

人工神经网络在监测刀具切削状态中的应用

揭景耀 何友义

(机械工程系)

摘要 基于人工神经网络(模式联想器)提出一种刀具磨损模型. 训练时该网络把由多个传感器组成的输入矢量与由实测刀具磨损量组成的输出矢量联系起来, 两矢量均作用于网络. 实际运用时根据训练时已建立的“模型”, 融合多个传感器的数据, 给出刀具磨损的估计值.

关键词 多传感器信息融合; 人工神经网络; 刀具磨损

分类号 TG702

0 引言

在加工过程中, 刀具磨损, 破损的识别由操作人员来进行, 当然是最理想的. 然而, 随着现代化和生产的自动化、柔性化的程度不断提高, 就必须用传感器、识别决策系统来替代操作人员获取切削状态的信息. 这些信息可应用于: (1) 建立换刀策略; (2) 实现加工过程的经济优化; (3) 进行在线刀具磨损的自动补偿; (4) 在一定程度上可避免刀具重大事故.

几十年来, 众多的学者在刀具磨损、破损的监测方面进行了大量研究, 开发出数十种方法, 大致可归纳为两大类:

(1) 直接法: 以测量刀刃位置, 直接测量刀具耗损面大小为主, 有光学测量法, 放射性技术, 刀具工件接触电阻法等.

(2) 间接法: 有测切削力法, 声发射法, 振动法, 电机电流法, 切削温度法等.

直接法不能实现在线测量, 而间接法完全取决于刀具状态和被测现象之间的关系的精确度与鲁棒性. 因此, 已开发的大量监测系统, 能用于工业现场者极少. 所以, 如何建立通用归一化刀具状态监测系统成为目前难题和关键.

近年来, 人工神经网络, 多传感器信息融合技术的进展, 为刀具切削状态监测问题的解决, 带来了希望, 也为人工神经网络开辟了新的应用天地.

本文主要介绍如何应用人工神经网络来解决刀具状态监测问题, 并以典型实例说明该方法的正确性、可行性与实用性.

1 人工神经网络的背景知识

人工神经网络简称神经网络,是用大量简单的处理单元广泛连接组成的复杂网络,是在现代生物学研究人脑组织所取得成果基础上提出的,用以模拟人类大脑神经网络结构和行为.人工神经网络具有人脑功能的基本特征:学习,记忆,归纳.一般人工神经网络可用作模式分类器、联想记忆或模式联想器.

图 1 所示为反向传播神经网络的结构,又称 BP 模型.标准的 BP 模型由三个神经元层次组成,其最下层为输入层、中间层为隐含层、最上层为输出层,各层次的神经元之间形成全互连接,各层次内的神经元之间没有连接.输入层神经元其输出与输入相同,隐含层和输出层的神经元的操作特性为:

$$\text{net}_{pj} = \sum_i W_{ji} O_{pi} \quad (1)$$

$$O_{pj} = f_i(\text{net}_{pj}) \quad (2)$$

其中: P 为当前输入样本; W_{ji} 为从神经元 i 到神经元 j 的连接权值; O_{pi} 为神经元 j 的当前输入; O_{pj} 为神经元 j 的输出; f_j 为非线性可微非递减函数,常取 S 形函数即

$$f_j(x) = \frac{1}{(1 + e^{-x})} \quad (3)$$

对多层网络进行训练时,首先要提供一组训练样本,其中的每个样本由输入样本和理想输出对组成.当网络的所有实际输出与其理想输出一致时,表明训练结束.否则,通过修正权值,使网络的实际输出与理想输出一致.

在 BP 模型中,引进了中间隐含神经元层,不能直接采用 delta 学习算法来训练 BP 模型,但将 delta 学习算法推广可应用.

设网络输出误差为

$$E_p = \frac{1}{2} \sum_j (t_{pj} - O_{pj})^2 \quad (4)$$

并设

$$E = \sum E_p \quad (5)$$

为整个训练集中所有样本产生的输出误差之和.要使 E 按梯度下降,就必须按下式进行权值修改

$$\Delta W_{ji} = \eta \delta_j O_{pi} \quad (6)$$

问题是如何求得网络中各个神经元的 δ_j 值.

对输出层神经元时用

$$\delta_j = (t_{pj} - O_{pj}) f'_j(\text{net}_{pj}) \quad (7)$$

对隐含层神经元时用

$$\delta_j = f'_j(\text{net}_{pj}) \sum_k \delta_k W_{kj} \quad (8)$$

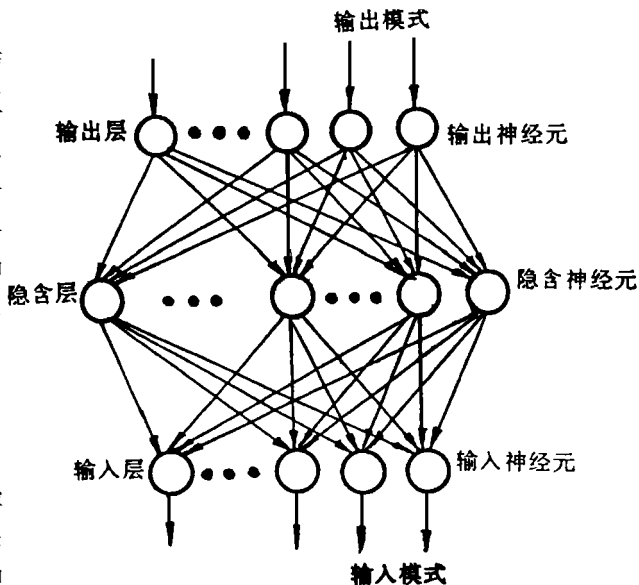


图 1 BP 模型

在推广的 δ 学习算法中， η 表示学习速率， η 较大时权值的修改量就较大，学习速率较快。有可能产生振荡，使用中， η 值开始取得较大，随后 η 值慢慢减少。然而，在实用中一般不采用推广 δ 算法权值修正形式，而是引入某个动量项如 $\alpha \Delta W_{ij}(n)$ ，这有利于加速学习过程。 α 是一个确定过去学习效果的常数。

$$\Delta W_{ji}(n+1) = \eta (\delta_j O_{pj}) + \alpha \Delta W_{ji}(n)$$

(9)

$\Delta W_{ji}(n+1)$ 为当前权值修正值； $\Delta W_{ji}(n)$ 表示上一学习周期的权值修正值。

2 人工神经网络监测刀具切削状态的基本方法

2.1 基本思路

此处人工神经网络主要起二种作用：

- (1) 实现多传感器多信息融合；
- (2) 实现模式联想器作用。

首先应将选定的神经网络进行训练（训练样本集由多传感器信号、刀具磨损量实测值组成）以便把神经网络训练为某种“模型”，然后将该“模型”用于刀具磨损监测系统。在运用期间，当反映系统中刀具磨损程度的多传感器信号作为输入矢量、输入神经网络的输入层，根据训练时建立的“模型”进行处理，结果在神经网络输出端给出刀具磨损值。如图 2 所示，“功能开关”打到 1 实现训练，“功能开关”打到 2 实际运用测试。

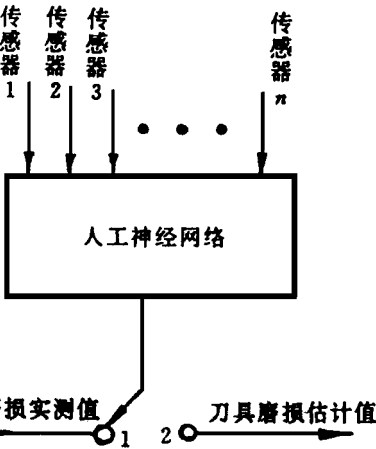


图 2 功能原理图

2.2 人工神经网络训练

训练的目的是对网络的连接弧权值进行调整，使得在应用一输入矢量时，网络能产生一所需的输出矢量。训练是由一输入矢量与所需输出的目标矢量配对组成，两者一起被称为“训练对”。若干训练对组成训练样本集，开始训练时网络的全部权值必须初始化。

BP 算法训练步骤：

- (1) 从训练样本集中取一训练对，把输入矢量用作神经网络的输入；
 - (2) 计算网络输出矢量；
 - (3) 计算网络输出矢量与训练对中目标矢量间的误差；
 - (4) 再从输出层反向计算到第一中间层，向减少误差方向调整网络权值；
 - (5) 对训练样本集中每一训练对，重复（1）～（4）步至整个训练集的误差最小。
- 第（4）步是关键，决定如何向减小误差的方向调整权值，按公式（9）进行。

2.3 实际运用神经网络监测功能

- (1) 记录实际加工过程中各个传感器信号，经预处理得到输入矢量，输入到已经过训练的神经网络“模型”。

（2）经该“模型”处理后，记录神经网络输出端的刀具磨损量（刀具磨损估计值）。

3 实例

详见文献 [3], Masory 选用如图 3 所示三层人工神经网络, 进行单点切削实验, 由传感器记录三个切削分力、声发射、刀尖温度组成输入矢量, 选用隐含层 32, 64 及 128 处理单元三种情况进行训练. 对已训练过“模型”进行测试得到如图 4 所示结果 (由含 32 处理单元组成隐含层的神经网络进行测试).

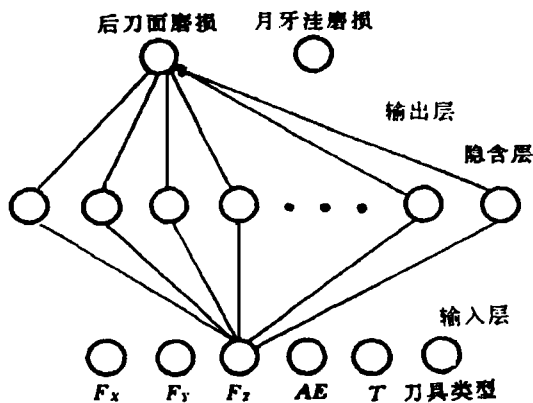


图 3 用于刀具磨损估计的人工神经网络结构

4 结果与讨论

(1) 图 4 显示用已训练过的 ANN “模型”估计刀具磨损量与用工具显微镜实测刀具磨损量基本上一致, 说明了方法的正确性、可行性、实用性.

(2) BP 算法本身有局限性, 离线训练时间长, 隐含节点确定较难, 可能存在局部极小问题.

(3) 本方法缺乏柔性, 不适应过程参数变化, 获取训练样本集成本高.

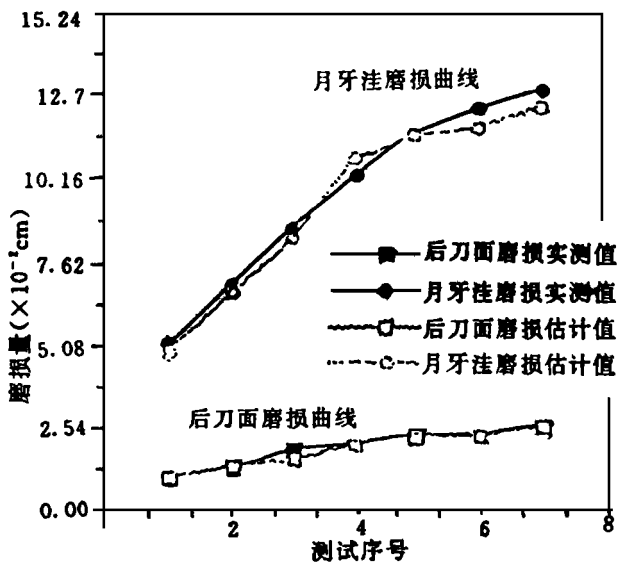


图 4 运用神经网络刀具磨损估计

参 考 文 献

- 1 Li Dan, Mathew J. Tool Wear and Failure Monitoring Techniques for Turning—A Review. Int. J. mach. Tools Manufact, 1990, 30 (4)
- 2 胡守仁等. 神经网络导论. 长沙: 国防科技大学出版社
- 3 Masory O. Detection of Tool Wear Using Multisensor Readings Defused by ANN. SPIE, Vol1496, Applications of ANN II, 1991

(下转第 24 页)

参 考 文 献

- 1 王士政. 电力系统运行控制与调度自动化. 南京: 海河大学出版社, 1990
- 2 张海藩, 成渝编译. TURBOC++应用教程 (上、中、下). 北京: 清华大学出版社, 1992
- 3 王常力, 廖道文. 集散控制系统的设计与应用. 北京: 清华大学出版社, 1993

The Construction of the Real-time Database for Remote Control System

Chen Jianyun Liu Yaohua

(Department of Electrical Engineering)

Xia Jinghui

(Electrification Engineering Bureau of Railway Minister)

Abstract In this paper the roles of the real-time database are elaborate in the remote control system. The hierarchical structure and data structure of the database are build. It has been successfully used in our remote control system.

Key Words Remote control system; Real-time database

(上接第4页)

Application of Artificial Neural Network for the Monitoring of the State Cutting-Tools

Jie Jingyao He Youyi

(Department of Mechanical Engineering)

Abstract This paper proposes a tool wear model based on Artificial Neural Network Which is used as Pattern Associator. As such, the network is trained to associate an input vector, consists of readings of several different sensors, with an output vector, consists of actual tool wear measurements, by a training process during which both vectors are presented to the network. During operation, the network is fed with the sensors' readings, and fuses this data and provides an estimate value for the wear according to the "model" established during the training. The estimation of tool wear obtained by this method is by far more accurate than other methods which use the same sensory inputs.

Key words Multisensor information fusion; ANN; Tool wear