

文章编号: 1005—8893 (2005) 03—0041—04

基于遗传算法的 PID 参数寻优^{*}

邹 凌¹, 杨 力², 邹莹梅²

(1. 江苏工业学院 计算机科学与工程系, 江苏 常州 213016)

摘要: 针对工业过程中常见的二阶大滞后对象的 PID 参数调节问题, 采用具有全局优化能力的遗传算法对 PID 参数调节和优化, 并同单纯形算法作了比较。仿真结果表明了遗传算法应用于控制器参数优化的可行性和有效性

关键词: PID 参数调节; 遗传算法; 单纯形

中图分类号: TP 273

文献标识码: A

常规 PID 调节器是一种应用广泛、技术成熟的控制方法。PID 控制的基本思想是将偏差的比例、积分和微分 3 参数通过线性组合构成控制器, 对被控对象进行控制。采用 PID 控制时, 系统控制品质的优劣取决于上述 3 参数的整定。但在过程控制领域中, 对控制品质的要求越来越高, 且控制对象越来越复杂, 因 PID 控制器的局限性, 控制器的参数难以自动调整。随着专家系统、模糊控制、神经网络等智能控制理论的发展, 形成了多种智能控制与 PID 控制相结合的智能 PID 控制策略^[1]。然而, 这些控制策略或者要求对被控过程有全面的先验知识, 或者要求参数优化的搜索空间连续可微, 其应用受到一定的限制。遗传算法^[2]是一种模拟生物进化机制的随机全局优化搜索方法, 具有很强的全局优化能力及鲁棒性。遗传算法属于直接搜索法, 对适应函数基本无限制, 既不要求函数连续, 也不要求函数可微, 因而采用遗传算法对 PID 参数进行调节是一种较好方法^[3]。本文以工业过程中常见的二阶大滞后对象为仿真模型, 采用遗传算法和单纯形算法对 PID 参数寻优。仿真结果表明: 同传统的单纯型局部优化算法相比较, 不需要初始信息可以寻求全局最优解的遗传算法可以更好地实现 PID 参数的寻优, 而单纯形算法则有受初始条件影响大, 易陷入局部最小等缺点。

1 遗传算法^[4]

非线性优化方法包括非线性局域优化方法与非线性全局优化方法。局域优化算法大致可以分为两类, 一类是以牛顿类型为基础的梯度法如 LM 算法, 另一类是直接搜索法如 Simplex 算法。局域优化方法有一个共性, 即都是从解空间的某一个点出发, 沿着使目标函数减小的方向搜寻迭代, 直到找到极小点。所以若目标函数空间结构不复杂, 只有一个最小点或只有少数的极小点, 则可以利用该算法, 否则, 由于局域优化方法没有逃出局部极小的机制, 可能会经常性地陷入局部极小点, 寻找不到全局最小点, 这时就需要使用具有有效逃离局部极小机制, 可以在有限的可以接受的时间内, 以较大概率搜寻到全局最优点的全局优化算法。本文采用 Simplex 算法和遗传算法来解决 PID 参数的优化问题。

遗传算法是借鉴生物界自然选择和群体进化机制形成的一种全局寻优算法。与传统的优化算法相比, 遗传算法具有如下优点: ①遗传算法是对要寻优参数的编码进行操作, 而不是对参数本身。②遗传算法是从群体出发开始的并行操作, 而不是从一个点开始, 因而可以有效地防止搜索过程收敛于局部最优解, 有较大可能求得全局最优解。③遗传算法的操作均使用随机概率的方式, 而不是确定性的

* 收稿日期: 2005—04—22

作者简介: 邹凌 (1975—), 女, 辽宁辽阳人, 讲师; 2—本院 2002 届计算机系本科生。

规则。④遗传算法在解空间内采用启发式搜索, 其效率优于其他方法。

遗传算法 (GA) 的基本步骤如下: ①在一定的编码方案下, 随机产生一个初始种群 (设种群规模为 N); ②用相应的解码方法, 将编码后的个体转换成问题空间的决策变量, 并求得个体的适应值; ③按照个体适应值的大小, 从种群中选出适应值较大的一些个体构成交配池; ④由交叉和变异这两个遗传算子对交配池中的个体进行操作, 并形成临时种群 ($N-2$); ⑤由交叉和变异这两个遗传算子对交配池中的个体进行操作, 并形成新一代的种群。⑥反复执行步骤②~④, 直至满足收敛判据为止。

2 基于遗传算法的 PID 参数寻优

2.1 PID 控制算法

常用的 PID 控制器的离散算式为

$$u(k) = K_p e(k) + K_i \sum_{i=0}^k e(i) + K_d [e(k) - e(k-1)] \quad (1)$$

相应的增量形式为

$$\Delta u(k) = u(k) - u(k-1) = K_1 e(k) - K_2 e(k-1) + K_3 e(k-2) \quad (2)$$

$$\text{式中, } K_1 = \frac{K_p T}{T_i}, \quad K_d = \frac{K_p T_d}{T},$$

$$K_1 = K_p + K_i + K_d = K_p \left(1 + \frac{T}{T_i} + \frac{T_d}{T} \right),$$

$$K_2 = K_p \left(1 + \frac{2T_d}{T} \right), \quad K_3 = K_d = \frac{T_p T_d}{T},$$

T 为采样周期, T_i 为微分时间常数, T_d 为积分时间常数, K_p , K_i , K_d 分别为比例系数, 积分系数, 微分系数, K_1 , K_2 , K_3 是与采样周期、比例系数、积分时间常数、微分时间常数有关的系数。

2.2 基于遗传算法的 PID 参数寻优

PID 调节器结构简单, 使用方便, 其自控系统原理框图如图 1 中的虚框部分所示。通过调节 K_p , K_i , K_d 的大小控制 $\Delta u(k)$ 的输出, 使系统的输出 Y 能够跟随输入满足系统要求。PID 调节性能的好坏关键是 K_p , K_i , K_d 参数的选择。传统 PID 调节器中的 K_p , K_i , K_d 的选择主要依靠大量的反复调试和经验, 由于 K_p , K_i , K_d 对系统的影响是相互关联和互相影响的, 且当对象的状态发生变化时传统 PID 调节器参数不能随之改变, 使系

统得不到理想的控制效果。而遗传算法是一种模拟自然选择和进化过程的寻优算法, 能够随对象的变化而变化, 从而使 PID 调节器参数随之改变。

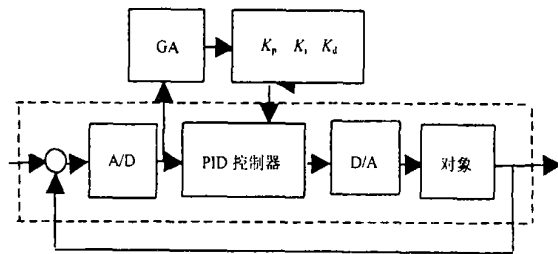


图 1 基于遗传算法的 PID 控制系统原理框图

Fig 1 PID control system diagram based on genetic algorithm

如果将遗传算法与 PID 控制结合起来, 提出一种新的控制方法有可能达到令人满意的控制效果。因此本文采用了基于遗传算法的 PID 参数寻优方法, 这种方法将 PID 的控制参数编码成遗传算法的染色体, 用遗传算法对其优化, 优化后的 K_p , K_i , K_d 去控制 $\Delta u(k)$ 的输出, 从而满足系统要求。其控制系统框图如图 1 所示。

2.2.1 运行参数的确定

使用遗传算法需要决定的运行参数有: 编码串长度、种群大小、交叉和变异概率。编码长度由优化问题所要求的求解精度决定。本文对 PID 控制器的 3 个参数 K_p , K_i , K_d 进行二进制编码, 每个参数的长度取 14 位, 3 个参数依次串联, 形成 1 个个体, 个体的长度 $L = 14 \times 3 = 42$ 。种群大小表示种群中所含个体的数量, 种群较小时, 可提高遗传算法的运算速度, 但却降低了群体的多样性, 可能找不到最优解; 种群较大时, 又会增加计算量, 使遗传算法的运行效率降低, 一般取种群数目 20 ~ 100。本文取 20。交叉概率控制着交叉操作的频率, 由于交叉操作是遗传算法中产生新个体的主要方法, 所以交叉概率通常取较大值; 但若过大又可能会破坏全体的优良模式。一般取 0.4 ~ 0.99, 本文取 0.9。变异概率也是影响新个体产生的一个因素, 变异概率小, 产生新个体少; 变异概率太大, 又会使遗传算法变成随机搜索。一般取变异概率为 0.000 1 ~ 0.1, 本文中取 0.01。遗传算法常采用的收敛判据有: 规定遗传代数; 连续几次得到的最优个体的适应度没有变化或变化很小等。对于本文研究的仿真模型, 采用遗传算法, 输出的阶跃响应曲线在 400 代时就趋于稳定; 采用单纯形算法, 输出的阶跃响应曲线在 500 代才趋于稳定, 为了便于两种算法运算性能的比较, 本文的停止准则是规定遗

传进化代数 600。

2.2.2 适应度函数的确定

适应度函数表明个体对环境适应能力的强弱, 它与所选取的目标函数有关。为获取满意的过渡过程动态特性, 采用误差绝对值时间积分性能指标作为参数选择的目标函数。为了防止控制能量过大, 在目标函数中加入控制输入的平方项。选用下式作为参数选取的最优指标:

$$J = \int_0^{\infty} (w_1 |e(t)| + w_2 u^2(t)) dt + w_3 \cdot t_u \quad (3)$$

式中, $e(t)$ 为系统误差, $u(t)$ 为控制器输出, t_u 为上升时间, w_1, w_2, w_3 为权值。

为了避免超调, 采用了惩罚功能, 即一旦产生超调, 将超调量作为最优指标的一项, 此时最优指标为: if $ey(t) < 0$,

$$J = \int_0^{\infty} (w_1 |e(t)| + w_2 u^2(t) + w_4 |ey(t)|) dt + w_3 \cdot t_u \quad (4)$$

式中, w_3 为权值, 且 $w_4 \gg w_1$, $ey(t) = y(t) - y(t-1)$, $y(t)$ 为被控对象输出。权值 w_1, w_2, w_3, w_4 的取值分别为 0.999, 0.001, 2, 100。

基于遗传算法的 PID 参数寻优过程流程图 2 所示。

3 仿真研究

工业过程控制中, 二阶系统的典型应用较为普遍, 不少高阶系统的特性在一定条件下可用二阶系统的特性来表示, 所以一般着重研究二阶系统的分析和计算方法。同时, 工业生产过程中, 往往不同程度地存在着纯滞后, 纯滞后系统特别是大时滞系统一直受到人们的关注。一般认为纯滞后时间与过程时间常数之比大与 0.3 则说该过程是具有大滞后的工艺过程^[5]。

本文的被控对象用二阶惯性加大滞后模型来描述。设受控对象数学模型为:

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{K e^{-\tau s}}{(1 + T_1 s)(1 + T_2 s)} \quad (5)$$

式中, $K=3, \tau=3, T_1=4, T_2=9.5$ 。采样时间 $T=0.1$, 分别采用遗传算法和单纯形算法对 PID 参数进行寻优操作, 将寻优的优化参数用于图 1 所示的过程控制, 其响应曲线如图 3 所示。为了说明结果的鲁棒性, 图中曲线是每种算法分别运行 10 次所得输出信号的平均。

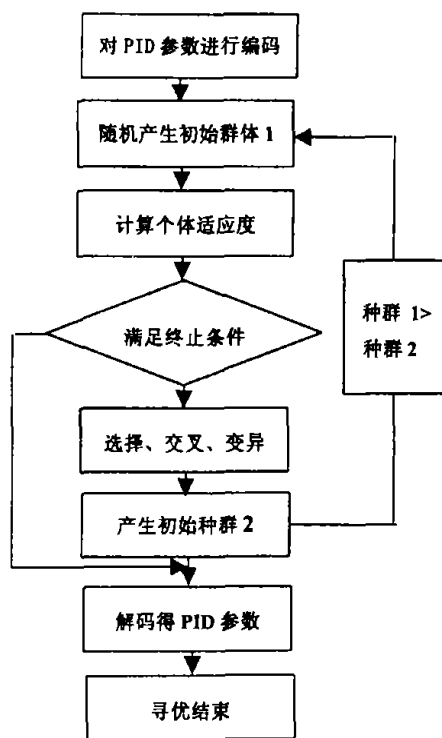


图 2 基于遗传算法的 PID 参数寻优过程流程图

Fig. 2 Flow chart of PID parameters optimization process based on genetic algorithm

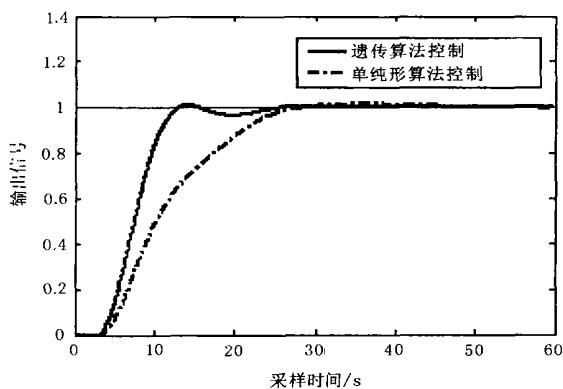


图 3 不同算法优化 PID 阶跃响应曲线

Fig. 3 PID step response curves optimized by different algorithms

图 3 中, 由遗传算法优化 PID 参数所得的阶跃响应的性能指标为: 超调量 $\sigma\% = 0.869\ 5$, 上升时间 $t_p = 14.1\ s$, 由单纯形法优化 PID 参数所得阶跃响应得性能指标为: $\sigma\% = 1.665\ 1$, $t_p = 36.4\ s$ 。由图 3 可以看出, 由于单纯形算法属于局部优化算法, 受初值影响很大, 给定初值不同, 直接影响其输出结果; 而遗传算法属于全局优化算法, 不受初值影响, 基于遗传算法的 PID 控制方法不仅保证了有较好的输出响应曲线, 也保证了较好的控制效果。

从运行时间上考虑,在奔腾 IV2.4 GHz 微机
上,运行一次遗传算法需要十几分钟,而运行一次
单纯形算法仅需要十多秒钟,遗传算法的优化时间
长于单纯形算法的优化时间。

4 结束语

与常用的单纯形算法相比,经遗传算法优化后
的 PID 控制器具有更好的控制效果,不需要太多
人为经验,克服了单纯形算法对参数初值的敏感
性。在初始条件选择不当的情况下,单纯形算法会
陷入局部最优,寻优失败;而遗传算法在不需
要给出调节器初始参数的情况下仍能寻找到合
适的参数,使控制目标满足要求。

本文针对工业过程中常见的二阶大滞后对象
的 PID 参数调节问题,采用遗传算法优化 PID
控制器参数可以获得比较满意的控制效果。但是
遗传算法的优化速度慢,实际应用时应根据具体
要求来选择合适算法。

择合适算法。

需要继续讨论的问题:①继续研究被控对象
的结构特征与遗传算法适应度函数的选择关系;
②继续研究系统受到内部扰动时,遗传算法的
控制效果。

参考文献:

- [1] 曹承志. 微型计算机控制新技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.
- [2] Man K F, Tang K S, Kwong S. Genetic Algorithms: Concepts and Applications [J]. IEEE Tran Indust Electr, 1996, 43: 519—534.
- [3] Wang P, Kwok D P. Optimal Design of PID Process Controllers Based on Genetic Algorithms [J]. Control Eng Prac, 1994, 2 (4): 641—648.
- [4] 邹凌, 朱善安. 非线性优化方法在脑电逆问题中的应用与比较 [J]. 信息与控制, 2004, 33 (2): 208—212.
- [5] 金以慧. 过程控制 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1993.

Optimization of PID Controller Parameters Based on Genetic Algorithm

ZOU Ling¹, YANG Li², ZOU Ying—mei²

(1. Department of Computer Science and Technology, Jiangsu Polytechnic University, Changzhou 213016, China)

Abstract: Aimed to optimize PID controller parameters of second—order system models with a long delay which is common in industry, generic algorithm is used to solve this problem and compared the results with simplex algorithm. Simulation showed the possibility and practicability of optimized parameters with GA.

Key words: PID parameter tuning; genetic algorithm; simplex