

神经网络用于凸轮机构稳速控制

李兴华, 翟林培

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130021)

摘要: 凸轮机构由于其优良的工作性能而被广泛用于高精度往复运动系统中。但由于它的变转动惯量、变负载力矩、间隙等非线性动力学特性, 给含有凸轮机构的机电系统稳速控制带来了很大难度。在诸多影响稳速控制精度的因素中, 负载扰动力矩的影响是最主要的。本文利用神经网络逼近非线性函数的能力和自适应、自学习的特点建立了实际系统的负载扰动力矩神经网络模型, 并基于全补偿原则设计了补偿环节, 实现了对扰动力矩的动态补偿。实验结果表明这种方法可以有效解决凸轮系统中固有的周期性扰动对稳速控制的不利影响, 切实提高稳速控制精度, 具有一定的实用价值。

关键词: 凸轮机构; 神经网络; 稳速控制

中图分类号: TH132.47 文献标识码: A

1 引言

凸轮机构被广泛用于高精度往复运动机构中, 但由于它的变转动惯量、变加速度、变负载力矩等非线性动力学特性, 给凸轮机构的稳速控制带来了很大难度。在所研究的凸轮机构稳速控制系统中, 采用的是锁频控制方法。这种方法可以在一定程度上克服这些不利因素的影响, 取得较高的控制精度。为进一步提高控制精度, 可以采用复合补偿控制方法。复合补偿控制实现全补偿的条件是获得扰动的精确数学模型。在凸轮机构中影响稳速控制精度的因素众多, 其中影响较大的是折合到电机轴上的负载力矩。而负载力矩跟凸轮廓线、廓线误差、导轨平行度、润滑特性、凸轮机构放置的倾角等诸多因素有关, 在实际应用中很难给出负载力矩的精确数学模型。一种可取的方法是利用神经网络逼近非线性函数的能力, 采用神经网络建立负载力矩模型。

2 负载力矩模型的建立

2.1 负载力矩的分析和实验测量

凸轮与电机同轴安装, 等效到电机轴上的等效负载力矩 M 由电机轴系摩擦力矩 M_f 和从动机构等效到电机轴上的负载力矩 M_l 构成。电机轴系

摩擦力矩与凸轮位置有关^[5], 从动机构等效到电机轴上的负载力矩表示为:

$$M_l = (ma + f - G \sin \gamma \cos \beta) \frac{ds}{d\theta} \quad (1)$$

式中: θ 为凸轮转角; s 为从动机构的位移; m 为从动机构的质量; α 为凸轮的压力角; a 为从动机构的加速度; G 为从动机构的重力; f 为从动机构受导轨的摩擦力; γ 为重力与凸轮运动平面法线方向的夹角; β 为重力在凸轮运动平面分量与运动方向的夹角。凸轮廓线由圆弧、正弦加速、匀速、正弦减速等曲线组成。由(1)式可知, 等效负载力矩与凸轮位置、转速、安装倾角等因素有关。因此训练神经网络的样本应包含不同转速、不同位置下的力矩数据。对于电机, 其力矩平衡方程式为:

$$c_m i = J \frac{d\omega}{dt} + M \quad (2)$$

式中: c_m 为电机力矩常数, i 为电机电枢电流, J 为折合到电机轴上的等效转动惯量, M 为等效到电机轴上的等效负载力矩。

实验测量时控制电机以某一恒定速度转动, 由于对所研究的系统 $J \frac{d\omega}{dt}$ 的数值很小, 因此近似有:

$$c_m i = M \quad (3)$$

这样可以通过测量凸轮在不同转速、不同位置对应的电枢电流来计算出负载力矩值。

2.2 神经网络建模

神经网络是近十几年发展起来的一门新兴学科。这里利用它的逼近非线性函数的能力来建立凸轮机构的负载扰动力矩模型。实际采用具有两层结构的前向神经网络。网络具有位置 (θ) 和转速 (ω) 两个输入节点, 15 个隐层节点和一个负载力矩 (M) 输出节点。隐层节点的激励函数为双曲

正切函数 $\tanh(x) = \frac{1 - e^{-2x}}{1 + e^{-2x}}$, 输出节点的激励函数为线性函数。所建的神经网络结构如图 1 所示。图中 $W_1(15 \times 2)$ 为输入节点到隐层节点的连接权值矩阵, $W_2(1 \times 15)$ 为隐层节点到输出节点的连接权值矩阵, b_1 为隐层节点的偏移向量, b_2 为输出节点的偏移向量。

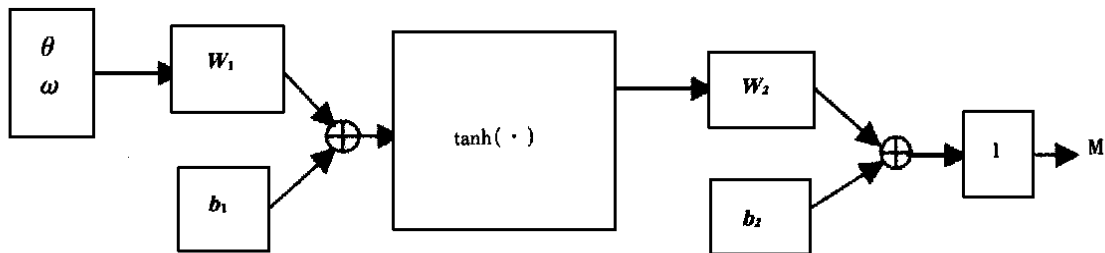


Fig. 1 Sketch map of the neural networks

2.3 神经网络学习算法

神经网络学习是指利用获得的样本通过迭代运算获得网络节点间连接权值的过程。前向网络的训练算法较多, 用的比较多的是 BP 算法及动量 BP 算法、动量- 自适应学习率调整算法等改进算法。为保证网络的有效性, 应使训练样本尽量覆盖实际应用范围。本文中, 凸轮转速主要工作在 30- 90r/min 转速范围内, 实际测得负载扰动力矩数据包含在 30 r/min、60 r/min、90 r/min 三种转速下不同位置的负载力矩值。由于得到的样本数据较多, 量测数据中又包括感性负载引起的高

频噪声, 神经元的数量又不宜选得过大, 因此训练算法选用优化 L-M 法。这种算法可以保证网络输出的误差均方根值最小, 并且收敛速度快, 不存在局部最小的问题^[6]。在 MATLAB 平台上, 利用软件提供的神经网络工具箱很容易完成训练任务。采用训练后的权值计算得到转速在 60r/min 时的负载力矩曲线如图 2 所示。图 2(a) 是实验测量得到的负载力矩曲线, 图 2(b) 是经过训练后神经网络的输出。由图可见所得的曲线符合实际负载力矩分布情况。

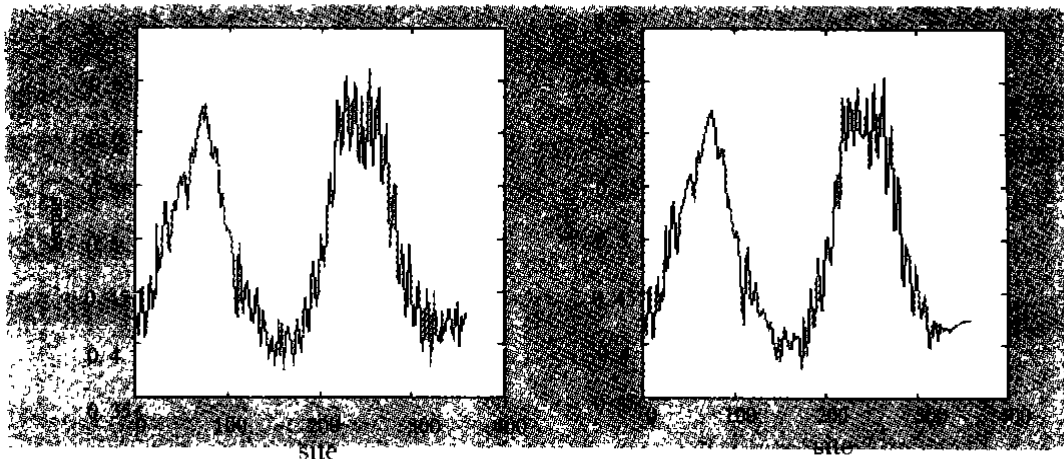


Fig. 2(a) Torque curve

Fig. 2(b) Output of the neural networks

3 负载力矩的动态补偿

系统采用锁频稳速控制, 包含神经网络补偿

环节的系统结构如图 3 所示。图中 c_e 为电机反电势系数, $T_e = \frac{L}{R}$ 为电机的电气时间常数; $K_2 =$

$\frac{c_m L}{R}$, 其中 R 为电机电枢电阻, L 为电机电感。根据全补偿条件, $K_3 = -\frac{1}{K_2}$ 。速度、位置测量采用带零位信号的增量式编码器来实现, 编码器每周输

出脉冲数为 N 。 f_r 为系统控制输入, f_0 为编码器输出。控制目标是使 $f_r = f_0$, 因此称之为锁频控制。本文中系统校正及神经网络计算采用计算机实现, 保证了各环节都是物理可实现的。

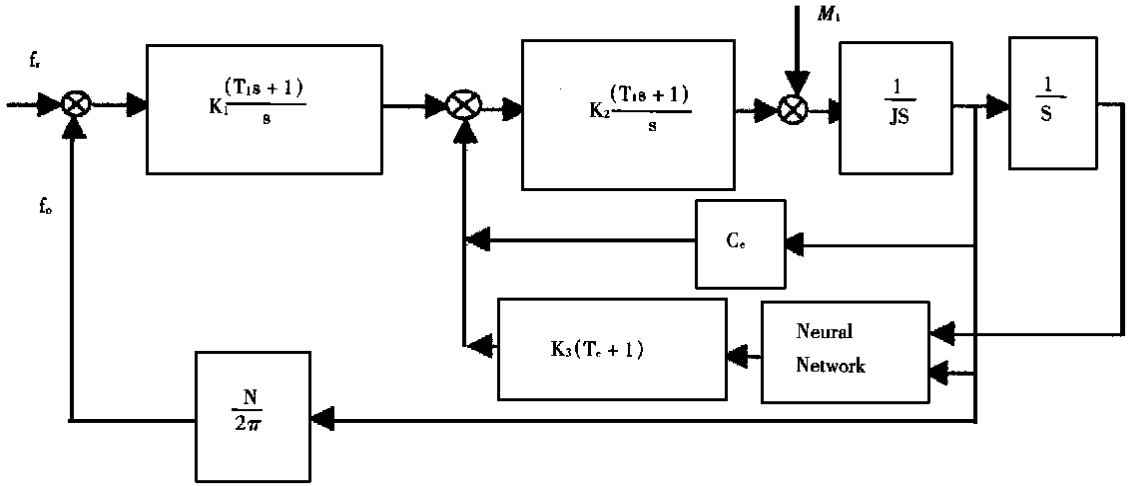


Fig. 3 Block diagram of the control system

4 实验结果

实验以凸轮传动的某遥感相机像移补偿机构为控制对象, 比较分析采用神经网络补偿前后的

锁相误差。实际工作时采用 2.3 节训练得到的神经网络, 利用计算机实时计算出当前的负载扰动力矩值, 并通过补偿网络输出。在凸轮水平放置, 转速为 60r/min 时, 得到系统稳速曲线如图 4 所示。

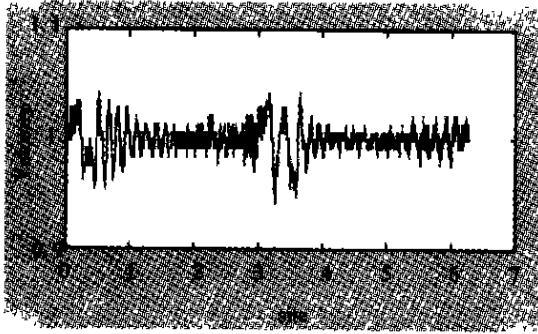


Fig. 4(a) Velocity curve without torque compensating

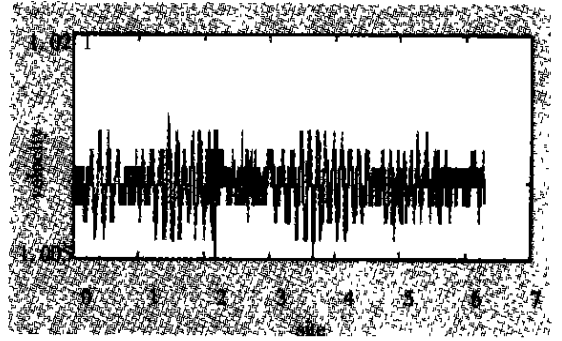


Fig. 4(b) Velocity curve with torque compensating

图 4(a) 为补偿前的速度曲线, 图 4(b) 为引入神经网络补偿环节后的速度曲线。对比两图可见引入补偿后系统的稳速精度大大提高。在其他转速情况下也可以得到同样的结果。

5 结束语

采用神经网络方法建立凸轮机构负载扰动

力矩模型并基于全补偿原理设计补偿网络, 可以有效抑制负载扰动对系统控制的不利影响, 提高系统控制精度。所选的神经网络训练方法是基于误差均方根最小的原理设计的, 可以保证全局收敛性并具有较高的收敛速度。实验表明这种补偿方法结构简单、适应性、可靠性高, 有一定的实用价值。

参考文献:

- [1] Tai H, Wang J. DC motor control using neural networks[C]. Proc. SPIE, 1990, 1294: 310- 318.
- [2] Gilbert J, Winston G. Adaptive compensation for an optical tracking telescope[J]. Automatica. 1974, 10(1): 125 - 131.
- [3] Lim K. Self-tuning control in the presence of periodic disturbance. IEE Proceedings[C]. 1989, 136(2): 98- 104.
- [4] Szepesvari C. Neurocontroller using dynamic state feedback for compensatory control[J]. Neural Networks. 1997, 10(9): 1691- 1708.
- [5] 李兴华, 翟林培. 含有凸轮机构的机电系统建模与仿真[J]. 光学 精密工程, 1999, 7(5): 49- 55.
- [6] 楼顺天等著. 基于 MATLAB 的系统分析与设计[J]. 西安. 西安电子科技大学出版社. 1998. 98- 135.

Speed control of cam mechanism based on neural networks

LI Xing-Hua, ZHAI Lin-Pei

(*Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130021, China*)

Abstract: Cam mechanism is widely used in interactive movement systems because of its excellent movement characteristics. But the changing torque and inertia moment make the speed stabilizing control of the systems with cam mechanism very difficult. The changing load torque is the primary one in all the factors that influence the speed control accuracy. This thesis makes full use of the approximating to nonlinear functions capability of neural networks and establishes the load torque neural networks model of the system with cam mechanism. Based on the whole compensating theory, a speed stabilizing control system with neural networks compensatory loop is designed. Experiment results convince that the method works very well and can be used in other control systems with changing load torque.

Key words: cam mechanism; neural networks; speed control

作者简介: 李兴华(1967-), 男, 辽宁省凌源市人。1989年毕业于浙江大学信息与电子工程系无线电技术专业。现为中国科学院长春光学精密机械与物理研究所博士研究生。主要从事光电跟踪检测、自动控制等方面的研究。