



## (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 115600077 B

(45) 授权公告日 2023.04.14

(21) 申请号 202211603122.0

(51) Int.CI.

(22) 申请日 2022.12.14

G06F 17/18 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

G06F 17/11 (2006.01)

申请公布号 CN 115600077 A

G01B 21/32 (2006.01)

(43) 申请公布日 2023.01.13

G01B 5/30 (2006.01)

(73) 专利权人 香港理工大学深圳研究院

B61K 9/08 (2006.01)

地址 518057 广东省深圳市南山区粤海街  
道高新技术产业园南区粤兴一道18号  
香港理工大学产学研大楼205室

审查员 王琪

(72) 发明人 王友武 倪一清 何家驹 梁有东  
徐嘉(74) 专利代理机构 深圳市君胜知识产权代理事  
务所(普通合伙) 44268  
专利代理人 谢松

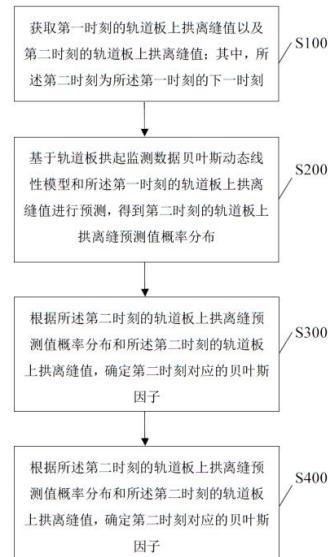
权利要求书3页 说明书15页 附图5页

## (54) 发明名称

一种智能免供电无砟轨道板上拱变形状态  
监测方法

## (57) 摘要

本发明公开了一种智能免供电无砟轨道板上拱变形状态监测方法，包括：获取第一时刻的轨道板上拱离缝值以及第二时刻的轨道板上拱离缝值；基于轨道板拱起监测数据贝叶斯动态线性模型和第一时刻的轨道板上拱离缝值进行预测，得到第二时刻的轨道板上拱离缝预测值概率分布；根据第二时刻的轨道板上拱离缝预测值概率分布和第二时刻的轨道板上拱离缝值，确定第二时刻对应的贝叶斯因子，从而可以根据第二时刻对应的贝叶斯因子，进行异常值预警。从而实现轨道板的监测，不仅监测简单，且监测数据的准确性更高，因此监测效果更好。



1. 一种智能免供电无砟轨道板上拱变形状态监测系统,其特征在于,包括:  
 射频识别读取器;  
 至少两个免电源传感器组件,用于安装在轨道板上;所述免电源传感器组件包括:  
 传感元件,与所述轨道板连接;所述传感元件包括:压力传感元件、应变传感元件或位移传感元件中的至少一种;  
 信号调制器,与所述传感元件连接;  
 微控制器,与所述信号调制器连接;  
 射频天线模块,与所述微控制器连接;  
 其中,所述射频识别读取器用于靠近所述免电源传感器组件时,向所述射频天线模块发射射频信号;  
 所述射频天线模块用于将所述射频信号转化为电能,并为所述免电源传感器组件供电,以使所述传感元件采集传感数据,并向所述射频识别读取器发送所述传感数据;传感元件所采集的传感数据与轨道板上拱离缝值存在对应关系;  
 所述监测系统采用如下步骤进行检测:  
 获取第一时刻的轨道板上拱离缝值以及第二时刻的轨道板上拱离缝值;其中,所述第二时刻为所述第一时刻的下一时刻;  
 基于轨道板拱起监测数据贝叶斯动态线性模型和所述第一时刻的轨道板上拱离缝值进行预测,得到第二时刻的轨道板上拱离缝预测值概率分布;  
 根据所述第二时刻的轨道板上拱离缝预测值概率分布和所述第二时刻的轨道板上拱离缝值,确定第二时刻对应的贝叶斯因子;  
 根据所述第二时刻对应的贝叶斯因子,进行异常值预警;  
 根据第二时刻之前历次时刻对应的贝叶斯因子,确定第二时刻下最大累积贝叶斯因子以及所述最大累积贝叶斯因子对应的最佳累积步长;  
 根据所述最大累积贝叶斯因子以及所述最佳累积步长,进行异常状态预警;  
 将发出异常状态预警的时刻作为异常时刻,根据所述异常时刻的轨道板上拱离缝值以及所述异常时刻上一时刻的轨道板上拱离缝值,确定损伤的概率;  
 所述最大累积贝叶斯因子为:  

$$H(1_t) = \max(H_t(k))$$

$$H_t(k) = \prod_{i=t-k+1}^t H_i, \quad k = 1, 2, \dots, l_{\max}$$
 其中, $H(1_t)$  表示最大累积贝叶斯因子, $1_t$  表示最佳累积步长, $H_t(k)$  表示累积步长 $k$  对应的累积贝叶斯因子, $H_i$  表示历次时刻对应的贝叶斯因子, $\prod$  表示连乘符号, $l_{\max}$  表示最大步长, $t$  表示第二时刻;  
 所述根据所述最大累积贝叶斯因子以及所述最佳累积步长,进行异常状态预警,包括:  
 当所述最大累积贝叶斯因子大于累积贝叶斯因子阈值,且所述最佳累积步长大于累积步长阈值时,发出异常状态预警;  
 当所述最大累积贝叶斯因子小于或等于累积贝叶斯因子阈值,或所述最佳累积步长小于或等于累积步长阈值时,继续获取下一时刻之前历次时刻对应的贝叶斯因子;

所述损伤的概率为：

$$p(H_1|D) = \frac{B_{10}}{1 + B_{10}}$$

$$B_{10} = \frac{P(D|H_1)}{P(D|H_0)}$$

其中,  $p(H_1|D)$  表示损伤的概率,  $B_{10}$  表示代替假设  $H_1$  的信任度, 假设  $H_0$  表示轨道板是健康的, 代替假设  $H_1$  表示轨道板是损坏的,  $D$  表示异常时刻的信息状态,  $P(\cdot)$  表示概率分布。

2. 根据权利要求1所述的智能免供电无砟轨道板上拱变形状态监测系统, 其特征在于, 所述第二时刻对应的贝叶斯因子为:

$$H_t = \frac{p(y_t|D_{t-1}, M_1)}{p(y_t|D_{t-1}, M_0)}$$

其中,  $H_t$  表示第二时刻对应的贝叶斯因子,  $y_t$  表示第二时刻的轨道板上拱离缝值,  $D_{t-1}$  表示第一时刻的信息状态,  $M_0$  表示第二时刻的轨道板上拱离缝预测值概率分布,  $M_1$  表示第二时刻的轨道板上拱离缝预测值概率分布平移得到的异常分布,  $p(\cdot)$  表示概率,  $t$  表示第二时刻;

所述根据所述第二时刻对应的贝叶斯因子, 进行异常值预警, 包括:

当所述第二时刻对应的贝叶斯因子大于异常值阈值时, 发出异常值预警。

3. 根据权利要求1所述的智能免供电无砟轨道板上拱变形状态监测系统, 其特征在于, 所述轨道板拱起监测数据贝叶斯动态线性模型包括测量方程和状态方程;

所述基于轨道板拱起监测数据贝叶斯动态线性模型和所述第一时刻的轨道板上拱离缝值进行预测, 得到第二时刻的轨道板上拱离缝预测值概率分布, 包括:

根据所述第一时刻的轨道板上拱离缝值, 确定第一时刻的状态参数的后验分布;

根据所述状态方程和所述第一时刻的状态参数的后验分布, 确定第二时刻的状态参数的先验分布;

根据所述测量方程和所述第二时刻的状态参数的先验分布, 确定第二时刻的轨道板上拱离缝预测值概率分布。

4. 根据权利要求3所述的智能免供电无砟轨道板上拱变形状态监测系统, 其特征在于, 所述第一时刻的状态参数的后验分布采用如下步骤得到:

将正态分布作为上一时刻的状态参数的后验分布;

根据所述上一时刻的状态参数的后验分布和状态方程, 得到下一时刻的状态参数先验分布;

根据所述下一时刻的状态参数先验分布和下一时刻的轨道板上拱离缝值, 得到下一时刻的状态参数的后验分布;

将所述下一时刻的状态参数的后验分布作为上一时刻的状态参数的后验分布, 并继续执行根据所述上一时刻的状态参数的后验分布和状态方程, 得到下一时刻的状态参数先验

分布的步骤,直至达到第一时刻时,得到第一时刻的状态参数的后验分布。

## 一种智能免供电无砟轨道板上拱变形状态监测方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及轨道板监测技术领域,尤其涉及的是一种智能免供电无砟轨道板上拱变形状态监测方法。

### 背景技术

[0002] 随着列车行驶速度的不断提升,覆盖面积的逐步扩大,轨道交通运营安全问题正受到了越来越多的重视。可靠稳定的状态监测技术,可为轨道交通车辆关键部件以及基础设施的安全运行及维护提供有价值的参考,是保障轨道交通安全的有效手段之一。无砟轨道具有高平顺性、高可靠性和少维修性等优点。现有技术中对轨道板拱起变形的监测主要是依靠现场人工检查,靠视觉观察。当轨道板拱起产生离缝时,才能被肉眼识别。受夜间检查环境影响,这种作业费时费力,效果不佳。

[0003] 因此,现有技术还有待于改进和发展。

### 发明内容

[0004] 本发明要解决的技术问题在于,针对现有技术的上述缺陷,提供一种智能免供电无砟轨道板上拱变形状态监测方法,旨在解决现有技术中轨道板拱起变形的监测效果较差的问题。

[0005] 本发明解决技术问题所采用的技术方案如下:

[0006] 一种智能免供电无砟轨道板上拱变形状态监测方法,其中,所述监测方法包括:

[0007] 获取第一时刻的轨道板上拱离缝值以及第二时刻的轨道板上拱离缝值;其中,所述第二时刻为所述第一时刻的下一时刻;

[0008] 基于轨道板拱起监测数据贝叶斯动态线性模型和所述第一时刻的轨道板上拱离缝值进行预测,得到第二时刻的轨道板上拱离缝预测值概率分布;

[0009] 根据所述第二时刻的轨道板上拱离缝预测值概率分布和所述第二时刻的轨道板上拱离缝值,确定第二时刻对应的贝叶斯因子;

[0010] 根据所述第二时刻对应的贝叶斯因子,进行异常值预警。

[0011] 所述的智能免供电无砟轨道板上拱变形状态监测方法,其中,所述第二时刻对应的贝叶斯因子为:

$$[0012] H_t = \frac{p(y_t | D_{t-1}, M_1)}{p(y_t | D_{t-1}, M_0)}$$

[0013] 其中,  $H_t$  表示第二时刻对应的贝叶斯因子,  $y_t$  表示第二时刻的轨道板上拱离缝值,  $D_{t-1}$  表示第一时刻的信息状态,  $M_0$  表示第二时刻的轨道板上拱离缝预测值概率分布,  $M_1$  表示第二时刻的轨道板上拱离缝预测值概率分布平移得到的异常分布,  $p(\cdot)$  表示概

率,  $t$  表示第二时刻;

[0014] 所述根据所述第二时刻对应的贝叶斯因子, 进行异常值预警, 包括:

[0015] 当所述第二时刻对应的贝叶斯因子大于异常值阈值时, 发出异常值预警。

[0016] 所述的智能免供电无砟轨道板上拱变形状态监测方法, 其中, 所述监测方法还包括:

[0017] 根据第二时刻之前历次时刻对应的贝叶斯因子, 确定第二时刻下最大累积贝叶斯因子以及所述最大累积贝叶斯因子对应的最佳累积步长;

[0018] 根据所述最大累积贝叶斯因子以及所述最佳累积步长, 进行异常状态预警。

[0019] 所述的智能免供电无砟轨道板上拱变形状态监测方法, 其中, 所述最大累积贝叶斯因子为:

$$H(l_t) = \max(H_t(k))$$

[0020]

$$H_t(k) = \prod_{i=t-k+1}^t H_i, \quad k = 1, 2, \dots, l_{\max}$$

[0021] 其中,  $H(l_t)$  表示最大累积贝叶斯因子,  $l_t$  表示最佳累积步长,  $H_t(k)$  表示累积步长  $k$  对应的累积贝叶斯因子,  $H_i$  表示历次时刻对应的贝叶斯因子,  $\prod$  表示连乘符号,  $l_{\max}$  表示最大步长,  $t$  表示第二时刻;

[0022] 所述根据所述最大累积贝叶斯因子以及所述最佳累积步长, 进行异常状态预警, 包括:

[0023] 当所述最大累积贝叶斯因子大于累积贝叶斯因子阈值, 且所述最佳累积步长大于累积步长阈值时, 发出异常状态预警。

[0024] 所述的智能免供电无砟轨道板上拱变形状态监测方法, 其中, 所述监测方法还包括:

[0025] 将发出异常状态预警的时刻作为异常时刻, 根据所述异常时刻的轨道板上拱离缝值以及所述异常时刻上一时刻的轨道板上拱离缝值, 确定损伤的概率。

[0026] 所述的智能免供电无砟轨道板上拱变形状态监测方法, 其中, 所述损伤的概率为:

$$p(H_1|D) = \frac{B_{10}}{1 + B_{10}}$$

[0027]

$$B_{10} = \frac{P(D|H_1)}{P(D|H_0)}$$

[0028] 其中,  $p(H_1|D)$  表示损伤的概率,  $B_{10}$  表示代替假设  $H_1$  的信任度, 假设  $H_0$  表示轨道板是健康的, 代替假设  $H_1$  表示轨道板是损坏的,  $D$  表示异常时刻的信息状态,  $P(\cdot)$  表示概率分布。

[0029] 所述的智能免供电无砟轨道板上拱变形状态监测方法, 其中, 所述轨道板拱起监

测数据贝叶斯动态线性模型包括测量方程和状态方程；

[0030] 所述基于轨道板拱起监测数据贝叶斯动态线性模型和所述第一时刻的轨道板上拱离缝值进行预测，得到第二时刻的轨道板上拱离缝预测值概率分布，包括：

[0031] 根据所述第一时刻的轨道板上拱离缝值，确定第一时刻的状态参数的后验分布；

[0032] 根据所述状态方程和所述第一时刻的状态参数的后验分布，确定第二时刻的状态参数的先验分布；

[0033] 根据所述测量方程和所述第二时刻的状态参数的先验分布，确定第二时刻的轨道板上拱离缝预测值概率分布。

[0034] 所述的智能免供电无砟轨道板上拱变形状态监测方法，其中，所述第一时刻的状态参数的后验分布采用如下步骤得到：

[0035] 将正态分布作为上一时刻的状态参数的后验分布；

[0036] 根据所述上一时刻的状态参数的后验分布和状态方程，得到下一时刻的状态参数先验分布；

[0037] 根据所述下一时刻的状态参数先验分布和下一时刻的轨道板上拱离缝值，得到下一时刻的状态参数的后验分布；

[0038] 将所述下一时刻的状态参数的后验分布作为上一时刻的状态参数的后验分布，并继续执行根据所述上一时刻的状态参数的后验分布和状态方程，得到下一时刻的状态参数先验分布的步骤，直至达到第一时刻时，得到第一时刻的状态参数的后验分布。

[0039] 一种计算机设备，包括存储器和处理器，所述存储器存储有计算机程序，其中，所述处理器执行所述计算机程序时实现上述中任一项所述方法的步骤。

[0040] 一种计算机可读存储介质，其上存储有计算机程序，其中，所述计算机程序被处理器执行时实现上述中任一项所述的方法的步骤。

[0041] 有益效果：通过轨道板拱起监测数据贝叶斯动态线性模型以及第一时刻轨道板上拱离缝值预测，得到第二时刻的轨道板上拱离缝预测值概率分布，然后根据第二时刻的轨道板上拱离缝预测值概率分布和第二时刻的轨道板上拱离缝值，确定第二时刻对应的贝叶斯因子，从而可以根据第二时刻对应的贝叶斯因子，进行异常值预警。从而实现轨道板的监测，确保监测效果较佳。

## 附图说明

[0042] 图1是本发明中信号调制器的电路图。

[0043] 图2是本发明中微控制器的电路图。

[0044] 图3是本发明中射频天线模块的电路图。

[0045] 图4是本发明中智能免供电无砟轨道板上拱变形状态监测系统与百分尺的测试数据对比图。

[0046] 图5是本发明中不同条件下智能免供电无砟轨道板上拱变形状态监测系统与百分尺的测试数据对比图。

[0047] 图6是本发明中智能免供电无砟轨道板上拱变形状态监方法的流程图。

## 具体实施方式

[0048] 为使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚、明确,以下参照附图并举实施例对本发明进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。

[0049] 请同时参阅图1-图5,本发明提供了一种智能免供电无砟轨道板上拱变形状态监测系统的一些实施例。

[0050] 无砟轨道具有高平顺性、可靠和少维修等优点,但由于其纵向连续的结构特点,极端高温条件下部分区段会出现轨道板上拱离缝、宽接缝破损等病害。

[0051] 如图1-图3所示,本发明的智能免供电无砟轨道板上拱变形状态监测系统,包括:

[0052] 射频识别读取器;

[0053] 至少两个传感器组件,用于安装在轨道板上;所述免电源传感器组件包括:

[0054] 传感元件,与所述轨道板连接;所述传感元件包括:压力传感元件、应变传感元件11或位移传感元件12中的至少一种;

[0055] 信号调制器20,与所述传感元件连接;

[0056] 微控制器30,与所述信号调制器20连接;

[0057] 射频天线模块40,与所述微控制器30连接;

[0058] 其中,所述射频识别读取器用于靠近所述免电源传感器组件时,向所述射频天线模块40发射射频信号;

[0059] 所述射频天线模块40用于将所述射频信号转化为电能,并为所述免电源传感器组件供电,以使所述传感元件采集传感数据,并向所述射频识别读取器发送所述传感数据。

[0060] 轨道板是指采用混凝土、沥青混合料等整体基础取代散粒碎石道床的轨道结构,与有砟轨道相比,无砟轨道避免了飞溅道砟,平顺性好,稳定性好,使用寿命长,耐久性好,维修工作少,列车运行时速可达350千米以上。传感元件所采集的传感数据与轨道板上拱离缝值存在对应关系,传感数据的改变量越大,轨道板上拱离缝值越大,传感数据的改变量越小,轨道板上拱离缝值越小,具体与传感元件和轨道板的结构有关。轨道板上拱离缝值是指轨道板膨胀上拱后与基层之间形成离缝的间距,这里的基层可以是水泥沥青砂浆层(cement asphalt mortar,简称CA砂浆),水泥沥青砂浆层是指由水泥、乳化沥青、细骨料、水和多种外加剂等原材料组成,经水泥水化硬化与沥青破乳胶结共同作用而形成的一种新型有机无机复合材料。水泥沥青砂浆层位于轨道板的下方,水泥沥青砂浆层的作用是支承轨道板、缓冲高速列车荷载与减震等作用,其性能的好坏对板式无砟轨道结构的平顺性、耐久性和列车运行的舒适性与安全性以及运营维护成本等有着重大影响。

[0061] 值得说明的是,将免电源传感器组件安装在轨道板上,通过免电源传感器组件采集的传感数据,从而对轨道板的上拱变形状态进行检测,传感元件可以采用压力传感元件、应变传感元件11或者位移传感元件12,例如,轨道板的上拱变形状态可以采用轨道板上拱离缝值表示,且射频识别读取器并不是设置在轨道板上,而是设置在距离轨道板一定距离的位置,射频识别读取器可以对免电源传感器组件供电并与各免电源传感器组件通信连接,从而射频识别读取器可以读取免电源传感器组件中传感元件所采集的传感数据,以便得到轨道板上拱离缝值,从而实现对轨道板的上拱变形状态进行监测。与人工监测相比,本申请的智能免供电无砟轨道板上拱变形状态监测系统不仅监测简单,且监测数据的准确性

更高,因此监测效果更好。举例说明,若轨道板膨胀上拱,则轨道板上拱离缝值会增大。

[0062] 一个射频识别读取器可以与多个免电源传感器组件通信连接,从而读取多个免电源传感器组件的传感数据,且射频识别读取器位于轨道板外,不会受轨道板影响,即使免电源传感器组件损坏,射频识别读取器仍然可以使用,仍然可以接收其它免电源传感器组件采集的传感数据,不影响其它免电源传感器组件工作。

[0063] 具体地,射频识别技术(Radio Frequency Idenfication,RFID)是非接触的自动识别技术,利用射频信号和空间耦合(电感或电磁耦合)或雷达反射的传输特性,实现数据传输。

[0064] 免电源传感器组件没有连接电源,不需要电源供电,而是通过射频识别读取器为免电源传感器组件供电。高速铁路无砟轨道板运营环境常伴有电磁干扰,这些电磁干扰不会直接影响免电源的传感器组件的正常工作。需要监测的地区常地处偏远,维护不便,采用免供电的传感器组件时,不会出现电源供电故障,因此,免电源的传感器组件的维护更少。

[0065] 具体地,传感元件是指测量所述轨道板上传感数据的元件,传感元件采集的传感数据经过信号调制器20调制,然后发送至微控制器30,并由微控制器30发送给射频天线模块40,由射频天线模块40发射出去。射频识别读取器则可以读取到免电源传感器组件采集的传感数据,以便通过传感数据,确定轨道板上拱变形状。

[0066] 所述传感元件包括:压力传感元件、应变传感元件11或位移传感元件12中的至少一种。具体地,可以采用压力传感元件、应变传感元件11或位移传感元件12测量轨道板的传感数据。当然免电源传感器组件还可以包括温度传感器50,与所述微控制器30连接,从而实现温度的监测。

[0067] 在本发明实施例的一个较佳实现方式中,如图1-图3所示,所述射频天线模块40包括:

[0068] 第一芯片U1,设置有两个射频引脚(RF+,RF-);

[0069] 一对第一天线41,分别与两个所述射频引脚(RF+,RF-)连接。

[0070] 具体地,第一芯片U1的型号为R102Q16,第一天线41连接在第一芯片U1的射频引脚(RF+,RF-)上,第一天线41可以接收射频识别读取器发出的射频信号,并转化为电能为免电源传感器组件供电。免电源传感器组件得电后,可以通过传感元件采集传感数据,并通过第一天线41发送出去,从而被射频识别读取器读取到,实现传感数据的采集,以便确定轨道板上拱变形状态,对轨道板进行监测。

[0071] 具体地,一对第一天线41采用偶极子天线,两个第一天线41分别朝向两个相反方向,且两个第一天线41对称设置。一个第一天线41通过电感LM1连接在射频引脚RF-上,另一个第一天线41通过电感LM2连接在射频引脚RF+上。两个第一天线41之间还设置有电容CM,电容CM的两端分别连接两个第一天线41。

[0072] 在本发明实施例的一个较佳实现方式中,如图1-图3所示,所述第一天线41呈扇形或S形。

[0073] 具体地,采用S形天线时,天线更紧凑,具有更好的全向性和阻抗匹配。采用扇形天线时,具有更好的全向性和阻抗匹配,且通信距离更远。

[0074] 在本发明实施例的一个较佳实现方式中,如图1-图3所示,所述第一芯片U1还设置有电源引脚VREGL,以及若干个第一数据传输引脚;所述微控制器30包括:

[0075] 第一电容(C14,C5),所述第一电容(C14,C5)的第一端接地,所述第一电容(C14,C5)的第二端与所述电源引脚VREGL连接;

[0076] 第二芯片U2,设置有正数字电源电压引脚DVCC,数字电路地引脚DVSS,以及若干个第二数据传输引脚;

[0077] 其中,所述正数字电源电压引脚DVCC与所述电源引脚VREGL连接;

[0078] 所述数字电路地引脚DVSS接地;

[0079] 若干个所述第二数据传输引脚与若干个所述第一数据传输引脚一一对应连接。

[0080] 具体地,第一芯片U1上设置有电源引脚VREGL,通过电源引脚VREGL输出电能。第一芯片U1上还设置有若干个第一数据传输引脚,第一数据传输引脚包括:串行时钟线(SCK)引脚、主机输入/从机输出数据线(MISO)引脚、主机输出/从机输入数据线(MOSI)引脚、从机片选信号(CS)引脚。如图所示,电源引脚为VREGL引脚,串行时钟线引脚为SCK/EV2/BP2引脚,主机输入/从机输出数据线引脚为MISO/EV0/BP0引脚,主机输出/从机输入数据线引脚为MOSI/EV1/BP1引脚,从机片选信号引脚为CS/EV3/BP3引脚。

[0081] 第一电容(C14,C5)的两端分别连接电源引脚VREGL和接地,第一电容(C14,C5)可以设置一个或多个,例如,设置两个第一电容(C14,C5)。第二芯片U2的型号为MSP430FR2433IRGET。第二芯片U2设置有正数字电源电压引脚DVCC(即DVCC引脚)、数字电路地引脚DVSS(即DVSS引脚)以及若干个第二数据传输引脚,第二数据传输引脚与第一数据传输引脚一一对应连接设置。如图所示,第二数据传输引脚包括:串行时钟线(SCK)引脚、主机输入/从机输出数据线(MISO)引脚、主机输出/从机输入数据线(MOSI)引脚、从机片选信号(CS)引脚。如图所示,第二数据传输引脚中,串行时钟线引脚为P2\_4/UCA1CLK引脚,主机输入/从机输出数据线引脚为P2\_5/UCA1RXD/UCA1SOMI引脚,主机输出/从机输入数据线引脚为P2\_6/UCA1TXD/UCA1SIM0引脚,从机片选信号引脚为P2\_3引脚。

[0082] 第一天线41接收到的射频信号中嵌入的数据被第一芯片U1解码,并通过第一数据传输引脚传输至第二芯片U2。第二芯片U2将传感元件输出的电信号转换成数字信号并传输至第一芯片U1,并通过第一芯片U1的第一天线41传输至射频识别读取器。

[0083] 在本发明实施例的一个较佳实现方式中,如图1-图3所示,所述第二芯片U2还设置有电压输入引脚VOUT\_AMP、电压放大器引脚VAMP;所述信号调制器20包括:

[0084] 第三芯片U3,设置有电压正极引脚V+、电压输出引脚VOUT、电压负极引脚V-、电压输入正极引脚VIN+以及电压输入负极引脚VIN-;

[0085] 第二电容C6,所述第二电容C6的第一端与所述电压输入正极引脚VIN+连接,所述第二电容C6的第二端与所述电压输入负极引脚VIN-连接;

[0086] 第三电容C3,所述第三电容C3的第一端与所述电压输出引脚VOUT连接,所述第三电容C3的第二端接地;

[0087] 第一电阻R5,所述第一电阻R5的第一端与所述电压输入负极引脚VIN-连接,所述第一电阻R5的第二端与所述传感元件的第三端口连接;

[0088] 第二电阻R8,所述第二电阻R8的第一端与所述电压输入正极引脚VIN+连接,所述第二电阻R8的第二端与所述传感元件的第四端口连接;

[0089] 第一瞬态抑制二极管D3,所述第一瞬态抑制二极管D3的第一端与所述第一电阻R5的第二端连接,所述第一瞬态抑制二极管D3的第二端接地;

[0090] 第二瞬态抑制二极管D4,所述第二瞬态抑制二极管D4的第一端与所述第二电阻R8的第二端连接,所述第二瞬态抑制二极管D4的第二端接地;

[0091] 其中,所述电压正极引脚V+与所述电压放大器引脚VAMP连接;

[0092] 所述电压输出引脚VOUT与所述电压输入引脚VOUT\_AMP连接;

[0093] 所述电压负极引脚V-接地。

[0094] 具体地,第二芯片U2上设置有电压输入引脚VOUT\_AMP(即P1\_6/UCA0CLK/TA1CLK/TD1/TCLK/A6引脚),以及电压放大器引脚VAMP(即P1\_7/UCA0STE/SMCLK/TDO/A7引脚)。第二芯片U2通过电压放大器引脚VAMP为第三芯片U3提供电能,并通过电压放大器引脚VAMP接收第三芯片U3发出的传感数据的电信号。第三芯片U3的型号为INA333AI。第三芯片U3上设置有电压正极引脚V+(即V+引脚)、电压输出引脚VOUT(即VOUT引脚)、电压负极引脚V-(即V-引脚)、电压输入正极引脚VIN+(即VIN+引脚)以及电压输入负极引脚VIN-(即VIN-引脚)。V+引脚连接P1\_7/UCA0STE/SMCLK/TDO/A7引脚,VOUT引脚连接P1\_6/UCA0CLK/TA1CLK/TD1/TCLK/A6引脚,V-引脚接地。第三芯片U3上还设置有参考电源引脚,参考电源引脚接地。

[0095] 第二电容C6的两端分别连接VIN+引脚和VIN-引脚。第三电容C3的两端分别连接VOUT引脚和接地。第一电阻R5的两端分别连接VIN-引脚和传感元件的第三端口。第二电阻R8的两端分别连接VIN+引脚和传感元件的第四端口。第一瞬态抑制二极管D3(Transient Voltage Suppressor,TVS)的型号为TPD1E10B06DPYR,第一瞬态抑制二极管D3的两端分别连接第一电阻R5的第二端(或传感元件的第三端口)和接地。第二瞬态抑制二极管D4的型号为TPD1E10B06DPYR,第二瞬态抑制二极管D4的两端分别连接第二电阻R8的第二端(或传感元件的第四端口)和接地。

[0096] 第三芯片U3以高共模噪声抑制放大来自传感器元件的小电压变化,并馈送到第二芯片U2转换成数字信号。

[0097] 在本发明实施例的一个较佳实现方式中,如图1-图3所示,所述传感元件包括:应变传感元件11;

[0098] 所述应变传感元件11的第一端口接地,所述应变传感元件11的第二端口与所述位移传感元件12的第二端口连接,所述应变传感元件11的第三端口与所述第一电阻R5的第二端连接,所述应变传感元件11的第四端口与所述第二电阻R8的第二端连接。

[0099] 具体地,应变传感元件11的第一端口接地,应变传感元件11的第三端口连接第一电阻R5的第二端,应变传感元件11的第四端口连接第二电阻R8的第二端。应变传感元件11将传感元件上应变的变化转换为电阻变化。

[0100] 在本发明实施例的一个较佳实现方式中,如图1-图3所示,所述传感元件还包括:位移传感元件12;

[0101] 所述位移传感元件12的第一端口通过第三电阻R9接地,所述位移传感元件12的第三端口与所述第一电阻R5的第二端连接,所述位移传感元件12的第四端口与所述第二电阻R8的第二端连接,所述位移传感元件12的第五端口接地。

[0102] 具体地,位移传感元件12的第一端口连接第三电阻R9的第一端,第三电阻R9的第二端接地,位移传感元件12的第二端口与应变传感元件11的第二端口连接,位移传感元件12的第四端口连接第二电阻R8的第二端,位移传感元件12的第五端口接地。

[0103] 在本发明实施例的一个较佳实现方式中,如图1-图3所示,所述免电源传感器组件

还包括：

- [0104] 编程和调试模块,与所述第二芯片U2连接。
- [0105] 具体地,通过编程和调试模块对免电源传感器组件进行编程和调试。第二芯片U2还设置有复位引脚/RST、测试引脚TEST、通用异步串行口接收数据引脚UART\_RXD以及P1.4引脚;编程和调试模块包括:
  - [0106] 第四电阻R1,第四电阻R1的第一端连接所述电源引脚VREGL,第四电阻R1的第二端连接复位引脚/RST;
  - [0107] 第四电容C4,第四电容C4的第一端连接所述第四电阻R1的第二端,第四电容C4的第二端接地,
  - [0108] 第一继电器J1,第一继电器J1的第一端口接地,第一继电器J1的第二端口与电源引脚VREGL连接,第一继电器J1的第三端口与复位引脚/RST连接,第一继电器J1的第四端口与测试引脚TEST连接;
  - [0109] 排针插接件CONN2,排针插接件CONN2的第一端口接地,排针插接件CONN2的第二端口用于连接+5V测试电源,排针插接件CONN2的第三端口与电源引脚VREGL连接,排针插接件CONN2的第四端口与通用异步串行口接收数据引脚UART\_RXD连接,排针插接件CONN2的第六端口与复位引脚/RST连接,排针插接件CONN2的第七端口与测试引脚TEST连接;
  - [0110] 第二继电器J3,第二继电器J3的第一端口与传感元件的第二端口连接,第二继电器J3的第二端口与P1.4引脚连接,第二继电器J3的第一端口与第二继电器J3的第二端口连接,第二继电器J3的第三端口与排针插接件CONN2的第五端口连接,并作为用异步串行口发送数据引脚UART\_TXD引脚。
- [0111] 在本发明实施例的一个较佳实现方式中,如图1-图3所示,所述射频识别读取器包括:
  - [0112] 控制单元;
  - [0113] 射频模块,与所述控制单元连接;
  - [0114] 第二天线,与所述射频模块连接。
- [0115] 具体地,控制单元包括ASIC组件和微处理器,控制单元控制射频模块发出射频信号传送给第二天线,由第二天线发射出去。免电源传感器组件接收到射频信号后,提取工作所需电能。免电源传感器组件通电后,则可以进行传感数据采集。
- [0116] 在本发明实施例的一个较佳实现方式中,所述系统还包括:
- [0117] 计算机,与所述射频识别读取器通信连接。
- [0118] 具体地,为了对轨道板的传感数据进行处理,采用计算机与射频识别读取器连接,射频识别读取器可以将读取的轨道板的传感数据发送给计算机,通过计算机进行处理得到监测结果。
- [0119] 在本发明实施例的一个较佳实现方式中,所述系统还包括:
- [0120] 服务器,与所述计算机通信连接;
- [0121] 终端,与所述服务器通信连接。
- [0122] 具体地,为了更方便的实时监测轨道板,采用服务器与计算机通信连接,且终端与服务器通信连接,则计算机可以将读取的传感数据和监测结果经服务器发送至终端,则用户通过终端可以远程获取传感数据和监测结果。。

[0123] 如图4和图5所示,为了对智能免供电无砟轨道板上拱变形状态监测方法进行测试,分别用系统的传感器和百分尺进行测量,两者测量数据相一致。此外,对轨道板进行震动或淋水,采用百分尺测量时,得到的数据较分散,数据准确性较低。而采用系统的传感器进行测量时,可以得到更多、更准确的数据。

[0124] 本发明的智能免供电无砟轨道板上拱变形状态监测方法具有如下技术效果:

[0125] 1、精高精度测果监测结果。由于轨道板上拱离缝量与轨道不平顺直接联系,因此对其精确测量十分必要。本系统采用先进传感技术,设计上拱离缝量测量精度为0.5 mm。

[0126] 2、免电源传感器组件。高速铁路无砟轨道板运营环境常伴有电磁干扰,会直接影响多数设备的正常工作,且需要监测的地区常地处偏远,工作人员维护不便。因此,综合以上两点,本系统采用免电源传感器组件进行数据采集与传输。

[0127] 3、现测维实现预测性维护。基于本系统为客户实施状态检修与预测性维护提供数据依据。

[0128] 4、自化测监全自动化监测与监控。本系统利用自主研发人工智能算法,实现对监测对象状态实时推送至指定客户以及系统自身的智能监控。

[0129] 5、本系统组成模块化、成本低廉。本系统通过自主研发充分实现系统设备的模块化,系统组成简单,成本低廉。

[0130] 基于上述任意一实施例所述的智能免供电无砟轨道板上拱变形状态监测系统,本发明提供了一种智能免供电无砟轨道板上拱变形状态监测方法的一些实施例。

[0131] 如图6所示,本发明中智能免供电无砟轨道板上拱变形状态监测方法,包括如下步骤:

[0132] 步骤S100、获取第一时刻的轨道板上拱离缝值以及第二时刻的轨道板上拱离缝值;其中,所述第二时刻为所述第一时刻的下一时刻。

[0133] 具体地,这里的时刻是指传感器组件采样时间点,第一时刻和第二时刻为相邻两个采样时间点,可以根据需要设置相邻两个采样时间点之间的间隔。例如,随着使用时间的延长,缩短相邻两个采样时间点之间的间隔。

[0134] 随着轨道板使用时间的延长,轨道板上拱离缝值会改变,如果轨道板上拱离缝值过大,则表明轨道板可能出现上拱病害。具体对相邻两个时刻的轨道板上拱离缝值,来判断轨道板是否出现上拱病害,从而进行预警。

[0135] 步骤S200、基于轨道板拱起监测数据贝叶斯动态线性模型和所述第一时刻的轨道板上拱离缝值进行预测,得到第二时刻的轨道板上拱离缝预测值概率分布。

[0136] 具体地,随着轨道板的使用时间的延长,轨道板上拱离缝值本身会少量变化,这种少量变化符合一定的规律,并不会有上拱病害。因此,可以建立轨道板拱起监测数据贝叶斯动态线性模型,基于该模型,在第一时刻的轨道板上拱离缝值的基础上,对第二时刻的轨道板上拱离缝值进行预测,得到第二时刻的轨道板上拱离缝预测值概率分布。当然,由于轨道板上拱离缝值本身会少量变化,因此,第二时刻的轨道板上拱离缝预测值概率分布并不会偏离第一时刻的轨道板上拱离缝值过多。

[0137] 轨道板拱起监测数据贝叶斯动态线性模型由两个基本方程组成:测量方程和状态方程

[0138] 测量方程:  $y_t = F_t' \theta_t + v_t, \quad v_t \sim N[0, V_t] \quad (1a)$

[0139] 状态方程:  $\theta_t = G_t \theta_{t-1} + \omega_t$ ,  $\omega_t \sim N[0, W_t]$  (1b)

[0140] 其中,  $y_t$  表示  $t$  时刻的轨道板上拱离缝值, 具体为  $(m \times 1)$  维;  $\theta_t$  表示未知的状态向量, 具体为  $(p \times 1)$  维;  $\theta_{t-1}$  表示  $t-1$  时刻的状态向量, 具体为  $(p \times 1)$  维;  $F_t$  为  $(p \times m)$  维系数矩阵, 用于描述测量数据与状态之间的关系,  $(\cdot)'$  表示转置;  $G_t$  为  $(p \times p)$  维系数矩阵, 用于描述相邻时刻状态之间的关系;  $\nu_t$  是  $t$  时刻的测量误差,  $\alpha_t$  表示  $t$  时刻状态变化的随机误差, 两个误差服从均值为零且方差分别为  $V_t$  和  $W_t$  的高斯分布, 即  $N[0, V_t]$  和  $N[0, W_t]$ 。

[0141] 步骤S200具体包括:

[0142] 步骤S210、根据所述第一时刻的轨道板上拱离缝值, 确定第一时刻的状态参数的后验分布。

[0143] 步骤S220、根据所述状态方程和所述第一时刻的状态参数的后验分布, 确定第二时刻的状态参数的先验分布。

[0144] 步骤S230、根据所述测量方程和所述第二时刻的状态参数的先验分布, 确定第二时刻的轨道板上拱离缝预测值概率分布。

[0145] 具体地, 假定第一时刻(即  $t-1$  时刻)的状态参数的后验分布为  $P(\theta_{t-1}|D_{t-1}) = N(m_{t-1}, C_{t-1})$ , 基于状态方程(1b)可知第二时刻(即  $t$  时刻)的状态参数的先验分布  $P(\theta_t|D_{t-1}) = N(\alpha_t, R_t)$ , 其中, 均值  $\alpha_t$  和方差  $R_t$  如下:

$$\alpha_t = E[\theta_t|D_{t-1}] = G_t m_{t-1} \quad (2a)$$

[0146]

$$R_t = Var[\theta_t|D_{t-1}] = G_t C_{t-1} G_t' + W_t \quad (2b)$$

[0147] 其中,  $D_{t-1}$  表示第一时刻的信息状态;  $W_t$  为状态方程中随机误差的方差,  $E[\cdot]$  表示求均值符号,  $\theta_t$  表示第二时刻的状态向量,  $G_t$  表示系数矩阵,  $m_{t-1}$  表示第一时刻状态参数均值,  $Var[\cdot]$  表示求方差符号,  $C_{t-1}$  表示第一时刻状态参数方差。

[0148] 基于测量方程(1a), 得到第二时刻的轨道板上拱离缝预测值概率分布  $P(y_t|D_{t-1}) = N(f_t, Q_t)$ , 其中, 均值  $f_t$  和方差  $Q_t$  如下:

$$f_t = E[y_t|D_{t-1}] = F_t' \alpha_t \quad (3a)$$

[0149]

$$Q_t = Var[y_t|D_{t-1}] = F_t R_t F_t' + V_t \quad (3b)$$

[0150] 其中,  $V_t$  表示状态方程中测量误差的方差。

[0151] 所述第一时刻的状态参数的后验分布采用如下步骤得到:

[0152] A100、将正态分布作为上一时刻的状态参数的后验分布。

[0153] A200、根据所述上一时刻的状态参数的后验分布和状态方程, 得到下一时刻的状态参数先验分布。

[0154] A300、根据所述下一时刻的状态参数先验分布和下一时刻的轨道板上拱离缝值, 得到下一时刻的状态参数的后验分布。

[0155] A400、将所述下一时刻的状态参数的后验分布作为上一时刻的状态参数的后验分

布,并继续执行根据所述上一时刻的状态参数的后验分布和状态方程,得到下一时刻的状态参数先验分布的步骤,直至达到第一时刻时,得到第一时刻的状态参数的后验分布。

[0156] 具体地,  $t = 0$  时, 给定初始信息  $D_0$ , 初始状态参数假定服从正态分布

$$[0157] P(\theta_0|D_0) \sim N(m_0, C_0) \quad (4)$$

[0158] 其中,  $m_0$  和  $C_0$  为状态参数的初始均值和方差。将该正态分布作为上一时刻的状态参数的后验分布。

[0159]  $t = 1$  时, 即下一时刻时, 得到下一时刻的状态参数先验分布

$$P(\theta_1|D_0) \sim N(\alpha_1, R_1), \text{ 其中, } \alpha_1 = E[\theta_1|D_0] = G_1 m_0, R_1 = Var[\theta_1|D_0] = G_1 C_0 G_1' + W_1.$$

[0160] 在得到下一时刻的轨道板上拱离缝值  $y_1$  后, 则可以得到下一时刻的状态参数的后验分布  $P(\theta_1|D_1) \sim N(m_1, C_1)$ , 其中, 均值  $m_1$  和方差  $C_1$  如下:

$$\begin{aligned} m_1 &= \alpha_1 + A_1 e_1 \\ C_1 &= R_1 - A_1 A_1' Q_1 \\ e_1 &= y_1 - f_1 \\ A_1 &= R_1 F_1 / Q_1 \end{aligned}$$

[0162] 然后, 将  $P(\theta_1|D_1) \sim N(m_1, C_1)$  作为上一时刻的状态参数的后验分布。

[0163]  $t = 2$  时, 即下一时刻时, 得到下一时刻的状态参数先验分布

$$P(\theta_2|D_1) \sim N(\alpha_2, R_2), \text{ 其中, } \alpha_2 = E[\theta_2|D_1] = G_2 m_1, R_2 = Var[\theta_2|D_1] = G_2 C_1 G_2' + W_2.$$

[0164] 在得到下一时刻的轨道板上拱离缝值  $y_2$  后, 则可以得到下一时刻的状态参数的后验分布  $P(\theta_2|D_2) \sim N(m_2, C_2)$ , 其中, 均值  $m_2$  和方差  $C_2$  如下:

$$\begin{aligned} m_2 &= \alpha_2 + A_2 e_2 \\ C_2 &= R_2 - A_2 A_2' Q_2 \\ e_2 &= y_2 - f_2 \\ A_2 &= R_2 F_2 / Q_2 \end{aligned}$$

[0166] 然后, 将  $P(\theta_2|D_2) \sim N(m_2, C_2)$  作为上一时刻的状态参数的后验分布。

[0167] 依次类推,  $t - 1$  时, 即第一时刻时, 得到第一时刻的状态参数先验分布

$$P(\theta_{t-1}|D_{t-2}) \sim N(\alpha_{t-1}, R_{t-1}), \text{ 其中, } \alpha_{t-1} = E[\theta_{t-1}|D_{t-2}] = G_{t-1} m_{t-2},$$

$$R_{t-1} = Var[\theta_{t-1}|D_{t-2}] = G_{t-1} C_{t-2} G_{t-1}' + W_{t-1}.$$

[0168] 在得到第一时刻的轨道板上拱离缝值  $y_{t-1}$  后, 则可以得到第一时刻的状态参数的后验分布  $P(\theta_{t-1}|D_{t-1}) \sim N(m_{t-1}, C_{t-1})$ , 其中, 均值  $m_{t-1}$  和方差  $C_{t-1}$  如下:

$$\begin{aligned} m_{t-1} &= \alpha_{t-1} + A_{t-1} e_{t-1} \\ C_{t-1} &= R_{t-1} - A_{t-1} A_{t-1}' Q_{t-1} \\ e_{t-1} &= y_{t-1} - f_{t-1} \\ A_{t-1} &= R_{t-1} F_{t-1} / Q_{t-1} \end{aligned}$$

[0170] 步骤S300、根据所述第二时刻的轨道板上拱离缝预测值概率分布和所述第二时刻

的轨道板上拱离缝值,确定第二时刻对应的贝叶斯因子。

[0171] 具体地,通过第二时刻的轨道板上拱离缝预测值概率分布和第二时刻的轨道板上拱离缝值,得到第二时刻对应的贝叶斯因子。将第二时刻的轨道板上拱离缝预测值概率分布  $P(y_t|D_{t-1}) \sim N(f_t, Q_t)$ , 记为  $M_0$ , 并对第二时刻的轨道板上拱离缝预测值概率分布  $P(y_t|D_{t-1}) \sim N(f_t, Q_t)$  进行平移得到异常分布,记为  $M_1$ , 平移的距离为  $h$ 。

[0172] 所述第二时刻对应的贝叶斯因子为:

$$[0173] H_t = \frac{p(y_t|D_{t-1}, M_1)}{p(y_t|D_{t-1}, M_0)}$$

[0174] 其中,  $H_t$  表示第二时刻对应的贝叶斯因子,  $y_t$  表示第二时刻的轨道板上拱离缝值,  $D_{t-1}$  表示第一时刻的信息状态,  $M_0$  表示第二时刻的轨道板上拱离缝预测值概率分布,  $M_1$  表示第二时刻的轨道板上拱离缝预测值概率分布平移得到的异常分布,  $p(\cdot)$  表示概率,  $t$  表示第二时刻。

[0175] 步骤S400、根据所述第二时刻对应的贝叶斯因子,进行异常值预警。

[0176] 具体地,得到第二时刻对应的贝叶斯因子后,根据第二时刻对应的贝叶斯因子,进行异常值预警。

[0177] 步骤S400具体包括:

[0178] 步骤S410、当所述第二时刻对应的贝叶斯因子大于异常值阈值时,发出异常值预警。

[0179] 由于第二时刻对应的贝叶斯因子大于异常值阈值,表明第二时刻下轨道板出现异常,则发出异常值预警。异常值阈值可以根据需要进行设置,例如,异常值阈值  $H_{\text{max}} = 10$ 。

[0180] 当然,为了进一步明确轨道板的异常的程度,设置多个阈值,如,1、3、10、30、100等。具体地,  $1 < H_t < 3$  表示轻度,  $3 < H_t < 10$  表示较轻度,  $10 < H_t < 30$  表示严重,  $30 < H_t < 100$  非常严重,  $H_t > 100$  表示绝对确定轨道板异常。

[0181] 步骤S420、当所述第二时刻对应的贝叶斯因子小于或等于异常值阈值时,继续获取下一时刻的轨道板上拱离缝值。

[0182] 具体地,第二时刻对应的贝叶斯因子小于或等于异常值阈值时,表明第二时刻对应的轨道板上拱离缝值正常,则继续进行监测。

[0183] 步骤S500、获取第二时刻之前历次时刻对应的贝叶斯因子,并根据第二时刻之前历次时刻对应的贝叶斯因子,确定第二时刻下最大累积贝叶斯因子以及所述最大累积贝叶斯因子对应的最佳累积步长。

[0184] 具体地,由于在监测过程中,每一时刻都可以得到该时刻对应的贝叶斯因子,通过该时刻对应的贝叶斯因子仅能判断单点测量的异常,不能判断轨道板是否已经发生永久性变形。因此,本发明通过累积贝叶斯因子(考虑连续多个时刻对应的贝叶斯因子)来检测轨道板发生永久性变形的时刻。在计算累积贝叶斯因子时,并不是将历次时刻对应的贝叶斯因子都纳入累积贝叶斯因子,仅计算一定累积步长(一段时间内)内的累积贝叶斯因子,具体设置一最大步长  $l_{\text{max}}$ , 在该最大步长  $l_{\text{max}}$  内, 计算最大累积贝叶斯因子  $H(l_t)$ , 从而根

据最大累积贝叶斯因子和获得最大累积贝叶斯因子的最佳步长,进行预警。

[0185] 所述最大累积贝叶斯因子为:

$$H(l_t) = \max(H_t(k))$$

[0186]

$$H_t(k) = \prod_{i=t-k+1}^t H_i, \quad k=1, 2, \dots, l_{\max}$$

[0187] 其中,  $H(l_t)$  表示最大累积贝叶斯因子,  $l_t$  表示最佳累积步长,  $H_t(k)$  表示累积步长  $k$  对应的累积贝叶斯因子,  $H_i$  表示历次时刻对应的贝叶斯因子,  $\prod$  表示连乘符号,  $l_{\max}$  表示最大步长,  $t$  表示第二时刻。

[0188] 自第二时刻往前推,将第二时刻之前的  $l_{\max}$  个贝叶斯因子依次进行累积,可以得到  $l_{\max}$  个累积贝叶斯因子,具体为,  $H_t(1), H_t(2), H_t(3), \dots, H_t(k), \dots, H_t(l_{\max})$ 。

$$H_t(1) = H_t, H_t(2) = \prod_{i=t-1}^t H_i = H_{t-1}H_t, H_t(3) = \prod_{i=t-2}^t H_i = H_{t-2}H_{t-1}H_t, \dots;$$

$$H_t(k) = \prod_{i=t-k+1}^t H_i = H_{t-k+1} \cdots H_{t-2}H_{t-1}H_t, \dots, H_t(l_{\max}) = \prod_{i=t-l_{\max}+1}^t H_i = H_{t-l_{\max}+1} \cdots H_{t-2}H_{t-1}H_t。这些$$

累积贝叶斯因子中存在一最大值,即最大累积贝叶斯因子

$H(l_t) = \max(H_t(1), H_t(2), H_t(3), \dots, H_t(k), \dots, H_t(l_{\max}))$ 。需要说明的是,最大步长  $l_{\max}$  的取值,可以根据需要进行设置。

[0189] 步骤S600、根据所述最大累积贝叶斯因子以及所述最佳累积步长,进行异常状态预警。

[0190] 具体地,在得到最大累积贝叶斯因子以及对应的最佳累积步长后,根据最大累积贝叶斯因子以及最佳累积步长,进行异常状态预警。

[0191] 步骤S600具体包括:

[0192] 步骤S610、当所述最大累积贝叶斯因子大于累积贝叶斯因子阈值,且所述最佳累积步长大于累积步长阈值时,发出异常状态预警。

[0193] 具体地,设置累积贝叶斯因子阈值  $H_{\min}$  和累积步长阈值  $l_{\min}$ ,当  $H(l_t) > H_{\min}$  且  $l_t > l_{\min}$  时,发出异常状态预警。累积贝叶斯因子阈值和累积步长阈值可以根据需要进行设置,例如,  $H_{\min} = 10, l_{\min} = 4$ 。

[0194] 步骤S620、当所述最大累积贝叶斯因子小于或等于累积贝叶斯因子阈值,或所述最佳累积步长小于或等于累积步长阈值时,继续获取下一时刻之前历次时刻对应的贝叶斯因子。

[0195] 最大累积贝叶斯因子小于或等于累积贝叶斯因子阈值,或最佳累积步长小于或等于累积步长阈值时,表明轨道板并没有处于异常状态,则继续监测。

[0196] 步骤S700、将发出异常状态预警的时刻作为异常时刻,根据所述异常时刻的轨道板上拱离缝值以及所述异常时刻上一时刻的轨道板上拱离缝值,确定损伤的概率。

[0197] 具体地,为了进一步确定轨道板是损伤程度,发出异常状态预警时,将发出异常状态预警的时刻作为异常时刻,并根据异常时刻的轨道板上拱离缝值以及异常时刻上一时刻的轨道板上拱离缝值,确定损伤的概率。

[0198] 所述损伤的概率为:

$$p(H_1|D) = \frac{B_{10}}{1 + B_{10}}$$

[0199]

$$B_{10} = \frac{P(D|H_1)}{P(D|H_0)}$$

[0200] 其中,  $p(H_1|D)$  表示损伤的概率,  $B_{10}$  表示代替假设  $H_1$  的信任度, 假设  $H_0$  表示轨道板是健康的, 代替假设  $H_1$  表示轨道板是损坏的,  $D$  表示异常时刻的信息状态,  $P(\cdot)$  表示概率分布。

[0201]  $B_{10} \rightarrow 0$  表示对替代假设有0%的信任度,  $B_{10} \rightarrow \infty$  表示对替代假设有100%的信任度。损伤的概率越大表明损伤程度可能越大,损伤的概率越小表明损伤程度可能越小。

[0202] 通过轨道板拱起监测数据贝叶斯动态线性模型以及第一时刻轨道板上拱离缝值预测,得到第二时刻的轨道板上拱离缝预测值概率分布,然后根据第二时刻的轨道板上拱离缝预测值概率分布和第二时刻的轨道板上拱离缝值,确定第二时刻对应的贝叶斯因子,从而可以根据第二时刻对应的贝叶斯因子,进行异常值预警。从而实现轨道板的监测,确保监测效果较佳。

[0203] 基于上述任意一实施例所述的智能免供电无砟轨道板上拱变形状态监测方法,本发明还提供了一种计算机设备的一些实施例。

[0204] 本发明的计算机设备,包括存储器和处理器,所述存储器存储有计算机程序,所述处理器执行所述计算机程序时实现如下步骤:

[0205] 获取第一时刻的轨道板上拱离缝值以及第二时刻的轨道板上拱离缝值;其中,所述第二时刻为所述第一时刻的下一时刻;

[0206] 基于轨道板拱起监测数据贝叶斯动态线性模型和所述第一时刻的轨道板上拱离缝值进行预测,得到第二时刻的轨道板上拱离缝预测值概率分布;

[0207] 根据所述第二时刻的轨道板上拱离缝预测值概率分布和所述第二时刻的轨道板上拱离缝值,确定第二时刻对应的贝叶斯因子;

[0208] 根据所述第二时刻对应的贝叶斯因子,进行异常值预警。

[0209] 基于上述任意一实施例所述的智能免供电无砟轨道板上拱变形状态监测方法,本发明还提供了一种计算机可读存储介质的一些实施例。

[0210] 本发明的计算机设备,包括存储器和处理器,其上存储有计算机程序,所述计算机程序被处理器执行时实现如下步骤:

[0211] 获取第一时刻的轨道板上拱离缝值以及第二时刻的轨道板上拱离缝值;其中,所

述第二时刻为所述第一时刻的下一时刻；

[0212] 基于轨道板拱起监测数据贝叶斯动态线性模型和所述第一时刻的轨道板上拱离缝值进行预测，得到第二时刻的轨道板上拱离缝预测值概率分布；

[0213] 根据所述第二时刻的轨道板上拱离缝预测值概率分布和所述第二时刻的轨道板上拱离缝值，确定第二时刻对应的贝叶斯因子；

[0214] 根据所述第二时刻对应的贝叶斯因子，进行异常值预警。

[0215] 应当理解的是，本发明的应用不限于上述的举例，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，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。

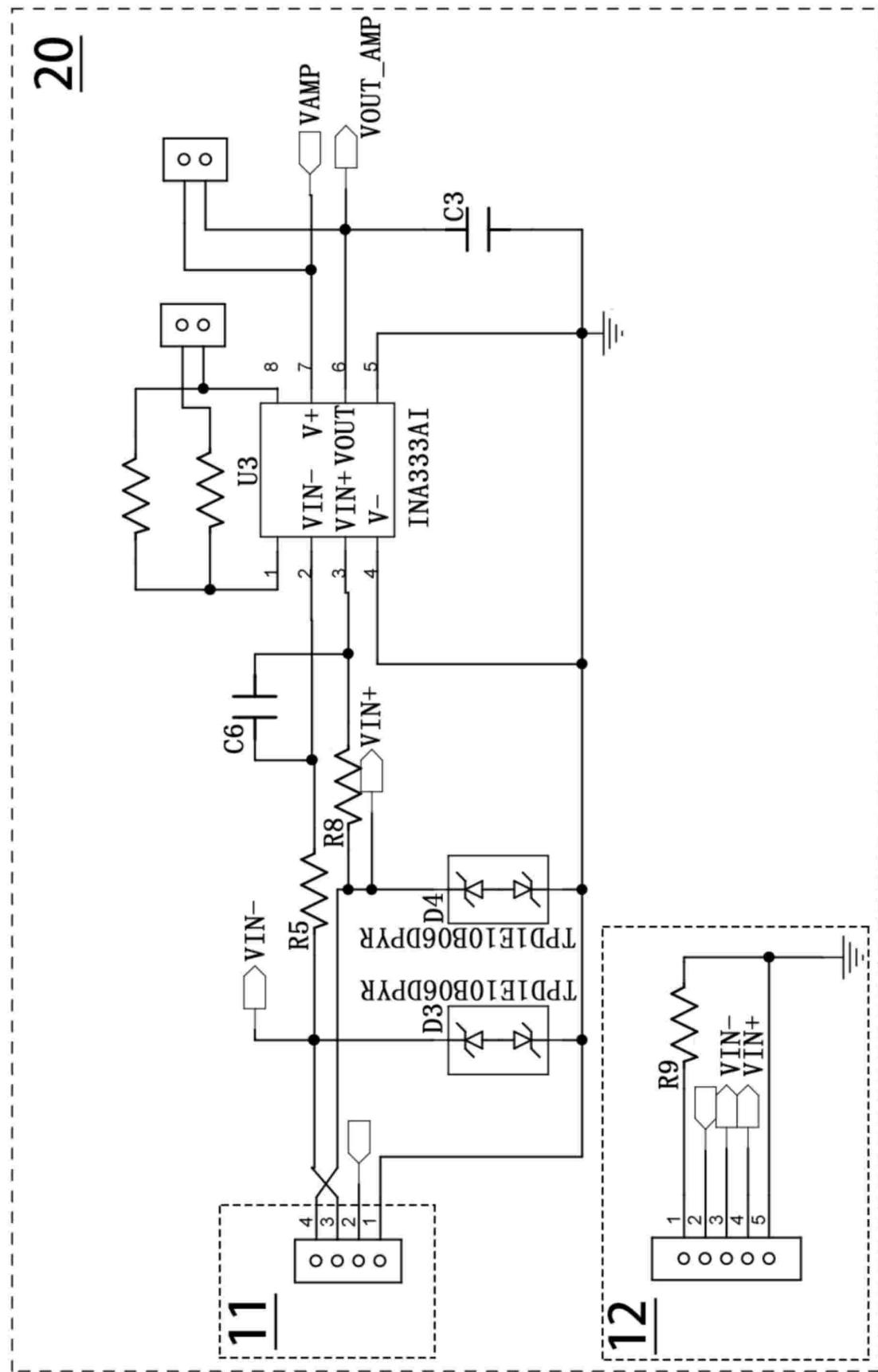


图1

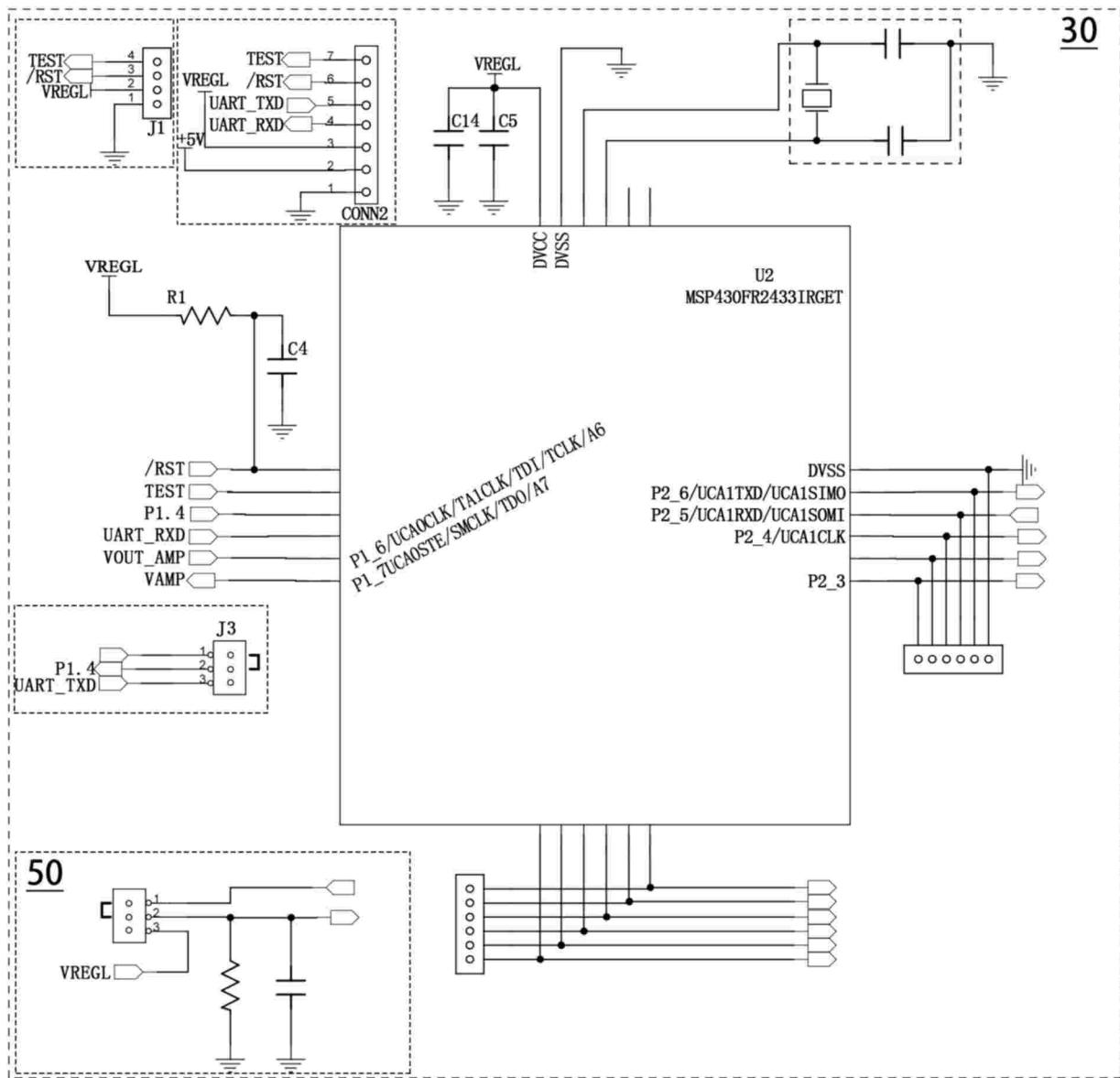


图2

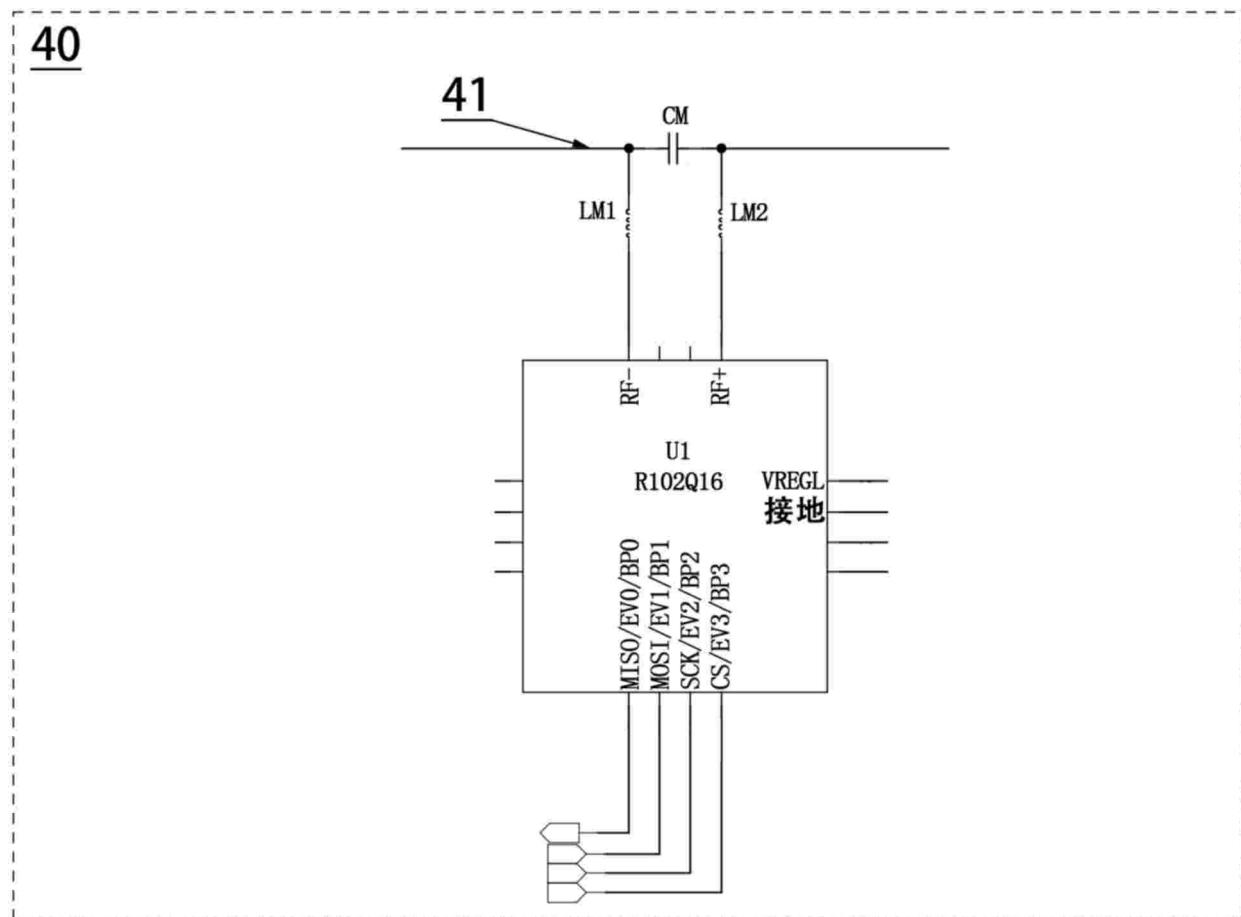


图3

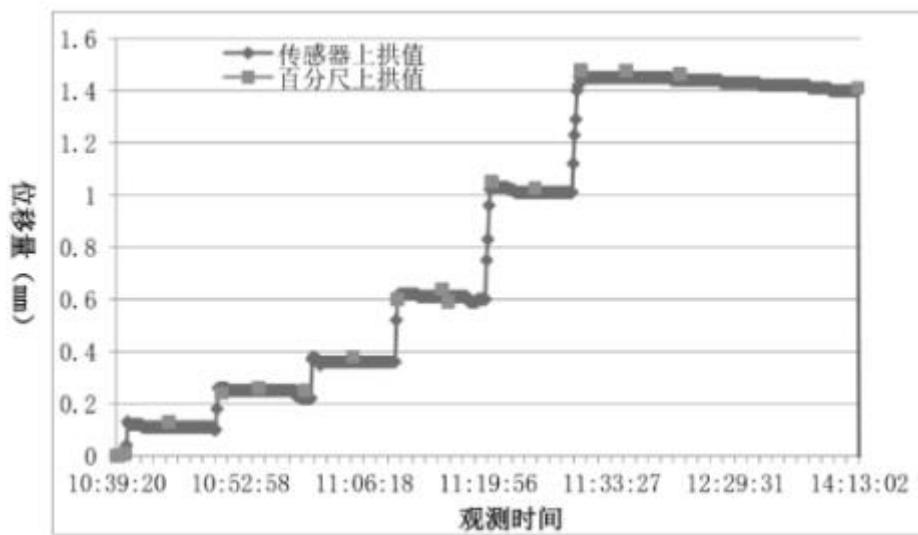


图4

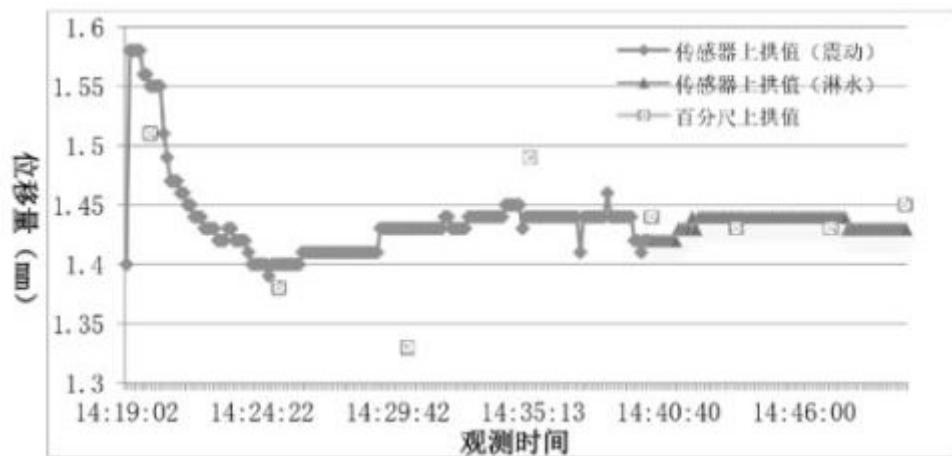


图5

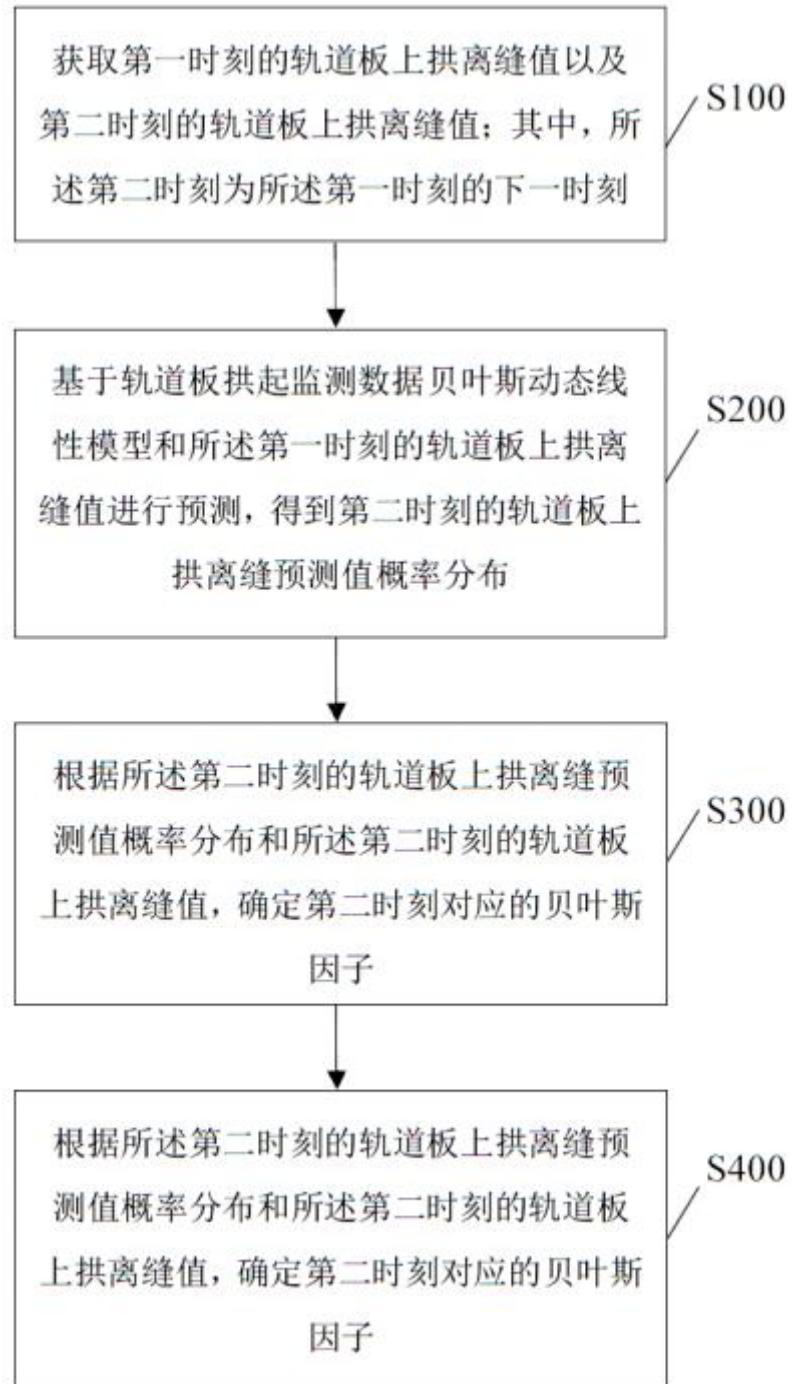


图6