

数控机床温度无线检测与智能补偿系统

李荣钢¹, 雷霖², 张寒², 葛一楠², 唐毅谦², 王超², 唐茂²

¹成都茵普精密机械有限公司; ²成都大学

摘要: 数控机床热变形产生的热误差是影响加工精度的重要因素之一, 如何有效控制机床热误差是提高数控机床加工精度的关键。在参考国内外相关数控机床热误差补偿的研究基础上, 设计了一种新的数控机床温度无线检测及智能补偿系统, 并利用 BP 神经网络建立了数控机床热误差的数学模型。

关键词: 数控机床; 热误差; 无线传感技术; BP 神经网络

中图分类号: TG502.35; TH161+.4

文献标志码: A

Temperature Wireless Detection and Intelligent Compensation System for CNC Machine

Li Ronggang, Lei Lin, Zhang Han, Ge Yinan, Tang Yiqian, Wang Chao, Tang Mao

Abstract: It is found that the thermal error of the numerical control machine is one of the most important factors that affect the machining accuracy. How to effectively control the thermal error of the machine tool is the key to improve the machining precision of the CNC machine tools. On the basis of reference to the research on thermal error compensation of CNC machine tools at home and abroad, a new temperature wireless detection and intelligent compensation system for CNC machine tools is designed. Finally, the mathematical model of thermal error of CNC machine tools is established by using BP neural network.

Keywords: CNC machine; thermal error; wireless sensor technology; BP neural

1 引言

近年来, 在制造技术和控制技术的共同推动下, 数控技术有了较快的发展, 但是随着工业技术的不断发展, 人们对机械零件的精度有了新的要求, 如何提高数控机床加工零件的精度是当前面临的新挑战。研究发现, 在引起数控机床的各种误差中, 机床零部件和结构的几何误差、切削力引起的误差以及机床热变形误差占绝大部分^[1]。随着数控机床制造技术的发展, 机床零部件和结构的几何误差、切削力引起的误差已经得到了很好的解决, 然而占到影响数控机床加工精度 40% - 70% 的机床热变形误差却没有得到很好的解决^[2], 因此, 如何解决热变形误差已经成为数控机床提高加工精度的关键问题。

目前, 对于如何解决数控机床热误差变形的研究有很多, 但是很大一部分的研究都是基于有线温度检测系统, 而此类有线温度检测系统在上具有一定的局限性。在数控机床温度监测方法日趋成熟、无线通信技术迅猛发展的背景下, 设计一套高效可靠的无线温度检测系统的条件已经成熟。本文旨

在设计一种基于无线传输技术的温度检测系统, 通过采集数据建立一套数控机床的热误差模型, 从而实现数控机床热变形误差的实时补偿。该无线温度检测及智能补偿系统, 能很好地克服有线温度检测系统在数控机床温度检测过程中的局限性, 提高获取数据的可靠性, 解决实时补偿过程缓慢的问题。

2 数控机床热误差来源

金属材料具有遇热膨胀遇冷收缩的特性, 当数控机床处于工作状态时, 会受到机床各运动部件产生的摩擦热、切削热和外部热源的影响, 引起工艺系统(机床—工件—刀具—夹具)变形, 这种变形被称为热变形。受机床热变形影响产生的误差被称为热变形误差, 简称热误差。

机床热源主要分为内部热源和外部热源^[3]。内部热源来自数控机床工作时自身产生的切削热、运动部件的摩擦热, 外部热源主要来自环境温度、阳光、灯光的辐射热等。

机床的热变形可以看成是具有相应形状及时间常数的一系列的热变形叠加。这一系列的热变形便是机床的热变形模态。目前, 对于怎样降低数控机床的各种误差提高机床加工精度的研究有很多, 但最主要的方法是误差消除和误差补偿^[4]。

3 数控机床温度无线检测系统

图 1 为无线测温系统的总体结构设计,测温系统由硬件层、操作系统层和应用软件层三层组成。无线射频模块、电源模块、串口通信模块以及温度传感器模块构成了硬件层,通过对外围电路的设计将四个模块进行了有机整合。PC 端和无线节点端对内存、任务、设备接口等系统设备的管理控制由操作系统层负责;温度测量、无线通信、数据的处理及显示等应用软件的设计在应用软件层完成。

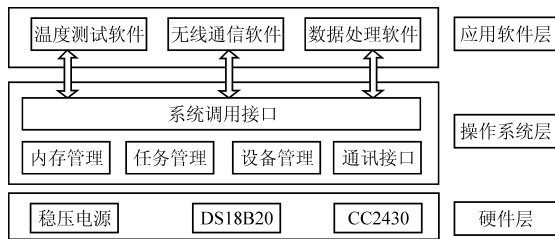


图 1 无线测温系统总体结构设计

4 数控机床热误差建模及智能补偿实现

4.1 基于 BP 神经网络的热误差建模

神经网络是一种利用大量神经元相互连接来处理某些事物功能的网络模型。神经网络实质上是一门非线性的科学,处理非线性问题,并不要求样本独立或者遵守正态分布,而是包括样本的所有情况,并且具有并行处理、自组织自学习等功能。神经网络的建模其实就是先将采集的数据输入到设计的神经网络模型中,并对其网络进行训练。当网络训练能够得到合适的权值及阈值时,就可以得到与实际情况相符合的神经网络模型,从而将神经网络应用于数控机床的补偿中。

图 2 为数控机床 Y 轴误差补偿模型。根据长期的生产总结,影响加工误差的温度主要是电机外壳温度、上轴承机体温度、右十字滑坐温度,因此选择三层神经网络。输入层为四个神经元、分别为电机外壳温度 A_1 ,上轴承温度 A_2 、右十字滑座温度 A_3 及位移量 A_4 ,中间层有一个神经元,输出层为一个神经元。

图 2 中位移量 A_4 为刀具当前时刻位置距离刀具的初始时刻的距离 $A_4 = 0, 100, 200, \dots, 1000$,由于每一个数值的量纲不同,因此在数据未输入网络之前要对数据进行归一化处理,即按照 $A_n(j) = 2[A(j) - \min A(j)] / [\max A(j) - \min A(j)] - 1$ 。如表 1 所示。

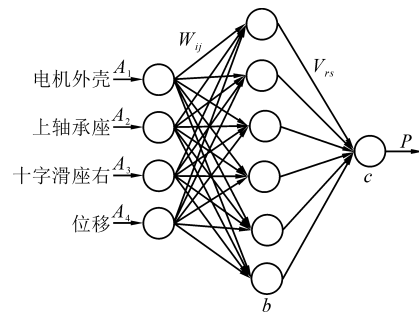


图 2 数控机床 Y 轴误差补偿模型

表 1 归一化表

数值	maxA	minA	maxT	minT
电机外壳 A_1	14.8	0		
上轴承座 A_2	8.7	0		
十字滑座右 A_3	1.8	0		
刀具距离初始位置 A_4	1000	0	27	-3
公式	输入系统前数据进行归一化 $A_n(j) = 2[A(j) - \min A(j)] / [\max A(j) - \min A(j)] - 1$ 系统输出进行反归一化 $a = 0.5(P+1)(\max T - \min T) + \min T$, 取 $-a$ 对机床进行误差补偿			

神经网络实现补偿的具体过程为:当刀具移动到距离初始时刻分别为 $A_4 = 0, 100, 200, \dots, 1000$ 时,安装在数控机床的 DS18B20 温度传感器将在三个节点测得的温度数值输入神经网络中计算, $Y_j = \sum_{i=1}^4 A_i W_{ij} + b_j (j = 1, 2, \dots, 6)$ 为隐含层每一个节点的输入, $Z_j = \frac{2}{1 + \exp(-2Y_j)} - 1 (j = 1, 2, \dots, 6)$ 为隐含层节点输出, $P_s = \sum_{r=1}^6 Z_r V_{rs} + c_s (s = 1)$ 为输出层的输出,按照 $a = 0.5(p + 1)(\max T - \min T) + \min T$ 对输出节点值进行反归一化处理, a 的相反数即为对机床进行误差补偿的值。输入层到隐含层的权值为 W_{ij} ,输入节点 i 取值为 1、2、3、4,隐含层节点 j 取值为 1、2、3、4、5、6。同理,隐含层到输出层的取值为 V_{rs} ,隐含层节点 r 取值为 1、2、3、4、5、6,输出层节点 s 取值为 1,隐含层及输出层的阈值分别表示为 b 和 c 。

4.2 基于 BP 神经网络模型的仿真^[5]

数据经过粗糙集理论预处理后利用 MATLAB7.0 软件进行仿真。选择的网络模型为 BP 神经网络^[6],在学习阶段,首先在 BP 神经网络的输入端将加入归一化处理后的样本,用测得的输入/输出数据对神经网络训练,设置学习效率、迭代次数以及目标函数等,其中隐含层的神经元的变换函数被设置为 log-sigmoid 函数,最后的输出层设置为 purelin 型线性函数。神经元的连接权值和阈值要根据误差的

大小和符号做出相应的调整。这一过程会持续到神经网络能在给定样本条件下产生给定输出结果才会结束,以保证得到的神经网络模型与输入/输出特性及实际过程相等价。图3和图4为仿真结果图。

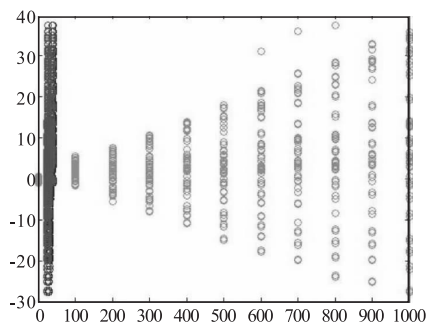


图3 BP神经网络输入/输出映射曲线

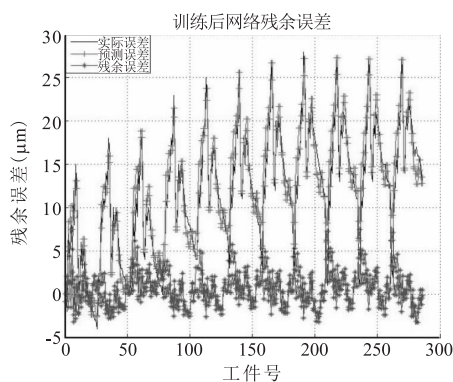


图4 BP网络训练

4.3 数控机床热误差补偿仿真结果分析

利用BP神经网络建立模型对数控机床的热误差补偿展开仿真,仿真结果表明BP神经网络预测输出及期望输出的误差都得到了良好的控制。从MATLAB仿真结果可知,在没有经过BP神经网络模型进行热误差补偿时,数控机床的加工误差在 $-5 \sim 27 \mu\text{m}$ 之间,经过热误差补偿以后其加工精度控制在 $-5 \sim 5 \mu\text{m}$ 之间,加工精度得到了较大提高。

BP神经网络可以根据实时检测的不同加工误差对训练数据进行在线更新,提高了建立误差模型的精确性,同时这种系统在热误差补偿上具有补偿速度快、效率高的特点,并且任何的数控机床都可以使用。因此使用BP神经网络建立模型对热误差的补偿,可以较好地提高被加工零件的精度,具有广泛的适用性和实际意义。

4.4 热误差补偿的分析^[7]

从MATLAB的仿真结果可以看出,采用BP神经网络建立模型对减小数控机床的热误差提高加工零件精度十分有效。本文采用原点平移法对数控机床展开实时补偿,应用数控控制器中的可编程控制

器来修改数控机床的程序,从而实现数控机床的热误差补偿,提高数控机床的加工精度。

通过对数控机床控制程序的修改得到如图5所示的数控机床误差实时补偿控制系统,实时补偿器由模块1(计算处理模块)、模块2(数控机床接口和补偿程序的执行模块)及模块3(传感器及模数转换模块)三个模块组成。

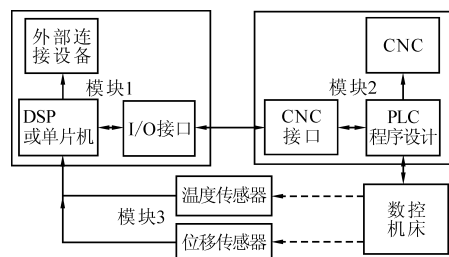


图5 数控机床误差实时补偿控制系统

4.5 数控机床热误差实时补偿的执行

应用S7-300PLC的对外开放功能重新设计BP神经网络补偿模型,然后将新的BP神经网络补偿模型插入到数控系统中。通过检测出数控机床热误差,利用BP神经网络数学模型计算得到误差的补偿值,最后根据BP神经网络模型修改数控机床的部分程序,从而运用原点平移法实现误差补偿。数控机床在BP神经网络补偿模型的作用下,实现了实时补偿的功能。

通过将补偿程序插入到数控机床中并通过实际的切削试验,得出加工精度比没有采用补偿时提高了 $15 \mu\text{m}$ 左右,通过原点平移法可以很好地使数控机床的加工误差得到有效补偿。这种热误差补偿方式具有良好的实用性和经济性,将在很大程度上对数控机床的加工制造带来促进作用,特别是对一般的数控机床的改造,不需要对数控机床的硬件结构做出改变,只需在软件层面做出修改,便可以实现加工精度的提升。

5 结语

研究了对数控机床误差变形影响最大的热误差,通过分析其产生机理和补偿措施,设计了一套数控机床温度无线检测系统,并在本系统采集温度数值的基础上,通过BP神经网络建立热误差模型的可行性,仿真结果表明,BP神经网络在数控机床热误差补偿中可行。

参考文献

- [1] 杨建国, 范开国, 杜正春. 数控机床误差实时补偿技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2013.

多读数头位移传感器原理及误差谐波修正

赵婷婷,王先全,王恋,文成杨,方怡

重庆理工大学;时栅传感及先进检测技术重庆重点实验室

摘要: 为提高传感器的精度,提出了一种构建多读数头位移传感器的方法,在不增加刻线槽的情况下,可大幅提高传感器的对极数,该传感器误差成分比传统传感器的谐波误差成分少,且谐波误差幅值小,有利于提高传感器的精度。详细研究了传感器误差组成和误差谐波修正法理论,提出了对极内单点采样的误差修正方法。与对极内多点采样修正方法相比,误差修正效果一致,但采样点数较少。通过试验证明,对极内单点采样误差修正方法可提高传感器的精度。

关键词: 多读数头;对极数;谐波修正;对极内单点采样;对极内多点采样

中图分类号: TG87;TH741

文献标志码: A

Principle of Multiple Reading Head Displacement Sensor and Error Harmonic Wave Correcting

Zhao Tingting, Wang Xianquan, Wang Lian, Wen Chengyang, Fang Yi

Abstract: In order to improve the accuracy of the sensor, a method of constructing multi-reading head displacement sensor is put forward to greatly improve the pole number of the sensor without increasing the track groove. The error component of the multi-reading head is less than the harmonic error component of the tradition sensor. The harmonic error amplitude is small, which is helpful to improve the accuracy of the sensor. Detailed study of error composition and error harmonic correction theory. Proposed single-point sampling in polarity error correction method. Compared with the multi-point sampling in polarity error correction method, the error correction effect is the same, but the number of sampling points is less. Through experiments, single-point sampling in polarity error correction method can improve the accuracy of the sensor.

Keywords: multi-measuring head; number of pole-pairs; harmonic correction; single-point sampling; multi-point sampling

1 引言

传统的传感器均为正弦或者余弦信号激励,表达式为激励信号 $U_a = U \sin(\omega t)$, 输出感应信号为带有空间角度 θ 的正弦信号^[1-4], 表达式为感应信号 $U_s = U_m \sin(\omega t + \theta)$ 。

激励信号和感应信号只是相位相差 θ , 通过比相方法可以得出 θ , 实现空间角度 θ 的检测。

一般来讲,光栅、球栅、容栅、时栅、感应同步器等栅式位移传感器,对极数越多精度越高。为了进一步提高传感器的精度,采用多读数头和多读数头误差修正方法,可以大幅提高传感器精度,这要求多读数头一致性和多读数头精密安装,实际中很难形成误差特征一致的多读数头,空间均布安装多读数头也不易达到^[5]。

Zhang G. X. 等^[6]采用光栅分度盘具有正弦传递函数的性质,将四个读数头非等间距安装在光栅分度盘上,减少了光栅分度盘的误差;苏东风等^[7]在《电子测量与仪器学报》期刊中提到:从读数头的

基金项目: 重庆理工大学研究生创新基金(YCX2016216);重庆市研究生科研创新项目(CYS17277)
收稿日期: 2017年8月

- [2] 闫占辉. 机床热变形的研究现状[J]. 吉林工业大学学报(工学版), 2001, 31(3): 95-97.
- [3] 陈兆年, 陈子辰. 机床热态特性学基础[M]. 北京: 机械工业出版社, 1989.
- [4] 杨建国. 数控机床误差综合补偿技术及应用[D]. 上海: 上海交通大学, 1998.
- [5] 曹莉, 曾黄麟, 乐英高. 数控机床温度无线检测智能补偿系统设计[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2012(9): 63-65.

- [6] 谭峰, 殷鸣, 彭骥, 等. 基于集成BP神经网络的数控机床主轴热误差建模[D]. 成都: 四川大学, 2017.

- [7] 周天鹏. 数控机床热变形的智能补偿方法及系统设计[D]. 自贡: 四川理工学院, 2012.

第一作者: 李荣钢, 高级工程师, 成都茵普精密机械有限公司, 610500 成都市

First Author: Li Ronggang, Senior Engineer, Chengdu Inpu Precision Machinery Co., Ltd, Chengdu 610500, China