

文章编号:1673-9590(2024)01-0101-05

基于混合故障字典的高速公路机电设备故障定位方法研究

张弛

(北京公科飞达交通工程发展有限公司,北京 100088)

摘要:针对传统的高速公路机电设备故障定位方法存在故障诊断时间较长,虚警率、误检率和漏检率难以达到用户要求的问题,提出基于混合故障字典的高速公路机电设备故障定位方法。通过多维度传感器无线射频识别技术建立高速公路机电设备器件故障射频波束信息模型,获取高速公路机电设备故障数据。建立两部字典,利用第一部故障字典估算高速公路机电设备故障信息数据与各种故障模式类型之间的中心距离,按照距离远近判断要估计的决策函数类型,根据预定的设计算法,运用第二部故障字典的决策机制精确定位高速公路机电设备故障。试验结果表明,基于混合故障字典的高速公路机电设备故障定位方法能够确保虚警率为0,误检率和漏检率低于1%,比传统检测时间缩短了50%以上。

关键词:混合故障字典;高速公路;机电设备;设备故障;故障诊断

文献标识码:A **DOI:**10.13291/j.cnki.djdxac.2024.01.017

机电设备是高速公路施工过程中的主要构件,担负着监控、供水、通信等方面功能,是交通运输行业领域中的基础设备。随着我国经济和社会的持续发展,高速公路的施工规模日益扩大,机电设备的应用量也逐渐增加,机电设备的广泛应用在一定程度上促进了我国高速公路建设的发展,但在运用过程中也难免发生故障。因此,必须加强对机电设备故障的检测工作,并在此基础上提供针对性的诊断措施。

针对机电设备故障诊断相关问题,部分学者对此进行了研究。徐振林等^[1]采用小波变换的高速机械系统短路故障探测技术,研究机械控制系统的短路故障类型,并通过小波变换获得有关短路故障的信息,对所收集到的信息进行归一化处理,从而实现了高速机械控制系统的短路故障探测,但此方式对机电设备的检测精确度较低,容易发生误检情况。王振祥等^[2]采用无线射频传输的高速公路机电装备的故障智能识别技术,利用多维传感器无线射频技术实现高速公路机电器件的行驶状况信息收集,根据所搜集的高速公路机电器件的状态特性信息进行信号建模,拟合高速公路机电器件运行故障信息,完成对高速公路

机电器件运行故障信息的智能分析与鉴别,但此方法抗干扰能力较差,容易发生检测失败的情况。

故障字典通常借助于神经网络构建,可以对一些非线性函数进行推理,并得到推理样本。本文借鉴传统方法,提出基于混合故障字典的高速公路机电设备故障定位方法。

1 故障数据采集

本文采用多维度传感器无线射频识别技术建立高速公路机电设备器件故障射频波束信息模型,对高速公路机电设备故障信息进行收集,并录入数据库中。通过对信息特征的提取与分析建立高速公路机电设备故障识别模型,通过模型对高速公路机电设备进行故障信息的识别,实现对故障信息的检测,获得高速公路机电设备的故障数据样本。其检测到的高速公路机电设备器件故障高分辨率信息特征量为:

$$x(t) = \sum_{k=0} a(t) \cos[2\pi k f_m t + b_k(t) + \theta_k] \quad (1)$$

式中: a 为高速公路机电设备发生故障时产生的故障数据频率; θ_k 为高速公路机电设备故障频率

收稿日期:2022-09-16

作者简介:张弛(1983—),男,高级工程师。E-mail:zxcitt12345@yeah.net

的相位角; t 为高速公路机电系统的振荡信号; f_m 为机电设备故障点信号; k 为故障系数; b_k 为在高速公路机电系统的工作环境中, 会出现故障的脉冲效应的传输频率^[3-4]。

通过传感信息集成技术, 实现高速公路机电设备的故障测量, 故障信息的传输模式为:

$$b_k(t) = (1 + a \cos 2\pi f_m t) \quad (2)$$

设 N 为高速公路机电设备的故障特征点的分布数量, 采用数据融合技术对高速公路机电设备故障特征进行分割, 得到故障信号的统计学特性:

$$x(f) = \frac{A}{2} [H(f, N)] \quad (3)$$

式中: $x(f)$ 为所得到的统计学特性。故障模型中的调幅信息主要由 2 种方向的传播信息构成, 一种是高速公路机电设备本身具有的故障信息, 另一种是由高速公路机电设备发生故障时传播的故障信息。通过上述模拟构架, 对高速公路的机电设备故障信息进行建模, 为下文开展基于混合故障字典的高速公路机电设备故障定位提供数据输入基础^[5-6]。

2 故障定位

每一个高速公路机电设备故障信息数据, 其归属值只与其中的一个或几个决策函数相关, 对其余决策函数来说, 则不需要参与运算。最常见的故障字典决策方式有部分冗余运算^[7-8]。从决定阶段出发, 只要运算全部的决策函数, 决策函数符号就能够减少冗余运算, 但运算存在很大的复杂性, 为了迅速定位要估计的决策函数, 本文采取了两部故障字典进行定位^[9-10]。

2.1 构建第一部故障字典

第一部故障字典是由所有故障模式类型的数据样本中心构成。假定要区分为 N 类故障模式, 且每个故障模式的训练样本个数是 c 个, 则此处每个故障模式的训练数据样本中心为:

$$C_j = \frac{1}{c} \sum_{i=1}^c x_{ij} \quad (4)$$

式中: C_j 为第 j 类故障模式的样本中心; x_{ij} 为第 j 级故障模型中的第 i 个训练样本。使用第一部故障字典对高速公路机电设备进行故障定位, 首先求出高速公路机电设备故障信息数据与故障模式类型之间的中心距离, 然后根据中心距离的值来选择决策函数, 利用故障字典的决策机制对高速公路机电设备故障信息数据进行定位^[11]。通过

第一部故障字典得到的故障定位通常含有模糊性, 因此需要构建第二部故障字典, 对得到的模糊定位进行精确^[12]。

2.2 构建第二部故障字典

第二部故障字典的构造主要是通过多类别分类策略完成, 内部包括多个二元结构分类策略器, 每种分类策略器都包括支持向量和相应的标签类型、拉氏系数、偏差值等^[13-14]。多类别分类策略应用图像分析识别技术, 形成本文第二部故障字典, 设含有 n 个高速公路机电设备故障模型代码, 记为 $L_0, L_1, L_2, \dots, L_n$ 各个故障模型的样本为 v , 在特殊类模型与剩余模型中间的分类策略器中配置特殊类模型的全部训练样本与剩余模型的高速公路机电设备故障数据信息样本, 在分类策略器练习完成后, 得到最佳决策函数的顺序为 $D_i (i = 0, 1, 2, \dots, n-1)$, 在对全部高速公路机电设备故障信息数据样本作出决定时, 则必须运算出全部的决策函数 $D_i(x)$, 表示为:

$$D_i(x) = \sum_{i=1}^n y_{ik} \lambda_{ik} K(x, x_{ik}) \quad (5)$$

式中: y_{ik} 为第 i 个最优决策函数的支撑矢量的分配标记; λ_{ik} 为第 i 个支撑矢量的拉格朗日乘子; k 为故障字典定理的核参数; x 为第一个决策函数; x_{ik} 为得到结果的决策函数。

完成第二部故障字典的构建后, 根据第一部故障字典的统计结果, 结合精度分析即可对高速公路机电设备故障进行精确定位^[15]。

3 试验研究

为了验证本文提出的基于混合故障字典的高速公路机电设备故障定位方法的实际应用效果, 选取水泥混凝土路面摊铺机的滤波器为试验对象, 在主频为 3.60 GHz, 内存为 8GB 的 PC 机上, 使用 Python 软件开发环境和 Open CV 开发工具下进行仿真试验测试。

试验过程的激励信号为 2 kHz, 产生的正弦波信号为 5 V, 设定 10 种不同情况的路面摊铺机滤波器故障, 同时选择 5 个被测点检测故障概率。滤波器结构见图 1。

由图 1 可知, 高速公路机电设备滤波器内部设置了多个运算放大器, 通过分析运算放大器状态, 能够更好地检测故障。图 1 中的 5 个被测点检测故障概率见表 1。

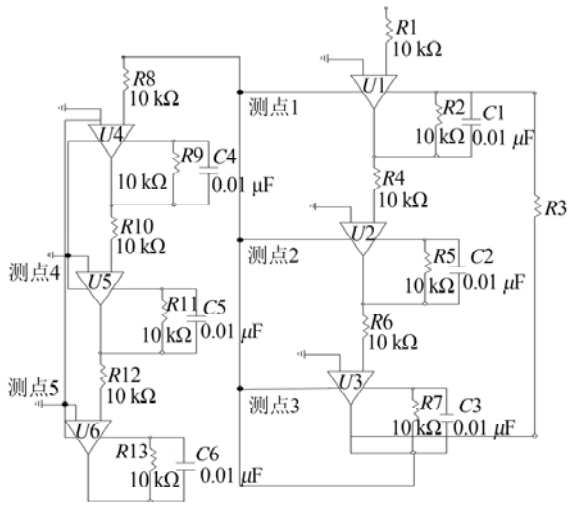


图 1 被测滤波器结构
表 1 多值测点故障概率

故障源	测点					故障概率
	1	2	3	4	5	
无故障	4	1	2	1	0	0.600
R1 短路	3	2	1	7	0	0.002
R2 断路	1	5	4	0	2	0.001
R3 短路	1	0	3	2	4	0.003
C1 短路	1	1	2	0	5	0.005
R9 开路	5	5	0	0	4	0.001
R10 短路	1	2	0	2	3	0.002
R11 断路	1	5	2	5	0	0.004
R8 开路	5	4	2	4	0	0.006
C3 开路	4	5	5	4	2	0.027

根据故障字典检测方法建立 3 个测点,统计测点结果,将测点 1、测点 2 和测点 3 统计到一起,形成故障字典。不同测点形成的故障字典,故障概率检测结果见表 2。

表 2 最优测点故障概率

故障源	测点			故障概率
	1	2	3	
无故障	4	1	2	0.600
R1 短路	3	2	1	0.002
R2 断路	1	5	4	0.001
R3 短路	1	0	3	0.003
C1 短路	1	1	2	0.005
R9 开路	5	5	0	0.001
R10 短路	1	2	0	0.002
R11 断路	1	5	2	0.004
R8 开路	5	4	2	0.006
C3 开路	4	5	5	0.027

由表 2 可知,利用混合故障字典得到的检测方法能够很好地检测出内部全部故障,检测结果与表 1 结果一致,证明该检测方法得到的结果为有效结果。本文提出的混合故障字典检测方法通过检测 3 个测点就能够准确地判断故障概率,与未引入故障字典之前通过 5 个测点才能判断故障概率的传统检测手段相比,检测过程更加简单。由此可以证明,故障字典在保证检测效果一致的情况下,能够更加简单地判断故障概率,降低检测成本,缩短检测时间。

为进一步对检测复杂度进行分析,本文通过启发函数对混合故障字典进行测序检验,将 10 种检测故障设定为 $f = [f_1, f_2, f_3, f_4, f_5, f_6, f_7, f_8, f_9, f_{10}]$,得到的序列测试试验结果见图 2。

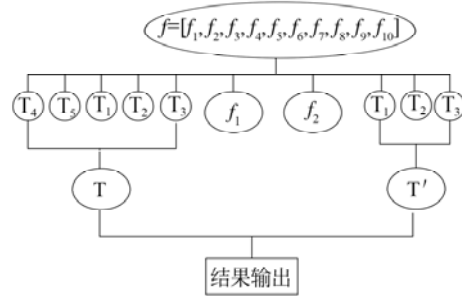


图 2 序列测试试验结果

图 2 中, $T_1 \sim T_5$ 为针对混合故障字典进行的序列测试, T, T' 为故障检测序列结果。诊断耗费时间、诊断成本试验结果见表 3。

表 3 诊断耗费时间试验结果

试验次数/次	诊断耗费时间/min		诊断成本/元	
	未引入本文方法	引入本文方法后	未引入本文方法	引入本文方法后
1	10.25	2.48	1 025.25	523.63
2	10.04	2.01	1 050.44	542.17
3	10.47	2.04	1 036.36	544.01
4	10.96	2.44	1 088.21	520.20
5	10.27	2.33	1 042.17	521.04
6	10.66	2.41	1 039.34	523.67
7	10.07	2.05	1 058.96	520.41
8	10.25	2.09	1 044.17	546.96
9	10.44	2.07	1 054.27	547.11
10	10.07	2.05	1 055.96	574.02

由表 3 可以发现,引入混合故障字典后,测序复杂度更低,测序时间明显缩小,为 2~2.5 min。

诊断成本较未引入之前低于 50%。本文提出的故障诊断方法通过故障字典进行检测,通过选择测点来确保能够在最短时间得到测试集,减少测试成本,降低复杂度。同时选用传统的基于小波变换的高速公路机电系统短路故障检测方法、基于无线射频的高速公路机电设备运行故障智能识别方法和本文提出的基于混合故障字典的高速公路机电设备故障定位方法进行试验对比,选用的试验对象机电设备电路为非线性电路,内部包含 2 个整流二极管,被检测设备线路见图 3。

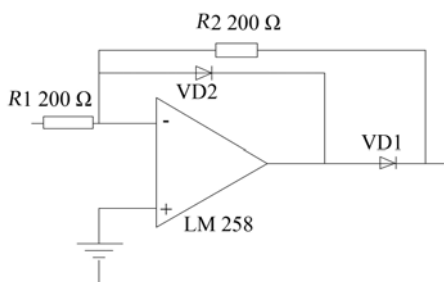


图3 被检测设备线路

比较 3 种诊断方法的检测时间、虚警率、误检率和漏检率,得到的试验结果见图 4~图 7。

从图 4 可以发现 3 种诊断方法在对同一电路进行检测时,检测性能不同。传统的基于无线射频的高速公路机电设备运行故障智能识别方法在检测过程中由于需要使用决策函数,因此检测的时间较长,小波变换检测方法对小波计算结果的准确性十分依赖,而本文提出的混合故障字典检

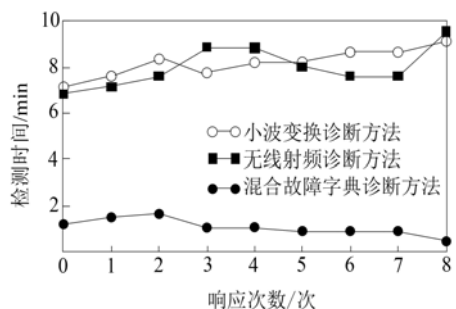


图4 检测时间试验结果

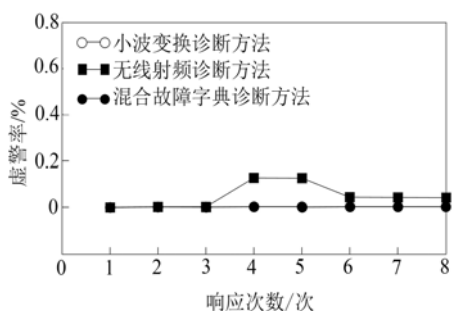


图5 虚警率试验结果

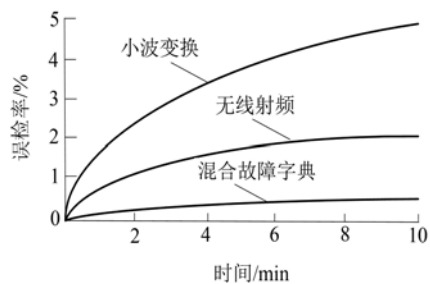


图6 误检率试验结果

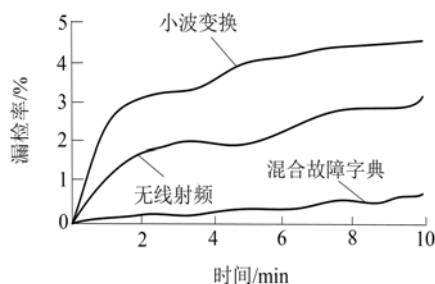


图7 漏检率试验结果

测方法在检测过程中使用了冗余计算,能够很好地缩小检测时间,与传统方法相比,检测时间缩短了 50%以上。

从图 5 可以看出,在虚警率方面,本文提出的诊断方法和传统的基于小波变换的高速公路机电系统短路故障检测方法虚警率都为 0,证明这两种诊断方法的报警能力较强,而传统的基于无线射频的高速公路机电设备运行故障智能识别方法虚警率虽然基本为 0,但是仍会出现误报情况。

由于高速公路机电设备电路的复杂性,因此本文提出的诊断方法和传统诊断方法都存在漏检和误检,但是本文提出的混合故障字典检测方法漏检率和误检率都低于传统的诊断方法,本文的诊断方法通过建立故障字典改善和提高各项指标,通过定位距离和信息分析提高诊断的准确率,确保诊断效果。

4 结论

本文提出了基于混合故障字典的高速公路机电设备故障定位方法,通过无线射频识别技术建立高速公路机电设备器件故障射频波束信息模型,完成对高速公路机电设备故障数据的采集,采用故障模式类的数据中心建立第一部故障字典,利用多类别分类策略建立第二部故障字典,并采用第二部故障字典的决策机制对高速公路机电设备故障进行定位,完成对高速公路机电设备故障

的精准诊断。通过试验结果可知,所提方法进行高速公路机电设备故障诊断的虚警率、误检率和漏检率均较低,检测准确率较高。

参考文献:

- [1]徐振林,谢晓琴. 基于小波变换的高速公路机电系统短路故障检测方法[J]. 湘潭大学学报(自然科学版), 2021, 43(1):79-86.
- [2]王振祥,邵宗翰. 基于无线射频的高速公路机电设备运行故障智能识别方法[J]. 自动化与仪器仪表, 2019(11):52-55.
- [3]刘晶,高立超,孙跃华,等. 基于知识和数据融合驱动的设备故障诊断方法[J]. 郑州大学学报(理学版), 2022, 54(2):39-46.
- [4]聊方伦,周平. 基于PCA的火电厂电气设备故障诊断方法[J]. 自动化技术与应用, 2022, 41(3):39-43.
- [5]闻新,龙弟之,王俊鸿,等. 基于1D-CNN的卫星姿态控制系统故障诊断方法[J]. 兵工自动化, 2020, 39(7):1-6.
- [6]周璐婕,董昱. 基于GA-BP神经网络的列控车载设备故障诊断方法研究[J]. 铁道科学与工程学报, 2021, 43(6):70-77.
- [7]邱泽阳,王雪,单克. 石化机械设备故障诊断方法综述[J]. 化工机械, 2021, 48(5):632-634.
- [8]王苗苗,赵祎,蔡伟东. 基于贝叶斯推断贡献的机械设备故障诊断方法[J]. 现代制造工程, 2021(11):136-141.
- [9]邓飞跃,强亚文. 基于稀疏编码和极限学习机的设备故障诊断方法及应用[J]. 石家庄铁道大学学报(自然科学版), 2020, 33(4):30-35.
- [10]朱建新,陈学东,吕宝林,等. 基于多维高斯贝叶斯的机械设备失效/故障智能诊断及参数影响分析[J]. 机械工程学报, 2020, 56(4):35-41.
- [11]李松平,龚学余,阳璞琼,等. 兆瓦级NBI加热系统弧流电源故障诊断方法探究[J]. 核聚变与等离子体物理, 2020, 40(2):174-181.
- [12]方学宠,娄益凡,吴安定,等. 基于SVMD与SLLE的机械设备齿轮箱故障诊断方法[J]. 机械与电子, 2022, 40(1):36-41.
- [13]梁文武,朱维钧,李辉,等. 基于粗糙集的智能变电站保护设备仿生故障诊断方法[J]. 电力系统保护与控制, 2021, 49(21):132-140.
- [14]邓媛媛,刘国奇,蔡磊. 基于设备运行数据的风机故障诊断方法[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2021, 37(5):942-948.
- [15]陈鹏,赵小强,朱奇先. 基于VMD-MPE-KPCA特征提取与MRVM相混合的滚动轴承故障诊断方法[J]. 兰州理工大学学报, 2020, 46(5):92-99.

Fault Location Method of Expressway Electromechanical Equipment Based on Hybrid Fault Dictionary

ZHANG Chi

(Beijing Gongke Feida Transportation Engineering Development Co., Ltd., Beijing 100088, China)

Abstract: Due to the fact that the traditional fault location method of expressway electromechanical equipment has a long fault diagnosis time, and the false alarm rate, false detection rate and missed detection rate are difficult to meet the requirements of users, a fault location method of expressway electromechanical equipment based on hybrid fault dictionary is proposed. Through the multi-dimensional sensor radio frequency identification technology, the radio frequency beam information model of expressway mechanical and electrical equipment device fault is established to obtain the expressway mechanical and electrical equipment fault data. Two dictionaries are established. The first fault dictionary is used to estimate the central distance between the expressway electromechanical equipment fault information data and various fault mode types. The decision function type to be estimated is judged according to the distance. Based on the predetermined design algorithm, the decision mechanism of the second fault dictionary is used to locate accurately the expressway electromechanical equipment fault. The experiment results show that the fault location method of the expressway electromechanical equipment based on the hybrid fault dictionary can ensure that the false alarm rate is 0, the false detection rate and missed detection rate are less than 1%, and the detection time is reduced by more than 50% compared with the traditional detection time.

Keywords: hybrid fault dictionary; highway; electromechanical equipment; equipment fault; fault diagnosis