

文章编号: 1671-251X(2009)11-0062-04

基于竞选算法的各性能指标下 PID 整定研究*

张林海¹, 赵玉军¹, 吕文阁²

(1. 南阳理工学院, 河南 南阳 473003; 2. 广东工业大学机电学院, 广东 广州 511900)

摘要: 分别以 IAE、ITAE、ISE、ISTE 为优化目标, 将竞选算法用于伺服系统控制的 PID 参数整定, 研究了各性能指标对系统在基于竞选算法的 PID 整定时的影响, 给出了算法的仿真结果。结果表明, 竞选算法从全局得到了更好性能指标的搜索结果, 对参数整定优化策略具有很强的灵活性、适应性和鲁棒性。

关键词: 性能指标; 竞选算法; Ziegler-Nichols 整定; PID 控制器; 参数优化

中图分类号: TP202 文献标识码: A

0 引言

PID 控制器是一种线性控制器, 在本质上是一种对“过去”、“现在”和“未来”信息估计的控制算法, 有着滞后-超前校正的作用。PID 控制是控制工程领域历史悠久、生命力最强的基本控制方式之一, 它根据被控过程的特性确定 PID 控制器的比例系数、积分时间和微分时间的大小, PID 控制器的参数整定也是控制系统设计的核心内容。

工程中所用的参数整定方法很多, 如 Ziegler-Nichols 整定方法(Z-N 法)、临界比例度法、衰减曲线法、经验试凑法等。其中以基于系统稳定性分析的 Z-N 法最为常用, 其具体整定方法如下: 首先, 置 $k_i = k_d = 0$, 然后增加比例系数一直到系统开始振荡(闭环系统的极点在 $j\omega$ 轴上); 再将该比例系数乘以 0.6, 其它参数按照以下公式计算:

$$k_p = 0.6k_m; k_d = k_p \pi / (4\omega); k_i = k_p \omega / \pi$$

收稿日期: 2009-07-22

* 基金项目: 高等学校博士学科点专项科研基金资助课题(20050562003), 广东省自然科学基金资助项目(07001844)

作者简介: 张林海(1976-), 男, 硕士, 助教, 2009 年 6 月毕业于广东工业大学, 现为南阳理工学院机电系教师, 研究方向为优化与自动控制, 已发表文章 4 篇。E-mail: zhlinhai2005@163.com

式中: k_p 为比例控制参数; k_d 为微分控制参数; k_i 为积分控制参数; k_m 为系统开始振荡时的比例值; ω 为振荡时的频率。这些方法在设计过程中无需考虑任何特性要求, 整定方法非常简单, 但控制效果却甚理想。而且是由人工进行优化, 优化工作不仅需要熟练的技巧, 往往还相当费时, 更重要的是当被控对象特性发生变化需要控制参数作相应改变时, PID 控制器没有自适应能力, 只能依靠人工重新优化参数。

鉴于此, 在 Z-N 法大致设定一个经验值基础上, 本文基于竞选算法将对 PID 控制器的参数在各种性能指标下进行优化整定, 其仿真研究表明了该方法的有效性。

1 PID 控制器参数的竞选算法寻优

1.1 竞选算法思想

竞选是人类社会的一项重要活动, 竞选人通过一系列竞选行为, 以期望获得选民的最大支持。竞选人通过对选民们的抽样调查来估算当前支持情况, 并以此来决定下一步竞选行动。为了获得选民们的更高支持, 竞选人总是趋向具有较高威望选民的位置。竞选是竞选人追求选民们的支持; 而优化是从问题的求解域中寻找出最优解, 两者在过

- [2] 郭茂, 彭白杨, 冯旭. 电力系统实时相角测量新方法[J]. 电测与仪表, 2000, 37(419): 21-22.
- [3] 姜萍, 侯孝民. 一种基于滑动 DFT 的信号解调算法[J]. 飞行器测控学报, 2006, 6(15): 56-58.
- [4] 段俊东, 尹秀刚, 孙彦楷, 等. 基于 G 的母线电压相角测量研究及实现[J]. 电力系统保护与控制, 2008, 36(15): 72-73.
- [5] 盛寿麟, 尹更生. 电力系统远动原理及应用[M]. 北京: 电力工业出版社, 1980.
- [6] 卢志刚, 穆永民. GPS 技术在实时相角测量中的应用[J]. 电力自动化设备, 2000, 20(6): 22-22.
- [7] 韩英锋, 王仲鸿. 电力系统的三项前沿课题: 基于 GPS 的动态安全分析与监测系统[J]. 清华大学学报, 1997, 37(7): 1-6.

程上和原理上都存在着一定相似性。可以想象,竞选过程中应该蕴涵着一种优化思想和机制,可以借鉴这一思想模拟这一机制而建立一个优化算法。竞选算法就是一种模拟竞选过程的优化算法。

1.2 常规 PID 控制系统

常规 PID 控制系统原理框图如图 1 所示。

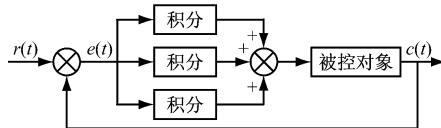


图 1 常规 PID 控制系统原理框图

给定值 $r(t)$ 与实际输出值 $c(t)$ 构成控制偏差 $e(t) = r(t) - c(t)$, 将偏差的比例(P)、积分(I)和微分(D)通过线性组合构成控制量, 对被控对象进行控制, 故称 PID 控制器。控制规律:

$$c(t) = k_p \left[e(t) + \frac{1}{k_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + k_d \frac{de}{dt} \right] \quad (1)$$

其传递函数形式:

$$G(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = k_p \left(1 + \frac{1}{k_i s} + k_d s \right) \quad (2)$$

式(2)在被控对象模型已知的情况下, PID 控制器只有 3 个参数需要确定, 分别为 k_p 、 k_i 和 k_d 。

不同的工业生产过程, 由于控制目的的不同, 在进行 PID 控制器参数整定时, 对性能指标的选择也往往有所不同。常见的性能指标有 2 种, 即基于系统闭环响应特性的单项性能指标, 如衰减比、最大动态偏差、调节时间或振荡周期等和基于从起始时间点至稳定时间为整个响应曲线形态的误差性能指标。单项性能指标直观、简单并且意义明确, 但是难以准确衡量; 误差性能指标比较精确, 但相比之下使用起来又比较麻烦。常见的基于误差的性能指标有 IAE 、 ISE 、 $ITAE$ 、 $ISTE$ 。

(1) 绝对误差积分(IAE) 性能指标

$$IAE - J = \int_0^\infty |e(t)| dt \quad (3)$$

(2) 平方误差积分(ISE) 性能指标

$$ISE - J = \int_0^\infty |e^2(t)| dt \quad (4)$$

(3) 时间与绝对误差乘积积分($ITAE$) 性能指标

$$ITAE - J = \int_0^\infty t |e(t)| dt \quad (5)$$

(4) 时间与误差平方乘积积分($ISTE$) 性能指标

$$ISTE - J = \int_0^\infty t |e^2(t)| dt \quad (6)$$

2 仿真算例

某一伺服系统的被控制对象为

$$G(s) = \frac{400}{s(s^3 + 300s^2 + 200s)} \quad (7)$$

输入为一阶跃信号, 并选用 IAE 、 ISE 、 $ITAE$ 、 $ISTE$ 作为参数选取得最优指标。先以 Z-N 法确定一可行解域, 在 Matlab 软件环境下, 利用 `rlcous` 和 `rlcfind` 函数采用 Z-N 法得到 PID 参数: 穿越增益 $k_m = 14.9696$, 穿越频率 $w_m = 14.1304 \text{ rad/s}$; $k_p = 8.6709$, $k_i = 38.4407$, $k_d = 0.4890$, $J = 5.1008$ 。

以下为用竞选算法对 PID 参数寻优的程序设计步骤。其中竞选人为优化的参数, 竞选人的维数为 3 维, 分别表示 PID 的 3 个参数 k_p 、 k_i 、 k_d 。

(1) 设定竞选人个数为 3, 设定竞选人的维数为 3, 分别为 k_p 、 k_i 、 k_d , 设定值范围为 $0k_p, k_i, k_d 40$ 。利用 `rand` 函数在该设定值范围内随机产生竞选人与全局选民的初值。

(2) 生成局部抽样调查选民: 在竞选人周围使用正态分布产生局部抽样调查选民。正态分布记为 $N(\mu, \sigma^2)$, 其概率密度函数为

$$f_N(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2} \right] \quad -\infty \leq x \leq \infty \quad (8)$$

式中: μ 为均值; σ^2 为均方差。

同时在整个解空间按均匀分布概率生成选民的全局选民的样本 SP_j , 其生成函数与生成竞选人样本方法相同。归一成所有的选民样本 x_{V_j} , 同竞选人一样, x 的 3 个维数为 k_p 、 k_i 、 k_d 。

(3) 计算抽样调查选民(局部和全局调查样本)的地位, 即各选民的适应值 P_i , 本例中适应值为其性能指标值 J 。

(4) 计算每一个竞选人与所有抽样调查选民之间的距离(作为影响) $D_{C_i V_j} = |x_{C_i} - x_{V_j}|$, 距离和为

$SD_{C_i V_j} = \sum_{i,j}^{id, sd} D_{C_i V_j}$, 其中 id 、 sd 分别为选民总人数、竞选总人数。确定每一个竞选人对选民的支持 $S_{V_i C_j}$ (与两者之间距离成反比), $S_{V_i C_j} = P_i \times D_{C_i V_j}^{-1}$, 支持和为 $SS_{C_i V_j} = \sum_{i,j}^{id, sd} S_{C_i V_j}$ 。

(5) 对每个抽样调查选民, 将所有竞选人对其产生的支持进行归一化处理, 得到每个选民对每个竞选人的贡献 $Q_{V_i C_j} = P_i / D_{C_i V_j} / SS_{C_i V_j}$ 。

(6) 对每个竞选人, 将每个选民坐标与贡献相

乘后求和, 得到支持重心 $x_{C_i}^m = \sum Q_{V_j} C_i x_{V_j}$, 即是下次循环的竞选人样本。

(7) 为了防止搜索过程收敛与局部最优解, 比较抽样调查选民的地位与竞选人的地位, 如果选民的地位高于竞选人的地位, 高地位选民参选而成为竞选人, 低地位竞选人被淘汰。

(8) 判断是否满足要求, 否则返回步骤 2, 进行下一循环的计算。

进行 20 次循环, 各性能指标下的 k_p 、 k_i 、 k_d 及 J 仿真值如图 2、3、4、5 所示; 表 1 为各性能指标下取得最优 J 值时所得到的 k_p 、 k_i 、 k_d , 其中括号中的数值是 Z-N 法下取得的 J 值, T 为在本计算机下的运行时间。本机配置: Internet (R) pentium (R) dual E2180 2.00 GHz, 1.00G 内存。图 6 为各性能指标下取得最优 J 值时控制系统的阶跃响应曲线。

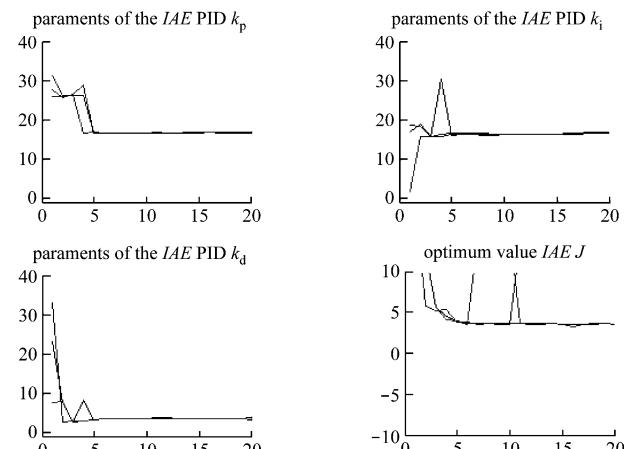


图 2 IAE 性能指标下的 k_p 、 k_i 、 k_d 、 J 仿真值曲线

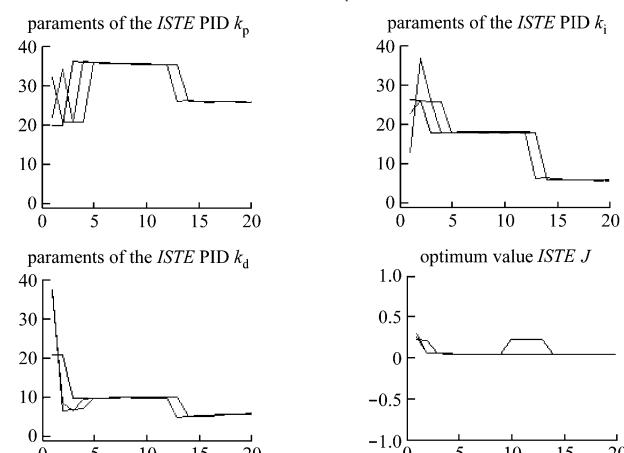


图 3 ISTE 性能指标下的 k_p 、 k_i 、 k_d 、 J 仿真值曲线

由精确数学模型, 在目标函数的引导下, 竞选算法能够自动地完成 PID 控制参数的搜索, 使闭环系统性能接近期望性能。算法大概经过 5~15 次循环

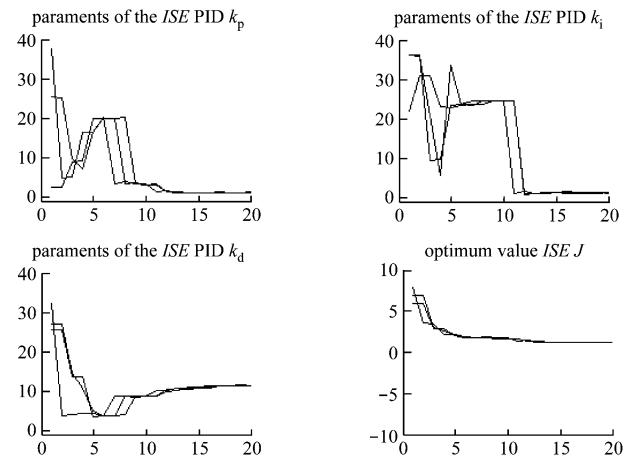


图 4 ISE 性能指标下的 k_p 、 k_i 、 k_d 、 J 仿真值曲线

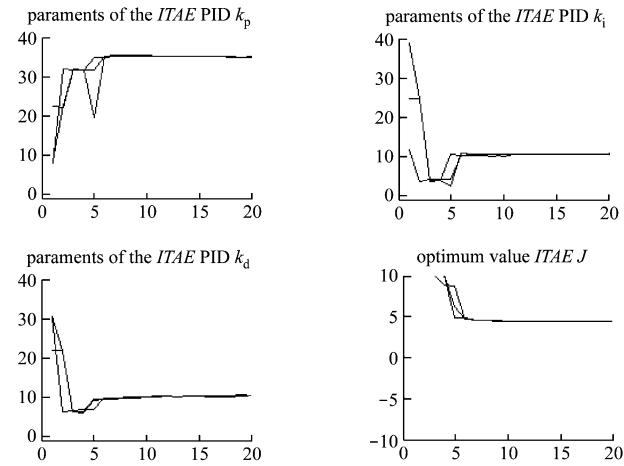


图 5 ITAE 性能指标下的 k_p 、 k_i 、 k_d 、 J 仿真值曲线

以后, 性能指标 J 值收敛。而 PID 三个参数是在允许范围内动态变化, 且保证 J 值收敛。此时伺服系统在阶跃输入信号下, Z-N 法、ESA 法的闭环响应曲线如图 6 所示。经过搜索可以得到 PID 最优控制参数, 如表 1 所示。

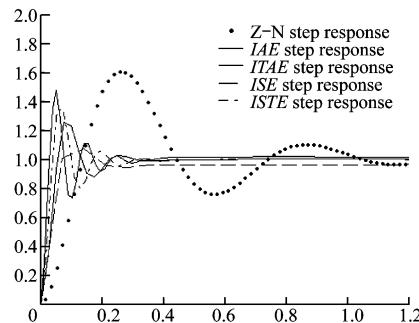


图 6 Z-N 法及各性能指标下取最优 J 值时的阶跃曲线

由图 2、3、4、5 的仿真结果及表 1 可知, 基于竞选算法的各性能指标的超调量为 40% 左右, 稳定时间在 0.3 s 以内, 而 Z-N 法为 60%, 稳定时间在 1.2 s 以上, 并且 ISE 指标下的控制性能为最优。PID 控制竞选算法参数寻优后的伺服系统对输入

文章编号: 1671- 251X(2009) 11- 0065- 04

简单电力系统静态稳定性分析及研究

刘景霞

(内蒙古科技大学信息工程学院, 内蒙古 包头 014010)

摘要: 文章以单机-无穷大系统为例, 分析了影响电力系统静态稳定性的因素, 介绍了静态稳定性的分析方法, 提出了提高电力系统静态稳定性的措施。通过采取改善电力系统基本元件的特性和参数及采用附加装置等措施, 提高了电力系统的静态稳定性。

关键词: 电力系统; 单机-无穷大系统; 静态稳定性; PSS

中图分类号: TM762 **文献标识码:** A

0 引言

近年来, 随着发电机容量的不断增大, 远方水电厂到负荷中心的长距离输电线路的出现使得发电机

收稿日期: 2009- 07- 15

作者简介: 刘景霞(1971-), 女, 讲师, 1996年7月毕业于内蒙古工业大学, 1999年在北京科技大学进修计算机应用硕士研究生课程, 现在内蒙古科技大学信息工程学院自动化系从事电气工程及其自动化方面的教学与科研工作, 已发表文章5篇。E-mail: liujingxia1971@yahoo.com.cn

间的联系变得比较松散, 出现了输送功率的极限问题。当前我国的电力负荷急剧增加, 电力系统的容量越来越大, 对电力系统安全运行的要求也越来越高。电力系统静态稳定性问题已经成为制约电力系统安全运行的重要因素之一。为了提高电力系统的静态稳定性, 在这一研究领域内已有相当多的研究成果应用于工程实际, 并产生了巨大的经济和社会效益。随着电网规模的扩大, 早期的稳定理论逐渐不能适应现代稳定分析的需求, 因此, 电力系统的研究者们提出了许多新的理论和分析方法。

PID参数优化策略在控制工程领域中将有十分广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] ZIEGLER J G, NIEHOLS N B. Optimum Settings for Automation Controllers [J]. Trans. ASME, 1942, 64: 759-768.
- [2] ZHUANG M, AETHERTON D. Automatic Tuning of Optimum PID Controllers [J]. Proceedings of IEE, Part D. 1993, 140: 216-224.
- [3] 黄忠霖. 控制系统 MATLAB 计算及仿真[M]. 北京: 国防工业出版社, 2004.
- [4] 刘金琨. 先进 PID 控制及其 Matlab 仿真[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.
- [5] 郑玲利, 吕文阁. 基于竞选算法的机床主轴结构优化设计[J]. 机械设计与制造, 2006(8): 35-37.
- [6] 杜健辉, 吕文阁, 侯梦华. 基于竞选算法的 Otsu 阈值快速确定方法[J]. 机电工程技术, 2007, 36(3): 57-58.
- [7] 吕文阁, 杜健辉, 李劲, 等. 用竞选算法优化双万向轴的设计[J]. 材料研究与应用, 2007, 1(3): 221-223.

表 1 各性能指标下取最优 J 值时的 k_p 、 k_i 、 k_d 及计算时间 T 参数表

	k_p	k_i	k_d	J (Z-N 法 J 值)	T
Z-N 法	8.6709	38.4407	0.4890		
IAE	16.6888	17.0555	3.6211	3.5135(15.1991)	7.6400
ITAE	35.1429	10.4219	10.2668	0.0710(0.6120)	7.5780
ISE	1.0222	0.9853	11.3375	1.1401(7.3205)	7.8600
ISTE	25.6475	5.6202	6.1221	1.7874(7.3205)	7.7970

信号的动态响应很快, 控制精度较高。用竞选算法实现参数优化大大提高了 PID 控制器的设计与实现效率。

3 结语

仿真研究表明, 本文提出的基于竞选算法的 PID 参数优化策略是有效可行的。竞选算法寻优简单、易于并行化, 是一种效率较高的寻优方法, 是 PID 参数优化的很好方法, 使处理问题更具灵活性、适应性。该方案不仅能提高控制系统设计的品质, 而且能降低设计的难度。因此, 基于竞选算法的