

基于鱼群算法和 Hopfield 网络的 PID 参数寻优

汪蓓蕾¹

摘要

提出 1 种融合了人工鱼群算法与 Hopfield 神经网络的 PID 参数优化算法. 该算法前期利用鱼群算法快速随机的群体性全局搜索能力生成问题较优的可行解域, 后期利用 Hopfield 神经网络硬件易实现简单快速的优点得到最优解, 有效弥补了 Hopfield 网络对初始值过于依赖容易陷入局部极值的缺陷. 将该算法用于某发动机 PID 控制中的参数寻优, 结果表明新混合算法的整定效果好于 Hopfield 神经网络, 且该算法简单易实现.

关键词

PID 参数寻优; 人工鱼群算法; Hopfield 神经网络

中图分类号 TP391

文献标志码 A

0 引言

Introduction

在生产过程自动控制的发展历程中, PID 控制是最早发展起来的控制策略之一, 它具有原理简单、使用方便、鲁棒性强、效果满意等优点, 得到了最广泛的应用, 即使在控制理论和技术应用飞速发展的今天, 控制工程领域中仍有约 90% 的控制回路具有 PID 结构^[1]. PID 控制的参数优化, 是指在控制对象已知、控制器结构、型式确定的情况下, 通过调整控制器的参数, 使控制系统的调节品质达到最佳状态^[2]. 模拟 PID 控制系统原理如图 1 所示.

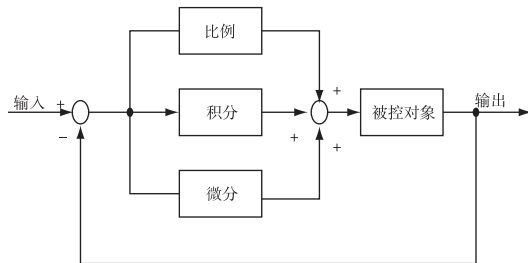


图 1 模拟 PID 控制系统原理

Fig. 1 The principle block diagram of analog PID control system

PID 的控制规律为

$$u(k) = k_p \text{error}(k) + k_i \sum_{j=0}^k \text{error}(j)T + k_d \frac{\text{error}(k) - \text{error}(k-1)}{T}. \quad (1)$$

式中: k_p 、 k_i 、 k_d 是 PID 控制器的 3 个参数; T 为采样周期; k 为采样序号; $\text{error}(k-1)$ 和 $\text{error}(k)$ 分别为第 $(k-1)$ 和第 k 时刻所得的偏差信号; $u(k)$ 是 PID 控制器输出值.

传统的 PID 参数整定多采用经验数据法、试凑法和扩充临界比例度法, 但随着现代工业的发展, 被控对象变得越来越复杂, 常规 PID 控制整定出的参数往往不再能保持满意的控制效果, 甚至会出现振荡或发散现象. 为了改善 PID 控制算法的性能, 国际上很多学者对 PID 控制进行了大量的研究与改进, 出现了非线性 PID (Nonlinear PID, NLPID)、最优 PID、鲁棒 PID、智能 PID 以及自适应 PID 等许多新型的 PID 控制算法. 采用遗传算法、蚁群算法、粒子群算法等仿生优化算法对 PID 控制参数进行优化已逐渐成为 PID 应用领域中 1 个新的研究

收稿日期 2009-06-03

作者简介

汪蓓蕾, 女, 硕士生, 主要研究方向为智能控制与计算机仿真. wangbeilei1900@yahoo. cn

¹ 南京信息工程大学 信息与控制学院, 南京, 210044

内容^[3].

本文采用改进人工鱼群算法后的参数优化方法——人工鱼群-Hopfield 神经网络算法 (FHA) 来进行 PID 控制参数的确定. 鱼群算法属于模拟自然界生物系统, 完全依赖生物体自身本能、通过无意识寻优行为来优化其生存状态以适应环境需要的最优化智能算法, 它不依赖于优化问题本身严格的数学性质, 具有自组织性和进化性, 寻优结果得到的是 1 个最优解域. Hopfield 神经网络硬件实现较为简单, 有较高的求解效率, 缺点是对初始值过于依赖, 容易陷入局部极值. 仿真结果表明, 将这两种算法融合来解决 PID 参数寻优问题能使 PID 控制器具有良好的鲁棒性和满意的控制效果.

1 人工鱼群-Hopfield 神经网络算法

AFSA-Hopfield algorithm

1.1 人工鱼群算法

人工鱼群算法 (Artificial Fish-Swarm Algorithm, AFSA) 是文献[4]于 2002 年提出的 1 种基于动物行为的智能寻优算法, 目前处于新的研究改进阶段. 该算法采用自下而上的设计方法, 通过模拟鱼群的觅食和生存活动来实现在空间中寻求全局最优. 在这种群体活动过程中, 没有统一的协调者, 而是通过每个鱼类个体的自适应性行为而达到寻优的目的. 它从构造动物简单的底层行为做起, 通过各动物个体的局部寻优行为, 最终在群体中使全局最优值突现出来. 在该算法中, 人工鱼有 3 种行为: 觅食、聚群和追尾. 每条人工鱼搜索当前所处环境的状态, 按照“食物最多原则”或者“食物增加原则”从 3 种行为中选择一个合适的行为, 使得各个人工鱼不断向最优方向前进, 最终全部人工鱼集结在几个局部极值的周围, 且较优的极值区域周围一般能集结较多的人工鱼.

该算法本质上是 1 种基于比较目标函数值的搜索方法, 无需目标函数的梯度值, 因此具有良好的克服局部极值、取得全局极值的能力, 并且由于算法只使用目标函数的函数值, 故其对搜索空间具有一定的自适应能力.

1.2 Hopfield 神经网络

1982 年, Hopfield 提出了可用作联想存储器的互连网络, 这个网络成为 Hopfield 网络模型^[5-6]. Hopfield 神经网络模型是 1 种由非线性元件构成的反馈系统, 有离散型和连续型 2 种网络模型, 本文研

究 PID 参数的优化, 选用离散型 Hopfield 模型. 图 2

所示为 3 神经元组成的 Hopfield 神经网络.

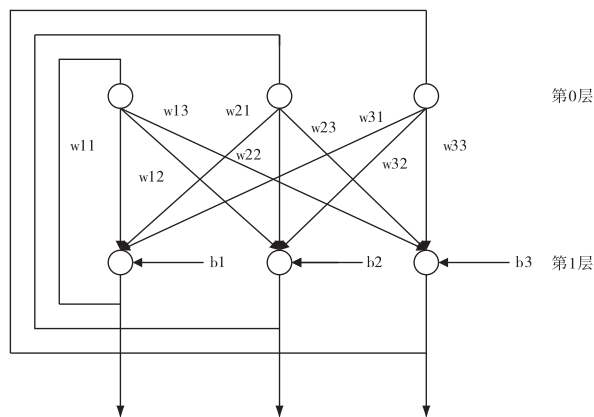


图 2 3 神经元组成的 Hopfield 网络

Fig. 2 Hopfield network composed of three neurons

在图中, 第 0 层仅仅是作为网络的输入, 它不是实际神经元, 所以无计算功能; 而第 1 层是实际神经元, 故而执行对输入信息和权系数乘积求累加和, 并由非线性函数 f 处理后产生输出信息. f 是 1 个简单的阈值函数, 如果神经元的输出信息大于等于阈值 θ , 那么, 神经元的输出就取值为 1; 小于阈值 θ , 则神经元的输出就取值为 -1.

动态更新方程如下式所示:

$$\begin{cases} u_i(t) = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n w_{ij} v_j(t) + b_i, \\ v_i(t+1) = f(u_i(t)). \end{cases} \quad (2)$$

给出能量函数如下:

$$E = -\frac{1}{2} \sum_{i=0}^n \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n w_{ij} v_i v_j - \sum_{i=1}^n b_i v_i + \sum_{i=1}^n q_i v_i. \quad (3)$$

在上述方程中, n 是神经网络神经元的个数; v_i 为第 i 个神经元的输出; u_i 为第 i 个神经元的输入; b_i 为外部输入, 它们都是时间的函数. w_{ij} 是第 j 神经元到第 i 个神经元的连接权值.

当 Hopfield 神经网络用于有优化计算时, 将目标函数与能量函数对应, 因此网络权值是确定的, 通过网络的运行使能量值达到最小, 从而得到问题对应的最优解.

1.3 鱼群-Hopfield 算法融合策略

鱼群算法和 Hopfield 神经网络相融合的基本思想是: 算法的前期充分利用人工鱼群算法的快速随机的群体性全局搜索能力生成问题较优的可行解域; 算法的后期采用 Hopfield 神经网络, 即利用前期

人工鱼群获得的较优可行解,作为 Hopfield 神经网络的初始搜索点,然后利用 Hopfield 神经网络硬件易实现、简单快速等优势找到最优解。

利用新混合算法获取最优 PID 参数的具体实现步骤如下:

- 1) 初始化鱼群算法控制参数,令时间计数器 $t=0$,循环次数 $g_i=0$;设定鱼群算法结束条件(g_{\min} 、 g_{\max} 、 g_{end} 、 $g_{\text{min-impro-ratio}}$);随机生成初始群体 $P(0)$ 。
- 2) 按优化函数评价各人工鱼的初始适应值。
- 3) 执行觅食、聚群、追尾运算,产生群体 $P(g+1)$ 。
- 4) 若满足鱼群算法结束条件,执行下一步,否则执行第 3 步。
- 5) 从 $P(g)$ 中选择适应能力强的 10% 的个体,放入一个新集合(记为 $S_{10\%}$)中,利用 K 均值算法计算其聚类中心。
- 6) 选择 1 个未被访问过的聚类中心作为 HNN 神经元的初始输出,能量函数对应目标函数和约束条件,神经元的输出对应问题的解。
- 7) 根据方程(1)更新 u_i, v_i 。
- 8) 如果满足终止条件继续下一步,否则转上一步。
- 9) 计算当前解的目标函数值。
- 10) 如果所有的聚类中心均被访问过,停止计算,否则转第 6 步。

2 在某发动机的 PID 参数寻优中的应用

The application in PID parameter optimization of a particular engine

为了检验本文提出的融合算法的性能,作为仿真算例,本设计选取的控制对象为某型高精度航空发动机,其传递函数为

$$G(S) = \frac{249\ 395}{S^3 + 89.658S^2 + 10\ 574S}, \quad (4)$$

利用仿真工具 MATLAB 在有干扰和时滞的情况下分别进行 2 次优化求解^[7-9]。

1) 输入信号为阶跃信号,在仿真时间 $t=0.5$ s 处加入一瞬间干扰信号。采样周期为 1 ms,算法选定群体数目 50 个, $g_{\min}=18$, $g_{\max}=60$, $g_{\text{end}}=5$, $g_{\text{min-impro-ratio}}=4\%$ 。仿真结果如图 3 所示,实线为采用混合算法进行优化的结果,虚线为传统 Hopfield 神经网络算法所得结果。

2) 输入信号为占空比是 50% 的脉冲信号,在被

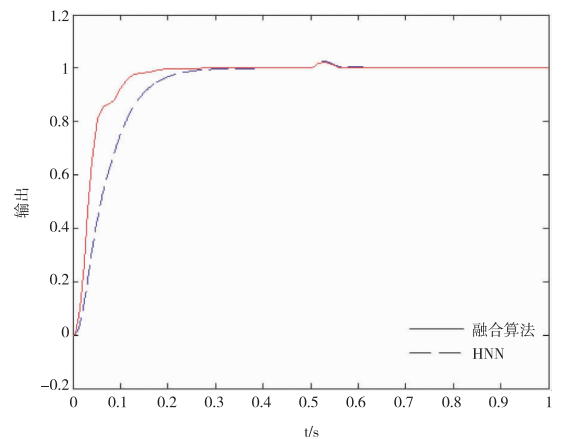


图 3 添加干扰的闭环响应

Fig. 3 Closed-loop response in the presence of interference

控对象传递函数中添加延迟环节,采样周期为 1 ms,延迟时间为 50 个采样周期。算法选定群体数目 50 个, $g_{\min}=20$, $g_{\max}=60$, $g_{\text{end}}=5$, $g_{\text{min-impro-ratio}}=5\%$ ^[6-8]。仿真结果如图 4 所示。

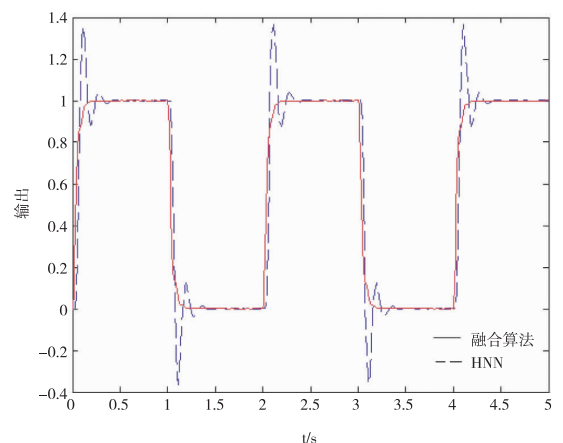


图 4 有时滞的闭环响应

Fig. 4 Closed-loop response in the presence of delay

可以看出,基于混合鱼群-Hopfield 算法获得的 PID 控制器对输入信号的动态响应较快,控制精度较高,响应速度快,调节时间和上升时间短,在遇到干扰时能快速地回到平衡位置,达到了较好的控制效果。

3 结论

Conclusion

本文提出 1 种将鱼群算法与 Hopfield 神经网络结合的混合优化算法,该算法利用了 2 种优化算法的优势,更好地处理了全局搜索与局部搜索之间的

关系. 仿真结果显示该混合算法是高效、实用的, 是 1 种有效可行的 PID 控制参数寻优方法.

参考文献

References

- [1] Astrom K J, Hagglund T. PID controllers: theory, design and tuning [M]. Press of Instrument Society of America, Research Triangle Park, NC, Second edition, 1995
- [2] 胡寿松. 自动控制原理[M]. 4 版. 北京: 科学出版社, 2007: 245-290
HU Shousong. Automatic control principle[M]. 4nd Ed. Beijing: Science Press, 2007: 245-290
- [3] Varol H A, Bingul Z. A new PID tuning technique using ant algorithm[J]. Proceeding of the 2004 American Control Conference, 2004(3): 2154-2159
- [4] 李晓磊. 一种基于动物自治体的寻优模式: 鱼群算法[J]. 系统工程理论与实践, 2002(11): 32-38
LI Xiaolei. An optimizing method based on autonomous animals: Fish Swarm Algorithm[J]. Theory and Practice of Systems Engineering, 2002(11): 32-38
- [5] 郭东辉, 刘瑞堂, 陈振湘, 等. Hopfield 神经网络的改进[J]. 厦
- 门大学学报: 自然科学版, 1993, 32(1): 33-38
GUO Donghui, LIU Ruitang, CHEN Zhenxiang, et al. The improvement of Hopfield Neural Network[J]. Journal of Xiamen University, 1993, 32(1): 33-38
- [6] Hopfield J J. Neurons with graded response have collective computational properties like those of two-state neurons[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 1982, 79: 2554-2558
- [7] 刘金琨. 先进 PID 控制 MATLAB 仿真[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004: 16-24
LIU Jinkun. Advanced PID control of MATLAB simulation[M]. Beijing: Electronics Industry Press, 2004: 16-24
- [8] 赵娟平. 神经网络 PID 控制策略及其 Matlab 仿真研究[J]. 微计算机信息, 2007, 3(1): 59-60
ZHAO Juanping. Research on strategies of neural networks PID control and its Matlab simulation[J]. Microcomputer Information, 2007, 3(1): 59-60
- [9] 张亮. MATLAB7. x 系统建模与仿真[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2006: 206-208
ZHANG Liang. System modeling and simulation based on MATLAB7. x[M]. Beijing: People's Posts & Telecom Press, 2006: 206-208

Optimization methodology of PID parameters based on artificial fish-swarm algorithm and Hopfield neural network

WANG Beilei¹

¹ College of Information and Control, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044

Abstract This paper proposes a new algorithm combining Artificial Fish-Swarm Algorithm (AFSA) with Hopfield Neural Network (HNN). This new algorithm utilizes the fast and stochastic global searching capacity of AFSA to find the relatively excellent feasible solution region in the previous period and then finds the optimal solution by using HNN's advantages of being simple and fast, so as to make up for the deficiency of HNN being prone to fall into local extremum due to its overdependence on initial value. The proposed algorithm is applied to optimize PID parameters of a particular engine. The results show that the tuning availability of the new algorithm is better than the HNN and it is a simple and feasible but effective optimization methodology of PID parameters.

Key words optimization of PID parameter; artificial fish-swarm algorithm; Hopfield neural network