

基于 ThinkPHP 的医疗器械振动故障检测方法研究

申路¹, 孙俊峰²

(1. 广州医科大学附属第五医院, 广东 广州 510700; 2. 广州市正骨医院, 广东 广州 510049)

摘要:针对现有医疗器械振动故障检测难度大, 导致局部阈值检测结果数值较小的问题, 提出基于 ThinkPHP 的医疗器械振动故障检测方法。采集医疗器械振动故障数据, 对其进行预处理, 消除噪声数据; 利用 ThinkPHP 框架整合预处理后的医疗器械振动故障数据, 生成故障项目目录; 根据生成的目录, 分析故障特征, 构建故障检测模型, 完成医疗器械振动故障检测。实验结果表明: 该方法具有较高的精度, 能有效控制局部阈值检测结果与理想阈值结果之间的数值差, 符合精准检测医疗器械振动故障行为的实际应用需求。

关键词: ThinkPHP 框架; 医疗器械; 振动故障; 项目目录; 故障特征

中图分类号: TP311 **文献标志码:** B **文章编号:** 1671-5276(2022)05-0235-04

Research on Vibration Failure Detection Method of Medical Devices Based on ThinkPHP

SHEN Lu¹, SUN Junfeng²

(1. The Fifth Affiliated Hospital of Guangzhou Medical University, Guangzhou 510700, China;

2. Guangzhou Bone Hospital, Guangzhou 510049, China)

Abstract: To improve small value of local threshold detection result due to difficulty in vibration fault detecting by existing medical devices, a vibration fault detection method of medical devices based on ThinkPHP is proposed. The vibration fault data of medical devices are collected and preprocessed to eliminate the noise data. The preprocessed vibration fault data of medical devices are integrated by using ThinkPHP framework to generate the fault item directory, according to which, the fault characteristics are analyzed, the fault detection model is constructed, and the vibration fault detection of medical devices is completed. The experimental results show that the proposed method, with high accuracy, can effectively control the numerical difference between the local threshold detection results and the ideal threshold results, which meets the practical application requirements of accurately detecting the vibration fault behavior of medical devices.

Keywords: ThinkPHP framework; medical equipment; vibration failure; project catalog; failure characteristics

0 引言

医生在对患者病情进行诊断时, 主要以医疗器械对患者的检测结果作为判断依据。近年来, 医疗器械故障问题的频繁出现, 更是导致医疗事故出现的概率大大增加。医疗设备大多属于精密诊疗仪器, 所以导致器械设备发生故障的原因也就相对多样, 单纯依靠人工检测的方式, 并不能准确从故障特征中选取最为有利的诊断信息, 过往应用经验主要利用计算机技术对相关故障数据进行筛选, 并融合已知的知识体系, 建立一个完整的检测模型。为此, 相关学者进行了研究。刘媛等^[1]采用振动加速度传感器作为传感器件, 研制了 GIS 振动信号检测装置, 并辅以回路电阻测试仪量化触头的接触状态, 采用自主研发的振动信号检测装置对不同接触程度的 GIS 进行振动检测。马杰等^[2]以物联网为基础搭建系统框架, 实时采集运行故障数据封装成数据包, 利用 Silverlight WCF 技术来解决管理终端与服务器之间的实时数据交互, 以插件的形式将各设备的检测模块注册并加载至系统中, 利用模糊聚类算法检测

故障。上述两种方法在现阶段取得了一些研究成果, 但对于局部阈值而言, 其所得检测实值与理想数值之间的物理差值水平相对较大, 易导致检测精度值的不断下降。

对互联网应用环境而言, ThinkPHP 框架支持 Linux、Unix、Windows 等多种操作服务器, 可在 Sqlite、PgSQL、MySQL 等多种数据库结构的支持下, 对外接 PDO 服务进行拓展处理。ThinkPHP 框架是以 Apache2 开源协议为基础建立的数据信息传输发布结构, 在应用过程中, 同时注重代码的间接性与执行性能的优异性。从宏观性角度来看, ThinkPHP 框架对所涉及模块的连接形式并没有特别要求, 但为了保证整体应用模式的统一, 还需注重模块与模块之间的实时连接方式^[3-4]。一般来说, 一个完整的 ThinkPHP 框架必须同时配置模板引擎、角色认证、表单处理等多种组件机制, 而且对跨平台的传输服务而言, 任何指令操作都必须与数据库协议移植行为一起出现。

ThinkPHP 是一个快速、兼容而且简单的轻量级国产 PHP 开发框架, 是为了简化企业级应用和敏捷 Web 应用而开发的。因此, 本研究针对基于 ThinkPHP 的医疗器械振动故障检测方法展开研究。该方法能够更加方便、快速

地对医疗器械振动故障进行检测,解决了传统方法的不足,证明了本文方法的有效性。

1 医疗器械的振动故障检测

1.1 故障数据采集

对医疗设备振动故障数据进行采集,在此基础上,对相关混合故障模式下的特征重要度进行排序,选取重要特征构建故障数据并进行数据采集^[5-6]。在此基础上,完成了 ThinkPHP 框架下的振动相关故障信息采集,其步骤是:

根据采集的相关问题,综合考虑训练数据集 $\mathbf{X} = \{(X'_1, Y'_1), \dots, (X'_l, Y'_l)\}$, 设 Y'_i 为故障数据采集的特征信息, X'_i 为正常数据采集的特征信息, 且 $X'_i = (1, 2, \dots, l)$, 其中 l 表示训练数据样本总量。设 x_i 表示所有数据采集的特征信息; 如果将 \mathbf{X} 中的正常数据样本集合记为 \mathbf{X}'_1 , 故障数据样本集合记为 \mathbf{Y}'_1 , 正常数据样本数记为 l_1 , 故障数据样本数记为 l_2 。在上述物理量的支持下, 可对故障数据进行采集, 其计算公式为

$$F = \sum_{i=1}^l \mathbf{X}(x_i, X'_i) + (x_i + Y'_i) \quad (1)$$

通过对故障数据的采集可以进一步提高系统的运行效率。

1.2 故障数据处理

故障数据采集过程中存在噪声干扰,因此需要对故障数据进行降噪处理。医疗器械振动故障信号包含电动机信号、电板信号、齿轮信号等多种形式,在 ThinkPHP 框架中,由于已获取的检测信号中包含大量的数据信息参量,致使检测指令所涉及的涵盖范围较大,这也是导致检测结果精确度水平相对较低的主要原因^[7-8]。为解决上述问题,应在已知相关故障特征定义条件的基础上,对医疗器械振动故障数据进行初步处理。具体操作流程如图 1 所示。

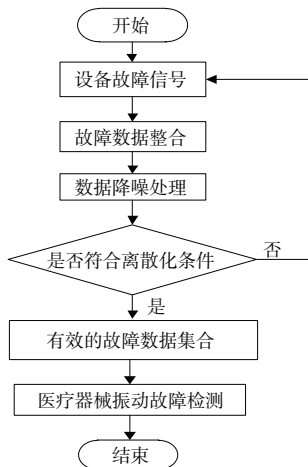


图 1 故障数据处理流程图

设 c, m 表示两个不同的故障信号涵盖系数; μ 表示医疗器械振动故障数据的离散特征值; η 表示基于 ThinkPHP 框架检测率系数; R 表示医疗器械振动故障数据的特征函数; v_c, v_m 表示两个不同的医疗器械振动故障

数据取值结果。在上述物理量的支持下,可对采集的故障数据进行降噪处理,其计算公式为

$$K = \sum_{c=1}^m \left(-\mu \frac{\eta \times R}{v_c^2 - v_m^2} \right) \quad (2)$$

至此,实现对相关故障指标参量的计算与处理,并在 ThinkPHP 框架的支持下,完成医疗器械振动故障检测方法的设计与应用^[9]。

1.3 故障项目目录生成

对预处理后的医疗器械振动故障数据进行整合,并将整合后的故障数据生成项目目录。用 ThinkPHP 框架对医疗器械振动故障进行检测,了解相关数据信息后,就可以编写全新的故障项目文件,并在此基础上快速自动生成故障项目目录^[10]。其具体操作步骤如下。

- 1) 在 ThinkPHP 框架的根目录文件之下,建立一个核心项目文件夹,一般直接命名为“Mark 项目”。
- 2) 将 ThinkPHP 框架的核心类库移植到步骤 1) 所建立的根目录文件之下。
- 3) 在“Mark”项目文件夹之下,建立一个“index.php”文本文件,并将其作为医疗器械振动故障数据的传输入口。
- 4) 再次编写项目目录入口处的传输文件。

设 i, e 表示两个不同的故障数据项目名称定义项; y_i 表示执行 i 项目时的目录系数; y_e 表示执行 e 项目时的目录系数; P 表示数据信息查询条件,联立上述物理量,可将 ThinkPHP 框架中的项目目录生成标准定义为

$$Q = \frac{\sum_i |y_i|^2 + |y_e|^2}{\prod_i P^{e-i}} \quad (3)$$

在 ThinkPHP 框架中,只有在建立完整的故障项目目录后,相关目录结构体才能对医疗器械振动故障数据进行实时检测。

1.4 相关故障特征分析

根据生成的故障目录,分析相关故障特征。医疗器械振动故障检测需要结合多种指标来进行确诊,在 ThinkPHP 框架支持下,相关故障特征包含峰值指标、峭度指标、偏态指标、裕度指标等多种类型,其具体定义条件如下。

1) 峰值指标

峰值是指在一定时间段内医疗器械故障振幅的最大表现值,对瞬时故障行为而言,仅依靠峰值指标也能得出较为精准的检测结果,但在多类型振动故障同时存在的情况下,由峰值指标推断得出的检测结果则显得过于单一,并不能真实反映出医疗器械的真实运转情况^[11]。

2) 峭度指标

在医疗器械出现疲劳型振动故障问题时,整个元件设备都对冲击信号保持较强的敏感性,此时,与检测指令相关的冲击成分所包含的能力越大,医疗器械的峭度值就越高。

3) 偏态指标

偏态指标描述了存在明显振动故障行为的情况下,医疗器械对检测信号的敏感程度。一般来说,信号的波动行

为越明显,与之相关的偏态值就越大。

4) 裕度指标

裕度指标只用于检测由振动故障行为引发的医疗器械磨损情况。

5) 功率谱质心指标

功率谱质心指标描述了医疗器械质心位置在振动故障过程中的物理变化量。当存在故障行为时,医疗器械设备振动幅值会进入一个相对快速的变化阶段,这在一定程度上会导致功率谱质心所处位置的直接改变^[12-13]。

6) 频率方差

当方差数值相对较小时,说明医疗器械的运行状态相对较为稳定,振动行为的单位波动量也相对较小;反之则表示存在较为明显的振动故障问题。

7) 谐波因素

谐波因素是检测医疗器械不平衡故障问题的主要振动特征。

8) 其他因素

其他因素包含医疗器械使用时长、负荷运转情况等多项组成条件。

1.5 构建故障检测模型

在分析相关故障特征的基础上,构建故障检测模型,对医疗器械振动故障进行检测。

基于 ThinkPHP 检测算法可同时针对多种医疗器械振动故障行为进行研究。由于在实施检测的过程中需要综合多个指标参量来做出准确的判断结果,所以整个处理过程中势必涉及大量的故障数据与非故障数据^[14]。如果所需故障数据与非故障数据同时存在大量的冗余行为,则会对检测结果造成很大影响,不但会增加建立检测模型的时间,也会在一定程度上降低模型结构的检测准确度水平^[15]。因此,利用 ThinkPHP 框架对所涉及医疗器械振动故障数据进行筛选,并从中选择最为适宜的检测算法,是实现检测模型顺利应用的关键条件之一。

检测算法的选择应以分离医疗器械振动故障数据的特征集合为主要目标,在妥善处理子集间附属关系的同时,对相关数据信息参量进行有效评估,从而获得更为精准的故障行为检测结果。设 ξ_{\max} 表示医疗器械振动故障数据的筛选行为最大值; ξ_{\min} 表示医疗器械振动故障数据的筛选行为最小值; \bar{T} 表示故障行为的单位检测时长; ΔA 表示单位时间内的医疗器械振动故障数据传输量; f 表示故障行为检测系数。根据检测算法的作用能力构建故障检测模型:

$$R_1 = \frac{Q \cdot (\xi_{\max} - \xi_{\min})^2}{f \times \Delta A / \bar{T}} \quad (4)$$

2 实例分析

为验证上述基于 ThinkPHP 的医疗器械振动故障检测方法的有效性,本文以振动叩击排痰机为例,设计了如下实验。

振动叩击排痰机是电机驱动传动软轴通过动力头内的偏心装置产生振动,叩击患者局部胸腔,协助排出呼吸

道分泌物的设备。振动叩击排痰机主要由主机、叩击头、传动软轴、控制面板和脚轮等 5 部分组成。根据其应用范围可将其分为儿童型、成人型、儿童成人混合型等。根据其指导原则审查的要求,成人型振动频率范围为 10~60 Hz/s;儿童型振动频率范围为 10~30 Hz/s。本文通过振动叩击排痰机与上位机相连进行数据传输,获取实验数据。

在检测医疗器械振动故障行为的过程中,局部阈值能够反映所采用方法的检测精度水平。一般来说,理想数值与实际检测数值之间的差值结果越小,表示所采用方法的检测精度水平越高,反之则越低。

本次实验分别针对检测医疗器械振动故障行为的峭度指标 l_1 、裕度指标 l_2 进行检测,再将所得的局部阈值结果与理想阈值结果进行对比。具体的指标局部阈值计算表达式如下:

$$\begin{cases} D_{l_1} = \frac{(K \cdot l_1) \times \sqrt{u_1^2 + u_2^2}}{\omega \cdot \Delta B} \\ D_{l_2} = \frac{(K \cdot l_2) \times \sqrt{u_1^2 + u_2^2}}{\omega \cdot \Delta B} \end{cases} \quad (5)$$

式中: D_{l_1} 、 D_{l_2} 分别表示与 l_1 、 l_2 对应的局部阈值计算结果; u_1 、 u_2 表示两个不同的振动故障行为指标表现的特征值; ω 表示指标参量的局部权限; ΔB 表示故障行为指标的局部差动量。

表 1 记录了与峭度指标、裕度指标相关的局部阈值理想计算结果。

表 1 局部阈值理想计算结果

检测时间/min	峭度指标	裕度指标
5	2.34	2.37
10	2.26	2.69
15	2.11	2.84
20	1.87	1.89
25	2.18	2.12
30	2.62	2.36
35	2.68	2.59
40	2.66	2.95
45	2.73	3.11
50	2.94	2.95

分析表 1 可知,局部阈值理想计算结果在 3 种不同的指标取值条件下,均呈现连续波动的数值变化状态,且其在单位时间内的变化形式并无明显规律。

图 2-图 3 反映了振动叩击排痰机振动故障行为在不同指标取值条件下的局部阈值检测的结果及其与理想阈值结果之间的对比情况。

分析图 2-图 3 可知,随着实验时间的延长,应用基于 ThinkPHP 检测方法后的峭度指标局部阈值、裕度指标局部阈值也始终保持连续波动的变化状态,但其整体均值水平相对较低,在整个实验过程中,其数值曲线全部位于理想局部阈值曲线下端。应用普通检测方法后的峭度指标局部阈值、裕度指标局部阈值虽然也能够维持连续波动的数值变化形式,但其整体均值水平相对较高,整个实验过

程中的局部阈值曲线始终位于理想曲线上端,更是远高于基于 ThinkPHP 检测方法的局部阈值计算结果。

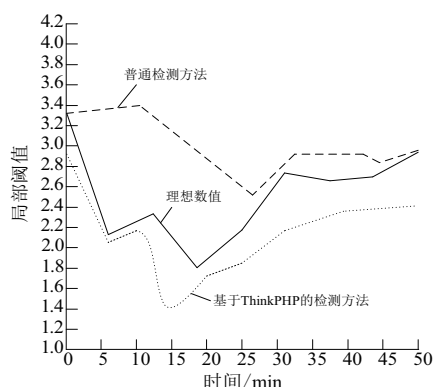


图2 峭度指标的局部阈值对比

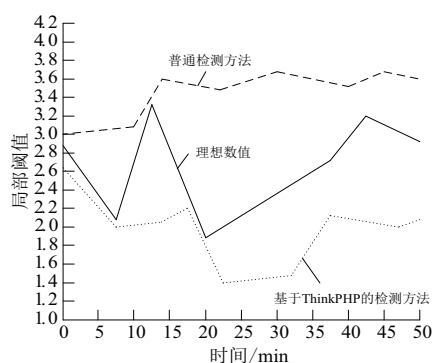


图3 裕度指标的局部阈值对比

综上所述,在基于 ThinkPHP 检测方法的支持下,以峭度指标、裕度指标为例,振动叩击排痰机振动故障的局部阈值检测结果确实出现了明显缩小的数值变化趋势,这在增强医疗器械设备故障检测精度方面,能够起到一定程度的促进性作用。

为进一步验证本文方法在振动叩击排痰机上应用的有效性,对不同方法的故障精度进行了测试,以文献[1]基于振动原理的 GIS 隔离开关触头接触状态检测方法、文献[2]基于物联网的骨科医疗器械运行故障快速检测方法作为对比方法,进行对比实验。对比结果如图 4 所示。

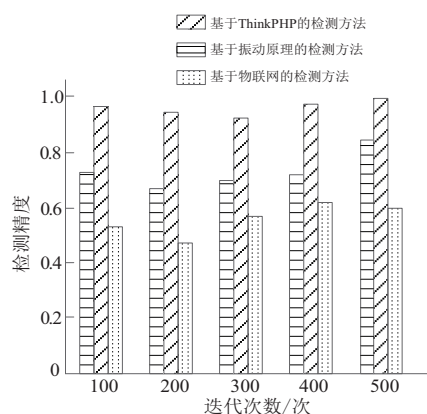


图4 故障精度对比测试

分析图 4 可知,随着迭代次数的不断增加,应用基于

ThinkPHP 检测方法的故障检测精度高,均在 90%以上,而采用文献[1]基于振动原理的检测方法和文献[2]基于物联网的检测方法的检测精度均不超过 80%。由此表明本文方法的故障检测精度高,具有实用价值。

3 结语

本文提出了基于 ThinkPHP 框架的医疗器械振动故障检测方法,在对 MVC 开发模式展开深入研究后,又借助项目目录结构,选择最为适宜的检测算法。由于故障特征定义条件的不同,检测指令执行所遵循的故障数据处理方式也会有所不同,这也是该方法能够较好适应各种不同医疗器械振动故障行为检测需求的主要原因。实验结果显示,随着基于 ThinkPHP 检测方法的应用,峭度指标、裕度指标取值条件下的局部阈值计算结果与理想阈值计算结果之间的数值差水平得到了有效控制,具有较高的故障检测精度。从宏观角度来看,该方法较为符合精准检测医疗器械振动故障行为的实际应用需求。

参考文献:

- [1] 刘媛,杨景刚,贾勇勇,等. 基于振动原理的 GIS 隔离开关触头接触状态检测技术[J]. 高电压技术,2019,45(5):1591-1599.
- [2] 马杰,单文卫. 基于物联网的骨科医疗器械运行故障快速检测方法[J]. 现代科学仪器,2019(4):50-53,66.
- [3] 方波,钟舜聪,林杰文,等. 结构模态分析的二维频域光学相干振动层析方法[J]. 振动工程学报,2020,33(2):356-363.
- [4] 梁博渊,高骏,刘宏亮,等. 基于振动特征估计的气体绝缘开关设备故障检测与定位[J]. 科学技术与工程,2020,20(31):12836-12842.
- [5] 王俊波,武利会,罗容波,等. 基于小波变换—振动起始时刻分析的高压断路器故障诊断方法[J]. 高压电器,2020,56(6):211-217.
- [6] 王利明,邵毅敏. 齿轮箱齿轮故障振动信号变尺度解调与振动特征提取算法研究[J]. 机械工程学报,2020,56(7):95.
- [7] 陈果,贺志远,尉询楷,等. 基于整机的中介轴承外圈剥落故障振动分析[J]. 航空动力学报,2020,35(3):658-672.
- [8] 白云山,蔡灿,石永锋,等. 某 F 级燃气轮机发电机组振动故障诊断及处理[J]. 汽轮机技术,2019,61(3):230-232.
- [9] 马辉,李鸿飞,俞昆,等. 含局部故障的滚动轴承动力学建模及振动分析[J]. 东北大学学报(自然科学版),2020,41(3):343-348.
- [10] 杨赛昭,向往,文劲宇. 基于限流电抗器电压差异性的架空柔直电网故障检测方法[J]. 中国电机工程学报,2020,40(4):1196-1211,1411.
- [11] 隆勇,郭瑜. 基于加窗振动分离和变分模态分解的行星轮故障特征提取[J]. 电子测量与仪器学报,2019,33(2):18-24.
- [12] 张俊,钟敏,张建群,等. 集成 TEO 解调和随机共振的行星齿轮箱早期故障诊断方法[J]. 振动工程学报,2019,32(6):1084-1093.
- [13] 刘东,王昕,黄建炎,等. 基于贝叶斯网络的水电机组振动故障诊断研究[J]. 水力发电学报,2019,38(2):112-120.
- [14] 陈勇,梁洪,王成栋,等. 基于改进小波包变换和信号融合的永磁同步电机匝间短路故障检测[J]. 电工技术学报,2020,35(增刊1):228-234.
- [15] 武立平,马维青,程胤璋,等. 基于振动信号指标能量的变压器机械故障检测[J]. 电测与仪表,2020,57(6):126-131,139.

收稿日期:2021-11-23