

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2018 年 3 月 22 日 (22.03.2018)



(10) 国际公布号
WO 2018/050009 A1

(51) 国际专利分类号:
G01M 13/04 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2017/100662

(22) 国际申请日: 2017 年 9 月 6 日 (06.09.2017)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201610833438.7 2016 年 9 月 19 日 (19.09.2016) CN

(71) 申请人 (对除 US 外的所有指定国): 舍弗勒技术股份两合公司 (SCHAEFFLER TECHNOLOGIES AG & CO. KG) [DE/DE]; 德国黑措根奥拉赫工业街 1-3 号, Herzogenaurach 91074 (DE)。

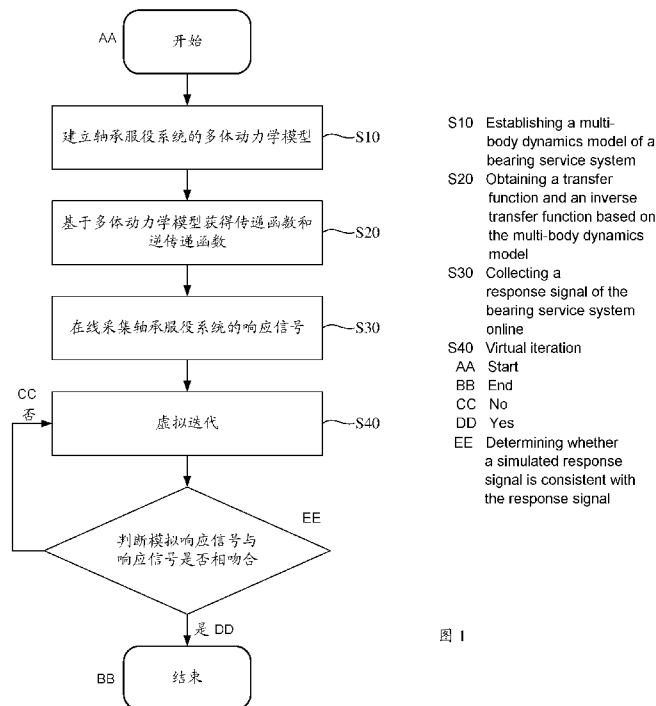
(72) 发明人; 及

(71) 申请人 (仅对 US): 朱路 (ZHU, Lu) [US/CN]; 中国上海市金丰路 555 号 10-201, Shanghai 201804 (CN)。周新 (ZHOU, Xin) [CN/CN]; 中国上海市沪闵路 3131 弄 48-503, Shanghai 201108 (CN)。马子魁 (MA, Zikui) [CN/CN]; 中国上海市嘉定区昌吉路 240 号 6-302, Shanghai 201100 (CN)。魏来 (WEI, Lai) [CN/CN]; 中国上海市春申路 3355 弄 11 号 401, Shanghai 201804 (CN)。邱志 (QIU, Zhi) [CN/CN]; 中国上海市嘉定区汇源路 518 弄 44 栋 1603 室, Shanghai 201800 (CN)。

(74) 代理人: 北京集佳知识产权代理有限公司 (UNITALEN ATTORNEYS AT LAW); 中国北京市朝阳区建国门外大街 22 号赛特广场 7 层, Beijing 100004 (CN)。

(54) Title: ONLINE ACQUISITION METHOD AND APPARATUS FOR LOAD OF BEARING, AND METHOD AND APPARATUS FOR EVALUATING LIFETIME OF BEARING

(54) 发明名称: 轴承载荷在线获取方法及装置、轴承寿命评估方法及装置



(57) Abstract: An online acquisition method and apparatus for a load of a bearing, and a method and apparatus for evaluating the lifetime of a bearing. The acquisition method comprises: establishing a multi-body dynamics model of a bearing service system (S10); obtaining a transfer function and an inverse transfer function based on the multi-body dynamics model (S20); during the operation process of the bearing service system, collecting a response signal produced by the bearing service system under the excitation of a

(81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

load of a bearing (S30); and obtaining the load of the bearing by using a virtual iteration method and based on the transfer function, the inverse transfer function and the response signal (S40). By means of the acquisition method, a transfer function and an inverse transfer function of a bearing service system and a response signal of the bearing service system that can be easily collected can be used to perform virtual iteration, so as to obtain an online load of a bearing that cannot be easily measured. Since a real bearing service system is simulated by means of a multi-body dynamics model, the present invention not only has strong universality and cannot damage the bearing service system, but also can save on costs due to less use of hardware.

(57) 摘要: 一种轴承载荷在线获取方法及装置、轴承寿命评估方法及装置, 该获取方法包括: 建立轴承服役系统的多体动力学模型(S10); 基于多体动力学模型获得传递函数和逆传递函数(S20); 在轴承服役系统运行过程中, 采集轴承服役系统在轴承载荷的激励下产生的响应信号(S30); 采用虚拟迭代方法基于传递函数和逆传递函数及响应信号, 获得轴承载荷(S40)。该获取方法能够利用轴承服役系统的传递函数、逆传递函数, 以及容易采集到的轴承服役系统响应信号进行虚拟迭代, 从而得到不易测量的轴承在线载荷。由于其用多体动力学模型来对真实的轴承服役系统进行仿真, 不仅通用性强, 不会破坏轴承服役系统, 而且因较少使用硬件而比较节省成本。

轴承载荷在线获取方法及装置、轴承寿命评估方法及装置

本申请要求于 2016 年 09 月 19 日提交中国专利局、申请号为 201610833438.7、发明名称为“**轴承载荷在线获取方法及装置、轴承寿命评估方法及装置**”的中国专利申请的优先权，其全部内容通过引用结合在本申请中。

技术领域

本发明涉及轴承技术领域，特别是涉及一种轴承服役系统的轴承载荷在线获取方法、轴承服役系统的轴承载荷在线获取装置、轴承寿命评估方法以及轴承寿命评估装置。

背景技术

在轴承服役系统的运行过程中，获得轴承服役系统中轴承的载荷有着重要作用。现有技术有通过在轴承的外圈或内圈表面粘贴应变片来直接测量轴承的载荷，但在很多情况下，受轴承所在安装环境的影响，很难将应变片粘贴在轴承上，导致该方法不再适用。因此，亟需提供一种更为通用的方法来在线获取轴承服役系统的轴承载荷。

发明内容

本发明要解决的问题是：现有轴承服役系统的轴承载荷在线获取方法受轴承安装环境的限制，通用性差。

为解决上述问题，本发明提供了一种轴承服役系统的轴承载荷在线获取方法，其包括：建立所述轴承服役系统的多体动力学模型；基于所述多体动力学模型获得传递函数和逆传递函数；在所述轴承服役系统运行过程中，采集所述轴承服役系统在轴承载荷的激励下产生的响应信号；采用虚拟迭代方法基于所述传递函数和逆传递函数及响应信号，获得所述轴承载荷。

可选地，所述虚拟迭代方法按照下述公式进行，所述轴承载荷为与所述响应信号相吻合的模拟响应信号对应的激励信号；

$$U_n = U_{n-1} + F^{-1} * (Y_{\text{采集}} - Y_{n-1})$$

其中， U_n 为第 n 次的激励信号， U_{n-1} 为第 $n-1$ 次的激励信号， F^{-1} 为所述多体动力学模型的逆传递函数， $Y_{\text{采集}}$ 为所述响应信号， Y_{n-1} 为第 $n-1$ 次的模拟响应信号，所述模拟响应信号根据所述激励信号和所述多体动力学模型的传递函数获得， n 为大于或等于 1 的整数， $U_0=0$ ， $Y_0=0$ 。

可选地，获得所述传递函数和逆传递函数的方法包括：

向所述多体动力学模型输入噪声信号；

获得所述多体动力学模型在所述噪声信号的激励下产生的输出信号；

根据所述噪声信号和输出信号求得所述传递函数；

对所述传递函数求逆，以获得所述逆传递函数。

可选地，所述噪声信号为粉红噪声信号或白噪声信号。

可选地，所述响应信号为力、加速度或位移。

可选地，利用 Adams 软件建立所述多体动力学模型。

可选地，利用 Adams 软件、Simpack 软件或 Recurdyn 软件进行所述虚拟迭代。

可选地，所述轴承载荷为所述轴承的外圈或内圈所受到的力。

可选地，所述轴承服役系统为铁路用轴箱。

另外，本发明还提供了一种轴承寿命评估方法，其包括：利用上述任一所述的轴承载荷在线获取方法获得所述轴承载荷；将所述轴承载荷代入轴承寿命的通用公式，获得所述轴承的寿命。

可选地,所述通用公式为《ISO 281 滚动轴承.额定动载荷和额定寿命》制定的轴承寿命计算公式。

再者,本发明还提供了一种轴承服役系统的轴承载荷在线获取装置,其包括:建模模块,用于建立所述轴承服役系统的多体动力学模型;求函数模块,用于基于所述多体动力学模型获得传递函数和逆传递函数;采集模块,用于在所述轴承服役系统运行过程中,采集所述轴承服役系统在轴承载荷的激励下产生的响应信号;获取模块,用于采用基于所述传递函数和逆传递函数及响应信号的虚拟迭代方法获得所述轴承载荷。

可选地,所述获取模块包括:

第一运算单元,用于按照公式 $U_n = U_{n-1} + F^{-1} * (Y_{\text{采集}} - Y_{n-1})$ 进行计算,以获得第 n 次的激励信号,其中, U_n 为第 n 次的激励信号, U_{n-1} 为第 $n-1$ 次的激励信号, F^{-1} 为所述逆传递函数, $Y_{\text{采集}}$ 为所述响应信号, Y_{n-1} 为第 $n-1$ 次的模拟响应信号, n 为大于或等于 1 的整数, $U_0=0$, $Y_0=0$;

第二运算单元,用于按照公式 $Y_n = F * U_n$ 进行计算,以获得第 n 次的模拟响应信号, Y_n 为第 n 次的模拟响应信号, F 为所述传递函数;

比较单元,用于将所述第 n 次的模拟响应信号与轴承服役系统的响应信号进行比较;

输出单元,用于在所述比较单元的比较结果为第 n 次的模拟响应信号与轴承服役系统的响应信号 $Y_{\text{采集}}$ 相吻合时,将第 n 次的激励信号作为所述轴承载荷;

所述第一运算单元还用于:在所述比较单元的比较结果为第 n 次的模拟响应信号与轴承服役系统的响应信号 $Y_{\text{采集}}$ 不吻合时,将 n 增大 1,并重新按照公式 $U_n = U_{n-1} + F^{-1} * (Y_{\text{采集}} - Y_{n-1})$ 进行计算。

可选地,所述求函数模块包括:

噪声单元，用于向所述多体动力学模型提供噪声信号以作为激励；

采集单元，用于获得所述多体动力学模型在所述噪声信号的激励下产生的输出信号；

求解单元，用于根据所述噪声信号和输出信号求得所述传递函数；

求逆单元，用于对所述传递函数求逆，以获得所述逆传递函数。

另外，本发明还提供了一种轴承寿命评估装置，其包括：上述任一所述的轴承载荷在线获取装置；计算装置，用于根据所述轴承载荷在线获取装置所获取的轴承载荷以及轴承寿命的通用公式，计算出所述轴承的寿命。

与现有技术相比，本发明的技术方案具有以下优点：

首先，为轴承服役系统建立多体动力学模型。然后，利用轴承服役系统的传递函数、逆传递函数，以及容易采集到的轴承服役系统响应信号进行虚拟迭代，从而得到不易测量的轴承在线载荷。本发明的获取方法用多体动力学模型来对真实的轴承服役系统进行仿真，不仅通用性强，不会破坏轴承服役系统，而且因较少使用硬件而比较节省成本。

附图说明

图 1 是本发明的一个实施例中轴承服役系统的轴承载荷在线获取方法流程图。

具体实施方式

为使本发明的上述目的、特征和优点能够更为明显易懂，下面结合附图对本发明的具体实施例做详细的说明。

本发明所提供的轴承服役系统的轴承载荷在线获取方法中，该轴承服役系统可以是任何使用了轴承的装置。在本实施例中，该轴承服役系统以铁路用的轴箱为例，该轴箱包括转轴、套设在转轴上的轴承以及用来安装轴承的轴承座。下面结合图 1 对本实施例的轴承载荷在线获取方法做详细介绍。

首先，执行步骤 S10，建立轴承服役系统的多体动力学（Multi-body System，简称 MBS）模型。

所述多体动力学模型是轴承服役系统的仿真模型，利用该多体动力学模型可以对轴承服役系统进行仿真分析，以获得其动态特性。在本实施例中，利用 Adams 软件建立多体动力学模型，因为 Adams 软件具有强大的运动学和动力学分析功能，以及高精度的建模仿真功能。当然，在其它实施例中，也可以利用其它具有建模功能的软件来建立该多体动力学模型。具体地，可以通过结合轴承服役系统的物理模型和轴承服役系统的数学模型来共同建立该多体动力学模型，以保证建立起来的多体动力学模型能够高仿真地模拟轴承服役系统。

在本实施例中，建立起来的多体动力学模型包括轴承服役系统中转轴的模拟零件、轴承服役系统中轴承的模拟零件，以及轴承服役系统中轴承座的模拟零件。

然后，执行步骤 S20，基于所述多体动力学模型获得传递函数和逆传递函数。

多体动力学模型的传递函数和逆传递函数均是多体动力学模型本身的一种属性。其中，多体动力学模型的传递函数获取方法包括：生成噪声信号；向多体动力学模型输入噪声信号；获得多体动力学模型在所述噪声信号的激励下产生的输出信号；根据所述噪声信号和输出信号求得传递函数。

噪声信号为用频率和分贝来表征的信号，在本实施例中，噪声信号为粉红噪声信号或白噪声信号，其频率宽度很宽。

获得所述噪声信号和输出信号之后,将噪声信号和输出信号均进行拉普拉斯变换,所述输出信号的拉普拉斯变换与噪声信号的拉普拉斯变换之比即为多体动力学模型的传递函数。获得多体动力学模型的传递函数之后,通过对其求逆,即可获得多体动力学模型的逆传递函数。

然后,执行步骤 S30,在轴承服役系统运行过程中,采集所述轴承服役系统在轴承载荷的激励下产生的响应信号。

受轴承结构特性和运动特性的影响,轴承载荷不易直接测量获得,反之,轴承服役系统的响应信号易获得。所述响应信号为轴承服役系统的响应部位在轴承载荷的激励下所产生的运动信号,通过在轴承服役系统的响应部位设置传感器就能容易的采集到。在本实施例中,所述响应信号为力、加速度或位移,轴承服役系统的轴承载荷为轴承的外圈或内圈所受到的力。需说明的是,在其它实施例中,该轴承载荷也可以是轴承中其它部件所受到的力,另外,轴承载荷的表现形式也并不应局限于力,例如,其还可以表现为加速度、位移等与力相关的形式。

在本实施例的变换例中,也可以先执行步骤 S30,再执行步骤 S10。

最后,执行步骤 S40,采用虚拟迭代(virtual iteration)方法基于所述传递函数和逆传递函数及响应信号,获得所述轴承载荷。

在本实施例中,所述虚拟迭代方法按照下述公式进行,所述轴承载荷为与所述响应信号相吻合的模拟响应信号对应的激励信号。通过虚拟迭代,能够不断地让模拟响应信号逼近自轴承服役系统采集到的响应信号,当模拟响应信号与轴承服役系统的响应信号相吻合时,即可将该模拟响应信号所对应的激励信号作为轴承服役系统的轴承载荷。

$$U_n = U_{n-1} + F^{-1} * (Y_{\text{采集}} - Y_{n-1}), \text{ 其中, } U_n \text{ 为第 } n \text{ 次的激励信号, } U_{n-1}$$

为第 $n-1$ 次的激励信号, F^{-1} 为所述多体动力学模型的逆传递函数, $Y_{\text{采集}}$ 为上述采集到的响应信号, Y_{n-1} 为第 $n-1$ 次的模拟响应信号, 所述模拟响应信号根据所述激励信号和所述多体动力学模型的传递函数获得, n 为大于或等于 1 的整数, $U_0=0$, $Y_0=0$ 。

下面对步骤 S40 中虚拟迭代的具体迭代过程做详细介绍。

步骤 a、将轴承服役系统的响应信号代入上述公式, 以求得第一次的激励信号 U_1 , $U_1=F^{-1} * Y_{\text{采集}}$ 。

步骤 b、将第一次的激励信号 U_1 代入多体动力学模型的传递函数, 以求得第一次的模拟响应信号 Y_1 , $Y_1=F * U_1$, F 为传递函数。

步骤 c、将第一次的模拟响应信号 Y_1 与轴承服役系统的响应信号 $Y_{\text{采集}}$ 进行比较。当第一次的模拟响应信号 Y_1 与所述响应信号 $Y_{\text{采集}}$ 相吻合时, 将第一次的激励信号 U_1 作为轴承服役系统的轴承载荷, 迭代结束。否则, 继续执行下述步骤 d。

步骤 d、将 n 增大 1, 将第一次的激励信号 U_1 和第一次的模拟响应信号 Y_1 代入上述公式, 以获得第二次的激励信号 U_2 , $U_2=U_1+F^{-1} * (Y_{\text{采集}}-Y_1)$ 。

步骤 e、将第二次的激励信号 U_2 代入多体动力学模型的传递函数, 以求得第二次的模拟响应信号 Y_2 , $Y_2=F * U_2$ 。

步骤 f、将第二次的模拟响应信号 Y_2 与轴承服役系统的响应信号 $Y_{\text{采集}}$ 进行比较。当第二次的模拟响应信号 Y_2 与所述响应信号 $Y_{\text{采集}}$ 相吻合时, 将第二次的激励信号 U_2 作为轴承服役系统的轴承载荷, 迭代结束。否则, 进行下一次迭代, 依次按照上述步骤 d、步骤 e、步骤 f 的类似方法执行, 以此类推, 在此不再赘述。

需说明的是, 在本发明的技术方案中, 判断模拟响应信号与轴承服役系统的响应信号是否相吻合时, 不必严格的定义为只有当模拟响应信号与轴承服役系统的响应信号完全一致时, 才认定两者相吻合, 只要模拟响应信号与轴承服役系统的响应信号在设定的误差范围内

即可认定两者相吻合。

在本实施例中，上述虚拟迭代的步骤利用 Adams 软件、Simpack 软件或 Recurdyn 软件进行。当然，在其它实施例中，也可以利用其它工具来进行虚拟迭代。

由上述分析可知，在本发明的轴承载荷在线获取方法中，首先，为轴承服役系统建立多体动力学模型。然后，利用轴承服役系统的传递函数、逆传递函数，以及容易采集到的轴承服役系统响应信号进行虚拟迭代，从而得到不易测量的轴承在线载荷。在虚拟迭代过程中，能够反复地对获得的多体动力学模型的激励信号进行修正，直至多体动力学模型输出的模拟响应信号与轴承服役系统的响应信号相吻合，这样一来，最终修正后的多体动力学模型的激励信号能够作为轴承的载荷。本发明的获取方法用多体动力学模型来对真实的轴承服役系统进行仿真，不仅通用性强，不会破坏轴承服役系统，而且因较少使用硬件而比较节省成本。

需说明的是，在本发明的技术方案中，所述虚拟迭代的方法并不应局限于所给实施例，只要其能反复迭代，将每一次迭代得到的结果作为下一次迭代的初始值，以使响应信号的模拟值逼近响应信号即可。

本实施例还提供一种轴承寿命评估方法，该评估方法可用于评估轴承的疲劳寿命，该方法包括：利用上述方法获得轴承载荷；将轴承载荷代入轴承寿命的通用公式，获得轴承寿命。该通用公式为行业内通用的用于计算轴承寿命的公式。本实施例中，通用公式为《ISO 281 滚动轴承.额定动载荷和额定寿命》制定的轴承寿命的通用公式，该通用公式为：

$$L_{nm}=a_1a_{ISO} \left(C/P \right)^{\varepsilon}$$

其中， L_{nm} 为轴承的疲劳寿命， a_1 为可靠度寿命修正系数， a_{ISO} 为基于润滑、环境、污染物颗粒以及安装等因素的寿命修正系数， $a_{ISO}=$

$f(e_c c_u / P, k)$, e_c 为污染系数, c_u 为疲劳载荷极限, k 为润滑剂的粘度比, C 为额定动载荷, P 为根据上述方法获得的轴承载荷, ε 为根据轴承的滚动体的类型确定的指数。

现有技术利用上述通用公式来获得轴承寿命时,对于通用公式中的 P 所采用的均是轴承的等效载荷,由于等效载荷并不能真实反映轴承的真实受力,因此,现有技术所获得的轴承寿命实质上为轴承的等效寿命,并不准确。而本方案对于通用公式中的 P 所采用的均是轴承的实时载荷,因而利用上述通用公式计算所获得的是轴承的实时寿命,准确性高。

需说明的是,在本发明的技术方案中,上述通用公式也可以采用其它 ISO 标准所规定的轴承寿命计算公式。

另外,本发明还提供了一种轴承服役系统的轴承载荷在线获取装置,其包括建模模块、求函数模块、采集模块和获取模块。其中,所述建模模块用于建立所述轴承服役系统的多体动力学模型。所述求函数模块用于基于所述多体动力学模型获得传递函数和逆传递函数。所述采集模块用于在所述轴承服役系统运行过程中,采集所述轴承服役系统在轴承载荷的激励下产生的响应信号。所述获取模块用于采用基于所述传递函数和逆传递函数及响应信号的虚拟迭代方法获得所述轴承载荷。

在本实施例中,所述获取模块包括第一运算单元、第二运算单元、比较单元和输出单元。其中,所述第一运算单元用于按照公式 $U_n = U_{n-1} + F^{-1} * (Y_{\text{采集}} - Y_{n-1})$ 进行计算,以获得第 n 次的激励信号,其中, U_n 为第 n 次的激励信号, U_{n-1} 为第 $n-1$ 次的激励信号, F^{-1} 为所述逆传递函数, $Y_{\text{采集}}$ 为所述响应信号, Y_{n-1} 为第 $n-1$ 次的模拟响应信号, n 为大于或等于 1 的整数, $U_0 = 0$, $Y_0 = 0$ 。所述第二运算单元,用于按照公式 $Y_n = F * U_n$ 进行计算,以获得第 n 次的模拟响应信号, Y_n 为第 n 次的模拟响应信号, F 为所述传递函数。所述比较单元用于将所述第 n 次的模拟响应信号与轴承服役系统的响应信号进行比较。所述输

出单元用于在所述比较单元的比较结果为第 n 次的模拟响应信号与轴承服役系统的响应信号 $Y_{\text{采集}}$ 相吻合时, 将第 n 次的激励信号作为所述轴承载荷。

所述第一运算单元还用于: 在所述比较单元的比较结果为第 n 次的模拟响应信号与轴承服役系统的响应信号 $Y_{\text{采集}}$ 不吻合时, 将 n 增大 1, 并重新按照公式 $U_n = U_{n-1} + F^1 * (Y_{\text{采集}} - Y_{n-1})$ 进行计算。

进一步地, 在本实施例中, 所述求函数模块包括噪声单元、采集单元、求解单元和求逆单元。其中, 所述噪声单元用于向所述多体动力学模型提供噪声信号以作为激励。所述采集单元用于获得所述多体动力学模型在所述噪声信号的激励下产生的输出信号。所述求解单元用于根据所述噪声信号和输出信号求得所述传递函数。所述求逆单元用于对所述传递函数求逆, 以获得所述逆传递函数。

另外, 本发明还提供了一种轴承寿命评估装置, 其包括上述轴承载荷在线获取装置和计算装置。其中, 所述计算装置用于根据所述轴承载荷在线获取装置所获取的轴承载荷以及轴承寿命的通用公式, 计算出所述轴承的寿命。

虽然本发明披露如上, 但本发明并非限定于此。任何本领域技术人员, 在不脱离本发明的精神和范围内, 均可作各种更动与修改, 因此本发明的保护范围应当以权利要求所限定的范围为准。

权 利 要 求

1. 一种轴承服役系统的轴承载荷在线获取方法，其特征在于，包括：

建立所述轴承服役系统的多体动力学模型；

基于所述多体动力学模型获得传递函数和逆传递函数；

在所述轴承服役系统运行过程中，采集所述轴承服役系统在轴承载荷的激励下产生的响应信号；

采用虚拟迭代方法基于所述传递函数和逆传递函数及响应信号，获得所述轴承载荷。

2. 如权利要求 1 所述的轴承载荷在线获取方法，其特征在于，所述虚拟迭代方法按照下述公式进行，所述轴承载荷为与所述响应信号相吻合的模拟响应信号对应的激励信号；

$$U_n = U_{n-1} + F^{-1} * (Y_{\text{采集}} - Y_{n-1})$$

其中， U_n 为第 n 次的激励信号， U_{n-1} 为第 $n-1$ 次的激励信号， F^{-1} 为所述多体动力学模型的逆传递函数， $Y_{\text{采集}}$ 为所述响应信号， Y_{n-1} 为第 $n-1$ 次的模拟响应信号，所述模拟响应信号根据所述激励信号和所述多体动力学模型的传递函数获得， n 为大于或等于 1 的整数， $U_0=0$ ， $Y_0=0$ 。

3. 如权利要求 1 所述的轴承载荷在线获取方法，其特征在于，获得所述传递函数和逆传递函数的方法包括：

向所述多体动力学模型输入噪声信号；

获得所述多体动力学模型在所述噪声信号的激励下产生的输出信号；

根据所述噪声信号和输出信号求得所述传递函数；

对所述传递函数求逆，以获得所述逆传递函数。

4. 如权利要求 3 所述的轴承载荷在线获取方法，其特征在于，所述

噪声信号为粉红噪声信号或白噪声信号。

5. 如权利要求 1 所述的轴承载荷在线获取方法, 其特征在于, 所述响应信号为力、加速度或位移。
6. 如权利要求 1 至 5 任一项所述的轴承载荷在线获取方法, 其特征在于, 利用 Adams 软件建立所述多体动力学模型。
7. 如权利要求 1 至 5 任一项所述的轴承载荷在线获取方法, 其特征在于, 利用 Adams 软件、Simpack 软件或 Recurdyn 软件进行所述虚拟迭代。
8. 如权利要求 1 至 5 任一项所述的轴承载荷在线获取方法, 其特征在于, 所述轴承载荷为所述轴承的外圈或内圈所受到的力。
9. 如权利要求 1 至 5 任一项所述的轴承载荷在线获取方法, 其特征在于, 所述轴承服役系统为铁路用轴箱。
10. 一种轴承寿命评估方法, 其特征在于, 包括:

利用权利要求 1 至 9 任一项所述的轴承载荷在线获取方法获得所述轴承载荷;

将所述轴承载荷代入轴承寿命的通用公式, 获得所述轴承的寿命。

11. 如权利要求 10 所述的轴承寿命评估方法, 其特征在于, 所述通用公式为《ISO 281 滚动轴承. 额定动载荷和额定寿命》制定的轴承寿命计算公式。

12. 一种轴承服役系统的轴承载荷在线获取装置, 其特征在于, 包括:

建模模块, 用于建立所述轴承服役系统的多体动力学模型;

求函数模块, 用于基于所述多体动力学模型获得传递函数和逆传递函数;

采集模块, 用于在所述轴承服役系统运行过程中, 采集所述轴承

服役系统在轴承载荷的激励下产生的响应信号;

获取模块,用于采用基于所述传递函数和逆传递函数及响应信号的虚拟迭代方法获得所述轴承载荷。

13.如权利要求 12 所述的轴承服役系统的轴承载荷在线获取装置,其特征在于,所述获取模块包括:

第一运算单元,用于按照公式 $U_n = U_{n-1} + F^{-1} * (Y_{\text{采集}} - Y_{n-1})$ 进行计算,以获得第 n 次的激励信号,其中, U_n 为第 n 次的激励信号, U_{n-1} 为第 $n-1$ 次的激励信号, F^{-1} 为所述逆传递函数, $Y_{\text{采集}}$ 为所述响应信号, Y_{n-1} 为第 $n-1$ 次的模拟响应信号, n 为大于或等于 1 的整数, $U_0=0$, $Y_0=0$;

第二运算单元,用于按照公式 $Y_n = F * U_n$ 进行计算,以获得第 n 次的模拟响应信号, Y_n 为第 n 次的模拟响应信号, F 为所述传递函数;

比较单元,用于将所述第 n 次的模拟响应信号与轴承服役系统的响应信号进行比较;

输出单元,用于在所述比较单元的比较结果为第 n 次的模拟响应信号与轴承服役系统的响应信号 $Y_{\text{采集}}$ 相吻合时,将第 n 次的激励信号作为所述轴承载荷;

所述第一运算单元还用于:在所述比较单元的比较结果为第 n 次的模拟响应信号与轴承服役系统的响应信号 $Y_{\text{采集}}$ 不吻合时,将 n 增大 1,并重新按照公式 $U_n = U_{n-1} + F^{-1} * (Y_{\text{采集}} - Y_{n-1})$ 进行计算。

14.如权利要求 12 所述的轴承服役系统的轴承载荷在线获取装置,其特征在于,所述求函数模块包括:

噪声单元,用于向所述多体动力学模型提供噪声信号以作为激励;

采集单元,用于获得所述多体动力学模型在所述噪声信号的激励下产生的输出信号;

求解单元, 用于根据所述噪声信号和输出信号求得所述传递函数;

求逆单元, 用于对所述传递函数求逆, 以获得所述逆传递函数。

15. 一种轴承寿命评估装置, 其特征在于, 包括:

权利要求 12 至 14 任一项所述的轴承载荷在线获取装置;

计算装置, 用于根据所述轴承载荷在线获取装置所获取的轴承载荷以及轴承寿命的通用公式, 计算出所述轴承的寿命。

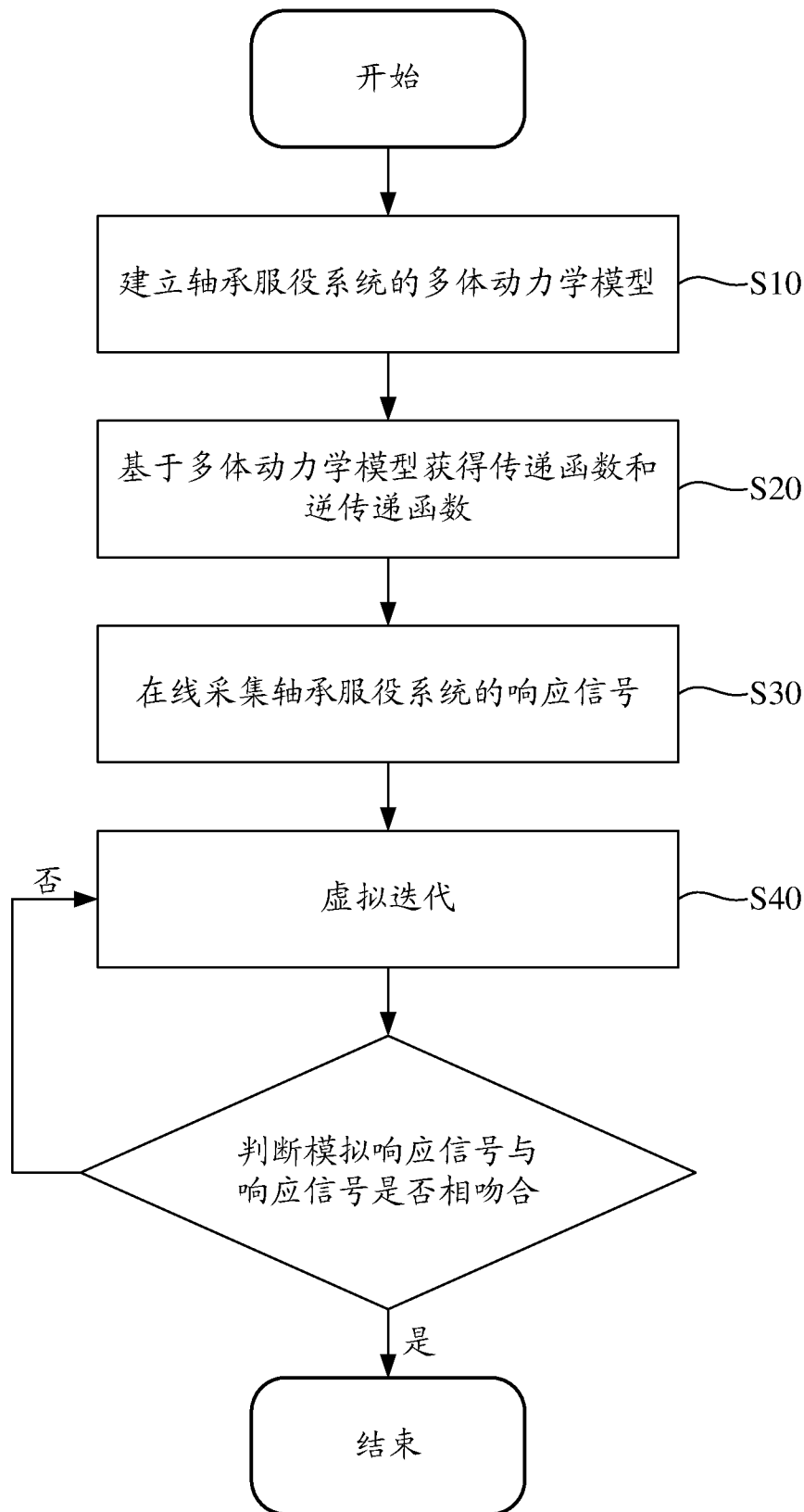


图 1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2017/100662

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01M 13/04 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01M 13/-

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNPAT, CNKI, WPI, EPODOC: 轴承, 动力, 模型, 建模, 虚拟迭代, 动态, 实时, 瞬态, 载荷, 荷载, 负荷, 负载, 加载, 响应, 运动, 速度, 加速度, 位移, 传递, 函数, 方程, 关系, 曲线, 监测, 检测, 测量, 计算, 获取, 寿命, 静态, 静载荷, 估计, 估算, 预测, 评估, bearing?, model, dynamic, real?time, real w time, load+, respons+, speed, acceleration, displacement, transfer+, function, relation+, curve?, detect+, measur+, monitor+, survey+, life, static, estimat+, evaluat+, predict+

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	CN 1723385 A (NSK LTD.), 18 January 2006 (18.01.2006), description, page 2, line 24 to page 4, line 27 and page 23, line 18 to page 28, line 19, and figures 1-38	1-15
Y	CN 203881541 U (ZHEJIANG GEELY AUTOMOBILE HOLDINGS LIMITED et al.), 15 October 2014 (15.10.2014), description, paragraphs [0042]-[0056]	1-15
A	CN 104321548 A (AB SKF), 28 January 2015 (28.01.2015), entire document	1-15
A	CN 101166912 A (TIMKEN COMPANY), 23 April 2008 (23.04.2008), entire document	1-15
A	CN 102201033 A (NORTHWESTERN POLYTECHNICAL UNIVERSITY), 28 September 2011 (28.09.2011)	1-15
A	CN 102928222 A (ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE OF GUANGDONG POWER GRID CORPORATION), 13 February 2013 (13.02.2013), entire document	1-15
A	US 2002046012 A1 (NSK LTD.), 18 April 2002 (18.04.2002), entire document	1-15

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 10 November 2017	Date of mailing of the international search report 05 December 2017
Name and mailing address of the ISA State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No. (86-10) 62019451	Authorized officer LI, Jing Telephone No. (86-10) 61648139

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2017/100662

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 5831338 B2 (JTEKT CORP.), 09 December 2015 (09.12.2015), entire document	1-15

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2017/100662

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 1723385 A	18 January 2006	CN 100442041 C US 2006070462 A1 WO 2004104545 A1 EP 1625376 B1 JP 4517648 B2 JP 2005031063 A KR 20050092388 A US 7320257 B2 EP 1625376 A	10 December 2008 06 April 2006 02 December 2004 23 November 2016 04 August 2010 03 February 2005 21 September 2005 22 January 2008 15 February 2006
CN 203881541 U	15 October 2014	None	
CN 104321548 A	28 January 2015	AU 2012377797 B2 WO 2013159837 A1 US 9453780 B2 AU 2012377797 A1 EP 2841781 A1 KR 20150004851 A US 2015168257 A1 JP 2015522793 A IN 201407922 P4 BR 112014026461 A2	17 September 2015 31 October 2013 27 September 2016 30 October 2014 04 March 2015 13 January 2015 18 June 2015 06 August 2015 01 July 2016 27 June 2017
CN 101166912 A	23 April 2008	EP 1875089 A1 KR 20080007338 A WO 2006118946 A1 US 2008199117 A1 WO 2007022386 A2 US 7280063 B2 US 2006244645 A1 IN 200708411 P1	09 January 2008 18 January 2008 09 November 2006 21 August 2008 22 February 2007 09 October 2007 02 November 2006 04 July 2008
CN 102201033 A	28 September 2011	CN 102201033 B	02 April 2014
CN 102928222 A	13 February 2013	CN 102928222 B	20 May 2015
US 2002046012 A1	18 April 2002	JP 2002148148 A US 7006953 B2 EP 1184813 A2 JP 3855651 B2	22 May 2002 28 February 2006 06 March 2002 13 December 2006
JP 5831338 B2	09 December 2015	JP 2013217660 A	24 October 2013

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2017/100662

A. 主题的分类 G01M 13/04 (2006.01) i 按照国际专利分类 (IPC) 或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类		
B. 检索领域 检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号) G01M13/- 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 在国际检索时查阅的电子数据库 (数据库的名称, 和使用的检索词 (如使用)) CNPAT, CNKI, WPI, EPDOC: 轴承, 动力, 模型, 建模, 虚拟迭代, 动态, 实时, 瞬态, 载荷, 荷载, 负荷, 负载, 加载, 响应, 运动, 速度, 加速度, 位移, 传递, 函数, 方程, 关系, 曲线, 监测, 检测, 测量, 计算, 获取, 寿命, 静态, 静载荷, 估计, 估算, 预测, 评估, bearing?, model, dynamic, real?time, real w time, load+, respons+, speed, acceleration, displacement, transfer+, function, relation+, curve?, detect+, measur+, monitor+, survey+, life, static, estimat+, evaluat+, predict+		
C. 相关文件		
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
Y	CN 1723385 A (日本精工株式会社) 2006年 1月 18日 (2006 - 01 - 18) 说明书第2页第24行-第4页第27行, 第23页第18行-第28页第19行、图1-38	1-15
Y	CN 203881541 U (浙江吉利控股集团有限公司 等) 2014年 10月 15日 (2014 - 10 - 15) 说明书第[0042]-[0056]段	1-15
A	CN 104321548 A (SKF公司) 2015年 1月 28日 (2015 - 01 - 28) 全文	1-15
A	CN 101166912 A (蒂姆肯公司) 2008年 4月 23日 (2008 - 04 - 23) 全文	1-15
A	CN 102201033 A (西北工业大学) 2011年 9月 28日 (2011 - 09 - 28)	1-15
A	CN 102928222 A (广东电网公司电力科学研究院) 2013年 2月 13日 (2013 - 02 - 13) 全文	1-15
A	US 2002046012 A1 (NSK LTD.) 2002年 4月 18日 (2002 - 04 - 18) 全文	1-15
☒ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。		
* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件		
国际检索实际完成的日期		国际检索报告邮寄日期
2017年 11月 10日		2017年 12月 5日
ISA/CN的名称和邮寄地址		受权官员
中华人民共和国国家知识产权局 (ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451		李璟 电话号码 (86-10)61648139

C. 相关文件		
类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
A	JP 5831338 B2 (JTEKT CORP.) 2015年 12月 9日 (2015 - 12 - 09) 全文	1-15

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2017/100662

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	1723385	A	2006年 1月 18日	CN	100442041	C	2008年 12月 10日
				US	2006070462	A1	2006年 4月 6日
				WO	2004104545	A1	2004年 12月 2日
				EP	1625376	B1	2016年 11月 23日
				JP	4517648	B2	2010年 8月 4日
				JP	2005031063	A	2005年 2月 3日
				KR	20050092388	A	2005年 9月 21日
				US	7320257	B2	2008年 1月 22日
				EP	1625376	A	2006年 2月 15日
CN	203881541	U	2014年 10月 15日	无			
CN	104321548	A	2015年 1月 28日	AU	2012377797	B2	2015年 9月 17日
				WO	2013159837	A1	2013年 10月 31日
				US	9453780	B2	2016年 9月 27日
				AU	2012377797	A1	2014年 10月 30日
				EP	2841781	A1	2015年 3月 4日
				KR	20150004851	A	2015年 1月 13日
				US	2015168257	A1	2015年 6月 18日
				JP	2015522793	A	2015年 8月 6日
				IN	201407922	P4	2016年 7月 1日
				BR	112014026461	A2	2017年 6月 27日
CN	101166912	A	2008年 4月 23日	EP	1875089	A1	2008年 1月 9日
				KR	20080007338	A	2008年 1月 18日
				WO	2006118946	A1	2006年 11月 9日
				US	2008199117	A1	2008年 8月 21日
				WO	2007022386	A2	2007年 2月 22日
				US	7280063	B2	2007年 10月 9日
				US	2006244645	A1	2006年 11月 2日
				IN	200708411	P1	2008年 7月 4日
CN	102201033	A	2011年 9月 28日	CN	102201033	B	2014年 4月 2日
CN	102928222	A	2013年 2月 13日	CN	102928222	B	2015年 5月 20日
US	2002046012	A1	2002年 4月 18日	JP	2002148148	A	2002年 5月 22日
				US	7006953	B2	2006年 2月 28日
				EP	1184813	A2	2002年 3月 6日
				JP	3855651	B2	2006年 12月 13日
JP	5831338	B2	2015年 12月 9日	JP	2013217660	A	2013年 10月 24日

表 PCT/ISA/210 (同族专利附件) (2009年7月)