



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111344210 A

(43)申请公布日 2020.06.26

(21)申请号 201780096398.5

(22)申请日 2017.10.30

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2020.04.28

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/EP2017/077760 2017.10.30

(87)PCT国际申请的公布数据
W02019/086097 EN 2019.05.09

(71)申请人 科路实有限责任公司
地址 德国慕尼黑

(72)发明人 克里斯蒂安·勃兰杜伯
弗拉德·伊利耶·拉塔
斯科特·米勒 奥勒·汤米·沃伦

(74)专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227

代理人 刘雯鑫 杨林森

(51)Int.Cl.
B61L 23/04(2006.01)
B61L 27/00(2006.01)

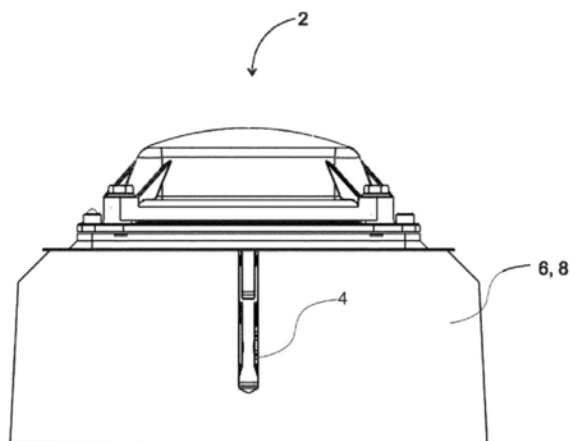
权利要求书2页 说明书7页 附图1页

(54)发明名称

用于确定铁路元件的元件特征的方法

(57)摘要

本发明提供用于确定至少一个铁路元件的元件特征的方法,该方法包括以下步骤:在至少一个铁路元件(6)上设置运动传感器(2);收集由运动传感器(2)提供的运动数据,其中,该运动数据表示铁路元件(6)的与该元件特征不同的运动特征;基于该运动数据确定元件特征。



1. 一种用于确定至少一个铁路元件 (6) 的元件特征的方法,所述方法包括以下步骤:
 - 在所述至少一个铁路元件 (6) 上设置运动传感器 (2);
 - 收集由所述运动传感器提供的运动数据,其中,所述运动数据表示与所述元件特征不同的所述铁路元件 (6) 的运动特征;以及
 - 基于所述运动数据确定所述元件特征。
2. 根据权利要求1所述的方法,
 - 其中,所述铁路元件 (6) 为铁轨的轨枕或轨道道岔的轨枕、铁轨或轨道道岔;或者/并且
 - 其中,所述铁路元件 (6) 的运动特征为所述铁路元件 (6) 的点的特征;或者/并且
 - 其中,所述铁路元件 (6) 的运动特征选自:加速度、时间相关的加速度、速度、时间相关的速度、位置、以及时间相关的位置;或者/并且
 - 其中,所述至少一个铁路元件 (6) 的元件特征为所述铁路元件 (6) 的点的特征;并且/或者
 - 其中,所述至少一个铁路元件 (6) 的元件特征选自:位置、时间相关的位置、与参考位置或平衡位置的位置偏差、与参考位置或平衡位置的时间相关的位置偏差、以及维护状态指示符。
3. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,其中,确定所述至少一个铁路元件 (6) 的元件特征的步骤包括以下步骤:
 - 通过对运动数据进行处理获得经处理的运动数据;以及
 - 基于所述经处理的运动数据确定所述至少一个铁路元件 (6) 的元件特征。
4. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,
 - 其中,确定至少一个铁路元件 (6) 的元件特征的步骤包括使用机器学习算法。
5. 根据权利要求6所述的方法,还包括以下步骤:
 - 通过直接测量或间接测量所述至少一个铁路元件 (6) 的元件特征来测量参考数据,并且从所述至少一个铁路元件 (6) 上的所述运动传感器 (2) 收集相应的数据;以及
 - 在所述机器学习算法中使用所述参考数据。
6. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,
 - 其中,每个运动传感器 (2) 提供来自所述运动传感器的多个运动检测器的运动数据;并且
 - 且
 - 其中,优选地所有运动检测器提供表示同一运动特征特别是加速度或时间相关的加速度的运动数据,并且
 - 其中,优选地所述运动检测器中的至少之一具有与所述运动检测器中的另一个运动检测器不同的测量范围和/或不同的分辨率。
7. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,还包括以下步骤:
 - 在多个铁路元件中的每个铁路元件 (6) 上设置至少一个运动传感器 (2);
 - 收集由所述运动传感器中的每个运动传感器提供的运动数据,其中,所述运动传感器中的每个运动传感器的运动数据表示所述运动传感器 (2) 设置在其上的相应铁路元件 (6) 的相应运动特征,
 - 其中,所述铁路元件中的每个铁路元件的相应元件特征表示与针对所述相应铁路元件

(6) 的相应运动特征不同的量；

-基于所述相应的运动数据确定所述铁路元件中的每个铁路元件的相应元件特征。

8. 根据前述权利要求中任一项所述的方法，

其中，所述至少一个铁路元件的元件特征为维护状态指示符；

其中，确定至少一个铁路元件的元件特征的步骤包括使用机器学习算法；并且其中，所述方法还包括以下步骤：

-通过提供在磨损状态下的铁路元件并且提供在所述磨损状态下的在所述铁路元件上的运动传感器来测量参考数据，以及从在所述磨损状态下的在所述铁路元件上的所述运动传感器收集相应的运动数据，其中，所述运动数据的变化由使用所述铁路元件的车辆引起；以及

-在所述机器学习算法中使用所述参考数据来确定指示所述铁路元件的磨损状态的所述维护状态指示符。

9. 根据前述权利要求中任一项所述的方法，

其中，所述至少一个铁路元件的元件特征为维护状态指示符；

其中，确定至少一个铁路元件的元件特征的步骤包括使用机器学习算法；并且

其中，所述方法包括通过以下提供参考数据的步骤：

a) 提供在预定磨损状态下的车辆，所述车辆适于使用所述铁路元件，以及

b) 对来自设置在铁路元件上的运动传感器的相应的运动数据进行测量，其中，所述运动数据的变化由在所述磨损状态下的使用所述铁路元件的所述车辆引起；并且

其中，所述机器学习算法使用所述参考数据来确定指示所述车辆的磨损状态的所述维护状态指示符。

用于确定铁路元件的元件特征的方法

[0001] 本发明涉及用于确定至少一个铁路元件的元件特征的方法。

[0002] 通过铁路出行的安全性主要通过由人执行维护来确保,例如,轨道检查员沿着铁路行走、工程师使用专用车辆来分析铁轨、工程师检查客运列车等。通常,这样的检查是在平均故障间隔时间之前执行的。这种固定间隔维护方法会产生不必要的成本,这是因为在大多数检查期间没有检测到损坏。另外,因为没有使得能够在正常操作期间监测并且对指示铁路或使用铁路的车辆的损坏已经发生的偏离“正常状态”进行检测的适当的工具,因此存在灾难性损坏的风险。

[0003] 本发明的目的是提供用于确定至少一个铁路元件的元件特征的方法,其中,可以减少用于运行铁路或铁路车辆(即,使用铁路的车辆)的维护成本以及/或者可以提高铁路和铁路车辆的安全性。

[0004] 发明人已经发现,由使用铁轨的列车引起的轨枕或铁轨的过度移动可以指示与期望的铁轨的形状的偏差或者/以及与由道床提供的期望支承的偏差。此外,由使用铁轨的列车引起的轨枕或铁轨的移动可以指示在移动轨道道岔的元件时引起的张力。更进一步地,发明人已经发现,例如由列车车轮上的损坏的轴承引起的振动以及/或者由损坏的车轮表面或损坏的车轮形状引起的振动可以通过对具有损坏的车轮轴承的列车正在使用该铁轨时的铁轨的运动的测量来间接地测量。铁轨和轨道道岔(岔道)的移动可以转移至铁轨的轨枕或轨道道岔的轨枕。

[0005] 除此之外,这些发现有助于本发明作为上述目的的解决方案。根据本发明,上述目的通过根据权利要求1的方法解决。在从属权利要求中描述了本发明的优选实施方式。

[0006] 在本发明的重要方面,提供了一种用于确定至少一个铁路元件的元件特征的方法,该方法包括以下步骤:在至少一个铁路元件上设置运动传感器;收集由运动传感器提供的运动数据,其中,该运动数据表示与该元件特征不同的铁路元件的运动特征;以及基于运动数据确定元件特征。

[0007] 基于运动数据确定至少一个铁路元件的元件特征(其中,至少一个铁路元件的元件特征表示与该铁路元件的运动特征不同的量)提供在运动传感器中使用廉价的检测器和/或噪声不敏感的检测器并且使用由运动传感器提供的运动数据以便间接获得元件特征的可能性。

[0008] 优选地,铁路元件为铁轨的轨枕或轨道道岔的轨枕、铁轨或轨道道岔;或者/并且铁路元件的运动特征为该铁路元件的点的特征;或者/并且铁路元件的运动特征选自:加速度、时间相关的加速度、速度、时间相关的速度、位置、以及时间相关的位置;或者/并且至少一个铁路元件的元件特征为该铁路元件的点的特征;并且/或者至少一个铁路元件的元件特征选自:位置、时间相关的位置、与参考位置或平衡位置的位置偏差、与参考位置或平衡位置的时间相关的位置偏差以及维护状态指示符。发明人已经发现,当铁路元件为铁轨的轨枕或轨道道岔的轨枕、或铁轨、或轨道道岔时,可以获得关于铁路安全的重要数据。针对运动特征和元件特征的特定示例允许通过传感器获得信息,而无需停止对铁路的使用。特别应当注意的是,维护状态指示符可以是允许对使用该铁路的铁轨或车辆的维护状态/磨

损状态进行分类的元件特征,其中,特别有利的是,在该方法的应用期间不需要关闭铁路。

[0009] 通过将运动传感器设置在轨枕、铁轨或轨道道岔上,可以获得对于偏差而言重要的运动数据,该偏差提示了在铁路元件或使用该铁路元件的车辆中存在或发展的故障,并且因此使得能够基于铁路元件或使用该铁路元件的车辆的当前状态来确定维护间隔,并且因此避免不必要且昂贵的维护检查。

[0010] 维护状态指示符可以是例如二进制指示符例如损坏/未损坏的铁路元件或铁路车辆,或者可以是具有有限数目的分离值的指示符(例如,完全功能、需要维护和损坏)或者可以是特别地以百分比形式表示铁路元件或铁路车辆的寿命特别地是维护寿命的连续值,其中,100%可以表示完全功能的铁路元件或完全功能的铁路车辆,而0%可以表示完全损坏的铁路元件或完全损坏的铁路车辆。可以基于这样的连续的维护状态指示符来调度对铁路元件或铁路车辆的维护,例如一旦维护状态指示符下降至10%以下就执行维护。这些值和百分比的使用是非限制性示例,并且本领域技术人员根据特定应用可以发现维护指示符对铁路元件的磨损状态或者对铁轨车辆的磨损状态的不同映射。

[0011] 优选地,确定至少一个铁路元件的元件特征的步骤包括以下步骤:通过对运动数据进行处理来获得经处理的运动数据;以及基于经处理的运动数据确定至少一个铁路元件的元件特征。通过获得经处理的运动数据,例如经频率滤波的运动数据,可以提高元件特征的确定的准确性。

[0012] 在优选实施方式中,获得经处理的运动数据的步骤包括从运动数据中减去运动数据的DC分量。这使得能够进一步提高元件特征的确定的准确性。

[0013] 优选地,确定至少一个铁路元件的元件特征的步骤包括使用机器学习算法。通过使用机器学习算法,特别地是神经网络算法,可以在不预先以分析方式对运动数据与元件特征之间的关系进行建模的情况下,获得元件特征的确定的非常高的准确度。除了神经网络算法之外或作为神经网络算法的替选方案,可以使用基于隐马尔可夫模型的算法或者基于使用评分函数的贝叶斯网络的算法。

[0014] 在优选实施方式中,该方法还包括以下步骤:测量参考数据,优选地包括:直接测量或间接测量至少一个铁路元件的元件特征;从至少一个铁路元件上的运动传感器收集相应的数据;以及在机器学习算法中使用该参考数据。通过如上面阐述的测量参考数据,可以提高针对每个产生的运动传感器或一批产生的运动传感器的准确性,同时使用于校准和模型开发的成本保持为低。

[0015] 优选地,每个运动传感器提供来自运动传感器的多个运动检测器的运动数据;并且优选地,所有运动检测器提供表示同一运动特征特别地是加速度或时间相关的加速度的运动数据,并且优选地,运动检测器中的至少之一具有与运动检测器中的另一个运动检测器不同的测量范围和/或不同的分辨率。不同的运动检测器提高了元件特征的确定的准确性特别地在使用机器学习算法时。机器学习算法可以以最优方式组合(或“拼凑(patch)”)不同检测器的测量范围和由于不同的分辨率导致的不同测量点,使得进一步提高了运动特征的确定的准确性。

[0016] 在优选的实施方式中,该方法还包括以下步骤:在多个铁路元件中的每个铁路元件上设置至少一个运动传感器;收集由运动传感器中的每个运动传感器提供的运动数据,其中,运动传感器中的每个运动传感器的运动数据表示所述运动传感器设置在其上的相应

铁路元件的相应运动特征,其中,铁路元件中的每个铁路元件的相应元件特征表示与针对相应铁路元件的相应运动特征不同的量;基于相应运动数据确定铁路元件中的每个铁路元件的相应元件特征。通过在每个铁路元件或多个铁路元件上设置运动传感器并且收集由这些运动传感器提供的运动数据,提供了不仅允许检测单个铁路元件的元件特征还可以检测与整个铁路自身有关的量的数据。关于维护状态指示符的检测,在铁路的弯曲部中的运动传感器的设置可以提供与车辆车轮的表面的质量或状况(失圆的车轮或失衡的车轮)有关的信息,或者由于横向加速度引起的沿横向方向的车辆车轮的轴承故障,并且在铁路的高速部分上的运动传感器的设置可以提供与例如通过由于发热引起的减小的轴承间隙等引起的轴承故障有关的信息。

[0017] 在另一优选的实施方式中,至少一个铁路元件的元件特征为维护状态指示符;其中,确定至少一个铁路元件的元件特征的步骤包括使用机器学习算法;并且其中,该方法还包括以下步骤:测量参考数据,优选地包括:提供在磨损状态下的铁路元件并且提供在磨损状态下的铁路元件上的运动传感器;以及从在磨损状态下的铁路元件上的运动传感器收集相应的运动数据,其中,运动数据的变化由使用铁路元件的车辆引起;以及在机器学习算法中使用该参考数据来确定指示铁路元件的磨损状态的维护状态指示符。机器学习算法允许对与铁路元件有关的维护状态指示符进行分类,而无需预先提供用于将运动数据映射为运动状态指示符的分析模型。这降低了用于分析软件的开发的成本。

[0018] 在另一不同的优选实施方式中,至少一个铁路元件的元件特征为维护状态指示符;其中,确定至少一个铁路元件的元件特征的步骤包括使用经训练的机器学习算法;并且其中,该方法还包括以下步骤:测量参考数据,优选地包括:提供在磨损状态下的车辆,该车辆适于使用铁路元件;以及对来自设置在铁路元件上的运动传感器的相应的运动数据进行测量,其中,运动数据的变化由在磨损状态下的使用铁路元件的车辆引起;以及在机器学习算法中使用该参考数据来确定指示车辆的磨损状态的维护状态指示符。机器学习算法允许对与使用铁路元件的车辆有关的维护状态指示符进行分类,而无需预先提供用于将运动数据映射为运动状态指示符的分析模型。这降低了用于分析软件的开发的成本。

[0019] 在下文中,本发明的实施方式将参照附图1来描述,附图1示出了在本发明中使用的运动传感器,其中,铁路元件被示出为局部截面。

[0020] 传感器布置

[0021] 在下文中描述的铁路元件上的运动传感器的布置可以用于本发明的所有实施方式中。特别地,多个运动传感器可以布置在多个铁路元件上。在下文中,传感器被理解为适于特别地以计算机可读形式提供运动数据的单元/装置,其中,运动数据表示运动特征。

[0022] 传感器的检测器被理解为是适于输出表示可以是电压并且在大多数情况下将是电压的物理量的信号的装置,并且存在将所获得的信号(例如,电压)映射为物理量的值的功能。该检测器可以是适于测量沿给定方向例如沿笛卡尔坐标系的X方向、Y方向或Z方向中的任意方向的加速度的加速度检测器,或者该检测器可以是多维的特别地是三维的加速度检测器,其中,例如可以由这种检测器提供时间相关的数据或者加速度的最大值或最小值或平均值(例如,同时沿X方向、Y方向和Z方向)。替选地,可以由检测器测量速度和/或位置,并且由传感器提供的运动数据可以表示均以时间相关的方式或者作为如上面所讨论的极值的速度和/或位置。

[0023] 例如,运动检测器检测表示如加速度、速度、位置或偏航的运动特征的量,并且运动传感器可以将检测器的原始输出转换成表示运动特征的模拟数据或数字数据。运动传感器2可以通过光纤、有线连接或无线连接将数据发送至计算单元例如计算机,因此收集运动数据。计算单元可以是个人计算机、单板计算机或服务器。

[0024] 如图1所示,运动传感器2优选地通过放置在铁路元件6中的孔(bore)中的销4固定至铁路元件6例如轨枕8,但是,也可以是用于运动传感器的固定的胶合、焊接和类似技术。由于运动传感器的固定,运动传感器的运动检测器可以检测铁路元件的运动特征。

[0025] 本发明的第一实施方式

[0026] 在第一实施方式中,运动传感器2是提供时间相关的加速度数据作为运动数据的加速度传感器。运动传感器2被设置在轨枕上。要确定的元件特征是轨枕上的点的例如其中检测器接触轨枕的点之一的的时间相关的位置(在下文中简称标记位置)。

[0027] 在本实施方式中,位置可以如下确定:

[0028] 1.可以由计算单元从运动传感器收集运动数据,因此获得所收集的运动数据。特别地,可以在铁路车辆通过轨枕的同时收集运动数据。此外,例如在没有列车经过时,可以收集在其中铁路元件处于参考位置(例如,在安装运动传感器之后)或平衡位置的时间段期间的运动数据。

[0029] 2.在例如基于时间表获得的没有列车通过轨枕的时段期间,确定对应于零加速度的所收集的运动数据的平均值M。由于考虑到期望的准确性可以忽略该加速度值的事实,在列车经过时,也可以在数据获取期间在前缘处被良好近似地获得该时段。

[0030] 3.从所收集的运动数据(即来自运动数据中的每个收集的数据点)中减去平均值M,并且因此从运动数据和经处理的运动数据中去除DC分量,此处获得了第一经处理的时间相关的加速度数据。

[0031] 4.通过将经处理的时间相关的加速度数据的移动平均值与阈值零值进行比较来确定相关加速度数据的起始点,其中,合适的阈值零值和用于移动平均值的窗口宽度可以通过实验来获得。

[0032] 5.使用正交技术对时间相关的加速度数据进行二重积分。这创建了时间相关的位移数据,该时间相关的位移数据表示铁路元件的元件特征。

[0033] 以这样的方式,加速度数据可以被变换为位移数据,从而提供例如关于轨枕在列车通过事件期间的竖直位移的有价值的信息。此外,可以将上面的步骤5中获得的位移数据与参考位置或平衡位置进行比较,以便优选地以时间相关的方式提供位置偏差,可以基于该位置偏差确定铁路的磨损或损坏。

[0034] 本发明的第二实施方式

[0035] 在第二实施方式中,运动传感器2优选地是提供时间相关的加速度数据作为运动数据的加速度传感器。运动传感器2优选地设置在铁路的轨枕上。要确定的元件特征优选地是轨枕上的点的例如其中传感器接触轨枕的点之一的的时间相关位置(在下文中被称为“位置”)。

[0036] 备选地或附加地,运动传感器2可以设置在至少一个其他的铁路元件6上,特别是在铁轨或轨道道岔上或者在铁轨或轨道道岔的相关联的轨枕上。此外,在本发明的本实施方式中,提供了计算单元(未示出),该计算单元包括适于确定铁路元件的元件特征的人

工机器学习算法,例如神经网络。如果使用神经网络,则该神经网络可以基于非线性自回归外生模型(NARX)或基于前馈神经网络(FFNN)、或者基于递归神经网络(RNN)或基于长短期记忆(LSTM)。替选地,可以使用基于隐马尔可夫模型的算法或者基于使用评分函数的贝叶斯网络的算法。

[0037] 运动传感器2可以包括单个运动检测器,然而优选使用多个运动检测器以提高测量的精度和可靠性。运动检测器是适于检测特定物理量如加速度、速度、位置、偏航、磁场、电场等的装置。另一方面,运动传感器适于提供运动数据,其中,运动数据表示铁路元件的运动特征。例如,运动检测器检测表示运动特征如加速度、速度、位置或偏航的量,并且运动传感器可以将检测器的原始输出转换成表示铁路元件的运动特征的模拟数据或数字数据。运动传感器可以通过光纤、有线连接或无线连接将数据发送至计算单元。

[0038] 由运动传感器2提供的运动数据被计算单元直接用作神经网络的输入层的输入,或者计算单元可以对所获得的运动数据进行处理并且将这样获得的经处理的运动数据用作神经网络的输入层的输入。对运动数据进行处理可以包括频率滤波、感兴趣区域的选择等。

[0039] 神经网络的输出层根据所选择的训练的输出生成输出可以直接提供铁路元件的元件特征或者可以形成用于铁路元件的元件特征的确定的基础。例如,在运动传感器提供加速度数据作为运动数据的情况下,神经网络的输出可以是加速度信号的滤波版本,例如输入信号的频率滤波版本。此外,神经网络的输出可以是铁路元件的点的速度作为铁路元件6的运动特征,使得神经网络在这样的情况下本质上执行时间上的滤波和积分。

[0040] 此外,神经网络的输出可以是指示铁路元件或使用铁路元件的车辆的磨损状态的维护状态指示符。

[0041] 在运动传感器包括测量不同物理量的至少两个运动检测器的情况下,当仅改变一个物理量例如加速度时,其他传感器在大多数情况下也提供信号。使用机器学习算法,这些“意外信号”可以用作信息源,从而提高机器学习算法特别地是神经网络的输出的准确性。

[0042] 优选地,每个运动传感器2提供来自多个运动检测器的运动数据,所述多个运动检测器对于相同的物理量具有不同的测量范围和/或不同的分辨率。因此,由传感器提供的运动数据可以包括多个数据流,每个流包含与由单个检测器检测到的物理量对应的运动数据,其中,流中的每个流的分辨率和采样率可能会由于检测器的性质和传感器中相关联的采样布置而不同。特别地,在时间相关的加速度的情况下,机器学习算法可以能够“拼凑”不同的测量范围和不同的分辨率,从而提高机器学习算法特别地是神经网络算法的输出的准确性。

[0043] 在优选实施方式中,该方法不是仅涉及单个铁路元件的元件特征的确定,而是还可以通过下述方式确定多个铁路元件的元件特征:在要监测的每个铁路元件上设置相应的传感器;在单个铁路元件的情况下如所描述的从每个运动传感器收集相应数据,并且使用从运动传感器收集的运动数据作为神经网络的输入层的输入。

[0044] 特别地,代替运动传感器的直接数据,传感器中的一些传感器的运动数据的处理版本或者传感器中的每个传感器的运动数据的处理版本可以用作针对神经网络的输入。神经网络可以直接输出描述多个铁路元件的元件特征的数据,例如每个铁路元件的点的

时间相关位置迹线,或者可以将输出用作针对这种确定的基础,例如可以对神经网络的输出进行滤波并且校正加速度迹线,并且可以通过对经校正的加速度迹线执行二重时间积分来执行对多个铁路元件的元件特征的确定。

[0045] 神经网络的示例设置

[0046] 如上面所描述的来自一个或更多个运动传感器的运动数据或者经处理的运动数据可以用作神经网络的输入层的输入。

[0047] 在第一层中,n-tab窗口可以被设置成使得测量数据不仅针对单个时间实例 t_i 提供以用于对神经网络进行处理,而且还可以针对时间实例 $t_{i-1}, t_{i-2}, \dots, t_{i-n-1}$ 提供,其中,索引 $i, i-1, \dots, i-n-1$ 表示样本运动数据在时间上的索引。

[0048] 来自n-tab窗口的数据优选地被馈送至具有整流线性单元(ReLU)激活函数的m神经元层。

[0049] 神经网络的第二层可以被实现为优选地再次具有ReLU激活函数的标准的n神经元层。

[0050] 在优选实施方式中,神经网络具有另外的第三层,该第三层对来自第二层的m信号进行重组。

[0051] 神经网络的学习/训练

[0052] 在本发明的方法中可以使用基本上不同类型的神经网络。例如,神经网络可以通过使用参考数据的学习处理来被训练,以及/或者可以是根据在操作期间获得的数据来学习的自学习类型,以及/或者可以基于预先存储在系统中的固定的表或数据进行简单地操作。

[0053] 作为示例,下面将描述用于训练神经网络的可能方法。

[0054] 为了训练神经网络,需要提供训练数据。测量训练数据优选地包括直接测量或间接测量至少一个铁路元件的元件特征。至少一个铁路元件的元件特征(例如,在铁路元件上的点的位置)可以通过例如通过使用具有非常高的准确性的激光传感器测量铁路元件上的点的位置来直接测量。元件特征的变化可以例如通过行驶在铁路元件上或者使用铁路元件的车辆来提供。

[0055] 至少一个铁路元件的元件特征(例如,在铁路元件上的点的位置)的间接测量可以通过以高准确性测量至少一个铁路元件的运动特征来执行,例如利用非常高精度的加速度传感器测量加速度来执行,使得元件特征可以基于高准确性测量使用模型以足够的准确性来计算,例如在位置的情况下对加速度进行二重时间积分来计算。

[0056] 另外,在以上元件特征的直接测量或间接测量期间,从设置在铁路元件上的运动传感器收集相应的运动数据。

[0057] 因此,来自运动传感器的运动数据(因此是到神经网络的输入)和要通过机器学习算法获得的结果是同时测量的。因此,这样的训练数据可以用于训练神经网络(或机器学习算法),其中,训练方法对于本领域技术人员是已知的。

[0058] 由于将从运动传感器收集的运动数据映射到相对于运动数据具有函数关系的任何限定量的可能性,可以将运动数据例如时间相关的加速度值映射到维护状态指示符,例如指示铁路元件的磨损状态、铁路元件的元件或者甚至使用铁路元件的车辆的磨损状态的维护状态指示符。

[0059] 以下指定磨损状态的大小仅出于说明的目的提供。

[0060] 为了训练机器学习算法以将所测量的运动数据映射到指示铁路元件的磨损状态的给定维护状态指示符,需要提供在磨损状态下的铁路元件(此处为铁轨或者铁轨和轨枕的组合)。例如,附接到传感器的铁轨或者附接到承载运动传感器的轨枕的铁轨可以具有在第一情况下为0.1mm的凸起或起伏,在第二情况下为0.2mm的凸起或起伏,在第三情况下为0.3mm的凸起或起伏等。

[0061] 因此,执行训练使得以给定值(例如,凸起或起伏的大小)提供元件特征,并且在这种准备好的设置下,收集运动数据。

[0062] 运动传感器可以测量时间相关的加速度。并且在第一情况下,机器学习算法被训练成在第一情况下将来自运动传感器的运动数据映射成“0.1mm的凸起或起伏”,在第二情况下将来自运动传感器的运动数据映射成“0.2mm的凸起或起伏”,在第三情况下将来自运动传感器的运动数据映射成“0.3mm的凸起或起伏”等。该映射被认为是基于由凸起或起伏引起的振动。

[0063] 一定大小的凸起或起伏可以被视为表示维护状态指示符(例如,凸起或起伏的大小;或者针对小于0.2mm的凸起或起伏的“起作用的铁轨”以及针对大于0.2mm的凸起或起伏的“不起作用的铁轨”),该维护状态指示符指示铁路元件的磨损状态(凸起或起伏可能通过由于摩擦并且因此磨损引起的损耗而产生)。运动数据的变化可以由在非磨损状态(即,通过以期望的参数运行)下的铁路车辆引起。

[0064] 替选地,可以以与非磨损状态(即,通过以期望的参数运行)对应的状态设置铁路元件,运动数据的变化可以由在磨损状态下的车辆引起,该磨损状态可以通过下述方式限定:铁路车辆的车轮的表面粗糙度或在第一情况下为0.1mm、在第二情况下为0.2mm等的与圆形形状的偏差;或者铁路车辆的车轮轴承的表面粗糙度或在第一情况下为0.01mm、在第二情况下为0.02mm等的与圆形形状的偏差。

[0065] 可以以相对于凸起和起伏的大小的类似的方式使用这些偏差以限定指示使用铁路元件的车辆的磨损状态的维护状态指示符。可以相应地执行对机器学习算法的训练。

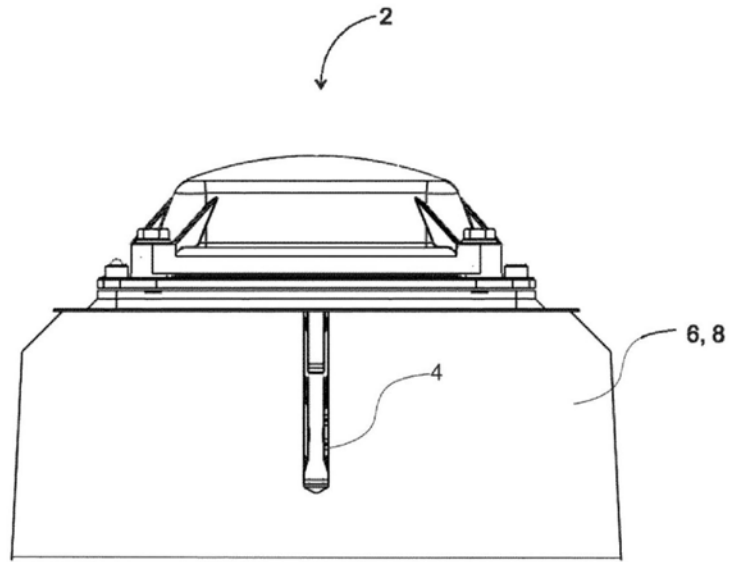


图1