

一种基于仿人智能的无模型自动跟踪控制算法

杨新鹏¹, 邓新莉²

(1. 长城汽车股份有限公司技术中心, 河北省汽车工程技术研究中心, 河北 保定 071000;
2. 重庆广播电视大学, 重庆 400052)

摘要:为了解决复杂过程难于实施数学建模控制, 探讨了一种基于仿人智能的无模型自动跟踪控制算法。文中指出了复杂过程控制中存在的问题, 讨论了无模型控制的本质与无模型控制算法, 基于仿人智能研究了人类对过程实施控制的流程, 构造了一种启发式的自动跟踪控制算法。以二阶大滞后过程控制为例, 实验仿真良好的跟踪曲线特性验证了该算法的优秀控制品质, 表明文中所构建的无模型自动跟踪控制算法是可行与合理的。

关键词:仿人智能; 无模控制; 自动跟踪算法

本文引用格式:杨新鹏, 邓新莉. 一种基于仿人智能的无模型自动跟踪控制算法[J]. 兵器装备工程学报, 2016(11): 60-63.

Citation format: YANG Xin-peng, DENG Xin-li. A Model Free Automatic Tracking Control Algorithm Based on Human Simulated Intelligence[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering, 2016(11): 60-63.

中图分类号: TP273

文献标识码: A

文章编号: 2096-2304(2016)11-0060-04

A Model Free Automatic Tracking Control Algorithm Based on Human Simulated Intelligence

YANG Xin-peng¹, DENG Xin-li²

(1. R&D Center of Great Wall Motor Company, Automobile Engineering Technical Center of Hebei, Baoding 071000, China; 2. Chongqing Radio & TV University, Chongqing 400052, China)

Abstract: In order to solve the puzzle that is difficult to implement mathematical modeling and control for complex process, the paper explored a model free automatic tracking control algorithm based on human simulated intelligence. In the paper, it pointed out the problems existing in the control of complex processes, and discussed the essence of model free control and the algorithm of model free control, and studied on the flowchart of human's control process based on human simulated intelligence, and built a heuristic automatic tracking control algorithm. Taking the case study of a two-order with large lag control as an example, the good tracking curve characteristics of experimental simulation verified the excellent control quality of the algorithm, which shows that it is feasible and reasonable to constructed model free automatic tracking control algorithm in the paper.

Key words: human simulated intelligence; model free control; automatic tracking algorithm

复杂过程由于各种各样的原因(如作用机理不明, 不确定性影响, 关系过于复杂等)难于实施数学建模控制。一般处理方法是根据分解协调原理, 按某种优化准则将其底层分解为若干个子过程分别实施控制; 对各子过程之间的性能指

标在高层进行协调, 以使整个过程达到某种优化准则意义下的优化状态。在这种情况下, 由于过程复杂而难以进行数学描述, 采用常规控制方法不可能对整个过程实施优化控制。其原因在于复杂过程往往存在如下问题: 比如过程中存在不

收稿日期: 2016-07-09; 修回日期: 2016-09-12

基金项目: 重庆市教委科技项目(KJ1603811)

作者简介: 杨新鹏(1980—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事机电一体化控制与管理系统集成研究。

确定性,这在化工高分子材料作用过程屡见不鲜,因为高分子材料的分子量本身就具有不确定性,对于这种知之甚少或者“未知”的问题,难以数学建模;高度非线性问题,如对电磁感应系统中因磁滞回线的高度非线性,用教学解析方法建立数学模型非常困难;有时子过程呈现出的非结构化或者半结构化特征,由于传统数学建模方法本质上属定量计算范畴,对半结构化与非结构化过程力不从心;此外,由于系统过于复杂,各要素间高度耦合,各子过程之间关系错综复杂,互相制约,特别在有机化工过程中有时甚至变化莫测,缺乏有效的数学描述手段;再加上外部环境复杂与可靠性问题,可能使得问题变得无解。为了实现对这类过程的跟踪控制,探讨无模型自动跟踪控制算法是有必要的。

1 无模型控制的本质

在人们头脑中早就有了无模型控制的概念。如,无论汽车司机在公路上驾驶车辆还是飞行员驾驶飞机在空中自由航行,一个优秀的驾驶员在他们的头脑中并没有数学模型,但却可根据自己对载体运动状态轨迹的敏捷判断,不断地对载体实施控制以修正其行驶轨迹而实现其预期的控制目标。事实上,这就是基于人类智能的无模型控制概念。在这种情况下,尽管各个变量之间可能存在诸多不可控的随机因素,但其控制算法就是模拟人脑的操作计算过程。对某些特定控制过程或者复杂对象控制而言,应用实例表明采用无模型控制策略能较好地解决其控制问题^[1-4]。因此,从本质上考虑,无模型控制算法就是借助采集系统或者被控制过程的输入输出数据,再送系统状态辨识器对是否偏离期望的运动轨迹进行判断,最后根据偏离程度不同,按照人类控制的经验确定对被控制过程的控制模式,并制定控制规则,由控制器发出指令实施控制。无模型控制的优势在于:设计者无须了解更多的过程先验知识和针对特定对象或者过程进行设计,因为控制器本身与有关被控过程信息的控制方法与控制理论无关,其自身就具有一定系统稳定性等特征,因此,无需对控制器参数进行复杂的人工整定。在无模型控制研究方面已经取得了许多研究成果^[5-6],以下从智能控制角度,基于模仿人类智能,探讨一种无模型自动跟踪控制算法。

2 无模型仿人智能自动跟踪控制算法

2.1 仿人智能控制的基本概念

从仿人智能控制角度,自动跟踪控制算法构建最直观的途径就是从人自身控制经验与智慧中寻找答案。总结人的控制经验可知^[7-8],在决策控制中,人们总是习惯于基于产生式规则(IF condition THEN action)描述事务过程,如所受到的启发与直觉推理以及控制行为等。因此,仿人智能控制在控制结构和控制功能方面表现出如下特征:在推理方法上,应用启发式和直觉式的逻辑推理;在观察过程状态时,采

用在线的特征辨识和特征记忆方法;在控制的手段方面,将开环与闭环控制相结合,定量控制与定性决策相结合,并将它们融合以实施多模态控制。这种控制方法既总结和发挥了人类自身具有的控制经验与智慧的优势,也充分体现了以计算机硬件系统为载体,将计算机科学、控制理论和人工智能的交叉与有机结合特点,其推理逻辑可借助人工智能的产生式规则予以描述;可按照过程动态特征对系统或者过程的状态进行在线特征辨识和特征记忆;充分利用控制理论的研究成果,如发挥开、闭环控制各自的优势并将其融合,以构建基于定性决策和定量控制相结合的多模态控制算法。

2.2 自动跟踪控制算法

无模控制模型图1所示,假设 $u(t)$, $y(t)$ 分别被控对象的输入和输出, $r(t)$, $e(t)$ 分别为过程输入、过程误差,并且有 $e(t) = r(t) - y(t)$ 。显然,过程误差 e 及其变化率 \dot{e} 都是物理可检测的,基于图2所示的误差相平面就可构造出多模态的自动跟踪控制算法。如果过程误差 e 为正,其变化率 \dot{e} 可以是 $\dot{e} > 0$ 或者 $\dot{e} < 0$,对于前者有 $e \cdot \dot{e} > 0$,即系统状态位于误差相平面的第I象限,此时过程误差 e 呈现出增加误差的趋势,也就是过程误差会变得越来越;对于后者有 $e \cdot \dot{e} < 0$,系统状态位于误差相平面的第IV象限,此时过程误差 e 呈现出减小趋势。如果过程误差 e 为负,同样其变化率 \dot{e} 可以是 $\dot{e} > 0$ 或者 $\dot{e} < 0$,对于前者有 $e \cdot \dot{e} < 0$,系统状态位于误差相平面的第IV象限,此时过程误差 e 呈现出减小趋势;对于后者有 $e \cdot \dot{e} > 0$,系统状态位于误差相平面的第III象限,此时过程误差 e 呈现出增加误差的趋势^[9-11]。

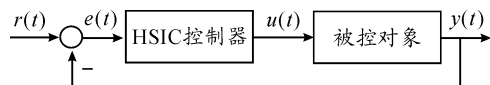


图1 基于HSIC的过程控制模型

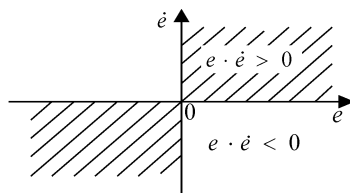


图2 误差相平面

借助分析图3的HSIC控制器静态特性,可找出其控制规则。首先分析OABC运动轨迹,在OA段,控制器输出 u 与过程误差 e 成正比关系,系数为 K_p ,则其控制为正比模式,有 $u = K_p e$,运行区间为 $[0, e_{n1}]$;当 e 达到 e_{n1} 后进入AB段,控制模式要进行切换, $u_{01} = k K_p e_{n1}$, k 为控制系数,且 $k > 1$,表示输出 u 成比例地减小,即AB属于抑制段,并且 $K_p k > K_p$;进入BC段后,输出保持恒定,该段为保持控制模式,过程误差 e 逐渐减小至零。同理,对CDEF运动轨迹的分析与上述类似,其区别在于:当前过程误差为负,而前一个周期的过程误

差为正,与前一个控制周期的控制作用方向正好相反。其后的运动轨迹如 $GHGI$ 等的分析在此就不再重复了,直到最终进入期望的控制过程稳定状态。

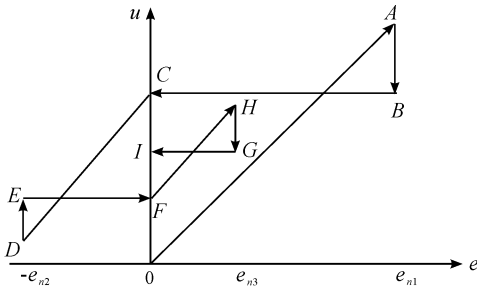


图3 HSIC 静态特性

由此可见,HSIC 控制器可采用广义的知识模型对过程进行控制。由上述分析可知,如果:① $e \cdot \dot{e} > 0$ 并且 $e + \dot{e} \neq 0$,可采用半开环保持控制模式;② $e \cdot \dot{e} \leq 0$ 或者 $\dot{e} = 0$,可以采取正比控制模式,因此,基本控制算法可以总结为:

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

式中: $e_{m,j}$ 为第 j 次过程误差的峰值,其他符号的意义如前所述。

以基本控制算法为基础,结合工业控制现场,可将控制领域专家的知识 and 现场操作者的控制经验、智慧与技巧等,借助产生式描述规则融入到基本控制算法中,从而构造出能够兼顾过程的动、静态控制品质的强鲁棒多模态控制算法。

3 实验仿真及其分析

3.1 实验仿真

由于该算法与过程控制模型无关,因此在实验仿真中,可以任意假设过程跟踪的控制模型。由于无模控制算法本身只要知道过程的输入输出数据就可构造控制算法对过程实施控制,因此,假定过程模型为工业系统中最具典型代表性的二阶滞后过程模型,但这种假定对研究无模控制算法本身并不失去其一般意义。

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

其中,过程时滞 τ 是可变的。

为验证所探讨无模控制算法本身的优越性,并比较其控制的优秀品质,在实验仿真中选取 3 种控制算法,即基于 HSIC 的基本控制算法、PID + Smith 最优估计器控制算法以及传统的 PID 控制算法,分别施加于同一个二阶滞后过程对其进行实验仿真,然后观察其过程的响应,并比较各自的自动控制跟踪性能,从而验证文中提出的自动跟踪控制算法是可取的。在输入为单位阶跃时,过程时滞 $\tau = 2$ s 和 $\tau = 20$ s 时的过程响应曲线分别如图 4 和图 5 所示;如 $\tau = 10$ s 并在时间为 15 s 时对过程施加一个脉冲宽度为 0.2 s、幅度为 0.5

的脉冲干扰,其各自的单位阶跃过程响应曲线如图 6 所示。在输入为斜坡时,过程分别在 PID + Smith 最优估计器控制算法和基于 HSIC 的基本控制算法控制下,图 7、图 8 和图 9 给出了斜坡斜率为 0.1 和 10 以及斜坡斜率为 0.1 但有严重脉冲干扰(脉冲宽度为 10 s,幅度为 0.1)时各自的斜坡过程响应曲线。

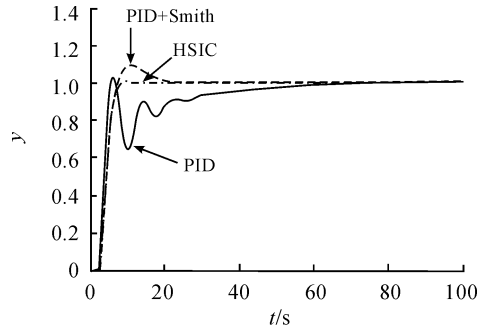


图4 $\tau = 2$ s 时各算法的响应曲线

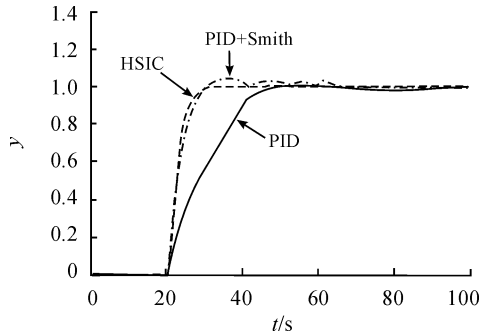


图5 $\tau = 20$ s 时各算法的响应曲线

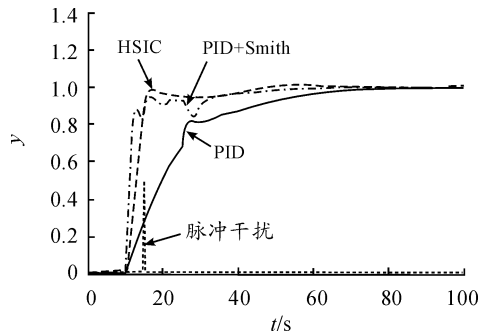


图6 $\tau = 15$ s 时加干扰各算法的跟踪响应

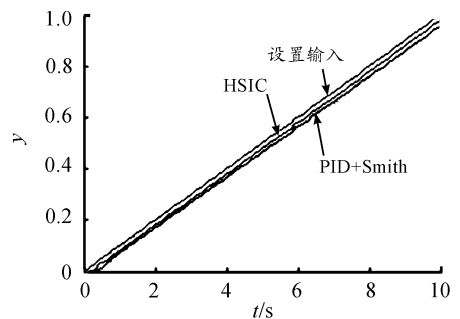


图7 输入斜坡斜率为 0.1 的跟踪响应

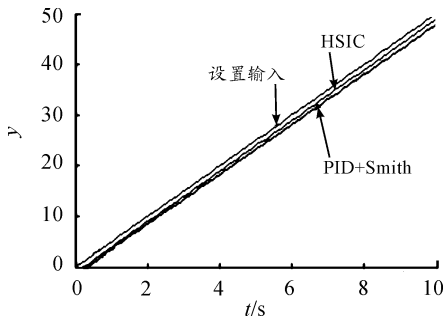


图8 输入斜坡斜率为10的跟踪响应

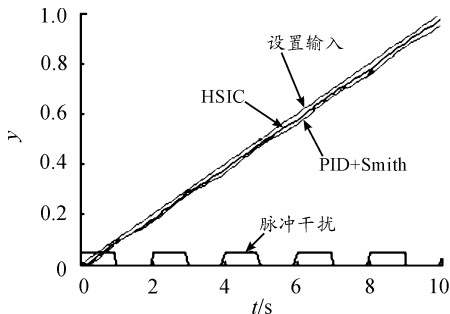


图9 输入斜坡斜率为0.1有脉冲干扰的跟踪响应

3.2 仿真结果分析

由图4到图6的仿真结果可以看出:基于仿人智能的无模型自动跟踪控制 HSIC 算法对控制参数不敏感,当过程时滞参数变化 10 倍时,Smith 最优控制器的控制效果也不如 HSIC 算法的跟踪控制品质好,PID 算法在这种情况下已经完全失去了对过程跟踪控制的能力;在外部脉冲干扰下,无论 PID 还是 Smith 最优控制器都完全失去了对单位阶跃输入的自动跟踪控制能力,但 HSIC 算法却能够比较满意地对其实现自动跟踪控制。图7到图9的仿真结果表明,对斜坡输入的跟踪,即使斜率变化 100 倍并且在外部脉冲干扰下 HSIC 算法仍然具有比 Smith 最优控制器控制更好的斜坡输入跟踪性能。上述仿真结果说明,该算法在自动跟踪控制方面表现出很强的鲁棒性与控制品质,特别对于难于跟踪控制的复杂伺服系统是一种比较好的控制策略。

4 结束语

在工程实践中,由于控制过程的复杂性以及受众多不确定性因素影响,很难对控制过程或者对象进行数学描述以实

施范式的定量精准控制,因此是控制工程中的控制难题之一。上述基于仿人智能的自动跟踪控制算法实验仿真结果分析表明,该基本控制算法有很强的抗过程内部参数变化与外部脉冲干扰的能力,表现出很强鲁棒性与优秀控制品质,该基本控制算法可用于对难以进行数学建模的复杂过程实施优化控制。仿真结果表明,文中探讨的无模型自动跟踪控制算法是一种可供参考借鉴的控制策略。

参考文献:

- [1] ENRANG Z, LING Z, FEI G. Research on Model Free Adaptive Control Method of Thermal Power Unit [C] // Information Science and Management Engineering (ISME), 2010 International Conference of IEEE, 2010:222-225.
- [2] 吴宁, 尚坡利, 蔡卓恩. 基于无模型自适应控制技术的石油装置系统研究[J]. 自动化与仪器仪表, 2015(3):5-6.
- [3] HOU Z, JIN S. Data-Driven Model-Free Adaptive Control for a Class of MIMO Nonlinear Discrete-Time Systems[J]. Nral Nwor ranaon on, 2011, 22(12):2173-2188.
- [4] 梁留涛. 循环流化床锅炉燃烧系统的无模型自适应控制研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2009.
- [5] 刘明坤. 基于无模型自适应的锅炉燃烧控制系统[D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2007.
- [6] 金尚泰. 一类非线性大滞后系统的改进无模型自适应控制[J]. 控制理论与应用, 2008, 25(4):623-626.
- [7] 易继镛. 智能控制技术[M]. 北京: 北京工业大学出版社, 2004.
- [8] 李祖枢, 涂亚庆. 仿人智能控制器[M]. 北京: 国防工业出版社, 2003.
- [9] 裴玉玲. 复杂硫化过程的智能融合控制策略[J]. 机床与液压, 2013, 41(6):92-96.
- [10] 熊宪生. 不确定性复杂燃烧过程的强鲁棒控制策略[J]. 重庆理工大学学报(自然科学), 2013, 27(6):106-110.
- [11] 王静, 肖超. 复杂过程的多模态仿人智能控制策略[J]. 微电子学, 2013, 43(2):221-224.

(责任编辑 杨继森)