

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2012.01.026

基于 dSPACE 的智能控制算法

毕效辉, 潘红

(西南科技大学信息工程学院, 四川 绵阳 621010)

摘要: 针对 FESTO 液位过程控制系统, 提出一种可在线修改量化比例因子的模糊自适应 PID 控制算法。利用 dSPACE 实时仿真系统能与 Matlab/Simulink 无缝链接的特点, 通过 Matlab/Simulink 将模糊自适应 PID 控制算法引入 dSPACE 实时仿真平台, 并进行 FESTO 液位控制实验。实验结果表明: 模糊自适应 PID 智能控制算法具有较好的控制效果, dSPACE 实时仿真系统能为检验智能控制算法的有效性提供良好的验证平台。

关键词: dSPACE; Matlab/Simulink; 模糊自适应 PID 控制

中图分类号: TP306.1 **文献标志码:** A

Intelligent Control Algorithm Based on dSPACE

Bi Xiaohui, Pan Hong

(School of Information Engineering, Southwest University of Science & Technology, Mianyang 621010, China)

Abstract: A fuzzy adaptive PID control algorithm of on-line modifying quantization and scale factors has been represented for the FESTO liquid level process control system in this paper. As the real-time simulation system of dSPACE can link Matlab/Simulink seamlessly, through introducing the fuzzy adaptive PID control algorithm to the dSPACE simulation platform by Matlab/Simulink, an experiment has been performed in the FESTO liquid level control. The experimental results show that the fuzzy adaptive PID intelligent control algorithm has a better control effect, and the real-time simulation system of dSPACE provides a good verification platform for the validation of intelligent control algorithms.

Key words: dSPACE; Matlab/Simulink; fuzzy adaptive PID control

0 引言

采用智能控制技术, 可设计出不同的智能 PID 控制器。目前一些智能 PID 控制算法仅仅是进行了软件仿真, 如何把智能 PID 控制算法与硬件相结合进行软硬件的在线控制, 这是一个难题。

dSPACE 实时仿真系统是一套基于 Matlab/Simulink 的控制系统开发及测试的工作平台, 能与 Matlab/Simulink 无缝链接。作为一个计算机辅助设计与测试平台, dSPACE 拥有简单易用的代码生成及下载软件、试验工具软件, 还具有灵活的硬件组合系统^[1-2]。从用户的实际需求角度出发, dSPACE 提供了软件组合 CDP 来实现控制系统开发设计。dSPACE 具有其他仿真系统无可比拟的优越性, 主要有以下 4 个特点: 1) 可以建立控制系统及对象的控制模型并能进行离线仿真; 2) 能设置实时 I/O 接口; 3) 易于代码生成及下载; 4) 便于综合试验及测试。模糊自适应 PID^[3-4]一般以误差 e 以及误差变化 e_c 作为输入, 一旦确定了误差以及误差变化的基本论域和模糊论域, 它们的量化因子以及比例因子也就确定了。

因此, 笔者利用 dSPACE 实时仿真系统能与 Matlab/Simulink 无缝链接的优势, 将 dSPACE 实时仿真系统与 FESTO 液位控制系统结合起来, 设计一种可在线修改量化比例因子的模糊自适应 PID 控制算法, 能够对量化因子、比例因子进行在线动态修改, 使之能适应 e 和 e_c 的变化。

1 模糊自适应 PID 控制

1.1 自调整量化比例因子的模糊控制系统设计

自调整量化比例因子的模糊自适应 PID 控制结构如图 1 所示。

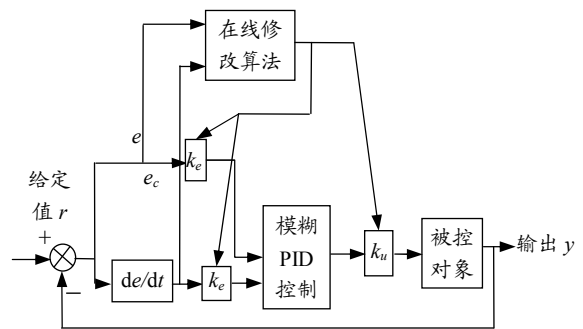


图 1 模糊自适应 PID 控制结构

收稿日期: 2011-08-07; 修回日期: 2011-08-29

作者简介: 毕效辉(1954—), 男, 陕西人, 教授, 从事工业过程系统的预测控制、先进控制方法、控制系统仿真研究。

改进后的模糊控制系统仍以误差 e 和误差变化 e_c 作为模糊 PID 控制的输入, 通过在线修改算法分别对量化因子 k_e 、 k_{ec} 和比例因子 k_u 进行动态调整。

1.2 自调整量化比例因子的控制算法设计

1.2.1 比例因子 k_u 的控制策略

控制器的输入为误差 e 和误差变化 e_c , 输出控制量为 u 。量化因子 k_e 、 k_{ec} , 比例因子 k_u 控制策略^[5]如下:

1) 当 $e < 0$ 时, 且绝对值很大, $e_c > 0$ 时, 为获得良好的控制特性, 应增大量化因子 k_e 和比例因子 k_u 的值, 减小误差基本论域, 增强控制作用, 使系统上升时间加快; 当输出接近稳态值但仍存在误差 ε 时, 应增大 k_{ec} , 同时减小 k_e 和 k_u , 使系统不至于产生较大的超调。

2) 当 $e > 0$, $e_c > 0$, 系统输出已经超过稳态值时, 应继续减小 k_e 和 k_u , 增大 k_{ec} , 使系统减小超调量, 回到稳态值。

3) 当 $e > 0$, $e_c < 0$, 误差开始减小, 输出趋向稳态变化, 应将 k_e 、 k_{ec} 和 k_u 都适当减小, 避免出现负超调。

4) 当 $e > 0$, $e_c < 0$, 误差向相反方向变化, 系统输出进步减小, 这是应增大 k_e , 减小 k_u , 使输出快速回到稳态值附近。

1.2.2 比例因子的控制规则

根据以上控制策略, 可以总结出在线调整量化

因子和比例因子的控制规则如下:

1) If $e < 0$ and $e_c > 0$ and $\text{abs}(e) > \varepsilon_1$ and $\text{abs}(e_c) > \varepsilon_2$, then $\Delta k_e = \Delta k_e$ and $\Delta k_{ec} = 0$ and $\Delta k_u = \Delta k_u$

2) If $e < 0$ and $e_c > 0$ and $\text{abs}(e) < \varepsilon_1$ and $\text{abs}(e_c) < \varepsilon_2$, then $\Delta k_e = -\Delta k_e$ and

$\Delta k_{ec} = \Delta k_{ec}$ and $\Delta k_u = -\Delta k_u$

3) If $e > 0$ and $e_c > 0$, then $\Delta k_e = -\Delta k_e$ and $\Delta k_{ec} = \Delta k_{ec}$ and $\Delta k_u = -\Delta k_u$

4) If $e > 0$ and $e_c > 0$, then $\Delta k_e = -\Delta k_e$ and $\Delta k_{ec} = -\Delta k_{ec}$ and $\Delta k_u = -\Delta k_u$

5) If $e < 0$ and $e_c > 0$, then $\Delta k_e = \Delta k_e$ and $\Delta k_{ec} = 0$ and $\Delta k_u = -\Delta k_u$

上述规则中, Δk_e 、 Δk_{ec} 、 Δk_u 分别为量化因子 k_e 、 k_{ec} 和比例因子 k_u 的动态修正量, 因此在线修正算法为:

$$k_e(t) = k_e(t-1) + \Delta k_e; \quad (1)$$

$$k_{ec}(t) = k_{ec}(t-1) + \Delta k_{ec}; \quad (2)$$

$$k_u(t) = k_u(t-1) + \Delta k_u; \quad (3)$$

1.3 模糊自适应 PID 控制算法的实现

为了能将自调整量化因子、比例因子的模糊自适应控制算法引入到 dSPACE 半实物仿真系统中, 笔者在 Matlab/Simulink 中建立控制算法的 Simulink 模型。通过在模糊控制器的上一级建立一个控制器, 对量化因子、比例因子进行动态修正。搭建的控制结构图如图 2。

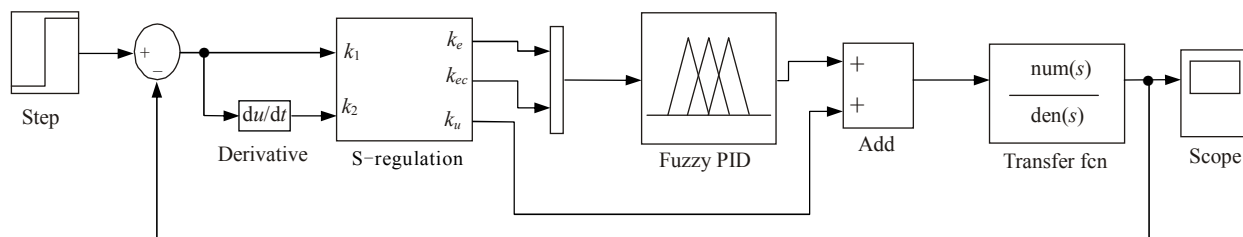


图 2 控制结构图

S-regulation 模块对量化比例因子进行在线调整, 调整后的量化因子 k_e 、 k_{ec} 再作用于模糊控制器, 将调整后的比例因子 k_u 与模糊控制器的输出量相加, 实现控制量。

2 dSPACE 在 FESTO 液位控制系统中的仿真应用

FESTO 液位控制实时仿真系统主要由软件环境和硬件环境 2 部分组成。如图 3, 软件环境包括在计算机上运行的 dSPACE 软件和 Matlab 软件, 硬

件环境包括计算机及插入计算机的 dSPACE 硬件板卡 (DS1104) 和功率放大电路。笔者所用的实时仿真软件为 dSPACE5.0 和 Matlab7.1。硬件板卡 DS1104 的控制信号经过功率放大电路, 使 FESTO 液位控制系统运动。

根据 dSPACE 半实物仿真的特点, 首先在 Matlab 中搭建液位控制系统的 Simulink 模型。其次在 dSPACE 实时仿真系统和 Matlab 软件环境基础上, 通过 dSPACE 的硬件板卡 DS1104 和外围接口电路, 构成整个系统的控制平台。

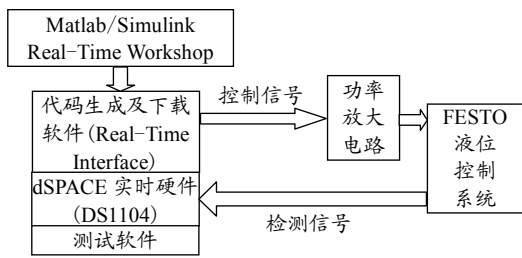
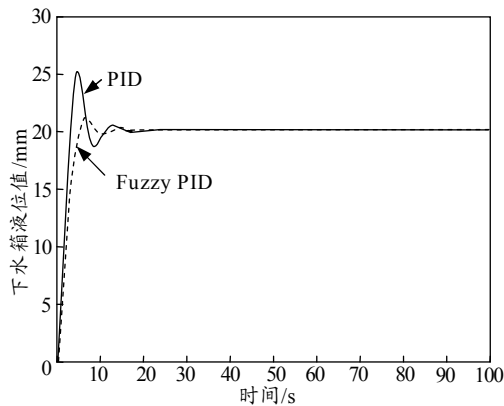
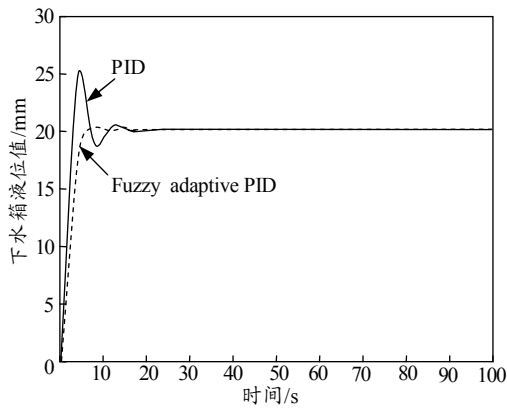


图 3 系统拓扑结构

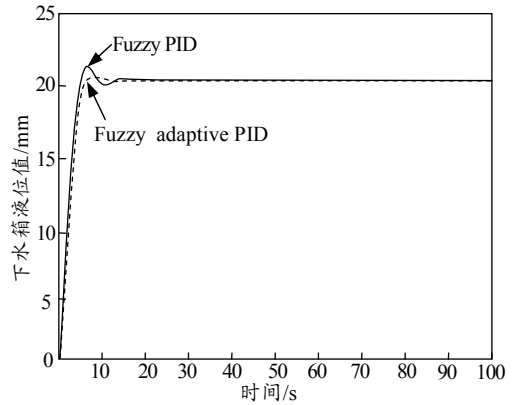
在控制模型搭建好以后，由 Simulink 方框图自动生成代码并下载到 dSPACE 实时系统硬件上，这时可以在 ControlDesk 综合实验环境中在线调整各种参数。



(a) PID、模糊 PID 控制响应曲线



(b) PID、模糊自适应 PID 控制响应曲线



(c) 模糊 PID、模糊自适应 PID 控制响应曲线

图 4 水箱液位控制响应曲线

对 FESTO 液位控制系统进行仿真实验，在不同的控制算法下水箱液位控制响应曲线如图 4。通过仿真曲线的对比，可以看到自调整量化比例因子的模糊自适应 PID 对于复杂的控制对象有良好的控制效果，水箱液位阶跃响应曲线几乎没有超调，比较快地进入了稳态。

3 结语

实验结果表明：比例因子可调的模糊自适应 PID 控制算法能使系统较快地达到稳态值，控制效果比较理想。

参考文献：

- [1] 北京九州恒润科技有限公司. 实时快速原型及硬件在回路仿真的一体化解决途径[R]. 北京: 九州恒润科技有限公司, 2005.
- [2] 北京九州恒润科技有限公司. Real-Time Workshop 基础 [R]. 北京: 九州恒润科技有限公司, 2003.
- [3] 邵裕森, 戴先中. 过程控制工程[M]. 2 版. 北京: 机械工业出版社, 2002: 247-256.
- [4] 刘金琨. 先进 PID 控制 MATLAB 仿真[M]. 2 版. 北京: 电子工业出版社, 2004: 153-158.
- [5] 丁晓玲. 自调整量化比例因子模糊控制在中央空调水系统中的应用研究[D]. 山东: 山东大学, 2007.