



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113358053 B

(45) 授权公告日 2023.02.24

(21) 申请号 202110461015.8

(22) 申请日 2021.04.27

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 113358053 A

(43) 申请公布日 2021.09.07

(73) 专利权人 中车青岛四方机车车辆股份有限公司
地址 266111 山东省青岛市城阳区锦宏东路88号

(72) 发明人 关岳 李海涛 张志强 薛蔚
李明 姜威

(74) 专利代理机构 北京路浩知识产权代理有限公司 11002
专利代理师 王宇杨

(51) Int.Cl.
G01B 11/24 (2006.01)
B61K 9/08 (2006.01)
G01C 21/16 (2006.01)

(56) 对比文件
CN 109664797 A, 2019.04.23

CN 109664797 A, 2019.04.23

US 2009112487 A1, 2009.04.30

CN 110588709 A, 2019.12.20

CN 104032629 A, 2014.09.10

EP 3431359 A1, 2019.01.23

CN 108032868 A, 2018.05.15

CN 104260754 A, 2015.01.07

CN 111895996 A, 2020.11.06

CN 111461288 A, 2020.07.28

CN 107284473 A, 2017.10.24

CN 107380204 A, 2017.11.24

CN 102337710 A, 2012.02.01

CN 109034192 A, 2018.12.18

CN 112240752 A, 2021.01.19

CN 102521432 A, 2012.06.27

CN 109649433 A, 2019.04.19

CN 110530300 A, 2019.12.03

耿松、柴晓冬、郑树彬. 基于神经网络的轨道车辆振动预测. 《计算机测量与控制》. 2014, 第22卷(第11期), 第3525-3527页.

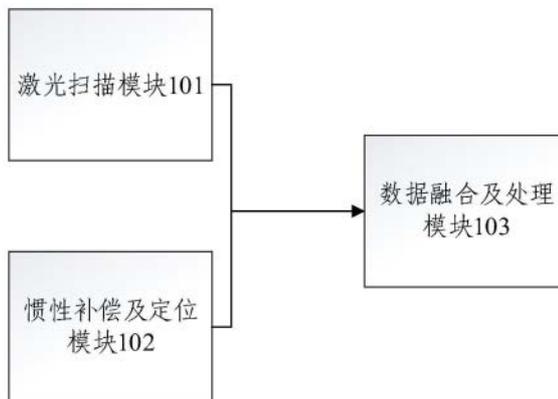
审查员 王冰

权利要求书2页 说明书12页 附图2页

(54) 发明名称
轨道不平顺检测评估系统、方法、电子设备及轨道车辆

(57) 摘要
本发明提供一种轨道不平顺检测评估系统、方法、电子设备及轨道车辆,系统包括:激光扫描模块,惯性补偿及定位模块,数据融合及处理模块;其中,所述激光扫描模块用于扫描目标轨道,得到所述目标轨道的轨道廓形数据;所述惯性补偿及定位模块用于获取所述检测用轨道车辆运行过程中车体的姿态数据、所述检测用轨道车辆的速度信息以及所述检测用轨道车辆的位置信息,并基于所述姿态数据对所述轨道廓形数据进行坐标变换;所述数据融合及处理模块根据经过坐标变换的轨道廓形数据、所述检测用轨道车辆的速度信息以及所述检测用轨道车辆的位置信

息,得到目标轨道的三维数据,并根据所述目标轨道的三维数据,计算所述目标轨道的不平顺值。



CN 113358053 B

1. 一种轨道不平顺检测评估系统,其特征在于,安装在检测用轨道车辆上,系统包括:激光扫描模块(101),惯性补偿及定位模块(102),数据融合及处理模块(103)以及评估模块(104);其中,

所述激光扫描模块(101)用于扫描目标轨道,得到所述目标轨道的轨道廓形数据;

所述惯性补偿及定位模块(102)用于获取所述检测用轨道车辆运行过程中车体的姿态数据、所述检测用轨道车辆的速度信息以及所述检测用轨道车辆的位置信息,并基于所述姿态数据对所述轨道廓形数据进行坐标变换;

所述数据融合及处理模块(103)根据经过坐标变换的轨道廓形数据、所述检测用轨道车辆的速度信息以及所述检测用轨道车辆的位置信息,得到目标轨道的三维数据,并根据所述目标轨道的三维数据,计算所述目标轨道的不平顺值;

所述评估模块(104)用于根据目标轨道的不平顺值、检测用轨道车辆的速度值、检测用轨道车辆的轮对廓形、检测用轨道车辆在目标轨道上的轮轨接触锥度以及目标轨道的不平顺激励波长频率,得到用于反映轨道不平顺评估结果的检测用轨道车辆的振动加速度;

其中,所述检测用轨道车辆的振动加速度基于预先训练的振动加速度计算模型得到,所述预先训练的振动加速度计算模型基于深度神经网络构建。

2. 根据权利要求1所述的轨道不平顺检测评估系统,其特征在于,所述惯性补偿及定位模块(102)包括惯性测量单元、定位单元、测速传感器以及惯性补偿单元;其中,

所述惯性测量单元用于获取所述检测用轨道车辆运行过程中车体的姿态数据;其中,所述姿态数据包括:测试坐标系中的测试基准相对于轨道中心线坐标系中的轨道中心线的摇头角度、侧滚角度、垂向位移以及横向位移;

所述定位单元用于获取所述检测用轨道车辆的位置信息;

所述测速传感器用于获取所述检测用轨道车辆的速度数据;

所述惯性补偿单元根据所述摇头角度、所述侧滚角度、所述垂向位移以及所述横向位移,将所述轨道廓形数据在测试坐标系中的坐标值转换到在所述轨道中心线坐标系中的坐标值。

3. 根据权利要求1或2所述的轨道不平顺检测评估系统,其特征在于,所述评估模块(104)还用于根据目标轨道的不平顺值以及预设的轨道不平顺标准值,对所述目标轨道进行局部峰值评价和区段均值评价。

4. 一种基于权利要求1至3任一项所述的轨道不平顺检测评估系统所实现的轨道不平顺检测评估方法,其特征在于,包括:

获取检测用轨道车辆运行过程中车体的姿态数据、检测用轨道车辆的速度信息以及检测用轨道车辆的位置信息,并基于所述姿态数据对目标轨道的轨道廓形数据进行坐标变换;其中,所述轨道廓形数据是通过扫描目标轨道得到的;

根据所述经过坐标变换的轨道廓形数据、检测用轨道车辆的速度信息以及检测用轨道车辆的位置信息,得到目标轨道的三维数据,并根据所述目标轨道的三维数据,计算所述目标轨道的不平顺值。

5. 根据权利要求4所述的轨道不平顺检测评估方法,其特征在于,在所述计算所述目标轨道的不平顺值的步骤之后,方法还包括:

根据所述目标轨道的不平顺值以及预设的轨道不平顺标准值,对所述目标轨道进行局

部峰值评价和区段均值评价。

6. 根据权利要求4所述的轨道不平顺检测评估方法,其特征在於,在所述计算所述目标轨道的不平顺值的步骤之后,方法还包括:

根据目标轨道的不平顺值、检测用轨道车辆的速度值、检测用轨道车辆的轮对廓形、检测用轨道车辆在目标轨道上的轮轨接触锥度以及目标轨道的不平顺激励波长频率,得到用于反映轨道不平顺评估结果的检测用轨道车辆的振动加速度。

7. 根据权利要求6所述的轨道不平顺检测评估方法,其特征在於,所述根据目标轨道的不平顺值、检测用轨道车辆的速度值、检测用轨道车辆的轮对廓形、检测用轨道车辆在目标轨道上的轮轨接触锥度以及目标轨道的不平顺激励波长频率,得到用于反映轨道不平顺评估结果的检测用轨道车辆的振动加速度,包括:

将检测用轨道车辆的运行速度和轮对廓形、检测用轨道车辆在目标轨道上的轮轨接触锥度、目标轨道的不平顺值、目标轨道的不平顺激励波长频率输入预先训练的振动加速度计算模型,得到检测用轨道车辆的振动加速度;

当检测用轨道车辆的振动加速度满足检测用轨道车辆在目标轨道的当前路段上的振动加速度限值时,结束流程,当不满足时,将其他检测用轨道车辆的运行速度和轮对廓形、其他检测用轨道车辆在目标轨道上的轮轨接触锥度、目标轨道的不平顺值、目标轨道的不平顺激励波长频率输入预先训练的振动加速度计算模型,以重新进行评估;其中,

所述振动加速度计算模型是基于样本检测用轨道车辆的速度值、样本检测用轨道车辆的振动加速度值、样本轮轨接触锥度、样本轨道不平顺值、样本轨道不平顺激励波长频率训练得到的。

8. 一种轨道车辆,其特征在於,包括:权利要求1至3任一项所述的轨道不平顺检测评估系统。

9. 一种电子设备,包括存储器、处理器及存储在所述存储器上并可在所述处理器上运行的计算机程序,其特征在於,所述处理器执行所述程序时实现如权利要求4至7任一项所述轨道不平顺检测评估方法的步骤。

10. 一种非暂态计算机可读存储介质,其上存储有计算机程序,其特征在於,所述计算机程序被处理器执行时实现如权利要求4至7任一项所述轨道不平顺检测评估方法的步骤。

轨道不平顺检测评估系统、方法、电子设备及轨道车辆

技术领域

[0001] 本发明涉及交通技术领域,尤其涉及一种轨道不平顺检测评估系统、方法、电子设备及轨道车辆。

背景技术

[0002] 轨道车辆线路在运行一段时间后,会发生磨损。若轨道打磨保养记录不完善,会导致轨道不平顺信息与线路建成初期的信息相去甚远。一旦要对线路上的轨道车辆进行更新换代,轨道不平顺信息不准确会给新车设计带来巨大的不确定性和安全风险,迫切需要对业主的线路轨道不平顺情况进行调查测定,为车辆动力学设计提供准确输入。

[0003] 现有技术中的线路轨道不平顺测量方法一般采用专用的检测工铁车由人工在轨道上慢速推动,测试轨道的垂向不平顺、横向不平顺、复合不平顺信息,需要的时间周期较长,效率低。

发明内容

[0004] 针对现有技术存在的问题,本发明提供一种轨道不平顺检测评估系统、方法、电子设备及轨道车辆。

[0005] 本发明提供一种轨道不平顺检测评估系统,安装在检测用轨道车辆上,系统包括:激光扫描模块101,惯性补偿及定位模块102,数据融合及处理模块103;其中,

[0006] 所述激光扫描模块101用于扫描目标轨道,得到所述目标轨道的轨道廓形数据;

[0007] 所述惯性补偿及定位模块102用于获取所述检测用轨道车辆运行过程中车体的姿态数据、所述检测用轨道车辆的速度信息以及所述检测用轨道车辆的位置信息,并基于所述姿态数据对所述轨道廓形数据进行坐标变换;

[0008] 所述数据融合及处理模块103根据经过坐标变换的轨道廓形数据、所述检测用轨道车辆的速度信息以及所述检测用轨道车辆的位置信息,得到目标轨道的三维数据,并根据所述目标轨道的三维数据,计算所述目标轨道的不平顺值。

[0009] 根据本发明提供的一种轨道不平顺检测评估系统,所述惯性补偿及定位模块102包括惯性测量单元、定位单元、测速传感器以及惯性补偿单元;其中,

[0010] 所述惯性测量单元用于获取所述检测用轨道车辆运行过程中车体的姿态数据;其中,所述姿态数据包括:测试坐标系中的测试基准相对于轨道中心线坐标系中的轨道中心线的摇头角度、侧滚角度、垂向位移以及横向位移;

[0011] 所述定位单元用于获取所述检测用轨道车辆的位置信息;

[0012] 所述测速传感器用于获取所述检测用轨道车辆的速度数据;

[0013] 所述惯性补偿单元根据所述摇头角度、所述侧滚角度、所述垂向位移以及所述横向位移,将所述轨道廓形数据在测试坐标系中的坐标值转换到在所述轨道中心线坐标系中的坐标值。

[0014] 根据本发明提供的一种轨道不平顺检测评估系统,系统还包括:评估模块104;

[0015] 所述评估模块104用于根据目标轨道的不平顺值以及预设的轨道不平顺标准值,对所述目标轨道进行局部峰值评价和区段均值评价;

[0016] 和/或,所述评估模块104用于根据目标轨道的不平顺值、检测用轨道车辆的速度值、检测用轨道车辆的轮对廓形、检测用轨道车辆在目标轨道上的轮轨接触锥度以及目标轨道的不平顺激励波长频率,得到用于反映轨道不平顺评估结果的检测用轨道车辆的振动加速度。

[0017] 本发明还提供了一种基于所述的轨道不平顺检测评估系统所实现的轨道不平顺检测评估方法,包括:

[0018] 获取检测用轨道车辆运行过程中车体的姿态数据、检测用轨道车辆的速度信息以及检测用轨道车辆的位置信息,并基于所述姿态数据对目标轨道的轨道廓形数据进行坐标变换;其中,所述轨道廓形数据是通过扫描得到的;

[0019] 根据所述经过坐标变换的轨道廓形数据、检测用轨道车辆的速度信息以及检测用轨道车辆的位置信息,得到目标轨道的三维数据,并根据所述目标轨道的三维数据,计算所述目标轨道的不平顺值。

[0020] 根据本发明提供的一种轨道不平顺检测评估方法,在所述计算所述目标轨道的不平顺值的步骤之后,方法还包括:

[0021] 根据所述目标轨道的不平顺值以及预设的轨道不平顺标准值,对所述目标轨道进行局部峰值评价和区段均值评价。

[0022] 根据本发明提供的一种轨道不平顺检测评估方法,在所述计算所述目标轨道的不平顺值的步骤之后,方法还包括:

[0023] 根据目标轨道的不平顺值、检测用轨道车辆的速度值、检测用轨道车辆的轮对廓形、检测用轨道车辆在目标轨道上的轮轨接触锥度以及目标轨道的不平顺激励波长频率,得到用于反映轨道不平顺评估结果的检测用轨道车辆的振动加速度。

[0024] 根据本发明提供的一种轨道不平顺检测评估方法,所述根据目标轨道的不平顺值、检测用轨道车辆的速度值、检测用轨道车辆的轮对廓形、检测用轨道车辆在目标轨道上的轮轨接触锥度以及目标轨道的不平顺激励波长频率,得到用于反映轨道不平顺评估结果的检测用轨道车辆的振动加速度,包括:

[0025] 将检测用轨道车辆的运行速度和轮对廓形、检测用轨道车辆在目标轨道上的轮轨接触锥度、目标轨道的不平顺值、目标轨道的不平顺激励波长频率输入预先训练的振动加速度计算模型,得到检测用轨道车辆的振动加速度;

[0026] 当检测用轨道车辆的振动加速度满足检测用轨道车辆在目标轨道的当前路段上的振动加速度限值时,结束流程,当不满足时,将其他检测用轨道车辆的运行速度和轮对廓形、其他检测用轨道车辆在目标轨道上的轮轨接触锥度、目标轨道的不平顺值、目标轨道的不平顺激励波长频率输入预先训练的振动加速度计算模型,以重新进行评估;其中,

[0027] 所述振动加速度计算模型是基于样本检测用轨道车辆的速度值、样本检测用轨道车辆的振动加速度值、样本轮轨接触锥度、样本轨道不平顺值、样本轨道不平顺激励波长频率训练得到的。

[0028] 本发明还提供了一种轨道车辆,包括:所述的轨道不平顺检测评估系统。

[0029] 本发明还提供了一种电子设备,包括存储器、处理器及存储在所述存储器上并可

在所述处理器上运行的计算机程序,所述处理器执行所述程序时实现如所述轨道不平顺检测评估方法的步骤。

[0030] 本发明还提供了一种非暂态计算机可读存储介质,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所述轨道不平顺检测评估方法的步骤。

[0031] 本发明提供的轨道不平顺检测评估系统、方法、电子设备及轨道车辆,通过二维激光扫描技术与惯性补偿技术的综合使用,可以以较高的时速(如80km/h)完成轨道不平顺检测,测试时间短,测试效率高,同时还解决了如何将测试基准线与轨道基准线统一及如何补偿的问题。

附图说明

[0032] 为了更清楚地说明本发明或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作一简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0033] 图1为本发明提供的轨道不平顺检测评估系统的示意图;

[0034] 图2为本发明提供的轨道不平顺检测评估系统中的激光扫描模块在一个实施例中的示意图;

[0035] 图3为本发明另一实施例提供的轨道不平顺检测评估系统的示意图;

[0036] 图4为本发明提供的轨道不平顺检测评估方法的流程图;

[0037] 图5是本发明提供的电子设备的结构示意图;

[0038] 附图标记:

[0039] 101:激光扫描模块; 102:惯性补偿及定位模块; 103:数据融合及处理模块;

[0040] 104:评估模块; 510:处理器; 520:通信接口;

[0041] 530:存储器; 540:通信总线。

具体实施方式

[0042] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合本发明中的附图,对本发明中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0043] 下面结合图1-图5描述本发明的轨道不平顺检测评估系统、方法、电子设备及轨道车辆。

[0044] 图1为本发明提供的轨道不平顺检测评估系统的示意图,如图1所示,本发明提供的轨道不平顺检测评估系统包括:激光扫描模块101,惯性补偿及定位模块102,数据融合及处理模块103;激光扫描模块101,惯性补偿及定位模块102分别与数据融合及处理模块103连接。

[0045] 激光扫描模块101用于扫描目标轨道,得到目标轨道的轨道廓形数据。在本发明中,目标轨道是指要进行不平顺检测评估的轨道。

[0046] 图2为激光扫描模块在一个实施例中的示意图。如图2所示,激光扫描模块101包括

4个2D激光传感器,这些2D激光传感器安装在检测用轨道车辆的底部,通过激光扫描以及不同2D激光传感器的扫描结果之间的配合,得到目标轨道的完整的轨道廓形数据。

[0047] 激光扫描模块101扫描得到的轨道廓形数据为测试坐标系下目标轨道的轨道廓形的二维坐标尺寸。其中,所述测试坐标系是安装在检测用轨道车辆上并经过标定后确定的初始坐标系,它是以测量前检测用轨道车辆静止时、轨道中心为原点的坐标系。这个坐标系与2D激光传感器的相对位置是不变的,所以在测试过程中即使检测用轨道车辆的姿态发生变化,2D激光传感器的扫描结果在测试坐标系下也不会变化。

[0048] 需要说明的是,本实施例中涉及的检测用轨道车辆是指可安装本发明的轨道不平顺检测评估系统的任意一种轨道车辆,如客运列车、货运列车均可作为检测用轨道车辆。

[0049] 在本发明中,除了测试坐标系外,还涉及轨道中心线坐标系。所述轨道中心线坐标系是指以两条轨道上表面中心点作为原点,平行于轨道的方向为X向,垂直于轨道向上的方向为Z向,垂直于轨道向轨道两侧的方向为Y向。激光扫描模块101扫描得到的轨道廓形数据最终需要转换到轨道中心线坐标系下。

[0050] 惯性补偿及定位模块102用于获取检测用轨道车辆运行过程中车体的姿态,包括角度和位移,并将测试坐标系下测得的数据统一到轨道中心线坐标系下。

[0051] 惯性补偿及定位模块102包括惯性测量单元(Inertial measurement unit,IMU)、定位单元、测速传感器以及惯性补偿单元。

[0052] 惯性测量单元用于得到测试坐标系的测试基准相对于轨道中心线的摇头角度以及侧滚角度。惯性测量单元中包括有X轴向和Z轴向的角速度传感器,通过对X轴向和Z轴向的角速度传感器数据积分,可以获得对应的摇头角度和侧滚角度。惯性测量单元还用于得到测试坐标系的测试基准相对于轨道中心线的垂向位移和横向位移。惯性测量单元中还包有垂向的加速度传感器和横向的加速度传感器,通过对垂向的加速度数据进行积分,可以获得垂向位移,通过对横向的加速度数据进行积分,可以获得横向位移。定位单元用于获取测试基准相对于轨道线路的空间位置,即检测用轨道车辆的空间位置信息。在本发明实施例中,定位单元可采用全球卫星导航定位系统(GNSS)实现。

[0053] 测速传感器用于获取检测用轨道车辆的速度数据。基于测速传感器获得的速度数据,结合在轨道线路上的行驶时间,可以进一步计算出轨道线路的里程信息。

[0054] 惯性补偿单元用于将测试坐标系下测得的数据统一到轨道中心线坐标系下。

[0055] 在之前的描述中已经提到,激光扫描模块101扫描得到的轨道廓形数据是在测试坐标系下的,需要将其转换到轨道中心线坐标系下。惯性补偿单元基于惯性测量单元得到的角度信息(包括摇头角度和侧滚角度)与位移信息(包括垂向位移和横向位移),通过惯性补偿算法,将目标轨道的轨道廓形数据由测试坐标系转换到轨道中心线坐标系下。具体的说,摇头角度、侧滚角度、垂向位移和横向位移完整地描述了测试坐标系相对于轨道中心线坐标系的偏移量,因此,利用上述偏移量可将目标轨道的轨道廓形数据由测试坐标系转换到轨道中心线坐标系下。

[0056] 数据融合及处理模块103用于将轨道廓形数据、速度信息、位置信息做融合分析,形成轨道三维数据。

[0057] 本领域技术人员都知道,轨道的廓形可以看成是轨道的断面,那么目标轨道的轨道廓形数据就是目标轨道上一个个断面的二维数据。根据速度信息与位置信息,可以知道

轨道廓形数据所对应的轨道廓形在目标轨道上的位置,当采样率高于预设的阈值时,将采样得到的各个轨道廓形按照在目标轨道上的位置相叠加,得到目标轨道的三维数据。

[0058] 具体的说,数据融合及处理模块103接收到惯性补偿及定位模块102所输出的轨道中心线坐标系下的目标轨道的轨道廓形数据、检测用轨道车辆的速度信息以及检测用轨道车辆的位置信息后,将同一时间点的轨道廓形数据、速度信息以及位置信息对应起来,然后基于这些数据通过三维重构的方式重构目标轨道的三维模型。在三维重构的过程中,基于轨道廓形数据可得到目标轨道上任意一点的YZ坐标,通过速度信息和位置信息可确定目标轨道上任意一点的X坐标。重构所得到的三维模型以轨道中心线坐标系为基准,包含了目标轨道的轨道三维数据。

[0059] 在本实施例中,同时采用速度信息与位置信息来确定目标轨道上任意一点的X坐标。这是因为单纯依靠位置信息来定位过于粗糙,如当采样率为2000hz时,仅仅依靠GNSS来定位1秒内所采集的2000个廓形数据的位置的技术难度很大。速度信息在定位过程中可起到辅助作用,例如,在时间点A和时间点B时可利用位置信息来定位廓形数据,在时间点A和时间点B之间(假设时间点A在时间点B之前)的时间点C,并不存在与时间点C直接对应的位置信息,此时可基于时间点A的位置信息以及速度信息,计算出在时间点C的廓形数据的位置。

[0060] 得到目标轨道的三维数据后可以按国家和行业标准计算目标轨道的垂向不平顺、横向不平顺以及复合不平顺。

[0061] 垂向不平顺又叫高低不平顺,是指轨道沿钢轨长度方向的凹凸不平;水平不平顺,是指轨道同一横截面上左右两个轨道顶面的高度差;复合不平顺,是指在同一位置上,垂向和横向不平顺共存形成的双向不平顺。复合不平顺也被称为轨道不平顺。

[0062] 如何根据国家和行业标准计算目标轨道的垂向不平顺、横向不平顺以及复合不平顺是本领域技术人员的公知常识,因此不在此处做重复说明。

[0063] 本发明提供的轨道不平顺检测评估系统通过二维激光扫描技术与惯性补偿技术的综合使用,可以以较高的时速(如80km/h)完成轨道不平顺检测,测试时间短,测试效率高,同时还解决了如何将测试基准线与轨道基准线统一及如何补偿的问题。

[0064] 图3为本发明另一实施例提供的轨道不平顺检测评估系统的示意图,如图3所示,本发明另一实施例提供的轨道不平顺检测评估系统还包括:

[0065] 评估模块104,所述评估模块104与所述数据融合及处理模块103相连。

[0066] 评估模块104用于对数据融合及处理模块103所得到的轨道数据进行评估。

[0067] 具体的说,在本发明实施例中,实现了两种方式的评估。

[0068] 第一种评估方式为计算动态条件下轨道不平顺值与标准值的偏差,根据所得到的偏差值实现动态轨道不平顺容许偏差管理。

[0069] 由数据融合及处理模块103的输出结果,可以得到目标轨道的轨道不平顺值,根据国家和/或行业标准可以得到轨道的标准值。计算轨道不平顺值与轨道的标准值之间的偏差,可以得到偏差值。

[0070] 根据所得到的偏差值实现动态轨道不平顺容许偏差管理,分为局部峰值评价和区段均值评价。

[0071] 局部峰值评价需要预先将偏差值与预先设置的表1中的数据进行比较,得到偏差

等级。

[0072] 表1

项目		160 km/h < v _{max} 正 线				120 km/h < v _{max} ≤ 160 km/h 正线				80 km/h < v _{max} ≤ 120 km/h 正线				v _{max} ≤ 80 km/h 正 线			
		I 级	II 级	III 级	IV级 (限速 160km/ h)	I 级	II 级	III级	IV级 (限速 120km/ h)	I级	II级	III级	IV级 (限速 80km/h)	I 级	II 级	III级	IV级 (限速 45km/h)
高低 (mm)	1.5~ 42m	5	8	12	15	6	10	15	20	8	12	20	24	12	16	24	26
	1.5~ 70m	6	10	15	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
轨向 (mm)	1.5~ 42m	5	7	10	12	5	8	12	16	8	10	16	20	10	14	20	23
	1.5~ 70m	6	8	12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
轨距(mm)		+4 -3	+8 -4	+12 -6	+15 -8	+6 -4	+10 -7	+15 -8	+20 -10	+8 -6	+12 -8	+20 -10	+23 -11	+12 -6	+16 -8	+23 -11	+25 -12
轨距变化率 (基长 3m) (%)		1.2	1.5	—	—	1.5	2.0	—	—	2.0	2.5	—	—	2.0	2.5	—	—
水平(mm)		5	8	12	14	6	10	14	18	8	12	18	22	12	16	22	25
三角坑(基长 3m) (mm)		4	6	9	12	5	8	12	14	8	10	14	16	10	12	16	18
复合不平顺 (mm)		7	9	—	—	8	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
车体垂向振动 加速度 (m/s ²)		1.0	1.5	2.0	2.5	1.0	1.5	2.0	2.5	1.0	1.5	2.0	2.5	1.0	1.5	2.0	2.5
车体横向振动 加速度 (m/s ²)		0.6	0.9	1.5	2.0	0.6	0.9	1.5	2.0	0.6	0.9	1.5	2.0	0.6	0.9	1.5	2.0

[0074] 在上述的表1中,表中各种偏差限值为实际幅值的半峰值;水平限值不包含曲线按规定设置的超高值及超高顺坡量;高低和轨向采用对应波长的空间曲线;复合不平顺特指轨向和水平逆向复合不平顺;三角坑限值包含缓和曲线超高顺坡造成的扭曲量;固定型辙叉的有害空间部分不检查轨距、轨向,其他检查项目及检查标准与线路相同;车体垂向振动加速度采用20Hz低通滤波,车体横向振动加速度采用0.5~10Hz带通滤波和10Hz低通滤波。

[0075] 然后基于偏差等级,采用扣分法得到局部峰值评价。

[0076] 局部峰值评价中各项目偏差扣分标准为:

[0077] I级每处扣1分,II级每处扣5分,III级每处扣100分,IV级每处扣301分。

[0078] 局部峰值评价以整公里为单位,每公里扣分总数为各级、各项偏差扣分总和,计算公式如下:

[0079]
$$S = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^M K_i C_{ij};$$

[0080] 其中,S表示整公里扣分总数;K_i表示各级偏差的扣分数;C_{ij}表示各项目的各级偏差个数;M表示参与评分的项目个数。

[0081] 每公里线路局部峰值动态评定标准:优良——总扣分在50分及以内;合格——总扣分在51~300分;失格——总扣分在300分以上。

[0082] 区段均值评价的评价指标为轨道质量指数(TQI)。轨道指令指数的值如表2所示。

[0083] 表2

速度等级	左高 低 mm	右高 低 mm	左轨 向 mm	右轨 向 mm	轨距 mm	水平 mm	三角坑 Mm	TQI 值
V≤80km/h	2.2~2.5	2.2~2.5	1.8~2.2	1.8~2.2	1.4~1.6	1.7~1.9	1.9~2.1	13~15
80 km/h < v max ≤ 120 km/h	1.8~2.2	1.8~2.2	1.4~1.9	1.4~1.9	1.3~1.4	1.6~1.7	1.7~1.9	11~13
120 km/h < v max ≤ 160 km/h	1.5~1.8	1.5~1.8	1.1~1.4	1.1~1.4	1.1~1.3	1.3~1.6	1.4~1.7	9~11
160 km/h < v max	1.1~1.5	1.1~1.5	0.9~1.1	0.9~1.1	0.9~1.1	1.1~1.3	1~1.4	7~9

[0085] 区段均值评价采用扣分法。单个TQI计算单元的扣分标准可由用户规定。区段均值评价以整公里为单位,每公里扣分总数为5个计算区段的TQI扣分值之和,计算公式如下:

[0086]
$$T = \sum_{1}^5 T_{200};$$

[0087] 其中,T表示每公里扣分总数;T₂₀₀表示单个TQI计算单元的扣分数。在本实施例中,每200米作为一个区段,在其他实施例中,可根据实际情况对区段长度进行调整。

[0088] 每公里线路区段均值评定标准划分为:均衡——代表线路质量均衡,不需要维修;计划——代表应列入维修计划,适时进行修理;优先——代表应优先列入维修计划,尽快安排修理。

[0089] 由于不同类型的轨道的不平顺要求并不一样,如地铁和高速动车组对轨道不平顺要求不一样,因此每公里线路区段均值评定标准的具体划分需要根据轨道类型以及相关的国家或行业标准而定。在本实施例中,不对评定标准的具体取值进行限定。

[0090] 第二种评估方式为结合车辆动态响应对轨道不平顺进行评估。

[0091] 在这一评估方式中,设定车辆振动加速度(构架横向振动加速度、车体横向振动加速度)与轨道不平顺、钢轨廓形、踏面锥度等物理量的内在关联,记为 $Y_{acc}(x_1, x_2, x_3)$;其中, x_1 为车轮踏面与钢轨廓形决定的轮轨接触锥度, x_2 为轨道不平顺幅值, x_3 为轨道不平顺激励波长频率;

[0092] 基于上述物理背景,构建深度学习完善函数 Y_{acc} 的表达式为:

$$Y_{acc}(x_1, x_2, x_3) = c_{1,1}x_1 + c_{1,2}x_2 + c_{1,3}x_3 + c_{2,1}x_1x_2 + c_{2,2}x_2x_3 + c_{2,3}x_1x_3 + \dots + \sum_{k_1+k_2+k_3=n} c_{n,k_1,k_2,k_3} x_1^{k_1} x_2^{k_2} x_3^{k_3} + o\left(\|x_1^{k_1} x_2^{k_2} x_3^{k_3}\|_{k_1+k_2+k_3>n}\right);$$

[0094] 其中, $o\left(\|x_1^{k_1} x_2^{k_2} x_3^{k_3}\|_{k_1+k_2+k_3>n}\right)$ 为 $n+1$ 阶的高阶误差小量; n 、 c_{n,k_1,k_2,k_3} 、 k_1 、 k_2 、 k_3 为深度学习完善函数中的系数,这些系数的值需要在深度学习过程中确定。

[0095] 结合车辆动态响应对轨道不平顺进行评估的具体实现过程为:

[0096] 步骤S1、通过大量的样本测试数据对深度神经网络进行训练,对深度学习完善函数 Y_{acc} 中的系数加以调整,从而得到振动加速度计算模型。

[0097] 所述样本测试数据包括样本检测车辆的速度值、样本检测车辆的振动加速度值、样本轮轨接触锥度、样本轨道不平顺值、样本轨道不平顺激励波长频率。

[0098] 本步骤中的样本轨道不平顺激励波长频率可根据样本轨道的数据得到。样本轨道的数据是已知的,如何根据样本轨道的数据计算不平顺激励波长频率也是本领域技术人员的公知常识,因此不在本实施例中做进一步说明。

[0099] 步骤S2、将检测车辆的运行速度和轮对廓形、检测车辆在目标轨道上的轮轨接触锥度、目标轨道的不平顺值、目标轨道的不平顺激励波长频率输入经过训练的振动加速度计算模型,得到检测车辆的振动加速度。

[0100] 步骤S3、如果检测车辆的振动加速度满足车辆在目标轨道的当前路段上的振动加速度限值,则流程结束,如果不满足,则重新输入其他检测车辆的速度和轮对廓形信息重新进行评估。

[0101] 检测车辆在轨道上运行时会产生振动,可以把这种振动理解为该车辆在该段轨道上运行时车辆相对于轨道的响应。车辆对轨道的响应可以反映轨道的不平顺程度。例如,同一个车辆通过两段轨道,两段轨道都满足国家标准限值,但同一车辆通过两段轨道时车辆的振动加速度不同,也就是车辆响应不同。车辆响应小的轨道的不平顺程度要低于车辆响应大的轨道的不平顺程度。

[0102] 其中,步骤S1进一步包括:

[0103] 通过搭建神经网络,利用深度学习的方式分析不同轮轨接触形式下的 Y_{acc} ,完善 Y_{acc} 的系数。

[0104] 建立一个含有 N 个隐层、1个任务的深度神经网络(Deep Neural Network,简称DNN)网络,其架构的表达式如下:

$$[DNN] = \text{Feedforward}(K; H_1, H_2, L, H_n; Z^{\text{main}}; M, a)$$

[0106] 其中, $K = \{k_1, k_2, L, k_n\}$, $k_i = \{k_{i1}, k_{i2}, L, k_{id}\}^T$ 为输入样本; $Z^{\text{main}} = \{z_1^{\text{main}}, z_2^{\text{main}}, L,$

z_n^{main} 为任务Yacc的样本标签, n 表示样本数; z_i^{main} 为每个样本的期望值, 具体取值为0或1; M 为权值矩阵, a 为偏置向量; H_1, H_2, \dots, H_N 为隐层神经元个数, 网络初始化参数为: $M = \text{random_uniform}()$, $a = \text{zero}(0)$ 。

[0107] 然后从测试数据中得到车辆振动加速度(构架横向振动加速度、车体横向振动加速度)以及轨道不平顺、钢轨廓形、踏面锥度等物理量, 为车辆振动加速度与轨道不平顺、钢轨廓形、踏面锥度等物理量建立轮轨匹配关系样本, 利用这些样本数据通过深度学习训练Yacc任务, 从而对深度学习完善函数 Y_{acc} 中的系数加以调整, 直至深度学习完善函数 Y_{acc} 中的系数的变化值小于预先设定的阈值。当深度神经网络中的系数确定后, 即可得到振动加速度计算模型。

[0108] 需要说明的是, 用一个轨道车辆的动态响应来反映不同轨道路段的不平顺程度具有一定的局限性。因此, 作为一种优选实现方式, 可基于多个轨道车辆的动态响应来评价轨道的不平顺程度, 从而提升轨道不平顺评估结果的准确性。

[0109] 本发明提供的轨道不平顺检测评估系统不仅实现了轨道不平顺的在线高速检测及分析, 同时实现了与轨道不平顺基准的比对, 实现了轨道不平顺的在线评估。

[0110] 基于上述任一实施例, 图4为本发明提供的轨道不平顺检测评估方法的流程图, 该方法是基于本发明提供的轨道不平顺检测评估系统实现的。如图4所示, 本发明提供的轨道不平顺检测评估方法, 包括:

[0111] 步骤401、获取检测用轨道车辆运行过程中车体的姿态数据、检测用轨道车辆的速度信息以及检测用轨道车辆的位置信息, 并基于所述姿态数据对目标轨道的轨道廓形数据进行坐标变换; 其中, 所述轨道廓形数据是通过目标轨道进行扫描得到的。

[0112] 在本步骤中, 可从轨道不平顺检测评估系统中的惯性补偿及定位模块102获得检测用轨道车辆运行过程中车体的姿态数据、检测用轨道车辆的速度信息以及检测用轨道车辆的位置信息。

[0113] 其中, 检测用轨道车辆运行过程中车体的姿态数据包括测试坐标系的测试基准相对于轨道中心线的摇头角度、侧滚角度、垂向位移和横向位移。

[0114] 在本步骤中, 可从轨道不平顺检测评估系统中的激光扫描模块101获得目标轨道的轨道廓形数据。激光扫描模块101扫描得到的轨道廓形数据是在测试坐标系下的, 因此需要根据姿态数据将其转换到轨道中心线坐标系下。

[0115] 具体的说, 摇头角度、侧滚角度、垂向位移和横向位移完整地描述了测试坐标系相对于轨道中心线坐标系的偏移量, 因此, 利用上述偏移量可将目标轨道的轨道廓形数据由测试坐标系转换到轨道中心线坐标系下。

[0116] 步骤402、根据所述经过坐标变换的轨道廓形数据、检测用轨道车辆的速度信息以及检测用轨道车辆的位置信息, 得到目标轨道的三维数据, 并根据所述目标轨道的三维数据, 计算所述目标轨道的不平顺值。

[0117] 本步骤具体包括: 将同一时间点的轨道廓形数据、速度信息以及位置信息对应起来, 然后基于这些数据通过三维重构的方式重构目标轨道的三维模型。在三维重构的过程中, 基于轨道廓形数据可得到目标轨道上任意一点的YZ坐标, 通过速度信息和位置信息可确定目标轨道上任意一点的X坐标。重构所得到的三维模型以轨道中心线坐标系为基准, 包含了目标轨道的轨道三维数据。

[0118] 得到目标轨道的三维数据后可以按国家和行业标准计算目标轨道的垂向不平顺、横向不平顺以及复合不平顺。

[0119] 本发明提供的轨道不平顺检测评估方法通过二维激光扫描技术与惯性补偿技术的综合使用,可以以较高的时速完成轨道不平顺检测,测试时间短,测试效率高。

[0120] 基于上述任一实施例,在步骤402之后,方法还包括:

[0121] 根据所述目标轨道的不平顺值以及预设的轨道不平顺标准值,对所述目标轨道进行局部峰值评价和区段均值评价。

[0122] 在得到目标轨道的轨道不平顺值之后,根据国家和/或行业标准可以得到轨道的标准值。计算轨道不平顺值与轨道的标准值之间的偏差,可以得到偏差值。

[0123] 根据所得到的偏差值实现动态轨道不平顺容许偏差管理,分为局部峰值评价和区段均值评价。

[0124] 如何进行局部峰值评价以及如何进行区段均值评价已经在之前的实施例中做了详细说明,因此不在此处重复。

[0125] 本发明提供的轨道不平顺检测评估方法通过将目标轨道的不平顺值与轨道不平顺基准的比对,实现了轨道不平顺的在线评估。

[0126] 基于上述任一实施例,在步骤402之后,方法还包括:

[0127] 根据目标轨道的不平顺值、检测用轨道车辆的速度值、检测用轨道车辆的轮对廓形、检测用轨道车辆在目标轨道上的轮轨接触锥度以及目标轨道的不平顺激扰波长频率,得到用于反映轨道不平顺评估结果的检测用轨道车辆的振动加速度。

[0128] 本步骤具体包括:

[0129] 将检测用轨道车辆的运行速度和轮对廓形、检测用轨道车辆在目标轨道上的轮轨接触锥度、目标轨道的不平顺值、目标轨道的不平顺激扰波长频率输入预先训练的振动加速度计算模型,得到检测用轨道车辆的振动加速度;

[0130] 当检测用轨道车辆的振动加速度满足检测用轨道车辆在目标轨道的当前路段上的振动加速度限值时,结束流程,当不满足时,将其他检测用轨道车辆的运行速度和轮对廓形、其他检测用轨道车辆在目标轨道上的轮轨接触锥度、目标轨道的不平顺值、目标轨道的不平顺激扰波长频率输入预先训练的振动加速度计算模型,以重新进行评估;其中,

[0131] 所述振动加速度计算模型是基于样本检测用轨道车辆的速度值、样本检测用轨道车辆的振动加速度值、样本轮轨接触锥度、样本轨道不平顺值、样本轨道不平顺激扰波长频率训练得到的。

[0132] 在本实施例中,振动加速度计算模型可利用深度神经网络实现。例如,建立一个含有N个隐层、1个任务的深度神经网络(Deep Neural Network,简称DNN)网络,其架构的表达式如下:

[0133] $[DNN] = \text{Feedforward}(K; H_1, H_2, \dots, H_N; Z^{\text{main}}; M, a)$

[0134] 其中, $K = \{k_1, k_2, \dots, k_n\}$, $k_i = \{k_{i1}, k_{i2}, \dots, k_{id}\}^T$ 为输入样本; $Z^{\text{main}} = \{z_1^{\text{main}}, z_2^{\text{main}}, \dots, z_n^{\text{main}}\}$ 为任务Yacc的样本标签,n表示样本数; z_i^{main} 为每个样本的期望值,具体取值为0或1; M为权值矩阵,a为偏置向量; H_1, H_2, \dots, H_N 为隐层神经元个数,网络初始化参数为: $M = \text{random_uniform}()$, $a = \text{zero}(0)$ 。

[0135] 然后从测试数据中得到车辆振动加速度(构架横向振动加速度、车体横向振动加

速度)以及轨道不平顺、钢轨廓形、踏面锥度等物理量,为车辆振动加速度与轨道不平顺、钢轨廓形、踏面锥度等物理量建立轮轨匹配关系样本,利用这些样本数据通过深度学习训练 Yacc 任务,从而对深度学习完善函数 Y_{acc} 中的系数加以调整,直至深度学习完善函数 Y_{acc} 中的系数的变化值小于预先设定的阈值。当神经网络中的系数确定后,即可得到振动加速度计算模型。

[0136] 本发明提供的轨道不平顺检测评估方法通过检测用轨道车辆对目标轨道的动态响应,实现了目标轨道的轨道不平顺的在线高速检测及分析。

[0137] 本发明还提供了一种轨道车辆,包括:所述的轨道不平顺检测评估系统。

[0138] 本发明提供的轨道车辆通过二维激光扫描技术与惯性补偿技术的综合使用,可以以较高的时速完成轨道不平顺检测,具有测试时间短,测试效率高的优点。

[0139] 图5是本发明提供的电子设备的结构示意图,如图5所示,该电子设备可以包括:处理器(processor)510、通信接口(Communications Interface)520、存储器(memory)530和通信总线540,其中,处理器510,通信接口520,存储器530通过通信总线540完成相互间的通信。处理器510可以调用存储器530中的逻辑指令,以执行轨道不平顺检测评估方法,该方法包括:

[0140] 获取检测用轨道车辆运行过程中车体的姿态数据、检测用轨道车辆的速度信息以及检测用轨道车辆的位置信息,并基于所述姿态数据对目标轨道的轨道廓形数据进行坐标变换;其中,所述轨道廓形数据是通过扫描得到的;

[0141] 根据所述经过坐标变换的轨道廓形数据、检测用轨道车辆的速度信息以及检测用轨道车辆的位置信息,得到目标轨道的三维数据,并根据所述目标轨道的三维数据,计算所述目标轨道的不平顺值。

[0142] 此外,上述的存储器530中的逻辑指令可以通过软件功能单元的形式实现并作为独立的产品销售或使用,可以存储在一个计算机可读取存储介质中。基于这样的理解,本发明的技术方案本质上或者说对现有技术做出贡献的部分或者该技术方案的部分可以以软件产品的形式体现出来,该计算机软件产品存储在一个存储介质中,包括若干指令用以使得一台计算机设备(可以是个人计算机,服务器,或者网络设备等)执行本发明各个实施例所述方法的全部或部分步骤。而前述的存储介质包括:U盘、移动硬盘、只读存储器(ROM, Read-Only Memory)、随机存取存储器(RAM, Random Access Memory)、磁碟或者光盘等各种可以存储程序代码的介质。

[0143] 另一方面,本发明还提供一种计算机程序产品,所述计算机程序产品包括存储在非暂态计算机可读存储介质上的计算机程序,所述计算机程序包括程序指令,当所述程序指令被计算机执行时,计算机能够执行上述各方法所提供的轨道不平顺检测评估方法,该方法包括:

[0144] 获取检测用轨道车辆运行过程中车体的姿态数据、检测用轨道车辆的速度信息以及检测用轨道车辆的位置信息,并基于所述姿态数据对目标轨道的轨道廓形数据进行坐标变换;其中,所述轨道廓形数据是通过扫描得到的;

[0145] 根据所述经过坐标变换的轨道廓形数据、检测用轨道车辆的速度信息以及检测用轨道车辆的位置信息,得到目标轨道的三维数据,并根据所述目标轨道的三维数据,计算所述目标轨道的不平顺值。

[0146] 又一方面,本发明还提供一种非暂态计算机可读存储介质,其上存储有计算机程序,该计算机程序被处理器执行时实现以执行上述各提供的轨道不平顺检测评估方法,该方法包括:

[0147] 获取检测用轨道车辆运行过程中车体的姿态数据、检测用轨道车辆的速度信息以及检测用轨道车辆的位置信息,并基于所述姿态数据对目标轨道的轨道廓形数据进行坐标变换;其中,所述轨道廓形数据是通过目标轨道进行扫描得到的;

[0148] 根据所述经过坐标变换的轨道廓形数据、检测用轨道车辆的速度信息以及检测用轨道车辆的位置信息,得到目标轨道的三维数据,并根据所述目标轨道的三维数据,计算所述目标轨道的不平顺值。

[0149] 以上所描述的装置实施例仅仅是示意性的,其中所述作为分离部件说明的单元可以是或者也可以不是物理上分开的,作为单元显示的部件可以是或者也可以不是物理单元,即可以位于一个地方,或者也可以分布到多个网络单元上。可以根据实际的需要选择其中的部分或者全部模块来实现本实施例方案的目的。本领域普通技术人员在不付出创造性的劳动的情况下,即可以理解并实施。

[0150] 通过以上的实施方式的描述,本领域的技术人员可以清楚地了解到各实施方式可借助软件加必需的通用硬件平台的方式来实现,当然也可以通过硬件。基于这样的理解,上述技术方案本质上或者说对现有技术做出贡献的部分可以以软件产品的形式体现出来,该计算机软件产品可以存储在计算机可读存储介质中,如ROM/RAM、磁碟、光盘等,包括若干指令用以使得一台计算机设备(可以是个人计算机,服务器,或者网络设备)执行各个实施例或者实施例的某些部分所述的方法。

[0151] 最后应说明的是:以上实施例仅用以说明本发明的技术方案,而非对其限制;尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明,本领域的普通技术人员应当理解:其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分技术特征进行等同替换;而这些修改或者替换,并不使相应技术方案的本质脱离本发明各实施例技术方案的精神和范围。

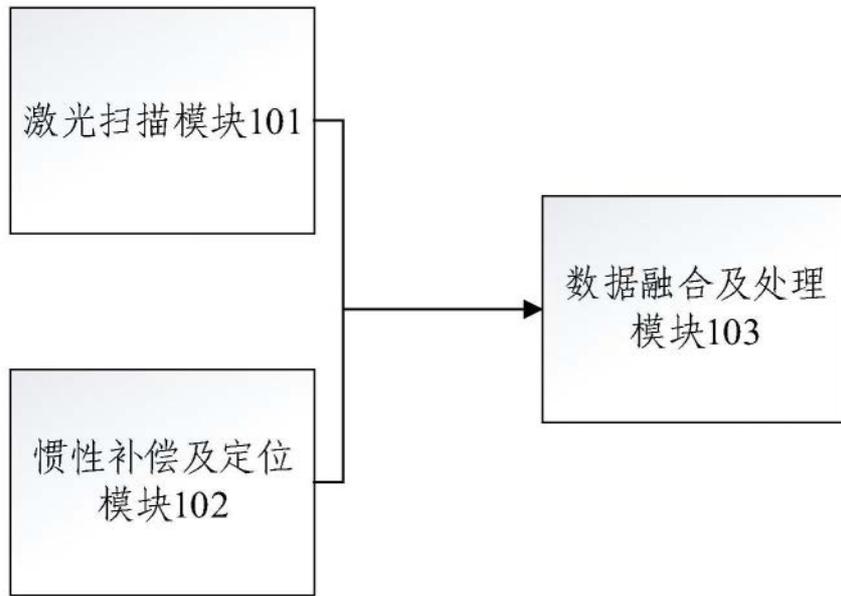


图1

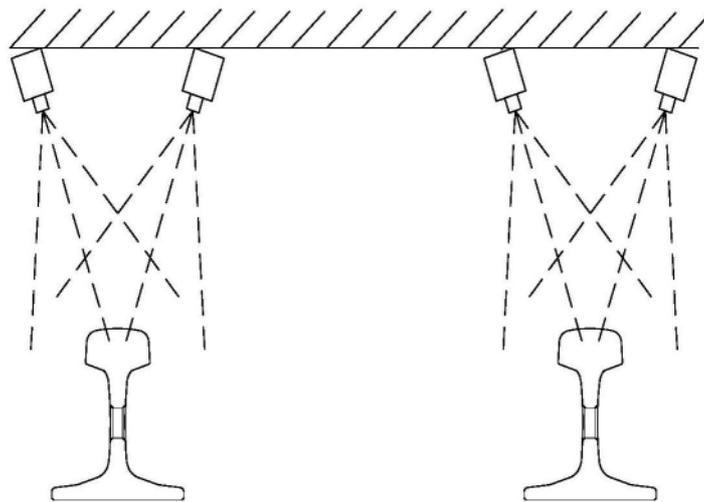


图2

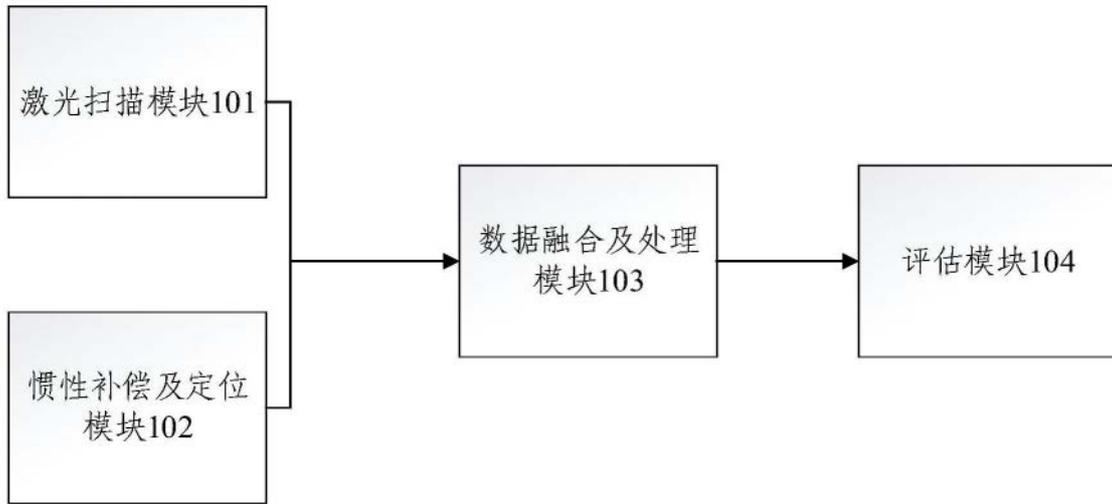


图3

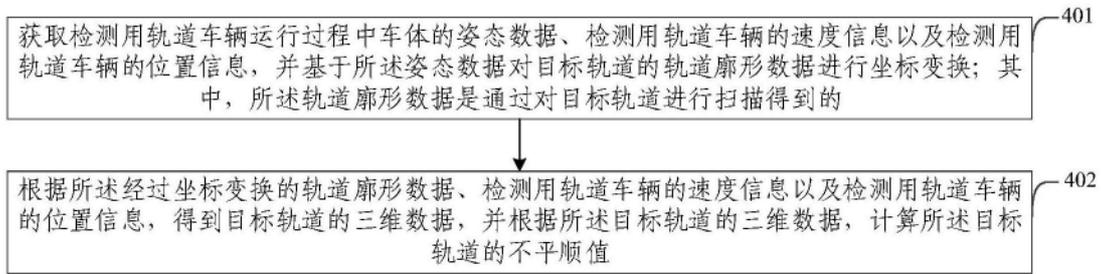


图4

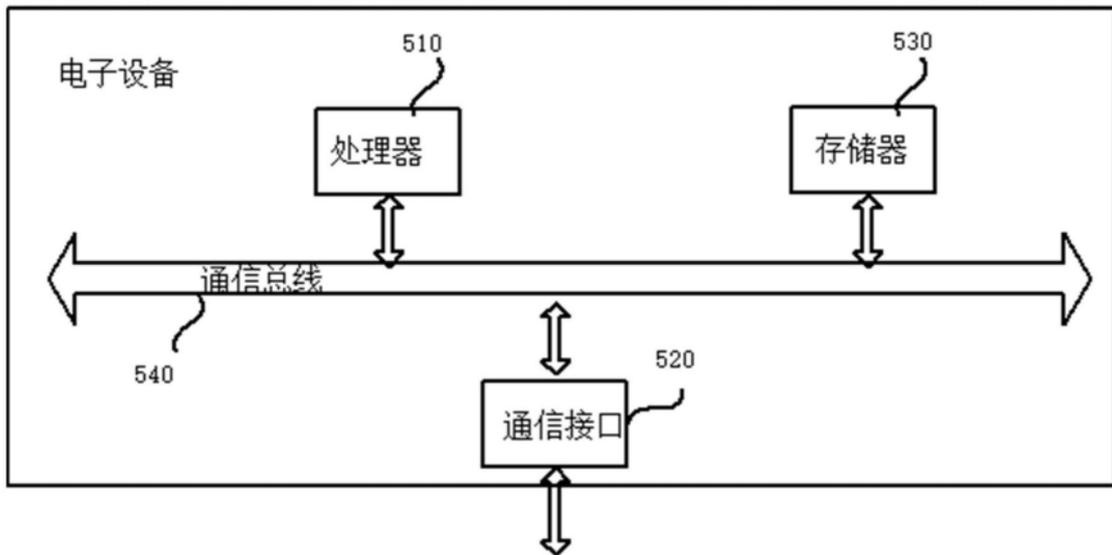


图5