

Fuzzy_PID 控制在空调恒压供水系统中的应用

李建军, 刘振兴

(武汉科技大学 信息科学与工程学院, 湖北 武汉 430081)

摘要: 为了解决由于工厂空调恒压供水系统干扰大而难以建立精确数学模型的问题, 在基于常规 PID 控制及模糊控制的理论研究上, 提出了模糊 PID 控制策略, 将模糊 PID 控制的智能性与常规 PID 控制的可靠性结合起来。实践及仿真结果表明, 该控制策略取得了较好的控制效果, 提高了系统的自适应能力, 具有较好的应用价值。

关键词: 模糊 PID; 自适应; 仿真; 恒压

中图分类号: TP273.2

文献标识码: B

Application of fuzzy-PID control in the air condition system with constant pressure water supplying

LI Jian Jun, LIU Zhen Xing

(School of Information Science and Engineering, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081, China)

Abstract: The air condition system with constant pressure water supplying in factories is always with great disturbance and is difficult to establish mathematical model. To solve the problem, a pattern of fuzzy-PID control was described which combines the intelligence of the classic pid control and the stability of the fuzzy control based on the study of classic pid control and fuzzy control. The result of the simulation and practice approved that this control method has great application value and improve the system's ability of self adapting.

Key words: fuzzy-PID; self-adapting; simulation; constant pressure

工厂空调控制系统往往具有较大的滞后性和干扰, 难以建立精确的数学模型。任何一个环境参数的变化, 都可能导致控制系统的不稳定。经典的 PID(比例、积分、微分)控制难以得到理想的动态响应特性。针对不同的环境参数及负载大小, 需要设定不同的 PID 控制参数, 控制系统自适应能力差。

为了解决上述问题, 本文将模糊 PID 控制策略应用到控制系统中。其最大的优点在于, 根据控制系统的输出情况, 应用模糊控制规则来最佳调整 PID 参数, 极大地提高控制系统的自适应能力。

1 控制系统的概况^[1-2]

控制对象为一工厂的空调恒压供水系统。其基本运行原理为变频器控制水泵运行。要求供水压力为 0.5 MPa, 在供水管道内有液体压力传感器。压力传感器将检测到的压力值通过变送器转换为标准电流信号后输入 PLC 的模拟量输入模块。程序根据该输入信号进行 PID 运

算, 将得出的值通过模拟量输出模块送给变频器, 变频器再输出一定的频率给水泵。整个控制系统大体为: 当水压过大时, 减小变频器输出频率; 反之, 当水压变小时, 加大变频器输出频率。同时, 还有另一台水泵与前一水泵在电气上并连。当第一台滴水泵故障时, 后一台水泵自动投入运转, 此即为一用一备。两台水泵的控制策略完全相同。

2 专家-模糊控制器^[3]

2.1 模糊控制器原理

模糊控制器以误差 e 和误差的变化率 ec 为输入, 利用模糊控制规则在线对 PID 参数进行修改, 即得出在相对上一时刻的 3 个参数值的变化量 ΔK_p 、 ΔK_i 、 ΔK_d 。将得出的新的参数值应用到 PID 控制中, 从而使系统输出满足预先的设定值。

模糊 PID 控制的原理如图 1 所示。 E 为实际输出水压与设定的压力值之差。其测量是通过压力传感器将信

号通过 A/D 转换后与设定值比较得出的。模糊控制器用 PLC 的编程语言梯形图编写。其控制方法是,当 $|E|$ 大于 1.2 时,采用模糊 PID 控制;当 $|E|$ 小于 0.8 时,采用一组固定的 PID 参数即经典 PID 控制;当 $0.8 < |E| < 1.2$ 时,保持之前控制策略不变,这样做是为了防止 2 种控制方式频频切换。

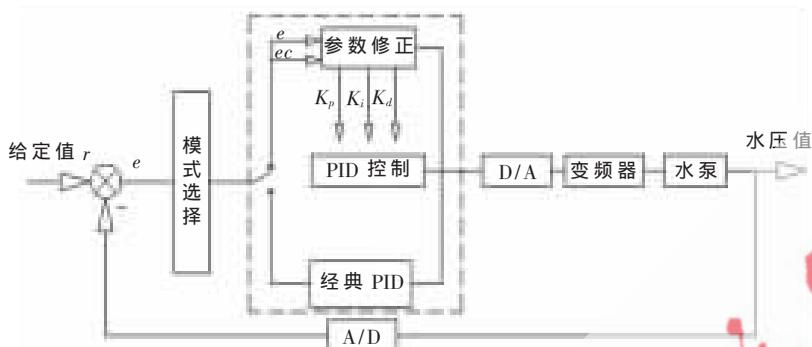


图 1 模糊 PID 控制结构图

根据现场情况,计算机能自动调整 PID 参数。将经典 PID 与先进的专家系统相结合。首先将长期实践积累的经验知识用控制规则模型化,然后用推理便可对 PID 参数实现最佳调整。

当 e 大于设定值时,采用模糊 PID 控制;当 e 小于设定值时,采用一组固定的 PID 参数进行控制。

2.2 模糊化

在实际应用中,预设的水泵输出压力恒定为 0.5 MPa。简单起见,这里将 E 、 EC 的论域为 $\{-4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4\}$ 。 E 、 EC 、 u 的模糊集均为: $\{NBB, NB, BM, NS, Z, PS, PM, PB, PBB\}$, 即 $\{\text{负大大, 负大, 负中, 负小, 零, 正小, 正中, 正大, 正大大}\}$, 即以 0.1 MPa 为论域中的一个单位。

模糊控制器的输入为 PID 控制的 3 个参数的变化量, 即: ΔK_p 、 ΔK_i 、 ΔK_d 。将其模糊集为: $\{NBB, NB, BM, NS, Z, PS, PM, PB, PBB\}$ 。

语言变量 E 、 EC 各值的隶属函数直接取三角函数^[1]。以 E 为例, 其表达式如下:

$$E_{NBB} = \begin{cases} 1, & E \leq NBB \\ \frac{E}{NBB-NM} + 1, & NBB < E < NM \\ 0, & E \geq NM \end{cases}$$

$$E_{NM} = \begin{cases} \frac{E}{NM-NBB} + 1, & NBB \leq E \leq NM \\ \frac{E}{NM-N} + 1, & N \leq ME \leq Z \end{cases}$$

$$E_{NS} = \begin{cases} \frac{E}{NS-NB} + 1, & NB \leq E \leq NS \\ \frac{E}{PS-NS} + 1, & NS \leq E \leq PS \end{cases}$$

$$E_Z = \begin{cases} \frac{E}{Z-NM} + 1, & NM \leq E \leq Z \\ \frac{E}{PM-Z} + 1, & Z \leq E \leq PM \end{cases}$$

$$E_{PS} = \begin{cases} \frac{E}{PS-NS} + 1, & NS \leq E \leq PS \\ \frac{E}{PS-PB} + 1, & PB \leq E \leq PS \end{cases}$$

$$E_{NB} = \begin{cases} \frac{0.5E}{NB-NBB} + 1, & NBB \leq E \leq NB \\ \frac{E}{NB-NS} + 1, & NB \leq E \leq NS \end{cases}$$

$$E_{PM} = \begin{cases} \frac{E}{PM-Z} + 1, & Z \leq E \leq PM \\ \frac{E}{PM-PBB} + 1, & PM \leq E \leq PBB \end{cases}$$

$$E_{PB} = \begin{cases} \frac{E}{PB-PS} + 1, & PS \leq E \leq PB \\ \frac{0.5E}{PB-PBB} + 1, & PB \leq E \leq PBB \end{cases}$$

$$E_{PBB} = \begin{cases} 1, & PS \leq E \leq PB \\ \frac{E}{PBB-PM} + 1, & PM \leq E \leq PBB \end{cases}$$

根据本文中的实际应用, 这里实际上 $NBB = -4$, $NB = -3$, $NM = -2$, $NS = -2$, $Z = 0$, $PS = 1$, $PM = 2$, $PB = 3$, $PBB = 4$ 。

其他 2 个语言变量 EC 和 u 的隶属函数与上面一致。

2.3 建立推理规则

由经典控制理论可知, K_p 、 K_i 、 K_d 三者作用不同。 K_p 的作用是提高系统的响应速度, 提高系统的调节精度, 但是容易产生超调, 甚至会使系统不稳定; K_i 主要是消除系统静态误差, 但如果 K_i 过大, 有可能会在系统响应初期产生积分饱和; K_d 的作用是改变系统的动态性能, 在响应过程中抵制偏差向任何方向变化, K_d 过大, 会使响应过程提前制动, 延长调节时间, 降低系统抗干扰能力^[2]。

当 $|e|$ 较大时, 为了让系统有更好的跟踪性能, 应该取较大的 $|K_p|$, 这时最容易出现超调, 则应控制积分作用, 即取较小的 $|K_i|$; 当 $|e|$ 较小时, 为了让系统有较好的稳态性能, 这里根据经验, 取用了一组固定的 K_p 、 K_i 、 K_d 参数值; 当 $|e|$ 适中时, 为了减小超调, 应取较小的 $|K_p|$ 。而为了防止误差变化率过大, $|K_d|$ 不应太大。为了避免系统的振荡, 当 $|ec|$ 较小时, $|K_d|$ 可以取大些; 反之, 当 $|ec|$ 较小时, $|K_d|$ 可以取小些^[3]。

建立控制系统相应的 K_p 、 K_i 、 K_d 的模糊推理规则如表 1 所示。表 1 总共列出了 81 条推理规则。在程序中表现为 if then 语句。例如: if $E == NBB$ and $EC = NBB$, then $\Delta K_p = PBB$, $\Delta K_i = NBB$, $\Delta K_d = PS$ 。

对于任一时刻的 E 和 EC , 经过模糊推理运算, 都会得到 81 条输出结果。实际上, 根据 E 和 EC 的隶属函

表 1 模糊推理规则表

EC E	NBB	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB	PBB
	$\Delta K_p / \Delta K_i / \Delta K_d$								
NBB	PBB/NBB/PS	PBB/NBB/PS	PB/NBB/NS	PB/NB/NB	NM/NB/NM	NM/NS/NB	NM/Z/NM	Z/Z/PS	Z/Z/Z
NB	PBB/PS	PB/NB/PS	PB/NB/NS	PM/NM/NB	PM/NM/NB	PS/NS/NB	Z/Z/NM	Z/Z/PS	Z/Z/PS
NM	PB/PS/PS	PB/NB/PS	PB/NB/NS	PM/NM/NB	PS/NS/NM	PS/NS/NM	Z/Z/NS	NS/Z/Z	NS/Z/Z
NS	PB/NBB/Z	PM/NB/Z	PM/NM/NS	PM/NS/NM	PS/NS/NM	Z/Z/NS	NS/PS/NS	NS/PS/Z	NM/PS/Z
Z	PM/NB/Z	PM/NM/Z	PM/NM/NS	PS/NS/NS	Z/Z/NS	NS/PS/NS	NM/PM/NS	NM/PM/Z	NB/PS/Z
PS	PM/NM/Z	PS/NM/Z	PS/NS/Z	Z/Z/Z	NS/PS/Z	NS/PS/Z	NM/PM/Z	NM/PB/Z	NB/PM/Z
PM	PS/NS/PB	PS/Z/PB	Z/Z/PS	NS/PS/PS	NM/PS/PS	NM/PM/PS	NM/PB/PS	NB/PB/PB	NB/PB/PB
PB	Z/Z/PBB	Z/Z/PB	Z/Z/PM	NM/PS/PM	NM/PM/PM	NM/PM/PS	NB/PB/PS	NB/PB/PB	NBB/PBB/Z
PBB	Z/Z/PBB	Z/Z/PBB	NM/Z/PM	NM/PS/PM	NB/PM/PM	NB/PB/PS	NB/PBB/PS	NBB/PBB/PS	NBB/PBB/Z

数，其模糊集合中的 9 个等级通常只有 1~4 个元素有值，其余均为 0，此即为权值。最终， ΔK_p 、 ΔK_i 、 ΔK_d 的取值将会根据其模糊集合中各个元素的值与其权值相乘后再相加，最后除以其隶属度和，即可得出最后 ΔK_p 、 ΔK_i 、 ΔK_d 的结果。具体算法可参看参考文献[1]。

最后一步的运算即为：

$$K_p(k) = K_p(k-1) + \Delta K_p$$

$$K_i(k) = K_i(k-1) + \Delta K_i$$

$$K_d(k) = K_d(k-1) + \Delta K_d$$

其中， $K_p(k-1)$ 表示在上一个采样时刻 $k-1$ 时的 K_p 的值， $K_p(k)$ 为当前采样时刻 k 时的 K_p 的值。

2.4 解模糊

各个参数的解模糊如下所示：

$$K_p = K_p' + \{e_1, ec_1\}_p$$

$$K_i = K_i' + \{e_1, ec_1\}_i$$

$$K_d = K_d' + \{e_1, ec_1\}_d$$

其中， K_p' 、 K_i' 、 K_d' 分别表示由常规方法得到的 PID 3 个参数的值； $\{e_1, ec_1\}_i$ 是采用了模糊控制算法的表述形式，得出 ΔK_p 、 ΔK_i 、 ΔK_d 如下：

$$\Delta K_p = \frac{\sum_{n=1}^{81} \mu_j(E, \Delta E) k_{pn}}{\sum_{n=1}^{81} \mu_j(E, \Delta E)}, \Delta K_i = \frac{\sum_{n=1}^{81} \mu_j(E, \Delta E) k_{in}}{\sum_{n=1}^{81} \mu_j(E, \Delta E)},$$

$$\Delta K_d = \frac{\sum_{n=1}^{81} \mu_j(E, \Delta E) k_{dn}}{\sum_{n=1}^{81} \mu_j(E, \Delta E)}$$

$\mu(E, \Delta E)$ 表示隶属度， k 表示权值。

3 仿真结果分析

在 Matlab 中进行仿真。输入为 0.5，即预设定的水泵输出压力^[4]。在标准大气压下(即 1.01×10^5 Pa)，对过程前向通道做阶跃响应测试。当检测到输出约为 0.5 MPa 时，可以得到稳态增益 $K_c=4.5$ ，时间常数为 $T_c=865$ s，滞后时间约为 34 s。将恒压水泵的预计模型的时间常数取

T_c 的 1/20，时滞取实际的一半^[4]。由此，可以估计前向通道的传递函数可表示为：

$$G(s) = \frac{4.5e^{-17}}{45s+1}$$

图 2 为经典 PID 控制所得出的系统输出曲线；图 3 为模糊 PID 控制所得出的系统输出曲线。二者相比较可以看出，模糊 PID 算法具有更好的动态响应，响应速度加快，超调变小，稳态误差控制在规定范围内。

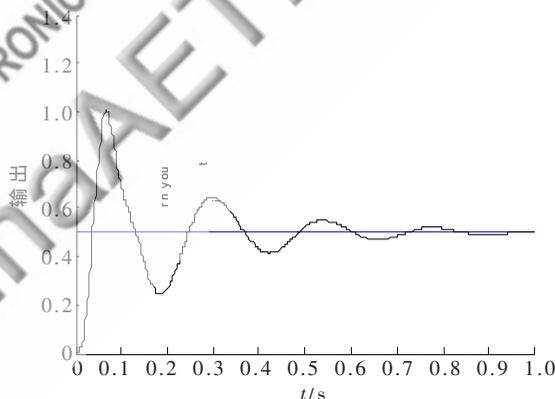


图 2 经典 PID 控制曲线

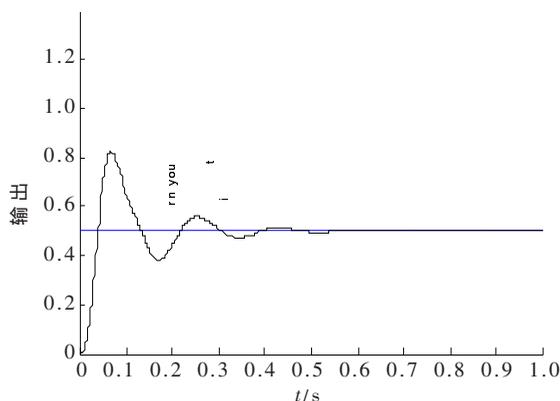


图 3 模糊 PID 控制曲线

其中，在测试模糊 PID 控制时，在 0.3 s 时加入了 1 个幅值为 0.2 的脉冲干扰。可以看到，系统仍旧很快趋

于稳定。由此可知,模糊 PID 控制的鲁棒性较强。

将模糊 PID 控制应用于恒压水泵控制系统,是在经典 PID 控制基础上的一次应用创新。它结合了经典 PID 控制与模糊 PID 控制的优点,同时也减弱了系统的时滞长的缺点,使系统快速趋于稳定。实践证明,该方法取得了理想的控制效果,完全实现了控制系统的自动化,节省了人力,提高了工作效率,为工厂的正常作业与生产提供了有力的保障。

参考文献

[1] 刘金琨.先进 PID 控制 MATLAB 仿真[M].北京:电子工业

出版社,2004.

[2] 胡寿松.自动控制原理[M].北京:科学出版社,2006.

[3] 李可.专家-模糊 PID 在低速风洞风速控制系统中的应用[J].北京航空航天大学学报,2007,33(12):1387-1390.

[4] 张静.MATLAB 在控制系统中的应用[M].北京:电子工业出版社,2007.

(收稿日期:2009-09-12)

作者简介:

李建军,男,1982年生,硕士研究生,主要研究方向:检测技术与自动化装置。

电子技术应用
APPLICATION OF ELECTRONIC TECHNIQUE
www.chinaAET.com