

文章编号:1002-2082(2015)06-0852-05

DVD 光学头的 RBF 神经网络 自适应 PID 控制器设计

张美凤^{1,2}, 蔡建文^{1,2}

(1. 常州工学院 电气与光电工程学院, 江苏 常州 213002;

2. 常州现代光电技术研究院, 江苏 常州 213002)

摘要:为了使三维光存储技术的应用水平得到提高,以 DVD 伺服技术、双光子吸收技术为基础组建了一套信息存储系统。针对 DVD 光学读取头系统,采用 RBF 神经网络自适应 PID 控制器进行控制,充分利用 RBF 神经网络的自学习和全局非线性逼近能力,在线调整修正 PID 控制器的 3 个参数,使其达到一种最优控制,并通过 MATLAB 软件进行了计算机仿真。由仿真结果可以得出:通过应用 RBF 神经网络自适应 PID 控制算法,系统单位阶跃响应的调整时间为 0.25 s,并使系统的超调量降低到几乎为零。

关键词:DVD 光学头;RBF 神经网络;PID 控制器;自适应;非线性逼近

中图分类号:TN202;TP273

文献标志码:A

doi:10.5768/JAO201536.0601006

Design of RBF neural network adaptive PID controller of DVD pick-up head

Zhang Meifeng^{1,2}, Cai Jianwen^{1,2}

(1. School of Electrical and Optoelectronic Engineering, Changzhou Institute of Technology, Changzhou 213002, China;

2. Changzhou Institute of Modern Optoelectronic Technology, Changzhou 213002, China)

Abstract:In order to improve the practical level of two-photon 3D optical storage technology, the information storage system was built based on DVD servo technology and two-photon absorption technology. The radial basis function (RBF) neural network self-adjusting proportional-integral-derivative (PID) control algorithm was used to built the simulation model of PID control system based on the transfer function of DVD pick-up head. The parameters of PID controller were adjusted online by the ability of the RBF neural network self learning and global nonlinear strong approximation and simulated by Matlab. It is proved that the settling time of the step response of the system is shortened to 0.25s and the overshoot of the system reduces to almost zero after applying the RBF neural network adaptive PID control algorithm.

Key words:DVD pick-up head;RBF neural network;PID controller;self-adaptive;nonlinear approximation

引言

随着科技的迅猛发展和人们对信息存储容量需求的增大,光盘存储技术得到了快速的发展,已由传统的二维光盘存储技术发展到三维光盘存储

技术^[1-3]。但目前三维光存储技术都是基于实验室进行研究的,没有很好地应用到实际生产中。为了使三维光存储技术的应用化水平得到提高,以 DVD 伺服技术、双光子吸收技术为基础组建了一

收稿日期:2015-07-14; **修回日期:**2015-09-21

基金项目:常州现代光电技术研究院开放课题(CZGY008)

作者简介:张美凤(1976—),女,山东潍坊人,博士研究生,讲师,主要从事激光微加工和自动检测方面的研究。

E-mail: zhangmf@czu.cn

套信息存储系统^[4], 本文在此系统基础上, 针对 DVD 光学头进行详细分析, 建立 DVD 光学头的音圈电机电气模型, 并根据此模型计算得出传递函数。为了提高 DVD 光学头控制系统的响应速度、减小系统的超调量, 本文采用一种新算法即 RBF 神经网络自适应 PID 控制算法, 通过 RBF 神经网络的自学习和全局非线性逼近的能力, 实现实时在线调整修正 PID 控制器的 3 个参数, 使其达到最优控制。

1 DVD 光学头模型

DVD 光学头是 DVD 光盘机的核心部件, 它借助光盘反射光的光强、相位等特征产生伺服系统所需要的各种误差信号, 从而读取光盘中所存储的各类数据信息。本实验采用的光学头为三洋公司的 SF-HD60 光学头。根据其使用手册^[5]和 DVD 光学读取头的音圈电机的电气模型, 经推导计算得到 DVD 光学读取头聚焦致动器的传递函数为^[6]

$$G(s) = \frac{1.7197 \times 10^5}{s^2 + 65.724s + 1.7197 \times 10^5} \quad (1)$$

2 RBF 神经网络自适应 PID 控制原理

RBF 神经网络自适应 PID 控制系统的结构如图 1 所示。该系统主要由两部分组成:

1) 经典的 PID 控制器。该控制器直接对被控对象进行闭环控制, 对 PID 控制器的 3 个参数 K_P, K_I, K_D 进行在线整定调整^[7]。此控制器是过程控制中应用最广泛的一种基本控制规律^[8]。

2) RBF 神经网络辨识。通过 RBF 神经网络对被控对象建立辨识模型, 从而达到对被控对象的辨识信息进行及时观测, 并将观测的辨识信息提供给 PID 控制器。PID 控制器就可以利用辨识模型的信息实时在线调整其 3 个参数, 从而达到较好的控制精度, 实现期望的控制目的。

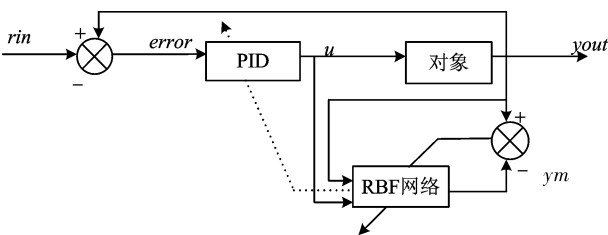


图 1 RBF 神经网络自适应 PID 控制系统

Fig. 1 RBF neural network adaptive PID control system

3 RBF 神经网络 PID 控制算法分析及其仿真研究

3.1 算法分析

1) RBF 神经网络

RBF 神经网络是 3 层神经网络, 从输入层空间到隐含层空间的变换是非线性的, 而从隐含层到输出层之间的变换是线性的, 因此, 这就使局部极小问题得到解决^[9], 同时也使学习速度大大加快。本文的 RBF 网络结构如图 2 所示。输入层的节点有 3 个, 即 $u(k), yout(k), yout(k-1)$; 根据经验和不断试验隐含层节点选取 6 个, 输出层节点只有一个即为 $ym(k)$, 即本文 RBF 网络结构选为 3-6-1 结构。

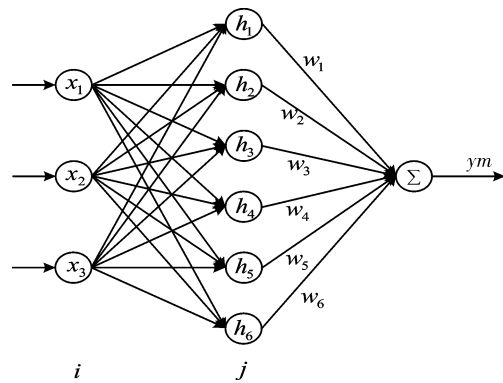


图 2 RBF 网络结构

Fig. 2 RBF network structure

在本文中, RBF 神经网络的输入向量为 $\mathbf{X} = [x_1, x_2, x_3]^T$, 即 $x_1 = u(k), x_2 = yout(k), x_3 = yout(k-1)$ 。第 2 层网络隐含层上的 6 个节点分别代表 6 个径向基函数, 设其径向基向量为 $\mathbf{H} = [h_1, h_2, h_3, h_4, h_5, h_6]^T$, 其中 h_i 为高斯基函数, 即

$$h_j = \exp\left(-\frac{\|X - C_j\|^2}{2b_j^2}\right) \quad j=1, 2, \dots, 6 \quad (2)$$

在网络中, 第 j 个节点的中心矢量为

$$C_j = [c_{j1}, c_{j2}, c_{j3}]^T \quad (3)$$

设网络的基宽向量为

$$B = [b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6]^T \quad (4)$$

式中: b_i 为第 j 个节点的基宽度参数, 且是一个大于零的数。

RBF 神经网络隐含层到输出层的权向量为

$$W = [w_1, w_2, \dots, w_6]^T \quad (5)$$

则网络的输出为

$$ym(k) = \sum_{i=1}^6 w_i h_i \quad (6)$$

RBF 网络辨识器的性能指标函数为

$$J = \frac{1}{2} (y_{out}(k) - y_m(k))^2 \quad (7)$$

通过最小化性能指标函数,可以得到节点中心及节点基宽、输出权的迭代算法如下:

$$\Delta b_j = (y_{out}(k) - y_m(k)) \omega_j h_j \frac{\|X - C_j\|^2}{b_j^3} \quad (8)$$

$$b_j(k) = b_j(k-1) + \eta \Delta b_j + \alpha (b_j(k-1) - b_j(k-2)) \quad (9)$$

$$\Delta c_{ji} = (y_{out}(k) - y_m(k)) \omega_j \frac{x_j - c_{ji}}{b_j^2} \quad (10)$$

$$c_{ji}(k) = c_{ji}(k-1) + \eta \Delta c_{ji} + \alpha (c_{ji}(k-1) - c_{ji}(k-2)) \quad (11)$$

$$\omega_j(k) = \omega_j(k-1) + \eta (y_{out}(k) - y_m(k)) h_j + \alpha (\omega_j(k-1) - \omega_j(k-2)) \quad (12)$$

式中: α 为动量因子; η 为学习速率。

Jacobian 阵算法为

$$\frac{\partial y(k)}{\partial u(k)} = \frac{\partial y_m(k)}{\partial u(k)} = \sum_{j=1}^6 \omega_j h_j \frac{c_{j1} - x_1}{b_j^2} \quad (13)$$

2) RBF 网络 PID 整定算法

本文中, PID 控制器采用增量式,其控制误差为

$$error(k) = r_{in}(k) - y_{out}(k) \quad (14)$$

PID 3 项输入为

$$xc(1) = error(k) - error(k-1)$$

$$xc(2) = error(k)$$

$$xc(3) = error(k) - 2error(k-1) + error(k-2) \quad (15)$$

控制算法为

$$u(k) = u(k-1) + k_p (error(k) - error(k-1)) + k_i error(k) + k_d (error(k) - 2error(k-1) + error(k-2))$$

神经网络整定指标为

$$E(k) = \frac{1}{2} error(k)^2 \quad (16)$$

通过梯度下降法,得到 3 个控制参数 K_p, K_i, K_D 的调整算法为

$$\Delta k_p = -\eta \frac{\partial E}{\partial k_p} = -\eta \frac{\partial E}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial u} \frac{\partial u}{\partial k_p} = \eta error(k) \frac{\partial y}{\partial u} xc(1) \quad (17)$$

$$\Delta k_i = -\eta \frac{\partial E}{\partial k_i} = -\eta \frac{\partial E}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial u} \frac{\partial u}{\partial k_i} = \eta error(k) \frac{\partial y}{\partial u} xc(2) \quad (18)$$

$$\Delta k_d = -\eta \frac{\partial E}{\partial k_d} = -\eta \frac{\partial E}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial u} \frac{\partial u}{\partial k_d} = \eta error(k) \frac{\partial y}{\partial u} xc(3) \quad (19)$$

式中 $\frac{\partial y}{\partial u}$ 是被控对象的 Jacobian 信息。

3.2 DVD 光学读取头的 RBF 神经网络自适应 PID 控制仿真

针对 DVD 光学头控制系统,系统的输出值要求能迅速地跟踪给定输入信号的变化,即需要尽快地跟踪上光盘位置角度的变化。应用 RBF 神经网络 PID 控制算法可以很好地实现这样的要求。

DVD 光学头控制系统的 RBF 神经网络 PID 控制算法流程如图 3 所示。

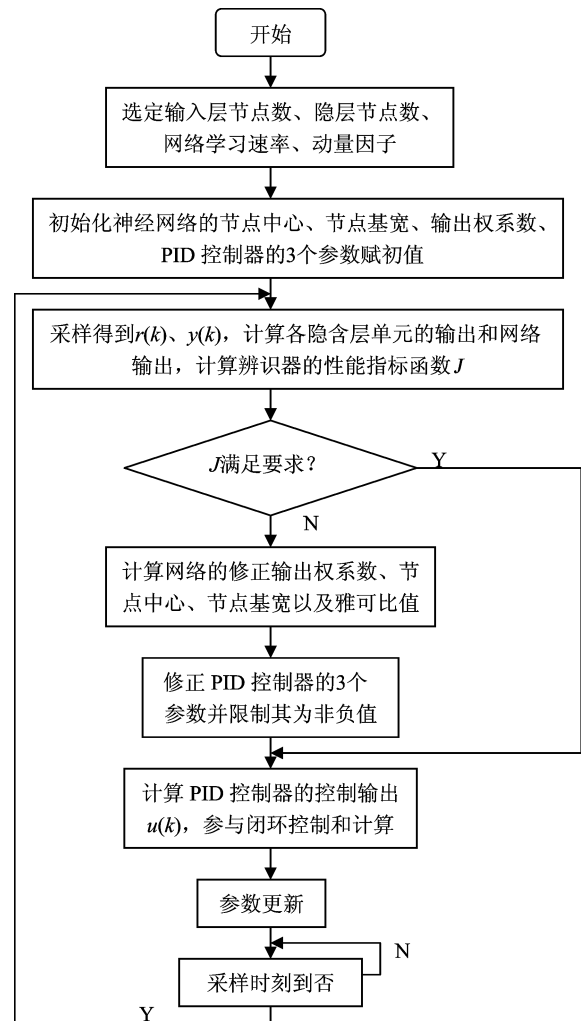


图 3 控制算法流程

Fig. 3 Flow chart of control algorithm

通过 MATLAB 编程对 DVD 光学头控制系统进行仿真。在仿真中, RBF 神经网络结构确定

为 3-6-1 结构,并设定学习效率为 $\eta=0.25$, DVD 光学头控制系统采样时间设定为 0.001 s ,当控制系统的输入信号为单位阶跃信号时,得到系统的阶跃响应如图 4 所示,图 5 为参数自适应整定曲线。

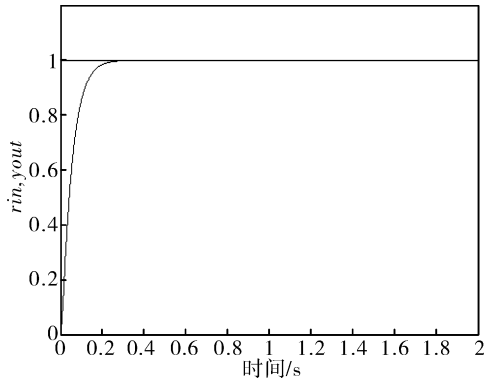


图 4 RBF 神经网络 PID 控制的阶跃响应

Fig. 4 Step response of RBF neural network PID control

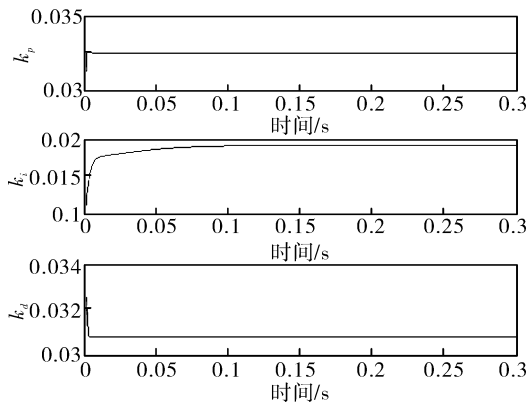


图 5 参数自适应整定曲线

Fig. 5 Parameter adaptive tuning curve

由图 4 可以看出,通过应用 RBF 神经网络 PID 控制算法, DVD 光学头系统阶跃响应的调整时间为 0.25 s ,而文献[6]采用模糊 PID 控制算法的响应的调整时间为 0.3 s ,阶跃响应的调整时间缩短了;超调量也由文献[6]的 27% 降到了几乎为零。从图 5 可以看出, PID 的 3 个参数能够得到迅速的调整,其跟踪误差很快趋近于 0。

4 结论

为了提高三维光存储技术的应用化水平,以 DVD 伺服技术、双光子吸收技术为基础组建了一套信息存储系统。本文针对 DVD 光学读取头传递函数,采用 RBF 神经网络 PID 控制算法,构建

此控制系统的仿真模型,通过 RBF 神经网络的自学习和全局非线性逼近能力,实时调整修正 PID 控制器的 3 个参数,最后通过 MATLAB 进行了计算机仿真。仿真结果显示:采用 RBF 神经网络 PID 控制算法,明显提高了 DVD 光学头系统的响应速度,并使系统的超调量大大减小,较好地达到了系统性能指标的要求。

参考文献:

- [1] Sasaki T, Miksmi T, Mochizuki H, et al. Readout signal intensity for the two-photon sensitized fluorescent recording materials [J]. SPIE, 2010, 7730: 77301F-1-77301F-8.
- [2] Walker E, Dvornikov A, Coblenz K, et al. Progress in two-photon 3D optical data storage [J]. SPIE, 2008, 7053: 705308-1-705308-9.
- [3] Ganic D, Day D, Gu M. Multi-level optical data storage in a photobleaching polymer using two-photon excitation under continuous wave illumination [J]. Optics and Lasers in Engineering, 2002, 38 (6): 433-437.
- [4] Cai Jianwen, Shen Zhaolong, Jiang Bing, et al. Multilayer optical storage system based on CD/DVD pick-up head [J]. Journal of University of Science and Technology of China, 2008, 38(5): 549-552. 蔡建文, 沈兆龙, 江兵, 等. 基于 CD/DVD 光头的多层光存储系统 [J]. 中国科学技术大学学报, 2008, 38 (5): 549-552.
- [5] SANYO Multimedia Company. Optical DVD pick-up specifications model; SF-HD60S [R]. Japn: SANYO Multimedia Company, 2001.
- [6] Cai Jianwen, Li Yuan, Dong Caijun, et al. Application of fuzzy PID algorithm in DVD pick-up head control [J]. Semiconductor Optoelectronics, 2013, 34 (6): 1047-1049. 蔡建文, 李源, 董才俊, 等. 模糊 PID 算法在 DVD 光学头控制中的应用研究 [J]. 半导体光电, 2013, 34 (6): 1047-1049.
- [7] Chen Yifei. Study and simulation on PID control based on RBF neural [J]. Computer Simulation, 2011, 28(4): 212-215. 陈益飞. RBF 神经网络的 PID 控制研究与仿真 [J]. 计算机仿真, 2011, 28(4): 212-215.

- [8] Bai Hong, Zhang Le. Application of fuzzy-PID control in ATP system[J]. Journal of Applied Optics, 2009, 30(1):29-33.
白宏,张乐. 模糊 PID 控制在 ATP 伺服系统中的应用[J]. 应用光学, 2009, 30(1):29-33.
- [9] Xie Yongcheng, Dong Jinzhao, Li Guangshen, et al. Application of radical basis function neural network in fault diagnosis of rectifier[J]. Computer Measurement & Control, 2013, 21(12):3184-3186.
谢永成,董今朝,李光升,等. RBF 神经网络在整流器故障诊断中的应用[J]. 计算机测量与控制, 2013, 21(12):3184-3186.