(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 114166330 A
(43)申请公布日 2022.03.11

(21)申请号 202111457453.3

(22)申请日 2021.12.02

(71)申请人 武汉智慧地铁科技有限公司
地址 430070 湖北省武汉市东湖新技术开发区关东工业园烽火路车间3层01号

(72)发明人 王永皎 周益平 王刚 肖碧涛

(74)专利代理机构 湖北武汉永嘉专利代理有限公司 42102
代理人 许美红

(51)Int.Cl.
G01H 9/00(2006.01)

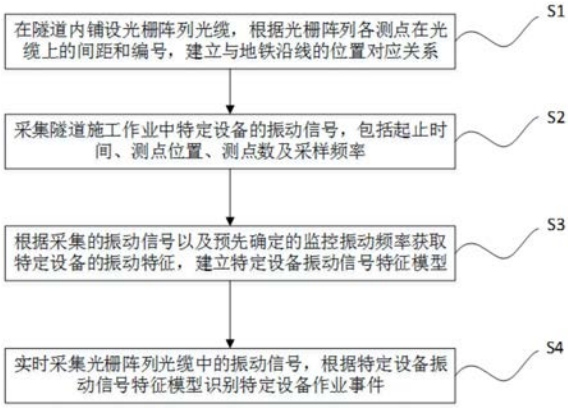
权利要求书3页 说明书9页 附图2页

(54)发明名称

基于光纤光栅阵列识别特定工程施工设备的方法及系统

(57)摘要

本发明公开了一种基于光纤光栅阵列识别特定工程施工设备的方法，包括以下步骤：S1、在隧道内铺设光栅阵列光缆，根据光栅阵列各测点在光缆上的间距和编号，建立与地铁沿线的位置对应关系；S2、采集隧道施工作业中特定设备的振动信号，包括起止时间、测点位置、测点数及采样频率；S3、根据采集的振动信号以及预先确定的监控振动频率获取特定设备的振动特征，建立特定设备振动信号特征模型；S4、实时采集光栅阵列光缆中的振动信号，根据特定设备振动信号特征模型识别特定设备作业事件。本发明能根据设备的作业频率特征，及时发现在地铁隧道控制线附近的设备施工作业，提高地铁隧道地面保护工作的针对性和及时性。



CN 114166330 A

1.一种基于光纤光栅阵列识别特定工程施工设备的方法,其特征在于,包括以下步骤:

S1、在隧道内铺设光栅阵列光缆,根据光栅阵列各测点在光缆上的间距和编号,建立与地铁沿线的位置对应关系;

S2、采集隧道施工作业中特定设备的振动信号,包括起止时间、测点位置、测点数及采样频率;

S3、根据采集的振动信号以及预先确定的监控振动频率获取特定设备的振动特征,建立特定设备振动信号特征模型;

S4、实时采集光栅阵列光缆中的振动信号,根据特定设备振动信号特征模型识别特定设备作业事件。

2.根据权利要求1所述的基于光纤光栅阵列识别特定工程施工设备的方法,其特征在于,步骤S3具体包括:

S31、建立特定设备的作业区域特征阵列集合

对采集的特定设备在施工作业事件中的振动信号的数据集{Me0,Me1,…,Mej…}中的每个振动信号数据矩阵Mej,按标准时长TS切分成若干形状为(m,TS)的设备作业观察子矩阵{MTS_j0,MTS_j1,…,MTS_jk…};

对设备作业观察子矩阵MTS_jk的各行,使用Welch方法计算功率谱密度,得到频率阵列FXX_jk_row和相应的功率谱密度阵列PXX_jk_row;

基于预先确定的监控振动频率取频率阵列和功率谱密度阵列两个阵列的子阵列F_jk_row和P_jk_row;

以两个子阵列的长度为参数,使用三角窗函数生成调节系数阵列W_jk_row;

将功率子阵列P_jk_row乘以调节系数阵列W_jk_row后相加,得到各测点设备作业功率特征估计值,记为wp_jk_row,按测点次序将其排列,构成在测点阵列上的功率分布形态估计阵列WP_jk;

基于功率分布形态估计阵列WP_jk绘图,以光栅测点号mj为横坐标点,在图中识别凸起的范围,向两侧扩展,直到纵坐标的取值变化平坦,取凸起的横坐标范围,记为(m_jk_start,m_jk_end),以此范围作为小标,从功率分布形态估计阵列WP_jk中取子阵列,作为特定设备的作业区域特征阵列,同理得到该特定设备的多个作业区域特征阵列,组成该特定设备的作业区域特征阵列集合,作为特定设备振动信号特征模型;

S32、建立特定设备的作业区域特征阵列相似性度量

两两比较特定设备作业区域特征阵列集合中各阵列之间的距离,得到一组距离值,计算距离平均值A,标准差S;

取特定设备作业区域特征阵列集合的各阵列大小的均值,作为后续特定设备检测阶段的待检区域大小。

3.根据权利要求2所述的基于光纤光栅阵列识别特定工程施工设备的方法,其特征在于,步骤S4中,在检测时,如果在测点区间构造的区域特征阵列与振动信号特征模型中的作业区域特征阵列集合逐一比较的距离均值小于A+S,则认为疑似设备作业事件。

4.根据权利要求2所述的基于光纤光栅阵列识别特定工程施工设备的方法,其特征在于,步骤S4具体包括以下步骤:

实时读取光栅阵列数据流,每积累到一个标准时长TS的数据后,计算出相应的测点阵

列上的功率分布形态估计阵列；

依次从功率分布形态估计阵列中取长度为待检区域大小的子阵列，与设备振动信号特征模型中的每个模型通过DTW方法比较距离，并计算距离平均值，如果小于A+S，则认为此时段在测点区域范围内有疑似设备作业事件；

根据地铁沿线位置与光栅阵列位置对应关系，将测点区域转换为地铁沿线位置的值或名称，以提示隧道地面保护工作人员及时进行实地查看。

5.一种基于光纤光栅阵列识别特定工程施工设备的系统，其特征在于，包括：

测点模块，用于根据光栅阵列各测点在光缆上的间距和编号，建立与地铁沿线的位置对应关系，其中光缆为铺设在隧道内光栅阵列光缆；

振动信号采集模块，用于采集隧道施工作业中特定设备的振动信号，包括起止时间、测点位置、测点数及采样频率；

模型建立模块，用于根据采集的振动信号以及预先确定的监控振动频率获取特定设备的振动特征，建立特定设备振动信号特征模型；

识别模块，用于实时采集光栅阵列光缆中的振动信号，根据特定设备振动信号特征模型识别特定设备作业事件。

6.根据权利要求5所述的基于光纤光栅阵列识别特定工程施工设备的系统，其特征在于，模型建立模块具体包括：

特征集合建立子模块，用于建立特定设备的作业区域特征阵列集合；

相似性度量子模块，用于建立特定设备的作业区域特征阵列相似性度量。

7.根据权利要求6所述的基于光纤光栅阵列识别特定工程施工设备的系统，其特征在于，特征集合建立子模块具体用于：

对采集的特定设备在施工作业事件中的振动信号的数据集{Me0,Me1,…,Mej…}中的每个振动信号数据矩阵Mej，按标准时长TS切分成若干形状为(m,TS)的设备作业观察子矩阵{MTS_j0,MTS_j1,…,MTS_jk…}；

对设备作业观察子矩阵MTS_jk的各行，使用Welch方法计算功率谱密度，得到频率阵列FXX_jk_row和相应的功率谱密度阵列PXX_jk_row；

基于预先确定的监控振动频率取频率阵列和功率谱密度阵列两个阵列的子阵列F_jk_row和P_jk_row；

以两个子阵列的长度为参数，使用三角窗函数生成调节系数阵列W_jk_row；

将功率子阵列P_jk_row乘以调节系数阵列W_jk_row后相加，得到各测点设备作业功率特征估计值，记为wp_jk_row，按测点次序将其排列，构成在测点阵列上的功率分布形态估计阵列WP_jk；

基于功率分布形态估计阵列WP_jk绘图，以光栅测点号mj为横坐标点，在图中识别凸起的范围，向两侧扩展，直到纵坐标的取值变化平坦，取凸起的横坐标范围，记为(m_jk_start,m_jk_end)，以此范围作为小标，从功率分布形态估计阵列WP_jk中取子阵列，作为特定设备的作业区域特征阵列，同理得到该特定设备的多个作业区域特征阵列，组成该特定设备的作业区域特征阵列集合，作为特定设备振动信号特征模型。

8.根据权利要求6所述的基于光纤光栅阵列识别特定工程施工设备的系统，其特征在于，相似性度量子模块具体用于：

两两比较特定设备作业区域特征阵列集合中各阵列之间的距离，得到一组距离值，计算距离平均值A，标准差S；

取特定设备作业区域特征阵列集合的各阵列大小的均值，作为后续特定设备检测阶段的待检区域大小。

9.根据权利要求8所述的基于光纤光栅阵列识别特定工程施工设备的系统，其特征在于，识别模块在检测时，如果在测点区间构造的区域特征阵列与振动信号特征模型中的作业区域特征阵列集合逐一比较的距离均值小于A+S，则认为疑似设备作业事件。

10.一种计算机存储介质，其特征在于，其可被处理器执行，且其内存储有计算机程序，该计算机程序执行权利要求1-4中任一项所述的基于光纤光栅阵列识别特定工程施工设备的方法。

基于光纤光栅阵列识别特定工程施工设备的方法及系统

技术领域

[0001] 本发明涉及隧道施工领域，尤其涉及一种在地铁隧道地面监测保护中基于光纤光栅阵列振动传感信号的分析而识别特定工程施工设备的方法及系统。

背景技术

[0002] 如何及时发现地铁隧道地面保护控制区域一定范围内的施工作业，避免对地铁隧道造成危害，一直是隧道施工领域的一大难题。现有方法中，有的在关键区域使用摄像头视频监控，通过人工轮询查看视频或视频画面分析等方法来发现违规施工；有的通过无人机携带摄像头航拍的方法等。但是这些方法存在覆盖地段和时段不全、视频质量受天气和光线等因素制约等多种不利因素的影响。

发明内容

[0003] 本发明主要目的在与提供一种基于铺设在隧道内壁的光纤光栅阵列传感器网络所感知的振动信号，具有全时全域(全天候全线路)的传感检测覆盖能力的可识别特定工程施工设备的方法。

[0004] 本发明所采用的技术方案是：

[0005] 提供一种基于光纤光栅阵列识别特定工程施工设备的方法，包括以下步骤：

[0006] S1、在隧道内铺设光栅阵列光缆，根据光栅阵列各测点在光缆上的间距和编号，建立与地铁沿线的位置对应关系；

[0007] S2、采集隧道施工作业中特定设备的振动信号，包括起止时间、测点位置、测点数及采样频率；

[0008] S3、根据采集的振动信号以及预先确定的监控振动频率获取特定设备的振动特征，建立特定设备振动信号特征模型；

[0009] S4、实时采集光栅阵列光缆中的振动信号，根据特定设备振动信号特征模型识别特定设备作业事件。

[0010] 接上述技术方案，步骤S3具体包括：

[0011] S31、建立特定设备的作业区域特征阵列集合

[0012] 对采集的特定设备在施工作业事件中的振动信号的数据集{Me0,Me1,…,Mej…}中的每个振动信号数据矩阵Mej，按标准时长TS切分成若干形状为(m,TS)的设备作业观察子矩阵{MTS_j0,MTS_j1,…,MTS_jk…}；

[0013] 对设备作业观察子矩阵MTS_jk的各行，使用Welch方法计算功率谱密度，得到频率阵列FXX_jk_row和相应的功率谱密度阵列PXX_jk_row；

[0014] 基于预先确定的监控振动频率取频率阵列和功率谱密度阵列两个阵列的子阵列F_jk_row和P_jk_row；

[0015] 以两个子阵列的长度为参数，使用三角窗函数生成调节系数阵列W_jk_row；

[0016] 将功率子阵列P_jk_row乘以调节系数阵列W_jk_row后相加，得到各测点设备作业

功率特征估计值，记为wp_jk_row，按测点次序将其排列，构成在测点阵列上的功率分布形态估计阵列WP_jk；

[0017] 基于功率分布形态估计阵列WP_jk绘图，以光栅测点号mj为横坐标点，在图中识别凸起的范围，向两侧扩展，直到纵坐标的取值变化平坦，取凸起的横坐标范围，记为(m_jk_start,m_jk_end)，以此范围作为小标，从功率分布形态估计阵列WP_jk中取子阵列，作为特定设备的作业区域特征阵列，同理得到该特定设备的多个作业区域特征阵列，组成该特定设备的作业区域特征阵列集合，作为特定设备振动信号特征模型；

[0018] S32、建立特定设备的作业区域特征阵列相似性度量

[0019] 两两比较特定设备作业区域特征阵列集合中各阵列之间的距离，得到一组距离值，计算距离平均值A,标准差S；

[0020] 取特定设备作业区域特征阵列集合的各阵列大小的均值，作为后续特定设备检测阶段的待检区域大小。

[0021] 接上述技术方案，步骤S4中，在检测时，如果在测点区间构造的区域特征阵列与振动信号特征模型中的作业区域特征阵列集合逐一比较的距离均值小于A+S，则认为疑似设备作业事件。

[0022] 接上述技术方案，步骤S4具体包括以下步骤：

[0023] 实时读取光栅阵列数据流，每积累到一个标准时长TS的数据后，计算出相应的测点阵列上的功率分布形态估计阵列；

[0024] 依次从功率分布形态估计阵列中取长度为待检区域大小的子阵列，与设备振动信号特征模型中的每个模型通过DTW方法比较距离，并计算距离平均值，如果小于A+S，则认为此时段在测点区域范围内有疑似设备作业事件；

[0025] 根据地铁沿线位置与光栅阵列位置对应关系，将测点区域转换为地铁沿线位置的值或名称，以提示隧道地面保护工作人员及时进行实地查看。

[0026] 本发明还提供了一种基于光纤光栅阵列识别特定工程施工设备的系统，包括：

[0027] 测点模块，用于根据光栅阵列各测点在光缆上的间距和编号，建立与地铁沿线的位置对应关系，其中光缆为铺设在隧道内光栅阵列光缆；

[0028] 振动信号采集模块，用于采集隧道施工作业中特定设备的振动信号，包括起止时间、测点位置、测点数及采样频率；

[0029] 模型建立模块，用于根据采集的振动信号以及预先确定的监控振动频率获取特定设备的振动特征，建立特定设备振动信号特征模型；

[0030] 识别模块，用于实时采集光栅阵列光缆中的振动信号，根据特定设备振动信号特征模型识别特定设备作业事件。

[0031] 接上述技术方案，模型建立模块具体包括：

[0032] 特征集合建立子模块，用于建立特定设备的作业区域特征阵列集合；

[0033] 相似性度量子模块，用于建立特定设备的作业区域特征阵列相似性度量。

[0034] 接上述技术方案，特征集合建立子模块具体用于：

[0035] 对采集的特定设备在施工作业事件中的振动信号的数据集{Me0,Me1,…,Mej…}中的每个振动信号数据矩阵Mej，按标准时长TS切分成若干形状为(m,TS)的设备作业观察子矩阵{MTS_j0,MTS_j1,…,MTS_jk…}；

[0036] 对设备作业观察子矩阵MTS_jk的各行，使用Welch方法计算功率谱密度，得到频率阵列FXX_jk_row和相应的功率谱密度阵列PXX_jk_row；

[0037] 基于预先确定的监控振动频率取频率阵列和功率谱密度阵列两个阵列的子阵列F_jk_row和P_jk_row；

[0038] 以两个子阵列的长度为参数，使用三角窗函数生成调节系数阵列W_jk_row；

[0039] 将功率子阵列P_jk_row乘以调节系数阵列W_jk_row后相加，得到各测点设备作业功率特征估计值，记为wp_jk_row，按测点次序将其排列，构成在测点阵列上的功率分布形态估计阵列WP_jk；

[0040] 基于功率分布形态估计阵列WP_jk绘图，以光栅测点号mj为横坐标点，在图中识别凸起的范围，向两侧扩展，直到纵坐标的取值变化平坦，取凸起的横坐标范围，记为(m_jk_start,m_jk_end)，以此范围作为小标，从功率分布形态估计阵列WP_jk中取子阵列，作为特定设备的作业区域特征阵列，同理得到该特定设备的多个作业区域特征阵列，组成该特定设备的作业区域特征阵列集合，作为特定设备振动信号特征模型。

[0041] 接上述技术方案，相似性度量子模块具体用于：

[0042] 两两比较特定设备作业区域特征阵列集合中各阵列之间的距离，得到一组距离值，计算距离平均值A,标准差S；

[0043] 取特定设备作业区域特征阵列集合的各阵列大小的均值，作为后续特定设备检测阶段的待检区域大小。

[0044] 接上述技术方案，识别模块在检测时，如果在测点区间构造的区域特征阵列与振动信号特征模型中的作业区域特征阵列集合逐一比较的距离均值小于A+S，则认为疑似设备作业事件。

[0045] 本发明还提供一种计算机存储介质，其可被处理器执行，且其内存储有计算机程序，该计算机程序执行上述技术方案所述的基于光纤光栅阵列识别特定工程施工设备的方法。

[0046] 本发明产生的有益效果是：本发明根据特定类型设备在施工作业时发动机产生的振动特点，通过对地铁隧道内侧壁敷设的光纤光栅阵列振动传感器监测到的信号的分析，及时发现疑似设备，提醒地面保护巡检人员及时干预，避免对地铁隧道造成损害。

附图说明

[0047] 下面将结合附图及实施例对本发明作进一步说明，附图中：

[0048] 图1是本发明实施例基于光纤光栅阵列识别特定工程施工设备的方法流程图；

[0049] 图2是本发明实施例测点阵列上的功率分布形态估计阵列的折线图；

[0050] 图3是本发明实施例基于光纤光栅阵列识别特定工程施工设备的系统结构示意图。

具体实施方式

[0051] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白，以下结合附图及实施例，对本发明进行进一步详细说明。应当理解，此处所描述的具体实施例仅用以解释本发明，并不用于限定本发明。

[0052] 如图1所示，本发明实施例基于光纤光栅阵列识别特定工程施工设备的方法，其特征在于，包括以下步骤：

[0053] S1、在隧道内铺设光栅阵列光缆，根据光栅阵列各测点在光缆上的间距和编号，建立与地铁沿线的位置对应关系；

[0054] S2、采集隧道施工作业中特定设备的振动信号，包括起止时间、测点位置、测点数及采样频率；

[0055] S3、根据采集的振动信号以及预先确定的监控振动频率获取特定设备的振动特征，建立特定设备振动信号特征模型；

[0056] S4、实时采集光栅阵列光缆中的振动信号，根据特定设备振动信号特征模型识别特定设备作业事件。

[0057] 步骤S1主要是将地铁沿线的位置与隧道内的光栅阵列位置建立对应关系。以隧道内的光栅阵列光缆的铺设起止车站距离，作为光栅阵列的有效铺设长度，再根据光栅阵列各测点在光缆上的间距和编号，建立地铁沿线的位置与隧道内的光栅阵列位置的对应关系。

[0058] 例如，在车站A和车站B之间的左侧隧道沿着洞壁铺设了光栅阵列光缆，除去头尾部预留多余光缆后，有效光缆长度为x米，其与车站间的距离长度接近(误差在10米左右)。所用光栅阵列光缆内，测点间距为y米(1到10米)，在解调仪系统中设置好光栅测点的起止范围，使得在车站A(中心点)处的测点编号为0，车站B(中心点)处的测点编号为(m-1)，测点总数为m个。显然，(m-1)乘y理论上应该等于x，实际上有一定误差，误差应该控制在y米以内。在本方法所涉及的场景中，如果通过本方法发现了在测点i处有疑似设备施工作业，则所发送的提醒信息中，其对应地面位置信息为：在车站A与车站B之间，距离车站A约i乘y米处附近。

[0059] 步骤S2主要是确定设备振动频率范围。具体可通过铭牌观察其标定功率p和转速r，其排放功率范围为PL到PH。将转速r换算为以秒为单位的转速值rs，其输出振动信号的频率范围为从rs*p/PL到rs*p/PH。如果无法获得其排放功率范围，则估计其输出振动信号的频率范围为rs*(1-a)到rs*(1+a)。a的值域范围为0到1，一般取值在0.2到0.5之间。为了简化描述，下文中将所确定的设备输出振动信号的频率范围记为FR，其下限和上限分别记为FL和FH(上限FH须小于信号采样频率fs的一半)。

[0060] 本发明较佳实施例中，重点关注的是一种旋挖设备。它的旋挖柴油机上的铭牌上标定的信息是转速为2200rpm(转每分钟)，没有排放功率范围，按a为0.2来计算，得到频率范围为29.3Hz至44.0Hz。选择所采用的光栅传感器解调仪输出的采样频率设定为1000Hz，其一半为500Hz，因此，设备的作业振动频率在采样频率范围内。

[0061] 步骤S3主要是采集特定设备振动信号数据集。设备振动信号数据是根据已知的设备施工作业事件所发生的时间和位置，从光栅阵列系统采集的振动信号数据文件目录中检索和提取得到的。已知的、发生在隧道保护控制线附近的设备施工作业事件，可以是实际巡检时发现的，也可以是主动模拟施工作业实验。由于本方法是基于设备的作业动力系统的振动频率特征，而不是实际破坏地表的作业过程，因此试验时不需要进行任何破坏性作业。

[0062] 本发明实施例中，光栅阵列系统采集的振动信号数据格式为，以传感器(测点)数量m为行，以时序(采样时点序列)n为列的(m,n)形状的矩阵结构。实时数据流中，一个记录

是对m个测点的一次采样的值序列(数组)。例如在t0时刻的记录[v0,v1,...,v(m-1)]。

[0063] 实时采集的数据一方面以数据流的方式供及时分析,另一方面按一定时长规格(d,单位为秒)保存为数据文件。为了便于事后检索数据,数据文件名称中应该包含起始时点(精确到秒),持续时长,测点数,采样频率等信息,例如在2021年10月27日上午10点15分20秒开始的一个记录文件名中包含20211027101520-m-d-fs。

[0064] 特定设备施工作业事件的记录内容应该包括:地面大致位置(比如在车站A和车站B之间,相对于车站A的距离)、设备作业时间范围(持续时长应大于1分钟)等。

[0065] 下表1中,施工作业事件依次编号为e0,e1,e2,e3。每个位置,开动设备工作作业时长为t0,t1,t2,t3分钟。记录表相关内容如下:

[0066] 表1:施工作业事件记录表

[0067]

事件编号	位置	时间(起止)
e0	E0	T0, T0 + t0
e1	E1	T1, T1+t1
e2	E2	T2, T2+t2
e3	E3	T3, T3+t3

[0068]

……		

[0069] 根据上表1所记录内容,对照步骤S1中所建立的地图沿线位置与光栅阵列位置的对应关系。可以换算到下表2:

[0070] 表2:施工作业事件对应光栅位置记录表

[0071]

事件编号	光栅位置	时间(起止)
e0	m0	T0,T0+t0
e1	m1	T1,T1+t1
e2	m2	T2,T2+t2
e3	m3	T3,T3+t3
……		

[0072] 以上换算所得光栅测点编号允许存在5个测点以内的误差,是一个预估参考位置,后续步骤中所建立的设备振动信号特征模型中,会使用包含此参考位置的、但更宽的光栅测点子序列。

[0073] 为了便于描述,将所得设备振动信号数据集记为{Me0,Me1,...,},每个元素Mej对应的事件编号为ej,如上表e0,e1,...。

[0074] 步骤S3主要用来建立特定设备振动信号特征模型,特定设备振动信号特征模型由下表3中各项参数构成:

[0075] 表3:特定设备振动信号特征模型的各项参数

[0076]

序号	参数名称	说明
1	设备类型规格	说明了设备的类型和规格型号
2	设备振动频率范围	来自步骤 S2。
3	光栅阵列规格参数	所使用的光栅阵列的厂家、规格、批次；解调仪中的相关参数。采样率、输出幅值调节率等直接影响振动信号数值的参数。
4	地铁沿线位置与光栅阵列位置对应关系	来自步骤 1。
5	标准时长 TS	指以固定的时长 TS 作为度量能量的参考时间度量，代表 TS 个采样时点数。一般要求 TS 个采样时点的持续时长为 30 秒到 60 秒之间
6	作业区域特征阵列集合	见下文
7	作业区域特征阵列相似	见下文

[0077]

	性度量	

[0078] 步骤S3主要包括步骤：

[0079] S31、建立作业区域特征阵列集合

[0080] 对特定设备振动信号数据集{Me0,Me1,...,}中的每个振动信号数据矩阵Mej，按标准时长TS切分成若干形状为(m,TS)的设备作业观察子矩阵{MTS_j0,MTS_j1,...}(它们都是针对事件ej的)。

[0081] 对其中各子矩阵MTS_jk的各行(每行依次代表各光栅测点)，可使用Welch方法计算功率谱密度(Power Spectral Density，简称PSD)，得到长度相同的两个阵列：频率阵列FXX_jk_row和相应的功率阵列PXX_jk_row。

[0082] 基于设备振动频率范围取前述两个阵列的子阵列F_jk_row和P_jk_row。

[0083] 以子阵列的长度为参数，使用三角窗函数生成调节系数阵列W_jk_row。

[0084] 将功率子阵列P_jk_row乘以调节系数阵列W_jk_row后相加，得到各测点设备作业功率特征估计值，记为wp_jk_row。按测点次序将其排列，构成在测点阵列上的功率分布形态估计阵列WP_jk，形如[wp_jk_0,wp_jk_1,...]。

[0085] 基于阵列WP_jk绘图(横坐标是阵列序号，纵坐标是阵列序号对于的值)。阵列WP_jk的值在设备作业测点处附近大，离作业处越远，则取值越小，看起来像一个中间凸起两旁渐低的小山丘。

[0086] 以事件ej的记录表中的光栅测点号mj(比如m0)为横坐标点，在图中识别其凸起的范围，向两侧适当扩展，直到纵坐标的取值变化较为平坦，取凸起的横坐标范围，记为(m_jk_start,m_jk_end)。以此范围作为小标，从功率分布形态估计阵列WP_jk中取子阵列(如图2所示，为功率分布形态估计阵列的折线图，其横坐标是测点阵列，纵坐标是对应测点位置的功率估计值，从该图2中可以截取虚线部分的子阵列)，此子阵列称为设备作业区域特

征阵列，记为WPF_jk。

[0087] 将以上过程得到的各个作业区域特征阵列加入到设备振动信号特征模型的“作业区域特征阵列集合”中。

[0088] 其中Welch方法是一种功率谱估计方法。将数据分成有重叠的段，再使用傅里叶变换方法计算各段的周期谱，然后对周期图求平均值。

[0089] 使用Welch方法时，各参数取值如下表4所示：

[0090] 表4:Welch方法的输入参数说明表

[0091]

参数名	参数含义	参数值
x	测量值的时间序列	每个测区一分钟时长的测量值序列
fs	时间序列 x 的采样频率	光纤传感器的采样频率
Window	傅里叶变换中，使用 window 函数将数据分段	Hanning 汉宁窗
nperseg	数据段的长度	设置为与采样频率相同
Noverlap	相邻数据段间重叠的数据长度	Nperseg 的一半，取整数
nfft	傅里叶变换方法 fft 的数据点个数	与 nperseg 保持一致
detrend	从数据中去除趋势的方法	不去除趋势
scaling	功率谱估计的尺度	Density，即功率密度谱
average	周期图的平均方法，可以为算术平均 mean 或中位数 median	mean 平均值

[0092] Welch方法的返回值有频率序列FXX和功率谱密度序列PXX。两个序列中元素个数相等。FXX是频率分量从低到高顺序的排列，PXX是对应的功率密度。对于每个测区s_i，有对应的FXX_i和PXX_i。

[0093] 三角窗函数的输入参数是设备频率范围内的频率数，输出是调节系数。

[0094] weights＝signal.get_window(’triang’,len(primary_fr_pxx),False)，

[0095] S32、建立作业区域特征阵列相似性度量。

[0096] a)两两比较作业区域特征阵列集的各阵列之间的距离，得到一组距离值，计算平均值为A，标准差为S。比较的方式是：动态时间规整DTW。

[0097] DTW是Dynamic Time Warping，它是通过计算距离来用于比较两个序列相似性的方法。值越小，则说明两个序列越相似。

[0098] b)取作业区域特征阵列集的各阵列大小的均值(取整)，作为后续检测阶段的待检区域大小，记为Lu。

[0099] c)在检测时,如果在测点区间构造(具体方法见步骤5)的区域特征阵列与上述作业区域特征阵列集逐一比较的距离均值小于A+S,则认为疑似作业。

[0100] 步骤S4主要是利用建立好的特定设备振动信号特征模型及时检测发现疑似设备作业事件,具体为:

[0101] 实时读取光栅阵列系统实时采集的数据流,每积累到一个观察时间域窗口(即一个标准时长TS)的数据(记为Ut,是一个m行TS列的矩阵)后,就按下述方法作处理和判断。

[0102] 对Ut矩阵,采用与第4步第4.1节由设备作业观察子矩阵MTS_jk得到其测点阵列上的功率分布形态估计阵列WP_jk相同的方法,计算出相应的测点阵列上的功率分布形态估计阵列WP_t。

[0103] 由于WP_t的大小(长度)是光栅阵列的测点数。从0号测点开始,依次从WP_t中取长为Lu(待检区域大小)的子阵列,直到检测完全部测点。对从p号测点开始的子阵列记为WP_tp,与作业区域特征阵列集逐一使用DTW方法比较距离,并取均值,如果小于A+S,则认为此时段在测点区域(p,p+Lu)范围内有疑似设备作业。

[0104] 根据地铁沿线位置与光栅阵列位置对应关系,将测点区域(p,p+Lu)转换为地铁沿线位置的值或名称,再通知相关工作人员,提示隧道地面保护工作人员及时进行实地查看。

[0105] 可见,上述实施例的方法能根据设备的作业频率特征,及时发现在地铁隧道控制线附近的设备施工作业,提高地铁隧道地面保护工作的针对性和及时性。

[0106] 可以理解的是,如果有多种需要特殊关注的特定设备,则可以按照上述实施例的方法同样建立模型进行识别,也可以将多个特定设备的模型做成模型集合,检测到的数据与该模型集合进行比较,可以识别出多种指定设备。

[0107] 如图3所示,本发明实施例基于光纤光栅阵列识别特定工程施工设备的系统包括:

[0108] 测点模块,用于根据光栅阵列各测点在光缆上的间距和编号,建立与地铁沿线的位置对应关系,其中光缆为铺设在隧道内光栅阵列光缆;

[0109] 振动信号采集模块,用于采集隧道施工作业中特定设备的振动信号,包括起止时间、测点位置、测点数及采样频率;

[0110] 模型建立模块,用于根据采集的振动信号以及预先确定的监控振动频率获取特定设备的振动特征,建立特定设备振动信号特征模型;

[0111] 识别模块,用于实时采集光栅阵列光缆中的振动信号,根据特定设备振动信号特征模型识别特定设备作业事件。

[0112] 其中,模型建立模块具体包括:

[0113] 特征集合建立子模块,用于建立特定设备的作业区域特征阵列集合;

[0114] 相似性度量子模块,用于建立特定设备的作业区域特征阵列相似性度量。

[0115] 特征集合建立子模块具体用于:

[0116] 对采集的特定设备在施工作业事件中的振动信号的数据集{Me0,Me1,…,Mej…}中的每个振动信号数据矩阵Mej,按标准时长TS切分成若干形状为(m,TS)的设备作业观察子矩阵{MTS_j0,MTS_j1,…,MTS_jk…};

[0117] 对设备作业观察子矩阵MTS_jk的各行,使用Welch方法计算功率谱密度,得到频率阵列FXX_jk_row和相应的功率谱密度阵列PXX_jk_row;

[0118] 基于预先确定的监控振动频率取频率阵列和功率谱密度阵列两个阵列的子阵列

F_jk_row和P_jk_row；

[0119] 以两个子阵列的长度为参数，使用三角窗函数生成调节系数阵列W_jk_row；

[0120] 将功率子阵列P_jk_row乘以调节系数阵列W_jk_row后相加，得到各测点设备作业功率特征估计值，记为wp_jk_row，按测点次序将其排列，构成在测点阵列上的功率分布形态估计阵列WP_jk；

[0121] 基于功率分布形态估计阵列WP_jk绘图，以光栅测点号mj为横坐标点，在图中识别凸起的范围，向两侧扩展，直到纵坐标的取值变化平坦，取凸起的横坐标范围，记为(m_jk_start,m_jk_end)，以此范围作为小标，从功率分布形态估计阵列WP_jk中取子阵列，作为特定设备的作业区域特征阵列，同理得到该特定设备的多个作业区域特征阵列，组成该特定设备的作业区域特征阵列集合，作为特定设备振动信号特征模型。

[0122] 相似性度量子模块具体用于：

[0123] 两两比较特定设备作业区域特征阵列集合中各阵列之间的距离，得到一组距离值，计算距离平均值A,标准差S；

[0124] 取特定设备作业区域特征阵列集合的各阵列大小的均值，作为后续特定设备检测阶段的待检区域大小。

[0125] 识别模块在检测时，如果在测点区间构造的区域特征阵列与振动信号特征模型中的作业区域特征阵列集合逐一比较的距离均值小于A+S，则认为疑似设备作业事件。

[0126] 进一步地，实时读取光栅阵列数据流时，每积累到一个标准时长TS的数据后，计算出相应的测点阵列上的功率分布形态估计阵列；依次从功率分布形态估计阵列中取长度为待检区域大小的子阵列，与设备振动信号特征模型中的每个模型通过DTW方法比较距离，并计算距离平均值，如果小于A+S，则认为此时段在测点区域范围内有疑似设备作业事件；根据地铁沿线位置与光栅阵列位置对应关系，将测点区域转换为地铁沿线位置的值或名称，以提示隧道地面保护工作人员及时进行实地查看。

[0127] 本申请还提供一种计算机可读存储介质，如闪存、硬盘、多媒体卡、卡型存储器(例如，SD或DX存储器等)、随机访问存储器(RAM)、静态随机访问存储器(SRAM)、只读存储器(ROM)、电可擦除可编程只读存储器(EEPROM)、可编程只读存储器(PROM)、磁性存储器、磁盘、光盘、服务器、App应用商城等等，其上存储有计算机程序，程序被处理器执行时实现相应功能。本实施例的计算机可读存储介质用于在被处理器执行时实现上述方法实施例的基于光纤光栅阵列识别特定工程施工设备的方法。

[0128] 综上，本发明根据特定类型设备在施工作业时发动机产生的振动特点，通过对地铁隧道内侧壁敷设的光纤光栅阵列振动传感器监测到的信号的分析，及时发现疑似设备，提醒地面保护巡检人员及时干预，避免对地铁隧道造成损害。

[0129] 应当理解的是，对本领域普通技术人员来说，可以根据上述说明加以改进或变换，而所有这些改进和变换都应属于本发明所附权利要求的保护范围。

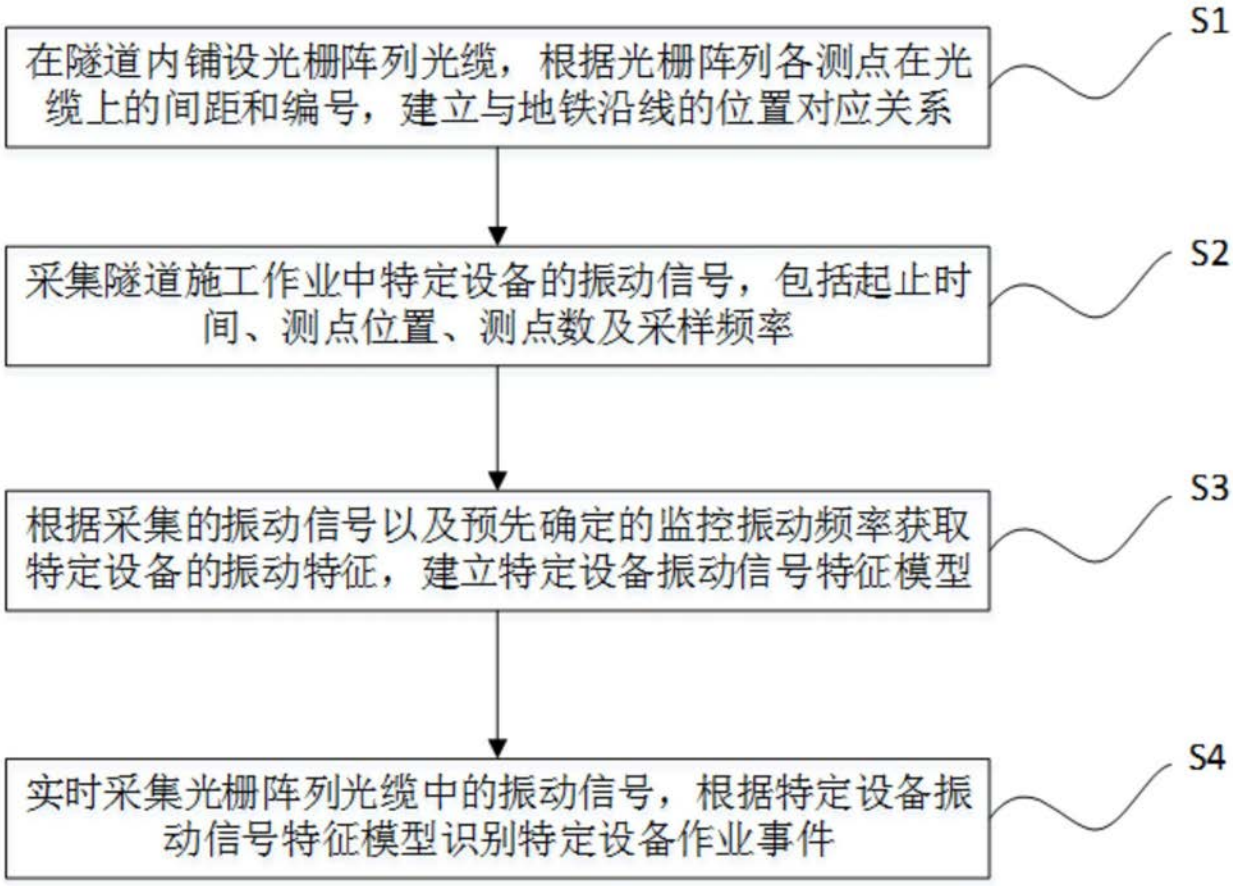

在隧道内铺设光栅阵列光缆，根据光栅阵列各测点在光缆上的间距和编号，建立与地铁沿线的位置对应关系
S1
采集隧道施工作业中特定设备的振动信号，包括起止时间、测点位置、测点数及采样频率
S2
根据采集的振动信号以及预先确定的监控振动频率获取特定设备的振动特征，建立特定设备振动信号特征模型
S3
实时采集光栅阵列光缆中的振动信号，根据特定设备振动信号特征模型识别特定设备作业事件
S4

图1

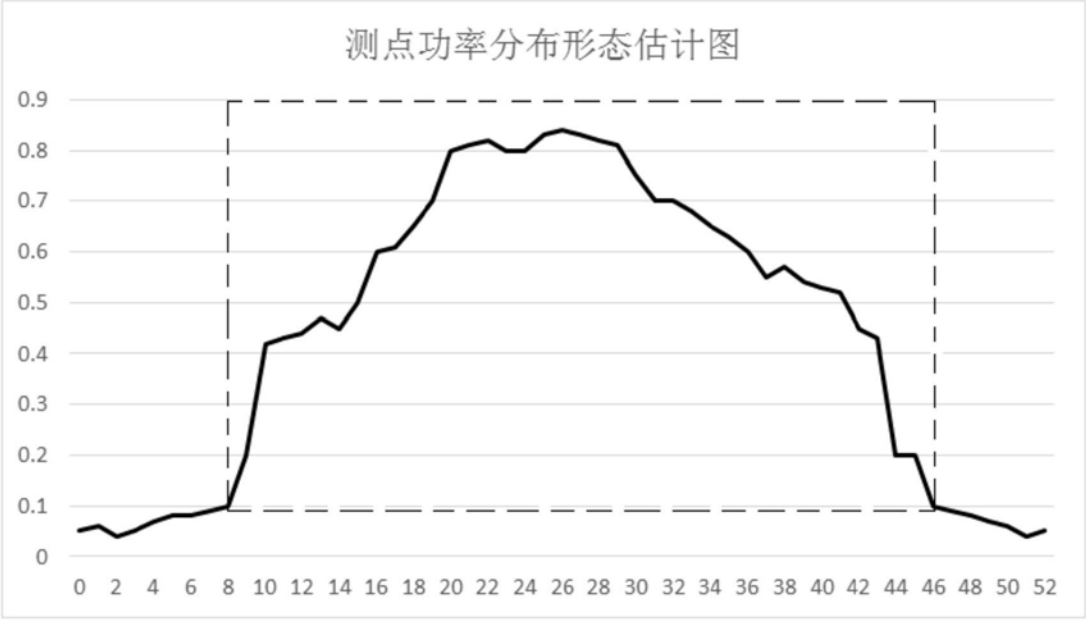

测点功率分布形态估计图
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
0 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30 32 34 36 38 40 42 44 46 48 50 52

图2

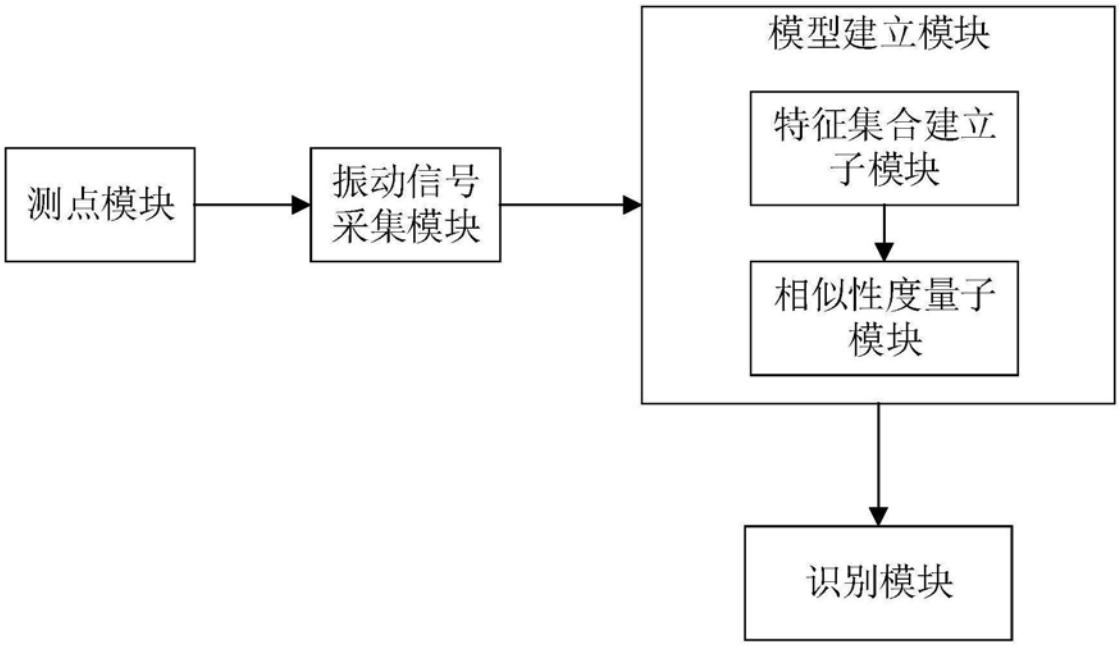


图3