

# 基于改进 PSO 算法的 PID 参数优化研究

李凌舟, 陈 利

(四川电力职业技术学院, 四川 成都 610072)

**摘 要:** 针对 PID 控制器的参数整定问题, 提出一种改进微粒群优化算法 (improved particle swarm optimization, IPSO)。算法是在基本 PSO 算法的惯性权重部分加入一个调节因子项, 通过调节因子的调节, 改善了算法的收敛性。仿真结果表明, IPSO 算法可以更好地优化 PID 控制器的参数, 使控制系统具有更好的控制性能。

**关键词:** PID 参数优化; 微粒群优化算法; 改进微粒群优化算法

**Abstract:** In view of the parameter setting of PID controller, an improved particle swarm optimization algorithm (IPSO) is presented. The proposed method expands the basic PSO to add a regulatory factor to the inertia weight, which significantly improves the convergence of PSO by regulating the factor. Simulation results indicate that the proposed approach can optimize the PID parameter and improve the performance of control system primarily.

**Key words:** PID parameter optimization; particle swarm optimization (PSO); improved particle swarm optimization (IPSO)

**中图分类号:** TM76 **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-6954(2009)05-0029-03

## 0 引 言

PID 控制具有结构简单、易于实现的优点, 能够满足多数工业控制的性能要求, 是目前广泛采用的一种控制方式。PID 控制器设计的关键之一就是其参数的整定问题。基于进化计算的参数整定方法是目前 PID 控制的研究热点。文献 [1] 采用蚁群算法对 PID 参数进行优化, 文献 [2] 采用遗传算法优化 PID 参数, 文献 [3] 提出一种基于改进遗传算法的 PID 参数整定策略。

微粒群 (Particle Swarm Optimization, PSO) 算法是由 Kennedy 和 Eberhart 博士于 1995 年受鸟类群体行为研究结果的启发, 而提出的一种基于群体智能的进化计算技术<sup>[4]</sup>。PSO 算法是一种高效、简单的并行搜索算法, 其优点在于概念简单、实现容易、鲁棒性好, 并且能以较大概率收敛到全局最优。在参数优化、多目标优化、约束问题优化、机组优化组合、负荷预测、无功优化等方面引起了广泛的关注。文献 [5] 提出一种基于线性递减惯性权重策略的 PID 参数整定方法, 然而由于控制对象的非线性, 线性递减关系可能只对某些问题有效, 对于大多数问题显然不是最佳的。

提出了一种改进 PSO 算法 (IPSO 算法), IPSO 算

法通过对惯性权重的改进, 改善了算法的收敛性。利用该算法优化 PID 控制器的参数, 可使优化后的控制系统具有更好的控制性能。

## 1 IPSO 算法

### 1.1 PSO 算法描述

PSO 算法是一种基于种群全局搜索的自适应进化算法, 其数学描述如下。

在 D 维搜索空间中有 s 个微粒, 设  $x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{id})$  为微粒 i 的当前位置; 设  $v_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{id})$  为微粒 i 的当前速度; 设  $p_i = (p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{id})$  为微粒 i 所经历的最好位置。

设  $f(x)$  为最小化的目标函数, 对于每一代粒子都根据下式进化。

$$v_{id}^{t+1} = \omega \cdot v_{id}^t + c_1 \cdot r_1 \cdot (p_{id}^1 - x_{id}^t) + c_2 \cdot r_2 \cdot (p_{gd}^1 - x_{id}^t) \quad (1)$$

$$\begin{cases} v_{id}^{t+1} = v_{max}, & \text{if } v_{id}^{t+1} > v_{max} \\ v_{id}^{t+1} = -v_{max}, & \text{if } v_{id}^{t+1} < -v_{max} \end{cases} \quad (2)$$

$$x_{id}^{t+1} = x_{id}^t + v_{id}^{t+1} \quad (3)$$

微粒 i 的当前最好位置  $p_i^{t+1}$  由下式确定。

$$p_i^{t+1} = \begin{cases} x_i^t & f(x_i^{t+1}) \geq f(x_i^t) \\ x_i^{t+1} & f(x_i^{t+1}) < f(x_i^t) \end{cases} \quad (4)$$

若群体中所有微粒所经历的最好位置为  $p_g$ , 则

所有微粒的最好位置由下式确定。

$$p_g = \min \{ f(p^1), f(p^2), \dots, f(p^t) \} \quad (5)$$

式中,  $t$  或  $t+1$  表示迭代次数,  $v_{max}$  为设定的最大飞行速度。 $\omega$  为惯性权重,  $a_1$  和  $a_2$  为加速常数, 通常取  $a_1 = a_2 = 2$ ,  $r_1$  和  $r_2$  为两个在  $[0, 1]$  范围内变化的随机数。

### 1.2 PSO 算法

微粒群算法中微粒的飞行速度相当于搜索步长, 其大小直接影响着算法的全局收敛性。当微粒的飞行速度较大时, 可以保证微粒以较快的速度飞向全局最优解所在的区域。但是当逼近最优解时, 由于微粒的飞行速度过快, 又很容易飞越最优解。由式 (1) 可知, 惯性权重  $\omega$  是影响算法收敛性和收敛速度重要参数。在算法的初期, 希望算法有较快的收敛速度, 此时  $\omega$  值不能太小。在算法的后期, 希望算法有较好的收敛精度, 即需要较小的变化步长, 此阶段  $\omega$  值应相应取小, 易于算法收敛。

基于以上分析, 提出一种 IPSO 算法。算法按照式 (6) 实现惯性权重的非线性调整, 从而保证在算法的前期有较大的收敛速度, 而在后期能以较大概率收敛到全局最优。式中  $\alpha$  称为调节因子,  $t$  及  $t+1$  表示迭代次数。

$$\omega(t+1) = \alpha \cdot \omega(t) \quad (0 < \alpha < 1) \quad (6)$$

### 1.3 PSO 算法流程

IPSO 算法的流程如下。

1) 初始化所有微粒, 在允许范围内随机设定微粒的初始位置和速度, 每个微粒的  $p_{best}$  设为其初始位置,  $p_{best}$  中最好的值设为  $g_{best}$

2) 评价每个微粒的适应值, 计算每个微粒的目标函数;

3) 按照式 (4) 将每个微粒的适应值与其经历过的最好位置  $p_{best}$  的适应值进行比较, 如果优于  $p_{best}$  则将其作为当前的最好位置  $p_{best}$

4) 对每个微粒, 将其适应值与群体所经历过的最好位置  $g_{best}$  进行比较, 如果优于  $g_{best}$  则将其作为群体最优位置, 并重新设置  $g_{best}$  的索引号;

5) 根据方程 (1)、(2)、(3)、(6) 调整当前微粒的速度、位置和惯性权重;

6) 检查算法是否满足最大迭代次数或者所有微粒均已收敛, 若条件满足终止迭代, 否则返回 2)。

## 2 PID 控制

PID 控制器分为模拟和数字两种, 前者主要用于连续系统, 后者用于离散系统和采样控制系统。图 1 所示为单位负反馈 PID 控制系统原理图。

PID 控制器是一种线性控制器。图 1 所示系统的偏差信号为

$$e(t) = r(t) - y(t)$$

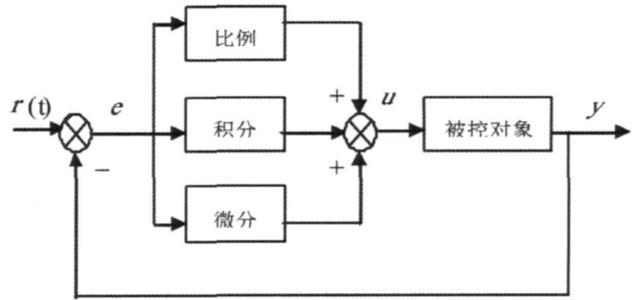


图 1 单位负反馈 PID 控制系统原理图

PID 控制器是将偏差信号  $e(t)$  进行比例放大 (P)、积分 (I)、微分 (D) 运算后, 再将它们进行线性组合, 构成控制量  $u(t)$ , 进而对被控对象进行控制。

PID 控制器的数学描述为

$$u(t) = K_p [ e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} ] \quad (7)$$

令  $K_i = \frac{K_p}{T_i}$ ,  $K_p = K_p T_d$ , 式 (7) 的传递函数形式可被表述为

$$G_c(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \quad (8)$$

## 3 仿真实例

本仿真实例是利用 IPSO 算法对工业用的采用 PID 控制器的风机进行控制器参数优化。

### 3.1 数学模型及仿真模型的建立

式 (9) 为控制对象的数学模型, 在 MATLAB 环境下建立的仿真模型如图 2 所示。

$$G(s) = \frac{400}{s^2 + 50s + 5} \quad (9)$$

### 3.2 IPSO 算法优化 PID 参数

PID 控制器中需要优化的参数有三个即:  $K_p$ 、 $K_i$ 、 $K_d$ , 故 IPSO 算法的维数  $D$  取 3; 选择种群数  $m = 30$ ;

最大迭代次数 100 代;初始化  $\omega=1.2$ , 调节因子  $\alpha$  取值 0.98。文献 [6] 依据 ZN 法将 PID 参数整定为:  $K_p=0.25$ ,  $K_i=0.01$ ,  $K_d=0.0025$ 。以 ZN 法整定的  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$  值为中心, 对种群初始化。

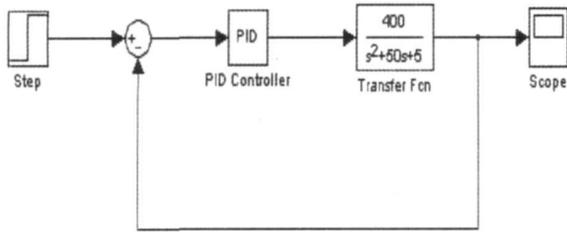


图 2 采用 PD 控制的仿真模型

目标函数采用误差绝对值积分 (IAE)。

$$f(x) = \int_0^{\infty} |e(t)| dt$$

其中,  $e(t)$  定义为输入信号与输出信号之差。

### 3.3 仿真实验分析

ZN 法整定的  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$  值的单位阶跃响应曲线如图 3 所示, 可以看出其输出响应是有差的, 表明利用 ZN 法整定的 PID 参数并不理想。

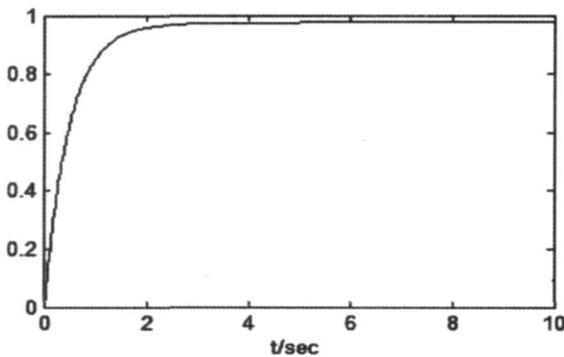


图 3 ZN 法整定参数的 PD 控制响应曲线

为了对比说明, 下面的仿真实验采用了三种 PSO 算法, 即: 惯性权重取恒定值 ( $\omega=0.8$ ) PSO 算法、线性递减惯性权重 PSO 算法 (SPSO 算法) 及所提出的 IPSO 算法。三种 PSO 算法优化后的  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$  参数值如表 1 所示, 优化过程曲线如图 4 所示, 优化后控制系统的单位阶跃响应曲线如图 5 所示。

表 1 三种 PSO 算法优化结果

算法	$K_p$	$K_i$	$K_d$
PSO ( $\omega=0.7$ )	0.271 05	0.029 50	0.014 10
SPSO	0.384 66	0.039 41	0.002 75
IPSO	0.629 72	0.053 11	0.000 13

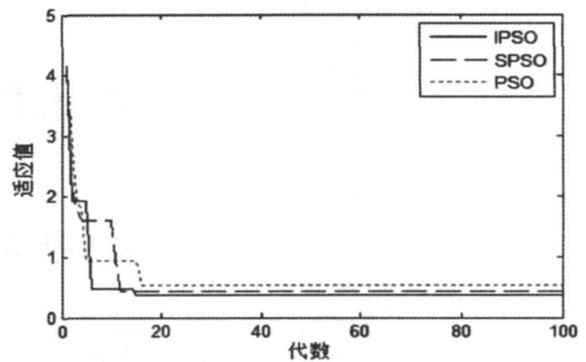


图 4 三种 PSO 算法优化过程

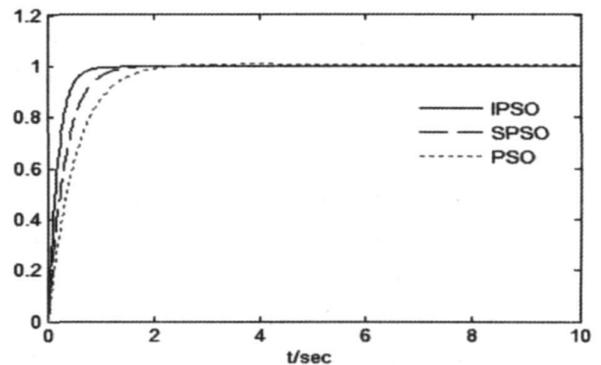


图 5 优化后 PD 控制响应曲线

## 4 结 论

通过仿真分析可以看出, PSO 算法是一种有效的优化算法。与基本 PSO 算法及 SPSO 算法相比, 根据提出的 IPSO 算法, 可以更好地优化 PID 控制器参数, 使得优化后的控制系统具有更好的控制性能。

### 参考文献

- [1] 段海滨, 王道波, 黄向华. 基于蚁群算法的 PID 参数优化 [J]. 武汉大学学报 (工学版), 2004, 37 (5): 97-100.
- [2] 周凯汀, 郑力新. 进化算法的 PID 参数最优设计 [J]. 华侨大学学报 (自然科学版), 2005, 26 (1): 85-88.
- [3] 孙建平, 闫蕾, 李妍. 基于改进遗传算法的模糊 PID 控制器设计 [J]. 仪器仪表学报, 2006, 27 (6): 1991-1992.
- [4] Kennedy J, Eberhart R. Particle swarm optimization [A]. Proc IEEE Int Conf on Neural Networks [C]. Perth, 1995. 1942-1948.
- [5] 王介生, 王金城, 王伟. 基于粒子群算法的 PID 控制器参

(下转第 91 页)

$I_a, I_b, I_c$  为本侧电流,  $I_{a'}, I_{b'}, I_{c'}$  为本侧装置采对侧电流 (实际相序是 BCA)。

根据余玄定理  $I_a - I_{a'}$  的幅值 (A 相差流) 应为:

$$\sqrt{I_a^2 + I_{a'}^2 - 2I_a I_{a'} \cos 120^\circ} \approx 0.7; \text{BC 两相同理。}$$

。

故该线路停运后将相序按照 ABC 相序调回后, 差流消失, 该线路恢复正常运行。

## 5 对其他问题的认识

### 5.1 危险性应充分考虑

在继电保护装置更换中, 应当考虑到由于继电保护装置接线复杂, 拆除及接入容易出问题, 造成危害。在进行更换前, 必须解决此类事故隐患, 保证更换工作顺利进行。由于拆除屏箱及重新安装屏箱时, 双母线等主接线保护屏存在启动母线保护失灵, 启动故障录波器、远动信号等, 二次电压短路、二次电流开路也存在十分大的危险性。为保证安全, 在施工中找出更换保护优选法、拆线、测量与被测量接入的方法, 提高了质量与效益。在更换屏的过程中, 应当确保继电保护的可靠性。

### 5.2 带电更换时优先考虑减少带电操作

在更换保护时, 应当尽量减少带电操作, 这样减少出错的概率。由于本次保护屏的更换, 附件没有空余的地方, 因此不能采用先安装后停电的方案, 在调度负荷转移并停电后进行了操作。在更换时, 在拆除屏前, 首先检验在没有电压的情况下进行, 然后拆除相关连接回路 (失灵、联跳等), 再进行新屏的安装。在安装时, 对于失灵等危险点的部分则可考虑暂不接入, 在投运前接入。

### 5.3 更换保护屏应注意电缆

为保证质量, 设计要求  $<100\text{m}$  的电缆, 既屏与屏的联系电缆重新敷设新电缆, 对于长距离的电缆从节约材料、人力出发, 检查结果合格后使用。重新使用的电缆必须符合以下要求:

电缆型号应符合设计。屏蔽线用  $4\text{mm}^2$  的多股铜线安装好。

电缆外观检查无锈蚀、老化, 用钩刀 (做电缆专用工具) 剥开  $0.5\text{m}$  钢铠后检查电缆钢铠、塑料护层、导线芯崭新如故。

对于电缆绝缘电阻对地、相对相之间  $>100\text{M}\Omega$ , 即可使用。号头、号牌使用专用微机烫印机。在进行更换过程中, 可采用新旧电缆结合, 节约了人力及物力。

### 5.4 保护对调

由于南自厂 PSL602U 主保护为光纤转高频保护, 在全川也是第一套新上。在调试过程中应该特别注意其中的一个重要逻辑, 即平时光纤通道正常时主保护为光纤保护, 当光纤通道出现异常时, 主保护应该自动切换到高频保护。

### 5.5 传动试验

根据调试要求, 通过断路器联动检查回路正确, 信号发出无误。有时发现断路器的回路不正确, 可拆除断路器跳合闸回路的连线, 接上分相操作模拟试验箱, 再带断路器联动, 以减少断路器开合闸次数。在调试时, 还应检验断路器合闸线圈的压降不小于额定值的  $90\%$ 。

更换后的保护屏经过 12 个月的运行, 据绵阳电业局继保班的调查核实, 2 套保护屏的继电保护装置动作正确率达  $100\%$ , 满足了系统对继电保护装置的基本要求。

(收稿日期: 2009-07-10)

(上接第 31 页)

数自整定 [J]. 控制与决策, 2005, 20(1): 73-77.

[6] 陈卫国. 基于微粒群算法的智能控制系统研究与应用 [C]. 湖南大学硕士学位论文, 2006.

作者简介:

李凌舟 (1973-), 女, 讲师, 研究方向为电力系统及其自动化。

陈利 (1971-), 女, 讲师, 研究方向为电力系统自动化及故障诊断。

(收稿日期: 2009-09-10)

# 节约能源 保护环境