

Immune PID control based on Variable Region Fuzzy

LI Guang-jun¹, ZHANG Xue-ping², ZHANG Jing³

¹ Network Center, Yibin University, Yibin Sichuan 644007, China

² Electric Information Department, Yibin University, Yibin Sichuan 644007, China

³ Library, Yibin University, Yibin Sichuan 644007, China

1.E-mail:lgj0454@126.com, 2.E-mail:ybzxp@126.com, 3.E-mail:zhangj927@126.com

Abstract: Aiming at the time delay and mutable characteristic of the nonlinear system, an immune PID control based on variable region fuzzy is proposed and designed in the paper. The controller is designed with changing domain to fuzzy input and output variables, which preferably satisfied the request of control. The results of simulation show that the proposed scheme has small overmodulation, high steady state and good robust performance, by comparing with the fuzzy immune PID controller.

Key words: variable region fuzzy; immune; PID control; nonlinear system

基于变论域模糊的免疫 PID 控制

李广军¹, 张雪平², 张晶³

¹ 宜宾学院网管中心, 四川宜宾, 中国, 644007

² 宜宾学院电子系, 四川 宜宾, 中国, 644007

³ 宜宾学院图书馆, 四川 宜宾, 中国, 644007

1.E-mail:lgj0454@126.com 2.E-mail:ybzxp@126.com 3.E-mail:zhangj927@126.com

摘要: 针对具有时变、纯滞等特点的非线性系统, 采用论域自调整模糊控制作为控制策略, 提出了一种基于变论域模糊的免疫PID控制器。通过改变模糊输入和输出变量的论域, 用较少的控制规则实现了较高的控制精度, 算法简单, 易于实现。仿真显示, 该方法超调量小、稳态精度高、鲁棒性好, 控制效果明显优于模糊免疫PID控制。

关键字: 变论域模糊; 免疫; PID控制器; 非线性系统

1 引言:

在现代工业控制中, PID控制以其结构简单、工作稳定、鲁棒性强及稳态无静差等优点而一直处于主导地位, 但其依赖于系统精确数学模型的缺陷往往使得其面对较为复杂、时变、不确定的非线性系统时效果较差。随着模糊逻辑和免疫技术的发展, 提出了基于模糊逻辑和免疫PID的混合控制方式^{[1][2]}, 控制性能优于常规的PID控制。但是常规模糊控制的问题是: 1) 存在着隶属度函数和控制规则一旦确定后就再也无法更改的缺陷, 自适应能力差; 2) 控制精度低, 控制精度的高低与控制规则间有着很大的关系, 人们往往以增加语言变量或控制规则的数目来提高控制系统的精度, 将不可避免地面临着“规则爆炸”问题。

为解决上述问题, 引入变模糊论域思想^[3]。变论域模糊控制器, 就是通过选取合适的论域伸缩因子, 以论域之变应误差之变, 使得实际控制规则大幅度增加, 越接近期望控制点, 控制器的档级越小, 因而获

得比较满意的动态性能指标和稳态性能指标。

2 免疫 PID 控制

常规PID控制是将偏差的过去、现在和未来的信息都进行了综合考虑。将生物免疫原理与常规PID控制相结合, 可以相互取长补短, 以进一步提高系统的控制性能。考虑常规增量式PID控制离散形式为:

$$u(k) = u(k-1) + \Delta u(k) \quad (1)$$

$$\Delta u(k) = k_p(e(k) - e(k-1)) + k_i e(k) + k_d [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] \quad (2)$$

式中, k_p 、 k_i 、 k_d 分别为比例、积分和微分系数。其中, 比例作用 k_p 可对给定值与输出间的偏差及时做出反应; 积分作用 k_i 主要用来消除静差, 提高控制精度, 改善系统的静态特性; 微分作用 k_d 主要是减小超调量, 使系统快速趋向稳定, 改善系统的动态特性。通过调整 k_p 、 k_i 、 k_d , 使得系统快速、平稳、准确, 获得满意控制效果。

免疫PID控制器是借鉴生物系统的免疫机理而设

计出的一种非线性控制器。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 T 细胞(分别为辅助细胞TH和抑制细胞Ts)和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TH细胞和Ts细胞,然后刺激B细胞。B细胞产生抗体以消除抗原,当抗原较多时,从而会产生较多的B细胞;随着抗原的减少,体内的Ts细胞增多,它抑制了TH细胞的产生,则B细胞也随着减少。基于上述免疫反馈原理,提出了免疫PI控制器[2]:假设第 k 代的抗原数量为 $\varepsilon(k)$,由抗原刺激的TH细胞的输出为 $T_H(k)$,则B细胞接收的总刺激为:

$$S(k) = T_H(k) - T_S(k) \quad (3)$$

式中, $T_H(k) = k_1 \varepsilon(k)$, $T_S(k) = k_2 f(\Delta S(k)) \varepsilon(k)$ 。若以抗原的数量 $\varepsilon(k)$ 作为偏差 $e(k)$,B 细胞接收的总刺激 $S(k)$ 作为控制输入 $u(k)$,则有如下的反馈控制规律:

$$u(k) = K(1 - \eta f(u(k), \Delta u(k))) e(k) = k_{p1} e(k) \quad (4)$$

式中, $k_{p1} = K(1 - \eta f(u(k), \Delta u(k)))$, $K = k_1$ 为控制反映速度, $\eta = k_2/k_1$ 为控制稳定效果, $f(\bullet)$ 为一选定的非线性函数。

3 变论域模糊

文献[4]作者首次提出变论域思想:在规则形式不变的前提下,论域随着误差变小而收缩(亦可随着误差增大而扩展)。局部地看,论域收缩相当于增加规则,也即插值结点加密,从而提高了精度。如果在规则形成(形状)不变的前提下,论域随设初始论域 $[-E, E]$ 通过“伸缩”因子 $\alpha(x)$ 变换为 $[-\alpha(x)E, \alpha(x)E]$, $\alpha(x)$ 为误差变量 x 的连续函数。因此,可变论域的模糊控制器的控制效果大为改善,它以论域的变化跟随误差的变化,而如何确定 $\alpha(x)$ 函数是一个关键环节。

4 变论域模糊免疫 PID 控制

4.1 模糊免疫PID控制

利用模糊推理逻辑可逼近非线性函数 $f(\bullet)$,假设每个输入变量被二个模糊集模糊化,分别是“正”(P)、“零”(Z)和“负”(N)。输出变量被3个模糊集模糊化,分别是“正”(P)、“零”(Z)和“负”(N)。以上隶属度函数都定义在整个 $(-\infty, +\infty)$ 。其中模糊推理逻辑规则可采用以下4条规则:

- (1) If u is P and $\Delta(u)$ is P then $f(u, \Delta(u))$ is $N(1)$;
- (2) If u is P and $\Delta(u)$ is N then $f(u, \Delta(u))$ is $Z(1)$;
- (3) If u is N and $\Delta(u)$ is P then $f(u, \Delta(u))$ is $Z(1)$;

(4) If u is N and $\Delta(u)$ is N then $f(u, \Delta(u))$ is $P(1)$;

各规则中,使用Zadeh的模糊逻辑AND操作,并采用常用的mom反模糊化方法得到模糊控制器的输出 $f(\bullet)$ 。基于免疫反馈原理的控制器实际上就是一个非线性PID控制器,其比例系数 $k_{p1} = K(1 - \eta f(u(k), \Delta u(k)))$ 随控制器输出的变化而变化,其中 K 为增益,由此免疫PID控制器的输出为:

$$u(k) = u(k-1) + \Delta u(k) \quad (5)$$

$$\Delta u(k) = k_d(e(k) - e(k-1)) + k_p e(k) + k_i(e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)) \quad (6)$$

4.2 变论域模糊设计

根据伸缩因子的选择方法[5],进行变论域模糊设计。伸缩因子同时要满足以下特性:1)对偶性;2)保零性;3)单调性;4)协调性;5)正规性。设 $x \in X = [-E, E]$,文献[5]证明了伸缩因子:

$$\alpha(x) = \left(\frac{|x|}{E} \right)^\tau \quad (7)$$

严格地符合以上特性,其中 τ 为常数,要求 $0 < \tau < 1$ 。其次,根据变论域模糊通常处理方法,即将各比例因子分别乘以相应的论域,该方法简单方便易于操作。根据以上原则,设 $X_1 = [-U, U]$, $X_2 = [-\Delta U, \Delta U]$, $Y = [-F, F]$ 分别为模糊输入变量 $u, \Delta(u)$ 和输出变量 $f(u, \Delta(u))$ 的论域,设计出模糊变量 $u, \Delta(u)$ 和 $f(u, \Delta(u))$ 的论域 X_1, X_2 和 Y 的伸缩因子如下:

$$\alpha(u) = \left(\frac{|u|}{U} \right)^\tau \quad (8)$$

$$\alpha(\Delta(u)) = \left(\frac{|\Delta(u)|}{\Delta U} \right)^\tau \quad (9)$$

$$\alpha(f(u, \Delta(u))) = (\alpha(u) + \alpha(\Delta(u))) / 2 \quad (10)$$

式中, $u \in X_1$, $\Delta(u) \in X_2$, $0 < \tau < 1$ 。因此,本文选择的伸缩因子完全满足上述要求,根据经验选取 τ 后,求出各伸缩因子,然后分别对 $u, \Delta(u)$ 和 $f(u, \Delta(u))$ 乘以相应的伸缩因子 $\alpha(u), \alpha(\Delta(u))$ 和 $\alpha(f(u, \Delta(u)))$ 。

5 仿真实例

为了验证该方法的有效性,利用仿真软件 Matlab6.5,在PC机上针对一非线性系统进行了仿真实验。设被控对象为一延迟系统[2]:

$$G_p(s) = \frac{e^{-80s}}{1 + 60s} \quad (11)$$

采样时间为20s,采用免疫PID控制式,如公式5,取 $K = 0.30$, $\eta = 0.80$, $k_i = 0.30$, $k_d = 0.30$, $U = 1$, $\Delta U = 1$, $F = 1$, $\tau = 0.8$ 。输入指令信号为 $1.0 \operatorname{sgn}(\sin(3\pi t))$,仿真时间为1000个采样点。为了测试控制器的鲁棒性,在第500个采样时间加入一个干

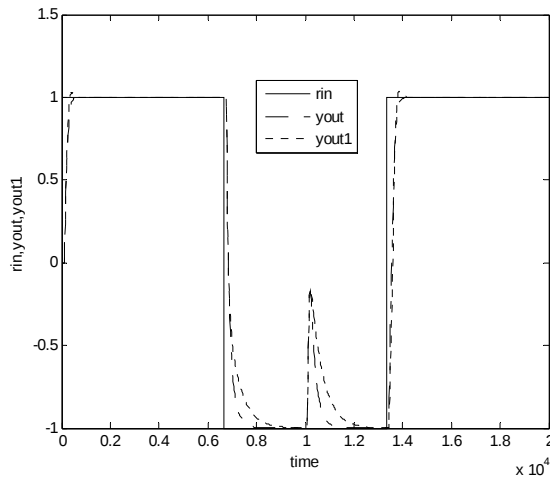


图1 变论域模糊免疫PID方波控制跟踪

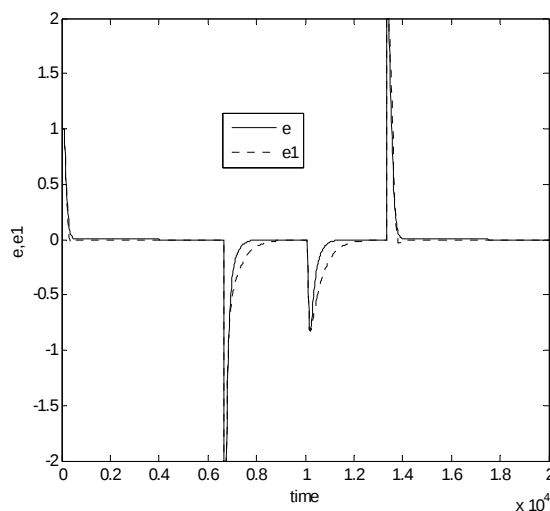


图2 变论域模糊免疫PID控制误差变化曲线

扰, 变论域模糊免疫PID控制的实际输出 $yout$ 与模糊免疫PID控制的实际输出 $yout1$ 跟踪效果如图1, 其中 rin 表示输入的方波信号。仿真显示, 变论域模糊免疫PID控制在稳态阶段超调量小, 稳态误差小, 控制效果优于模糊免疫PID控制。在第500个采样点, $yout$ 突变明显小于 $yout1$, 显示出变论域模糊免疫PID控制器较强的鲁棒性。变论域模糊免疫PID控制误差变化曲线 e 如图2, 仿真显示该误差 e 明显小于基于模糊免疫PID控制误差变化曲线 $e1$, 也显示本算法的优越性。

6 结论

针对滞后、时变的非线性系统, 把变论域模糊思想应用到模糊免疫PID控制中, 提出了基于变论域模糊的免疫PID控制。通过改变免疫PID控制系统模糊输入和输出变量的论域, 用较少的控制规则实现了精度较高的控制, 控制效果明显优于模糊免疫PID控制。

References (参考文献)

- [1] LIU Jinkun. Advanced PID Control and Its MATLAB Simulation [M]. Beijing: Electronic Industry Press, 2003 刘金琨. 先进PID控制及其MATLAB仿真[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.
- [2] ZHAO Jun; QIU Lin-Qing; GUAN Shuo. Fuzzy Immune PID Control and Its Application to Main Stream Temperature Control System[J] Northeast Dianli University, 2006, 26(4): P75-78 赵君, 仇林庆, 关硕. 模糊免疫PID在主汽温控制系统中的应用[J]. 吉林, 东北电力大学, 2006, 26(4): 75-78
- [3] Li H X. (1999). "Fuzzy Logic Controller with Variable Universe". J. SCIENCE IN CHINA (Series E). 29 (1), P240-242. 李洪兴. 变论域自适应模糊控制器[J]. 中国科学E辑, 1999, 29 (1) : 32-42.
- [4] Li H X, Yen VC. Fuzzy set and fuzzy decision making[M]. Boca Raton: CRC Press, 1995
- [5] Tian Yong, Shen Zuyi, Liu Baoguo. (2005). "Study of lex-factor on the variable universe fuzzy controller". [J]. Modern Manufacturing Engineering. 25(4), P98-100 田勇, 沈祖诒, 刘保国. 变论域模糊控制器及其应用研究[J]. 现代制造工程, 2005(4): 98-100