. 长春:吉林大学,2006.

[7] 刘金琨. 智能控制 [M]. 2 版. 北京:电子工业出版社,2009.

[8] 喻泉宗,喻 晗. 神经网络控制[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2009.

[9] 吴 伟,晏梦云,魏航信. 基于神经网络的 PID 控制及其仿真[J]. 现代电子技术,2009(10):143-145.

[10] 余 瑶,邓飞其. 神经元 PID 控制器及改进算法的仿真研究[J]. 控制工程,2005,12(增刊):46-48.

(上接第 23 页)

[6] 朱宝林,黄 新,马保国,等. 大流动度水泥净浆流动参数的测试方法[J]. 建筑材料学报,2005,8(6):691-694.

[7] 罗云峰,卢迪芬,樊粤明. 水泥与高效减水剂相容性的检测方法的评论[J]. 水泥,2002(11):20-23.

[8] 肖忠明,郭俊萍,张文和.《水泥与减水剂相容性试验方法》行业标准介绍[J]. 水泥,2008(1):38-40.

[9] 吴笑梅,樊粤明,简运康. 用 Marsh 筒法研究水泥与减水剂的适应性问题[J]. 水泥,2002(12):12-14.

[10] 马保国,赵子强,谭洪波,等. 一种高精度水泥浆体流动性测定装置[J]. 武汉理工大学学报,2011,33(10):37-41.

[11] 杜 俊,张 健,杨向宁,等. 矿物掺合料对水泥浆体的流变性和相容性的影响[J]. 青岛理工大学学报,2009,30(4):180-184.

[12] 姜从盛,时建刚,丁庆军,等. 矿物掺合料和外加剂对水泥浆体流变性的影响[J]. 化学建材,2007,23(2):45-48.

[13] 张 驰,袁晓露,周世华. 矿物掺合料与高效减水剂对水泥基材料流变性能的影响[J]. 混凝土,2004(9):43-46.

[14] 杨元霞. 甲基纤维素对新拌水泥浆体性能的影响[J]. 建筑材料导报,2004,7(2):221-226.