

模糊自适应 PID 参数自整定控制器的研究*

Research on Parameters Self-tuning Fuzzy Adaptive PID Controller

张燕红 (常州工学院电子信息与电气工程学院,江苏 常州 213002)

摘要

当控制系统中的被控对象存在纯滞后、时变或非线性等复杂因素时,普通的 PID 控制器的控制效果很难达到较好的控制效果,针对这一问题,应用模糊控制和自适应控制的知识,设计了模糊自适应 PID 参数自整定控制器,此控制器的比例系数、积分系数和微分系数可根据模糊推理规则进行在线调整。仿真结果表明,该控制方法提高了系统的动、静态特性,使该系统具有较好的鲁棒性。

关键词:PID 控制,模糊控制,自适应控制,模糊推理,鲁棒性

Abstract

When the controlled objects is pure delay,time-varying and nonlinear in the control system,it is difficult for common PID controller to achieve good control effect.In order to solve this problem,the fuzzy control and adaptive control knowledge is used to design a fuzzy adaptive PID parameters self-tuning controller,this proportional coefficient,integral coefficient and differential coefficient are adjusted on-line according to the fuzzy reasoning rules.

Keywords:PID control,fuzzy control,self-adaptive control,fuzzy reason,robustness

近年来,PID 控制及其相应的改进型的 PID 控制已经被广泛地应用于各个领域,但是当控制系统中的被控对象存在非线性、时变性和不确定性等因素,采用常规 PID 控制,很难达到较好的控制效果,而且在 PID 控制器中,参数的整定也一直是比较困难的,尤其是被控对象的参数发生变化的时候,之前的 PID 控制器的参数很难适应新的变化的被控对象模型,因此,针对这一问题,本文在对 PID 控制和模糊控制理论及自适应控制理论的深入研究的基础上,设计了自适应模糊 PID 控制器,首先设定普通 PID 控制器的控制参数(比例、积分、微分系数)的初值,然后根据控制经验知识设计控制规则,以系统偏差和偏差变化为输入,进行在线的模糊推理,输出常规 PID 控制器比例、积分、微分系数的修正值,构成二输入、三输出模糊控制器,从而实现了 PID 控制器的参数在线整定的过程。

1 普通的 PID 控制的基本原理

PID 控制器是偏差的比例、积分、微分的线性组合。在模拟控制系统中,常规模拟 PID 控制系统原理框图如图 1 所示。

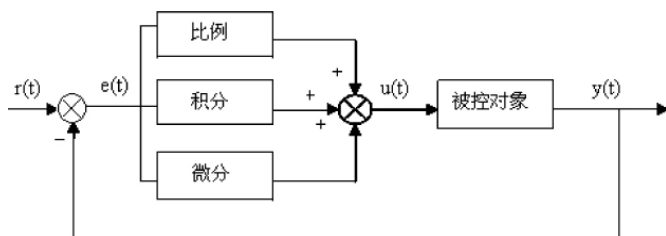


图 1 模拟 PID 控制器原理图

PID 控制器的控制规律为:

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \cdot \frac{de(t)}{dt} \quad (1)$$

在计算机控制系统中,PID 控制规律是用计算机算法程序

来实现的,使用的是数字 PID 控制器,数字 PID 控制算法通常又分为位置式 PID 控制算法和增量式 PID 控制算法。

位置式 PID 控制算式为:

$$u(k) = K_p e(k) + K_i \sum_{j=0}^k e(j) + K_d [e(k) - e(k-1)] \quad (2)$$

增量式 PID 控制算式为:

$$u(k-1) = K_p e(k-1) + K_i \sum_{j=0}^{k-1} e(j) + K_d [e(k-1) - e(k-2)] \quad (3)$$

2 模糊 PID 控制器的设计

由于 PID 控制器的参数比较难整定,针对这一问题,本文设计了模糊 PID 控制器,与普通的 PID 控制相比,它具有易于对不确定系统或非线性系统进行控制、对被控对象的参数变化有较强的鲁棒性、对外界的干扰有较强的抑制能力等特点。模糊 PID 控制器由模糊化模块、知识库、模糊推理模块和解模糊模块组成,其结构框图如图 2 所示。

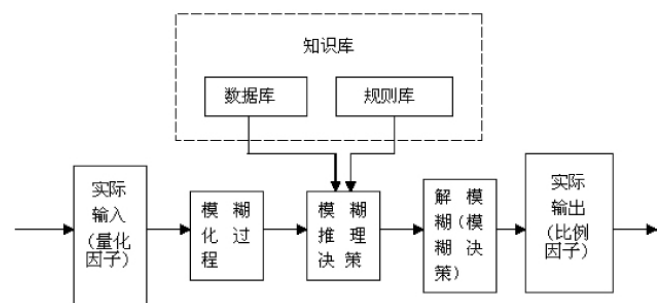


图 2 模糊控制器的结构

对于一个控制系统,首先把输出信号 y 经过传感器检测出来并把物理量转化为电量信号,经过 A/D 转换器转化为数字量,然后计算出偏差信号 e(e=r-y)和偏差的变化率 ec(ec=

* 常州工学院自然科学研究项目(YN06061)

de/dt)作为模糊化模块的输入信号,接着再把输入测量值的变化范围映射到相应论域中,再将论域中的该输入数据转换成相应语言变量的术语,并构成模糊集合。这样就把输入的精确量转换为用隶属度函数表示的某一模糊变量的值。由此才能用检测到的输入量作为模糊控制规则的条件来运用模糊控制规则进行推理。模糊推理模块是利用知识库的信息运用模糊数学理论对模糊控制规则进行计算推理,得到一个定性的用语言表示的模糊输出量。这个模糊输出量不能直接用于输出,因而还必须作一次转换,将模糊量转换为精确量的数字量,数字量经过D/A转换器转化为模拟信号,作为被控对象的控制信号。

3 自适应模糊PID参数自整定控制器的设计

PID控制器在工业过程的应用中,最大的障碍是PID控制器的参数的整定,目前大多数应用经验法来整定参数,但是往往工业过程中的被控对象的参数是时变的,这意味着原来整定好的参数不再适用于被控对象参数变化后的过程,这对这一问题,本文利用自适应控制的知识,设计了模糊PID参数自整定的控制器,模糊PID参数自整定控制系统原理图如图3所示。

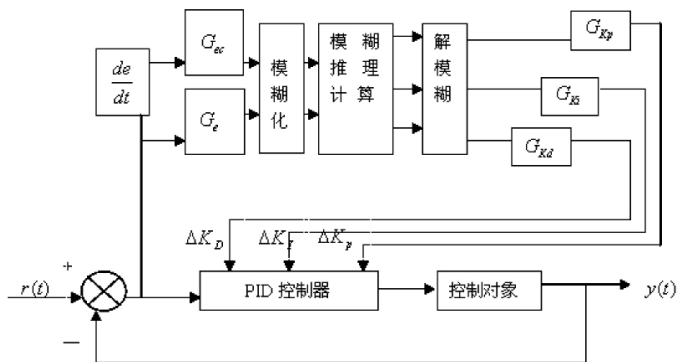


图3 模糊PID参数自整定控制系统原理图

由图3可以看出,首先由模糊控制在线计算出PID控制器的三个参数的变化量,从而在线计算出了PID三个参数的实时值,然后计算出控制信号,用来控制被控对象。

(1)模糊PID参数自整定控制算法

本文设计的模糊PID控制器为两输入,三输出的模糊控制器,输入信号为误差和误差的变化率,输出信号为PID控制器参数的变化量 ΔK_p 、 ΔK_i 、 ΔK_d 。

选择误差和误差的变化率的模糊子集分别为: $E, EC = \{NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB\}$ 。确定E、EC的模糊论域为:

$$E = [-0.75 \quad -0.5 \quad -0.25 \quad 0 \quad 0.25 \quad 0.5 \quad 0.75]$$

$$EC = [-0.8 \quad -0.5 \quad -0.29 \quad 0 \quad 0.29 \quad 0.5 \quad 0.8]$$

为设计方便本文取量化因子为1。同样对于模糊控制系统输出的Fuzzy集合论域U,可以通过比例因子 G_u 转换到控制量基本论域 $[-u, u]$,即控制量的实际变化范围。为计算简便这里比例因子一般取1。

由一系列模糊语言值的集合可描述出一个模糊语言变量,在推理法中模糊论域中的模糊子集对应模糊语言变量,由隶属函数给出。本文采用三角隶属度函数方法。

(2)PID控制器参数自整定方法

由E、EC及 K_p, K_i, K_d 的Fuzzy子集的隶属度,再根据各Fuzzy子集的隶属度赋值表和参数的Fuzzy调整规则模型,运用Fuzzy合成推理设计出的PID参数的Fuzzy调整矩阵,这是整定系统Fuzzy控制算法的核心,我们将其存入程序存储器中供查询。

定义 K_p, K_i, K_d 参数调整算式如下:

$$\begin{cases} K_p = K_{p0} + \Delta K_p \\ K_i = K_{i0} + \Delta K_i \\ K_d = K_{d0} + \Delta K_d \end{cases}$$

式中, K_p, K_i, K_d 是PID控制器的参数, K_{p0}, K_{i0}, K_{d0} 是 K_p, K_i, K_d 的初始参数,它们通过常规方法得到。在线性过程中,通过微机测控系统不断的检测系统的输出响应值,并实时的计算出偏差和偏差变化率,然后将它们模糊化得到e和ec,通过查询Fuzzy调整矩阵即可得到 K_p, K_i, K_d 三个参数的调整量 $\Delta K_p, \Delta K_i, \Delta K_d$,完成对控制器参数的调整。

4 系统仿真

选择被控控制对象为一个三阶控制系统,假设它的传递函数为:

$$G(s) = \frac{2500}{s^3 + 57.3s^2 + 102.4s + 20}$$

根据前面设计的参数自整定模糊PID控制器,输入信号采用单位阶跃信号,为了观察 K_p, K_i 和 K_d 三个参数的变化过程,在0.3s时刻施加了一个干扰信号,在MATLAB下编程,对此系统进行仿真,得到的仿真结果如图4~7所示。

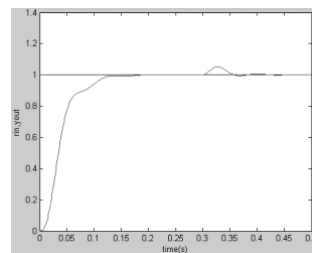


图4 输入输出曲线图

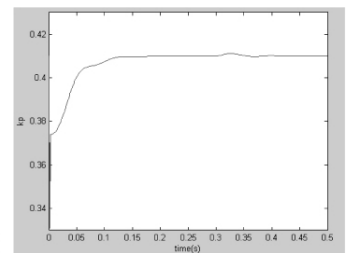


图5 参数 K_p 的变化曲线图

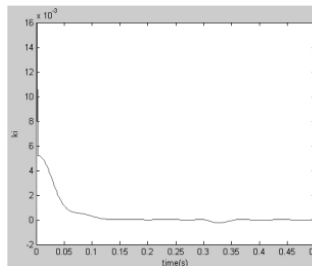


图6 参数 K_i 的变化曲线图

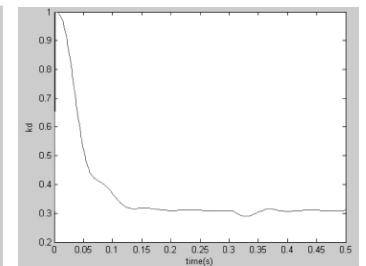


图7 参数 K_d 的变化曲线图

由仿真结果可以看出,参数 K_p, K_i 和 K_d 大约经过0.15s趋于稳定,在0.3s时刻干扰信号的影响下,三个参数经过0.05s的调整,也达到了稳态,这充分体现了模糊PID参数自整定控制器具有很好的鲁棒性。

参考文献

- [1]Astrom K J,Hagglund T. Automatic Tuning of PID Controllers. Research Triangle park, North Carolina: Instrument Society of America, 1988
- [2]金琨. 先进PID控制——MATLAB仿真[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004
- [3]李卓, 萧德云, 何世忠. 基于Fuzzy推理的自调整PID控制器[J]. 控制理论与应用, 1997(2): 238-242
- [4]诸静. 模糊控制原理与应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 1995
- [5]朱摩西. 模糊模糊PID控制器及模糊参数整定器的设计和应用[J]. 自动化仪表, 1996(6)

[收稿日期: 2012.4.18]