

在线规则自适应模糊控制算法及其应用

王 景 刘良栋 王作义
(北京控制工程研究所·北京, 100080) (信息产业部45研究所·平凉, 744000)

摘要: 针对现场对控制过程的具体要求, 提出了一种在线规则自适应模糊控制算法. 现场运行效果和仿真结果表明该法能提高系统的稳态精度, 并具有响应快速、超调量小等特点.

关键词: 模糊控制; 规则自适应控制

An On-Line Rule-Adaptive Fuzzy Control Algorithm and Its Application

Wang Jing and Liu Liangdong
(Beijing Institute of Control Engineering·Beijing, 100080, P. R. China)

Wang Zuoyi
(The 45th Institute of Information Industry Ministry·Pingliang, 744000, P. R. China)

Abstract: This paper presents an on-line rule-adaptive fuzzy control algorithm and gives its application. Simulation and running results show that the algorithm has good performance, small overshoot and can reduce the static errors effectively.

Key words: fuzzy control; rule adaptive control

1 引言(Introduction)

与传统的控制理论比较而言, 模糊控制不需要对象的精确数学模型, 只根据模糊控制规则表便可求出当前的新控制量, 控制的鲁棒性好、响应快速^[1].

常规模糊控制器的核心组成部分——模糊控制规则查询表, 通常是由偏差及偏差的变化率组成的一个二维表格, 控制规则一旦建立便固定不变, 当对象特性发生变化时难以在线修改控制规则. 因此, 人们渴望寻求自整定、自组织、自学习功能的模糊控制结构及其方法. 至今已取得两方面的工作进展: 一方面, 英国 Prokey 和 Mamdani 提出了关于自组织模糊控制器的方法, 但该法要用于工业控制还有许多工作要做, 而且自组织工作需离线进行^[2]; 另一方面, 从简化控制规则入手, 提出了控制规则解析表达式^[3]. 但是, 文献[3]所提出的方法事实上相当于一个参数自调整模糊 PD 控制, 系统存在着稳态精度差、上升时间过长及易振荡等缺点. 本文对此做了进一步的研究, 提出了在线规则自适应模糊控制算法, 并将其运用到“0.80~1.0 μ m 分步投影式重复曝光机”中的上掩模板预对准控制过程中. 现场运行效果及仿真结果表明该法能提高系统的稳态精度, 并具有响应快速、超调量小等特点.

2 在线规则自适应模糊控制算法(On-line rule-adaptive fuzzy control algorithm)

文献[3]中提出了一种模糊控制算法, 其控制量由下式表达:

$$U = [\alpha E + (1 - \alpha)C]. \quad (1)$$

式中 $[\cdot]$ 表示一量化操作, α 为一真实数值, 其变化范围为 $[0, 1]$, 正确地调整 α , 控制器便产生相应的控制作用. α 值的调整如下式所示:

$$\alpha(t+1) = \begin{cases} \alpha(t) + \gamma h(t)(1 - \alpha(t)) & \text{for } \alpha(t) > 0.5, \\ \alpha(t) + \gamma h(t)\alpha(t) & \text{for } \alpha(t) \leq 0.5. \end{cases} \quad (2)$$

文献[3]中给出了决定 $h(t)$ 的模糊变量 H 的表格.

从文献[3]给出的仿真结果明显可以看出, 应用这种方法系统存在着较大的稳态误差, 而且在稳态时系统有微小的振荡现象. 显然, 对于稳态精度要求高的系统而言, 该法达不到要求. 究其原因, 我们不难看出, 系统的控制变量仅由偏差和偏差的变化率所决定, 由于缺少了积分项, 从而使系统存在着较大的稳态误差, 而引入积分作用可以减小稳态误差^[4].

为了提高控制器稳态精度, 我们在文献[3]所述方法的基础上引入积分项, 并在过渡过程中对模糊控制器的参数进行在线自调整以提高系统动态精

度,由于参数的修改都是在线进行的,故将其称为在线规则自适应模糊控制方法。

设系统偏差的积分为 ae , 其模糊变量为 AE . 我们所依据的控制策略是: 当偏差的绝对值大于某一阈值 $k(k > 0$, 可以人为给定) 时, 模糊控制变量仅由 E 和 C 决定; 而当偏差的绝对值小于阈值 k 时, 模糊控制变量由 E, C 和 AE 决定, 并且在过渡过程中对参数进行在线自调整. 控制算法如下:

1) if $|e(t)| \geq k$ then

$$U = [\alpha(t)E + \beta(t)C],$$

and

$$\begin{cases} \alpha(t) + \beta(t) = 1, \\ \alpha(t) = \frac{a_2 - a_1}{M - k} |e(t)| + \frac{a_1 M - a_2 k}{M - k}. \end{cases} \quad (3)$$

式中 $|e| = k$ 时, α 的取值为 a_1 ; $|e| = M$ 时, α 的取值为 a_2 (a_1 和 a_2 均为常值, 可根据经验离线整定; M 为 $|e|$ 的最大值, 可根据经验给定).

2) if $|e(t)| < k$ then

$$U = [\alpha(t)E + \beta(t)AE + \gamma(t)C],$$

and

$$\begin{cases} \alpha(t) + \beta(t) + \gamma(t) = 1, \\ \gamma(t) = 1 - a_1, \\ \alpha(t) = \frac{a_1 - a_3}{k} |e(t)| + a_3. \end{cases} \quad (4)$$

式中 $|e| = 0$ 时 $\alpha = a_3$ (可根据经验离线整定), α, β 和 γ 分别表示 E, AE 和 C 的权重, 其变化范围为 $[0, 1]$; a_1, a_2 和 a_3 均为 $[0, 1]$ 间的常数。

从上式可以看出: 当系统输出值距离设定值较远时, 控制量仅由 E 和 C 决定以使系统输出尽快地趋向于设定值; 当系统输出值已靠近设定值时, 增加积分项以减小系统稳态误差, 提高稳态精度, 控制量由 E, AE 和 C 决定, 控制量在算法切换时没有跳变, 这也符合实际控制的要求. $\alpha(t), \beta(t)$ 和 $\gamma(t)$ 的改变都是在线进行的, 从而实现了规则的在线自适应, 并且提高了系统的稳态精度。

3 现场应用及仿真效果 (Results of application and simulation)

“0.8 ~ 1.0 μm 分步投影式重复曝光机”的结构如图 1 所示. 控制的目的是让掩模台上掩模板的图形通过 5X 缩小镜头成像到工作台上的硅片上. 汞灯提供曝光光源, 快门开关完成曝光, 通过移动工作台使硅片移动, 在硅片上曝出多个图形, 然后经过一系列工序 (腐蚀、氧化、光刻、扩散、外延、蒸铝……) 后, 这些图形则成为集成电路. 一个集成电路一般要

通过十几道掩模光刻, RMS (掩模板管理系统) 负责掩模板的储存、上下掩模板和上掩模板的预对准. 驱动装置采用直流伺服电机带动机械手 (双叉子), 检测装置是光电开关 (或行程开关). 在 “0.8 ~ 1.0 μm 分步投影式重复曝光机” 中的上掩模板预对准过程控制中, 采用了本文所述的在线规则自适应模糊控制算法, 由于该法在偏差较小时引入了积分作用, 而且参数的修改都在线进行, 从而使系统的动态性能及稳态精度均得到改善, 并且提高了系统的稳态精度. 控制器结构简单, 参数调试也很容易. 系统从 97 年 3 月调试成功到现在, 运行良好, 一直保持着良好的性能和较高的可靠性, 完全达到了课题的要求。

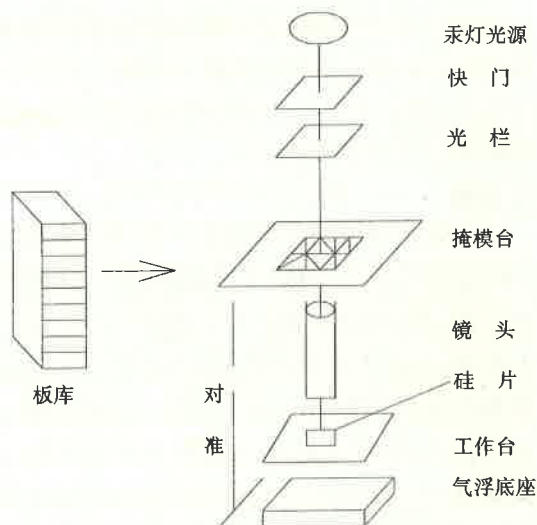


图 1 结构示意图

Fig. 1 Structural illustration

本文也运用该方法对一个带有滞后环节的二阶对象进行了仿真研究, 仿真结果也说明了该法能提高系统的稳态精度, 并具有响应快速、超调量小等特点. 仿真结果略。

4 结论 (Conclusion)

从现场运行效果和仿真结果可以看出, 本文提出的在线规则自适应模糊控制方法是可行及有效的, 该方法能够提高系统的稳态精度、改善系统的动态品质, 具有一定的适用性。

参考文献 (References)

- 1 李士勇. 模糊控制和智能控制理论与应用. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1990
- 2 费敏锐, 陈伯时. 专家模糊控制方法. 控制与决策, 1996, 11(2): 256 - 260
- 3 He Shizhong, Tan Shaohua, Hang Changchih, Wang Peizhuang. Control of dynamical processes using an on-line rule-adaptive fuzzy control

system. Fuzzy Sets and Systems, 1993, 54(1): 11 - 16

- 4 徐承伟. 关于 Fuzzy 调节器的积分作用. 自动化学报, 1985, 11(2): 199 - 203

本文作者简介

王 景 1971 年生. 1994 年毕业于重庆大学自动化系, 1997 年在重庆大学自动控制理论及应用专业获硕士学位. 1997 年至今在北

京控制工程研究所攻读博士学位. 研究方向有: 模糊控制, 空间机器人技术及智能控制.

刘良栋 1943 年生. 1966 年毕业于清华大学工程力学数学系. 研究员, 博士生导师. 北京控制工程研究所所长, 国家 863 航天领域专家委员会委员, 自动化学会常务理事. 研究领域为航天器动力学与控制.

王作义 1967 年生. 1989 年毕业于上海工业大学自动化系. 高级工程师. 研究领域为计算机控制与管理.

中国自动化学会第十五届青年学术年会(YAC'2000) 征 文 通 知

中国自动化学会第十五届青年学术年会(YAC'2000)将于 2000 年 7 月 3、4 日在上海召开, 这将是我国自动化界青年科技工作者在新世纪的第一次盛会. 本次会议由中国自动化学会、中国自动化学会青年工作委员会主办, 上海交通大学自动化系承办. 会议组委会热烈欢迎全国青年学者前来参加, 并将组织与会者全程免费旁听第三届亚洲控制会议.

征文范围

1) 线性与非线性系统控制; 2) 自适应控制和预测控制; 3) H_∞ 控制和鲁棒控制; 4) 智能控制、模糊控制; 5) 系统辨识与建模; 6) 故障诊断与容错控制; 7) 神经网络及其应用; 8) 自动化仪表与过程控制; 9) 软件工程、并行处理; 10) 人工智能与专家系统; 11) 计算机视觉、图象处理与模式识别; 12) 机器人学与机器人控制; 13) 大系统; 14) 电力系统及其自动化; 15) 电机驱动及运动控制; 16) 传感器与检测技术; 17) 离散事件动态系统; 18) 计算机集成制造系统; 19) 计算机软硬件技术及其应用; 20) 系统工程理论、方法及其应用; 21) 企业改革, 发展战略与管理决策; 22) 工业过程与生产管理; 23) 其它

征文要求

1) 论文应具有一定的学术或实用价值, 未在国内外学术期刊或会议发表过; 2) 论文第一作者的年龄不超过 40 岁; 3) 来稿中英文皆可, 请用 A4 纸打印, 一式三份; 4) 投稿时请注明文章所属的研究方向(见征文范围); 5) 请说明联系作者的详细通讯地址及电子邮件信箱.

奖励

本次会议将首次设立大会优秀论文奖和应用论文奖.

重要时间

论文截稿时间为 2000 年 3 月 1 日.

投稿地址

上海交通大学自动化系 YAC'2000 组委会

联系人: 苏剑波 李少远

电话: 021 - 62932806 - 85

传真: 021 - 62933155

Email: jbsu@ascc2000.sjtu.edu.cn 或 syli98@mail.sjtu.edu.cn

中国自动化学会
第十五届青年学术年会(YAC'2000)组委会