

文章编号 1004-924X(2001)04-0364-04

# 把神经网络应用于丝杠磨削过程的建模与控制

宋洪涛, 宾鸿赞

(华中科技大学机械学院, 湖北 武汉 430074)

**摘要:**提出了利用两个人工神经网络对丝杠的磨削过程进行建模与预测控制的思想。其中,网络1用于复映传动链、热变形和力变形等误差源与工件螺距误差的关系,即建模;网络2根据网络1的输出和工件螺距误差的仿真值而预报输出下一采样周期的综合补偿控制量。通过一系列试验研究,证明此控制策略能减少工件螺距误差80%以上,有效提高了试件丝杠的磨削精度。

**关键词:**丝杠磨削; 误差补偿; 神经网络

**中图分类号:**TG580.6 **文献标识码:**A

## 1 引言

以提高效率为主的自动化和以提高精度为主的精密化,是现代制造技术发展的两个主要方向。而其中的超精密加工技术,是集测量学、微电子学、近代光学、控制论、信息论等技术与机械制造技术相融合的一门边缘学科,具有重要的学术价值与显著的社会经济效益。要实现超精密加工,一方面可以提高机床的制造精度,但其代价昂贵,且精度的提高也有一定的限度;另一个途径是误差补偿技术,它可以将机床本身的制造误差、环境因素造成的加工误差、刀具磨损、振动、热变形和力变形等因素的影响综合考虑,从而获得较高的加工精度,因此是一种经济可行而又具有较大现实意义措施。

传统的控制方法需要建立被控对象精确的数学模型。但对于复杂的制造过程,如精密长丝杠的磨削控制,由于它是一个复杂的非线性时变系统,工件的螺距误差要受传动链误差、热变形误差、力变形误差及砂轮的磨损与振动等诸多因素的影响,要建立它的数学模型是非常困难的。即使能够建立,求解起来也是非常复杂的。因此,已无法满足复杂制造过程的实时控制要求。这就迫使我们把像丝杠磨削这样的复杂制造过程的计算机辅助控制理论与策略推进到一个新的高度——对于非线性误差的计算机实时控制阶段。

## 2 传感器信息的融合

如何有效地对制造过程中各传感器的实测信息进行快速处理并及时把处理结果反馈给误差补偿机构进行补偿控制,是误差补偿技术成败的关键。而要实现复杂制造过程的实时控制,由于信号的采集与处理必定会有一定的延迟,因此一般要采取预报补偿的方法。

在丝杠的磨削加工过程中,我们可以测量到传动链、热变形和力变形等误差因素,这些误差因素所造成的工件螺距误差可以在加工完成后通过测量工件而得到。若把前者看作“因”,后者看作“果”,则因果之间必然有一种确定的关系,而这种关系又很难用精确的数学模型表示出来。但随着人工神经网络(ANN - Artificial Neural Network)技术的发展,为我们解决这个难题提供了一条有效的途径。由于神经网络具有大规模并行性、冗余性及本质的非线性等特点,把它应用于复杂的非线性制造过程的建模与预测控制等问题是一种比较有效的方法,现已获得了越来越广泛的应用。

采用两个多层BP(Back Propagation)网络来对丝杠的磨削过程进行建模与预测控制。其中,网络1用于对丝杠的磨削过程进行建模;网络2用于对丝杠的磨削过程进行预报控制。多层BP网络的一般结构如图1所示。

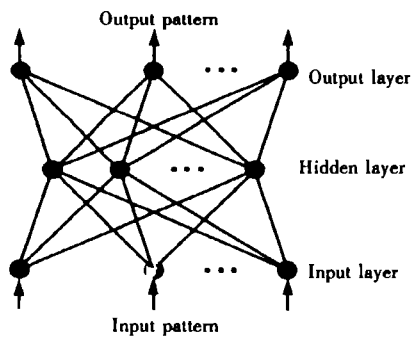


Fig. 1 Structure of a multi-layer BP network

网络 1 的输入为传动链误差  $E_k$ 、热变形误差  $E_H$  和力变形误差  $E_F$ , 输出为工件对应的螺距误差  $E_p$ 。加工过程中, 传动链误差可用计数法由安装在头架处的光电编码盘信号和安装在工作台上的光栅尺信号经综合处理后得到, 丝杠轴向热变形量由电感测微仪在装有活动顶尖的尾座处测量, 丝杠受力变形量分别由安装在丝杠两端轴颈处的两个涡流传感器进行测量, 在上述条件下磨削出来的工件, 用万能工具显微镜可测出其螺距误差曲线。利用以上测量结果, 可对神经网络 1 进行训练。

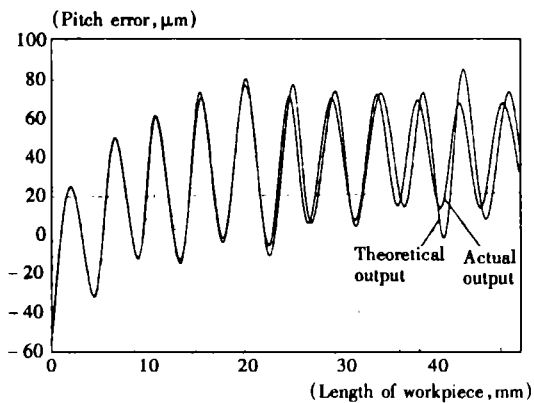


Fig. 2 Training result of the first ANN

在神经网络的训练过程中, 采用适当的中间层处理单元数是非常重要的, 但到现在为止还没有一个令人满意的统一的规则, 因而大多只能凭经验和实际训练效果来不断地进行调整。在实际应用中, 神经网络 1 最终选用了三隐含层, 各层处理单元数为  $8 \times 16 \times 4$ , 训练效果如图 2 所示。其

中, 横坐标代表工件长度, 纵坐标代表相应的工件螺距误差。从图中可以看出, 实际输出与理想输出还是比较接近的, 但在后半段偏差稍大些。

对于各种常用的预报控制算法, 不论是时序模型还是其它的多项式模型, 当用于复杂加工过程的控制时, 都存在着由模型复杂性而导致的控制实时性与预报精度之间的矛盾, 而且不可避免地会存在一定的预报误差。利用神经网络, 可以找到较好的最低阶次模型而不用考虑模型的具体形式, 而且可以得到较高的预报精度。

在训练神经网络前, 我们首先经几何仿真和物理仿真得到了一组工件螺距误差的理论值  $E_T$ 。若所选模型的阶次为  $n$ , 则以前  $n$  个工件螺距误差的实测值和前  $n+1$  个螺距误差的理论值为输入, 以第  $n+1$  个工件螺距误差实测值为输出, 可对神经网络 2 进行训练, 即网络 2 的输入为  $2n+1$  个, 输出为 1 个。网络 2 的作用便是对工件螺距误差的理论预报值(亦即补偿控制量的大小)进行修正并进行预报控制, 其输出可用来在第  $n+1$  个采样周期开始时控制补偿机构进行补偿控制。网络 2 选用了两个隐含层, 各层单元数分别为  $5 \times 8$ , 其训练效果如图 3 所示。从图中可以看出, 实际输出与理想输出十分逼近, 可见神经网络 2 的训练效果是比较满意的。

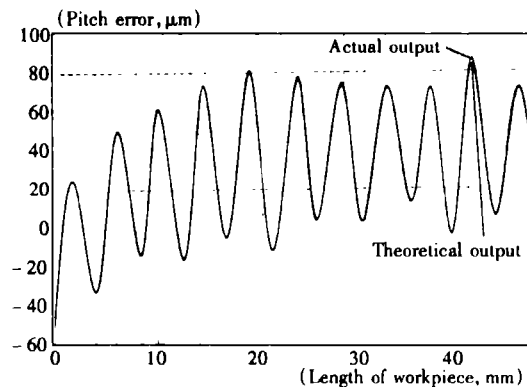


Fig. 3 Training result of the second ANN

### 3 磨削过程的控制

训练好神经网络后, 即可开始磨削过程的控制, 其控制原理如图 4 所示。开始磨削后, 前  $n$  个

采样点不进行控制,但在第  $n$  个采样点,把前  $n + 1$  个采样点的理论预报值(经仿真得到的)和前  $n$  个神经网络 1 的输出值一起输入神经网络 2,即可得到下一采样点的综合补偿控制量(预报值),所以从第  $n + 1$  个采样点开始即可进行补偿控制,然后舍弃第 1 点的信息,由第 2 ~  $n + 1$  个采样点的信息预报第  $n + 2$  个采样点的控制量,依此类推,直到磨削过程结束。

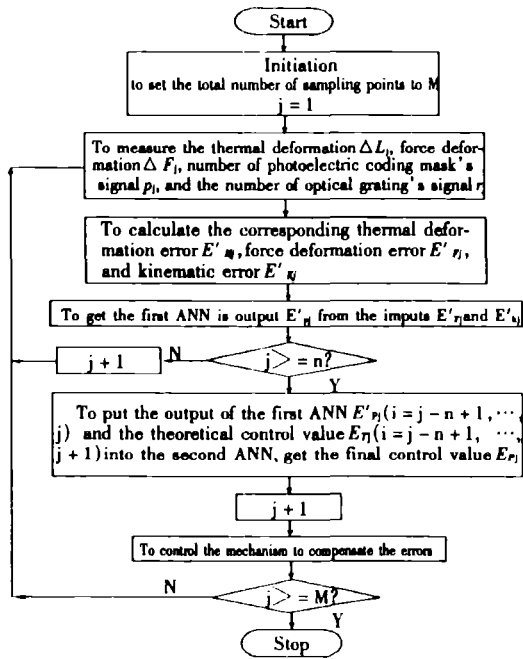


Fig.4 The flow chart of the control scheme

参考文献:

[1] Westkamper E. Zero-defect manufacturing by means of a learning supervision of process chains[J]. Annals of the CIRP, 1994, 43(1):405 - 408.  
 [2] 李培生,李劲松,桂修文,等. 螺纹智能磨削的研究[J]. 机械工程学报,1992,28(1):14 - 19.  
 [3] 宋朝辉,卢钙. 人工神经网络技术在数控加工误差控制中的应用[J]. 光学精密工程,1998,6(6):79 - 83.  
 [4] 刘琳,吴鸿赞. 剃齿刀齿面造型理论及其分析[J]. 光学精密工程,2000,8(1):55 - 59.

在 S7520W 型螺纹磨床上对试件丝杠的磨削过程进行了综合补偿控制研究,未经补偿控制和经补偿控制后的丝杠螺距误差实测曲线如图 5 所示。

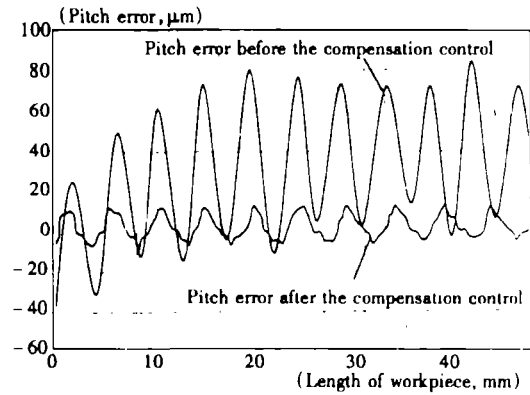


Fig.5 Contrast of the pitch error of the leadscrew before and after the compensation control

4 结 论

可以看出,经补偿控制后的丝杠螺距误差明显减少,50mm 内的螺距累积误差大约为 3mm ~ 4mm,比未加控制前的大约 60μm 减少 90% 以上,2π 周期内的短周期误差从未加控制前的 80μm 左右减小到 15μm 左右,大约减少 80%,说明把神经网络应用于丝杠磨削过程的建模与控制是十分有效的。

## Model establishment and control of the grinding process of a leadscrew by artificial neural network

SONG Hong-tao, BIN Hong-zan

(*Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China*)

**Abstract:** A strategy for model establishment and predictive control of the grinding process of a leadscrew by two artificial neural networks is proposed. The first ANN is used to model the relationship of thermal deformation and force deformation error with the pitch error of the workpiece, and the second ANN outputs the final modified control value according to the output of the first ANN and the theoretical control value, and the modified control value can be applied for compensation control at the beginning of the next sampling period. The experimental results show that the pitch error of the workpiece is decreased by more than 80%, thus significantly improving the grinding precision of the leadscrew.

**Key words:** leadscrew grinding; error compensation; artificial neural networks

**作者简介:**宋洪涛(1969-),男,河南襄城人,1998年毕业于华中理工大学机械学院CAM研究室,获工学博士学位,现主要从事电子设备的结构设计。

宾鸿赞(1940-),男,湖南衡阳人,华中科技大学机械学院CAM研究室教授,博士研究生导师。