

时变大滞后系统的模糊免疫 PID 控制

闵佳园

(长江师范学院 机械工程学院, 重庆 408003)

摘要: 工业中的大多数生产系统都是时变和滞后系统。对于这类系统, 普通的 PID 控制器难以获得满意的控制效果。而采用模糊 PID 控制能降低系统的超调量, 提高系统的响应速度。为了提高模糊 PID 控制器的控制性能, 将模糊参数自整定调节方法与免疫进化算法相结合, 设计了一种模糊免疫参数自整定 PID 控制系统。对于时变大滞后系统, 模糊免疫参数自整定 PID 控制能明显减小系统的超调量, 加快系统的响应速度。

关键词: 时变; 滞后; 模糊控制; 免疫调节

中图分类号: TP273+.4

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2012)14-0064-03

Fuzzy immune PID control of time-varying and large delay system

Min Jiayuan

(School of Mechanical Engineering, Yangtze Normal University, Chongqing 408003, China)

Abstract: Many industrial production systems are time-varying and delay system. For this kind of system, the ordinary PID controller is difficult to obtain satisfactory control. Fuzzy PID control can reduce the overshoot of system and improve the system's response speed. In order to improve the control performance of the fuzzy PID controller, we combine fuzzy self-tuning parameter adjusting method with immune evolutionary algorithm to design a fuzzy immune parameter self-tuning PID control system. For time-varying and large delay system, the fuzzy immune parameter self-tuning PID control can significantly reduce the overshoot and accelerate the response speed of the system.

Key words: time-varying; delay; fuzzy control; immune regulation

当今的工业生产中, 生产过程往往不同程度地存在时变和时间滞后。纯延迟的存在使得被调量不能及时反映系统所承受的扰动, 必然会产生较明显的超调量和较长的调节时间^[1]。同时, 被控对象的模型并不是固定不变的, 模型的参数会随着时间的变化而变化。此类系统称为时变、大滞后系统。工业生产中, 一般采用 PID 对系统进行控制。对于生产过程中存在的时变、大滞后系统, 传统的 PID 控制无法消除控制中的明显超调量、较长的调节时间和解决控制模型参数时变的问题。对此, 本文设计了一种模糊免疫 PID 控制^[2]来控制时变、大滞后系统。模糊免疫 PID 控制中的模糊控制部分可用于被控对象模型不精确或参数时变的情况。而将模糊控制与免疫系统控制相结合, 能够解决时变、大滞后系统动态控制过程中产生的明显超调和较长调节时间的问题, 从而提高系统控制的精度。

1 生物系统的免疫机理^[3]

免疫是生物体的一种特性生理反应。生物的免疫系统对于外来侵犯的抗原可产生相应的抗体, 抗原与抗体结合后, 会产生一系列的反应, 通过吞噬作用或产生特殊酶而毁坏抗原。生物的免疫系统由淋巴细胞和抗体分子组成, 淋巴细胞又由胸腺产生的 T 细胞 (分别为辅助细胞 T_H 和抑制细胞 T_S) 和骨髓产生的 B 细胞组成。当抗原侵入机体并经周围细胞消化后, 将信息传递给 T 细胞, 即传递给 T_H 细胞和 T_S 细胞, 然后刺激 B 细胞产生抗体以消除抗原。当抗原较多时, 机体内的 T_H 细胞也较多, 而 T_S 细胞较少, 从而产生较多的 B 细胞。随着抗原的减少, 体内 T_S 细胞增多, 它抑制了 T_H 细胞的产生, 则 B 细胞也随着减少。经过一段时间间隔后, 免疫反馈系统便趋于平衡。

2 模糊免疫参数自整定 PID 控制

基于上述免疫原理, 提出如下假设: 假设第 k 代

技术与方法 Technique and Method

的抗原数量为 $\varepsilon(k)$, 由抗原刺激增强的 T_H 细胞的输出为 $T_H(k)$, T_S 细胞对 B 细胞的影响为 $T_S(k)$, B 细胞接收的总刺激为:

$$S(k) = T_H(k) - T_S(k)$$

式中, $T_H(k) = k_1 \varepsilon(k)$, $T_S(k) = k_2 f(\Delta s(k)) \varepsilon(k)$, k_1 是激励因子, 符号为正, k_2 是抑制因子, 符号为负。 $f()$ 是一个非线性函数, 表示抑制细胞 T_S 的抑制量, 输出限制在 $[0, 1]$ 。故 B 细胞接收的总刺激为:

$$S(k) = T_H(k) - T_S(k) = (k_1 - k_2 f(\Delta S(k))) \varepsilon(k)$$

将免疫反馈机制应用到控制系统中, 将抗原的数量 $\varepsilon(k)$ 作为偏差 $e(k)$, B 细胞接收的总刺激 $S(k)$ 作为控制输入 $u(k)$, 有以下反馈控制规律^[1]:

$$u(k) = K(1 - \eta f(u(k), \Delta u(k))) e(k)$$

式中, $K = k_1$ 为控制反应速度, $\eta = k_2/k_1$ 为控制稳定效果。

本文将免疫反馈机理同模糊自整定 PID 控制相结合, 用模糊逻辑推理来逼近非线性函数 $f()$, 再用模糊免疫反馈机理实时调整 PID 控制器的比例增益 K_p ^[4]。而 PID 控制器的积分增益 K_i 和微分增益 K_d 还是通过模糊控制器整定。通过模糊免疫反馈机理调整比例增益 K_p , 能够提高系统的动态响应速度并减小系统的超调量, 从而提高系统的控制精度。本文采用的模糊免疫自整定 PID 控制系统的结构如图 1 所示。

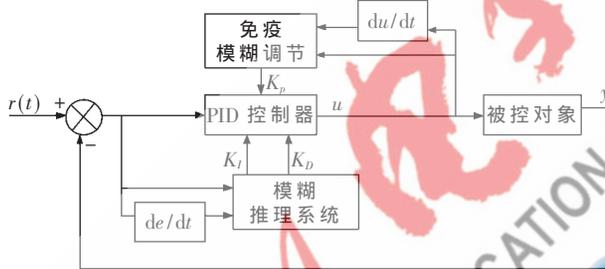


图 1 模糊免疫自适应 PID 控制系统

其中, 免疫调节器有 2 个输入, 分别是 PID 控制器的输出 $u(k)$ 和输出的变化量 $\Delta u(k)$ 。 $u(k)$ 和 $\Delta u(k)$ 的论域分别表示为正(P)、零(Z)、负(N)和正(P)、负(N)。而免疫调节器中的模糊控制用来模拟免疫反馈规律中的非线性函数 $f()$ 。免疫调节器的输出为非线性函数 $f()$ 的模糊量, 论域为正(P)、零(Z)、负(N)。免疫控制器的输入和输出的隶属函数分别如图 2 和图 3 所示。

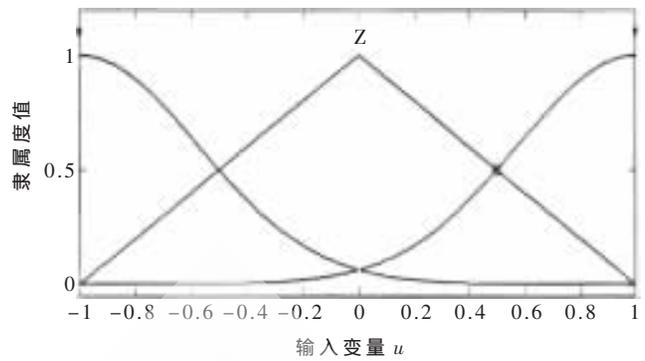
逼近非线性函数 $f()$ 的模糊控制规则如表 1 所示。

模糊规则采用 Zadeh 的模糊逻辑 AND 操作, 反模糊化采用常用的加权平均解模糊化方法。

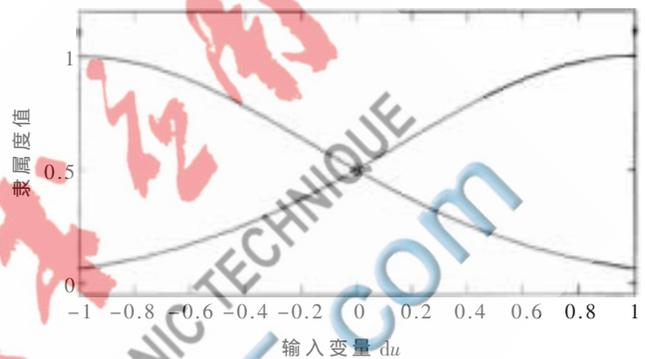
在本系统中, PID 调节器中的积分增益 K_i 和微分增益 K_d 仍然由模糊自整定 PID 控制器在线整定。至此, 已将模糊免疫调节算法用于 PID 控制中的比例控制, 模糊免疫 PID 控制器的设计初步完成。

3 系统仿真与分析

在 MATLAB 的 Simulink 环境下用模糊免疫 PID 控制器对两个时变大滞后系统进行仿真。



(a) 输入变量 u 的隶属度函数曲线



(b) 输入变量 du 的隶属度函数曲线

图 2 输入变量 u 及 du 的隶属度函数曲线

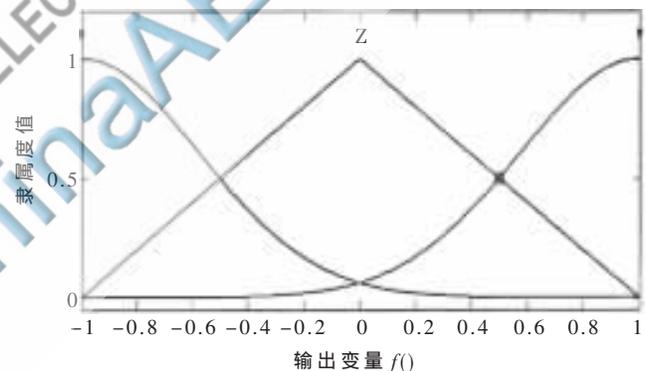


图 3 输出变量 $f()$ 的隶属度函数曲线

(1) 选择工业过程中常见的电锅炉温度模型, 该模型由一个一阶惯性环节加大滞后环节组成。该被控过程的数学模型为: $\frac{1.25}{120s+1} e^{-12s}$ 。

表 1 $f()$ 的模糊规则表

X_1	X_2	
	P	N
P	N	Z
Z	N	P
N	Z	P

Simulink 下的电锅炉的模糊

免疫 PID 控制的仿真模型如图 4 所示。其中 K_p 、 K_i 和 K_d 的初始值分别为 0.5、0.004 和 30。

仿真曲线如图 5 所示, 其中横轴表示时间(单位 s), 纵轴表示温度(单位 $^{\circ}C$)。

由仿真结果可知, 对于线性时变大滞后系统, 模糊免疫 PID 控制比传统的 PID 控制和模糊自整定 PID 控制具有动态响应速度更快、超调量更小、过渡时间更短

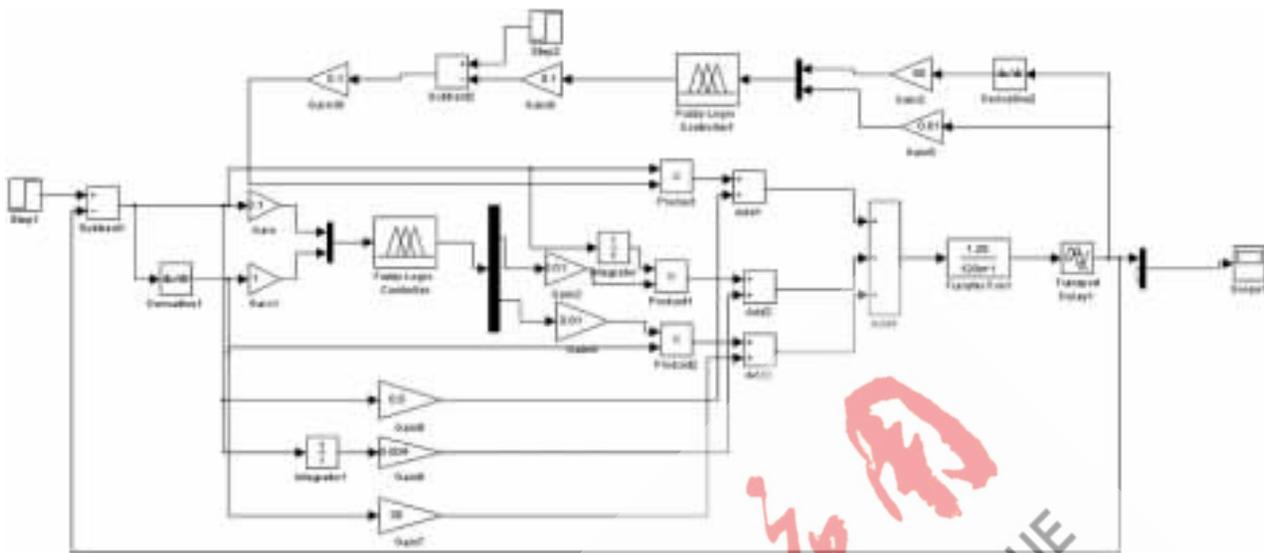


图4 模糊免疫PID控制的仿真框图

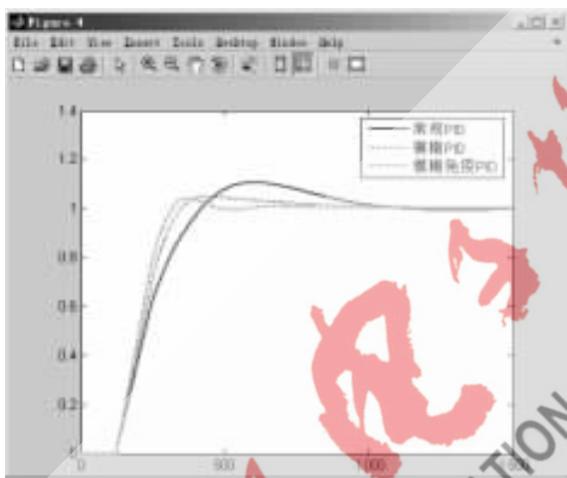


图5 线性大滞后系统的3种PID控制的仿真曲线

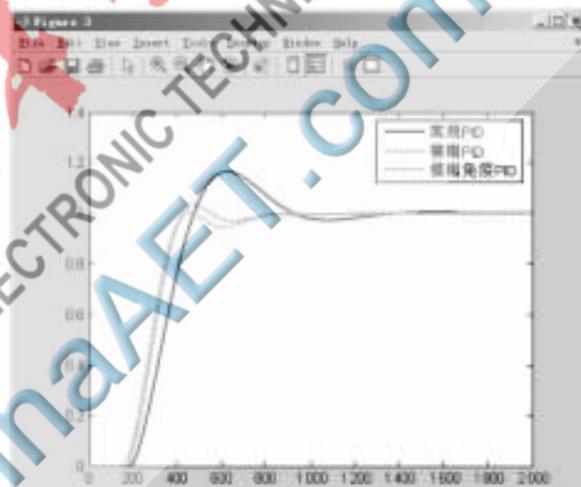


图6 非线性大滞后系统的3种PID控制的仿真曲线

的特点,且效果明显。

(2)对非线性、时变、大滞后系统进行模糊免疫PID控制仿真。选取一带死区的二阶滞后环节为被控对象。

被控对象的传递函数为： $\frac{1}{160s^2+60s+1}e^{-100s}$ ，非线性部分为死区环节。

经过仿真,结果如图6所示。其中横轴表示时间(单位s),纵轴为阶跃响应函数 $y(t)$ 。由图可知,对于非线性、时变、大滞后系统,常规PID控制响应速度较慢、超调量大、达到稳态的时间长,动态控制性能并不好。而模糊免疫PID控制相对于常规PID控制和模糊PID控制具有较短的动态响应时间和较小的超调量,达到稳态的时间短,有较好的动态控制性能。

对于时变、大滞后系统,常规的PID控制往往达不到控制效果。本文设计了一种模糊免疫PID控制系统,将模糊自适应PID控制的优点与免疫控制的优点相结合。相比于常规的PID控制有较快的动态响应速度、较小的超调量和较短的过渡时间,同时具有较强的适应内

部参数变化的能力。仿真结果表明,模糊免疫PID控制为时变、大滞后系统的控制提供了一条简便、有效的途径。

参考文献

- [1] 季春光,王朋,李士勇,等.基于神经网络的时变大滞后系统的Smith预估控制[J].哈尔滨工业大学学报,2003,35(3):303-304.
- [2] 郝伟,谢克明.模糊免疫参数自整定PID控制系统设计及仿真[J].太原理工大学学报,2006,37(3):274-275.
- [3] 刘金琨.先进PID控制及其MATLAB仿真[M].北京:电子工业出版社,2003:81-82.
- [4] 孙涛.基于模糊免疫自适应PID的智能控制算法的研究[D].大连:大连海事大学,2009:39-40.

(收稿日期:2012-03-20)

作者简介:

闵佳园,女,1982年生,硕士研究生,助教,主要研究方向:模糊控制。