

复杂系统中的仿人智能控制策略^①

任德齐¹, 郭 兵²

1. 重庆广播电视大学, 重庆 400052; 2. 重庆大学 光电工程学院, 重庆 400030

摘要: 复杂系统因其精确的数学模型难以建立, 导致常规控制算法 PID 很难对其进行有效的控制. 文章探讨了对复杂系统的控制策略, 给出了控制算法和控制器设计方法. 仿真试验说明系统的动、静态品质良好, 表明该仿人智能控制策略是可行和有效的.

关键词: 复杂系统; 仿人智能控制; 控制策略

中图分类号: TP273

文献标识码: A

对大型复杂过程(或对象)的控制, 一般是按某种准则在低层将其分解为若干子系统实施控制. 在上层协调各子系统之间的性能指标, 使得集成后的整个系统处于某种意义下的优化状态. 但控制中存在不确定性、高度非线性、半结构化与非结构化、系统复杂性及可靠性等问题, 对复杂系统, 如果采用常规的基于数学模型的控制策略, 由于条件改变可能导致系统崩溃. 复杂对象(过程)往往具有如下特性: 系统参数的未知性、时变性、随机性和分散性, 系统时滞的未知性和时变性, 系统严重的非线性, 系统各变量间的关联性, 环境干扰的未知性、多样性和随机性^[1], 面对这些特性, 因其属于不确定性复杂对象(或过程)的控制问题, 传统控制策略难以对这类对象进行有效的控制, 因此必须探索更有效的控制策略.

1 控制策略

对复杂系统的控制, 可采用基于知识表示的广义控制模型. 工程实践表明借助控制专家的知识、人的智能、经验与技巧和熟练操作人员的丰富经验, 可以对复杂系统进行良好的控制并取得满意的控制结果, 只不过采用的是融合了控制者的知识模型和被控制对象的机理模型两者相结合的广义控制模型.

对复杂系统可供选择的控制策略, 如神经网络控制、模糊控制、实时专家系统控制、遗传算法控制、免疫进化控制、仿人智能控制等, 在现实应用中显示出了较强的生命力. 每一种控制策略都有其特定的适用范围, 而这些策略的融合可为解决复杂系统的控制寻求一种通用的方法, 因而有着重要的理论价值和广阔的应用背景^[2]. 模糊控制能将操作者或专家的控制经验和知识表示成语言变量描述的控制规则, 但有时难以获得好的控制效果, 需要与其它方法配合使用. 人工神经网络控制不适合表达基于规则的知识, 难于利用已有的经验知识, 可其它智能控制技术结合在一定程度上改善控制效果^[3]. 遗传算法往往要与神经网络和模糊控制相结合才能在一定程度上克服了过早收敛的缺点^[4]. 专家系统的特征信息采集与表达以及完备知识库建立等的实现难度大, 未必对所有的复杂系统都是好的选择.

仿人智能控制 HSIC(human simulated intelligent control)在结构和功能上具有以下基本特征: 分层递阶的信息处理和决策机构(高阶产生式系统结构); 在线的特征识别和特征记忆; 开闭环控制结合和定性决策与定量控制结合的多模态控制; 启发式和直觉推理逻辑的应用. 由于它的基本特点是模仿控制专家的控制行为, 控制算法是多模态的, 控制表现为多种模态控制间的相互交替使用, 因此该算法完美地协调了控

① 收稿日期: 2007-12-15

作者简介: 任德齐(1966-), 男, 四川蓬溪县人, 副教授, 主要从事电子信息与控制工程方面的教学与科研工作.

制系统中诸多相互矛盾的控制品质的要求, 比如鲁棒性与精确性, 快速性与平滑性等, 更贴近实际^[5,6], 这些独特的优势正是复杂系统控制所需要的, 显然是一种很好的控制策略. 它无须建立精确的数学模型, 避开了数学建模的难题.

2 控制算法

控制算法实际上涉及已获取知识的表达, 控制系统采用产生式规则来建立知识集, 其基本结构是 IF <condition> THEN <action>

基于产生式规则构成的系统的突出优点是模块性好, 每条规则可独立增删、修改, 每个产生式规则之间无直接联系, 自然性好, 适合于工业过程控制的特点. 工程控制算法的控制规则集, 可由工程控制算法推演出来, 现以仿人智能控制的原型算法为例, 控制算法为

$$u = \begin{cases} K_p e + kK_p \sum_{i=1}^{n-1} e_{m,i} & (e \cdot \dot{e} > 0 \cup e = 0 \cap \dot{e} \neq 0) \\ kK_p \sum_{i=1}^n e_{m,i} & (e \cdot \dot{e} > 0 \cup \dot{e} = 0) \end{cases}$$

式中: u 为控制输出; K_p 为比例系数; k 为抑制系数; e 为系统误差; \dot{e} 为系统误差的变化率; $e_{m,i}$ 为误差第 i 次峰值.

复杂系统的参数控制规则集是在该原型算法的基础上进一步总结控制经验而建立的一套适合于不同特征状况的控制规则^[7], 如果用产生式规则形式 IF...THEN...描述该控制算法, 该算法可归纳如表 1 所示.

表 1 仿人智能控制算法简表

序号	如果条件成立	则输出等于	模式名称
1	$ e_n > M_1$	FFH 或 00H	开关
2	当 $e_n \cdot \Delta e_n > 0$ 且 $ e_n \geq M_2$ $\Delta e_n = 0, e_n \neq 0$ 且 $ e_n < M_2$	$P_{0(n-1)} + K_1 K_{pe_n}$ $P_{0(n-1)} + K_{pe_n}$	比例
3	$e_n \cdot \Delta e_n < 0, \Delta e_n \cdot \Delta e_{n-1} > 0, e_n = 0$	$P_{0(n)} = P_{0(n-1)}$	保持 1
4	当 $e_n \cdot \Delta e_n < 0$ 且 $ e_n \geq M_2$ $\Delta e_n \cdot \Delta e_{n-1} < 0$ 且 $ e_n < M_2$	$P_{0(n-1)} + K_1 K_2 K_{pe_{m \cdot n}}$ $P_{0(n-1)} + K_2 K_{pe_{m \cdot n}}$	保持 2

表中: $e=r-y$ 为系统的误差, r 为给定值, y 为被调量; K_p 为比例增益; K_1 为增益放大系数, $K_1 > 1$; K_2 为抑制系数, $0 < K_2 < 1$; $P_{0(n)}$ 为控制输出量 P 第 n 次需要保持的值; $P_{0(n-1)}$ 为第 $n-1$ 个控制周期控制输出量 P 需要保持的值; M_1, M_2 为误差阈值, 且 $M_1 > M_2$; $e_{m \cdot n}$ 为 e 的第 n 个极值.

3 控制器设计

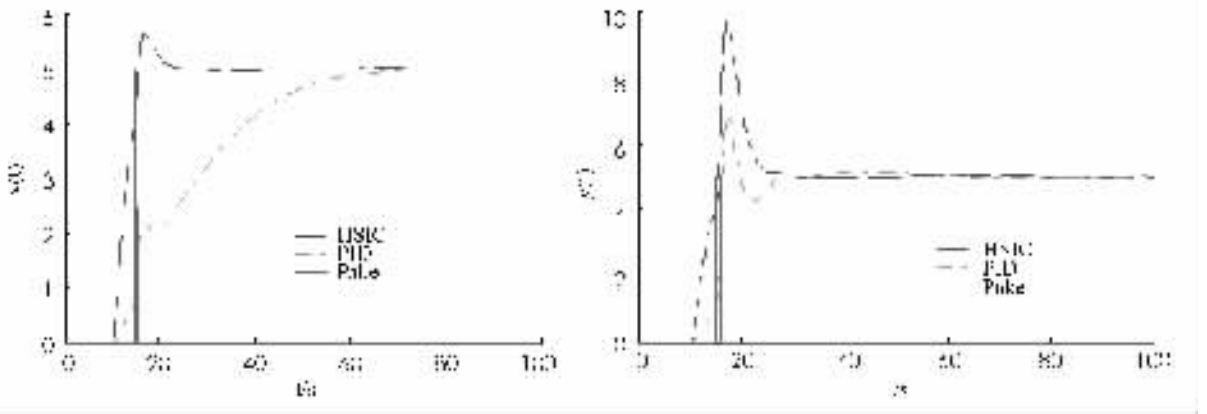
仿人智能控制器设计, 实质上就是控制规则与控制模态集的设计. 针对系统误差, 以及理想轨迹的运动趋势, 模仿人的控制决策行为, 设计控制或校正模态及其具体参数. 参数校正级可采用以下措施: 偏差变化速度超过限制值, 应减弱比例控制作用, 并引入微分作用, 形成比例加微分控制模式; 偏差速度低于设定范围, 加大比例作用; 偏差变化速度已经很小的情况下, 如果偏差变化速度仍很大, 通过参数校正, 适当减弱比例作用, 引入较强的微分作用, 如果仍然不能满足要求, 那么引入正反馈, 形成很强的比例加微分控制模式; 偏差变化速度低于此时要求的速度, 通过参数校正稍加大比例作用; 偏差已进入稳态要求, 变化速度未进入稳态要求, 通过参数校正稍减弱比例作用; 出现超调, 偏差变化速度仍较大, 增强微分作用, 减弱比例作用; 出现超调, 偏差变化速度及此时偏差均较大时, 增强微分和比例作用; 出现超调, 偏差较大而偏差变化速度不是很大, 增大比例作用减小微分作用. 参数的具体确定是在调试过程中反复整定完成的.

4 系统仿真

现在以垃圾焚烧炉在不投油稳定燃烧的负荷范围状态下, 设被控对象控制模型为

$$G(s) = \frac{4.134 \times e^{-s}}{(s+1)(2s+1)}$$

对垃圾焚烧炉负荷变化进行仿真, 图 1 和图 2 分别为仿真试验结果, 为保证模型仿真计算时初始稳态值稳定, 脉冲扰动在第 15 秒点开始.



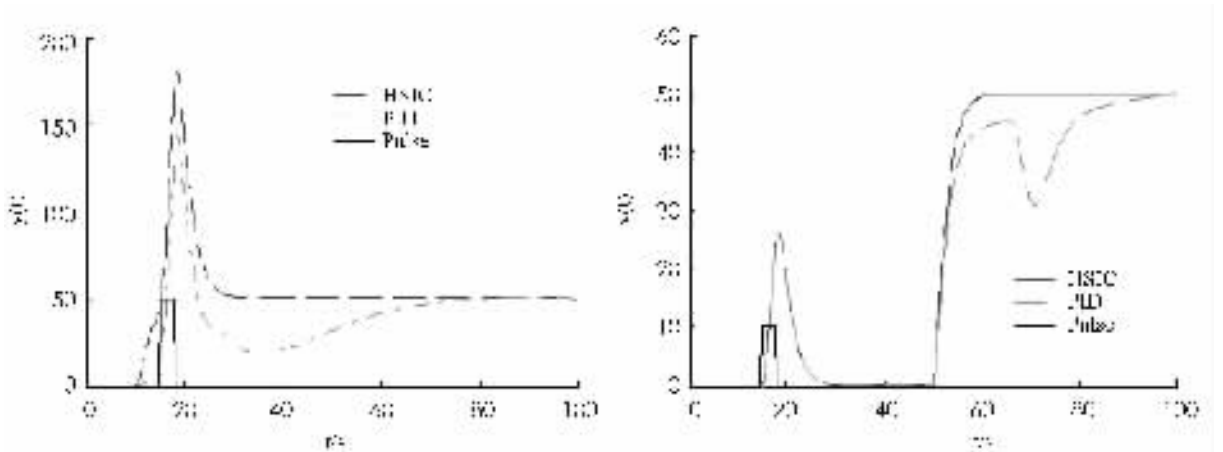
(a) 脉冲宽度 0.2 S 和振幅 5 时的响应曲线

(b) 脉冲宽度 3 s 和振幅 5 时的响应曲线

图 1 系统在不同的脉冲振幅时阶跃为 5 的响应曲线

当系统滞后 $\tau=10$ s 时, 在仿真中加入脉冲信号作为系统的外部扰动, 其振幅为 5, 脉冲宽度分别为 2 s 和 5 s 时, 分别对应空气量不变, 主汽压力不变, 垃圾量增加和减少 5% 的扰动. 两种控制器对应的响应曲线如图 1(a) 和 (b) 所示. 从仿真结果来看, 在加入脉冲扰动的情况下, 对比 PID 控制器, 新的控制策略过渡时间短, 最大偏差小于 0.1 mg/L, 显示了其很强的抗干扰能力. 这是由于 HSIC 控制器根据规则由系统输入的偏差信号在整个论域范围内进行调整, 增强了系统偏差信号对控制系统的作用, 从而使系统对扰动能及时做出响应. 此外, HSIC 控制是一种非线性控制, 为了提高上升速度, 缩短过渡过程时间, 它允许调节器输出较大的幅值, 同时又通过规则使其抑制超调, 避免了调节过程中因调节过度而引起的振荡, 从而使系统迅速达到稳定. 在解决大滞后或超大滞后的对象时 HSIC 具有绝对优势, 并有较好的控制效果.

图 2 是系统在不同的脉冲振幅时的阶跃为 50 的响应曲线. 对仿真结果比较分析可知, 该仿人智能控制系统具有良好控制效果和抗干扰能力. 在结果出现大扰动的情况下, 仿人智能控制器能快速动作消除干扰, 把系统输出控制在极小的偏差范围, 并且输出控制量 $y(t)$ 能很快的趋于平稳, 有利于提高执行机构使用寿命和系统稳定性. 相较于传统 PID 控制系统, 仿人智能控制系统输出更明显显示出响应速度快, 过渡时间短, 响应曲线平稳和稳态误差极小等优点. 该仿真结果表明, 此仿人智能控制器在用于非线性系统中具有抗干扰能力强, 控制效果好, 鲁棒性强等特点.



(a) 脉冲宽度 5 s 和振幅 50 时的响应曲线

(b) 脉冲宽度 5s, 振幅 10 时的响应曲线

图 2 系统在不同的脉冲振幅时阶跃为 50 时的响应曲线

在垃圾焚烧炉中, 当出现扰动时, 基于表 1 的仿人智能控制器能进行快速响应, 允许输出较大的动作,

对焚烧系统进行粗调,减少垃圾焚烧炉在较高或较低炉温的停留时间,同时通过人工总结的规则对权重逐步调整,逐渐逼近,抑制过大的超调,避免动作过大而出现振荡,使系统可以快速的稳定,保证炉温快速回复到既定的状态.

5 结 论

仿人智能控制策略具有很强的鲁棒性. HSIC 不论在稳定性、快速性以及准确性方面都比 PID 控制具有明显的跟踪优越性. 当系统中加入脉冲扰动信号, PID 非常敏感,而 HSIC 仍然可以保持较好的控制效果,有很强的抗干扰能力. 上述表明, HSIC 对复杂系统应当是首选控制策略.

参考文献:

- [1] 彭 莉, 林 鹰, 杨 奕. 复杂系统控制中的相关技术讨论 [J]. 西南师范大学学报, 2004, 29(6): 1066 — 1068.
- [2] Cai Zixing, Zhou Xiang, Li Meiyi. A Novel Intelligent Control Method Evolutionary Control [C]. Proceedings of the 3rd World Congress on Intelligent Control and Automation, 2000.
- [3] 刘 涛, 赵禹骅, 舒廷飞. 复杂系统简约处理的知识库系统设计方法 [J]. 计算机工程, 2006, 32(3): 17 — 18.
- [4] 李祖枢, 涂亚庆. 仿人智能控制 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2003.
- [5] 杨 飏, 张曾科. 仿人智能控制器的动态特性参数整定方法 [J]. 信息与控制, 2004, 33(6): 670 — 673.
- [6] 陈 众, 颜 伟, 李祖枢, 等. 基于 HSIC 的非线性 PID 控制器 [J]. 控制与决策, 2003, 18(6): 694 — 698.
- [7] 白美卿, 高富强. 仿人智能温度控制器 [J]. 仪器仪表学报, 1988, 9(1): 85 — 89.

Control Strategy on Human-Simulated Intelligence in Complex System

REN De-qi¹, GUO Bing²

1. Chongqing Radio and TV University, Chongqing 400052, China;

2. College of Optoelectronic Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China

Abstract: Complex system was often difficult to build strict mathematic model, so by means of traditional PID control algorithm it wasn't easy to get effective control. The paper explored the control strategy of complex system, gave out the control algorithm and design method of controller. Finally it made the simulation experiments for a complex industry object that explained the effect in both dynamic and steady quality being much better than PID control. The results show that the control strategy is feasible and effective for complex system.

Key words: complex control system; human-simulated intelligent control; control strategy

责任编辑 汤振全