

基于 LabVIEW 与 MATLAB 的模糊参数自整定 PID 控制*

彭宇宁 黄世奎

(广西大学电气工程学院 广西南宁 530004)

摘要: 探讨在 MATLAB 中使用 FIS 编辑器与 Simulink 相结合的方法构造模糊推理结构, 并通过 MATLAB Script Node 实现 LabVIEW 与 MATLAB 的混合编程, 设计出具有模糊自整定 PID 参数的虚拟控制器。将此控制器用于实控系统, 控制效果理想, 鲁棒性强。

关键词: 模糊参数自整定 PID LabVIEW 与 MATLAB 的混合编程 FIS 编辑器 Simulink

Fuzzy Parameter Self-adjusting PID Control Based on LabVIEW and MATLAB

Peng Yuning Huang Shikui

(School of Electrical Engineering Guangxi University Nanning Guangxi 530004 China)

Abstract: FIS Editor and Simulink combination of method in Matlab is studied for making fuzzy reasoning structure, and then a mixed programming with LabVIEW and Simulink is realized by MATLAB Script Node. As a result, not only Fuzzy Parameter Self-adjusting PID Controller is designed, but also a fuzzy reasoning system is set up and applied, which has a good control effect and robust performance.

Key words: Fuzzy Parameter Self-adjusting PID mixed programming of LabVIEW and MATLAB FIS Editor Simulink

1 引言

传统的PID控制器结构简单, 稳定性好, 可靠性高, 制造技术成熟, 已广泛应用于工业生产过程的控制中。但它主要适用于控制具有确切模型的线性过程, 而对于具有非线性、大滞后和时变不确定的系统, 则无法达到理想的控制效果。人工智能的兴起和快速发展为控制领域提供了全新的方法。模糊控制是人工智能控制的一个重要分支, 它是运用模糊数学的基本理论和方法, 把规则的条件、操作用模糊集表示, 并把这些模糊控制规则及有关信息作为知识存入计算机知识库中, 然后计算机根据控制系统的实际响应情况, 运用模糊推理决定系统控制量的大小。将模糊理论与PID控制策略相结合,

可实现对PID参数在线自适应调整, 使系统既具有模糊控制的灵活、适应性强的优点, 又具有PID控制精度高的特点。模糊控制器是当前控制领域的研发热点之一, 其研发的方法不尽相同。本文阐述了利用 LabVIEW 与 MATLAB 混合编程技术将 MATLAB 中的模糊逻辑工具箱 (FIS Toolbox) 与 LabVIEW 虚拟仪器开发软件集成, 研制出模糊参数自整定PID虚拟控制器, 并实现了对非线性系统的实时测控。

2 Fuzzy-PID 控制策略

模糊参数自整定PID控制器以系统偏差 E 和偏差变化 EC 作为输入, 可以满足不同时刻的 E 和 EC 对 PID 参数自整定的要求。利用模糊控制规则在线对 PID 参数进行修改, 便可构成模糊参数自整定PID控制系统 (以下称 Fuzzy-PID 控制系统), 其结

*基金项目: 广西壮族自治区科学技术厅
广西科学基金资助项目 (合同编号: 桂科基 0663022)
项目名称: 基于 LabVIEW 与 Matlab 网络虚拟测控系统开发平台的研究

构如图 1 所示：

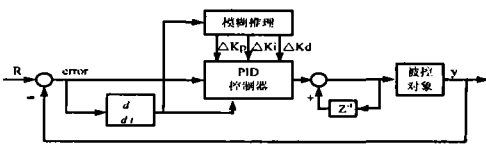


图 1 Fuzzy-PID 控制系统框图

Fuzzy-PID 控制策略是在 PID 控制算法基础上实现对 K_p 、 K_i 、 K_d 自适应的调整。PID 控制算法采用增量式描述为：

$$\Delta u(n) = K_i e(n) + K_p [e(n) - e(n-1)] + K_d [e(n) - 2e(n-1) + e(n-2)] \quad (1)$$

其中 K_p 、 K_i 、 K_d 由以下各项决定：

$$\left. \begin{aligned} K_p &= K_{p0} + \{E_j, EC_j\}_p \\ K_i &= K_{i0} + \{E_j, EC_j\}_i \\ K_d &= K_{d0} + \{E_j, EC_j\}_d \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

式中： $\{E_j, EC_j\}_p$ 、 $\{E_j, EC_j\}_i$ 、 $\{E_j, EC_j\}_d$ 为模糊推理的结果，即参数的校正值； K_{p0} 、 K_{i0} 、 K_{d0} 为参数初值。

3 控制器设计

模糊控制设计的核心是总结工程设计人员的技术知识和实际操作经验，建立合适的模糊规则表，并组建一个推理结构，实现模糊规则。

3.1 模糊规则表的建立

模糊参数自整定 PID 控制器是通过计算当前系统误差 E 与 EC ，利用模糊规则进行模糊推理，查询模糊矩阵表进行参数调整。分析图 2 归纳出不同阶段被控过程对 K_p 、 K_i 、 K_d 三个参数的自整定要求。

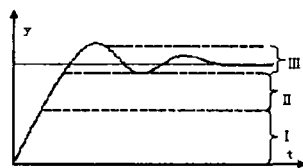


图 2 系统输出响应曲线

K_p ：在 I 和 II 阶段，适当置大一些以提高响应速度；III 阶段置小一些以提高系统稳定性。

K_i ：在 I 阶段置小一些以防止积分饱和，系统超调；II 阶段为避免影响系统稳定性，其值要适中；III 阶段大一些以减小静差。

K_d ：在 I 阶段置大一些，可以减小甚至避免超调；II、III 阶段过程对微分敏感，应置小一些。

根据以上调整原则，建立 K_p 、 K_i 、 K_d 三个参数的模糊规则表，如表 1、2、3 所示。

表 1 K_p 模糊控制规则表

EC \ E	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PM	PM	PS	ZO	ZO
NM	PB	PB	PM	PS	PS	ZO	NS
NS	PM	PM	PM	PS	ZO	NS	NS
ZO	PM	PM	PS	ZO	NS	NM	NM
PS	PS	PS	ZO	NS	NS	NM	NM
PM	PS	ZO	NS	NM	NM	NM	NB
PB	ZO	ZO	NM	NM	NM	NB	NB

表 2 K_i 模糊控制规则表

EC \ E	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NM	NM	NS	ZO	ZO
NM	NB	NB	NM	NS	NS	ZO	ZO
NS	NB	NM	NS	NS	ZO	PS	PS
ZO	NM	NM	NS	ZO	PS	PM	PM
PS	NM	NS	ZO	PS	PS	PM	PB
PM	ZO	ZO	PS	PS	PM	PB	PB
PB	ZO	ZO	PS	PM	PM	PB	PB

表 3 K_d 模糊控制规则表

EC \ E	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	PS	NS	NB	NB	NB	NM	PS
NM	PS	NS	NB	NM	NM	NS	ZO
NS	ZO	NS	NM	NM	NS	NS	ZO
ZO	ZO	NS	NS	NS	NS	NS	ZO
PS	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO
PM	PB	NS	PS	PS	PS	PS	PB
PB	PB	PM	PM	PM	PS	PS	PB

3.2 FIS 推理结构的编辑

在 MATLAB 中，对于 FIS 结构的编辑方法有两种，一种是直接编程，另外一种是利用 FIS 编辑器。本文采用 FIS 编辑器与 Simulink 相结合的方法。

在 MATLAB 命令窗口中输入 Fuzzy，打开基本 FIS 编辑器，编辑步骤如下：

(1) 定义语言变量

定义两个输入三个输出，即误差值 E、误差变化率 EC 和 PID 三个参数[K_p , K_i , K_d]。

(2) 定义各语言变量的论域

为了实现模糊控制器的标准化设计，目前在实际中常采用曼丹尼(Mamdani)提出的处理方法，即把变量的变化范围设定为[-6, 6]区间的边续变化量，并使之离散化，构成含 13 个整数元素的离散集合：{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6}。

实际上，如果是非对称型的，也可用 1~13 取代-6~+6。如果精确变量 x 的实际变化范围为[α , β]，可采用式 (3) 将其转换为[a, b]区间的变量 y。

$$y = \frac{b-a}{\beta-\alpha} \left[x - \frac{\alpha+\beta}{2} \right] \quad (3)$$

本文将E、EC、 K_p 、 K_i 、 K_d 的论域均设为{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6}，它们分别通过各自的量化因子转换到模糊控制器的基本论域。量化因子的计算公式为：

$$k = \frac{12}{(\beta-\alpha)x} \left[x - \frac{\alpha+\beta}{2} \right] \quad (4)$$

(3) 定义各语言变量的语言值

将所有变量取值为{“正大”，“正中”，“正小”，“零”，“负小”，“负中”，“负大”} = {PB,PM,PS,ZO,NS,NM,NB}。

(4) 定义其语言值的隶属度函数

FIS 编辑器中提供有 11 种隶属度函数供使用者选择使用。隶属度函数可采用吊钟型、梯形和三角形，理论上吊钟型最为理想，但是计算复杂；实践证明：用三角形和梯形函数系统性能并没有十分明显的差别。为了简化计算，现在最常用的是三角形，其次是梯形隶属函数。

(5) 定义变量的规则

模糊化规则有三种输入形式，可在 Rule>>options>>format菜单下选择。

① Verbose 的输入形式

IF (input1= =NB) and (input2= =NB) then

(output1= =NB) (1)

② Symbolic 的输入形式

(input1= =NB) & (input2= =NB) => (output1= =NB) (1)

③ Indexed 的输入形式

1 -1 (1) : 1

[备注：- 表示逻辑非；& 表示逻辑与，可用 1 表示；| 表示逻辑或，用 2 表示；(1)表示该条规则的权值为 1，值的范围为 0~1。]

(6) 输出变量的去模糊处理

常用的去模糊化方法有重心法、最大隶属度法、系统加权平均法、隶属度限幅元素平均法、中位数法。在 MATLAB 命令窗口中输入 Defuzzdm，可看到各去模糊化方法的演示。

至此，完成了模糊推理系统 fis 结构的建立，将此结构命名为 fuzzyPID.fis。

3.3 模糊推理结构验证

为了验证模糊规则及推理结构的可行性和合理性，在 MATLAB/Simulink 环境中进行控制系统仿真。由 Fuzzy-PID 组成的仿真控制系统如图 3 所示。

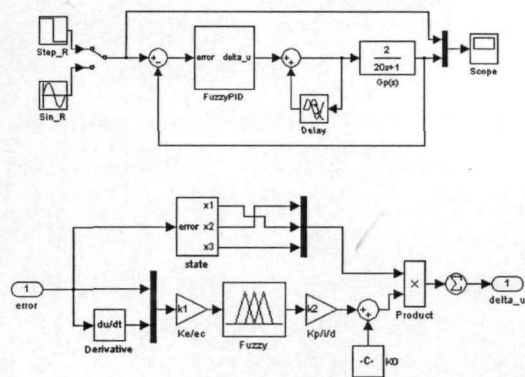


图 3 Fuzzy-PID 仿真控制系统

设置参数为 $k_0=[8 \ 0.2 \ 0]$, $k_1=[1 \ 1]$, $k_2=[0.05 \ 0.01 \ 0.005]$ ，运行仿真系统，结果如图4所示。

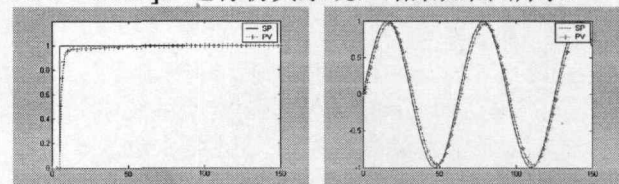


图 4 单位阶跃响应及正弦波跟踪效果

在仿真过程中有一点要注意：将模糊控制器嵌入 Simulink 前，应先保证与模糊控制器相应的推理

系统 (FIS) 结构装载到工作空间, 并由相关的名字指向模糊逻辑控制器。即将已经建立好的名为 fuzzyPID 的模糊逻辑控制器保存到 Workspace。

3.4 模糊控制器的设计

LabVIEW 与 MATLAB 在应用领域方面侧重点不同, 各有优势领域。因此, 在工程中利用两者间的混合编程优势互补, 对于开发功能更为强大的智能化虚拟仪器具有巨大的推动作用。本文利用 LabVIEW 内部集成的 MATLAB Script Node 实现两者混合编程, 完成模糊参数自整定 PID 的设计, 控制器的设计程序如图 5 所示。

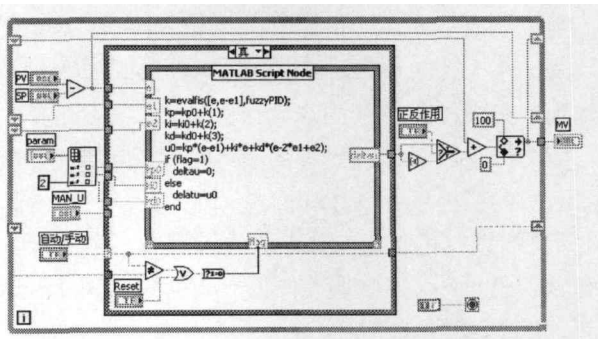
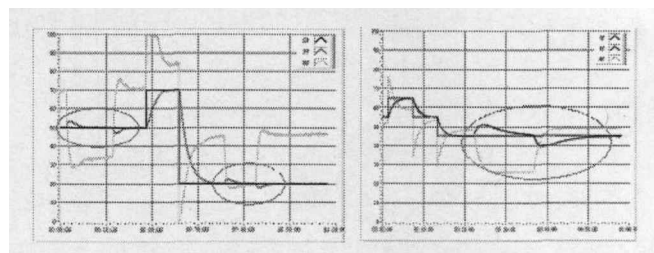


图 5 Fuzzy-PID 控制器设计程序

Fuzzy-PID 的程序框图由一个 while 循环组成, 在 while 循环内实现手自动切换、偏差处理、参数调整、控制器初始化、调用模型动态链接库文件等功能。这个 while 循环每次被调用时只执行一次。这里使用循环的目的是利用 while 循环的移位寄存器来保存数据。移位寄存器可用于将上一次循环的值传递至下一次循环, 因此可以借助移位寄存器记录程序的运行状态和中间结果, 它们在程序再次被调用时将被用到。上图中的移位寄存器第一个作为手动输出的保持器保持保存手动输出值, 第二个寄存器记录控制器的运行状态。两个结合起来实现控制器的手自动无扰动切换。

4 控制器的应用

为了检验Fuzzy-PID控制器的实际控制效果, 本文以北京华晟A3000高级过程控制实验系统中的非线性液位过程作为被控对象, 用研华公司生产的 ADAM4000 I/O模块将所设计的控制器与被控对象连接, 构成了具有模糊自整定PID参数的控制系统, 并将该系统在受到干扰作用时的控制品质与常规 PID控制系统的控制品质进行比较。两系统的控制效果如图6所示。



常规 PID

Fuzzy-PID

图 6 系统输出响应曲线

由图 6 可见, 当系统设定值或干扰发生较大的阶跃变化时, Fuzzy-PID 控制系统的抗干扰能力、跟踪效果、控制品质明显优于常规 PID 控制。

5 结论

在 MATLAB 环境下, 使用模糊逻辑工具箱 (FIS) 搭建虚拟控制器的 Fuzzy-PID 算法, 利用 LabVIEW 来设计人机界面、信号采集、数据处理与存储等工程应用中所需的其他功能, 并通过运用 LabVIEW 内部所集成的“MATLAB Script Node”将 LabVIEW 与 MATLAB 混合编程, 实现上述两部分设计的集成, 完成模糊自整定 PID 参数控制器的整机设计。Fuzzy-PID 控制系统的实控结果表明, 所设计的虚拟控制器对非线性特性较为严重的被控对象的控制, 具有较强的自适应能力和鲁棒性, 其控制品质优于常规 PID 控制器。

参考文献

- [1] 刘金琨. 先进 PID 控制 MATLAB 仿真[M]. 电子工业出版社, 2004
- [2] 张军锋, 吴海峰, 梁艳红. 基于Matlab FIS工具箱的模糊自整定PID控制系统设计与实现[J]. 微计算机信息 (测控自动化), 2004, 20 (6): 23-24, 41
- [3] 杨咏, 梅陈宁. 基于MATLAB的模糊自整定PID参数控制器的设计与仿真[J]. 微计算机信息 (测控自动化), 2005, 21 (12-1): 61-63
- [4] 张睿彬. 模糊参数自整定 PID 控制器的设计与仿真研究[J]. 中原工学院学报, 2007, 18 (1): 65-67
- [5] 刘学东. 模糊自整定 PID 控制器参数的设计[J]. 河北理工学院学报, 2004, 26 (1): 75-77, 86
- [6] 陈跃东, 郎朗. 用 FUZZY—PID 控制器实现控制参数的自整定[J]. 安徽机电学院学报, 2002, 3 (17)