

基于循环神经网络的深孔钻削刀具断刀状态振动监测

赵秀芹

(泰州机电高等职业技术学校,机电系,江苏省泰州市,225300)

摘要 钻削技术通常被应用于一些需要满足大尺寸要求的深孔加工过程。为克服刀具状态监测缺陷,设计了一种基于循环神经网络的深孔钻削刀具断刀状态振动监测方法。研究表明:深孔镗床测试结果达到了99.6%的准确率,获得了理想监测效果。相比较模糊PID与BP神经网络,采用LSTM网络进行处理时除了可以实现降噪功能以外还能够有效保留信号本身的有用信息。

关键词 深孔钻削;状态监测;长短时记忆网络;诊断;准确率

中图分类号: TG52 文献标识码: B

文章编号: 1008-0899(2025)12-0013-02

目前,在深孔加工方面所使用的方法通常包括镗、钻、铰、扩^[1]。其中,钻削技术通常被应用于一些需要满足大尺寸要求的深孔加工过程。考虑到镗孔方式可以获得高精度的深孔,并且加工成本也较低^[2]。安华等^[3]以皮尔逊系数和稀疏自编码器相结合的方法提取得到切削力信号特征,同时根据BP神经网络训练结果完成刀具剩余寿命的预测分析。

此外,进行刀具状态分类时,还会形成差异性较大的正常与异常样本数据;这种数据差异性会对模型实际训练效果造成较大干扰,甚至还会引起许多数据被浪费的情况。为克服刀具状态监测的上述缺陷,通过平衡样本训练深度长短时记忆网络,利用深孔镗床开展模型验证。

1 长短时记忆网络

长短时记忆(LSTM)网络的运行过程是为RNN设置自循环之后,使梯度获得能够保持长期流动的路径,之后调节自循环门权重比例。LSTM网络包含了输入门、神经元、遗忘门与输出门共四个记忆结构。图1给出了该网络的具体单元结构。

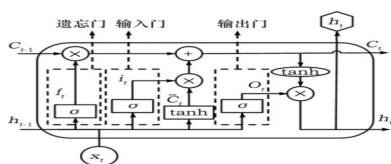


图1 长短时记忆单元结构

作者简介:赵秀芹(1982~),女,江苏泰州人,本科,讲师,研究方向:数控编程与加工。

假定记忆单元每经过一个时间步长 t 就完成1次更新,可以得到 t 时的遗忘门参数 f_t 如下:

$$f_t = \sigma(W_f \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_f)$$

式中: W_f 表示遗忘门权重; h_{t-1} 是之前时刻对应的输出; x_t 是当前时刻输入; b_f 是遗忘门发生的偏置参数; σ 表示Sigmoid激活函数。

将输入门 i_t 与记忆单元候选状态参数 C_t 表示成以下的形式:

$$i_t = \sigma(W_i \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_i)$$

$$\tilde{C}_t = \tanh(W_c \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_c)$$

得到以下的输出值 h_t :

$$h_t = \sigma(W_o \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_o) \times \tanh(C_t)$$

完成多层长短时记忆网络堆叠后,建立得到LSTM网络。

2 数据获取及预处理

本文测试了某国产深孔镗床在钻削期间形成的振动与声音信号。完成数据裁剪之后,再采集得到1470个样本,各样本分别包含1000数组。根据不同的刀具使用状态,分类获得三种样本数据,其中,第一类属于正常数据,第二类属于断刀数据,第三类属于磨钝数据。

正常状态和断刀状态数据见图2所示。相比较正常状态,断刀状态的波动程度更大。这是由于完整频域信息中含有更多信息内容,能够实现深度学习模型优势的更高效发挥,同时达到更优状态分类性能。

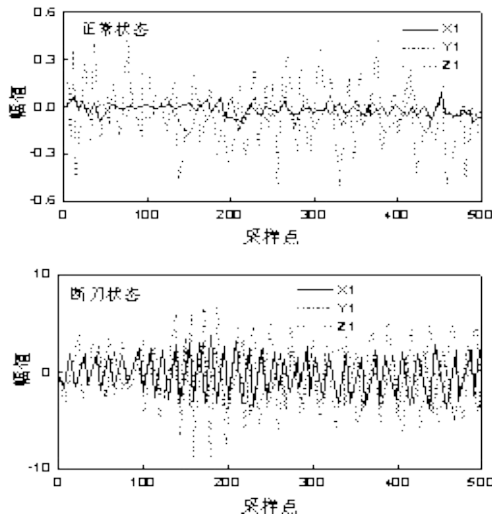


图2 刀具原始数据

3 结果分析

3.1 网络训练

以比例为4:1把数据集分为训练集与测试集。图3显示了以训练集对网络开展训练的过程。通过反向传播算法对LSTM网络进行训练。先通过前向计算得到各神经元输出,之后利用误差反向传播的方式实现神经元参数的更新。将达到平衡状态的振动与声音频域参数输入LSTM网络中,之后输出不同的刀具状态。设定以下网络参数:对网络权重参数实施初始化;采用Adam优化器对模型参数实施更新;设定学习速率为0.02;设定Dropout概率为0.4。

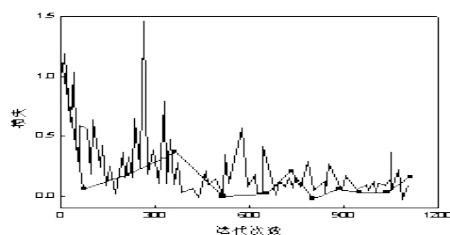


图3 网络训练过程

3.2 测试结果分析

为实现模型监测效果的验证分析,利用深孔镗床完成模型的测试。进行深孔钻削处理时,控制模型按照1 s间隔输出刀具状态。

共加工10 min,模型输出600次。考虑到加工期间是以随机方式形成刀具断刀与磨钝的现象,因此在初始工件加工期间,按照突然增大切削转速的方式,人为设置4次断刀。

3.3 算法优化对比分析

为判断采用LSTM网络方法能够满足深孔加工钻削刀具振动状态监测要求,实验设置正常和断刀开展测试,之后跟BP神经网络与模糊PID进行比较,信号长度为10 s。图4给出了不同方法下深孔加工钻削刀具振动状态监测结果。

根据图4发现,以相同负荷状态振动信号处理时达到了相近的评价指标。各降噪方法表现出了较大差异,其中,以LSTM网络处理时获得了最大SNR;以BP神经网络获得了最小SNR;以模糊PID获得了与其他两种方法相近的SNR。以上测试结果显示,以模糊PID方式与BP网络处理时会造成有效信息丢失;采用LSTM网络处理可以实现降噪功能,能够有效保留信号本身的有用信息。

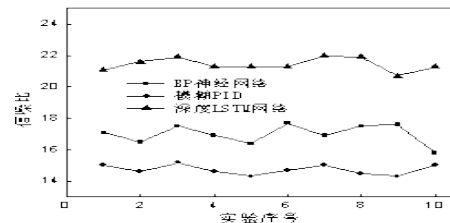


图4 不同方法下深孔加工钻削刀具振动状态监测结果

4 结语

本文开展基于循环神经网络的深孔钻削刀具断刀状态振动监测分析,取得如下有益结果:深孔镗床测试结果达到了99.6%的准确率,获得了理想监测效果。相比较模糊PID与BP神经网络,采用LSTM网络进行处理时除了可以实现降噪功能以外还能够有效保留信号本身的有用信息。

参考文献

- [1] 李宏坤,郝佰田,代月帮,等.基于压缩感知和加噪堆栈稀疏自编码器的铣刀磨损程度识别方法研究[J].机械工程学报,2019,55(14):1-10.
- [2] 王国锋,董毅,杨凯,等.基于深度学习与粒子滤波的刀具寿命预测[J].天津大学学报(自然科学与工程技术版),2019,52(11):1109-1116.
- [3] 安华,王国锋,王喆,等.基于深度学习理论的刀具状态监测及剩余寿命预测方法[J].电子测量与仪器学报,2019,33(9):64-70.
- [4] 胡城豪,胡昌华,司小胜,等.基于MSCNN-LSTM的滚动轴承剩余寿命预测方法[J].中国测试,2020,46(09):103-110.