

基于粒子群算法的PID神经网络解耦控制

周西峰, 林莹莹, 郭前岗

(南京邮电大学 自动化学院, 江苏 南京 210046)

摘要: 基于粒子群的优化算法具有对整个参数空间进行高效并行搜索的特点以及PID神经网络的自调节和自适应特性, 设计了具有PID结构的多变量自适应神经网络控制器。该算法采用粒子群算法优化PID神经网络初始权值, 并将优化后的最优初始权值控制非线性耦合系统。系统仿真结果表明, 粒子群优化后的PID神经网络控制器具有逼近控制目标更快、响应时间较短的显著优点。该控制策略可在大范围内克服系统的非线性和强耦合问题, 具有一定的理论研究价值和工程实用价值。

关键词: 粒子群算法; PID控制; 解耦控制; 多变量系统

中图分类号: TP183

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2013)09-0158-04

doi: 10.3969/j.issn.1673-629X.2013.09.040

PID Neural Network Decoupling Control Based on Particle Swarm Optimization

ZHOU Xi-feng, LIN Ying-ying, GUO Qian-gang

(College of Automation, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210046, China)

Abstract: The automatic control of such a system is a research focus in the process control area. A multivariable adaptive PID Artificial Neural Network (ANN) controller was introduced, which was based on the characteristics of Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm searching the parameter space concurrently and efficiently, and the self-regulation and adaptability of PID artificial neuron networks. Utilize the PSO to optimize the initial weight value of PID neural network, successfully achieve the control strategy of a nonlinear coupling system using the improved PID neural network with those obtained from the original PID neural network. The new control strategy could overcome nonlinear and strong coupling features of the system in a wide range and is expected to have certain theoretical and engineering application value.

Key words: PSO algorithm; PID control; decoupling control; multivariable system

0 引言

在工业控制中, 被控系统往往是多变量、强耦合的时变系统。控制系统的调节质量往往取决于多变量系统各个回路之间是否存在耦合现象, 同时系统的输入变量的改变可能会导致输出变量发生极大的变化, 这就是多变量系统中回路之间存在耦合的坏处, 耦合严重的甚至会导致系统无法正常运行^[1]。只有对多变量系统实行耦合控制, 才能得到满意的控制效果。

在计算机技术快速发展的年代, 专家们提出了许多的控制策略。目前, 多变量系统的解耦控制主要有传统解耦控制、自适应解耦控制、非线性与鲁棒解耦控制、智能解耦控制等方法, 而智能解耦控制又分为神经

解耦控制和模糊网络解耦控制。

用传统控制方法难以解决的复杂问题能通过神经网络解耦控制来解决, 因此神经网络解耦控制具有很高的研究价值, 也在目前的控制中得到了广泛的应用。文献[2-4]中的系统采用神经网络技术对系统进行解耦控制, 该方法主要通过对被控对象中接近稳态增益的多变量进行模糊解耦控制, 但由于神经网络自身的缺陷, 如学习速率慢、动态性能差等, 因此并不能有效消除被控对象中的静态耦合, 在工程上不利于实现。文献[5]提出一种新型神经网络, 即PID神经元网络(PIDNN), 该网络隐层神经元既具有PID控制器的输入特性也具有其输出特点, 由比例(P)、积分

(I)、微分(D)神经元组成,具有PID控制和神经网络共同优点^[6]。PID控制器结合神经网络的特征,对多变量时变强耦合系统,通过在线学习,调整系统输出连接权值,在对象参数发生变化时调整三个神经元相互作用的强弱,使得解耦系统具备良好的动静态性能,适用于对非线性多变量系统的控制。粒子群算法(PSO, Particle Swarm Optimization)^[7-8]是一种新发展起来的优化算法,和其他优化算法相比,概念简单容易实现,且代码量小,从1995年开始,各种关于PSO算法应用研究的成果不断涌现,并已经在一些领域如电力系统、乐谱演奏、语音识别等方面得到了广泛的应用。根据粒子群算法的特点,针对强耦合多输入多输出系统提出了一种新型的解耦控制方案。根据经过改进的粒子群算法设定的控制规律,对时变非线性模型进行在线辨识,对PID控制器参数进行自动调整,从而实现对系统的解耦控制。文中主要设计一种基于神经网络的控制器,神经网络的连接权值利用粒子群算法优化,通过人工智能算法与传统PID控制器的结合,消除了系统回路之间的耦合现象,实现了超调量小、响应速度快、控制精度高的控制目的,使得系统的静态性能和动态性能都达到了较好控制效果,同时系统具有较好的鲁棒性能和自适应能力。

1 基于 PSO 算法的 PIDNN 解耦控制器的设计

1.1 PID 神经网络解耦控制原则

PIDNN 是一种多层前馈神经网络,由输入层、隐含层和输出层组成。若PID神经网络的控制量有 n 个,那么解耦控制器的网络结构则是 $2n \times 3n \times n$,并且 n 个子网络是并列的,图1是一个二变量的PID神经网络解耦控制系统,其中, r_1 和 r_2 是控制量的控制目标, u_1 和 u_2 是控制器的控制率, y_1 和 y_2 是控制量的当前值。各子网络输入层的两个神经元分别对应着控制量的目标值和当前值,且输入层与隐含层相互独立;各子网络的隐含层分别对应着PID控制器中的比例、积分和微分控制;各子网络的输出层则对应着控制对象的输入量。PIDNN通过训练网络来调整惯性权重,使目标函数获得最小值,同时完成对系统的解耦及控制^[9]。各层的输入输出函数如下式所示:

1) 输入层的输入层、输出层函数:

$$\text{out}_i(k) = \text{in}_i(k) = e_i(k) \quad i = 1, 2 \quad (1)$$

式中, in_i 为输入层的输入值, out_i 为输出层的输出值, i 是子网络的序号。

2) 隐含层神经元的输入函数:

$$\text{inh}_j(k) = \text{wh}_{ij} \cdot \text{outh}_j(k) \quad i = 1, 2, j = 1, 2, 3 \quad (2)$$

式中, inh_j 为隐含层的输入值, outh_j 为输出值,

wh_{ij} 为各子网络输入层至隐含层的连接权重值。隐含层各神经元输出的计算公式如下:

比例神经元

$$\text{outh}_{i1}(k) = \text{inh}_{i1}(k) \quad (3)$$

积分神经元

$$\text{outh}_{i2}(k) = \text{inh}_{i2}(k) + \text{outh}_{i2}(k-1) \quad (4)$$

微分神经元

$$\text{outh}_{i3}(k) = \text{inh}_{i3}(k) - \text{inh}_{i3}(k-1) \quad (5)$$

3) 输出层神经元的输出值是所有隐含层神经元输出的总和:

$$\text{outo}_s(k) = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^3 \text{wo}_{sij} \cdot \text{outh}_{ij}(k) \quad (6)$$

式中, outo_s 为输出层的输出量, wo_{sij} 为隐含层至输出层的连接权重值, $s = 1, 2$ 为输出层神经元序列号。

PIDNN的PID特征,由神经网络隐含层的输出函数和神经网络输入层至隐含层的连接权重值 wh_{ij} 反映。连接权重值 wh_{ij} 和 wo_{sij} 通过PSO算法学习和优化得到。

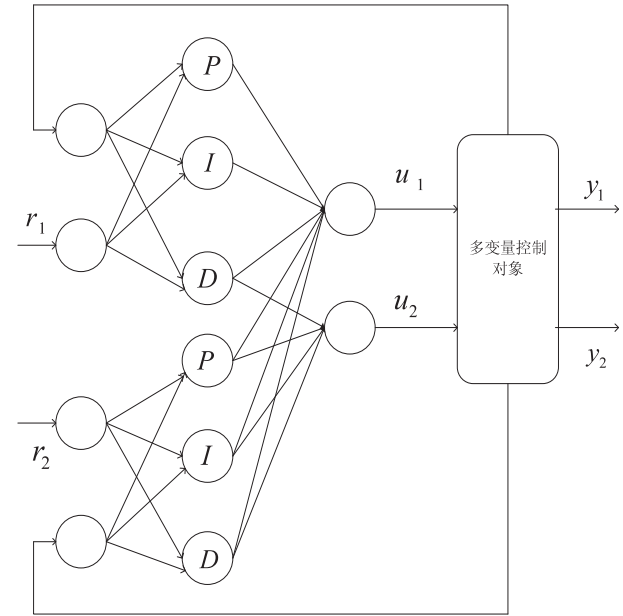


图1 二变量PID神经网络解耦控制系统图

1.2 基于 PSO 算法的 PIDNN 解耦控制

90年代中期,Eberhan博士和Kennedy博士共同发明了一种新的群体智能计算技术——粒子群优化算法(Particle Swarm Optimization, PSO)^[10-12],它是一种典型的群体智能算法。粒子群算法是一些科学家受鸟类、鱼群等群居生物的群体行为启发的,与其他进化算法相比,具有概念简单易懂、程序实现容易、参数少等优点,一经提出,就受到广泛的应用。粒子群算法的基本思想就是模拟一群鸟寻找食物的过程。每个鸟就是PSO中的粒子,也就是需要求解问题的可能解,这些鸟在寻找食物的过程中,起初是比较分散,忽左忽右、忽上忽下,不停改变自己在空中飞行的位置与速度。通

常粒子将追随当前最优的粒子,并经逐步搜索得到最优解。

图 2 是粒子群算法的一个简单流程图。

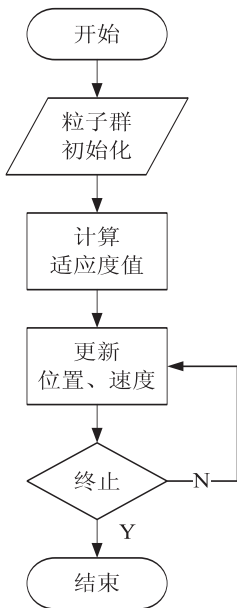


图 2 粒子群算法流程图

由 n 个粒子组成的群体对 Q 维(每个粒子的维数)空间进行搜索。每个粒子表示为: $x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iQ})$, 每个粒子对应的速度可以表示为 y_{ij} , 每个粒子在搜索时要考虑两个因素:

- 1) 自己搜索到的历史最优值 $p_i, p_i = (p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{iQ}) \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$ 。
- 2) 全部粒子搜索到的最优值 $p_g, p_g = (p_{g1}, p_{g2}, \dots, p_{gQ})$, 注意这里的 p_g 只有一个。

总之, PSO 隐喻着一定形式的选择机制。在找到个体极值和全局极值这两个最优值后, 微粒根据如下两个公式更新自己的速度和位置, 更新公式如下:

$$v_{id} = wv_{id} + c_1 r(p_{id} - x_{id}) + c_2 R(g_d - x_{id}) \quad (7)$$

$$x_{id} = x_{id} + v_{id} \quad (8)$$

式中, w 为惯性权重; r 和 R 为分布于 $(0, 1)$ 之间的随机数; c_1, c_2 为学习因子。

1.3 PIDNN 学习算法过程

选择神经网络输出与期望输出之间的均方误差作为粒子的适应度:

$$E = \sum_{i=1}^N \left[\sum_{j=1}^M (y_{ij}^d - y_{ij})^2 \right] / N \quad (9)$$

其中, y_{ij}^d 是期望输出值, y_{ij} 是实际输出值, M 是输出节点数, N 是训练样本数。PSO 优化 PIDNN 各参数流程如图 3 所示。

图中, f_i 为粒子当前适应度值, P_{best} 为个体极值, G_{best} 为全局最优值, 算法迭代停止时, 全局值所对应的 PID 神经网络的权值和阈值即为问题的最优解, 输入待控制模型进行控制。

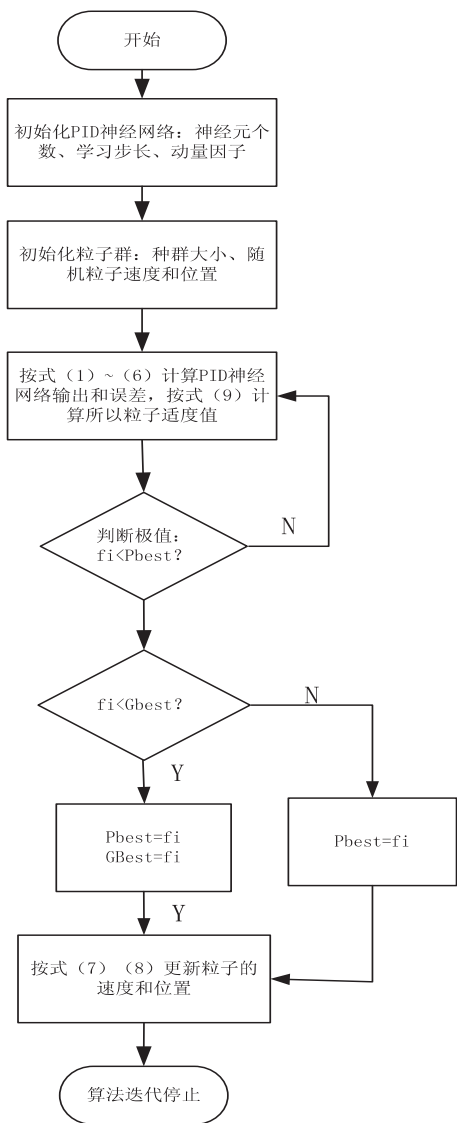


图 3 基于 PSO 的 PID 神经网络算法流程图

2 PSO 算法优化的 PIDNN 控制系统仿真

以图 1 所示的系统为仿真实例, 采用粒子群算法设计 PID 解耦控制器, 设一个强耦合的非线性多变量被控对象具有如下特征:

$$\begin{cases} y_1(k) = 0.4 * y_1(k-1) + u_1(k-1) / [1 + u_1(k-1)^2] \\ \quad + 0.2 * u_1(k-1)^3 + 0.5 * u_2(k-1) + 0.3 * y_2(k-1) \\ y_2(k) = 0.2 * y_2(k-1) + u_2(k-1) / [1 + u_2(k-1)^2] \\ \quad + 0.4 * u_2(k-1)^3 + 0.2 * u_1(k-1) + 0.3 * y_3(k-1) \\ y_3(k) = 0.3 * y_3(k-1) + u_3(k-1) / [1 + u_3(k-1)^2] \\ \quad + 0.4 * u_3(k-1)^3 + 0.4 * u_2(k-1) + 0.3 * y_1(k-1) \end{cases}$$

经过多次反复实验, 该算法中参数设置如下: 粒子数为 20, 迭代次数 50, 惯性权重 w 从 0.9 随着迭代代数逐步递减到 0.1, 学习因子 c_1 和 c_2 为 1.5, 初始化速度 $v \in [-0.3, 0.3]$ 。

仿真结果如图 4 ~ 图 6 所示。

从图 5 和图 6 可以看出, 粒子群优化后的 PID 神

神经网络控制取得了满意的控制效果,控制量不仅迅速逼近控制目标,而且响应时间较短。

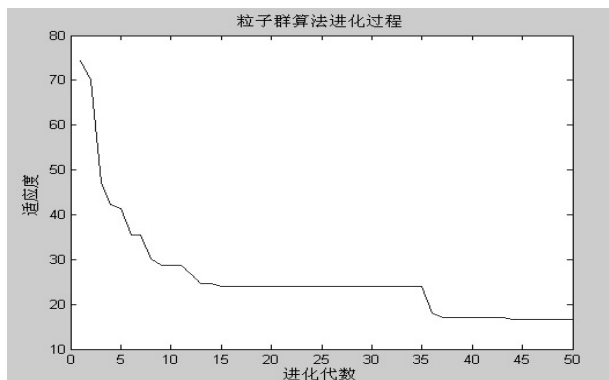


图4 粒子群算法进化过程

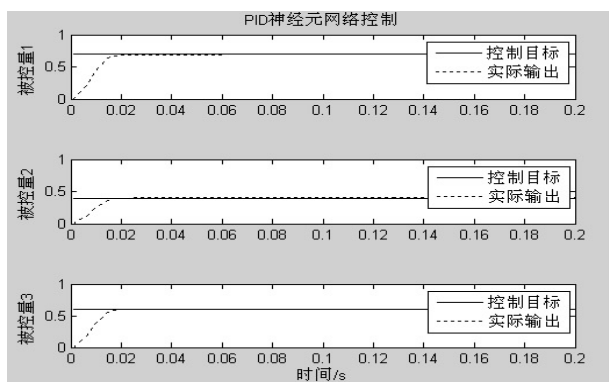


图5 控制器控制效果

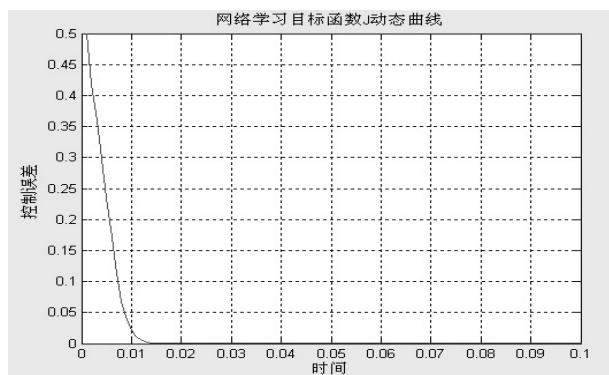


图6 控制误差曲线

3 结束语

文中针对工业生产过程中多输入多输出系统中存在的强耦合现象,提出了一种基于粒子群算法的PID神经网络解耦控制方案。该方案可以自动调整PID

控制器的各项参数,从而实现对系统的解耦控制。粒子群优化后的PID神经网络控制器克服了常规神经网络PID控制器中学习算法计算量大、跟踪时间慢、网络收敛精度低等缺点。仿真结果表明所采取控制策略具有较好的动态和稳态性能,较强鲁棒性、运行工况适应性和抗干扰能力达到了理想的控制效果,具有一定的研究价值。

参考文献:

- [1] Tao Wenhua, Yue Heng, Chai Tianyou. Modeling and control of coal-pulverizing systems with ball mill[J]. Control Engineering of China, 2003, 10(3): 245-248.
- [2] Li Zunji, Wang Lijun. Application of fuzzy control in ball mill process[J]. Journal of North China Electric Power University, 1997, 24(1): 1-5.
- [3] Yue Heng, Zhou Xiaojie, Wang Xin. A simulation system for intelligent decoupling control of coal-pulverizing systems with ball mill[J]. Journal of System Simulation, 2002, 14(10): 1340-1343.
- [4] Qu Zhao. Application of fuzzy controller with neural decoupling to control system of ball mills[J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2004, 37(1): 125-127.
- [5] 舒怀林. PID神经网络对强解耦带延时多变量系统的解耦控制[J]. 控制理论与应用, 1998, 15(6): 920-924.
- [6] Fu Hailong, Li Meng. Variable-air-volume air-conditioning system based on PID-ANN decoupling control technology[J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2005, 40(1): 13-17.
- [7] 韩江洪, 李正荣, 魏振春. 一种自适应粒子群优化算法及其仿真研究[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(10): 2969-2971.
- [8] 王 凌, 刘 波. 微粒群优化与调度算法[M]. 北京: 清华大学出版社, 2008: 1-5.
- [9] Stacey A, Jancic M, Grundy I. Particle swarm optimization with mutation[C]//Proceedings of IEEE Congress on Evolutionary Computation. Canberra, Australia, USA: IEEE Press, 2003: 1425-1430.
- [10] 高海兵, 高 亮, 周 驰, 等. 基于粒子群优化的神经网络训练算法研究[J]. 电子学报, 2004, 32(9): 1572-1574.
- [11] Reynolds C. Boids-Background and Update[EB/OL]. 2001. <http://www.red3d.com/cwr/boids/>.
- [12] Wilson E O. Socialbiology: the New Synthesis[M]. Cambridge: Belknap Press, 1975.

(上接第157页)

- [7] Uwe M B. Digital signal processing[M]. Berlin: Springer-Verlag, 2003.
- [8] 陈 诚, 秦立涛, 苏艳群, 等. 基于FPGA的DDS信号源设计与实现[J]. 电脑与信息技术, 2010, 18(2): 10-13.
- [9] 刘丽丽, 樊延虎, 高 瑛. DDS原理及基于FPGA的实现[J]. 电子技术, 2010(9): 43-44.

- [10] 田 耘, 徐文波, 胡 彬. Xilinx ISE Design Suite 10. x FPGA开发指南-逻辑设计篇[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2008.
- [11] Hill R. Xilinx Spartan-3E降低单位逻辑单元成本[J]. 电子产品世界, 2005(04A): 112-112.
- [12] 张亚平, 贺占庄. 基于FPGA的VGA显示模块设计[J]. 计算机技术与发展, 2007, 17(6): 242-245.

基于粒子群算法的PID神经网络解耦控制

作者：[周西峰](#)，[林莹莹](#)，[郭前岗](#)，[ZHOU Xi-feng](#)，[LIN Ying-ying](#)，[GUO Qian-gang](#)
作者单位：[南京邮电大学 自动化学院, 江苏 南京, 210046](#)
刊名：[计算机技术与发展](#)

ISTIC

英文刊名：[Computer Technology and Development](#)

年，卷(期)：2013(9)

参考文献(12条)

1.[Tao Wenhua](#).[Yue Heng](#).[Chai Tianyou](#) Modeling and control of coal-pulverizing systems with ball mill
2003 (03)

2.[Li Zunji](#).[Wang Lijun](#) Application of fuzzy control in ball mill process 1997(01)

3.[Yue Heng](#).[Zhou Xiaojie](#).[Wang Xin](#) A simulation system for intelligent decoupling control of coal-
pulverizing systems with ball mill[期刊论文]-[Journal of System Simulation](#) 2002(10)

4.[Qu Zhao](#) Application of fuzzy controller with neural decou-pling to control system of ball mills
2004(01)

5.[舒怀林](#) PID神经网络对强解耦合带时延多变量系统的解耦控制 1998(06)

6.[Fu Hailong](#).[Li Meng](#) Variable-air-volume air-conditioning system based on PID-ANN decoupling control
technology[期刊论文]-[Journal of Southwest Jiaotong University](#) 2005(01)

7.[韩江洪](#).[李正荣](#).[魏振春](#) 一种自适应粒子群优化算法及其仿真研究[期刊论文]-[系统仿真学报](#) 2006(10)

8.[王凌](#).[刘波](#) 微粒群优化与调度算法 2008

9.[Stacey A](#).[Jancic M](#).[Grundy I](#) Particle swarm optimization with mutation 2003

10.[高海兵](#).[高亮](#).[周驰](#) 基于粒子群优化的神经网络训练算法研究[期刊论文]-[电子学报](#) 2004(09)

11.[Reynolds C](#) Boids-Background and Update 2001

12.[Wilson E O](#) Socialbiology:the New Synthesis 1975

本文链接：http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjtz201309040.aspx