

支持向量机在电液伺服系统辨识建模中的应用

曹克强¹, 胡良谋¹, 张春山², 张建邦¹

(1. 空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038; 2. 中国人民解放军驻西飞公司军事代表室, 陕西 西安 710089)

摘要:提出了电液伺服系统的支持向量机的辨识建模方法。利用电液伺服系统的可测参量,建立了基于支持向量机的电液伺服系统的模型。以电液位置伺服系统为例,进行了仿真实验。仿真结果表明支持向量机模型具有辨识精度高,推广性能好的优点,从而验证了该方法的正确性和有效性。

关键词:支持向量机;回归型支持向量机;电液伺服系统;系统辨识

中图分类号: TP206+.3 **文献标识码:**A **文章编号:** 1009-3516(2007)03-0043-03

电液伺服控制具有反应快、重量轻、尺寸小和抗负载刚性大等优点,能实现大功率、高精度和快响应的自动化控制,在航空、航天等领域已得到广泛的应用^[1-2]。因此,研究电液伺服系统的辨识建模方法具有广阔的前景和实用价值。文献[3]建立了电液位置伺服系统的 SIMULINK 仿真模型,对其进行仿真及性能分析。

神经网络、模糊理论等传统理论在系统的建模上已得到了成功的应用。但是,这些理论具有较多的缺陷。如神经网络理论存在网络结构选择的难题、过学习以及局部极值等问题。支持向量机(Support Vector Machines, SVM)是近年兴起的一种基于统计学习理论的新型机器学习算法,以结构风险最小化为原则来自动学习问题模型的结构,能够较好地解决小样本、非线性和高维数的问题^[4-8]。文献[9]研究了利用支持向量机对非线性系统进行黑箱辨识建模,仿真结果验证了该方法的有效性。文献[10]利用回归型支持向量机(Support Vector Regression, SVR)对控制系统正常动态特性进行了建模,进而实现传感器的实时故障诊断。

1 电液伺服系统的描述

本文主要以飞机上常用于舵面控制的电液位置伺服系统为例,对电液伺服系统的辨识建模方法进行研究。

电液位置伺服系统组成方框图如图1所示。

伺服放大器的传递函数见式(1)。

式中: i_c 为伺服阀输入电流(A); e_s 为伺服放大器输入电压(V); K_a 为伺服放大器增益(A/V); w_a 为线圈转折频率(rad/s)。

伺服阀的传递函数见式(2)。式中: x_v 为阀芯位移(m); k_v 为伺服阀的增益(m/A); w_v 为伺服阀固有频率(rad/s); ζ_v 为伺服阀阻尼比。

液压缸的传递函数见式(3)。式中: x_p 为系统输出位移量; A 为液压缸油腔有效工作面积(m²); w_h 为伺服系统的液压固有频率(rad/s); ζ_h 为伺服系统的液压阻尼比。

位移传感器可简化为一个放大环节,见式(4)。式中: e_f 为位移传感器输出值(V); K_f 为位移传感器增益(V/m)。

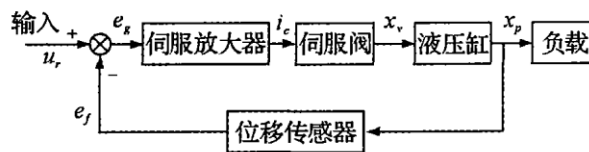


图1 电液位置伺服系统组成方框图

$$\frac{i_c(s)}{e_g(s)} = \frac{K_a}{1 + s/w_a} \quad (1)$$

$$\frac{x_v(s)}{i_c(s)} = \frac{K_v}{s^2/w_v^2 + 2\zeta_v/w_v s + 1} \quad (2)$$

$$\frac{x_p(s)}{x_v(s)} = \frac{1/A}{s(s^2/w_v^2 + 2\zeta_h^s/w_h + 1)} \quad (3)$$

$$\frac{e_f(s)}{x_p(s)} = K_f \quad (4)$$

2 基于支持向量机的电液伺服系统建模方法

基于回归型支持向量机(SVR)的系统的辨识建模问题的提法如下:假设是单输入单输出系统,给定一个系统的输入输出时间序列集 $D = \{(x_i, y_i)\}$, $x_i \in R$ 是系统的输入变量数据, $y_i \in R$ 是其输出变量数据。以这些输入-输出数据集为基础,采用 SVR 算法,找到如下所示的 NARMAX 的函数关系:

$$\hat{y}(k) = f[y(k-1), \dots, y(k-n), u(k-1), \dots, u(k-m)] \quad (5)$$

式中: m, n 分别为输入、输出的延迟。

为了使式(5)能够正确地描述系统的动力学行为,引入一个回归矢量:

$$\varphi(k-1) = f[y(k-1), \dots, y(k-n), u(k-1), \dots, u(k-m)] \quad (6)$$

则式(5)可写成:

$$\hat{y}(k) = f[\varphi(k-1), \theta] \quad (7)$$

因此,建模的主要任务是确定上式 $f(\cdot)$ 的具体形式和参数矢量 θ 的具体值。

基于 SVR 的系统建模原理图如图 2 所示。其中, TDL 为多分头时延系统。

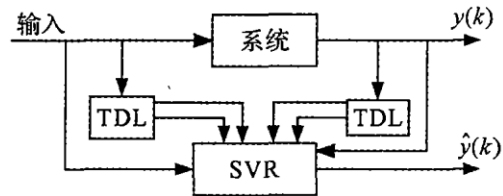


图2 基于 SVR 的系统建模原理图

3 仿真试验及结果分析

电液位置伺服系统的可测量为位移传感器的输出 e_f , 控制信号 u , 已知。基于以上方法,可建立电液位置伺服系统的 SVR 模型。模型的输入、输出的延迟分别取 $m=2, n=2$ 。

系统的仿真参数为: $K_a = 188.6 \text{ A/V}$, $w_a = 170 \text{ rad/s}$, $K_v = 1.96 \times 10^{-3} \text{ m/A}$, $w_v = 157 \text{ rad/s}$, $\zeta_v = 0.7$, $A = 1.08 \times 10^{-2} \text{ m}^2$, $w_h = 88 \text{ rad/s}$, $\zeta_h = 0.3$, $K_f = 1 \text{ V/m}$ 。

系统辨识信号采用幅值为 1 的白噪声信号。 x_v 的测量噪声为幅值为 0.001 的白噪声, e_f 的测量噪声为幅值为 0.0005 的白噪声。采样时间为 0.001 s, 数据长度为 250, 仿真时间为 0.25 s。

SVR 的核函数取为 rbf, 规则化常数 $C = 2000$, 不敏感度 $\varepsilon = 0.001$, 径向基的宽度参数为 $\sigma = 2$ 。

3.1 模型的辨识

系统的辨识信号采用幅值为 1 的白噪声信号。SVR 模型的输出及残差分别如图 3 和图 4 所示。可以看出, 模型误差为 10^{-3} 数量级, 表明支持向量机的辨识建模效果很不错。

3.2 模型的校验

在各种测试信号下, 对所建立的电液位置伺服系统的 SVR 模型的性能进行校验和测试。

当测试信号分别为幅值为 0.6 的随机信号、幅值为 0.6 的阶跃信号和 $0.6\sin(10\pi t)$ 的正弦信号时, SVR 模型的检验效果及误差分别如图 5、图 6 和图 7 所示。从图 5(a)、图 6(a) 和图 7(a) 可以看出, 支持向量机的预测输出和实际系统的输出几乎完全重合; 从图 5(b)、图 6(b) 和图 7(b) 可以看出, 最大校验误差分别仅为 2.5×10^{-3} 、 2×10^{-3} 和 0.04, 表明支持向量机的推广性能非常好, 效果相当不错。

4 结束语

本文提出了基于支持向量机的电液伺服闭环控制系统辨识建模方法, 仿真结果表明, 该方法具有良好的效果, 具有辨识精度高, 推广性能好的优点。

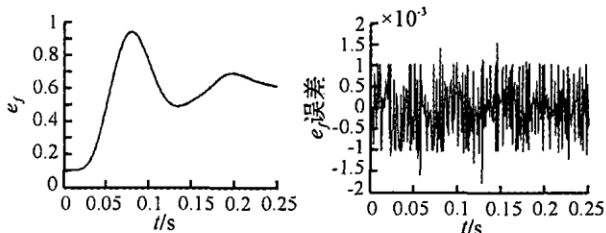
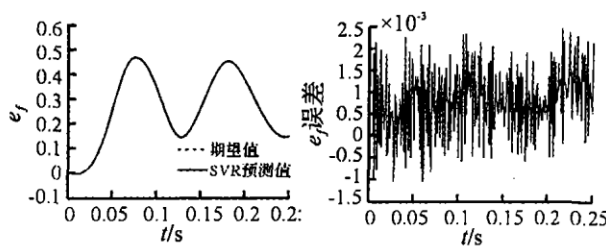
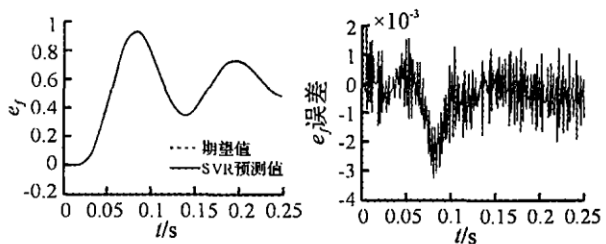


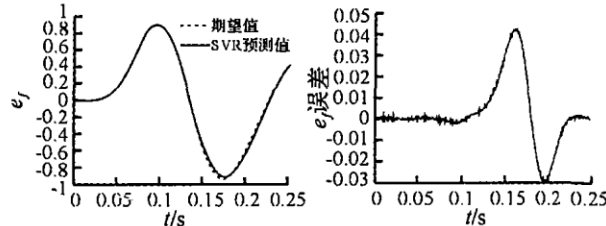
图3 SVR模型的输出 图4 SVR模型的辨识误差



(a)响应曲线 (b)校验误差
图5 随机信号输入时,SVR模型的校验结果



(a)响应曲线 (b)校验误差
图6 阶跃信号输入时,SVR模型的校验结果



(a)响应曲线 (b)校验误差
图7 正弦信号输入时,SVR模型的校验结果

参考文献:

[1] 王占林. 近代电气液压伺服控制[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2005.
 [2] 高金源,焦宗夏,张平. 飞机电传操纵系统与主动控制技术[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2005.
 [3] 胡良谋,李景超,曹克强. 基于 MATLAB/SIMULINK 的电液伺服控制系统的建模与仿真研究[J]. 机床与液压,2003 (3):230-231.
 [4] Vapnik V N. Statistical Learning Theory [M]. New York: John Wiley,1998.
 [5] Vapnik V N. The Nature of Statistical Learning Theory[M]. New York:Springer,1995.
 [6] 李应红,尉询楷,刘建勋. 支持向量机的工程应用[M]. 北京:兵器工业出版社,2004.
 [7] 李应红,刘建勋. 基于支持向量机的涡扇发动机起动机性能估算研究[J]. 航空学报,2005,26(1):32-35.
 [8] 郑小霞,钱锋. 基于支持向量机的在线建模方法及应用[J]. 信息与控制,2005,34(5):636-640.
 [9] 张浩然,韩正之,李昌刚. 基于支持向量机的非线性系统辨识[J]. 系统仿真学报,2003,15(1):119-121.
 [10] 翟永杰,尚雪莲,韩璞,等. SVR 在传感器故障诊断中的仿真研究[J]. 系统仿真学报,2004,16(6):1257-1259.

(编辑:姚树峰)

Application of Support Vector Machines in the Electro Hydraulic Servo System Identification Modeling

CAO Ke-qiang¹, HU Liang-mou¹, ZHANG Chun-shan², ZHANG Jian-bang¹

(1. The Institute of Engineering, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China; 2. Military Representative Office of PLA in Xi'an Aircraft Manufacture Corporation, Xi'an 710089, China)

Abstract: A method of the electro hydraulic servo system identification modeling is presented based on support vector machines. The model of the electro hydraulic servo system based on support vector machine is established by using the measurable parameters of the system. The simulation test is carried out for electro hydraulic position servo system. The results show that the model of support vector machine has the advantage of high identification precision and of good generalization characteristic. So the method mentioned above is valid.

Key words: support vector machine; support vector regression; electro hydraulic servo system; system identification