



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107545095 A

(43)申请公布日 2018.01.05

(21)申请号 201710479490.1

(22)申请日 2017.06.22

(30)优先权数据

15/192,700 2016.06.24 US

(71)申请人 波音公司

地址 美国伊利诺伊州

(72)发明人 J·M·埃辛顿 L·司徒朗松

(74)专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司 11127

代理人 吕俊刚 杨薇

(51)Int.Cl.

G06F 17/50(2006.01)

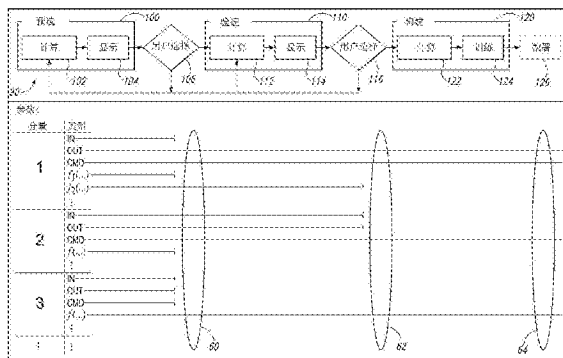
权利要求书3页 说明书20页 附图5页

(54)发明名称

用于飞行器大修期间的结构修理的预测方法和系统

(57)摘要

用于飞行器大修期间的结构修理的预测方法和系统。混合特征选择方法包括创建用于在一队飞行器大修期间的结构修理的预测模型的方法。方法包括：预选从在第一飞行器的第一组飞行期间收集的数据所计算的疲劳相关参数的预选数据集，该第一飞行器在大修期间经历更换结构组件。方法包括：接收疲劳相关参数的预选选择，并且验证从在第二飞行器的第二组飞行期间收集的数据所计算的、疲劳相关参数的预选选择的验证数据集，该第二飞行器经历大修而没有更换结构组件。方法包括：接收一组疲劳相关参数，并且利用从额外飞行期间收集的数据所计算的、经验证和预选疲劳相关参数的训练数据集，来构建用于大修期间的结构修理的预测模型。



1. 一种用于创建预测模型的方法,该预测模型用于在均包括结构组件(40)的一队飞行器(30)的大修期间的结构修理,该方法包括以下步骤:

针对所述一队飞行器中的第一飞行器(30)进行如下操作,其中,所述第一飞行器(30)在所述第一飞行器(30)的大修期间经历更换所述第一飞行器(30)的所述结构组件(40):

从在所述第一飞行器(30)的第一组飞行期间收集的数据,来计算(102)疲劳相关参数的预选数据集,其中,所述第一组飞行中的每次飞行均发生在所述第一飞行器的大修之前,并且其中,在所述第一组飞行中的每次飞行期间,所述第一飞行器经历了过应力事件;

显示(104)所述预选数据集;以及

接收(106)所述疲劳相关参数的选择;

针对所述一队飞行器中的第二飞行器进行如下操作,其中,所述第二飞行器经历大修而没有更换所述第二飞行器的所述结构组件(40):

从在所述第二飞行器的第二组飞行期间收集的数据,来计算(112)所述疲劳相关参数的选择的验证数据集,其中,所述第二组飞行中的每次飞行均发生在所述第二飞行器的大修之前,并且其中,在所述第二组飞行中的每次飞行期间,所述第二飞行器经历了过应力事件;

显示(114)所述验证数据集;以及

接收(116)所述疲劳相关参数的一组选择,其中,所述疲劳相关参数的所述一组选择少于所述疲劳相关参数的全部;

从在所述一队飞行器中的相应飞行器的额外飞行期间收集的数据,来计算(122)所述疲劳相关参数的所述一组选择的训练数据集,其中,所述相应飞行器中的每个飞行器均经历大修,其中,所述额外飞行中的每次飞行均发生在该飞行的所述相应飞行器的大修之前,并且其中,所述额外飞行中的每次飞行均是如下飞行,在该飞行期间,所述相应飞行器经历了过应力事件;以及

利用所述训练数据集来训练(124)用于在大修期间的结构修理的预测模型。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述第一组飞行中的飞行的过应力事件、所述第二组飞行中的飞行的过应力事件、以及所述相应飞行器的所述额外飞行中的飞行的过应力事件均独立地从由如下各项构成的组中选择:硬着陆、高于预定正加速度阈值的正加速度、以及低于预定负加速度阈值的负加速度。

3. 根据权利要求1-2中的任一项所述的方法,其中,所述疲劳相关参数包括以下各项中的至少一个:空气动力学结构的应变、应变的差异、加速度、俯仰率、滚转率、偏航率、以及速度制动器展开事件。

4. 根据权利要求1-2中的任一项所述的方法,其中,所述第一飞行器的所述结构组件(40)和所述第二飞行器的所述结构组件(40)是同一类型的结构组件(40),并且选自自由以下各项构成的组:框架构件、大梁、桁条、翼肋、支柱、横梁、腹板、支撑体、连接器、接头以及仪表板。

5. 根据权利要求1-2中的任一项所述的方法,其中,显示(104)所述预选数据集的步骤包括可视化所述预选数据集,并且

其中,显示所述验证数据集的步骤包括可视化所述验证数据集。

6. 根据权利要求1-2中的任一项所述的方法,其中,显示(104)所述预选数据集的步骤

包括响应于用户输入而进行显示,并且

其中,显示(114)所述验证数据集的步骤包括响应于用户输入而进行显示。

7. 根据权利要求1-2中的任一项所述的方法,其中,训练(124)所述预测模型的步骤包括向所述训练数据集应用机器学习。

8. 根据权利要求1-2中的任一项所述的方法,其中,所述疲劳相关参数的所述选择少于全部疲劳相关参数。

9. 根据权利要求1-2中的任一项所述的方法,其中,所述疲劳相关参数的所述一组选择少于所述疲劳相关参数的所述选择的全部。

10. 根据权利要求1-2中的任一项所述的方法,其中,接收(116)所述疲劳相关参数(62)的所述选择的步骤包括以下步骤:从用户(20)接收基于所述用户对在大修期间更换所述第一飞行器的所述结构组件(40)与所述疲劳相关参数之间的相关性的确定的、所述疲劳相关参数的所述选择,并且

其中,接收(116)所述疲劳相关参数(62)的所述一组选择的步骤包括以下步骤:从所述用户(20)接收基于所述用户对所述预选数据集中的所述疲劳相关参数的所述选择与所述验证数据集中的对应疲劳相关参数之间缺乏相关性的确定的、所述疲劳相关参数的所述一组选择。

11. 根据权利要求1-2中的任一项所述的方法,其中,计算(102)所述预选数据集的步骤包括以下步骤:将所述预选数据集限制成来自在所述第一飞行器的所述第一组飞行中的至少一次飞行的所述过应力事件期间收集的数据的所述疲劳相关参数(62),

其中,计算(112)所述验证数据集的步骤包括以下步骤:将所述验证数据集限制成来自在所述第二飞行器的所述第二组飞行中的至少一次飞行的所述过应力事件期间收集的数据的所述疲劳相关参数(62),并且

其中,计算(122)所述训练数据集的步骤包括以下步骤:将所述训练数据集限制成来自在所述相应飞行器的所述额外飞行中的至少一次飞行的所述过应力事件期间收集的数据的所述疲劳相关参数。

12. 根据权利要求1-2中的任一项所述的方法,所述方法还包括以下步骤:

通过飞行对象飞行器的飞行来收集飞行数据(24),以及

基于所述预测模型和从所述对象飞行器(30)的所述飞行收集的所述飞行数据(24),来计算对所述对象飞行器(30)的对象结构组件(40)的结构组件更换预测。

13. 根据权利要求1-2中的任一项所述的方法,所述方法还包括以下步骤:部署(126)所述预测模型,所述预测模型用于在所述一队飞行器的大修期间的结构修理。

14. 一种混合特征选择系统,该混合特征选择系统用于生成预测模型,该预测模型用于在均包括结构组件(40)的一队飞行器的大修期间的结构修理,所述混合特征选择系统包括:

数据(24)的飞行数据库(12),所述数据(24)在所述一队飞行器中的飞行器的飞行期间被收集;

预选模块(14),该预选模块(14)被配置成从所述飞行数据库(12)检索资格数据,所述预选模块(14)被配置成通过将疲劳相关参数应用至所述资格数据来计算预选数据集,所述预选模块(14)被配置成显示所述预选数据集,并且所述预选模块(14)被配置成从用户(20)

接收所述疲劳相关参数的选择,其中,所述资格数据是在所述一队飞行器中的第一飞行器的第一组飞行期间收集的数据,所述第一飞行器在所述第一飞行器的大修期间经历更换所述结构组件(40),其中,所述第一组飞行中的每次飞行均发生在所述第一飞行器的大修之前,并且其中,在所述第一组飞行中的每次飞行期间,所述第一飞行器经历了过应力事件;

验证模块(16),该验证模块(16)被配置成从所述飞行数据库(12)检索验证数据,所述验证模块(16)被配置成通过将所述疲劳相关参数的所述选择应用至所述验证数据来计算验证数据集,所述验证模块(16)被配置成显示所述验证数据集,并且所述验证模块(16)被配置成从所述用户(20)接收少于所述疲劳相关参数的全部的、所述疲劳相关参数的一组选择,其中,所述验证数据是在所述一队飞行器中的第二飞行器的第二组飞行期间收集的数据,所述第二飞行器经历大修而没有更换所述第二飞行器的所述结构组件(40),其中,所述第二组飞行中的每次飞行均发生在所述第二飞行器的大修之前,并且其中,在所述第二组飞行中的每次飞行期间,所述第二飞行器经历了过应力事件;以及

训练模块(18),该训练模块(18)被配置成从所述飞行数据库(12)检索训练数据,所述训练模块(18)被配置成通过将所述疲劳相关参数的所述一组选择应用至所述训练数据来计算训练数据集,所述训练模块(18)被配置成利用所述训练数据集来训练用于大修期间的结构修理的预测模型,并且所述训练模块(18)被配置成向所述用户(20)提供所述预测模型。

用于飞行器大修期间的结构修理的预测方法和系统

技术领域

[0001] 本公开涉及用于飞行器大修 (heavy maintenance) 期间的结构修理的预测方法和系统。

背景技术

[0002] 飞行器包括诸如机体这样的结构组件,其通常被设计成延续飞行器的使用寿命。然而,一些组件可能不会如预期那样对使用 and 环境的应力作出反应,并且一些飞行器可能在超出原始设计使用寿命的情况下使用。在这种情况下,修理或更换原本未设计修理或更换的结构组件在修理或再生产以供更换的该受影响结构组件时,可能会导致个别飞行器的显著停机时间。

[0003] 例如,F/A-18大黄蜂型飞行器于1983年首次投入运营服务。现在30多年后,使用中的大多数F/A-18大黄蜂飞行器按原本设计的使用寿命(6000-8000小时)或者超出该使用寿命来操作。持续操作依赖于用于检查、维护、以及包括机体修理和更换的修理的结构化方法。机体检查、修理以及更换是在大修周期期间执行。在大修期间,检查机体和其它结构组件的机械磨损、热损伤、腐蚀以及其它组件疲劳迹象。虽然大修通常导致一些结构组件的修理或更换,但利用当前技术来预测哪些组件需要在特定飞行器上进行修理或更换是非常困难的。因此,将F/A-18大黄蜂机群维持在适用条件之下,导致针对大量机体和原本未设计修理或更换的其它结构组件的新的且可变的需求。另外,大修因针对修理或更换组件的可变需求以及用于修理,再生产和/或更换受影响组件的时间,而导致针对个别飞行器的不可预测的停机时间。

发明内容

[0004] 混合特征选择方法包括:创建用于在均包括结构组件的一队飞行器大修期间的结构修理的预测模型的方法。方法包括以下步骤:预选(qualify)根据在第一飞行器的第一组飞行期间收集的数据所计算的疲劳相关参数的预选数据集,该第一飞行器在大修期间经历更换所述结构组件。所述第一组飞行中的每次飞行均发生在大修之前,并且所述第一飞行器在每次所述飞行期间均经历过应力(overstress)事件。预选包括计算和显示所述预选数据集。

[0005] 方法包括以下步骤:接收通常基于用户对大修期间的所述结构修理与所述疲劳相关参数之间的相关性的确定的、所述选择疲劳相关参数的预选选择。该方法包括以下步骤:验证根据在第二飞行器的第二组飞行期间收集的数据所计算的、所述疲劳相关参数的所述预选选择的验证数据集,该第二飞行器经历大修而没有更换所述结构组件。所述第二组飞行中的每次飞行均发生在大修之前,并且所述第二飞行器在每次所述飞行期间均经历了过应力事件。验证包括计算和显示所述验证数据集。

[0006] 方法包括以下步骤:接收通常基于用户对预选数据集中的预选疲劳相关参数与所述验证数据集中的对应疲劳相关参数之间的相关性(缺乏相关性)的确定的、一组经验证和

预选的选择疲劳相关参数。

[0007] 方法包括以下步骤：利用从在所述一队飞行器的额外飞行期间收集的数据所计算的、经验证和预选的疲劳相关参数的训练数据集，来构建用于大修期间的结构修理的预测模型。构建步骤包括以下步骤：计算所述训练数据集，并且利用所述训练数据集来训练所述预测模型。

附图说明

[0008] 图1是混合特征选择系统的示意图。

[0009] 图2是飞行器的示例的示意图。

[0010] 图3是混合特征选择方法的示意性表示图。

[0011] 图4是基于根据本公开选择的特征来部署预测模型的方法的示意性表示图。

[0012] 图5是计算机化系统的示意性表示图。

具体实施方式

[0013] 飞行器可以监测其子系统和总体性能，并且记录可能涉及结构组件健康的系统操作数据。例如，飞行器可以记录速度、加速度、飞行时间、起飞和着陆数、弹射器数、随身行李数 (number of traps) 等，(和/或可以针对个别飞行器记录这种数据)。一些飞行器 (如F/A-18大黄蜂型飞行器) 包括加速度计和/或应变计来测量总体飞行器运动和施加至飞行器的组件和/或部分的应力。然而，诸如总飞行小时、随身行李总数或峰值加速度这样的简单测量不能可靠地预测什么时候或哪些结构组件应当更换。如在此使用的，更换结构组件包括安装不同的结构组件 (通常是新的或再制造的) 或修理原有的结构组件。本公开的系统和方法提供了如下途径，其在所有可能的测量参数和派生参数当中标识有效指示，并且训练和部署用于飞行器大修期间的结构修理的预测模型。测量参数和派生参数可以被称作数据特征或特征。用于大修期间的结构修理的预测模型包括：用于在大修期间修理和/或更换飞行器的结构组件的预测模型。

[0014] 对于像飞行器一样的复杂系统来说，操作数据的量和复杂性迫使人们有效地进行分析。而且，原始数据对于计算机化系统 (例如，机器学习系统) 来说可能是一低效起点。因为数据中存在大量不相关的参数，所以在仅给出原始数据时，计算机化系统可能效率不高和/或不准确。可能需要用户干预来标识和去除尽可能多的不相关数据。本公开的系统和方法通过采取混合方法来改进效率并简化特征选择的任务。利用有限数据集，基于操作数据和结构组件操作的物理期望，依靠人类操作员来预选潜在数据特征。通过操作员预选的数据特征可以用于利用综合数据集来训练用于大修期间的结构修理的预测模型。通过混合特征选择方法创建的预测模型可以被部署，以监测和/或评估结构组件的性能，并且可靠地预测何时和/或哪些结构组件可能在大修期间需要修理和/或更换。

[0015] 通过准确预测将来结构组件状态，结构组件的更换可以在进入大修之前进行安排，从而，缩减潜在的停机时间。另外或另选的是，可以以某种可靠性来预测更换结构组件的需求。结构组件性能的准确预测还可以避免来自相关组件或子系统的对象结构组件 (subject structural component) 和共鸣性能响应 (sympathetic performance response) 的非期望性能 (例如，由于复杂飞行器中的未执行结构组件的添加应力)。

[0016] 图1-图5例示了用于预测飞行器大修期间的结构修理的混合特征选择系统和方法的各个方面。一般来说,在图中,很可能被包括在给定实施方式中的部件按实线例示,而可选或另选的部件按虚线例示。然而,按实线例示的部件对于本公开的所有实施方式来说不是根本的,而且在不脱离本公开的范围的情况下,按实线示出的部件可以从特定实施方式中省略。用在附图当中一致的数字来标注服务类似或至少大致类似目的的部件。每一个图中的相同数字和对应部件在此可以不参照每一个图详细讨论。类似的是,所有部件不是在每一个图中都加以标注或示出,而为了一致性可以使用与其相关联的标号。在不脱离本公开的范围的情况下,参照一个或更多个图讨论的部件、组件和/或者特征可以被包括在任何图中,和/或与该图一起使用。

[0017] 本文所述流程图和框图例示了根据各个性实施方式的系统、方法以及计算机程序产品的可能实现的架构、功能以及操作。在这点上,该流程图或框图中的每一个框都可以表示模块、区段、或代码的一部分,其包括用于实现该指定逻辑功能或多个功能的一个或更多个可执行指令。在一些另选实现中,该框中提到的功能可以出现在图中所提到的次序之外。例如,根据所涉及功能,接连示出的两个框的功能可以大致同时执行,或者这些框的功能有时可以按逆序执行。

[0018] 如图1中示意性地表示,混合特征选择系统10包括几个模块(例如,被配置成由如参照图5所描述的计算机化系统执行的指令和/或数据)。这些模块(其还可以被称为代理、程序、处理、和/或过程)可以包括:预选模块14、验证模块16、以及训练模块18。

[0019] 混合特征选择系统10可以包括和/或可以利用飞行数据库12,该飞行数据库12包括来自一架或更多架飞行器(例如,一队飞行器)的一次或更多次飞行的飞行数据24。混合特征选择系统10可以与用户20进行交互,以便预选和验证飞行数据24的数据特征,并且应用所标识数据特征来训练用于大修期间的结构修理的预测模型。

[0020] 混合特征选择系统10可以是用于关联飞行器或一队飞行器的健康管理系统和/或健康评估系统的一部分。另外或另选的是,混合特征选择系统10可以用于为健康管理系统和/或健康评估系统创建预测模型。健康管理系统和/或健康评估系统可被配置成监视、评估和/或指示该飞行器或该队飞行器的一个或更多个结构组件的操作状态(例如,预期剩余使用寿命)。

[0021] 如图2的示例中所示,飞行器30是被配置成用于飞行的交通工具,并且包括:结构组件40,如机架组件(例如,框架构件、大梁(longeron)、桁条(stringer)、翼肋(former)、支柱(strut)、横梁(beam)、腹板(web)、支撑体、联接器(linkage)、接头(splice)和/或仪表板);和传感器42(如加速度计和应变计)。在图2中,指示了几种不同类型的结构组件40。结构组件40通常不被设计和/或构造成用于普通维护、修理和/或更换。结构组件40不是主动控制的系统(尽管结构组件40可以是主动控制子系统的一部分)。超出飞行器30的使用寿命。结构组件40可能经历磨损、损坏、腐蚀,或其它类型的组件疲劳。在图2中,传感器42被指示为通常嵌入飞行器30中。传感器42可以被放置成测量整个飞行器30的全局参数(例如,被配置成测量飞行器的净加速度,和/或沿着一方向或环绕旋转轴的特定加速度的加速度计)。另外或另选的是,可以将传感器42放置成测量与飞行器30有关的局部参数(例如,在特定结构处的应变计、特定位置的温度传感器)。传感器42可以被配置成测量与一个或更多个结构组件40有关的参数。然而,传感器42不一定测量与在大修期间已知或预期需要维修的

结构组件40有关的参数。

[0022] 一般来说,传感器42被配置成收集飞行器30的飞行期间的数据(包括该飞行的潜在飞行前准备、起飞、现行飞行、着陆和/或飞行后阶段)。所收集的数据被称为飞行数据。数据可以包括环境条件的记录(例如,温度、压力、湿度)、飞行器操作(例如,空速、加速度、高度、地面位置、迎角),以及飞行器应力(例如,加速度、局部应变)。具体来说,将一个或更多个传感器42配置成测量过应力(overstress)事件的存在。过应力事件是使飞行器30经受处于或超过操作设计限制的应力的事件。例如,过应力事件可以使飞行器30经受在设计范围之外的加速度(即,高于一预定正加速度阈值的正加速度,或低于一预定负加速度阈值的负加速度)。作为另一示例,过应力事件可以是硬着陆(即,峰值着陆力量值大于着陆力阈值,和/或施加着陆力的持续时间大于阈值时间的着陆)。一些飞行器设计具有行业接受和/或制造商规定的、针对加速度限制和硬着陆的限定。例如,F/A-18型飞行器记录事件代码:硬着陆级别1、硬着陆级别2、飞行器正过应力、以及飞行器负过应力,其中每个都指示一过应力事件。

[0023] 尽管这些示例可以指结构组件40和飞行器30,但本公开的系统和方法可以与其它装置一起利用。例如,本公开的系统和方法可以应用于其它交通工具和/或机械。因此,针对飞行器30的引用可以更换为针对对车辆和/或机械的引用。如飞行这样的对应术语可以更换为如游览和/或操作之类的术语;飞行可以更换为驾驶、操作和/或运行。

[0024] 如在此使用的,术语“队”是指一种或更多种对象车辆和/或机械。“队”可以指:某个位置处(或基于一位置),用于类似目的、和/或由公司实体(例如,公司、军事单位)使用的,所有对象车辆和/或机械。

[0025] 对于一队飞行器来说,每架飞行器30可以大致相同并且包括同一类型的结构组件40。如本文所使用的,同一类型的结构组件40是在不同飞行器30中处于等同位置、服务等同功能的结构组件。

[0026] 返回至图1,混合特征选择系统10被配置成和/或编程成分析飞行数据库12内的飞行数据24。飞行数据库12被配置成搜索和访问所存储的飞行数据24。飞行数据24是在一架或更多架飞行器的至少一次飞行期间收集的数据,并且涉及在相应飞行期间相应飞行器的性能。飞行数据24通常包括:由飞行器中的和/或与飞行器相关联的传感器所测量的数据。飞行数据24可以包括:由传感器记录的原始数据,根据原始传感器数据导出的处理数据(例如,应用偏移量、平均值、过滤等),和/或与飞行器、飞行、子系统、传感器和/或对象结构组件有关的补充数据(例如,ID号、功能状态(例如,开/关)、时间标记、天气条件等)。

[0027] 飞行数据24可以在一组飞行期间收集。在一时段内,飞行可能或可能不是飞行器的连续或每次飞行。可以根据飞行器是否经历诸如过应力事件的特定事件,来选择被选择用于分析结构系统的飞行数据24。

[0028] 飞行数据库12内的飞行数据24包括针对一架或更多架飞行器收集的数据。对于进入大修的飞行器来说,飞行数据24可以在进入大修之前和/或之后收集。飞行数据24可以包括与从未经历过大幅修的飞行器有关的数据。

[0029] 飞行数据24的示例包括:轮上重量指示、传感器状态(例如,正常操作、劣化性能、无响应)、子系统设定(例如,自动飞行控制、襟翼位置)、组件设定(例如,致动器命令位置)、传感器值(例如,加速度、应变)、空速、发动机油门、温度、压力、电压、电流、环境温度、和/或

环境压力。飞行数据24可以系统地收集,例如大致每次飞行一致地、大致每架飞行器一致地、和/或在一致的基础上(例如,周期性地或基于预定事件)来收集。可以按不同时间或大致同时收集与不同传感器有关的飞行数据24。与同一传感器有关的飞行数据24通常形成时间系列(例如,周期性、准周期,或非周期性)。

[0030] 混合特征选择系统10可以用于标识与大修期间的结构修理潜在地相关(正相关或负相关)的分量参数。分量参数是飞行数据24的类型,和/或从飞行数据24导出的数据。分量参数可以直接或间接涉及磨损、损坏、腐蚀、或其它类型的组件疲劳,并因此可以被称为疲劳相关参数。分量参数可以涉及一个或多个特定结构组件,和/或可以涉及作为整体的飞行器。飞行数据值是对应于分量参数测量的值。例如,分量参数可以是垂直稳定器中的应变,并且对应数据可以是在飞行器子系统内的特定时间和/或位置处测量的应变值。作为另一示例,分量参数可以是关于侧倾轴的加速度,并且对应数据可以是飞行器在特定时间的加速度值。可以由与一个或多个分量参数有关的数据形成特定数据集。例如,数据集可以包括:由应变传感器按飞行器飞行期间的一系列时间测量的应变值,以及由加速度计按飞行器同一飞行期间的在一系列时间测量的加速度值。

[0031] 分量参数可以涉及来自一个或多个传感器的数据,和/或可以涉及从一个或多个传感器导出的数据。例如,分量参数可以是一个或多个传感器测量和/或从一个或多个传感器导出的数据的和、差、计数和/或统计(统称为候选分量参数)。这种导出分量参数的示例包括:两个传感器值之间的差异、在预定范围内测量候选分量参数的累积时间、候选分量参数的累积值、候选分量参数的平均值、候选分量参数的最大值、候选分量参数的最小值、候选分量参数的方差、候选分量参数的移动窗口平均值(例如,500秒移动窗口平均值)、候选分量参数的偏斜度、以及候选分量参数的峰度。更具体示例包括:空气动力学结构(稳定器、尾部组件、翼根、飞行控制表面和/或速度制动器)的应变、应变的差异(例如,前后差异、左右差异)、加速度(例如,线性加速度和/或绕轴的加速度,如俯仰率(pitch rate)、滚转率(roll rate)、和/或偏航率(yaw rate))、和/或飞行表面的命令(和/或实际)位置(例如,襟翼、副翼、缝翼、翼片、方向舵、升降舵,和/或稳定器的角度,速度制动器和/或扰流器的部署)。

[0032] 而且,派生分量参数可以被限制成和/或限定在一个或多个时间窗口中,如预定时间窗口,或其中在预定范围内测量候选分量参数的时间。例如,当飞行器经历高于或低于预定极限的加速度时,分量参数可以是应变,或者可以是在连续时段(例如,每1秒钟)中测量的变化率。这些示例包括:高于阈值应变的应变的持续时间和/或统计、高于阈值加速度的加速度的持续时间和/或统计、高于阈值俯仰率的俯仰率的持续时间和/或统计、高于阈值滚转率的滚转率的持续时间和/或统计、高于阈值偏航率的偏航率的持续时间和/或统计、以及速度制动器部署的持续时间。

[0033] 混合特征选择系统10的预选模块14被配置和/或编程成,基于可以与大修期间的结构组件更换有关的初始一组分量参数(也称作疲劳相关参数)来计算预选数据集,显示该预选数据集,并且可选地接收选择的该初始一组分量参数,如本文针对本公开的方法进一步描述的。该预选数据集根据该初始一组分量参数来计算,该初始一组分量参数来自飞行器的、其中该飞行器经历了过应力事件的第一组飞行期间所收集的数据。所收集数据包括:至少在飞行器经历大修之前的数据,以及大修的结果(即,在大修期间哪些结构组件被更

换)。由此,该预选数据集可以用于标识潜在的正相关(指示哪个(些)结构组件需要更换)。另外或另选的是,该预选数据集可以被用于辨别在验证数据集中观察到的任何潜在相关性可能是真相关还是假相关(例如,与结构组件更换相关联,或随机事件),如在此进一步讨论的。该初始一组分量参数可以是用户20选择的,并且可以表示预期与大修期间的结构组件更换相关(正相关或负相关)的分量参数。

[0034] 在查看所显示预选数据集时,用户20可以识别在大修期间更换结构组件与一个或更多个分量参数之间的潜在相关性。如果用户20识别出潜在(正或负)相关性,则用户20可以选择指示潜在相关性的那些分量参数(向混合特征选择系统10提供选择的分量参数)。如果用户20未识别出潜在的相关性和/或足够的潜在相关性,则用户20可以利用不同的一组分量参数来操作预选模块14,以努力发现潜在相关性和/或足够数量的潜在相关性。由用户20基于潜在相关性选择的分量参数是针对大修结果的、具有正相关(指示结构组件更换)和/或负相关(指示缺少结构组件更换)的分量参数;然而,该相关性可能是真相关(与结构组件更换相关,而不是另一随机相关事件)或假相关(与随机相关事件相关)。一般来说,潜在的正相关(指示结构组件更换)和假的负相关更容易利用预选模块14和预选数据集来标识,因为该预选数据集包括来自自己知在大修期间已经经历结构组件更换的飞行器的数据。

[0035] 混合特征选择系统10的验证模块16被配置和/或编程成,基于选择的分量参数(如从用户20接收的)来计算验证数据集,以显示该验证数据集,并且可选地接收一组选择分量参数,如本文针对本公开的方法进一步描述的。根据所选择分量参数来计算该验证数据集,该选择分量参数来自在第二飞行器的第二组飞行期间收集的数据。第二飞行器经历了像第一飞行器的大修,但第一飞行器中更换的结构组件在第二飞行器大修期间未被更换。该验证数据集可以根据选择的参数来计算,该选择参数来自从一组以上的飞行和/或一架以上的飞行器收集的数据。

[0036] 选择第二组飞行,使得飞行器在第二组飞行的每次飞行期间经历过过应力事件。由此,该验证数据集可以用于辨别在预选数据集中观察到的潜在相关性是否可能是真相关还是假相关。另外或另选的是,该验证数据集可以用于标识潜在的负相关。

[0037] 如本文所使用的,诸如“第一”、“第二”等这样的顺序形容词是被引用对象的标识符,并非旨在指示特定次序、时间性或其它方面。例如,第一飞行器是与第二飞行器相区别的飞行器,而不一定是较旧的飞行器。同样地,第一组飞行不一定是第一飞行器曾经飞行的第一组飞行或者第二系列飞行之前飞行的一组。第一组飞行可能在在第二组飞行之前、期间或之后。

[0038] 在查看所显示验证数据集后,用户20可以识别出如下分量参数行为,其看起来像在预选数据集中看到的潜在(正或负)相关性,因此指示该潜在相关性是假相关。如果与分量参数相关联的数据不对应于关联组件的操作的物理期望(例如,逻辑和/或经验行为),则可以识别假的正相关。如果用户20识别出看起来像潜在相关性的分量参数行为,则用户20可以通过取消选择对应分量参数,和/或仅选择不指示假相关的分量参数,来根据所选择分量参数创建分量参数的子集。另外或另选的是,用户20可以基于预选数据集来选择另一选择的分量参数,并使用新选择的分量参数来操作预选模块14和/或验证模块16。如果用户20未识别出看起来像潜在相关性的分量行为,则用户20可以验证在预选数据集中看到的潜在相关性很可能是真相关。所选择分量参数的整体或子集(一起被称为集合)指示很可能真的

相关性,并且可以提供给混合特征选择系统10以供进一步处理。一般来说,验证模块16和验证数据集更容易识别,因为验证数据集包括来自在大修期间没有更换结构组件的飞行器的数据,所以假的正相关(指示在大修期间未发生更换时更换结构组件)和潜在的负相关更容易利用验证模块16和验证数据集来标识。。

[0039] 混合特征选择系统10的训练模块18被配置和/或编程成,基于该组选择分量参数(如从用户20接收的)来计算训练数据集,并且利用该训练数据集来训练用于大修期间的结构修理的预测模型,如本文针对本公开的方法进一步描述的。根据该组选择分量参数来计算该训练数据集,该组选择分量参数来自在多架飞行器的、具有至少一个已知组件未执行事件的多次飞行期间收集的数据,例如,通过利用机器学习的技术。

[0040] 图3示意性地表示根据本公开的方法90。上格例示了一个示例方法流程图。下格示意性地表示分量参数和用户选择结果。方法90包括:预选100初始一组分量参数60,验证110预选后的分量参数62,并且基于经验证和预选的分量参数64来构建120结构修理模型。预选100分量参数包括计算102预选数据集,并且显示104(例如,可视化和/或呈现)预选数据集。方法90包括:接收116用户选择的分量参数,其称为预选分量参数62。验证110预选后的分量参数62包括:计算112验证数据集112,并且显示114(例如,可视化和/或呈现)验证数据集。方法90包括:接收116用户选择的一组预选分量参数62(选择的分量参数),其称为经验证和预选的分量参数64。

[0041] 利用在大修期间经历结构修理的第一飞行器的第一组飞行期间收集的数据来执行预选100。预选数据集基于初始一组分量参数60。在图3的下格中,该初始一组分量参数60、预选分量参数62、以及经验证和预选的分量参数64被表示为,与飞行器的一个或多个结构组件有关的、被圈住的多组示例参数行(即,疲劳相关参数)。计算102包括:根据在第一组飞行期间收集的数据来计算该初始一组分量参数60的预选数据集。计算102可以包括:将预选数据集限制于来自在与飞行器相关联的预定状态或事件期间收集的数据的分量参数。例如,当该结构组件与第一飞行器的飞行表面相关联时,计算102可以包括:将预选数据集限制于来自在飞行器处于正常或异常飞行状态时收集的数据的疲劳相关参数。该正常飞行条件可以包括大于最小阈值(例如,80节)但小于一预定阈值(例如,1马赫)的飞行器空速和/或小于最大阈值(例如,50英尺/每秒平方)的加速度量值。

[0042] 显示104预选数据集可以包括:创建预选数据集的时域图。显示104可以响应于用户输入。

[0043] 利用在大修期间未经历结构修理的第二飞行器的第二组飞行期间收集的数据来执行验证110。

[0044] 计算112包括:基于在第二组飞行期间收集的数据和通过接收106用户选择而接收的预选分量参数62(选择的分量参数),来计算验证数据集。预选分量参数62包括初始一组分量参数60中的至少一个、大部分、或者可选为全部。第二组飞行的和验证数据集对象结构组件是:与第一组飞行和预选数据集的对象结构组件同一类型或等同的结构组件。

[0045] 接收106用户选择的分量参数可以基于用户对预选数据集内的潜在相关性的确定。可选的是,例如,如果用户未确定预选数据集内的潜在相关性和/或足够的潜在相关性,则方法90可以包括:利用不同的一组初始分量参数60来重复预选100。方法90可以包括:重复预选100,直到用户选择预选的分量参数62为止,并且在接收106时提供预选分量参数62。

[0046] 计算112可以包括：按与预选数据集大致相同(或相同)的方式，来处理在第二组飞行期间收集的数据。

[0047] 显示114验证数据集可以包括：创建验证数据集的时域图。显示114可以响应于用户输入。

[0048] 接收116用户选择的一组预选分量参数62可以基于用户对验证数据集和预选数据集内的很可能真的正和/或负相关的确定。可选的是，例如，如果用户未确定验证数据集内的很可能真的相关性和/或足够可能真的相关性，则方法90可以包括：利用不同的一组初始分量参数60来重复预选100，和/或利用不同的一组预选分量参数62来重复验证110。方法90可以包括：重复预选100和/或验证110，直到用户选择经验证和预选的分量参数64为止，并在接收106时提供该经验证和预选的分量参数64。

[0049] 相关性可能是：正相关，其中，该分量参数指示在大修期间结构组件的结构修理；或负相关，其中，分量参数指示在大修期间不存在结构组件的结构修理。方法90可以包括：寻求和/或用户可以寻求，具有针对结构修理的潜在正相关的分量参数，这可以提升预测模型的真的正预测的准确性(正确地预测结构修理将发生)，和/或具有与结构修理有潜在负相关的分量参数，这可以提升预测模型的真“负”预测的准确性(正确地预测结构修理将不会发生)。分量参数对于指示真的“正”、真的“负”，或两者来说有用。方法90可以包括：标识潜在的正相关并验证真的正相关，并且可以包括：标识潜在的负相关并验证真的负相关。预选100(和随后的接收106)可以在验证110(和随后的接收116)之前(如一般描述)、之后和/或至少部分地同时执行。例如，可以首先执行验证110以标识潜在的负相关，并且可以随后执行预选100来验证很可能真的负相关。

[0050] 构建120组件性能模型包括：基于经验证和预选的分量参数64来计算122训练数据集，并且利用该训练数据集来训练124用于组件性能的预测模型。

[0051] 利用在该队飞行器中的飞行器飞行期间所收集的数据来执行构建120。这些飞行可以包括：来自第一组飞行和/或第二组飞行中的一次或更多次飞行。该飞行器可包括：第一飞行器(在大修期间的结构组件更换之前和/或之后)、第二飞行器、和/或其它飞行器。

[0052] 计算122包括：基于在如所述飞行期间收集的数据，和由接收116接收的经验证和预选的分量参数64(该组选择分量参数)，来计算训练数据集。该经验证和预选的分量参数64包括该预选分量参数62中的至少一个、大部分或者可选为全部，假设该经验证和预选的分量参数64包括不到全部的初始一组分量参数60。训练数据集的对象结构组件是：与预选数据集和验证数据集的对象同一类型或等同的结构组件。

[0053] 计算122可以包括：按与验证数据集和/或预选数据集大致相同(或相同)的方式，来处理在该飞行期间收集的数据。

[0054] 构建120包括：利用训练数据集来训练124用于组件性能的预测模型，例如，通过将机器学习应用于训练数据集。另外或另选的是，训练124可以包括：将确定性算法(如线性或非线性回归，和/或参数建模)应用于训练数据集，以形成预测模型。经训练的预测模型可以称为训练模型(如本文参照图4所述)。

[0055] 训练124可以包括：监督和/或无监督机器学习。对应训练数据集可以包括训练信号(也称为标签)，其可以包括针对一次或更多次飞行的已知结果(例如，大修期间发生结构修理)。另外或另选的是，训练124可以包括基于训练信号的反馈。机器学习可以应用于回归

问题(其中,输出数据值是数字的,例如,电压、电阻、应变、周期数)和分类问题(其中,输出数据值是标签、类别、和/或分类,例如,通过-不通过、非性能事件类型等)。针对两类问题,可获得广泛的机器学习算法,而且新算法是活跃的研究主题。例如,人工神经网络、学习决策树以及支持向量机是可以应用至分类问题的不同类别算法。

[0056] 训练124可以标识一个或更多个候选机器学习模型。训练124可以包括:选择具有最高性能的候选机器学习模型(例如,基于真“正”率、真“负”率、假“正”率、假“负”率、和/或准确度)。另外或另选的是,训练124可以包括:将候选机器学习模型的结果组合成一个元模型。例如,元模型可以是个体候选机器学习模型的结果的加权和。可以根据真“正”率、真“负”率、假“正”率、假“负”率和/或候选模型性能的其它测量,来指配这种元模型中的权重。

[0057] 针对双种类分类方案(例如,二元值、正-负、真-假、是-否等),候选模型性能可以通过与真“正”、真“负”、假“正”,和/或假“负”有关的各种参数来特征化。真“正”是在已知输出值同样为“正”(例如,结果“是”和值“是”)时根据候选模型的“正”结果。真“正”率(还称作灵敏度和/或重新调用)是真“正”的总数除以“正”输出值的总数。正预测值(还称作精度)是真“正”的总数除以“正”结果的总数。真“负”是在已知输出值同样为“负”时根据候选模型的“负”结果。真“负”率(还称作特异性)是真“负”的总数除以“负”输出值的总数。负预测值是真“负”的总数除以“负”结果的总数。假“正”(还称作类型I错误)是在已知输出值为“负”时根据候选模型的“正”结果。假“正”率(还称作掉落(fall-out))是假“正”的总数除以“负”输出值的总数。假发现率是假“正”的总数除以“正”结果的总数。假“负”(类型II错误)是在已知输出值为“正”时根据候选模型的“负”结果。假“负”率是假“负”的总数除以“正”输出值的总数。假省略率是假“负”的总数除以“负”结果的总数。准确度是根据全部对象总体划分的真“正”和真“负”的总数。

[0058] 方法90可以包括:将用于组件性能的经验训练预测模型部署126至该队飞行器或另一队类似飞行器。如图4所示,部署126包括:利用在相关联的该队飞行器的飞行期间收集的飞行数据24,并且可以包括收集飞行数据24。飞行数据24可以存储在飞行数据库12中,和/或从飞行数据库12检索,或者存储在与该队关联飞行器的飞行数据库中。

[0059] 部署126包括:基于飞行数据24、训练模型70(来自训练124)、以及经验验证和预选的分量参数64的至少一部分,来计算(例如,分类)大修期间的结构修理的模型预测。计算128包括:根据飞行数据24来计算经验验证和预选的分量参数64的至少一部分的测试数据集。

[0060] 计算128可以包括:按与训练数据集、验证数据集和/或预选数据集相同的方式来处理新的飞行数据24。例如,计算128通常包括:基于过应力事件是否发生来选择飞行。计算128通常包括:基于经验验证和预选的分量参数64的至少一部分,从飞行数据24中提取特征数据。计算128通常包括:基于训练模型70的分类器来应用一个或更多个分类器(例如,集合体或相关分类器)。计算128还可以包括:根据训练模型70的规定来聚合训练模型70的各个分类器指示。

[0061] 聚合可以包括将聚合指示设定成(即,等于)以下各项中的一个:分类器指示的最大值、分类器指示的最小值、分类器指示的中值、分类器指示的平均值、分类器指标的模、分类器指示的最常见值、以及分类器指示的累积值。在一个或更多个分类器指示是非布尔类型(举例来说,诸如概率度量这样的真实值)的情况下,聚合可以包括:将这样的非布尔分类器指示分类为两种状态之一(例如,操作状态或非操作状态)。

[0062] 计算128可以包括：从在飞行器飞行期间收集的飞行数据中提取特征数据。如在此所述，飞行数据和/或特征数据可以涉及飞行器的性能，包括所选择的结构组件的飞行器的子系统，和/或所选择的结构组件。提取可以包括：确定在一时间窗口期间的传感器值的统计、在一时间窗口期间的传感器值的差异、和/或在不同位置和/或不同时间点测量的传感器值之间的差异。

[0063] 部署126包括：指示130模型预测。该模型预测可以包括和/或可以是：组件状态的分类（例如，可操作、良好、大修建议、大修期间的期望结构修理、和/或不可操作），和/或剩余使用寿命的估计（例如，建议大修之前的小时数）。指示130可以包括：向飞行器操作者和/或服务人员显示模型预测。指示130可以与针对关联飞行器（平台上或平台外）的健康管理系统和/或健康评估系统集成。健康管理系统和/或健康评估系统可被配置成监视、评估和/或指示该飞行器的一个或更多个结构组件的可操作状态。

[0064] 部署126可以包括：在飞行器飞行期间收集飞行数据。收集可以包括：收集针对一组飞行的飞行数据。部署126可以包括：使该飞行器飞行。使该飞行器飞行可能会导致进行收集。飞行可能包括常规飞行，或针对如下项的飞行：应力，和/或测试飞行器，包括所选择组件的该子系统和/或所选择组件。

[0065] 部署126可以包括通过可视、音频和/或触觉显示（例如，通过利用和/或操作输入-输出装置216）来显示聚合指示（和/或与聚合指示有关的表示）。

[0066] 部署126可以包括：基于聚合指示来确定所选择结构组件的性能状态。确定可以包括：确定在大修期间的结构修理是否可能。确定可以包括：确定聚合指示的状态，和/或评估聚合指示相对于预定极限（例如，小于、大于和/或大约等于极限）的值。例如，针对维护的需要可以与如下的聚合指示相关联：其指示具有大于预定极限的可能性的、即将到来的非性能状态。

[0067] 部署126还可以包括：执行大修以更换所选择的结构组件。部署126可以包括：在确定性能状态时确定是否执行大修（例如，基于聚合指示来确定更换将是有用和/或有保证的）。例如，确定是否经历大修可以包括：评估聚合指示相对于预定极限（例如，小于、大于或约等于该极限）的值。

[0068] 图5示意性地表示可以用于实现和/或实例化混合特征选择系统10及其组件（如预选模块14、验证模块16、训练模块18和/或飞行数据库12）的计算机化系统200。计算机化系统200包括处理单元202，该处理单元202通过通信基础设施210可操作地联接至计算机可读存储器206。处理单元202可以包括一个或更多个计算机处理器204，并且可以包括分布式的一组计算机处理器204。计算机化系统200还可以包括计算机可读存储介质集合212，其可操作地联接至处理单元202和/或计算机可读存储器206，例如，通过通信基础设施210。计算机可读存储介质集合212可以包括一个或更多个非暂时性计算机可读存储介质214，并且可以包括分布式的一组非暂时性计算机可读存储介质214。

[0069] 该通信基础设施210可以包括：本地数据总线、通信接口、和/或网络接口。通信基础设施210可以被配置成发送和/或接收信号，如电、电磁、光学、和/或声学信号。

[0070] 计算机化系统200可以包括一个或更多个输入-输出装置216，所述一个或更多个输入-输出装置216可操作地联接至处理单元202、计算机可读存储器206、和/或计算机可读存储介质集合212。输入-输出装置216可以被配置用于可视、音频、和/或触觉输入和/或输

出。每个输入-输出装置216可以独立地被配置成用于仅输入、仅输出、主输入、主输出、和/或输入和输出的组合。输入-输出装置216的示例包括：监视器（例如，视频监视器）、显示器（例如，字母数字混编显示器、灯和/或LED）、键盘、点击装置（例如，鼠标器）、触摸屏、扬声器、蜂鸣器、和配重器(weights)。

[0071] 计算机化系统200可以包括分布式的一组计算机、服务器、工作站等，其中每个都可以直接或间接（包括通过网络连接）相互连接。由此，计算机化系统200可以包括彼此远离地定位的一个或更多个处理单元202、计算机可读存储器206、计算机可读存储介质集合212、和/或输入-输出装置216。

[0072] 计算机可读存储器206和计算机可读存储介质集合212中的一个或两者包括：控制逻辑220和/或数据222。控制逻辑220（其也可以被称为软件、固件和/或硬件）可以包括指令，其在通过处理单元202执行时，使计算机化系统200执行本文所述的一种或更多种方法。控制逻辑220可以包括预选模块14、验证模块16以及训练模块18中的一个或更多个。数据222可以包括飞行数据库12和/或与本文所述模块和/或方法相关联的数据。

[0073] 根据本公开的发明主旨的示例在下面列举的段落中进行描述：

[0074] A1. 一种用于创建预测模型的方法，该预测模型用于在均包括结构组件的一队飞行器的大修期间的结构修理的，该方法包括以下步骤：

[0075] 针对所述一队飞行器中的第一飞行器进行如下操作，其中，所述第一飞行器在所述第一飞行器的大修期间经历更换所述第一飞行器的所述结构组件：

[0076] 从在所述第一飞行器的第一组飞行期间收集的数据，来计算疲劳相关参数的预选数据集，其中，所述第一组飞行中的每次飞行均发生在所述第一飞行器的大修之前，并且其中，在所述第一组飞行中的每次飞行期间，所述第一飞行器经历了过应力事件；

[0077] 显示所述预选数据集；以及

[0078] 接收所述疲劳相关参数的选择；

[0079] 针对所述一队飞行器中的第二飞行器进行如下操作，其中，所述第二飞行器经历大修而没有更换所述第二飞行器的所述结构组件：

[0080] 从在所述第二飞行器的第二组飞行期间收集的数据，来计算所述疲劳相关参数的选择的验证数据集，其中，所述第二组飞行中的每次飞行均发生在所述第二飞行器的大修之前，并且其中，在所述第二组飞行中的每次飞行期间，所述第二飞行器经历了过应力事件；

[0081] 显示所述验证数据集；

[0082] 接收所述疲劳相关参数的一组选择，其中，所述疲劳相关参数的所述一组选择少于所述疲劳相关参数的全部；

[0083] 从在所述一队飞行器中的相应飞行器的额外飞行期间收集的数据，来计算所述疲劳相关参数的所述一组选择的训练数据集，其中，所述相应飞行器中的每个飞行器均经历大修，其中，所述额外飞行中的每次飞行均发生在所述一队飞行器中的所述相应飞行器的大修之前，并且其中，所述额外飞行中的每次飞行均是如下飞行，在该飞行期间，所述相应飞行器经历了过应力事件；以及

[0084] 利用所述训练数据集来训练用于大修期间的结构修理的预测模型。

[0085] A2. 根据段落A1所述的方法，其中，相应飞行器的所述额外飞行包括：所述第一组

飞行中的一次或更多次飞行;和/或所述第二组飞行中的一次或更多次飞行。

[0086] A3.根据段落A1-A2中的任一段落所述的方法,其中,所述第一组飞行中的飞行过应力事件、所述第二组飞行中的飞行过应力事件、以及所述相应飞行器的所述额外飞行中的飞行的过应力事件均独立地从由如下各项构成的组中选择:硬着陆、高于预定正加速度阈值的正加速度、以及低于预定负加速度阈值的负加速度。

[0087] A4.根据段落A1-A3中的任一段落所述的方法,其中,所述一队飞行器中的所述飞行器是F/A-18型飞行器,并且其中,所述第一组飞行中的飞行的过应力事件、所述第二组飞行中的飞行的过应力事件、以及所述相应飞行器的所述额外飞行中的飞行的过应力事件均独立地对应于选自自由如下各项所构成的组的一个或更多个事件代码:硬着陆级别1、硬着陆级别2、飞行器正过应力、以及飞行器负过应力。

[0088] A5.根据段落A1-A4中的任一段落所述的方法,其中,所述疲劳相关参数包括以下各项中的至少一个:空气动力学结构的应变、应变的差异、加速度、俯仰率、滚转率、偏航率、以及速度制动器展开事件。

[0089] A6.根据段落A1-A5中的任一段落所述的方法,其中,所述疲劳相关参数包括以下各项中的至少一个:高于阈值应变的应变的持续时间、高于阈值加速度的加速度的持续时间、高于阈值俯仰率的俯仰率的持续时间、高于阈值滚转率的滚转率的持续时间、高于阈值偏航率的偏航率的持续时间、以及速度制动器展开的持续时间。

[0090] A7.根据段落A1-A6中的任一段落所述的方法,其中,所述疲劳相关参数包括在对应飞行期间收集的所选择数据的统计测量和/或本文列出的任何其它疲劳相关参数的统计测量,并且其中,所述统计测量是以下各项中的至少一个:最大值、最小值、平均值、移动窗口平均值、方差、偏斜度、以及峰度。

[0091] A8.根据段落A1-A7中的任一段落所述的方法,其中,所述疲劳相关参数包括以下各项中的至少一个:和、差、计数、值,以及在预定时间窗口期间收集的所选数据的统计测量,并且可选地,其中,所述时间窗对应于对应飞行器的所述对应飞行过应力事件的持续时间。

[0092] A9.根据段落A1-A8中的任一段落所述的方法,其中,在所述第一组飞行期间收集的数据以周期性为基础、以准周期性为基础和/或以非周期性为基础来获取。

[0093] A10.根据段落A1-A9中的任一段落所述的方法,其中,在所述第二组飞行期间收集的数据以周期性为基础、以准周期性为基础、和/或以非周期性为基础来获取。

[0094] A11.根据段落A1-A10中的任一段落所述的方法,其中,在所述一队飞行器中的相应飞行器的额外飞行期间收集的数据以周期性为基础、以准周期性为基础、和/或以非周期性为基础来获取。

[0095] A12.根据段落A1-A11中的任一段落所述的方法,其中,计算所述预选数据集的步骤包括以下步骤:将所述预选数据集限制成,来自在所述第一飞行器的所述第一组飞行中的至少一次飞行的所述过应力事件期间收集的数据的所述疲劳相关参数。

[0096] A13.根据段落A1-A12中的任一段落所述的方法,其中,计算所述验证数据集的步骤包括以下步骤:将所述验证数据集限制成,来自在所述第二飞行器的所述第二组飞行中的至少一次飞行的所述过应力事件期间收集的数据的所述选择疲劳相关参数。

[0097] A14.根据段落A1-A13中的任一段落所述的方法,其中,计算所述训练数据集的步

骤包括以下步骤:将所述训练数据集限制成,来自在所述相应飞行器的所述额外飞行中的至少一次飞行的所述过应力事件期间收集的数据的所述疲劳相关参数的一组选择。

[0098] A15.根据段落A1-A14中的任一段落所述的方法,其中,显示所述预选数据集的步骤包括并且可选地是以下步骤:可视化和/或呈现所述预选数据集。

[0099] A16.根据段落A1-A15中的任一段落所述的方法,其中,显示所述验证数据集的步骤包括并且可选地是以下步骤:可视化和/或呈现所述验证数据集。

[0100] A17.根据段落A1-A16中的任一段落所述的方法,其中,显示所述预选数据集的步骤包括以下步骤:创建所述预选数据集的时域图。

[0101] A18.根据段落A1-A17中的任一段落所述的方法,其中,显示所述验证数据集的步骤包括以下步骤:创建所述验证数据集的时域图。

[0102] A19.根据段落A1-A18中的任一段落所述的方法,其中,显示所述预选数据集的步骤包括以下步骤:响应于用户输入而进行显示。

[0103] A20.根据段落A1-A19中的任一段落所述的方法,其中,显示所述验证数据集的步骤包括以下步骤:响应于用户输入而进行显示。

[0104] A21.根据段落A1-A20中的任一段落所述的方法,其中,接收所述选择疲劳相关参数的步骤包括以下步骤:从用户接收所述选择。

[0105] A22.根据段落A1-A21中的任一段落所述的方法,其中,接收所述一组选择的步骤包括以下步骤:从用户接收所述一组选择。

[0106] A23.根据段落A1-A22中的任一段落所述的方法,其中,所述疲劳相关参数的选择少于全部的疲劳相关参数。

[0107] A24.根据段落A1-A23中的任一段落所述的方法,其中,所述疲劳相关参数的所述一组选择少于所述选择疲劳相关参数的全部。

[0108] A25.根据段落A1-A24中的任一段落所述的方法,其中,所述疲劳相关参数的选择是:基于用户对更换所述结构组件与所述疲劳相关参数之间的相关性的确定的选择。

[0109] A26.根据段落A1-A25中的任一段落所述的方法,其中,所述疲劳相关参数的所述一组选择是:根据基于用户对所述预选数据集中的所述选择疲劳相关参数与所述验证数据集中的对应所述疲劳相关参数之间的相关性的确定的选择,而选择的一组。

[0110] A27.根据段落A1-A26中的任一段落所述的方法,其中,所述疲劳相关参数的所述一组选择是:根据基于用户对所述预选数据集中的所述选择疲劳相关参数与所述验证数据集中的对应所述疲劳相关参数之间缺乏相关性的确定的选择,而选择的一组。

[0111] A28.根据段落A1-A27中的任一段落所述的方法,其中,训练所述预测模型的步骤包括:向所述训练数据集应用机器学习。

[0112] A29.根据段落A1-A28中的任一段落所述的方法,其中,所述第一飞行器的所述结构组件和所述第二飞行器的所述结构组件是同一类型的结构组件,并且选自自由以下各项构成的组:框架构件、大梁、桁条、翼肋、支柱、横梁、腹板、支撑体、连接器、接头、以及仪表板。

[0113] A30.根据段落A1-A29中的任一段落所述的方法,所述方法还包括以下步骤:部署所述预测模型,所述预测模型用于在针对所述一队飞行器的大修期间的结构修理。

[0114] A31.根据段落A1-A30中的任一段落所述的方法,所述方法还包括以下步骤:基于所述预测模型和从对象飞行器的飞行收集的所述飞行数据,来计算对所述对象飞行器的对

象结构组件的结构组件更换预测,并且可选地,其中,所述对象飞行器的所述飞行是如下飞行,在该飞行期间所述对象飞行器经历了过应力事件。

[0115] A31.1.根据段落A31所述的方法,所述方法还包括以下步骤:通过飞行所述对象飞行器的飞行来收集所述飞行数据。

[0116] A31.2.根据段落A31-A31.1中的任一段落所述的方法,所述方法还包括以下步骤:基于所述结构组件更换预测来更换所述对象飞行器的所述对象结构组件。

[0117] A32.一种计算机化系统,该计算机化系统包括:

[0118] 计算机可读存储器;

[0119] 处理单元,该处理单元可操作地联接至所述计算机可读存储器;以及

[0120] 计算机可读存储介质集合,其中,所述存储介质集合可操作地联接至所述计算机可读存储器,并且包括指令,在通过所述处理单元执行时,该指令使所述系统执行根据段落A1-A31.2中的任一段落所述的方法。

[0121] A33.一种非暂时性计算机可读介质,该非暂时性计算机可读介质包括指令,该指令用于使计算机系统执行根据段落A1-A31.2中的任一段落所述的方法。

[0122] B1.一种混合特征选择系统,该混合特征选择系统用于生成预测模型,该预测模型用于在均包括结构组件的一队飞行器的大修期间的结构修理,所述混合特征选择系统包括:

[0123] 数据的飞行数据库,该数据在所述一队飞行器中的飞行器飞行期间被收集;

[0124] 预选模块,该预选模块被配置成从所述飞行数据库中检索资格数据,所述预选模块被配置成通过将疲劳相关参数应用至所述资格数据来计算预选数据集,所述预选模块被配置成显示所述预选数据集,并且所述预选模块被配置成从用户接收所述疲劳相关参数的选择,其中,所述资格数据是在所述一队飞行器中的第一飞行器的第一组飞行期间收集的数据,所述第一飞行器经历在所述第一飞行器的大修期间更换所述结构组件,其中,所述第一组飞行中的每次飞行均发生在所述第一飞行器的大修之前,并且其中,在所述第一组飞行中的每次飞行期间,所述第一飞行器经历了过应力事件;

[0125] 验证模块,该验证模块被配置成从所述飞行数据库中检索验证数据,所述验证模块被配置成通过将所述选择疲劳相关参数应用至所述验证数据来计算验证数据集,所述验证模块被配置成显示所述验证数据集,并且被配置成从所述用户接收少于全部的所述疲劳相关参数的、所述疲劳相关参数的一组选择,其中,所述验证数据是在所述一队飞行器中的第二飞行器的第二组飞行期间收集的数据,所述第二飞行器经历大修而没有更换所述第二飞行器的所述结构组件,其中,所述第二组飞行中的每次飞行均发生在所述第二飞行器的大修之前,并且其中,在所述第二组飞行中的每次飞行期间,所述第二飞行器经历了过应力事件;以及

[0126] 训练模块,该训练模块被配置成从所述飞行数据库中检索训练数据,所述训练模块被配置成通过将所述疲劳相关参数的所述一组选择应用至所述训练数据来计算训练数据集,所述训练模块被配置成利用所述训练数据集来训练用于大修期间的结构修理的预测模型,并且所述训练模块被配置成向所述用户提供所述预测模型。

[0127] B2.根据段落B1所述的混合特征选择系统被编程成执行根据段落A1-A31.2中的任一段落所述的方法。

- [0128] C1.一种确定飞行器的结构组件的性能状态的方法,该方法包括以下步骤:
- [0129] 选择所述飞行器的一组飞行,其中,在每次飞行期间,所述飞行器经历了过应力事件;
- [0130] 从所述一组飞行期间收集的飞行数据中提取特征数据,其中,所述特征数据涉及所述结构组件的疲劳;
- [0131] 应用分类器集合,该分类器集合被配置成标识所述特征数据所属于的类别,以生成针对所述分类器集合中的每个分类器的分类器指示,其中,每个分类器均被配置成基于所述特征数据来指示所述飞行器的所述结构组件的类别;
- [0132] 聚合所述分类器指示,以生成指示所述结构组件的聚合类别的聚合指示;以及
- [0133] 基于所述聚合指示来确定所述结构组件的所述性能状态。
- [0134] C2.根据段落AC所述的方法,其中,所述飞行过应力事件从由如下各项构成的组中选择:硬着陆、高于预定阈值的正加速度、以及低于预定阈值的负加速度。
- [0135] C3.根据段落C1-C2中的任一段落所述的方法,其中,所述飞行器是F/A-18型飞行器,并且其中,所述飞行的过应力事件对应于选自由如下各项所构成的组的一个或更多个事件代码:硬着陆级别1、硬着陆级别2、飞行器正过应力、以及飞行器负过应力。
- [0136] C4.根据段落C1-C3中的任一段落所述的方法,其中,所述特征数据包括以下各项中的至少一个:空气动力学结构的应变、应变的差异、加速度、俯仰率、滚转率、偏航率、以及速度制动器展开事件。
- [0137] C5.根据段落C1-C4中的任一段落所述的方法,其中,所述特征数据包括各项中的至少一个:空气动力学结构的应变、高于阈值加速度的加速度的持续时间、高于阈值俯仰率的俯仰率的持续时间、高于阈值滚转率的滚转率的持续时间、高于阈值偏航率的偏航率的持续时间、以及速度制动器部署的持续时间。
- [0138] C6.根据段落C1-C5中的任一段落所述的方法,其中,所述特征数据包括:在所述一组飞行的一次或更多次(可选为全部)飞行期间收集的选择飞行数据的统计测量,和/或本文列出的任何其它特征数据的统计测量,并且其中,所述统计测量是以下各项中的至少一个:最大值、最小值、平均值、移动窗口平均值、方差、偏斜度、以及峰度。
- [0139] C7.根据段落C1-C6中的任一段落所述的方法,其中,所述特征数据包括以下各项中的至少一个:和、差、计数、值、以及在预定时间窗口期间收集的所选飞行数据的统计测量,并且可选地,其中,所述时间窗对应于所述一组飞行中的一次飞行的过应力事件的持续时间。
- [0140] C8.根据段落C1-C7中的任一段落所述的方法,其中,所述特征数据包括:被限制于所述一组飞行中的一次飞行的过应力事件的持续时间的选择飞行时间。
- [0141] C9.根据段落C1-C8中的任一段落所述的方法,所述方法还包括以下步骤:收集所述一组飞行期间的飞行数据。
- [0142] C9.1根据段落C9所述的方法,其中,所述收集所述飞行数据的步骤包括以下步骤:飞行所述飞行器的所述航班。
- [0143] C9.2根据段落C1-C9.1中的任一段落所述的方法,其中,收集的步骤包括以下步骤:以周期性为基础、以准周期性为基础、和/或以非周期性为基础来获取一种或更多种类型的飞行时间。

[0144] C10.根据段落C1-C9.2中的任一段落所述的方法,其中,所述飞行器的所述结构组件选自由以下各项构成的组:框架构件、大梁、桁条、翼肋、支柱、横梁、腹板、支撑体、联接器、接头、以及仪表板。

[0145] C11.根据段落C1-C10中的任一段落所述的方法,其中,所述聚合指示指示在大修期间所述结构组件的修理需要的可能性。

[0146] C12.根据段落C1-C11中的任一段落所述的方法,所述方法还包括以下步骤:基于所述性能状态和/或所述聚合指示,来更换所述飞行器的所述结构组件。

[0147] C13.根据段落C1-C12中的任一段落所述的方法,其中,所述性能状态涉及是否建议大修。

[0148] C14.根据段落C1-C13中的任一段落所述的方法,所述方法还包括以下步骤:基于所述性能状态和/或所述聚合指示,来执行针对所述飞行器的的大修。

[0149] C15.根据段落C1-C14中的任一段落所述的方法,其中,至少一个分类器并且可选为每一个分类器由各项中的至少一个形成:朴素贝叶斯分类器、支持向量机、学习决策树、学习决策树集合、以及神经网络。

[0150] C16.根据段落C1-C15中的任一段落所述的方法,其中,至少一个分类器并且可选为每一个分类器包括统计相关性和回归中的至少一个。

[0151] C17.根据段落C1-C16中的任一段落所述的方法,其中,所述聚合可以包括将聚合指示设定成以下各项中的一个:分类器指示的最大值、分类器指示的最小值、分类器指示的中值、分类器指示的平均值、分类器指标的模、分类器指示的最常见值、以及分类器指示的累积值。

[0152] C18.根据段落C1-C17中的任一段落所述的方法,其中,其中所述聚合步骤包括以下步骤:将每个分类器指示分类为两种状态之一,其中,这些状态包括大修建议状态和非大修建议状态,并且其中,所述聚合步骤包括以下步骤:将所述聚合指示设定成所述分类器指示的最常见状态。

[0153] 如在此使用的,术语“适于(adapted)”和“配置(configured)”意指该部件、组件或其它主旨被设计和/或旨在执行指定功能。由此,使用术语“适于”和“配置”不为被视为意指指定部件、组件或其它主旨简单地“能够”执行指定功能,而是该部件、组件和/或其它主旨出于执行该功能的目的而被具体选择、创建、实现、利用、编程和/或设计。还处于本公开的范围内的,该部件、组件和/或被陈述为适于执行特定功能的其它陈述主旨可以另外或另选地被描述为被配置成执行该功能,反之亦然。类似的是,被陈述为被配置成执行特定功能的主旨可以另外或另选地被描述为可操作以执行该功能。

[0154] 当参照根据本公开的一个或更多个组件、特征、细节、结构、实施方式以及/或者方法一起使用时,如在此使用的,短语“例如”、短语“作为示例(“as an example)”,以及/或者简单地讲,术语“示例(example)”旨在覆盖所述组件、特征、细节、结构、实施方式以及/或者方法是根据本公开的组件、细节、结构、实施方式以及/或者方法的例示性的非排它例。由此,所述组件、特征、细节、结构、实施方式以及/或者方法不是旨在进行限制、要求或者排它/穷举;而且其它组件、特征、细节、结构、实施方式以及/或者方法(包括结构上和/或功能上相似和/或等同的组件、特征、细节、结构、实施方式以及/或者方法)也处于本公开的范围

[0155] 如在此使用的,关于一列一个以上实体的短语“…中的至少一个”和“…中的一个或多个”意指该列实体中的任一个或多个实体,而非限制成在该列实体内具体列出的每个实体中的至少一个。例如,“A和B中的至少一个”(或者,等同地,“A或B中的至少一个”,或者等同地,“A和/或B中的至少一个”)可以指单独A、单独B、或者A和B和组合。

[0156] 如在此使用的,单数形式“一”以及“该/所述”同样可以包括多数形式,除非上下文另外进行了明确指示。

[0157] 而且,本公开包括根据下列条款的实施方式:

[0158] 条款1.一种用于创建预测模型的方法,该预测模型用于在均包括结构组件的一队飞行器的大修期间的结构修理,该方法包括以下步骤:

[0159] 针对所述一队飞行器中的第一飞行器进行如下操作,其中,所述第一飞行器在所述第一飞行器的大修期间经历更换所述第一飞行器的所述结构组件:

[0160] 从在所述第一飞行器的第一组飞行期间收集的数据,来计算疲劳相关参数的预选数据集,其中,所述第一组飞行中的每次飞行均发生在所述第一飞行器的大修之前,并且其中,在所述第一组飞行中的每次飞行期间,所述第一飞行器经历了过应力事件;

[0161] 显示所述预选数据集;以及

[0162] 接收所述疲劳相关参数的选择;

[0163] 针对所述一队飞行器中的第二飞行器行如下操作,其中,所述第二飞行器经历大修而没有更换该第二飞行器的所述结构组件:

[0164] 根据在所述第二飞行器的第二组飞行期间收集的数据,来计算所述疲劳相关参数的选择的验证数据集,其中,所述第二组飞行中的每次飞行均发生在所述第二飞行器的大修之前,并且其中,在所述第二组飞行中的每次飞行期间,所述第二飞行器经历了过应力事件;

[0165] 显示所述验证数据集;以及

[0166] 接收所述疲劳相关参数的一组选择,其中,所述疲劳相关参的所述一组选择数少于所述疲劳相关参数的全部;

[0167] 从在所述一队飞行器中的相应飞行器的额外飞行期间收集的数据,来计算所述疲劳相关参数的所述一组选择的训练数据集,其中,所述相应飞行器中的每个飞行器均经历大修,其中,所述额外飞行中的每次飞行均发生在该飞行的所述相应飞行器的大修之前,并且其中,所述额外飞行中的每次飞行均是如下飞行,在该飞行期间,所述相应飞行器经历了过应力事件的飞行;以及

[0168] 利用所述训练数据集来训练用于大修期间的结构修理的预测模型。

[0169] 条款2.根据条款1所述的方法,其中,所述第一组飞行中的飞行的过应力事件、所述第二组飞行中的飞行的过应力事件、以及所述相应飞行器的所述额外飞行中的飞行的过应力事件均独立地从由如下各项构成的组中选择:硬着陆、高于预定正加速度阈值的正加速度、以及低于预定负加速度阈值的负加速度。

[0170] 条款3.根据条款1-2中的任一项所述的方法,其中,所述疲劳相关参数包括以下各项中的至少一个:空气动力学结构的应变、应变的差异、加速度、俯仰率、滚转率、偏航率、以及速度制动器展开事件。

[0171] 条款4.根据条款1-3中的任一项所述的方法,其中,所述第一飞行器的所述结构组

件和所述第二飞行器的所述结构组件是同一类型的结构组件,并且选自以下各项构成的组:框架构件、大梁、桁条、翼肋、支柱、横梁、腹板、支撑体、连接器、接头、以及仪表板。

[0172] 条款5.根据条款1-4中的任一项所述的方法,其中,显示所述预选数据集的步骤包括可视化所述预选数据集,并且

[0173] 其中,显示所述验证数据集的步骤包括可视化所述验证数据集。

[0174] 条款6.根据条款1-5中的任一项所述的方法,其中,显示所述预选数据集的步骤包括响应于用户输入而进行显示,并且

[0175] 其中,显示所述验证数据集的步骤包括响应于用户输入而进行显示。

[0176] 条款7.根据条款1-6中的任一项所述的方法,其中,训练所述预测模型的步骤包括向所述训练数据集应用机器学习。

[0177] 条款8.根据条款1-7中的任一项所述的方法,其中,所述疲劳相关参数的所述选择少于全部疲劳相关参数。

[0178] 条款9.根据条款1-8中的任一项所述的方法,其中,所述疲劳相关参数的所述一组选择少于所述疲劳相关参数的所述选择的全部。

[0179] 条款10.根据条款1-9中的任一项所述的方法,其中,接收所述疲劳相关参数的所述选择的步骤包括以下步骤:从用户接收基于用户对在大修期间更换所述第一飞行器的所述结构组件与所述疲劳相关参数之间的相关性的确定的、所述疲劳相关参数的所述选择,并且

[0180] 其中,接收所述疲劳相关参数的所述一组选择的步骤包括以下步骤:从所述用户接收基于所述用户对所述预选数据集中的所述疲劳相关参数的所述选择与所述验证数据集中的对应所述疲劳相关参数之间缺乏相关性的确定的、所述疲劳相关参数的所述一组选择。

[0181] 条款11.根据条款1-10中的任一项所述的方法,其中,计算所述预选数据集的步骤包括以下步骤:将所述预选数据集限制成,来自在所述第一飞行器的所述第一组飞行中的至少一次飞行的所述过应力事件期间收集的数据的所述疲劳相关参数,

[0182] 其中,计算所述验证数据集的步骤包括以下步骤:将所述验证数据集限制成,来自在所述第二飞行器的所述第二组飞行中的至少一次飞行的所述过应力事件期间收集的数据的所述疲劳相关参数,并且

[0183] 其中,计算所述训练数据集的步骤包括以下步骤:将所述训练数据集限制成,来自在所述相应飞行器的所述额外飞行中的至少一次飞行的所述过应力事件期间收集的数据的所述疲劳相关参数。

[0184] 条款12.根据条款1-11中的任一项所述的方法,所述方法还包括以下步骤:

[0185] 通过飞行对象飞行器的一飞行来收集飞行数据,并且

[0186] 基于所述预测模型和从所述对象飞行器的所述飞行收集的所述飞行数据,来计算对所述对象飞行器的对象结构组件的结构组件更换预测。

[0187] 条款13.根据条款1-12中的任一项所述的方法,所述方法还包括以下步骤:部署所述预测模型,所述预测模型用于在所述一队飞行器的大修期间的结构修理。

[0188] 条款14.一种混合特征选择系统,该混合特征选择系统用于生成预测模型,该预测模型用于在均包括结构组件的一队飞行器的大修期间的结构修理,所述混合特征选择系统

包括：

[0189] 数据的飞行数据库,该数据在所述一队飞行器中的飞行器飞行期间被收集;

[0190] 预选模块,该预选模块被配置成从所述飞行数据库中检索资格数据,所述预选模块被配置成通过将疲劳相关参数应用至所述资格数据来计算预选数据集,所述预选模块被配置成显示所述预选数据集,并且所述预选模块被配置成从用户接收所述疲劳相关参数的选择,其中,所述资格数据是在所述一队飞行器中的第一飞行器的第一组飞行期间收集的数据,所述第一飞行器在所述第一飞行器的大修期间经历更换所述结构组件,其中,所述第一组飞行中的每次飞行均发生在所述第一飞行器的大修之前,并且其中,在所述第一组飞行中的每次飞行期间,所述第一飞行器经历了过应力事件;

[0191] 验证模块,该验证模块被配置成从所述飞行数据库中检索验证数据,所述验证模块被配置成通过将所述疲劳相关参数的选择应用至所述验证数据来计算验证数据集,所述验证模块被配置成显示所述验证数据集,并且所述验证模块被配置成从所述用户接收少于全部所述疲劳相关参数的、所述疲劳相关参数的一组选择,其中,所述验证数据是在所述一队飞行器中的第二飞行器的第二组飞行期间收集的数据,所述第二飞行器经历大修而没有更换所述第二飞行器的所述结构组件,其中,所述第二组飞行中的每次飞行均发生在所述第二飞行器的大修之前,并且其中,在所述第二组飞行中的每次飞行期间,所述第二飞行器经历了过应力事件;以及

[0192] 训练模块,该训练模块被配置成从所述飞行数据库中检索训练数据,所述训练模块被配置成通过将所述疲劳相关参数的一组选择应用至所述训练数据来计算训练数据集,所述训练模块被配置成利用所述训练数据集来训练用于大修期间的结构修理的预测模型,并且所述训练模块被配置成向所述用户提供所述预测模型。

[0193] 条款15.一种确定飞行器的结构组件的性能状态的方法,该方法包括以下步骤:

[0194] 选择所述飞行器的一组飞行,其中,在每次飞行期间,所述飞行器经历了过应力事件;

[0195] 从在所述一组飞行期间收集的飞行数据中提取特征数据,其中,所述特征数据涉及所述结构组件的疲劳;

[0196] 应用分类器集合,该分类器集合被配置成标识所述特征数据所属于的类别,以生成针对所述分类器集合中的每个分类器的分类器指示,其中,每个分类器都被配置成基于所述特征数据来指示所述飞行器的所述结构组件的类别;

[0197] 聚合所述分类器指示,以生成指示所述结构组件的聚合类别的聚合指示;以及

[0198] 基于所述聚合指示来确定所述结构组件的所述性能状态。

[0199] 条款16.根据条款15所述的方法,其中,所述飞行过应力事件从由如下各项构成的组中选择:硬着陆、高于预定阈值的正加速度、以及低于预定阈值的负加速度。

[0200] 条款17.根据条款15-16中的任一项所述的方法,其中,所述特征数据包括以下各项中的至少一个:空气动力学结构的应变、应变的差异、加速度、俯仰率、滚转率、偏航率,以及速度制动器展开事件。

[0201] 条款18.根据条款15-17中的任一项所述的方法,其中,所述特征数据包括以下各项中的至少一个:和、差、计数、值、以及在所述一组飞行中的一次飞行的过应力事件的持续时间期间收集的所选飞行数据的统计测量。

[0202] 条款19. 根据条款15-18中的任一项所述的方法, 其中, 所述飞行器的所述结构组件选自以下各项构成的组中: 框架构件、大梁、桁条、翼肋、支柱、横梁、腹板、支撑体、连接器、接头、以及仪表板。

[0203] 条款20. 根据条款15-19中的任一项所述的方法, 所述方法还包括以下步骤: 基于所述性能状态来执行针对所述飞行器的大修。

[0204] 对于根据本公开的所有系统、装置以及方法来说, 本文公开的系统 and 装置的各种公开部件和本文所公开方法的步骤不是必需的, 并且本公开包括本文所公开的各种部件和步骤的所有新颖的和不明显的组合和子组合。而且, 本文公开的各种部件和步骤中的任一者, 或者所述各种部件和/或步骤的任何组合都可以限定与整个所公开系统、装置或者方法分离和分开的独立发明主旨。因此, 这种发明主旨不需要与本文明确公开的具体系统、装置以及方法相关联, 而且这种发明主旨可以在本文未明确公开的系统、装置和/或方法中找到用途。

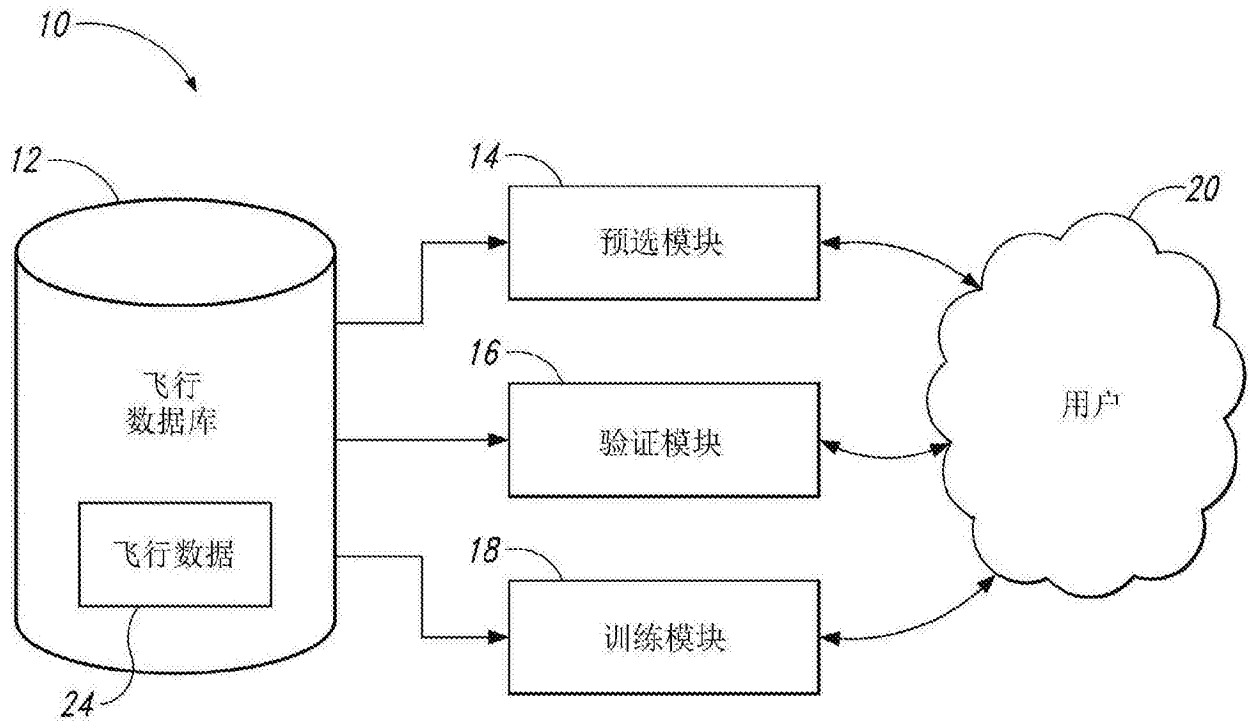


图1

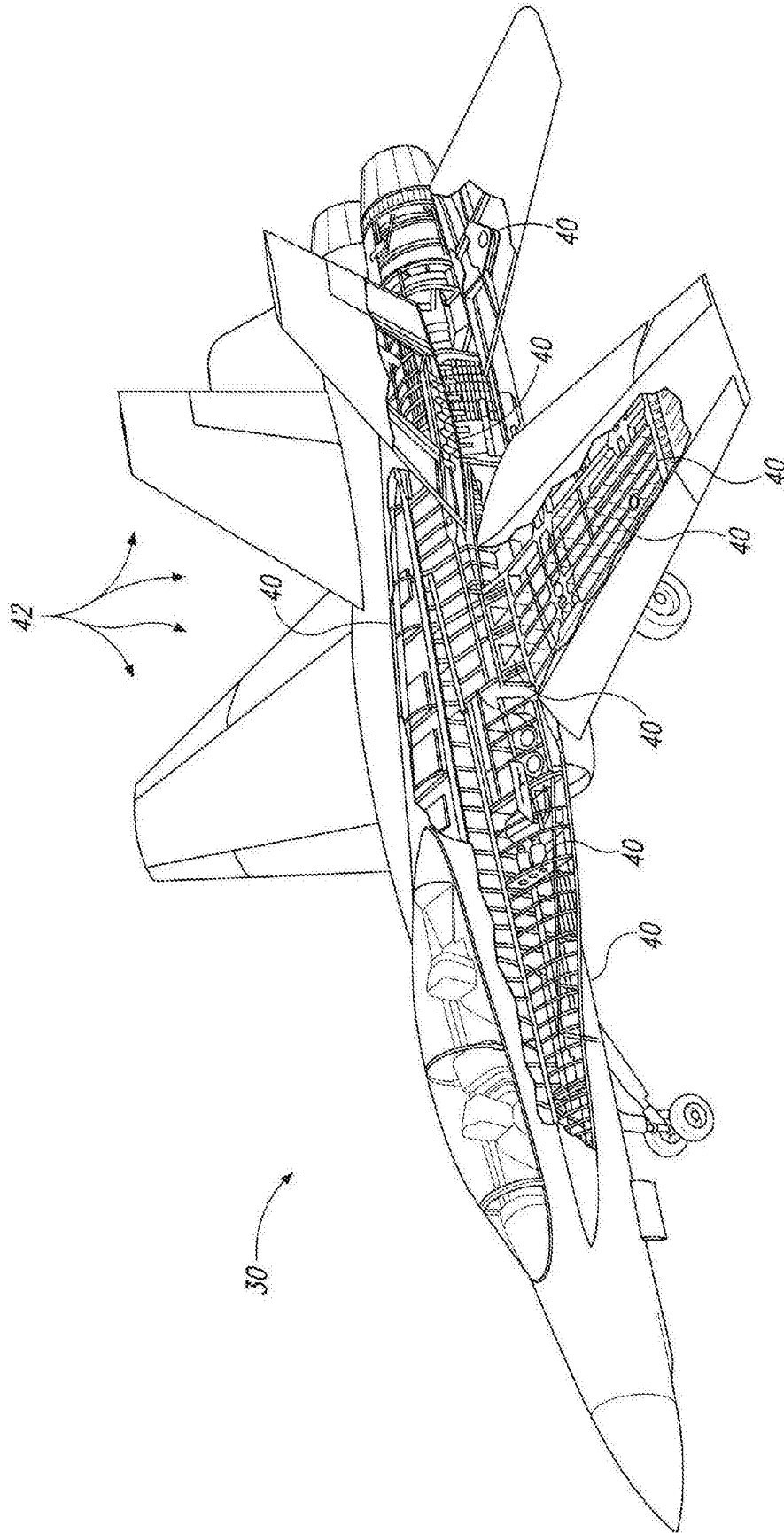


图2

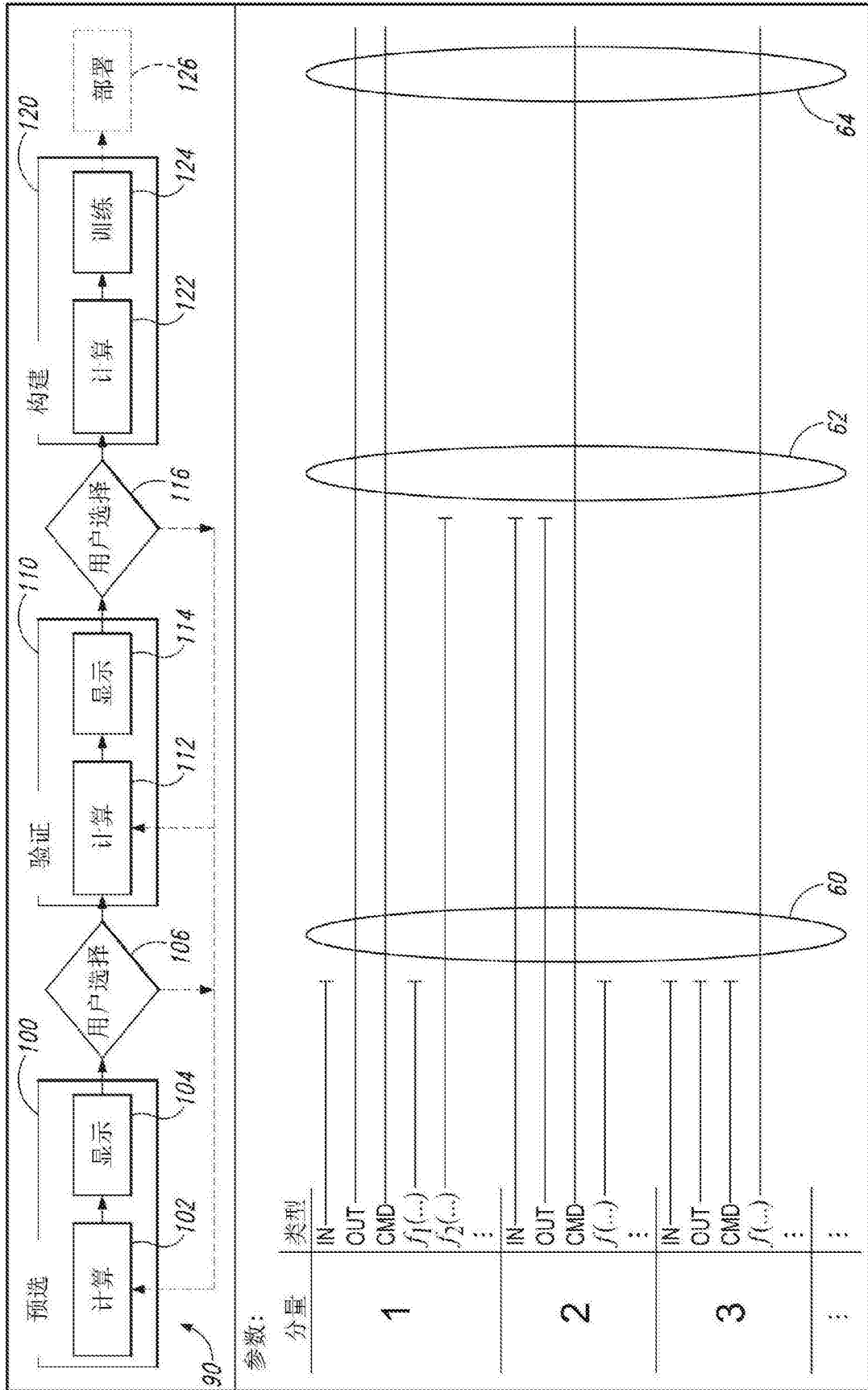


图3

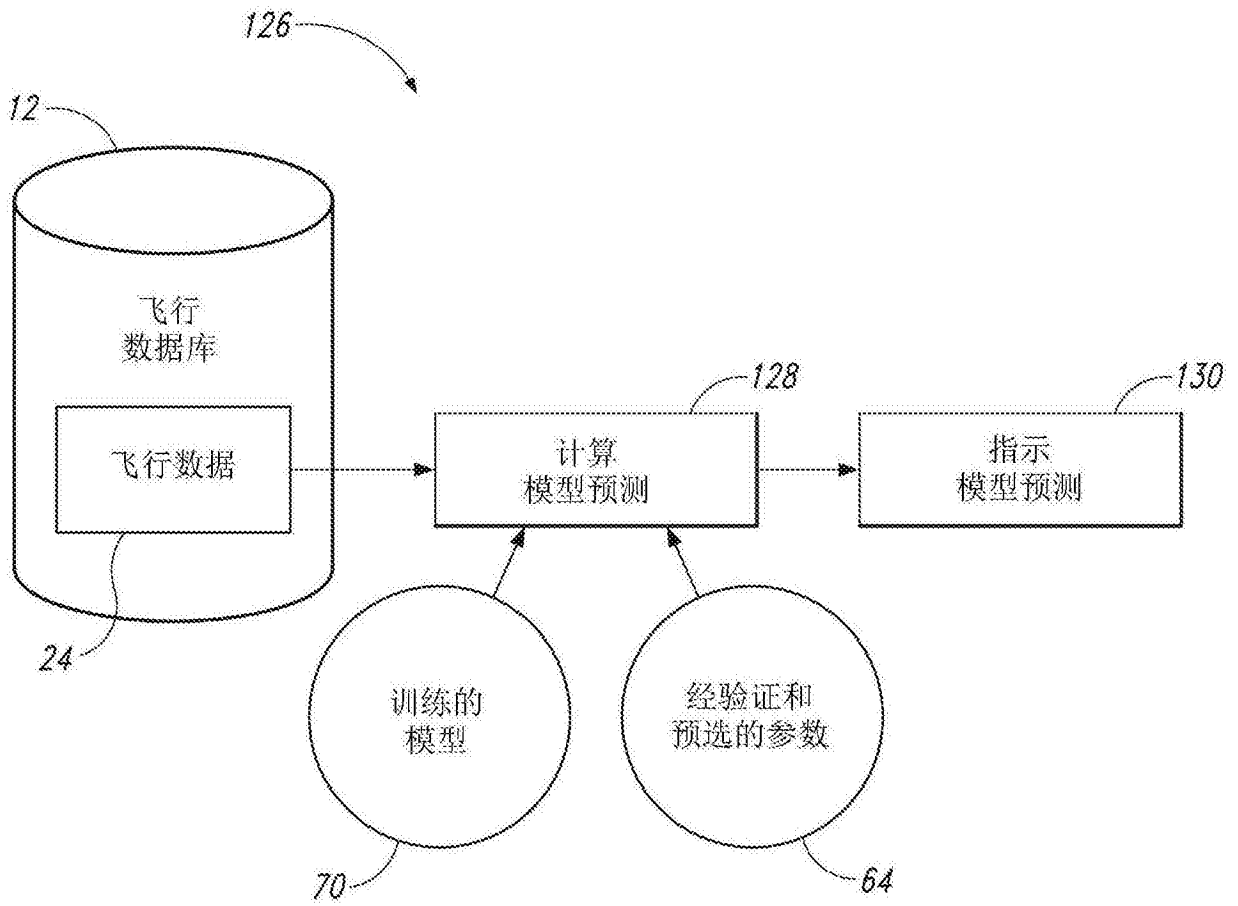


图4

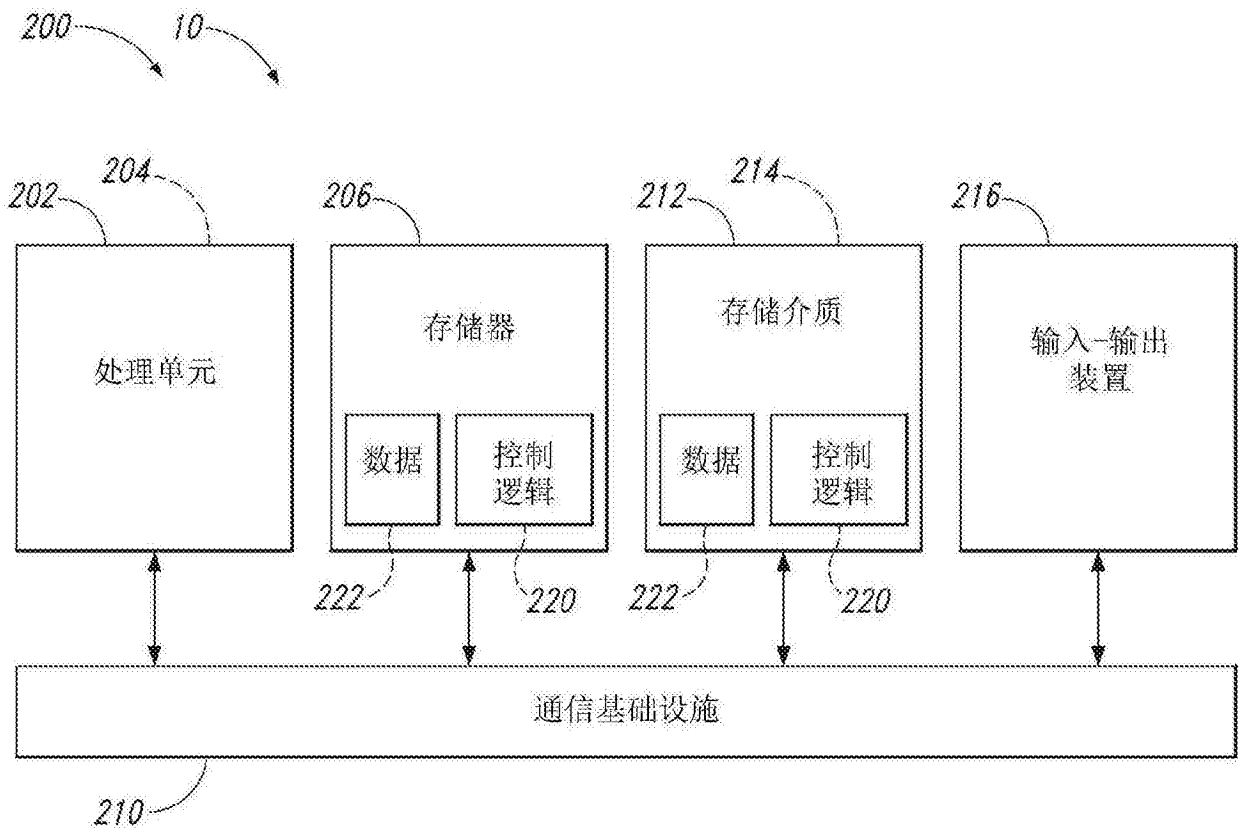


图5