



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106233115 B

(45)授权公告日 2018.02.23

(21)申请号 201580016936.6

(22)申请日 2015.03.26

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 106233115 A

(43)申请公布日 2016.12.14

(30)优先权数据
1452650 2014.03.27 FR

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2016.09.27

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/FR2015/050785 2015.03.26

(87)PCT国际申请的公布数据
W02015/145085 FR 2015.10.01

(73)专利权人 赛峰飞机发动机公司

地址 法国巴黎

(72)发明人 欧拉丽·戈比 瓦莱里奥·格雷兹

(74)专利代理机构 北京派特恩知识产权代理有限公司 11270

代理人 王琳 姚开丽

(51)Int.Cl.
G01M 15/14(2006.01)

审查员 李海霞

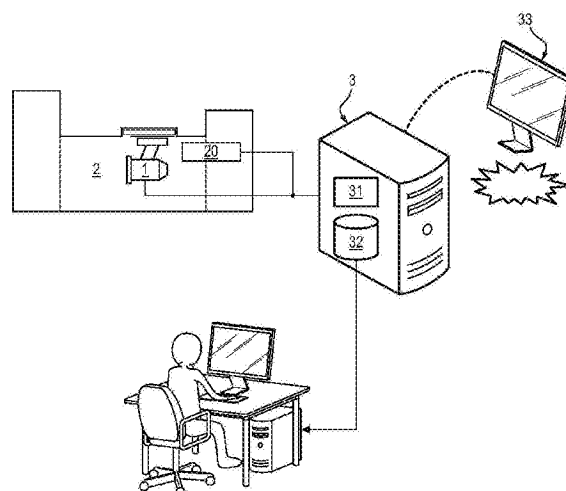
权利要求书3页 说明书8页 附图9页

(54)发明名称

估计飞行器发动机的物理参数的测量值是否正常的方法

(57)摘要

本发明涉及一种用于针对装置(1)的工作参数的值(x_{exec})的由传感器(20)测量的所述装置(1)的物理参数的值(y_{exec})的特征是否正常进行估计的方法。所述方法的特征在于包括实施以下步骤:(a)基于与所述多个 $(x_i; y_i)_{i \in [1, n]}$ 对有关的回归模型计算物理参数的估计值(y_{exec}); (b)计算相关的残差(res_{exec}); (c)基于与所述多个 $(x_i; y_i)_{i \in [1, n]}$ 对有关的方差模型计算物理参数的方差的估计值(var_{exec}); (d)基于所测量的值(y_{exec})计算异常分数(Z_{score}), 计算估计值(var_{exec}), 并计算对于所述多个 $(x_i; y_i)_{i \in [1, n]}$ 对的平均残差值($mean$); (e)将所测量的值(y_{exec})的所述异常分数(Z_{score})与标准偏差阈值(σ)相比较; 并且如果所述异常分数(Z_{score})大于所述阈值(σ), (f)在接口装置(33)上将所述测量值识别为异常。



1. 一种用于对针对装置(1)的工作参数的值 x_{exec} 而言由传感器(20)测量的所述装置(1)的物理参数的值 y_{exec} 是否正常进行估计的方法,存储在数据库中的多个 $(x_i; y_i)_{i \in [1, n]}$ 对中的每一对限定对于所述工作参数的值 x_i 的所述物理参数的参考值 y_i ,所述数据库存储在数据存储装置(32)上,所述方法的特征在于,包括:由数据处理装置(31)实施以下步骤:

(a) 基于与所述多个 $(x_i; y_i)_{i \in [1, n]}$ 对有关的回归模型计算对于所述工作参数的值 x_{exec} 的所述物理参数的估计值 \hat{y}_{exec} ;

(b) 计算相关的残差 res_{exec} ;

(c) 基于与所述多个 $(x_i; y_i)_{i \in [1, n]}$ 对有关的方差模型计算对于所述工作参数的值 x_{exec} 的所述物理参数的方差的估计值 $\hat{\sigma}_{exec}$;

(d) 基于所述残差 res_{exec} 、所述方差的估计值 $\hat{\sigma}_{exec}$ 和对于所述多个 $(x_i; y_i)_{i \in [1, n]}$ 对的平均残差值 $mean$ 计算所测量的值 y_{exec} 的异常分数 Z_{score} ;

(e) 将所测量的值 y_{exec} 的所述异常分数 Z_{score} 与标准偏差阈值 σ 相比较;

(f) 如果所述异常分数 Z_{score} 高于所述标准偏差阈值 σ ,则在接口装置(33)上告知所述测量值为异常。

2. 根据权利要求1所述的方法,包括处理所述数据库的所述多个 $(x_i; y_i)_{i \in [1, n]}$ 对的在先阶段,该在先阶段包括由所述数据处理装置(31)实施以下步骤:

(a0) 通过基于所述工作参数的值 x 并根据所述 $(x_i; y_i)_{i \in [1, n]}$ 对的集对所述物理参数的值 y 回归建模来确定与所述多个 $(x_i; y_i)_{i \in [1, n]}$ 对有关的所述回归模型,其中, $x_i; y_i$ 表明存储在数据库中的对的值;

(a1) 对于所述 $(x_i; y_i)_{i \in [1, n]}$ 对中的每一个,计算所述物理参数的估计值 \hat{y}_i 和相关的残差 res_i ;

(a2) 计算所述残差 res_i 的平均值 $mean$;

(a3) 在尺寸为 w 的滑动窗口上计算残差方差的值 $(var_j)_{j \in [1, n-w+1]}$ 的集,每个值与一 $(x_i; y_i)_{i \in [1, n]}$ 对的所述工作参数的值 x_j 有关;

(a4) 通过基于所述工作参数的值 x 并根据 $\{x_j; var_j\}_{j \in [1, n-w+1]}$ 的集对所述残差方差的值 var 回归建模来确定与所述多个 $(x_i; y_i)_{i \in [1, n]}$ 对有关的所述方差模型,其中, var_j 指代所计算的残差方差值,并且 x_j 指代相关的工作参数的值。

3. 根据权利要求2所述的方法,其中,所述在先阶段包括基于所确定的方差模型确定与所确定的回归模型有关的置信区域并将所述置信区域显示在所述接口装置(33)上的步骤(a5)。

4. 根据权利要求3所述的方法,其中,所述置信区域由公式 $f(x) + \sigma \times \sqrt{g(x)}$ 的上边界和公式为 $f(x) - \sigma \times \sqrt{g(x)}$ 的下界限定,其中, f 表示所述回归模型,并且 g 表示所述方差模型。

5. 根据权利要求1至4中任一项所述的方法,其中,所述异常分数 Z_{score} 通过公式
$$Z_{score} = \left| \frac{res_{exec} - mean}{\sqrt{\hat{\sigma}_{exec}}} \right|$$
获取,其中, res_{exec} 是与所述物理参数的测量值有关的所述残差, $\hat{\sigma}_{exec}$ 是所述方差的估计值,并且 $mean$ 是所述多个 $(x_i; y_i)_{i \in [1, n]}$ 对的所述平均残差值。

6. 根据权利要求1至4中任一项所述的方法,其中,所述装置(1)是飞行器发动机。

7. 根据权利要求6所述的方法,其中,所述物理参数从与所述发动机(1)有关的压强、内部温度、流体流动速率、噪声水平和燃料密度中选择。

8. 根据权利要求6所述的方法,其中,所述工作参数从与所述发动机(1)有关的速率、燃料流动速率、燃料温度、环境压强和环境温度中选择。

9. 根据权利要求8所述的方法,其中,所述发动机(1)被置于包括传感器(20)的测试台(2)上,所述步骤(f)包括如果告知所述测量值异常则将所述测试台(2)停机。

10. 根据权利要求1至4中任一项所述的方法,其中,所述步骤(f)包括如果未告知所述测量值异常则将 $(x_{exec}; y_{exec})$ 对添加到 $(x_i; y_i)_{i \in [1, n]}$ 对的所述数据库中,所述 $(x_{exec}; y_{exec})$ 对由所述物理参数的所测量的值和所述工作参数的值形成。

11. 一种用于对针对装置(1)的工作参数的值 x_{exec} 而言由传感器(20)测量的所述装置(1)的物理参数的值 y_{exec} 是否正常进行估计的设备(3),包括数据处理装置(31)、数据存储装置(32)和接口装置(33),所述数据存储装置将多个 $(x_i; y_i)_{i \in [1, n]}$ 对存储在数据库中,每个 $(x_i; y_i)_{i \in [1, n]}$ 对限定对于所述工作参数的值 x_i 的所述物理参数的参考值 y_i ,所述设备(3)的特征在于,所述数据处理装置(31)被配置为实施:

- 用于基于与所述多个 $(x_i; y_i)_{i \in [1, n]}$ 对有关的回归模型计算对于所述工作参数的值 x_{exec} 的所述物理参数的估计值 \hat{y}_{exec} 的模块;

- 用于计算相关的残差 res_{exec} 的模块;

- 用于基于与所述多个 $(x_i; y_i)_{i \in [1, n]}$ 对有关的方差模型计算对于所述工作参数的值 x_{exec} 的所述物理参数的方差的估计值 $\hat{\sigma}_{exec}$ 的模块;

- 用于基于所述残差 res_{exec} 、所述方差的估计值 $\hat{\sigma}_{exec}$ 和对于所述多个 $(x_i; y_i)_{i \in [1, n]}$ 对的平均残差值 $mean$ 计算所测量的值 y_{exec} 的异常分数 Z_{score} 的模块;

- 用于将所测量的值 y_{exec} 的所述异常分数 Z_{score} 与标准偏差阈值 σ 相比较的模块;

- 用于若所述异常分数 Z_{score} 高于所述标准偏差阈值 σ 则在接口装置(33)上发送告警信号以告知所述测量值为异常的模块。

12. 根据权利要求11所述的设备,其中,所述数据处理装置(31)还被配置为实施:

- 用于通过基于所述工作参数的值 x 并根据所述 $(x_i; y_i)_{i \in [1, n]}$ 对的集对所述物理参数的值 y 回归建模来确定与所述多个 $(x_i; y_i)_{i \in [1, n]}$ 对有关的所述回归模型的模块,其中, $x_i; y_i$ 指代存储在数据库中的一个对的值;

- 用于对于所述 $(x_i; y_i)_{i \in [1, n]}$ 对中的每一个计算所述物理参数的估计值 \hat{y}_i 和相关的残差 res_i 的模块;

- 用于计算所述残差 res_i 的平均值 $mean$ 的模块;

- 用于在尺寸为 w 的滑动窗口上计算残差方差的值 $(var_j)_{j \in [1, n-w+1]}$ 的集的模块,每个值与一 $(x_i; y_i)_{i \in [1, n]}$ 对的所述工作参数的值 x_j 有关;

- 用于通过基于所述工作参数的值 x 并根据 $\{x_j; var_j\}_{j \in [1, n-w+1]}$ 的集对所述残差方差的值 var 回归建模来确定与所述多个 $(x_i; y_i)_{i \in [1, n]}$ 对有关的所述方差模型的模块,其中, var_j 指代所计算的残差方差值,并且 x_j 指代相关的工作参数的值。

13. 一种系统,包括:

- 测试台(2),包括传感器(20)并且适用于容纳装置(1);

- 根据权利要求11和12中任一项所述的用于对针对所述装置(1)的工作参数的值 x_{exec} 而

言由传感器(20)测量的所述装置(1)的物理参数的值 y_{exec} 是否正常进行估计的设备(3)。

14.一种存储装置,可由计算设备读取,所述存储装置上的计算机程序产品包括代码指令,所述代码指令用于实现根据权利要求1至9中任一项所述的用于对针对所述装置(1)的工作参数的值 x_{exec} 而言由传感器(20)测量的装置(1)的物理参数的值 y_{exec} 是否正常进行估计的方法。

估计飞行器发动机的物理参数的测量值是否正常的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及航空设备测试领域。

[0002] 更确切地,本发明涉及一种用于对装置、特别是飞行器发动机的物理参数的测量值是否正常进行估计的方法。

背景技术

[0003] 测试台是用于在受控条件下的测试中对测试机器(通常为飞行器发动机)的性能进行测量以观察测试机器行为的平台。在这样的测试中,测试台和/或测试机器配备的传感器采集数据,数据被传送到指定的数据库,该数据在下文中也被称为测试数据库,也称为测试库。简单起见,传感器被称为测试台传感器,由此包括在测试范围内的发动机配备的传感器。

[0004] 测试机器通常是所要测试的开发的原型(所采集的数据因此由研究部门使用以对机器进行改进和开发)或者所要检查规格和可靠性的最终产品(所采集的数据因此由质量团队使用)。替代性地,测试机器可以是整个发动机,或者是发动机的用于部分测试的组件。

[0005] 然而,由于测试台和/或测试机器的一个或更多个传感器的缺陷经常发生,采集的数据具有异常值或反常值。则这些在“失效”采集过程中获取的数据对测试数据库造成“污染”。

[0006] 这对库的使用者(特别是研究部门)造成问题,该使用者使用所存储的全部数据来特别进行性能比较。这些数据还能够用于重新调节测试台上的发动机的数值模型。

[0007] 另外,在测试过程中,快速检测任何有缺陷的传感器是很重要的,以至于能够根据异常的严重性停止测试。事实上,测试是非常昂贵的,并且因此对测试、特别是测试的输出的优化很重要。

[0008] 法国专利FR2965915描述了一种用于实时监视测试台的传感器的示例性方法,该方法使得能够就传感器故障发出信号,但是这并不能够检测测试中的测量质量的漂移。另外,已知的方法不可避免地测试台关联且无法在测试库中存储的测量值中后验地识别异常测量值。

[0009] 因而,期望可靠、高效且可重复地控制与发动机有关的参数的测量,从而简单地识别测量值集中的异常测量值。

发明内容

[0010] 根据第一方面,本发明提供了一种用于对针对所述装置的工作参数的值的由传感器测量的装置的物理参数的值是否正常进行估计的方法,存储在数据库中的多个对中的每一对限定对于所述工作参数的值的所述物理参数的参考值,所述数据库存储在数据存储装置上,所述方法的特征在于包括由数据处理装置实施以下步骤:

[0011] (a) 基于与所述多个对有关的回归模型计算对于所述工作参数的值的所述物理参数的估计值;

[0012] (b) 计算相关的残差；

[0013] (c) 基于与所述多个对有关的方差模型计算对于所述工作参数的值的所述物理参数的方差的估计值；

[0014] (d) 基于所述残差、所述方差的估计值和对于所述多个对的平均残差值计算所测量的值的异常分数；

[0015] (e) 将所测量的值的所述异常分数与标准偏差阈值相比较；

[0016] (f) 如果所述异常分数高于所述阈值，则在接口装置上告知所述测量值为异常。

[0017] 基于工作对方差进行估计使得(根据使用背景)不再需要测量不确定性中的方差。关于回归模型建立的置信区间(Z_{score} 的公差 σ)因此比恒定方差更加真实，并且异常点的检测完全更加精确。告警模型因此更加高效。

[0018] 根据其他的有利且非限制性特征：

[0019] • 该方法包括处理所述数据库的所述多个对的在先阶段，该在先阶段包括由数据处理装置实施以下步骤：

[0020] (a0) 通过基于所述工作参数的值 x 并根据所述 $(x_i; y_i)_{i \in [1, n]}$ 对的集对所述物理参数的值 y 回归建模来确定与所述多个 $(x_i; y_i)_{i \in [1, n]}$ 对有关的所述回归模型，其中， $x_i; y_i$ 表明存储在数据库中的对的值；

[0021] (a1) 对于所述对中的每一个，计算所述物理参数的估计值和相关的残差；

[0022] (a2) 计算所述残差的平均值；

[0023] (a3) 在尺寸为 w 的滑动窗口上计算残差方差的值的集，每个值与一对的所述工作参数的值有关；

[0024] (a4) 通过基于所述工作参数的值 x 并根据所述 $\{x_j; var_j\}_{j \in [1, n-w+1]}$ 的集对所述残差方差的值 var 回归建模来确定与所述多个对有关的所述方差模型，其中， var_j 表明所计算的残差方差值，并且 x_j 表明相关的工作参数的值；

[0025] • 所述在先阶段包括基于所确定的方差模型确定与所确定的回归模型有关的置信区域并将所述置信区域显示在所述接口装置上的步骤(a5)；

[0026] • 所述置信区域由公式为 $f(x) + \sigma \times \sqrt{g(x)}$ 的上边界和公式为 $f(x) - \sigma \times \sqrt{g(x)}$ 的下边界限定，其中， f 表示所述回归模型，并且 g 表示所述方差模型；

[0027] • 所述异常分数(Z_{score})通过公式 $Z_{score} = \left| \frac{res_{exec} - mean}{\sqrt{var_{exec}}} \right|$ 获取，其中， res_{exec} 是与所述物理参数的测量值有关的所述残差， var_{exec} 是所述方差的估计值，并且 $mean$ 是对于所述多个对的所述平均残差值；

[0028] • 所述装置是飞行器发动机；

[0029] • 所述物理参数从与所述发动机有关的压强、内部温度、流体流动速率、噪声水平和燃料密度中选择；

[0030] • 所述工作参数从与所述发动机有关的速率、燃料流动速率、燃料温度、环境压强和环境温度中选择；

[0031] • 所述发动机被置于包括传感器的测试台上，所述步骤(e)包括如果告知所述测量值异常则将所述测试台停机；

[0032] • 步骤(e)包括如果未告知所述测量值异常则将所述物理参数的所测量的值和所述工作参数的值形成的对添加到对的所述数据库中。

[0033] 根据第二方面,本发明涉及一种用于对针对所述装置的工作参数的值的由传感器测量的装置的物理参数的值是否正常进行估计的设备,包括数据处理装置、数据存储装置和接口装置,所述数据存储装置件多个对存储在数据库中,每个对限定对于所述工作参数的值 x_i 的所述物理参数的参考值,所述设备的特征在于,所述数据处理装置被配置为实施:

[0034] -用于基于与所述多个对有关的回归模型计算对于所述工作参数的值的所述物理参数的估计值的模块;

[0035] -用于计算相关的残差的模块;

[0036] -用于基于与所述多个对有关的方差模型计算对于所述工作参数的值的所述物理参数的方差的估计值的模块;

[0037] -用于基于所述残差、所述方差的估计值和对于所述多个对的平均残差值计算所测量的值的异常分数的模块;

[0038] -用于将所测量的值的所述异常分数与标准偏差阈值相比较的模块;

[0039] -用于若所述异常分数高于所述阈值则在接口装置上发送告警信号以告知所述测量值为异常的模块。

[0040] 根据其他有利且非限制性特征:

[0041] • 所述数据处理模块(31)还被配置为实施:

[0042] -用于通过基于所述工作参数的值 x 并根据所述 $(x_i; y_i)_{i \in [1, n]}$ 对的集对所述物理参数的值 y 回归建模来确定与所述多个对有关的所述回归模型的模块,其中, $x_i; y_i$ 表明存储在数据库中的对的值;

[0043] -用于对于所述对中的每一个计算所述物理参数的估计值和相关的残差的模块;

[0044] -用于计算所述残差的平均值的模块;

[0045] -用于在尺寸为 w 的滑动窗口上计算残差方差的值的集的模块,每个值与一对的所述工作参数的值有关;

[0046] -用于通过基于所述工作参数的值 x 并根据所述 $\{x_j; \text{var}_j\}_{j \in [1, n-w+1]}$ 的集对所述残差方差的值 var 回归建模来确定与所述多个对有关的所述方差模型的模块,其中, var_j 表明所计算的残差方差值,并且 x_j 表明相关的工作参数的值。

[0047] 根据第三方面,本发明涉及一种系统,该系统包括:

[0048] -测试台,包括传感器并且适用于容纳装置;

[0049] -根据第二方面所述的用于对针对所述装置的工作参数的值的由传感器测量的所述装置的物理参数的值是否正常进行估计的设备。

[0050] 根据第四和第五方面,本发明涉及一种计算机程序产品和可由计算设备读取的存储装置。该计算机程序产品包括代码指令,该代码指令用于实现根据本发明的第一方面的用于对对针对所述装置的工作参数的值的由传感器测量的装置的物理参数的值是否正常进行估计的方法。所述存储装置上的计算机程序产品包括代码指令,所述代码指令用于实现根据第一方面所述的用于对针对所述装置的工作参数的值的由传感器测量的装置的物理参数的值是否正常进行估计的方法。

附图说明

[0051] 通过阅读依照一优选实施例的说明,本发明的进一步地特征和优点将变得明显。该说明参照附图给出,在附图中:

[0052] 图1表示实施根据本发明的方法的一示例性环境;

[0053] 图2a-2b示出了根据本发明的示例性方法的两个阶段的步骤;

[0054] 图3a-3f表示在根据本发明的方法的各步骤过程中获取的数据接口上的显示区域。

具体实施方式

[0055] 参见图1,本发明是用于对针对发动机1的工作参数的值 x_{exec} 的由受控装置1的物理参数的传感器20测量的值 y_{exec} 是否正常进行估计的方法。受控装置1特别地是飞行器发动机1,通常是涡轮机的整机或部分,特别地是双流涡轮机。

[0056] 尽管本说明是针对(在飞行或测试台中的)涡轮机的一个优选示例进行的,然而可以理解,本发明并不仅限于此,并且“装置(device)”指的是接收至少一个工作参数作为“输入”的任何物理系统,有必要通过传感器对该至少一个工作参数进行监视,并且直接对该涡轮机的行为进行建模是很复杂的。测试机器这一含义是当装置在例如测试台上进行测试(而非实际使用)时赋予的。

[0057] 本方法因此能够由任何推进装置来实施,该推进装置是或不是陆地的。

[0058] 除了推进系统之外,将很容易理解,本发明能够具有航空方面的其他应用,特别是起落架系统,或者任何其他需要对本身工作进行监视的复杂设备装置。

[0059] 在另一领域中,例如在铁路领域中,能够对火车故障系统或车辆的其他安全部件进行监视。

[0060] 本发明还涵盖其他的制造或实验系统。

[0061] 本方法可应用于任何的测量监视(包括在装置的使用寿命内),但是优选地,测试测量的示例如下:发动机1(或另一装置)被置于连接有传感器20的测试台2中。测试台2用于模拟发动机1在实际条件下的工作。本发明的目的是验证在测试过程中得到的测量值是否有效。因此,测量值是否正常与该测量值的有效性直接相关。声明为无效的测量值被认为是异常的。

[0062] 工作参数(值 x)是“解释性”或“预测性”变量,这与测量的物理参数(值 y)相对,测量的物理参数是“用于解释”或“用于预测”的变量。换言之,工作参数的值 x 是原因,而物理参数的值 y 是结果。

[0063] 更准确地,工作参数是与使用者能够作用或者环境具有影响的发动机1有关的受控值。换言之,工作参数是输入命令。在本说明的下文中,发动机速率(即发动机1的转子每单位时间进行的旋转数量,当时间单位为分钟时经常被直接称为“发动机rpm(每分钟转速)”)将被采用,但是将会理解,能够监视诸如注入发动机1的燃料流动速率、注入发动机1的燃料温度、发动机1周围的环境压强以及发动机1周围的环境温度之类的许多其他的工作参数。该参数是针对发动机选择的输入参数。

[0064] 物理参数代表发动机1响应于被施加工作参数的预期行为的特征物理量,针对该

特征物理量来适配传感器20。可以理解,可以提供多个适配于各物理量的传感器20。特别地,该物理参数能够是发动机1的一点处的压强、发动机1的一点处的内部温度、发动机1的一点处的流体流动速率、发动机1产生的噪声水平、发动机1的燃料密度等。这些本领域的技术人员将根据测试目的来选择要测量的物理量的类型。在本说明的下文中,压强传感器20测量的压强将被作为示例采用。

[0065] $(x; y)$ 对指明点采集:对于工作参数的值 x ,物理参数的值 y 由传感器20测量。

[0066] 数据库(该数据库构成前述的测试数据库)中存储有多个 $(x_i; y_i)_{i \in [1, n]}$ 对,每一个对限定了针对工作参数的值 x_i 的物理参数的参考值 y_i ,该数据库自身存储在数据存储装置32中。“参考”值意味着这些值是在稳定后的测试阶段中被获取的,即能够被认为是正常的。可能的异常值已经从库中移除。

[0067] 数据存储装置32(通常为硬盘)和数据处理装置31(例如处理器)是设备3中连接到传感器20(如图1中所示)处或直接整合到测试台2中的设备。设备3(或另一设备)配备有接口装置(诸如键盘和屏幕)以与数据库交互,并且特别用于显示结果(参见下文)。

[0068] $(x_{exec}; y_{exec})$ 对指代“被监视”的测量,即试图针对该测量值来确定测量值 y_{exec} 是否正常。

[0069] 监视的测量值能够是实时(特别是在发动机的使用寿命中工作过程中)获取的测量值或甚至是已经存储在数据库中并待用的延时测量值 $(x_{exec}; y_{exec})$ 对。

[0070] 用于实时查询并分析测试数据库的系统能够由数据处理装置31实施。

[0071] 学习阶段

[0072] 本方法包括两个阶段。第一阶段为学习阶段,且第二阶段为运行阶段。优选地,预先实施学习阶段以便建立模型,该模型将在下文中描述(并且可能将模型存储在数据存储装置32上);并且之后在每个新的测量值采集中实施运行阶段。运行阶段使得可以对测量的值 y_{exec} 是否正常进行估计,这是本发明的目的。学习阶段能够时不时地恢复以更新模型。

[0073] 替代性地,很有可能不先行学习,并且可能在每次实施运行阶段时实时确定模型。

[0074] 本说明中的下文中将对两个阶段进行说明。

[0075] 学习阶段能够被视为仅对库中的数据进行处理步骤集(即独立于 $(x_{exec}; y_{exec})$ 对)。

[0076] 参见图2a(使用速率/压强参数的示例),学习阶段始于步骤(a0):根据 $(x_i; y_i)_{i \in [1, n]}$ 对的值的集将 y 回归建模为 x 的函数来确定与所述多个 $(x_i; y_i)_{i \in [1, n]}$ 对有关的回归模型。该回归模型将被用在运行阶段中。

[0077] 回归指代本领域的技术人员公知的分析一个变量(本申请中为 y)与一个或多个其他变量(本申请中为 x)的关系的一套统计方法。换言之,步骤(a0)在于确定函数 f ,该函数 f 使得对于给定的关联类型,基于值 x_i 的值 y_i 最佳近似(approximer au mieux)。关联类型同样可知为线性、多项式、指数、对数、回归等。

[0078] 所使用的关联类型有利地根据曲线形状来选择,并且能够通过使确定系数最大化的优化(例如专利申请FR2939928中所述的方式)来自动完成。

[0079] 图3a示出了由 n 个 $(x_i; y_i)_{i \in [1, n]}$ 对形成的散点图以及通过回归获取的模型。

[0080] 在第二步骤(a1)中,学习阶段包括针对每一对来计算物理参数的估计值 \hat{y}_i 以及彼此相关的残差 res_i 。残差(residu)是估计值与测量值之间的差值。根据回归模型,这些值仅

通过公式 $\hat{y}_i = f(x_i)$ 和 $res_i = y_i - \hat{y}_i$ 来获取, 其中, $i \in [1, n]$ 。图3b示出了针对模型获取的残

差。在步骤(a2)中, 计算所述残差的平均值: $mean = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n res_i$ 。

[0081] 一旦建立回归模型, 数据处理装置31确定在运行阶段中使用的另一模型: 方差模型。

[0082] 同样与所述多个 $(x_i; y_i)_{i \in [1, n]}$ 对有关的该模型通常在两个连续步骤中进行计算。在步骤(a3)中, 对残差方差值 $(var_j)_{j \in [1, n-w+1]}$ 集进行计算, 该组值将使得步骤(a4)中的回归能够实施以获取方差模型。

[0083] 通过已知方式, 方差被作为平方残差的平均值来计算。利用尺寸为 w 的“滑动窗口” (w 是算法的预定参数, 优选地, 选择为具有足够的尺寸, 以避免置信管 (tube de confiance) 扩大, 参见下文。举例来说, 能够采用样本数量的10%。) 来获取多个方差值。更准确地, 对于每个方差值 var_j 计算 $(x_i; y_i)_{i \in [1, n]}$ 对集中的子集 (指数 j 至 $j+w-1$)。特别地,

$$var_j = \frac{1}{w-2} \sum_{i=j}^{j+w-2} (res_i)^2$$

[0084] 类似于步骤(a0), 在步骤(a4)中通过根据 x 对 var 回归建模来确定与所述多个 $(x_i; y_i)_{i \in [1, n]}$ 对有关的方差模型。换言之, 在此步骤中, 数据处理装置31确定函数 g 以使得对于 $j \in [1, n-w+1]$ 有 $var_j = g(x_j)$ 。

[0085] 图3c示出了由 $n-w+1$ 个 $\{x_j; var_j\}_{j \in [1, n-w+1]}$ 对形成的散点图和通过回归获取的模型。

[0086] 在可选步骤(a5)中, 学习阶段能够包括对与回归模型有关的“置信管” (即置信区域) 进行限定。该管包括上边界和下边界。在这两个边界之间, 关于 $(x; y)$ 对的点被认为是正常的并且不在外部, 正如在下文中能够看出的。

[0087] 置信管由相对于回归模型的幅度偏差 $w \times \sqrt{g}$, 或者标准偏差阈值 σ 来限定 (参见下文)。如之前的解释, 该管限定了作为方差的函数的置信区间, 该置信区间增强结果的真实性: 假否和假真的数量大幅减少。

[0088] 上边界的等式由公式 $f(x) + \sigma \times \sqrt{g(x)}$ 给定, 并且下边界的等式由公式 $f(x) - \sigma \times \sqrt{g(x)}$ 给定。

[0089] 置信管优选地被添加到由 n 个 $(x_i; y_i)_{i \in [1, n]}$ 对形成的散点图和由 (图3a中的类型的) 回归获取的模型的图示中, 以便生成图3d。如下所述, 该管使得能够对运行阶段的结果进行预测, 并且以非常直观的方式 (且以对于非本领域的技术人员容易理解的方式) 说明测量值是否正常。

[0090] 将会注意到, 点 $(x_i; y_i)_{i \in [1, n]}$ 的分布随参数 x 并不是均等的。在工作参数为速率的示例中, 位于高速率的测量值事实上远多于处于低速率的测量值。这样的不均等分布能够引起如果参数 w 的选择不佳, 则置信管在其开始处扩大, 如图3e中所示。

[0091] 优选地, 参数 w 被选得足够大, 以使得函数 g 递增。为此, 步骤(a3)和之后的步骤(a4)能够随着 w 值的增大迭代重复直至满足该条件。

[0092] 运行阶段

[0093] 如前文中的解释,学习阶段代表用于加快运行阶段(对应于根据本发明的本方法的核心)的准备工作。学习阶段能够与运行阶段“同时”迭代进行。在这一部分的说明中,将引用全部之前所述的相关公式。

[0094] 该阶段使得可以对针对工作参数的值 x_{exec} 的物理参数的测量值 y_{exec} 是否正常进行估计。

[0095] 该阶段由图2b示出。如果学习阶段预先实施,则如该图中所示,能够从数据存储装置32中加载模型。

[0096] 在步骤(a)中,物理参数的估计值 \hat{y}_{exec} 针对工作参数的值 x_{exec} 基于回归模型来计算,该回归模型与所述多个 $(x_i; y_i)_{i \in [1, n]}$ 有关(该模型可以在学习阶段确定)。该计算如前文中由公式 $\hat{y}_{exec} = f(x_{exec})$ 解释。

[0097] 在接下来的步骤(b)中,相关残差 res_{exec} 的计算为: $res_{exec} = y_{exec} - \hat{y}_{exec}$ 。

[0098] 在步骤(c)(该步骤可以与步骤(a)和步骤(b)中的一个或两个一起执行)中,物理参数的方差的估计值 $\hat{\sigma}_{exec}$ 针对工作参数的值 x_{exec} 基于方差模型来计算,该方差模型与所述多个 $(x_i; y_i)_{i \in [1, n]}$ 对有关(该模型可以在学习阶段确定)。该计算如前文中由公式 $\hat{\sigma}_{exec} = g(x_{exec})$ 解释。

[0099] 针对所述多个 $(x_i; y_i)_{i \in [1, n]}$ 对的残差、方差的估计值 $\hat{\sigma}_{exec}$ 和残差平均值 $mean$ (可选地在学习阶段中计算)使得数据处理装置能够在步骤(d)中计算测量值 y_{exec} 的异常分数

Z_{score} (也称为置信分数)。优选地,异常分数由公式 $Z_{score} = \frac{|res_{exec} - mean|}{\sqrt{\hat{\sigma}_{exec}}}$ 给定。该分数

越高,测量值越有可能异常。

[0100] 在步骤(e)中,测量值 y_{exec} 的异常分数(Z_{score})与先前所述的阈值 σ 相比较(由标准偏差的数量表达的阈值,例如为三个至六个标准偏差)。

[0101] 如果异常分数 Z_{score} 大于所述阈值 σ ,则在步骤(f)中在接口33上告知该测量值异常。如果这是在测试台2上的实时测试,则能够触发告警,并且测试台2被停止(当前测试无效,并且在测试台被重新使用之前应当对异常进行分析)。 $(x_{exec}; y_{exec})$ 对则不被添加到数据库中(或者在等待检查时被删除)。

[0102] 在相反的情况下,测量值被认为是正常的,并且 $(x_{exec}; y_{exec})$ 对联合数据库的参考值。有可能恢复学习阶段以更新模型。

[0103] 优选地,(例如用于研究部门的)综合报告则自动下发。

[0104] 将要注意的是,异常测量值将被表示为在前述置信管之外,例如如图3f中所示。

[0105] 特别地,如果 $Z_{score} > \sigma$,则 $|res_{exec} (= y_{exec} - \hat{y}_{exec}) - mean| > \sigma \times \sqrt{\hat{\sigma}_{exec}}$ (等于置信管的直径的一半,这意味着相关的点在置信管之外。)

[0106] 事实上,残差符合平均值为 $mean$ 的正态律。测试(与 Z_{score} 相比较)在于确定当前的观测是否有可能来自相同的律。

[0107] 如果绘制出正态律的分布,能够看出,超过六个标准偏差时,位置在分布尾部。观察到该标准偏差的正常事件的概率的量级为 10^{-9} 。

[0108] 设备和系统

[0109] 用于实施之前所述(对针对装置1的工作参数的值 x_{exec} 的由传感器20测量的装置1

的物理参数的值 y_{exec} 是否正常进行估计的)方法的设备3(图1中所示)包括数据处理装置31、数据存储装置32和接口装置33。

[0110] 数据存储装置32在数据库中存储多个 $(x_i; y_i)_{i \in [1, n]}$ 对,每个 $(x_i; y_i)_{i \in [1, n]}$ 限定对于工作参数的值 x_i 的物理参数的参考值 y_i 。

[0111] 数据处理装置31配置为实现:

[0112] -基于与所述多个 $(x_i; y_i)_{i \in [1, n]}$ 对有关的回归模型计算针对工作参数的值 x_{exec} 的物理参数的估计值 \hat{y}_{exec} 的模块;

[0113] -计算有关的残差 res_{exec} 的模块;

[0114] -基于与所述多个 $(x_i; y_i)_{i \in [1, n]}$ 对有关的方差模型计算针对工作参数的值 x_{exec} 的物理参数的方差的估计值 $\hat{\sigma}_{exec}$ 的模块;

[0115] -基于残差 res_{exec} 、估计方差值 $\hat{\sigma}_{exec}$ 和所述多个 $(x_i; y_i)_{i \in [1, n]}$ 对的平均残差值计算测量值 y_{exec} 的异常分数 Z_{score} (Z分数)的模块;

[0116] -将测量值 y_{exec} 的异常分数 Z_{score} 与标准偏差阈值 σ 相比较的模块;

[0117] -若异常分数 Z_{score} 高于所述阈值 σ 则在接口装置33上发送告警信号以告知测量值异常的模块。

[0118] 如果设备3还实施学习阶段,则数据处理装置31还配置为实现:

[0119] -通过基于 $\{x_i; y_i\}_{i \in [1, n]}$ 集中的值 x 对值 y 回归建模来确定与所述多个 $(x_i; y_i)_{i \in [1, n]}$ 对有关的所述回归模型的模块(该模块可以配置为在数据装置32中存储回归模型以待将来使用);

[0120] -针对每一对计算物理参数的估计值 \hat{y}_i 和彼此相关的残差 res_i 的模块;

[0121] -在尺寸为 w 的滑动窗口上计算残差方差的 $(var_j)_{j \in [1, n-w+1]}$ 值集的模块;

[0122] -通过基于 $\{x_j; var_j\}_{j \in [1, n-w+1]}$ 集中的 x 对 var 回归建模来确定与所述多个 $(x_i; y_i)_{i \in [1, n]}$ 对有关的所述方差模型的模块(该模块可以配置为在数据装置32中存储方差模型以待将来使用)。

[0123] 设备3优选地被解释为包括在系统中,该系统还包括测试台2,测试台2包括对物理参数的值 y_{exec} 进行测量的传感器20并且适于容纳装置1。

[0124] 计算机程序产品

[0125] 根据第四和第五方面,本发明涉及一种计算机程序产品和可由计算设备读取的存储装置。该计算机程序产品包括代码指令,该代码指令用于(在数据处理装置31、特别是设备3的数据处理装置上)实现根据本发明的第一方面的用于对针对所述装置1的工作参数的值 x_{exec} 的由传感器20测量的装置1的物理参数的值 y_{exec} 是否正常进行估计的方法。该存储装置例如是该设备3的数据存储装置32,并且该存储装置上具有该计算机程序产品。

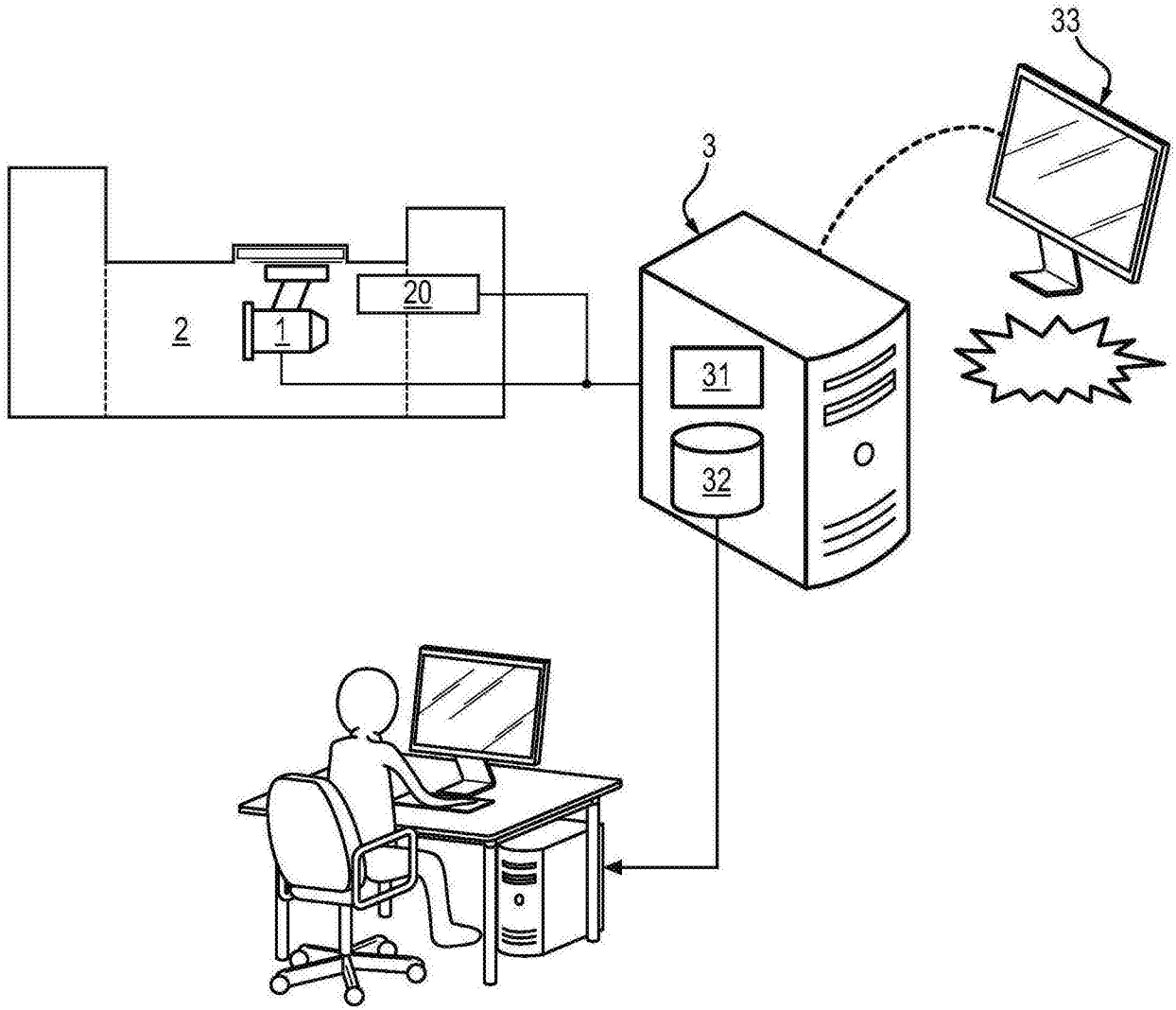


图1

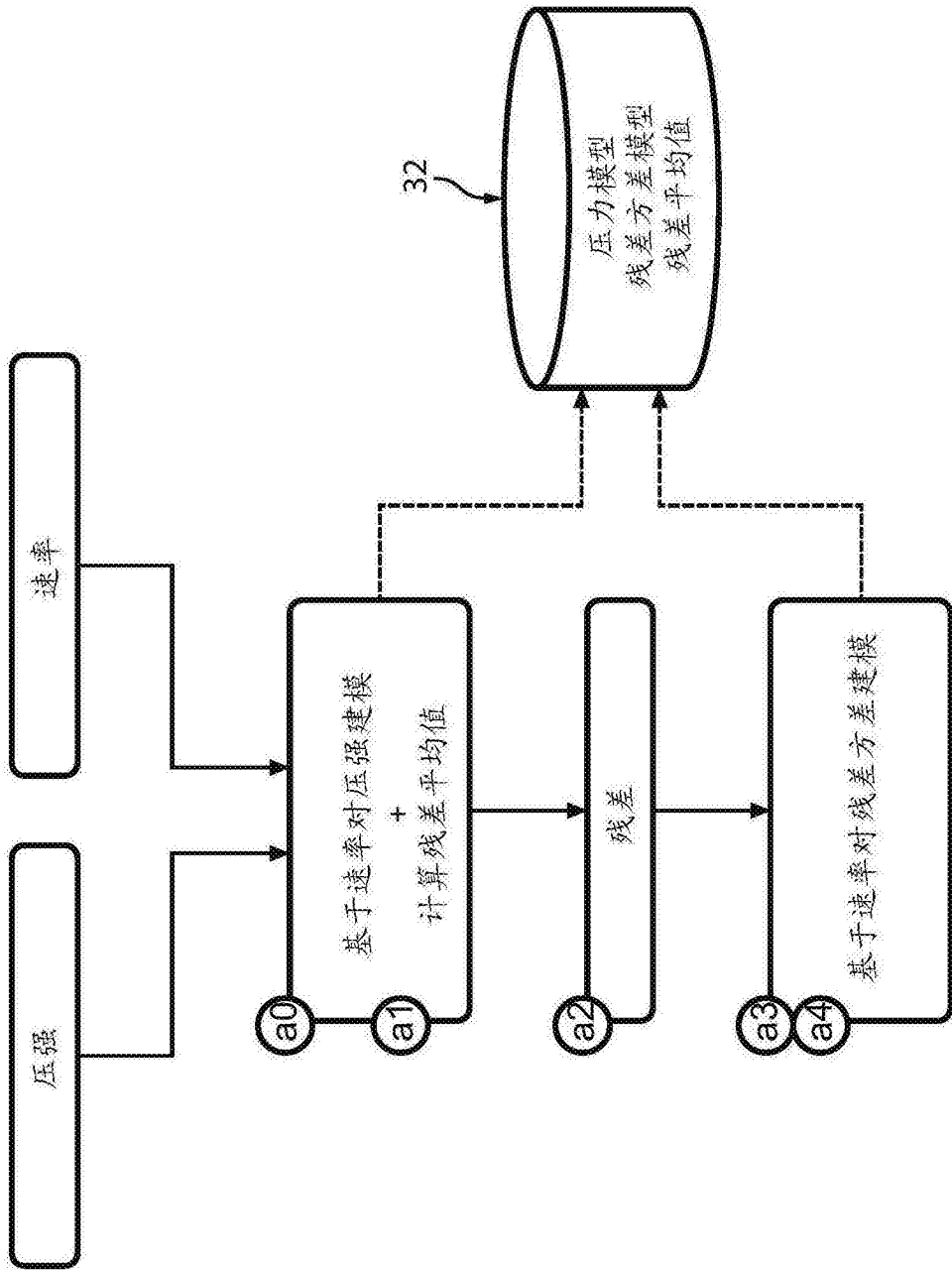


图2a

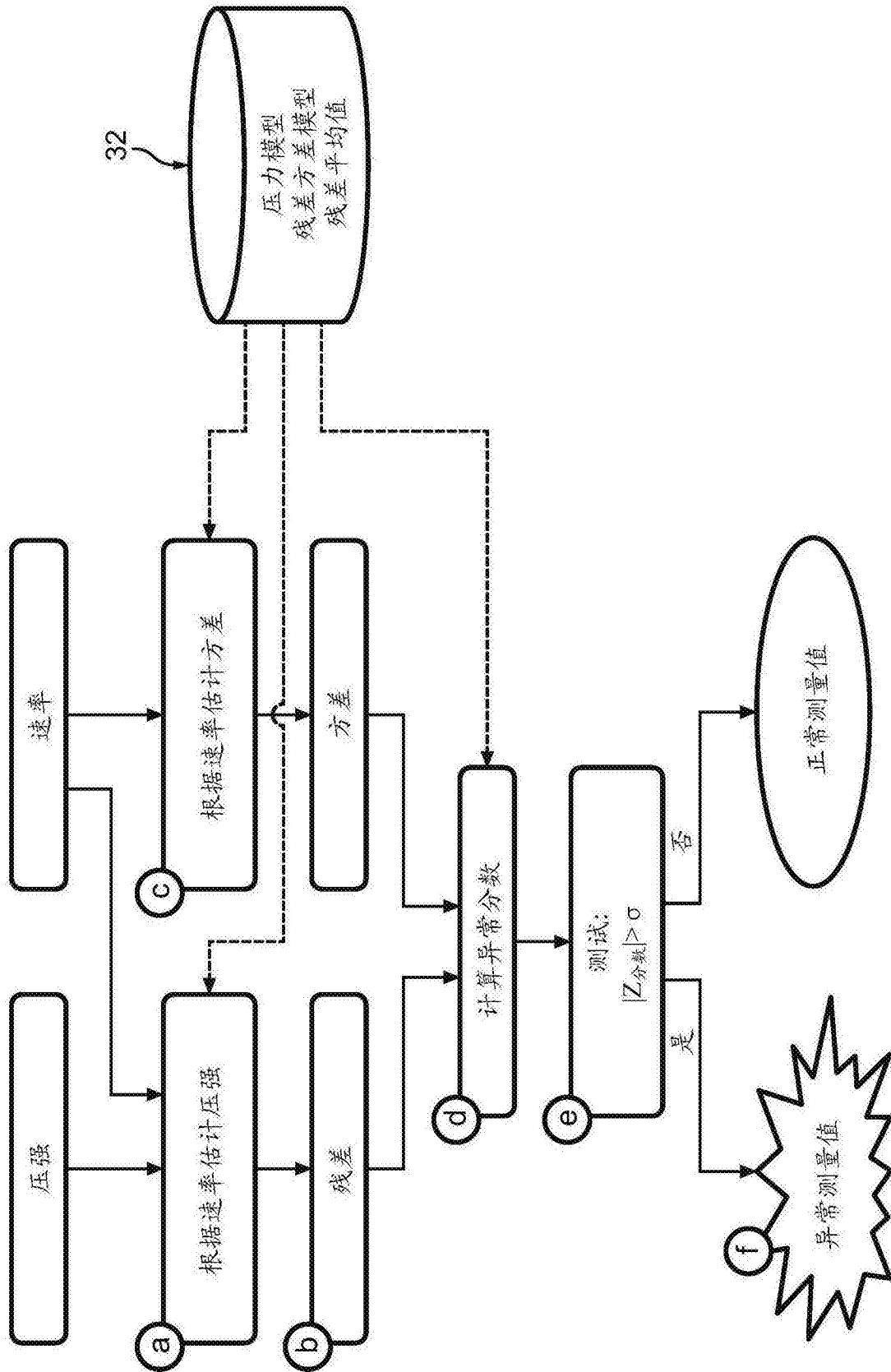


图2b

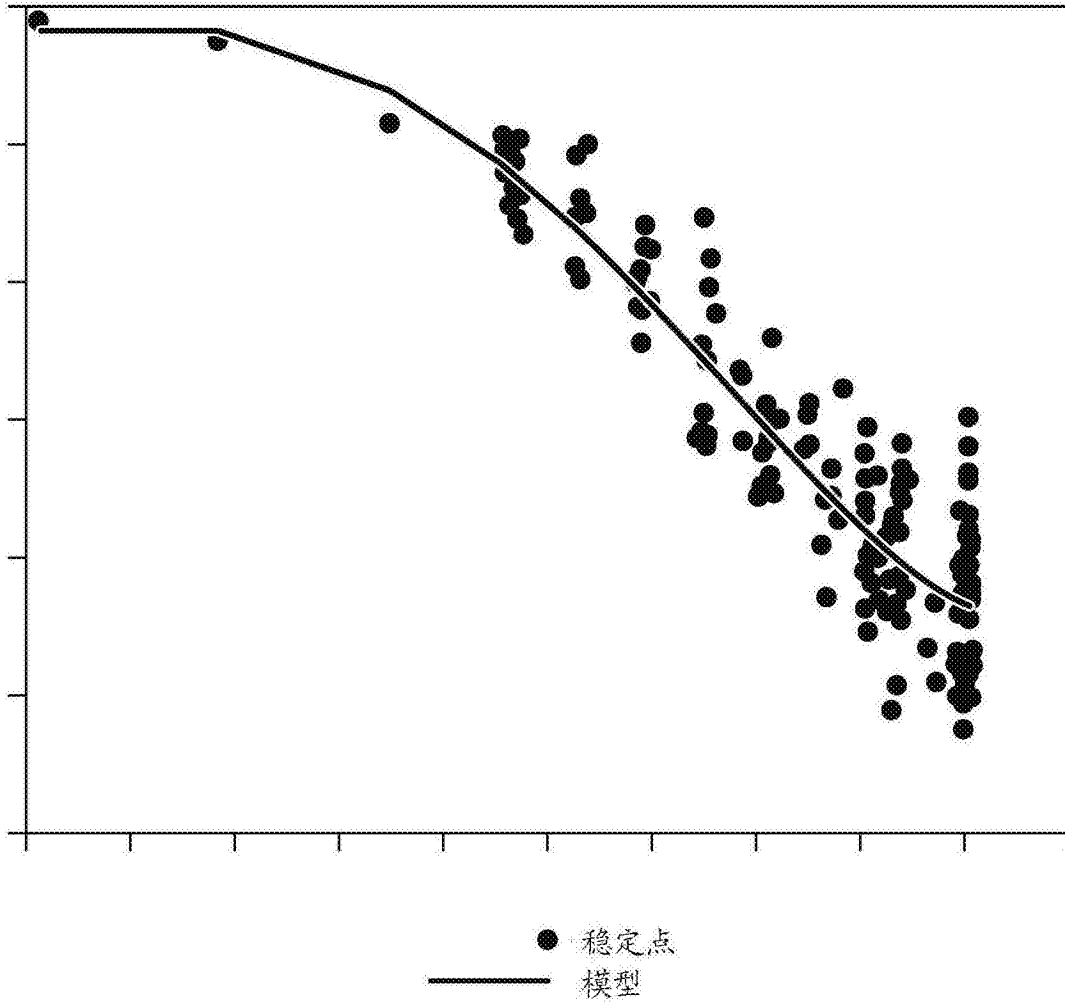
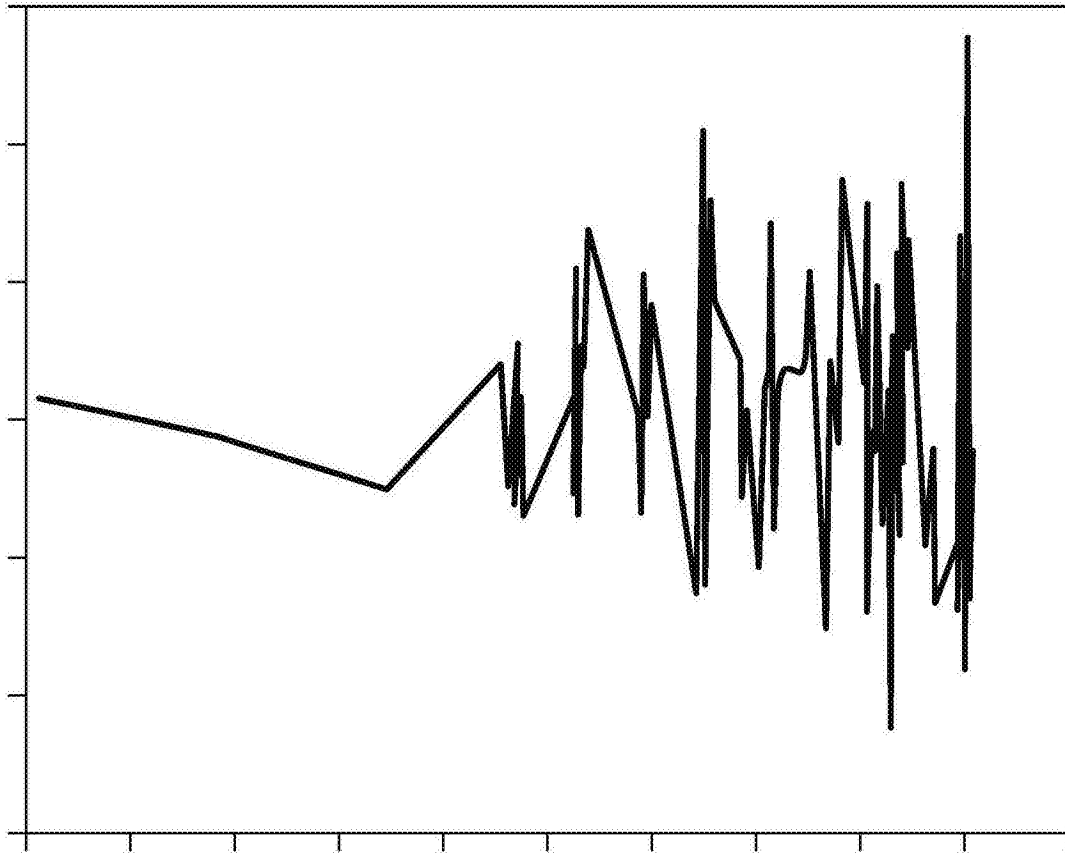


图3a



—— 残差

图3b

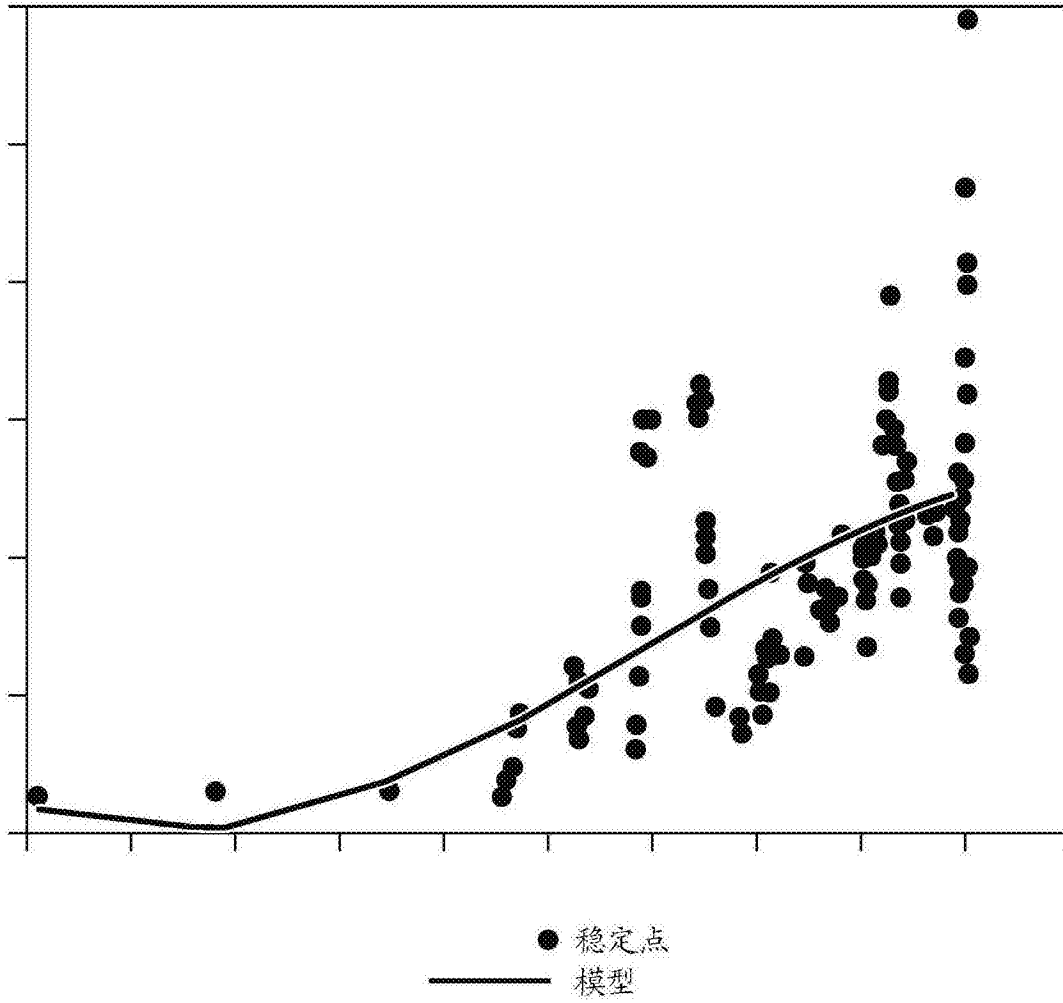


图3c

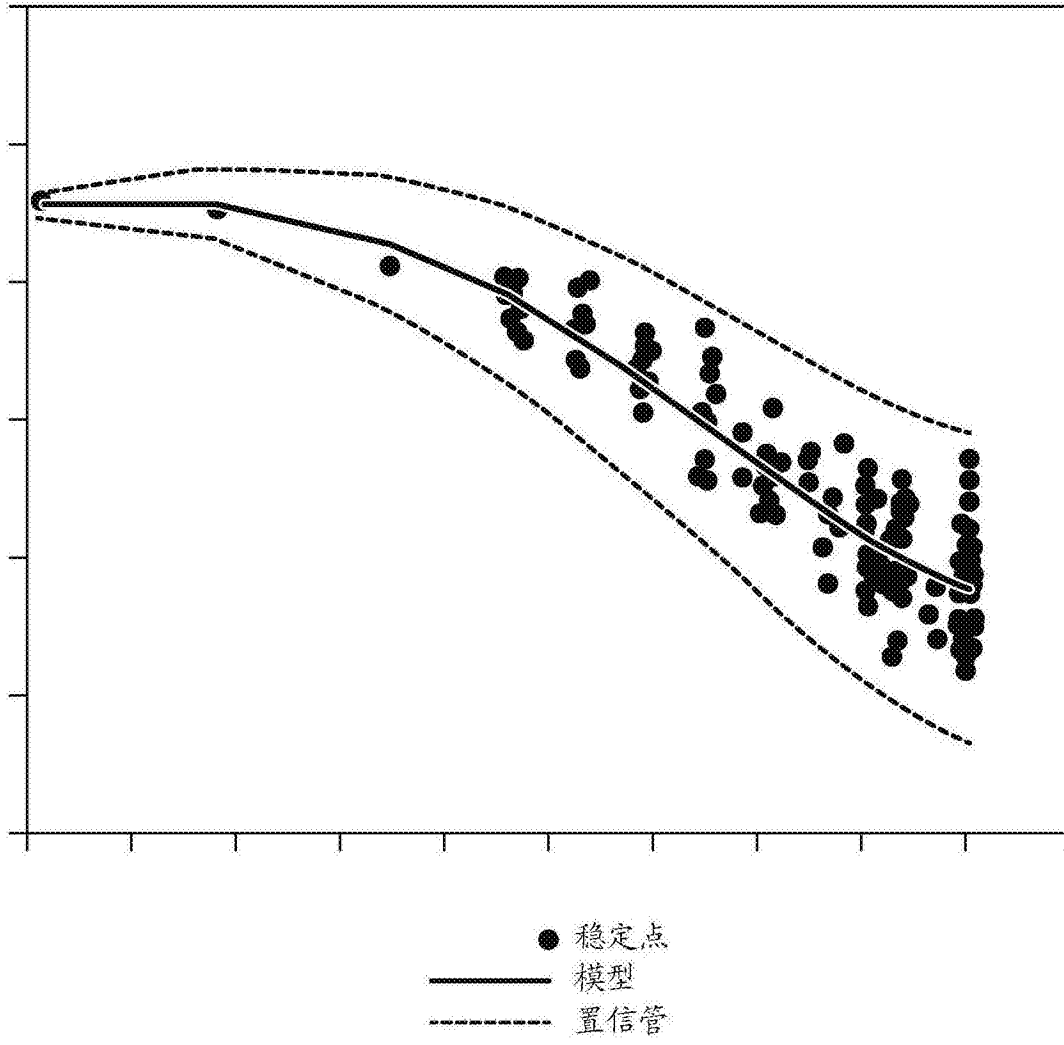


图3d

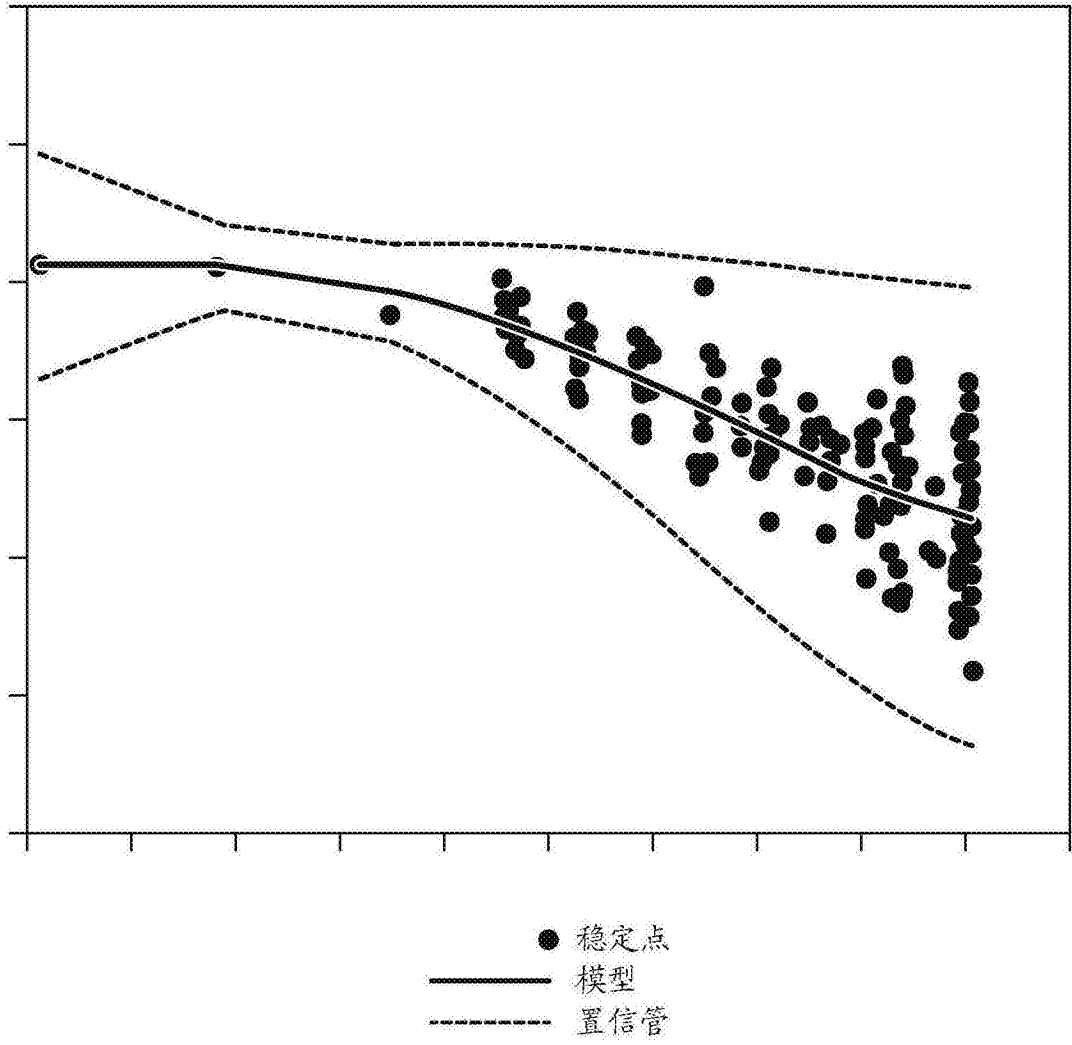


图3e

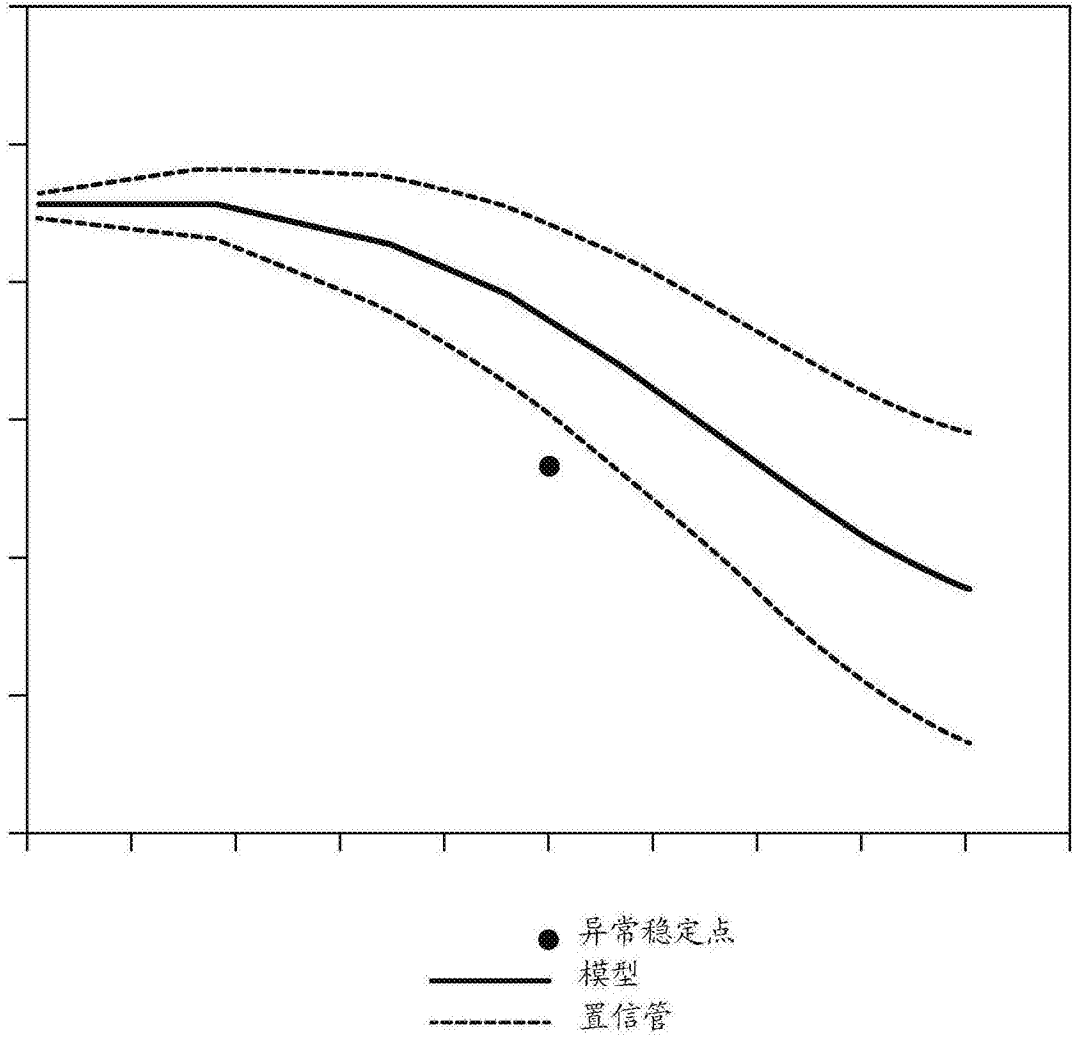


图3f