

开放式数控切割机神经网络误差补偿研究

王 运, 黄大贵, 杨天文

(电子科技大学机械电子工程学院 成都 610054)

【摘要】分析了影响数控火焰切割机加工精度的主要因素,利用开放式数控系统的软件开放性,提出了采用IGCAQBP学习算法的神经网络方法来对包括金属热变形、机械传动误差等非线性因素在内的多种因素造成的加工误差进行误差补偿,设计了嵌入开放式数控系统中的神经网络误差补偿器,给出了实用的补偿器使用方法,并对误差补偿功能进行了扩展,仿真结果和实际应用表明该方法稳定有效。

关键词 切割机; 误差补偿; 神经网络; 开放式数控
中图分类号 TP271.4/TP273.5 文献标识码 A

Study on Error Compensation for Open CNC Cutting Machine Based on Neural Network

WANG Yun, HUANG Da-gui, YANG Tian-wen

(School of Mechatronics Engineering, Univ. Electron. Sci. & Tech. of China Chengdu 610054)

Abstract The major factors that contribute the working accuracy of flame cutting machine are considered. By using the opening characteristic of software in open Computer Numerical Control (CNC) system, this paper gives a neural network method based on IGCAQBP learning algorithm to improve working accuracy. Error compensation unit based on neural network is designed and the applied error compensation function of open CNC is extended. The simulation result and the practical application indicate that this method is effective and stable.

Key words cutting machine; error compensation; neural network; open computer numerical control

大型数控切割机是大中型零件加工中常用的下料设备。目前常用的切割介质有火焰、等离子体、激光、高压水等。尽管采用这些介质的切割设备各有专长,但是除激光切割机加工精度较高外,采用其余几种切割介质的国产切割设备的加工精度普遍不高。如何提高数控切割机的加工精度是使用单位非常关心的问题。

开放式数控系统是目前数控领域的研究热点,它充分利用了工控机(IPC)中控制软件的可自由修改和配置特性,使用户可以针对不同的使用目的灵活地设计控制模块及配置各种功能,从而达到用较低成本的通用设备,完成过去只有昂贵的专用控制系统才能完成的工作。本文将开放式数控系统应用于数控切割机不但可以降低系统成本,而且利用优越的软件灵活性,可以使数控切割机的加工误差通过软件补偿的方式得以基本消除。

1 影响加工精度的主要因素

1.1 切割板材的热变形

应用开放式数控系统的火焰切割机系统的结构如图1所示。

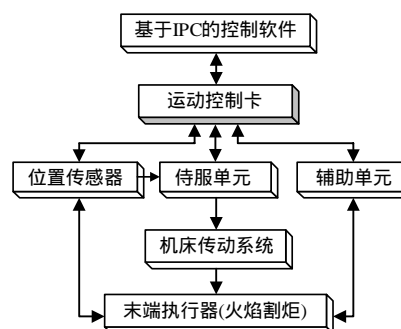


图1 开放式数控火焰切割机系统结构

火焰切割是将割缝处的金属材料加热至熔融态后进行操作,整个加工过程中加工工件及其所在的

基板都处于一个移动的局部高热源的影响下,加工工件和基板都有明显的热变形。处于加工过程中的板材内部热应力情况复杂,且板材形状在不断变化,属于非线性问题,直接的板材热变形建模十分困难。但是研究发现加工板材的热变形量有明显的规律性,与板材自身参数存在特定的非线性映射关系^[1]。

1.2 火焰切割机机床自身的机械传动精度

数控火焰切割机属于大型数控设备,其工作时一般运行速度很低(有时低至0.1 m/min以下),机床传动系的传动比比比较大,因此机床传动系的传动刚性明显偏低。另外设备中零件的加工精度和装配精度不高产生的传动误差以及齿轮回程误差都对机床自身的传动精度有明显影响,从而造成机床在沿轨道方向上有较大运行误差。

1.3 火焰割炬的高度与切割速度

火焰割炬的高度及切割速度都会显著影响割缝的质量和宽度^[2]。从而直接影响工件的尺寸精度。

2 神经网络模型的误差补偿方法

2.1 神经网络方法的引入

神经网络理论经过多年的发展,已趋于成熟,研究表明神经网络具有强大的非线性映射能力,同时具有很强的泛化能力和容错能力^[3]。而数控火焰切割机的加工误差补偿问题,由于误差受多种因素影响且涉及热变形、传动刚性变形等非线性因素,是很典型的多输入多输出的非线性系统问题。这正是神经网络理论所擅长处理的方面。把神经网络方法应用于开放式数控火焰切割机的误差补偿,结合开放式数控的软件灵活性以及神经网络方法的非线性映射能力,是解决火焰切割机误差补偿问题的一种有效方法。

神经网络的模型及算法已形成众多门类,鉴于本文的是作为工程应用,故选用的方法应该稳定、实用,经过比较最终选择了基于改进的误差反传算法(Back Propagation, BP)的多层前馈神经网络模型作为建模的基础。

2.2 补偿器的应用方式

结合实际应用场合,应用神经网络补偿器的方式有两种:(1)用于火焰切割机数控软件的前处理部分,即将其嵌入到数控软件的数控代码编译器中;(2)用于数控软件中的实时处理部分,即将其集成到数控软件的在线控制程序部分。方式(1)属于离线补偿,对神经网络算法没有实时性要求,与在线补偿相比易于在数控程序中实现。方式(2)属于在线补偿,

虽理论上会获得更好的补偿效果,但由于数控火焰切割机加工中会出现倒退、暂停等多种较特殊的情况,因此具有神经网络补偿器的在线控制程序较为复杂^[4],且神经网络的输入参数在编制数控G代码时都可确定,因而在线补偿的实际意义不大。所以应用中选择了离线补偿方式。

2.3 算法的选择及网络参数的确定

文献[5]提出了一种全局寻优自适应快速BP(Globally Convergent Adaptive Quick Back Propagation, GCAQBP)算法,并证明此方法可快速收敛且一般可获得全局最优解。为了使所建的神经网络模型达到更理想的映射效果,实际应用中对此方法进行了改进从而得到了改进型全局寻优自适应快速BP(Improved Globally Convergent Adaptive Quick Back Propagation, IGCAQBP)算法^[5-6]。

在影响加工精度的因素中,经分析后最终选择了板材厚度 t_h (代表板材热变形程度)、机床沿导轨运行方向 d (只有两个值正向和负向,代表机床传动变形)以及切割速度 v ,三个影响加工精度的主要因素作为神经网络的输入参数,而 X 、 Y 两个方向各自的偏差量作为网络输出。

理论分析证明,具有单隐层的前馈网络可以映射所有连续函数,显然处理的对象函数在固定运动方向上具有连续性,因此网络结构选用了含有单隐层的前馈网络,隐节点数经过效果比较最终定为4,网络结构如图2所示。

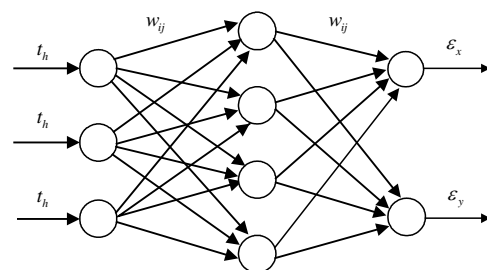


图2 用于误差补偿的神经网络结构

2.4 算法及神经网络误差补偿器的实现方法

在此省去算法的推导过程直接给出IGCAQBP算法的计算公式为:

(1) 输出误差函数。

$$E = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{N_t} (y_i - y_{di})^2$$
, 其中 y_i 为网络的实际输出;
 y_{di} 为目标输出。

(2) 权值计算式。

$$w_{ij}^l(k+1) = w_{ij}^l(k) - \eta \delta_i^l(k) \sigma' \times$$

$$(x_i^l(k))y_j^{l-1}(k) + \alpha \Delta w_{ij}^l(k)$$

为避免学习过程产生振荡, 加快收敛速度, 上式中的动量因子 α 的取值原则定为:

$$\alpha = \begin{cases} \alpha & \Delta E < 0 \\ 0 & \Delta E > 0 \end{cases}$$

(3) 反传误差。

$$\delta_i^l(k) = \begin{cases} y_i^l(k) - y_{di}(k) & l = L \\ \sum_{j=1}^{N_{l+1}} \delta_j^{l+1}(k) \sigma'(x_j^{l+1}(k)) w_{ji}^{l+1}(k) & l = 1, 2, \dots, L-1 \end{cases}$$

(4) 学习率。

$\eta = \lambda E^\mu / (\|\nabla_w E\|^2)$, 其中, 学习率增益 $\lambda = \lambda_0 / (1 + E)$, 且 $\lambda_0 > 0$, 为初始学习率增益; $0 < \mu < 1$, $\|\nabla_w E\|$ 为网络误差函数对权值梯度向量的范数, 其计算可在信息反向传播过程中进行:

$$\|\nabla_w E\|^2 = \sum_{l=2}^L \sum_{i=1}^{N_l} \sum_{j=1}^{N_{l-1}} \left(\frac{\partial E}{\partial w_{ij}^l} \right)^2 =$$

$$\sum_{l=2}^L \sum_{i=1}^{N_l} \sum_{j=1}^{N_{l-1}} \left(\frac{\partial E}{\partial y_i^l} \frac{\partial y_i^l}{\partial x_i^l} \frac{\partial x_i^l}{\partial w_{ij}^l} \right)^2 =$$

$$\sum_{l=2}^L \sum_{i=1}^{N_l} \sum_{j=1}^{N_{l-1}} (\delta_i^l)^2 (\sigma'(x_i^l))^2 (y_j^{l-1})^2$$

式中 y_i^l 为第 l 层第 i 个节点的输出值; x_i^l 为第 l 层第 i 个节点的激活值; w_{ij}^l 为第 $l-1$ 层第 j 个节点到第 l 层第 i 个节点的连接权值; N_l 表示第 l 层的节点数; L 为总层数; $\sigma(\cdot)$ 为节点的激活函数。

实际应用中参数的选择情况为: 网络的初始权值在 $(-0.1, 0.1)$ 区间内随机选取; 初始学习率 $\lambda_0 = 0.45$; $\mu = 0.5$; 动量因子 $\alpha = 0.15$; 目标精度 $\varepsilon_{xm} = \varepsilon_{ym} = 0.01$, 为消除假饱和现象网络的输出层采用线性激活函数, 隐层使用双极性 Sigmoid 函数。

运用上述算法公式编制了神经网络误差补偿器中的神经网络训练程序, 程序的流程图如图 3 所示。

需要说明的是, 为了让神经网络误差补偿器顺利工作还需要为其做一些辅助工作, 主要有两方面的内容:

(1) 在普通编制的数控代码(如 G 代码)段的段首添加切割板材的板材厚度信息, 另外因为有曲线边缘的零件尺寸调整时情况复杂, 数据较难处理, 所以目前补偿只对具有直线边缘的零件起作用, 因此数控代码中需要添加指示直线边缘零件的辅助代码;

(2) 工作是在误差补偿器的误差修正结果输出后, 需要有辅助程序利用误差修正数据对加工图形的位置数据进行调整, 如前所述目前只对具有线性

边缘的图形进行调整。

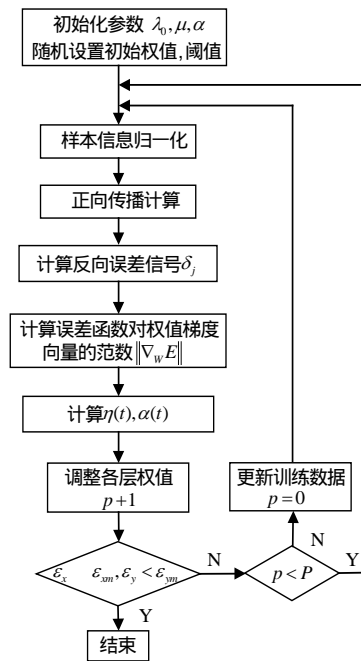


图 3 IGCAQBP 算法流 (P 为设定的训练次数)

2.5 利用数控系统开放性对程序进行功能扩展

鉴于工厂的生产计划周期较长, 各种板材虽然总体参数变化很大, 但一个时期内的板材会在相对较少的一些参数范围内变动, 同时在调试时也不可能把所有板材的数据都采集起来对网络进行训练, 因此利用开放式数控系统易于功能扩展的特性。在控制程序中还添加了数据采集模块, 可以不断采集积累网络训练用的数据。当程序判断到目前的误差超出设定的允许值时, 将自动启动训练程序, 用最新的数据进行网络训练, 以使补偿器始终处于良好的工作状态。因此可以认为此神经网络误差补偿器具有大时间尺度上的动态跟踪能力。

3 仿真结果与实测数据

为了检验所用方法的理论性能, 用 MATLAB 进行了仿真测试。仿真结果如图 4 所示。

图 4 显示的是算法对正弦输入的跟踪能力, 它可说明两点: (1) 应用 IGCAQBP 算法的神经网络模型能够很快地收敛于目标误差范围以内; (2) 对变化的输入有良好的跟踪能力。在实际应用过程中采取的实施方式是先收集一部分实测数据对神经网络补偿器进行初步训练, 然后边使用边采集数据让神经网络不断得到训练, 当误差达到令人满意的程度并且稳定后就不用经常采集新数据。

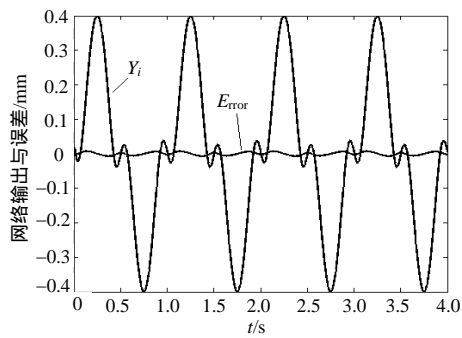


图4 神经网络控制结果

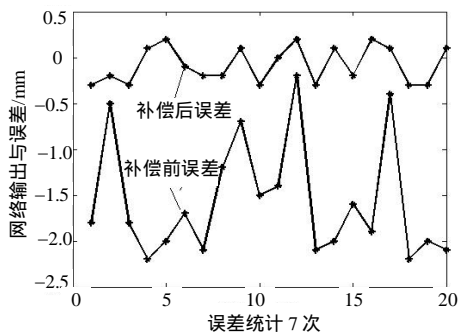


图5 误差补偿前后效果对比

4 结束语

上述在开放式数控系统中嵌入神经网络误差补偿器的方法已经在某单位的两台开放式数控火焰切

割机上应用,实际使用结果表明此方法稳定有效。

这种将神经网络理论与开放式数控系统的特长相结合的误差补偿技术具有广阔的使用前景,尽管其他开放式数控切割由于切割原理与火焰切割不尽相同,但是只要适当调整神经网络误差补偿器的输入参数,此方法同样会在其他类型开放式数控切割机上得到比较明显的效果。

参考文献

- [1] 任秀莲, 杨师斌, 刘忠政. 钢板数控切割热变形分析[J]. 煤矿机械, 1998, (5): 43-44.
- [2] 田中廉, 刘希君, 王 丽. 数控切割钢板热变形的预防[J]. 一重技术, 2002, (2-3): 74-75.
- [3] 韩力群. 人工神经网络理论、设计及应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002.
- [4] 何玉彬, 李新忠. 神经网络控制技术及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [5] YANG Tian-wen, HUANG Da-gui, CHEN Min, et al. Study on technique of measurement error compensation for position measurement device of the microwave chamber motion platform system based on fuzzy neural network[C]// Proceedings of the 2004 International Conference on Intelligent Mechatronics and Automation. [地址不祥]: IEEE, 2004, 417-422.
- [6] 李永强, 刘 杰, 侯祥林. 人工神经网络的混合算法及其工程应用[J]. 机械工程学报, 2004, 40(1): 127-130.

编辑 孙晓丹

(上接第256页)

参考文献

- [1] AMSCHER V, SCHWIEGELSHOHN U, STEIT A, et al. Evaluation of job-scheduling strategies for grid computing[C]//Proc. of Grid Computing-GRID 2000, LNCS 1971. Berlin: Springer Verlag, 2000.
- [2] AMES H A, HAWICK K A, Coddington P D. Scheduling independent tasks on metacomputing systems[C]//Proceedings of Parallel and Distributed Computing Systems (PDCS'99). Cambridge, MA, USA: IASTED/ACTA Press, 1999.
- [3] ZZEDIN F, MAHESWARAN M, ARNASON N. A synchronous co-allocation mechanism for grid computing systems[J]. Cluster Computing, 2004, 7(1): 39-49.
- [4] UBRAMANI V, KETTIMUTHU R, SRINIVASAN S, et al. Distributed job scheduling on computational grids using multiple simultaneous requests[C]//Proc. of flight Performance Distributed Computing (HPDC-II). Los Alamitos, CA: IEEE Computer Society, 2002.
- [5] AMAMOTO H, KAWAHARA K, Takine T, et al. Performance comparison of process allocation schemes depending upon resource availability on grid computing environment[C]//In Proc. of Computational Science-ICCS 2003, LNCS 2658. Berlin: Spring-Verlag, 2003.

编辑 熊思亮