

基于灰色 PID 的 DVD 光学头控制与优化

朱丽娟

(盐城师范学院 新能源与电子工程学院 江苏 盐城 224002)

摘要: 光学头控制精度直接影响高密度光盘系统(DVD)的存储性能,为了提高 DVD 光学头的控制精度,提出一种灰色 PID 的 DVD 光学头控制优化机制。针对 DVD 光学头读取机制建立传递函数,然后采用神经网络对 DVD 光学头的 PID 控制参数进行逼近和优化,并采用灰色理论模型对 DVD 光学头的控制输出误差进行预测,实现 PID 超前控制,最后采用 Matlab 2012 进行仿真测试。仿真结果证明,本文机制提高了 DVD 光学头的控制优化效率,降低了控制系统的超调量,提高了光学头控制精度,具有较高的应用价值。

关键词: 灰色模型; PID 控制器; DVD 光学头; 控制精度

中图分类号: TN202 **文献标识码:** A **DOI 编码:** 10.14016/j.cnki.jgzz.2016.08.060

Controlling and Optimizing of DVD optical head based on Grey PID

ZHU Li-juan

(College of new energy and Electronic Engineering, Yancheng Teachers University, Yancheng 224002, China)

Abstract: In order to improve the storage performance of high density optical disk system (DVD), storage performance of the DVD is directly affected by the optical head control precision, in order to improve the control precision, a DVD optical head control optimization mechanism based on a grey PID is proposed in this paper. First of all, transfer function of DVD head is established, and then PID control parameters of DVD optical head is optimized by using neural network, and grey model is used to predict the output error to control PID in advance, lastly, simulation test is carried out in matlab 2012. The simulation results show that the proposed mechanism can improve optimization efficiency of DVD optical head control, reduce the overshoot of the system, and improve control precision and has high application value.

Key words: grey model; PID controller; DVD optical head; control precision

随着科学技术的不断提升,信息种类越来越多,如视频、图像、网页等,需要更大储存设备对其进行存储^[1]。随着计算机技术发展,光存储器技术日益成熟,与 CD 容量相比,高密度光盘系统(DVD)的容量要高出数倍^[2-3]。在 DVD 驱动器中,光学头是控制 DVD 性能的主要部件,因此如何对 DVD 的光头控制进行越发越重要^[4]。

针对 DVD 的光头控制优化问题,许多学者引入了许多理论如:模糊数学、人工智能、PID 控制等对其进行研究^[5-7]。最原始的 DVD 光头优化方法采用 PID 控制,由于 PID 的鲁棒性强,控制过程简单,因此得到了较广泛的应用^[8-10]。在 PID 进行 DVD 光头优化过程中, PID 自身参数的取值对控制效果有着决定性的作用,传统 PID 参数采用人工试凑法进行,面对复杂的 DVD 光头,难以获得最优的 PID 参数,使得 DVD 光头控制精度低^[1,12]。随前有学者等提出了神经网络和 PID 算法的光学头控制策略^[13],利用 RBF 神经网络的非线性学习能力对 PID 参数进行优化,提高了 DVD 的光头控制系统性能;文献[14]提出模糊

理论和 PID 算法的光学头控制机制,先对 PID 参数进行模糊化处理,然后采用模糊规则对 PID 参数进行在线控制,该方法的各项指标均满足实际应用要求;然后在文献[13]的基础上,有学者引入了模糊理论,并结合神经网络和 PID 对光学头进行控制,提高了 DVD 光头的控制精度,而且响应速度很快^[14]。

为了提高 DVD 光学头控制精度,提出一种灰色 PID 的 DVD 光学头的优化和控制方法(GM-PID)。首先建立 DVD 光学头的传递函数,然后采用神经网络对 PID 控制参数进行在线优化,并采用灰色理论模型对 DVD 光学头输出结果进行预测,并通过反馈对 PID 进行超前控制,在 Matlab 2012 上采用仿真实验测试其有效性。

1 光学头模型

在 DVD 驱动器中,光学头作为一个关键器件,它根据反射光的光强、相位得到一些误差数据如聚焦误差等,从 DVD 中读取储存的信息^[15]。音圈电机是 DVD 的执行机构,通过分析其电气模型可以建立 DVD 光学头的传递函数为:

$$G(s) = \frac{X(s)}{U(s)} = \frac{d}{s^3 + as^2 + bs + c} \quad (1)$$

其中 X 表示音圈电机位移; U 表示驱动电压。

收稿日期: 2016-03-17

基金项目: 江苏自然科学基金青年基金项目(BK2012246)

作者简介: 朱丽娟(1979-),女,汉族,研究生,讲师,研究方向: 模式识别与智能控制。

在 3 阶的控制系统中,有一个极点与虚轴之间距离相隔很远,因此在精度要求不高的条件下,对规则进行一定简化,不考虑该极点得到简化的 DVD 光学头的传递函数为

$$G(s) = \frac{k}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2} \quad (2)$$

在实际应用中,传递函数与具体 DVD 光学头的型号有关,本文选择三洋公司的 SF-HD60S,那么可以得到传递函数最终为:

$$G(s) = \frac{1.718 \times 10^5}{s^2 + 65.72s + 1.718 \times 10^5} \quad (3)$$

2 GM-PID 的 DVD 光学头控制与优化设计

2.1 BP 神经网络调整 PID 控制参数

本文采用 BP 神经网络对 PID 控制器的参数进行在线识别,对 PID 控制器的参数值进行自动调整,其结构图如图 1 所示。

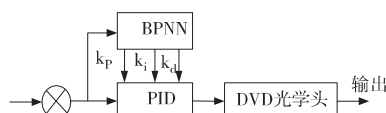


图 1 BPNN 优化 DVD 光学头 PID 的结构

从图 1 可以看出, PID 控制器的优化从本质说,就是对比例、微分、积分的值进行自动调整,因为它们之间是一种非线性联系,而 BP 神经网络是一种具有自适应性的人工智能算法,因此可以对一个非线性系统进行高精度的逼近,设 DVD 光学头的 PID 控制器输入为:

$$\begin{cases} x(1) = e(k) - e(k-1) \\ x(2) = e(k) \\ x(3) = e(k) - 2e(k-1) + e(k-2) \end{cases} \quad (4)$$

DVD 光学头 PID 控制器的输出为:

$$e(k) = r(k) - y(k) \quad (5)$$

且有:

$$\begin{cases} u(k) = u(k-1) + \Delta u(k) \\ \Delta u(k) = K_p [e(k) - e(k-1)] + K_i e(k) + K_d [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] \end{cases} \quad (6)$$

BP 神经网络对 PID 参数调整为:

$$\begin{cases} \Delta K_p = -\eta_p \frac{\partial J}{\partial K_p} = \eta_p e(k) \frac{\partial Y}{\partial u} x(1) \\ \Delta K_i = -\eta_i \frac{\partial J}{\partial K_i} = \eta_i e(k) \frac{\partial Y}{\partial u} x(2) \\ \Delta K_d = -\eta_d \frac{\partial J}{\partial K_d} = \eta_d e(k) \frac{\partial Y}{\partial u} x(3) \end{cases} \quad (7)$$

式中 η_p 、 η_i 、 η_d 为 PID 控制 3 个参数的学习速率。

在优化 DVD 光学头的 PID 参数过程中, BP 神经网络的性能评价指标为:

$$E(k) = \frac{1}{2} (e(k))^2 \quad (8)$$

2.2 灰色模型预测 DVD 光学头的输出误差

灰色模型(GM)能够对一个灰色系统进行预测,而 DVD 光学头控制系统可以看作是一种灰色系统,因此将 GM 引入到 DVD 光学头的误差预测中,以 PID 控制输出误差作为采样信息,根据灰色模型描述 DVD 光学头输出的变化趋势,然后将预测结果反馈给 PID 控制器,可以对 PID 控制器进行超前控制,其工作原具体如图 2 所示。

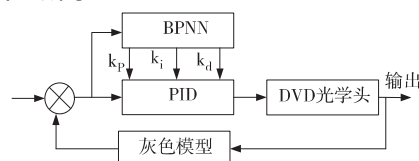


图 2 GA-PID 的 DVD 光学头优化控制框架

灰色模型预测 DVD 光学头输出误差的步骤如下:

(1) 对 DVD 光学头输出进行实时采样,产生一些数据,它们组成的数据序列为:

$$y^0(1) \ y^0(2) \ y^0(3) \ \cdots \ y^0(n) \quad (9)$$

由于多种因素的综合影响,再加上外界环境的扰动,式(9)数据作为一个灰色数列,为了降低外界环境的干扰,对其进行累加产生新的数列,一阶累加序列为:

$$y^1(1) \ y^1(2) \ y^1(3) \ \cdots \ y^1(n) \quad (10)$$

式中, $y^1(k) = \sum_{m=1}^k y^0(m)$ $k = 1, 2, \dots, n$ 。

(2) 计算系数矩阵 B 和 Y_N ,具体公式如下:

$$B = \begin{bmatrix} -0.5 \times (y^1(1) + y^1(2)) & 1 \\ -0.5 \times (y^1(2) + y^1(3)) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -0.5 \times (y^1(n-1) + y^1(n)) & 1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$Y_N = \begin{bmatrix} y^0(2) \\ y^0(3) \\ \vdots \\ y^0(n) \end{bmatrix} \quad (12)$$

(3) 确定 $(B^T B)^{-1}$,其中 $B^T B$ 是一个对称阵,其右下角对角元素代表 B 的行数。

(4) 根据 LS 法得到参数列为:

$$\hat{a} = (B^T B)^{-1} B^T Y_N \quad (13)$$

其中 $\hat{a} = \begin{bmatrix} a \\ u \end{bmatrix}$ 为白化方程的系数。

(4) 建立误差变化的模型,具体如下:

$$\frac{dy^1}{dt} + ay^1 = u \quad (14)$$

可以得到:

$$\hat{y}^1(n+d) = \left(y^0(1) - \frac{u}{a} \right) e^{-a(n+d-1)} + \frac{u}{a} \quad (15)$$

其中 $\hat{y}^1(n+d)$ 表示 y^1 的 $n+d$ 的预测结果 $d=0, 1, 2, \dots$ 。

根据 $\hat{y}^1(n+d)$ 可以得到 y^0 的 $n+d$ 的预测计值为:

$$\hat{y}^0(n+d) = \left(y^0(1) - \frac{u}{a} \right) e^{-a(n+d-1)} (1 - e^a) \quad (16)$$

这样 DVD 光学头输出的误差预测为:

$$\hat{e}(n+d) = \tilde{Y} - \hat{y}^0(n+d) \quad (17)$$

3 仿真试验

为了测试 GM-PID 的 DVD 光学头控制系统的性能,在 Matlab 2012 平台进行仿真实验,并选择式(3)作为传递函数,选择传统方法^[11]进行对比实验,当外界环境没有什么大的变化,GM-PID 和传统方法的 DVD 光学头的输出变化曲线如图 3 所示,从图 3 可以了解到,当外界环境不变化时,传统方法的控制效果好,而且动态响应速度快,在很短时间可以确定稳定状态,此时 GM-PID 的优势不十分明显,但控制精度略有提高。

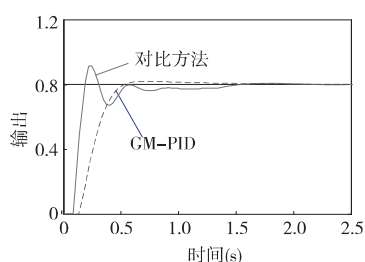


图 3 外界条件稳定时的 DVD 光学头输出曲线

当外界条件发生突变时,GM-PID 与传统方法的 DVD 光学头输出曲线如图 4 所示。从图 4 可以看出,当外界条件发生突变时,传统方法的无法对 DVD 光学头进行有效控制,控制误差大,控制系统的响应进行明显变长,而且超调量大幅度上升,输出曲线振荡变化剧烈,很长一段时间系统才达到稳定状态。而 GM-PID 的 DVD 光学头控制系统适应性明显增强,系统的超调量小,输出结果在较短时间内、很快速趋于稳定,系统的鲁棒性强,优势体现出来了。

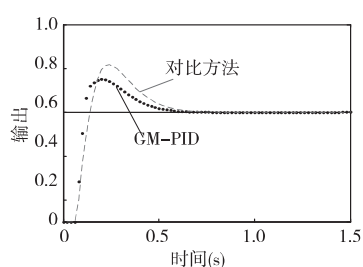


图 4 外界条件变化时的输出曲线

4 结束语

针对当前 DVD 光学头控制优化方法存在一些难题,结合灰色模型、BP 神经网络的优势,提出一种基于 GM-PID 的 DVD 光学头控制优化策略,在析了 DVD 光学头的控制原理基础上提出了控制优化的传递函数,然后采用 BP 神经网络对 PID 控制参数进行在线调整,可以反映 DVD 光学头的变化趋势,结果表明,该控制策略可以保证 DVD 光学头正常工作,稳定性良好。

通过引入灰色模型对 DVD 光学头控制误差进行

预测,并根据预测结果对 PID 控制进行微调,进一步提高了 DVD 光学头的控制精度,响应时间明显减少,在外界环境发生突变时,很快达到工作状态,超调量几乎为零,提高了 DVD 光学头控制系统的鲁棒性。DVD 光学头的控制研究十分复杂,控制参数难以精确描述,需要引入更多理论如:模糊理论进一步改善其控制效果,这是将来要研究的内容。

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, 7(3): 1-8.
- [2] 马建设, 方南, 周晖, 等. DVD 光学头误差探测器性能参数检测与评价[J]. 光电子·激光, 2002, 13(3): 237-239.
- [3] 魏高尚. DVD 光学头伺服误差信号分析[J]. 应用激光, 2004, 24(4): 237-239.
- [4] Walker E, Dvornikov A, Coblentz K, et al. Progress in two-photon 3D optical data storage [J]. SPIE, 2008, 9(2): 5-9.
- [5] Ganic D, Day D, Gu M. Multi-level optical data storage in a photo bleaching polymer using two-photon excitation under continuous wave illumination [J]. Optic and Lasers in Engineering, 2002, 38(6): 433-437.
- [6] 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.
- [7] 吴刚, 范莺春, 周全, 等. DVD 聚焦伺服系统建模与仿真[J]. 系统仿真学报, 2005, 17(2): 263-267.
- [8] 张意, 徐端颐. DVD 光学头的设计研究[J]. 激光与红外, 1999, 28(6): 356-358.
- [9] 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): 1047-1050.
- [10] 刘金棍. 先进 PID 控制 MATLAB 仿真[M]. 北京: 电子工业出版社, 2006.
- [11] 蔡建文, 张关凤, 孟飞, 等. 基于 DVD 光学头的最少拍控制器设计[J]. 激光杂志, 2013, 34(6): 64-65.
- [12] 张美凤, 蔡建文. DVD 光学头的 RBF 神经网络自适应 PID 控制器设计[J]. 应用光学, 2015, 36(6): 852-856.
- [13] 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.
- [14] 张美凤, 蔡建文. 模糊 RBF 神经网络 PID 算法在 DVD 光学头控制中的应用研究[J]. 激光杂志, 2015, 36(6): 108-110.
- [15] 余月华, 汪鑫, 熊海涵, 等. 基于 NLEMD 的红外与可见光图像融合[J]. 重庆理工大学学报(自然科学版), 2015(7): 74-78.
- [16] 张美凤, 蔡建文. DVD 光学头的 BP 神经网络自适应 PID 控制器设计[J]. 半导体光电, 2015, 36(5): 849-851.