

基于模糊神经网络大容量输油泵多变量控制

刘 军, 刘 丁, 钱富才, 王玲芝

(西安理工大学 自动化与信息工程学院, 陕西 西安 710048)

摘要: 大容量输油泵系统是一个时变非线性复杂系统, 生产要求对输油泵的流量、入口压力和出口压力进行协调控制。根据大容量输油泵系统实际控制要求, 提出了基于模糊神经网络大容量输油泵多变量控制策略, 设计了控制系统和模糊神经网络控制器的结构, 给出了模糊神经网络控制器、模型辨识网络参数的修正算法。仿真结果表明该系统能根据流量、入口压力和出口压力给定值与实际值之间的偏差, 在线修正控制器参数, 实现对大容量输油泵流量、入口压力和出口压力的协调控制。

关键词: 模糊神经网络; 多变量控制; 输油泵

中图分类号: TP273 **文献标识码:** A

Multi-variable control of high power oil pump system based on fuzzy neural network

LIU Jun, LIU Ding, QIAN Fu-cai, WANG Ling-zhi

(College of Automation and Information Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an Shaanxi 710048, China)

Abstract: High power oil pump system is a nonlinear complex and time-varying system. In practical operation, the flow, the inlet pressure and the outlet pressure of the system need to be controlled. A novel control scheme based on fuzzy neural network is proposed. The structure of the system is designed, and the algorithms for modifying parameters are also derived. Simulation results show that the parameters of the fuzzy neural controller can be modified in accordance with the error between the setting value and practical value of the flow, the inlet pressure and the outlet pressure of the system in real time; and the integrated control of the flow, the inlet pressure and the outlet pressure of the system can be realized.

Key words: fuzzy neural network; multi-variable control; oil-pump

1 引言(Introduction)

大容量输油泵系统的流量、入口压力和出口压力的自动调节是输油泵系统安全、高效运行的重要保证^[1]。由于输油泵系统存在着较强的非线性, 另外还受到原油物性、环境温度、管道沉积等不确定因素的影响, 采用常规的 PID 控制器难以实现对系统的有效控制, 并易引起系统振荡。在一定的入口压力、出口压力范围内, 输油泵模糊控制策略可实现对流量的控制^[2], 但不能实现 3 个变量的协调优化控制, 而且在接近压力控制范围的边界时还可能发生振荡。模糊神经网络控制器是一种将模糊逻辑与神经网络相结合的智能控制器, 其既不依赖被控对象精确的数学模型, 又能根据被控对象参数和环境的变化调节控制规则和隶属函数参数。在文献[2]的基础上, 本文提出了一种基于模糊神经网络大容量输油

泵多变量控制策略, 设计了系统结构及模糊神经网络控制器和模型辨识网络, 给出了控制器及辨识网络参数修正算法, 应用 MATLAB 进行了系统仿真。仿真结果表明该控制器能根据流量、入口压力和出口压力的给定值与实际值之间的偏差, 在线修正控制器参数, 实现大容量输油泵流量、入口压力和出口压力的协调控制。

2 输油泵模糊神经网络控制器(Fuzzy neural controller of oil pump)

2.1 输油泵模糊神经网络控制系统结构(Structure of the system)

大容量输油泵模糊神经网络控制系统结构如图 1 所示, 系统主要由模糊神经网络控制器、被控对象辨识器、输油泵系统以及系统优化目标环节组成。模糊神经网络控制器的输入分别为给定流量 Q_d 、入

口压力 P_{1d} 和出口压力 P_{2d} 与系统实际流量 Q 、入口压力 P_1 和出口压力 P_2 的偏差 $\Delta Q, \Delta P_1$ 和 ΔP_2 , 被控对象模型辨识网络的输入分别为控制器的输出和输油泵系统的输出。

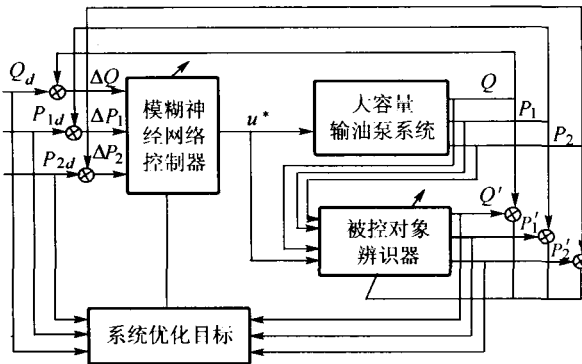
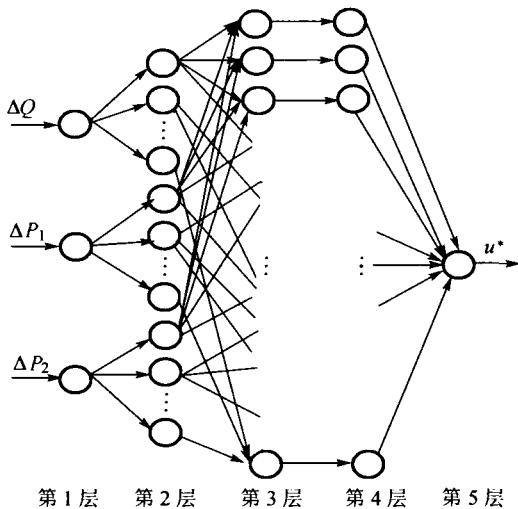


图1 输油泵模糊神经网络控制系统结构图

Fig. 1 Schematic diagram of oil pump fuzzy neural control system

2.2 多变量模糊神经网络控制器 (Multi-variable fuzzy neural controller)

多变量模糊神经网络控制器的结构如图2所示。



第1层 第2层 第3层 第4层 第5层

图2 多变量模糊神经网络控制器结构图

Fig. 2 Structure of multi-variable fuzzy neural controller

该网络共有5层,输入量分别为流量、入口压力和出口压力的偏差,各层结点的输入输出关系如下:

第1层 输入层,该层将流量、入口压力、出口压力的偏差输入网络。

输入: $I_i^{(1)} = x_i$;

输出: $O_{ij}^{(1)} = I_i^{(1)}$ 。

第2层 语言变量层,该层用高斯函数作为隶属函数来划分输入信号。

输入: $I_{ij}^{(2)} = -\frac{(O_{ij}^{(1)} - a_{ij}^2)}{b_{ij}^2}$;

输出: $O_{ij}^{(2)} = \mu_{A_{ij}} = \exp(I_{ij}^{(2)})$ 。

第3层 模糊规则层,该层的每个结点代表一条规则。

输入: $I_q^{(3)} = O_{1j}^{(2)} O_{2l}^{(2)} O_{3k}^{(2)}$,

输出: $O_q^{(3)} = \mu_q = I_q^{(3)}$ 。

第4层:

输入: $I_i^{(4)} = \frac{O_q^{(3)}}{\sum_{q=1}^m O_q^{(3)}}$;

输出: $O_i^{(4)} = I_i^{(4)}$ 。

第5层 输出层,所有第4层结点均与该层结点连接,完成解模糊。

$$O^{(5)} = \sum_{q=1}^m W_q O_q^{(4)}.$$

上面各式中 $i = 1, 2, 3, j = 1, 2, \dots, n, l = 1, 2, \dots, n, k = 1, 2, \dots, n, q = 1, 2, \dots, m (m = n^3)$; n 是各模糊语言变量模糊语言值的个数,均取 $n = 7$; a_{ij} 与 b_{ij} 分别为高斯函数的中心及宽度参数; W_q 为第4层与第5层的连接权值。

2.3 模糊神经网络控制器学习算法^[3,4] (Learning algorithm of fuzzy neural controller)

要实现对输油泵流量、入口压力和出口压力的协调控制,在建立系统控制目标函数时,必须综合考虑3个被控量的偏差.设目标函数为

$$E = \frac{1}{2} [a(Q_d - Q)^2 + b(P_{1d} - P_1)^2 + c(P_{2d} - P_2)^2].$$

根据运行经验取 $a = 0.5, b = 0.3, c = 0.2$. 模糊神经网络控制器参数修正算法如下:

$$W_q(k+1) = W_q(k) - \eta \frac{\partial E}{\partial W_q(k)},$$

$$a_{ij}(k+1) = a_{ij}(k) - \eta \frac{\partial E}{\partial a_{ij}(k)},$$

$$b_{ij}(k+1) = b_{ij}(k) - \eta \frac{\partial E}{\partial b_{ij}(k)}.$$

式中: η 为修正步长, $i = 1, 2, 3, j = 1, 2, \dots, 7, q = 1, 2, \dots, m$.

上面各式中均含有输出量 Q, P_1, P_2 对控制量 u^* 的偏导数,由于被控对象的数学模型是未知的,所以必须通过模型辨识网络近似得到输出量对控制量的偏导数。

2.4 模型辨识网络及其学习算法 (Identifying neural network and the algorithm)

输油泵模型辨识网络结构如图3所示,各层结点输入输出关系如下:

第1层 输入量 $I_i^{(1)}$ 分别为 $u^*(k), Q(k-1), P_1(k-1), P_2(k-1)$; 输出量 $O_i^{(1)}$ 也为 $u^*(k), Q(k-1), P_1(k-1), P_2(k-1)$.

第2层 输入量 $I_j^{(2)} = \sum_{i=0}^4 W_{ij}^{(2)} O_i^{(1)}$, 其中 $W_{0j}^{(2)} = -1, O_0^{(1)} = \theta_j^{(2)}$; 输出量 $O_j^{(2)} = \sum_{j=1}^7 \frac{1}{1 + \exp(-\mu I_j^{(2)})}$.

第3层 输入量 $I_k^{(3)} = \sum_{j=0}^7 W_{jk}^{(3)} O_j^{(2)}$, 其中 $W_{0k}^{(3)} = -1, O_0^{(2)} = \theta_k^{(3)}$; 输出量 $O_k^{(3)} = \sum_{k=1}^3 \frac{1}{1 + \exp(-\mu I_k^{(3)})}$.

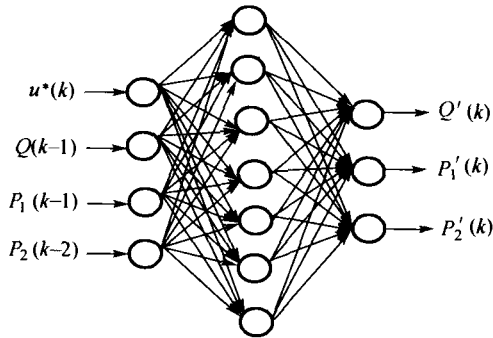


图3 辨识网络结构图

Fig. 3 Structure of identifying neural network

设辨识网络对应的输出分别为 Q', P_1', P_2' , 取代价函数为

$$E = \frac{1}{2} [(Q - Q')^2 + (P_1 - P_1')^2 + (P_2 - P_2')^2],$$

则可得辨识网络权值修正算法为

$$\frac{\partial E}{\partial W_{jk}^{(3)}} = -(Q - Q') \frac{\partial Q'}{\partial W_{jk}^{(3)}} - (P_1 - P_1') \frac{\partial P_1'}{\partial W_{jk}^{(3)}} -$$

$$(P_2 - P_2') \frac{\partial P_2'}{\partial W_{jk}^{(3)}},$$

$$\frac{\partial E}{\partial W_{ij}^{(2)}} = -(Q - Q') \frac{\partial Q'}{\partial W_{ij}^{(2)}} - (P_1 - P_1') \frac{\partial P_1'}{\partial W_{ij}^{(2)}} -$$

$$(P_2 - P_2') \frac{\partial P_2'}{\partial W_{ij}^{(2)}}.$$

通过修正辨识网络权值,使其输出逼近输油泵的实际输出,可得

$$\frac{\partial Q'}{\partial u^*} \approx \frac{\partial Q}{\partial u^*}, \frac{\partial P_1'}{\partial u^*} \approx \frac{\partial P_1}{\partial u^*}, \frac{\partial P_2'}{\partial u^*} \approx \frac{\partial P_2}{\partial u^*}.$$

上面各式中 $i = 1, 2, 3, 4, j = 1, 2, \dots, 7$,

$k = 1, 2, 3$.

3 系统仿真 (System simulation)

由于实际输油泵系统数学模型是未知的,本文利用现场的实测数据训练神经网络构造了输油泵系统的仿真模型.根据上面推导出的模糊神经网络控制器和模型辨识网络权值修正算法,采用 MATLAB 编程进行了仿真.初始时输油泵入口压力、出口压力和输油流量的给定值分别为 $P_1^* = 0.75$ Mpa, $P_2^* = 7.3$ Mpa, $Q^* = 700$ m³/h; 当 $t = 2$ s 时,给定值变化为 $P_1^* = 0.8$ Mpa, $P_2^* = 6.3$ Mpa, $Q^* = 550$ m³/h. 仿真得到系统入口压力、出口压力和流量以及系统控制量的曲线如图4所示.仿真结果表明系统能够实现对输油泵流量、入口压力和出口压力的协调控制.

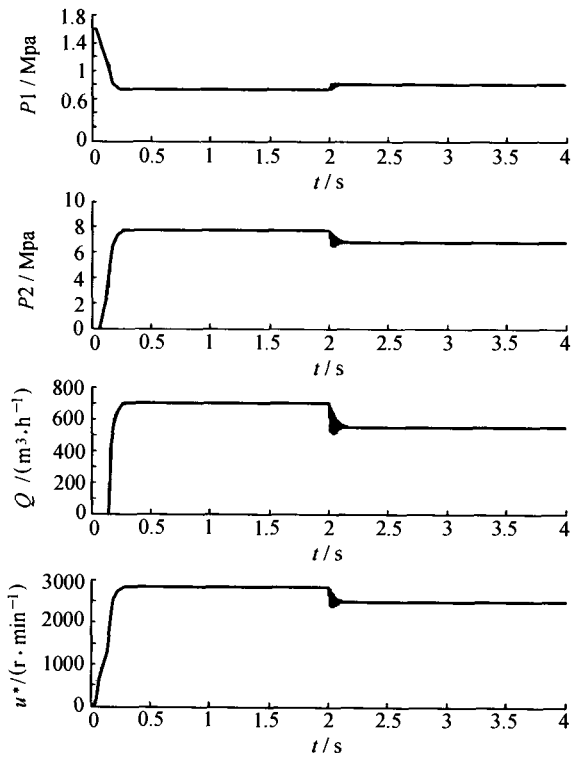


图4 输油泵模糊神经网络控制系统仿真曲线

Fig. 4 Simulation results of the oil pump fuzzy neural control system

4 结论 (Conclusion)

针对大容量输油泵系统的特点和实际控制要求,提出了一种基于模糊神经网络大容量输油泵多变量协调优化控制策略,构造了优化目标函数并推导了模糊神经网络控制器、模型辨识网络参数修正算法,使得该控制系统能根据流量、入口压力和出口压力的偏差实时调节模糊神经网络控制器的参数,

采用 MATLAB 对该系统进行了仿真,仿真结果表明该系统能实现对输油泵流量、入口压力和出口压力的协调优化控制。

参考文献(References):

- [1] 江秀汉,李琳,孟立宏.长输管道自动化技术[M].西安:西北工业大学出版社,2000.
(JIANG Xiuhuan, LI Lin, MENG Lihong. *Automatic Technology of Long Distance Pipeline* [M]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University Press, 2003.)
- [2] 刘军,刘丁,张光辉.输油泵模糊控制器的设计及优化[J].控制理论与应用,2003,20(3):394-398.
(LIU Jun, LIU Ding, ZHANG Guanghui. Design and optimization of fuzzy controller for petroleum pump system [J]. *Control Theory & Applications*, 2003, 20(3): 394-398.)
- [3] 孙增圻.智能控制理论与技术[M].北京:清华大学出版社,1997.
(SUN Zengqi. *Intelligent Control Theory and Technology* [M]. Bei-

jing: Tsinghua University Press, 1997.)

- [4] CHEN Chyi-Tsong, PENG Shih-Tein. Intelligent process control using neural fuzzy techniques [J]. *J of Process Control*, 1999, 9: 493-503.

作者简介:

刘 军 (1963—),男,博士研究生,1991年获西安理工大学电力拖动及其自动化硕士学位,研究方向为智能控制理论与应用, E-mail: liujun0310@sina.com;

刘 丁 (1957—),男,校长,教授,博士生导师,长期从事工业自动化、系统优化、智能控制理论与应用等方面的研究,目前承担多项国家重点科研任务,发表论文100余篇,获国家及省部级科技进步奖4项;

钱富才 (1963—),男,教授,1998年获西安交通大学系统工程研究所博士学位,1999年在香港中文大学系统工程与工程管理学从事博士后研究工作,已在IEEE Trans on Automatic Control等刊物上发表论文40多篇,研究领域为大系统理论、非线性系统、最优控制、随机系统的辨识与控制、自适应控制, E-mail: fcqian@xaut.edu.cn;

王玲芝 (1982—),女,西安理工大学模式识别与智能系统学科研究生。