



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113994403 A

(43) 申请公布日 2022. 01. 28

(21) 申请号 202080035221.6

(74) 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所  
11105

(22) 申请日 2020.03.13

代理人 胡琪

(30) 优先权数据

62/817,932 2019.03.13 US

(51) Int.Cl.

G08B 21/06 (2006.01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2021.11.11

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2020/022631 2020.03.13

(87) PCT国际申请的公布数据

WO2020/186160 EN 2020.09.17

(71) 申请人 联邦快递公司

地址 美国田纳西州

(72) 发明人 S. 兰根

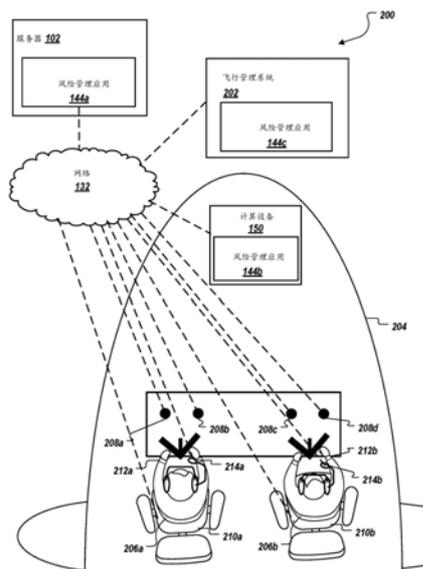
权利要求书3页 说明书31页 附图14页

(54) 发明名称

缓解飞行器的操作风险

(57) 摘要

一种飞行中风险管理系统,包括眼睛传感器、座位传感器和一个或多个飞行中风险管理计算机,这些计算机执行的操作包括:获得飞行机组成员的历史信息,获得与该飞行机组成员将出现的飞行相关联的飞行信息,基于该历史信息和该飞行信息确定该飞行机组成员的预测的疲劳简档,基于飞行机组成员的预测的疲劳简档,确定飞行机组成员的一个或多个疲劳指示符简档,从眼睛传感器或座位传感器中的至少一个获得与飞行机组成员相关联的一个或多个测量的疲劳指示符值,基于一个或多个测量的疲劳指示符值生成一个或多个更新的疲劳指示符简档,以及基于一个或多个更新的疲劳指示符简档生成更新的预测的疲劳简档。



1. 一种飞行中风险管理系统,包括:
  - 眼睛传感器,安装在飞行器驾驶舱中;
  - 座位传感器,安装在所述飞行器驾驶舱中;
  - 一个或多个飞行中风险管理(IRM)计算机,与所述眼睛传感器和所述座位传感器通信;以及
  - 一个或多个数据存储,与所述一个或多个IRM计算机通信并存储指令,所述指令在被执行时使得所述一个或多个IRM计算机执行包括以下操作的操作:
    - 获得飞行机组成员的历史信息,所述历史信息包括表示一段时间内所述飞行机组成员的休息和唤醒活动的的数据;
    - 获得与所述飞行机组成员将出现的飞行相关联的飞行信息,所述飞行信息指示飞行期间的一系列事件;
    - 基于所述历史信息和所述飞行信息来确定所述飞行机组成员的预测的疲劳简档;
    - 基于所述飞行机组成员的预测的疲劳简档,确定所述飞行机组成员的一个或多个疲劳指示符简档,所述一个或多个疲劳指示符简档表示一个或多个相应的可测量疲劳指示符的值;
    - 从所述眼睛传感器或所述座位传感器中的至少一个获得与所述飞行机组成员相关联的一个或多个测量的疲劳指示符值;
    - 基于所述一个或多个测量的疲劳指示符值来生成一个或多个更新的疲劳指示符简档;以及
  - 基于所述一个或多个更新的疲劳指示符简档来生成更新的预测的疲劳简档。
2. 根据权利要求1所述的系统,其中,基于所述历史信息和所述飞行信息来确定所述飞行机组成员的预测的疲劳简档包括将睡眠与预期的疲劳相关联的疲劳模型应用于表示一段时间内所述飞行机组成员的休息和唤醒活动的的数据。
3. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述历史信息包括对应于由所述飞行机组成员执行的一次或多次先前飞行的所述飞行机组成员的一个或多个先前预测的疲劳简档和一个或多个相应的先前测量的疲劳指示符值。
4. 根据权利要求3所述的系统,其中,所述一个或多个疲劳指示符简档是至少部分地基于对应于由所述飞行机组成员执行的一次或多次先前飞行的所述飞行机组成员的一个或多个先前预测的疲劳简档和一个或多个相应的先前测量的疲劳指示符值而确定的。
5. 根据权利要求3所述的系统,其中,所述更新的预测的疲劳简档是至少部分地基于对应于由所述飞行机组成员执行的一次或多次先前飞行的所述飞行机组成员的一个或多个先前预测的疲劳简档和一个或多个相应的先前测量的疲劳指示符值而生成的。
6. 根据权利要求1所述的系统,其中,获得机组人员的历史信息包括从所述机组人员穿戴的可穿戴智能设备接收所述历史信息。
7. 根据权利要求1所述的系统,所述操作还包括基于更新的预测的疲劳简档确定一个或多个更新的疲劳指示符简档。
8. 根据权利要求1所述的系统,其中,确定预测的疲劳简档包括:
  - 获得多个群组疲劳简档;
  - 基于所述飞行机组成员的历史信息,从所述多个群组疲劳简档中选择群组疲劳简档;

以及

基于所述飞行信息调整所选择的群组疲劳简档。

9. 根据权利要求8所述的系统,其中,所选择的群组疲劳简档包括一段时间内多个飞行机组成员的平均疲劳水平。

10. 根据权利要求8所述的系统,其中,从所述多个群组疲劳简档中选择群组疲劳简档包括:

将所述飞行机组成员的历史信息与一个或多个多个测试对象的历史信息进行比较,所述一个或多个多个测试对象中的每一个特定于群组疲劳简档;

确定具有最接近所述飞行机组成员的历史信息的历史信息的多个测试对象;以及选择与所确定的多个测试对象相关联的群组疲劳简档。

11. 根据权利要求8所述的系统,其中,基于所述飞行信息调整所选择的群组疲劳简档包括根据所述飞行的估计的飞行时间改变所选择的群组疲劳简档。

12. 根据权利要求1所述的系统,其中,生成所述飞行机组成员的一个或多个疲劳指示符简档包括:

获得一个或多个疲劳水平和一个或多个疲劳指示符值之间的一个或多个相关性;以及将所述一个或多个相关性应用于预测的疲劳简档,以生成一个或多个疲劳指示符简档,每个疲劳指示符简档特定于一个或多个疲劳指示符中的一疲劳指示符。

13. 根据权利要求12所述的系统,其中,所述一个或多个相关性是基于测量多个测试对象的一个或多个疲劳指示符值以及测量所述多个测试对象的一个或多个疲劳水平而生成的。

14. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述一个或多个测量的疲劳指示符值包括眼睑闭合率、眼睑闭合长度、凝视测量或眼睛扫描测量中的至少一个。

15. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述一个或多个测量的疲劳指示符值包括腿部运动率或重量转移率中的至少一个。

16. 根据权利要求1所述的系统,其中,更新的预测的疲劳简档是响应于确定在所述一个或多个测量的疲劳指示符值和所述一个或多个疲劳指示符简档之间已经出现阈值量的偏差而生成的。

17. 根据权利要求1所述的系统,所述操作还包括至少部分地基于更新的预测的疲劳简档提供一个或多个飞行风险缓解干预。

18. 根据权利要求17所述的系统,其中,提供一个或多个飞行风险缓解干预包括自动改航所述飞行到替代着陆位置。

19. 根据权利要求17所述的系统,其中,提供一个或多个飞行风险缓解干预包括自动启用所述飞行器的自动驾驶功能。

20. 根据权利要求17所述的系统,其中,提供一个或多个飞行风险缓解干预包括将所述飞行器的控制从所述飞行机组成员引导至远程操作员。

21. 一种飞行中风险管理系统,包括:

麦克风,安装在飞行器驾驶舱中;

一个或多个飞行中风险管理(IRM)计算机,与所述麦克风通信;以及

一个或多个数据存储,与所述一个或多个IRM计算机通信并存储指令,所述指令在被执

行时使得所述一个或多个IRM计算机执行包括以下操作的操作：

获得标准化的飞行器命令和响应陈述序列的集合；

持续监测驾驶舱对话；

响应于检测到命令陈述序列触发：基于所述命令陈述序列触发，识别飞行机组成员已经发起的特定命令陈述序列，并监测与所述特定命令陈述序列相关联的命令和响应的预期序列；

确定在所述特定命令陈述序列期间说出的响应和命令之间的定时以及在所述特定命令陈述序列期间说出的响应和命令的准确性；以及

基于测量的所述定时和所述准确性，生成涉及特定命令陈述序列的每个飞行机组成员的疲劳指示符。

22. 一种飞行中风险管理系统，包括：

一个或多个飞行中风险管理 (IRM) 计算机；和

一个或多个数据存储，与所述一个或多个IRM计算机通信并存储指令，所述指令在被执行时使得所述一个或多个IRM计算机执行包括以下操作的操作：

获得飞行机组成员的历史信息，所述历史信息包括表示一段时间内所述飞行机组成员的休息和唤醒活动的的数据；

获得与所述飞行机组成员将出现的飞行相关联的飞行信息，所述飞行信息指示所述飞行期间的一系列事件；

基于所述历史信息和所述飞行信息，确定所述飞行机组成员的预测的疲劳简档；

获得一个或多个疲劳水平和一个或多个疲劳指示符值之间的一个或多个相关性；以及

将所述一个或多个相关性应用于所述预测的疲劳简档，以生成一个或多个疲劳指示符简档，每个疲劳指示符简档特定于一个或多个疲劳指示符中的一疲劳指示符。

## 缓解飞行器的操作风险

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请根据《美国法典》第35篇第119节(e)项要求2019年3月13日提交的名称为“Operator Fatigue Assessment”的美国临时专利申请第62/817,932号的权益,其全部内容通过引用结合于此。

### 技术领域

[0003] 本公开一般涉及用于缓解由于飞行员疲劳引起的飞行中操作风险的飞行器飞行控制系统和过程。实现包括针对自动化和远程飞行器控制的过程和系统。本文描述的一些过程和系统也可以在包括火车、轮船和汽车的载具(vehicle)控制系统中实现。

### 背景技术

[0004] 本公开总体上涉及电子系统,并且更具体地,涉及用于评估与飞行期间的操作员疲劳相关的风险的系统。在飞行期间,与操作员疲劳相关的风险是众多且严重的。然而,监测飞行机组成员的疲劳水平在后勤方面具有挑战性,因为飞行机组成员(例如,飞行员)往往缺乏有效测量自身疲劳水平的能力,或者没有报告疲劳的迹象。因此,通常无法对飞行期间的操作员疲劳进行全面、实时的监测。

### 发明内容

[0005] 本规范一般涉及监测和缓解飞行风险的方法。实现包括针对自动化和远程飞行器控制的过程和系统。本文描述的一些过程和系统也可以在包括火车、轮船和汽车的载具控制系统中实现。

[0006] 本公开的实现总体上提供了一种用于确定操作员疲劳的方法和系统,并且该方法和系统可以被设计成通过基于疲劳指示符的综合且相互关联的集合实时评估一个或多个飞行机组成员(例如,飞行员)的疲劳水平来降低飞行风险。例如,可以基于各种相关的风险因素和疲劳指示符来预测飞行员在整个飞行过程中的预期的疲劳水平,并且作为响应,可以提供飞行风险缓解干预以降低由飞行员的预测的疲劳水平所带来的飞行风险。

[0007] 在一些实现中,动作包括获得飞行机组成员的历史信息,该历史信息包括表示一段时间内飞行机组成员的休息和唤醒活动的的数据,获得与飞行机组成员将出现的飞行相关联的飞行信息,该飞行信息指示飞行期间的一系列预期事件,基于历史信息和飞行信息,确定飞行机组成员的预测的疲劳简档(profile),基于飞行机组成员的预测的疲劳简档确定飞行机组成员的一个或多个疲劳指示符简档,该一个或多个疲劳指示符简档表示一个或多个相应的可测量疲劳指示符的期望值,从飞行器中的至少一个传感器获得与飞行机组成员相关联的一个或多个测量疲劳指示符值,基于一个或多个测量的疲劳指示符值,生成一个或多个更新的疲劳指示符简档,以及基于一个或多个更新的疲劳指示符简档,生成更新的预测的疲劳简档。该方面的其他实现包括相应的系统、装置和计算机程序,其被配置为执行编码在计算机存储设备上的方法的动作。

[0008] 这些和其他实现可以各自可选地包括一个或多个以下特征：历史信息包括飞行机组成员的飞行历史数据；确定预测的疲劳简档包括基于飞行机组成员的飞行历史数据确定飞行机组成员的睡眠历史，以及基于飞行机组成员的睡眠历史确定飞行机组成员对于飞行的估计的飞行时间内的预测的疲劳水平；基于飞行机组成员的飞行历史数据确定飞行机组成员的睡眠历史包括使用将飞行历史数据和睡眠相关联的模型来处理飞行历史数据；确定一段时间内飞行机组成员的预测的疲劳水平包括将睡眠与预期的疲劳相关的疲劳模型应用于飞行机组成员的睡眠历史；该飞行机组成员的睡眠历史包括该飞行机组成员在先前24小时内睡眠的小时数；历史信息包括与飞行机组成员的训练历史相关的数据；历史信息包括对应于由飞行机组成员执行的一个或多个先前飞行的飞行机组成员的一个或多个先前预测的疲劳简档和一个或多个相应的先前测量的疲劳指示符值；至少部分地基于对应于由飞行机组成员执行的一个或多个先前飞行的飞行机组成员的一个或多个先前预测的疲劳简档和一个或多个相应的先前测量的疲劳指示符值来确定一个或多个疲劳指示符简档；至少部分地基于对应于由飞行机组成员执行的一个或多个先前飞行的飞行机组成员的一个或多个先前预测的疲劳简档和一个或多个相应的先前测量的疲劳指示符值来生成更新的预测的疲劳简档；获得机组人员的历史信息包括从机组人员穿戴的可穿戴智能设备接收历史信息；飞行信息包括该飞行的预计离开时间；飞行信息包括飞行的估计到达时间；飞行信息包括与该飞行的离开机场相关的信息；飞行信息包括与飞行的到达机场相关的信息；飞行信息包括估计的飞行时间；飞行信息包括天气数据；基于更新的预测的疲劳简档，确定一个或多个更新的疲劳指示符简档；在整个飞行过程中多次确定一个或多个更新的疲劳指示符简档和更新的预测的疲劳简档；确定预测的疲劳简档包括获得多个群组疲劳简档，基于飞行机组成员的历史信息从多个群组疲劳简档中选择群组疲劳简档，以及基于飞行信息调整选择的群组疲劳简档；所选择的群组疲劳简档包括一段时间内多个飞行机组成员的平均疲劳水平；从多个群组疲劳简档中选择群组疲劳简档包括将飞行机组成员的历史信息与一个或多个多个测试对象的历史信息进行比较，一个或多个多个测试对象中的每一个特定于群组疲劳简档，确定历史信息最接近飞行机组成员的历史信息的多个测试对象，并选择与所确定的多个测试对象相关联的群组疲劳简档；基于飞行信息调整所选择的群疲劳简档包括根据飞行的估计的飞行时间改变群组疲劳简档；生成飞行机组成员的一个或多个疲劳指示符简档包括获得一个或多个疲劳水平和一个或多个疲劳指示符值之间的一个或多个相关性，并将一个或多个相关性应用于预测的疲劳简档以生成一个或多个疲劳指示符简档，每个疲劳指示符简档特定于一个或多个疲劳指示符的疲劳指示符；基于测量多个测试对象的一个或多个疲劳指示符值并测量多个测试对象的一个或多个疲劳水平来生成一个或多个相关性；一个或多个测量的疲劳指示符值包括眼睑闭合率、眼睑闭合长度、凝视测量或眼睛扫描测量中的至少一个；一个或多个测量的疲劳指示符值包括腿部运动率或重量转移率；一个或多个测量的疲劳指示符值包括脉搏、血压、呼吸率或体温中的至少一个；一个或多个测量的疲劳指示符值包括音频数据；音频数据包括标准协议命令的集合中的错误率；该至少一个传感器包括一个或多个眼睛跟踪传感器；一个或多个眼睛跟踪传感器包括一个或多个红外眼睛跟踪传感器；该至少一个传感器包括一个或多个腿部运动传感器；一个或多个腿部运动传感器包括一个或多个加速度计；一个或多个腿部运动传感器包括一个或多个压力传感器；一个或多个腿部运动传感器连接到飞行器中一个或多个座位的一个或多个

垫子上;该至少一个传感器包括一个或多个用于测量人体生理输出的传感器;至少一个传感器包括一个或多个用于测量人体生理输出的可穿戴设备;一个或多个可穿戴设备包括一个或多个具有人体生理传感器的外套;一个或多个可穿戴设备包括一个或多个具有人体生理传感器的手镯;该至少一个传感器包括一个或多个音频传感器;一个或多个音频传感器包括一个或多个麦克风;一个或多个更新的疲劳指示符简档包括飞行持续时间的多个预测疲劳指示符值;生成一个或多个更新的疲劳指示符简档包括基于从至少一个传感器获得的一个或多个测量的疲劳指示符值来重整(replot)飞行机组成员的一个或多个疲劳指示符简档;生成一个或多个更新的疲劳指示符简档包括使用经训练的机器学习模型处理一个或多个测量的疲劳指示符值;响应于确定一个或多个测量的疲劳指示符值已经偏离一个或多个疲劳指示符简档超过偏离阈值量,生成一个或多个更新的疲劳指示符简档;生成更新的预测的疲劳简档包括获得疲劳水平和一个或多个疲劳指示符值之间的一个或多个相关性,并将一个或多个相关性应用于相应的一个或多个疲劳指示符简档以生成更新的预测的疲劳简档;基于测量多个测试对象的一个或多个疲劳指示符值和一个或多个疲劳水平来生成一个或多个相关性;更新的预测的疲劳简档包括飞行期间飞行机组成员的一个或多个预测的疲劳水平;响应于确定在一个或多个测量的疲劳指示符值和一个或多个疲劳指示符简档之间出现了阈值量的偏差,生成更新的预测的疲劳简档;至少部分基于更新的预测疲劳状况,提供一种或多种飞行风险缓解干预;提供一个或多个飞行风险缓解干预包括向飞行机组成员提供警告;提供一个或多个飞行风险缓解干预包括自动改航(reroute)飞行到备用着陆位置;自动改航飞行包括向飞行机组成员发送改航飞行的请求,从飞行机组成员获得对该请求的接受,以及响应于获得该接受,自动改航飞行器的全球定位系统(GPS)至替代着陆位置;提供一个或多个飞行风险缓解干预包括自动启用飞行器的自动驾驶功能;自动启用飞行器的自动驾驶功能包括向飞行机组成员发送请求以自动启用飞行器的自动驾驶功能,从飞行机组成员获得对该请求的接受,以及响应于获得该接受而自动启用飞行器的自动驾驶功能;提供一个或多个飞行风险缓解干预包括将飞行器的控制从飞行机组成员引导至远程操作员;远程操作员包括一个或多个地面控制人员;远程操作员包括位于地面位置的远程飞行员;远程操作员包括在地面位置的两个或多个飞行员;将飞行器的控制从飞行机组成员引导至远程操作员包括向飞行机组成员发送请求以将飞行器的控制引导至远程操作员,从飞行机组成员获得对该请求的接受,以及响应于获得该接受而自动将飞行器的控制引导至远程操作员;提供一个或多个飞行风险缓解干预包括将飞行器的控制移交给第二远程操作员;提供一个或多个飞行风险缓解干预包括将飞行器的控制从远程操作员切换回飞行机组成员;获得第二飞行机组成员的历史信息,该历史信息包括表示一段时间内第二飞行机组成员的休息和唤醒活动的的数据,第二飞行机组成员出现在该飞行中,基于飞行信息和第二飞行机组成员的历史信息确定第二飞行机组成员的预测的疲劳简档,基于第二飞行机组成员的预测的疲劳简档确定第二飞行机组成员的一个或多个疲劳指示符简档,该一个或多个疲劳指示符简档表示一个或多个相应的可测量疲劳指示符的期望值,从飞行器中的至少一个传感器获得与第二飞行机组成员相关联的一个或多个测量疲劳指示符值,基于一个或多个测量疲劳指示符值生成第二飞行机组成员的一个或多个更新的疲劳指示符简档,以及基于第二飞行机组成员的一个或多个更新的疲劳指示符简档,生成第二飞行机组成员的更新的预测的疲劳简档;至少部分地基于飞行机组成员的更新的预测的疲劳简档

和第二飞行机组成员的更新的预测的疲劳简档,提供一个或多个飞行风险缓解干预;至少部分基于飞行机组成员的更新的预测的疲劳简档和第二飞行机组成员的更新的预测的疲劳简档的比较,提供一个或多个飞行风险缓解干预;提供一个或多个飞行风险缓解干预包括将飞行器的控制从飞行机组成员切换到第二飞行机组成员;提供一个或多个飞行风险缓解干预包括启用飞行器的自动驾驶功能;提供一个或多个飞行风险缓解干预包括警告飞行机组成员休息,并警告第二飞行机组成员控制飞行器。

[0009] 在另一个一般方面,动作包括获得多个测试对象中的每一个的多个疲劳指示符值,获得多个测试对象中的每一个的多个相应的疲劳水平,确定多个疲劳指示符值和多个相应的疲劳水平之间的一个或多个相关性,获得单个飞行机组成员的多个疲劳指示符值,以及基于一个或多个相关性和单个飞行机组成员的多个疲劳指示符值生成单个飞行机组成员的疲劳指示符简档。

[0010] 本公开还提供了一种用于实现本文提供的方法的系统。该系统包括一个或多个处理器,以及一个或多个可连接到该一个或多个处理器并存储指令的数据存储,该指令在被执行时使得该一个或多个处理器执行根据本文提供的方法的实现的实现的操作。

[0011] 本公开还提供了一种存储软件的非暂时性计算机可读存储设备,所述软件包括可由一个或多个计算机执行的指令,当所述指令被执行时,使得该一个或多个计算机根据本文提供的方法的实现来执行操作。

[0012] 应当理解,根据本公开的方法可以包括本文描述的方面和特征的任何组合。也就是说,根据本公开的方法不限于本文具体描述的方面和特征的组合,而是还包括所提供的方面和特征的任何组合。

[0013] 与先前可用的解决方案相比,本公开的实现提供了一个或多个以下技术优势和/或技术改进。实现提供了一种系统,该系统能够实时跟踪飞行期间诸如飞行员的飞行机组成员的疲劳水平。通过跟踪飞行期间机组人员的疲劳水平,可以检测到飞行机组成员的疲劳水平的提高,并且作为响应,可以实施减少由机组人员的疲劳造成的风险的动作。此外,个人通常不擅长估计他们自己的疲劳水平,因此,经常不能准确地检测他们何时经历疲劳水平的提高。通过在飞行期间实时预测机组人员的疲劳水平并提供响应于高的预测的疲劳水平的缓解,本文描述的飞行风险管理系统提高了空中航行的安全性。

[0014] 本说明书中描述的主题的一个或多个实现的细节在附图和以下描述中阐述。根据说明书、附图和权利要求,本主题的其他特征、方面和优点将变得显而易见。

## 附图说明

[0015] 图1和图2是根据示例实现的示例飞行风险管理框架系统的框图。

[0016] 图3A是根据示例实现的用于评估和降低飞行风险的示例过程的流程图。

[0017] 图3B是根据示例实现的用于生成用户疲劳简档的示例过程的流程图。

[0018] 图3C是根据示例实现的用于更新用户疲劳简档的示例过程的流程图。

[0019] 图4A-图4F是根据示例实现的由飞行风险管理应用生成的示例疲劳简档和/或疲劳指示符简档的图。

[0020] 图5是根据示例性实现的由飞行风险管理应用生成的示例性疲劳简档的图。

[0021] 图6是根据示例实现的由飞行风险管理应用生成的飞行动态疲劳阈值的图。

[0022] 图7是根据示例实现由飞行风险管理应用生成的示例疲劳简档。

### 具体实施方式

[0023] 在下文描述的一些实现中,飞行风险管理框架被设计成通过基于综合且相互关联的风险因素集合来评估飞行期间一个或多个飞行机组成员(例如,一个或多个飞行员)的疲劳水平来降低飞行风险。例如,飞行风险管理框架可以被配置成基于各种相关风险因素来预测飞行机组成员在整个飞行期间的预期的疲劳水平,并且作为响应,可以提供缓解技术来降低由飞行机组成员的疲劳水平造成的飞行风险。

[0024] 转到图1的示例实现,所示的系统100包括服务器102和一个或多个计算设备150,或者与服务器102和一个或多个计算设备150可通信地耦合,服务器102和一个或多个计算设备150中的至少一些通过网络132通信。通常,系统100描绘了能够经由服务器102和计算设备150提供飞行风险管理框架的系统的示例配置。

[0025] 通常,服务器102存储一个或多个应用,诸如风险管理应用144a。风险管理应用144a可以作为软件或硬件来执行。在一些情况下,除了风险管理应用144a之外,服务器102还存储多个应用,而在其他情况下,服务器102可以是旨在仅存储和执行风险管理应用144a的专用服务器。

[0026] 在高层,服务器102包括电子计算设备,其可操作来接收、发送、处理、存储或管理与系统100相关联的数据和信息。如在本公开中所使用的,术语“计算机”或“计算设备”旨在包括任何合适的处理设备。例如,尽管图1示出了单个服务器102,但是系统100可以使用两个或更多个服务器102以及除服务器之外的计算机(包括服务器池)来实现。实际上,服务器102可以是任何计算机或处理设备,诸如,例如刀片服务器、通用个人计算机(PC)、麦金塔(Macintosh)、工作站、基于UNIX的工作站或任何其他合适的设备。换句话说,本公开设想了除通用计算机之外的计算机,以及没有传统操作系统的计算机。此外,所示的服务器102可以适于执行任何操作系统,包括Linux、UNIX、Windows、Mac OS或任何其他合适的操作系统。根据一个实施例,服务器102还包括空中交通控制系统或飞行管理系统或与之通信耦合。

[0027] 在一些实现中,如图1所示,服务器102包括处理器106、接口116、存储器114和框架应用104。服务器102使用接口116与连接到网络132的客户端-服务器或其他简档式环境(包括系统100内)中的其他系统通信。通常,接口116包括以软件和/或硬件的适当组合编码的逻辑,并且可操作来与网络132通信。更具体地,接口116可以包括支持与通信相关联的一个或多个通信协议的软件,使得网络132或接口的硬件可操作来在所示系统100内部和外部传送物理信号。

[0028] 通常,网络132促进系统100的组件之间的无线或有线通信(即,服务器102和计算设备150之间的通信),以及与任何其他本地或远程计算机,诸如附加的服务器,或可通信地耦合到网络132但未在图1中示出的其他设备的通信。网络132在图1中被示为单个网络,但是在不脱离本公开的范围的情况下,网络132可以是连续的或不连续的网络,只要网络132的至少一部分能够促进发送器和接受器之间的通信。

[0029] 在其他示例中,网络132包括消息传递中枢。网络132可以是企业或安全网络的全部或一部分,而在另一个实例中,网络132的至少一部分表示到互联网的连接。在一些实例中,网络132的一部分是虚拟专用网络(VPN),诸如,例如计算设备150和服务器102之间的连

接。此外,网络132的全部或一部分可以包括有线或无线链路。示例无线链路包括802.11a/b/g/n、802.20、WiMax和/或任何其他合适的无线链路。换句话说,网络132包含任何内部或外部网络、网络、子网或其组合,其可操作来促进所示系统100内部和外部的各种计算组件之间的通信。

[0030] 网络132可以在网络地址之间传送例如互联网协议(IP)分组、帧中继帧、异步传输模式(ATM)信元、语音、视频、数据和其他合适的信息。网络132还可以包括一个或多个局域网(LAN)、无线接入网(RAN)、城域网(MAN)、广域网(WAN)、互联网的全部或一部分和/或一个或多个位置的任何其他通信系统。

[0031] 如图1所示,服务器102包括处理器106。尽管在图1中被示为单个处理器106,但是根据系统100的特定需求、期望或特定实施例,可以使用两个或更多个处理器。每个处理器106可以是中央处理单元(CPU)、刀片、专用集成电路(ASIC)、现场可编程门阵列(FPGA)或其他合适的组件。通常,处理器106执行指令并操纵数据来执行服务器102的操作,具体地说,风险管理应用144a的操作。具体而言,服务器的处理器106执行接收和响应来自计算设备150的请求所需的功能。

[0032] 无论具体实现如何,“软件”包括有形介质上的计算机可读指令、固件、有线或编程硬件或其任意组合,当被执行时可操作来至少执行本文描述的过程和操作。实际上,每个软件组件都可以全部或部分地用任何合适的计算机语言编写或描述,这些语言包括C、C++、Java、Visual Basic、汇编程序、Perl、4GL的任何合适版本以及其他语言。应当理解,虽然图1中所示的软件部分被示为通过各种对象、方法或其他过程实现各种特征和功能的单独模块,但是该软件也可以适当地包括多个子模块、第三方服务、组件、库等。相反,各种组件的特征和功能可以适当地组合成单个组件。

[0033] 服务器102还包括存储器114。存储器114可以包括任何存储器或数据库模块,并且可以采取易失性或非易失性存储器的形式,包括但不限于磁介质、光学介质、随机存取存储器(RAM)、只读存储器(ROM)、可移动介质或任何其他合适的本地或远程存储器组件。存储器114可以存储各种对象或数据,包括类、框架、应用、备份数据、业务对象、作业、网页、网页模板、数据库表、存储业务和/或动态信息的储存库,以及任何其他适当的信息,包括与服务器102的目的相关联的任何参数、变量、算法、指令、规则、约束或对其的引用。此外,存储器114可以包括任何其他适当的数据,诸如VPN应用、固件日志和策略、防火墙策略、安全或访问日志、打印或其他报告文件以及其他。

[0034] 系统100还可以包括一个或多个计算设备150(例如,如参考图2所示和所述的飞行中风险缓解(IRM)计算机)。此外,计算设备150可以是附加的服务器,或者结合到服务器102中的硬件或软件模块。计算设备150通常包括风险管理应用144b或定义风险管理方法的计算机代码和/或例程。在一些实现中,计算设备150包括处理器141、接口138、风险管理应用144b和存储器147。应当理解,可以有任意数量的与系统100相关联或在系统100外部的计算设备150。例如,虽然所示的系统100包括三个计算设备(150a、150b和150c),但是系统100的替代实现可以包括可通信地耦合到服务器102的多个计算设备150,或者适合于系统100的目的的任何其他数量。

[0035] 每个计算设备150可以包括输入设备,诸如小键盘、触摸屏、鼠标或能够接受用户信息的其他设备,以及输出设备,其传送与服务器102或计算设备150本身的操作相关联的

信息,包括数字数据、视觉信息和风险管理应用144b。输入和输出设备都可以包括固定或可移动存储介质,诸如磁性或固态存储介质或其他合适的介质,以通过显示器,诸如用户界面,从计算设备的用户接收输入并向其提供输出。如上所述,在许多实现中,计算设备150是联网设备或计算机系统。

[0036] 在一些实现中,计算设备150可以位于载具内。例如,计算设备150可以安装在飞行器上。每个计算设备150可以与系统100的特定用户相关联。例如,计算设备150a可以与诸如飞行员或飞行操作经理的飞行机组成员相关联。在一些实现中,计算设备150a与载具(例如,图2的飞行器204)相关联。还将理解,系统100可以包括图1中未示出的各种计算设备150,诸如管理员或网络支持系统。

[0037] 此外,每个计算设备150可以包括图形用户界面(GUI) 138,该图形用户界面(GUI) 138包括可操作来出于任何合适的目的与系统100的至少一部分交互的图形用户界面,包括生成风险管理应用144b(在一些情况下)和与网络132的交互的视觉表示,包括响应于计算设备150发送的请求而从服务器102接收的响应。通常,通过GUI 138,向用户提供由系统提供或在系统内传送的数据的高效且用户友好的呈现。术语“图形用户界面”或GUI可以单数或复数形式,以描述一个或多个图形用户界面以及特定图形用户界面的每个显示。因此,GUI 138可以表示任何图形用户界面,包括但不限于网络浏览器、触摸屏或命令行界面(CLI),其处理系统100中的信息并向用户有效地呈现信息结果。

[0038] 一般而言,GUI 138可以包括多个用户界面(UI)元素,一些或全部与风险管理应用144b相关联,诸如交互字段、下拉列表和可由计算设备150的用户操作的按钮。这些和其他UI元素可以与风险管理应用144b以及在计算设备150上执行的其他软件应用相关或表示其功能。

[0039] 每个计算设备可通信地耦合到一个或多个疲劳指示符数据源152,并且被配置成接收和评估疲劳指示符数据。例如,计算设备150a可以从第一飞行器上的第一飞行机组成员的疲劳指示符数据的一个或多个源152e、152f接收疲劳指示符数据,计算设备150b可以从第二飞行器上的第二飞行机组成员的疲劳指示符数据的一个或多个源152c、152d接收疲劳指示符数据,并且计算设备150c可以从第三飞行器上的第三飞行机组成员的疲劳指示符数据的一个或多个源152a、152b接收疲劳指示符数据。疲劳指示符源可以包括客户端设备和/或电子传感器。源152也可以是“智能”或支持互联网的设备。例如,源152可以是能够通过一个或多个网络独立和自动通信的测量设备或传感器。例如,源152可以是与测量的疲劳指示符相关的任何合适的数据源,包括但不限于,眼睛跟踪传感器、加速度计、音频传感器、麦克风、人体生理传感器、口头命令协议抄本、睡眠唤醒历史、飞行时刻表、人员时刻表、人员训练数据库、命令协议数据库以及人员生物监测服务器或设备。此外,每个计算设备150可以直接(例如,通过有线或无线通信信道)或经由网络132与疲劳指示符源152通信。在一些实现中,服务器102通过网络132从疲劳指示符源152接收数据。服务器102可以例如使用存储在服务器102处并由服务器102执行的风险管理应用144a来处理数据。

[0040] 虽然图1被描述为包含多个元件或与多个元件相关联,但是并非图1的系统100中所示的所有元件都可以用于本公开的每个替代实现中。此外,本文描述的一个或多个元件可以位于系统100的外部,而在其他情况下,某些元件可以被包括在一个或多个其他描述的元件以及未在所示实现中描述的其他元件内或作为其一部分。此外,图1中示出的某些元件

可以与其他组件组合,以及用于除了本文描述的那些目的之外的替代或附加目的。

[0041] 图2描绘了用于管理飞行风险的示例性飞行中风险管理(IRM)系统200。IRM系统200包括服务器102、飞行管理系统202和一个或多个IRM计算机150,或者与它们可通信地耦合,它们中的至少一些通过网络132通信。通常,IRM系统200描绘了能够经由服务器102、飞行管理系统202和计算设备150提供飞行风险管理框架的系统的示例配置。如图2所示,计算设备150包括风险管理应用144b。在一些实现中,服务器102还包括处理器(例如,图1的处理器106)、接口(例如,图1的接口116)和存储器(例如,图1的存储器114)。服务器102可通信地耦合到飞行管理系统202和计算设备150。例如,服务器102可以通过网络132向计算设备150提供信息。服务器102还可以通过网络132从飞行管理系统202、计算设备150和飞行器204上的多个传感器接收信息。

[0042] 在一些实现中,飞行管理系统202包括服务器设备和存储器设备。例如,飞行管理系统202可以包括耦合到存储一个或多个应用(诸如飞行风险管理应用144c)的存储器设备的服务器。在一些实现中,飞行管理系统202存储多个飞行的飞行信息。例如,飞行管理系统202可以存储信息,该信息包括但不限于飞行识别号、预定的飞行出发时间、估计的飞行到达时间、预定在每次飞行中的机组人员的身份、每个飞行器的时刻表、飞行路径、离开机场、到达机场、天气数据、人员时刻表、人员训练数据库、预定的机组人员对飞行器的预期熟悉水平、标准协议命令数据库以及每个潜在风险标记的威胁水平,诸如不利的天气条件。

[0043] 在一些实现中,飞行管理系统202可通信地耦合到服务器102和一个或多个IRM计算设备150。例如,飞行管理系统202可以通过网络132向IRM计算设备150或服务器102提供存储在飞行管理系统202上的信息。在一些实现中,飞行管理系统202从服务器102或IRM计算设备150接收信息,以供存储在飞行管理系统202上的风险管理应用144c执行。

[0044] 示例性IRM系统200还包括用于监测一个或多个用户206a、206b的疲劳指示符的多个传感器。在一些实现中,一个或多个用户206a、206b是飞行器204的机组人员。例如,一个或多个用户206a、206b可以是飞行器204的飞行员。在一些实现中,IRM系统200的传感器安装在飞行器204的驾驶舱内。在一些实现中,IRM系统200的传感器可以在飞行器之间移动。在一些实现中,IRM系统200的一个或多个传感器位于飞行器204的外部。示例性IRM系统200的飞行器204可以包括但不限于私人飞机、商用飞机或直升机。

[0045] 示例性IRM系统200中的多个传感器可以包括但不限于眼睛跟踪传感器208、腿部运动传感器210、人体生理传感器212和音频传感器214。在一些实现中,传感器可通信地耦合到IRM计算设备150,以向IRM计算设备150提供与一个或多个用户206相关联的疲劳指示符数据。在一些实现中,传感器通过网络132向IRM计算设备150提供疲劳指示符数据。在一些实现中,服务器102通过网络132从传感器接收疲劳指示符数据。

[0046] 在一些实现中,IRM系统200包括一个或多个眼睛跟踪传感器208a、208b、208c、208d(统称为眼睛跟踪传感器208)。在一些实现中,眼睛跟踪传感器208向IRM系统200提供关于用户206a和用户206b(统称为用户206或统称为用户206)的眼睛运动的数据。例如,眼睛跟踪传感器208可以确定飞行机组成员在一分钟内经历的眼睑闭合(即眨眼)的次数。在一些示例中,眼睛跟踪传感器208可以确定用户206的眼睑闭合的时间长度。在一些示例中,眼睛跟踪传感器208监测飞行员(例如,用户206之一)的眼睛运动,以确定飞行员的凝视是否固定在特定点上,并确定飞行员固定在该点上的时间长度。在一些示例中,眼睛跟踪传感器

208确定飞行员是否正在扫描视野。在一些实现中,眼睛跟踪传感器208跟踪多个用户206的眼睛运动。例如,眼睛跟踪传感器可以跟踪飞行器204的飞行员(例如,用户206之一)的眼睛运动和飞行器204的副驾驶(例如,用户206之一)的眼睛运动。由眼睛跟踪传感器208提供给IRM系统200的数据,诸如长时间凝视、增加的眨眼率或其组合,可以提供相应飞行机组成员的疲劳水平增加的指示。

[0047] 在一些实现中,眼睛跟踪传感器208被提供为红外传感器。在一些实现中,眼睛跟踪传感器208被提供为可见光、无红外的跟踪传感器。在一些实现中,眼睛跟踪传感器208被结合到飞行器204的控制面板中。在一些实现中,眼睛跟踪传感器208可拆卸地固定到飞行器204,并且可以在飞行器之间移动。在一些实现中,眼睛跟踪传感器208可通信地耦合到IRM计算设备150,以向计算设备150提供眼睛跟踪数据,以由存储在IRM计算设备150上的风险管理应用144b处理。在一些实现中,眼睛跟踪传感器208可通信地耦合到服务器102,以向服务器102提供眼睛跟踪数据,以由存储在服务器102上的风险管理应用144a处理。

[0048] 在一些实现中,IRM系统200包括一个或多个腿部运动传感器210a、210b(统称为腿部运动传感器210)。在一些示例中,每个腿部运动传感器210检测相应的飞行机组成员(例如,用户206a、206b)在他的座位上的腿部运动。在一些示例中,腿部运动传感器210检测由飞行机组成员的腿部在其座位上提供的压力的变化。在一些实现中,腿部运动传感器210检测周期性的腿部运动。在一些实现中,可以提供多个腿部运动传感器210来监测多个飞行机组成员的腿部运动,诸如飞行器204的飞行员和副驾驶(例如,用户206a、206b)。由腿部运动传感器210提供给IRM系统200的数据,诸如由飞行员在座位上的腿部提供的压力变化率的降低,可以提供飞行员疲劳水平增加的指示。

[0049] 在一些实现中,腿部运动传感器210可以结合到飞行器204中的飞行机组成员座位的座垫中。在一些示例中,腿部运动传感器210可以被提供为可拆卸的垫子或衬垫,其可以被放置在一个或多个飞行机组成员的座位上。在一些实现中,腿部运动传感器210可以被提供为一个或多个压力传感器。在一些实现中,腿部运动传感器210可以被提供为一个或多个加速度计。在一些实现中,腿部运动传感器210可以被提供为一个或多个半导体传感器。在一些实现中,腿部运动传感器210可通信地耦合到IRM计算设备150,以向IRM计算设备150提供腿部运动数据,以由存储在IRM计算设备150上的风险管理应用144b解释和处理。在一些实现中,腿部运动传感器210可通信地耦合到服务器102,以向服务器102提供腿部运动数据,以由存储在服务器102上的风险管理应用144a处理。

[0050] 在一些实现中,IRM系统200包括一个或多个个体生理传感器212a、212b(统称为个体生理传感器212)。在一些示例中,个体生理传感器212可用于监测一个或多个飞行机组成员(例如,用户206a、206b)的多个个体生理指示符。在一些示例中,由个体生理传感器212监测的个体生理指示符包括但不限于脉搏、血压、呼吸率、温度、睡眠唤醒模式、心率变异性(HRV)、皮肤电反应(GSR)、皮肤温度、脑电图(EEG)输出、心电图(EKG)输出以及其他类似的生理指示符。由个体生理传感器212提供的数据,诸如降低的心率,可以提供飞行员疲劳水平增加的指示。在一些实现中,可以对飞行机组成员的血液、汗液、唾液和尿液进行化学测量,以监测飞行机组成员的生理指示符。

[0051] 在一些实现中,一个或多个个体生理传感器212可以被提供为可由一个或多个飞行员(例如,用户206a、用户206b)穿戴的可穿戴设备,例如活动手表。在一些实现中,个体生

理传感器212可以作为可以穿戴在用户206手腕上的设备来提供。在一些实现中,人体生理传感器212可以嵌入用户206可以穿的夹克中。在一些实现中,人体生理传感器212可以被提供为半导体传感器。在一些实现中,人体生理传感器212位于飞行器204的驾驶舱内。在一些实现中,人体生理传感器212可在飞行器之间移动。在一些实现中,一个或多个生理传感器212位于飞行器204的外部。例如,一个或多个生理传感器212可用于监测位于地面控制位置的飞行器204的远程操作者的人体生理指示符。在一些实现中,人体生理传感器212可通信地耦合到IRM计算设备150,以向IRM计算设备150提供人体生理数据,以由存储在IRM计算设备150上的风险管理应用144b处理。在一些实现中,人体生理传感器212可通信地耦合到服务器102,以向服务器102提供人体生理数据,以由存储在服务器102上的风险管理应用144a处理。

[0052] 在一些实现中,IRM系统200包括一个或多个音频传感器214a、214b(一般称为人类音频传感器214)。在一些实现中,音频传感器214可以被配置成记录和监测一个或多个机组人员(例如,用户206a、206b)的语音。在一些示例中,音频传感器214捕获音频数据,包括但不限于一个或多个机组人员的口语字词、音调和其他类似的口头信号。在一些实现中,音频传感器214可以结合到飞行器204的控制面板中。在一些实现中,音频传感器214可以被提供为一个或多个麦克风。在一些实现中,音频传感器214位于飞行器204的驾驶舱内。由音频传感器214提供给IRM系统200的数据,诸如标准协议命令中的错误和音调的变化,可以指示飞行员的疲劳水平的增加。在一些实现中,音频传感器214可以可通信地耦合到IRM计算设备150,以向IRM计算设备150提供音频数据,以由存储在IRM计算设备150上的风险管理应用144b处理。在一些实现中,由音频传感器214提供给IRM计算设备150的音频数据可以使用IRM计算设备150的训练机器学习模型来处理。在一些实现中,音频传感器214可通信地耦合到服务器102,以向服务器102提供音频数据,以由存储在服务器102上的风险管理应用144a处理。

[0053] 在一些实现中,由音频传感器214收集的音频数据被提供给机器学习模型,该机器学习模型被训练成检测和分析针对飞行的各个部分进行的标准协议命令陈述序列(litany)。例如,在一些实现中,音频传感器214持续收集飞行期间飞行机组成员的语音,并将记录的语音实时传输到经训练的机器学习模块。经训练的机器学习模块实时分析由音频传感器214收集的音频数据,并检测标准协议命令是否已经由飞行机组成员之一说出。例如,机器学习模块可以监测指示标准命令陈述序列开始的触发字词或动作。触发字词可以是,例如,开始命令陈述序列的预期的第一个字词或短语。在一些实现中,IRM计算机150被集成到飞行控制系统中,以监测与标准命令相关联的动作(例如,如下表1中所列)。一旦检测到该动作,IRM计算机150可以触发机器学习模块开始分析适当和及时的命令/响应序列。在一些实现中,为了避免与飞行控制系统集成,驾驶舱摄像机可以与机器视觉算法一起使用,以监测和检测与命令陈述序列相关联的动作。

[0054] 响应于检测到标准协议命令陈述序列已经被启动,经训练的机器学习模块实时分析由音频传感器214收集的后续音频数据,以确定飞行机组成员是否已经提供了对初始命令的适当响应。在一些实现中,如果基于音频数据的实时分析,检测到飞行机组成员延迟提供或未能提供对检测到的命令的适当响应,这可以指示飞行机组成员正经历增加的疲劳。在一些实现中,分析由音频传感器214提供的数据的机器学习模块被训练成区分标准协议

命令和机组人员之间的其他对话。这样,经训练的机器学习模型可以用于检测和分析飞行机组成员是否准确地执行标准协议命令陈述序列。在一些实现中,基于与命令陈述序列相关联的预定义动作,可以触发IRM计算设备开始监听命令陈述序列。下面的表1提供了标准协议命令的示例,以及在某些情况下,与命令陈述序列相关联的动作。

[0055]

动作	飞行员飞行呼叫/响应	飞行员不飞行呼叫/响应
按下启动按钮	“时间”	“时间” “HYD 压力上升, 泵灯熄灭, 机油压力灯熄灭, 燃油压力灯熄灭”
起动发动机稳定	“NG 和 T <sub>5</sub> 稳定, 起动机分离, 放气 (发动机#) 至高” “清除 (发动机#)”	“放气 (发动机#) 至高清 除 (发动机#)”
起飞的动力杆提前	“设定动力”	“扰流板收回, 自动推进, 动力装置”
50 KIAS (指示符和系统 正常)		“50 节”
V <sub>1</sub> 空速		“V <sub>1</sub> , 旋转”
正爬升率	“加速, 放气 1 和 4 低”	“正速率” “档位选择上升, 放气 1 和 4 低”
400' AGL	“加速”	“400 英尺, 寻找 (襟翼收回空速)”
襟翼收回空速 (襟翼零的 V <sub>2</sub> )	空速 (状态速度) 选择襟翼零”	“襟翼选择零”

[0056]

第三段爬升	“自动顺桨关闭， 设置爬升动力， 起飞后检查”  “我的动力”	“你的动力” (取消选择自动顺桨并设置电源后)  “起飞检查完成后” (完成 CL 后)
空速偏差+5/-0 KIAS 从 $V_2$ 或 $V_2+10$ 的速度	“增大/减小空速”	“空速_节 慢/快”
$V_1$ 之前的异常或紧急情况 (由 PNF 确定)	“中止”	"中止" (状态问题)
PF 选择在 $V_1$ 之前中止	“中止” (状态问题, 时间允许)	“收到”
$V_1$ 或之后的发动机故障 (顺序取决于故障发生的位置)	“档位上升” (以 $V_2$ 爬升)  “已确认”	1 号发动机故障, 最大功率设置, 正速率  “档位选择上升, 道具没有顺桨” “1 号条件杆已识别”  “燃料关闭”
400' AGL	“加速”	“在 400 英尺以上, 寻找 (空速)”
襟翼收回空速	空速 (状态速度) 选择襟翼零”	

[0057]

		“襟翼选择 零”
第三段爬升	“继续紧急程序”  “已确认”  “收到”  “已确认”  “完成紧急程序清单”	“已识别 1 号动力杆”  “飞行闲置， 1 号条件杆处于燃油关闭”  “已识别 1 号拉油手柄”  “拉出，没有 火的迹象”
过渡海拔	“29.92”向左设置	“29.92”向右设置
以巡航速度	“设定巡航动力， 巡航检查”  “我的动力”	“你的动力” (设置动力后)  “巡航检查完成 (完成 CL 后)”
10,000 或以下	“下降到检查”	“下降到检查完成” (完 成 CL 后)
新分配海拔		(海拔) 设置并待命
爬升还是下降	“爬升/下降到 (指定海 拔)”	“收到”，(向 ATC 报告海 拔改变)
指定海拔的 1000 英尺以 内	“通过 (海拔) 为 (指定海拔)”	“还剩 1000”

[0058]

初始航向/定位器移动	“航向/定位器活跃”	“收到”
航向/定位器捕获	“捕获到航向/定位器”	“收到”
初始下滑道运动（精确进场）	“下滑道活跃”	“收到”
下滑道捕获（精确进场）	“捕获到下滑道”	“收到”
接近 FAF	“空速 147 以下， 选择襟翼 15， 选择档位下降， 着陆前检查”	“襟翼选择 15， 档位选择向下”， “着陆前检查完成”（完成 CL 后）
在 FAF 之前 （稳定程序）	“空速 124 以下， 选择襟翼 25”  “条件杆最大转速，着 陆检查”	“襟翼选择 25”  “档位重新检查下降， 襟翼 25°，条件杆最大转 速，着陆检查完成”
FAF（非精确程序）	“时间”	“开始时间”
DH/MDA 之前 100'	“收到，继续”	“DH/MDA 以上 100 英尺”
DH、RWY 环境观察		“DH，进近灯 （或在 RWY 环境中可

[0059]

	“继续”（或其他意图）	识别的其他功能）在视线中”（位置）
RWY 观察	“RWY 观察，着陆”	“RWY 观察”（位置）
DH、RWY 环境不在视线范围内	“错过的程序”	“错过的程序”
MDA	“继续”	“最小值”（状态时间/行驶距离）
RWY 环境观察	“继续”（或其他意图）	“进近灯（或其他可识别 RWY 环境的特征）在视线范围内”（位置）
RWY 观察	“RWY 观察，着陆”	“RWY 洞察（位置）”
地图上看不到 RWY 环境	“错过的程序”	“错过的程序”
±下滑道上的一点	"校正（向上/向下）"	“一个点（高/低）和增加/减少”
±单点偏离定位器/VOR	"校正（左/右）"	“一个点（左/右）和增加/减少”
±5°关于 NDB 程序	"校正（左/右）"	“__°（左/右）和增加/减少”°
与进近速度相差 ±10° 节	“增大/减小空速”	“空速__节慢/快”

[0060]

Vref + 10/-0 节	“增加/减少 空速”	“Vref ± __ 节”
下降速度超过每分钟 1000 英尺	“降低下沉速率”	“下沉速率 (数量) 增加/ 保持”
复飞 (襟翼 45) °)	(向上推动力杆, 旋转至 8°-12°俯仰姿 态) “设置最大功率, 襟翼 25”	“最大功率设置, 襟翼选择 25 ”
下降停止	“档位上升”	“正速率”  “档位选择上升, 寻找 (襟翼 15 V <sub>2</sub> 空速) ”
襟翼收回空速 (25°至 15°)	“空速 (状态速度) 选择襟翼 15”	“襟翼选择 15, 爬升到 (V <sub>2</sub> +10 空速) ”
400 英尺以上 AGL	“加速”	“在 400 英尺以上, 寻找 (空速) ”
襟翼收回空速 (15°至零)	空速 (状态速度) 选择襟翼零”  “巡回检查清单”	“襟翼选择零点”
倾斜角超过 30°°	“纠正”	“倾斜角度”
空速偏离 ± 10 KIAS		“空速 __ 节

	“增大/减小空速”	慢/快”
海拔偏离±100 英尺	“增加/降低海拔”	“海拔__英尺 低/高”
航向偏离 10°± 10°	"校正左/右"	“航向__° 左/右"
[0061] 空速减速通过 40 KIAS	"锁定控件"	“40 节”  “控制装置已锁定”（控制 轆并接合控制锁后）
侧风着陆	“你的轆，我的舵柄”	“我有轆”
右座位飞行员 滑行飞行器	“前轮转向关闭”	“前轮转向关闭”

[0062] 虽然图2被描述为包含多个元件或与多个元件相关联,但是在本公开的每个可选实现中,并不是图2的IRM系统200中所示的所有元件都被利用。此外,本文描述的一个或多个元件可以位于IRM系统200的外部,而在其他情况下,某些元件可以被包括在一个或多个其他描述的元件以及未在所示实现中描述的其他元件内或作为其一部分。此外,图2中示出的某些元件可以与其他组件组合,以及用于除了本文描述的那些目的之外的替代或附加目的。

[0063] 图3A描绘了用于评估和降低由于操作员疲劳导致的飞行风险水平的示例过程300的流程图。在一些实现中,过程300可以被提供为使用一个或多个计算设备(例如,图1和2的计算设备150)执行的一个或多个计算机可执行程序。在一些示例中,过程300由诸如图2的IRM系统200的系统执行。在一些实现中,过程300的全部或部分可以在远程计算设备、服务器系统(例如,图2的服务器102)或基于云的服务器系统上执行。例如,过程300的全部或部分可以由位于载具内的计算设备(例如,位于图2的飞行器204上的IRM计算设备150)来执行。

[0064] 获得飞行机组成员的历史信息(302)。例如,IRM计算设备150获得机组人员206的历史信息。在一些实现中,历史信息被本地存储在IRM计算设备150上。在一些实现中,从服务器(例如,图2的服务器102)获得历史信息。在一些实现中,从飞行管理系统(例如,图2的飞行管理系统202)获得历史信息。在一些实现中,历史信息由服务器(例如,图2的服务器102)从飞行管理系统(例如,图2的飞行管理系统202)获得。在一些实现中,历史信息从与机组人员相关联的一个或多个“智能”设备获得。例如,历史信息可以从飞行机组成员穿戴的、并且跟踪飞行机组成员的睡眠和唤醒活动的“智能”设备获得。在一些实现中,可以从监测飞行机组成员的一个或多个生理指示符的其他设备(诸如用于测量脉搏和血压的血压袖带)获得历史信息。在一些实现中,存储在移动设备上的移动应用可以用于检测和跟踪飞行

机组成员的历史信息,诸如飞行机组成员的睡眠历史。

[0065] 在一些实现中,计算设备(例如,图2的IRM计算设备150)从一个或多个计算设备(例如,图2的服务器102或飞行管理系统202)请求飞行机组成员的历史信息,并响应于该请求接收飞行机组成员的历史信息(即,“提取”数据)。在一些实现中,计算设备(例如,图2的服务器102或飞行管理系统202)向IRM计算设备150发送历史信息,而没有接收到请求(即,“推送”数据)。例如,当一个或多个机组人员的历史信息改变时,服务器102可以主动向IRM计算设备150发送更新。例如,服务器102可以自动向IRM计算设备150提供飞行机组成员的更新的历史信息,只要该飞行机组成员入睡或从睡眠中醒来(例如,从延长飞行期间的休息时段),如由相应的飞行机组成员穿戴的智能设备所检测到的。在一些实现中,与飞行机组成员相关的历史信息由IRM计算设备150在该飞行机组成员计划乘坐的飞行的计划离开时间之前的指定时间获得。在一些实现中,在飞行之前,提醒飞行机组成员向IRM计算设备150提交历史信息,诸如当前血压或睡眠日志。在一些实现中,获得飞行机组成员的历史包括获得飞行机组成员的简档。

[0066] 历史信息可以包括但不限于飞行机组成员在指定时间段内的休息和唤醒活动。例如,历史信息可以包括飞行机组成员在过去24至72小时内的休息和唤醒活动。睡眠缺失与执行认知任务的能力下降和表现的可变性增加有关,导致错误、事件和事故的可能性更大。因此,飞行机组成员的休息和唤醒活动可能是预测飞行机组成员疲劳的重要评估因素。

[0067] 在一些实现中,基于飞行机组成员在指定时间段内的飞行历史来确定飞行机组成员的休息和唤醒活动。例如,基于一段时间内飞行机组成员的飞行历史,可以确定该段时间内飞行机组成员接收到的睡眠(即飞行员的睡眠历史)。例如,在《职业健康与安全杂志》第13,471-485卷(1997年)的“基于工作时间的与工作相关疲劳的预测模型”(“A Predictive Model of Work-Related Fatigue Based on Hours of Work”, Journal of Occupational Health and Safety, vol.13, 471-485 (1997))中描述的疲劳模型将用户的上班/下班时间表与用户已经接受的睡眠量相关联。该模型将“上班”时间与唤醒时间正相关,以确定用户接收的预测睡眠量。此外,该模型考虑了一天中的时间,包括时移事件,诸如改变的时区,以及时差。用于预测疲劳的其他生物数学模型也可以用于基于飞行机组成员的飞行历史来生成飞行机组成员的预测睡眠历史。在一些实现中,如果飞行机组成员计划工作的飞行超过阈值长度(例如,海外或国际飞行),则可以预测飞行机组成员在飞行期间短暂休息或睡眠。

[0068] 在一些实现中,基于指数和幂律模型来确定飞行机组成员的休息和唤醒活动。使用这些模型,当飞行机组成员睡觉时,睡眠调节变量(S)作为指数函数减小,并且当飞行机组成员唤醒时,睡眠调节变量作为幂律函数增大。该模型还考虑了几个因素,这些因素可以从影响睡眠估计的机组人员的工作时间表中识别出来。预测疲劳的这些因素包括但不限于,飞行机组成员最近工作的飞行的开始时间、飞行机组成员最近工作的飞行的长度、飞行机组成员离开家的时间长度、飞行机组成员最近工作的飞行的当地到达时间、飞行机组成员在飞行之间经历的通勤、飞行机组成员被安排工作的下一次飞行的开始时间、飞行机组成员被安排工作的下一次飞行的长度、飞行机组成员不得不在飞行之间睡觉的机会的数量和长度、飞行机组成员被安排在预定时间段内工作的飞行总数、飞行机组成员在预定时间段内经历的时区改变以及飞行机组成员被安排工作的飞行之间的总时间量。疲劳水平和上述每个因素之间的相关性可以使用多种方法来测量,诸如使用主观量表、可穿戴设备(诸如

活动手表)、多导睡眠图测试和精神运动警惕性测试(PVT)。

[0069] 此外,该模型可以考虑影响睡眠的环境因素,诸如全球经济因素、地缘政治因素、天气和全球事件。图5描绘了使用上述指数和幂律模型为飞行机组成员生成的示例预测的疲劳简档,其中疲劳的水平(或睡眠压力)沿着y轴增加。

[0070] 根据飞行机组成员的时间表和其他相关因素确定的这些因素可以由经训练的机器学习模型来处理,以预测飞行机组成员的睡眠,然后可以使用上述指数和幂律模型结合历史数据来预测飞行机组成员的疲劳,以生成飞行机组成员的预测的疲劳简档。

[0071] 在一些实现中,经训练的机器学习模型利用递归特征消除算法来基于飞行机组成员的工作日程和其他相关因素预测飞行机组成员的疲劳。在一些实现中,聚类方法用于分析疲劳预测数据,并改进用于基于历史信息(诸如飞行机组成员的工作日程)预测疲劳的机器学习模型。历史信息还可以包括飞行机组成员的训练历史。在一些实现中,历史信息包括在机组人员即将到来的飞行之前的指定天数的机组人员的飞行时间表。例如,历史信息可以包括一段时间(例如,前两天、前一周等)的飞行机组成员的休息和唤醒活动、飞行机组成员的训练历史以及一段时间(例如,前三天、前一周等)的飞行计划。

[0072] 在一些实现中,历史信息包括飞行机组成员的先前疲劳简档数据和测量的疲劳指示符值。例如,历史信息可以包括在先前飞行中为飞行机组成员生成的先前预测的疲劳简档和由各个飞行中的疲劳指示符传感器为飞行机组成员测量的疲劳指示符值。通过将测量的疲劳指示符值和在最近飞行期间为飞行机组成员生成的疲劳简档包括在由机器学习模型分析的信息中以生成预测的疲劳简档,可以提高为即将到来的飞行为飞行机组成员生成的预测的疲劳简档的准确性,因为测量的疲劳指示符值和先前的疲劳简档提供了与飞行机组成员的当前疲劳水平强相关的信息。

[0073] 在一些实现中,历史信息可以包括在预定时间段(例如,先前的12小时、详情的24小时等)内由飞行机组成员工作的几次飞行中为该飞行机组成员生成的测量的疲劳指示符值和疲劳简档。图7描绘了在预定时间段(例如,之前的24小时时间段)内生成的飞行机组成员的疲劳简档,其包括在该时间段内由该飞行机组成员工作的三次飞行期间生成的三个疲劳简档710、712、714,以及在每次飞行之间的休息期间该飞行机组成员的预测的疲劳水平720、722。疲劳简档710、712、714是基于在各个飞行期间收集的疲劳指示符传感器数据生成的。通过例如在由机器学习模型分析的数据中包括在飞行机组成员最近工作的飞行期间生成的疲劳简档710、712、714中的一个或多个,以及对应于疲劳简档710、712、714的测量的疲劳指示符值,可以提高为即将到来的飞行的飞行机组成员生成的预测的疲劳简档的准确性,以生成预测的疲劳简档。

[0074] 获得与飞行机组成员将出现的即将到来的飞行相关联的飞行信息(304)。例如,机载计算设备(例如,图2的IRM计算设备150)可以获得飞行机组成员将出现的飞行的飞行信息。在一些实现中,飞行信息可以本地存储在机载计算设备上。在一些实现中,从一个或多个计算设备(例如,从飞行信息系统202)获得飞行信息。例如,机载计算设备可以从飞行管理系统请求指定的飞行机组成员计划进行的下一次飞行的信息,并响应于该请求接收飞行信息(即,“提取”数据)。在一些实现中,飞行管理系统在没有从计算设备接收到请求的情况下向机载计算设备发送飞行信息(即,“推送”数据)。例如,当指定飞行机组成员的飞行计划改变时,例如,每当飞行机组成员被安排进行飞行或者飞行机组成员被安排进行的飞行被

重新安排或取消时,飞行管理系统可以主动向机载计算设备发送飞行信息。飞行信息包括但不限于与飞行识别号、飞行的预定离开时间、飞行的估计到达时间、预定在飞行上的其他机组人员的身份、用于飞行的飞行器的类型、飞行路线、离开机场、到达机场、天气数据、预定机组人员对飞行器的预期熟悉水平、以及每个潜在风险标记在飞行期间预期经历的错误威胁水平,诸如不利的天气条件、姿势。在一些实现中,飞行信息还包括从联邦航空管理局(FAA)接收的线路运行安全评估(LOSA)数据,包括与飞行期间飞行员错误和威胁相关的数据。飞行信息还可以包括来自其他飞行的一份或多份安全报告的数据。

[0075] 基于历史信息 and 飞行信息确定飞行机组成员的预测的疲劳简档(306)。在一些实现中,历史信息数据和飞行信息数据的各种项目根据它们在预测疲劳中的相关性来加权。例如,更能预测飞行机组成员疲劳的历史信息和飞行信息的类型可能比与飞行机组成员疲劳具有较弱相关性的历史信息 and 飞行信息数据的类型权重更大。在一些实现中,预测的疲劳简档由机载计算设备(例如,图2的IRM计算设备150)执行的风险管理应用(例如,图2的风险管理应用144b)确定。在一些实现中,疲劳简档可以由服务器(例如,图2的服务器102)执行的风险管理应用(例如,图2的风险管理应用144a)来确定。图4A描绘了示例性的预测的疲劳简档。如图4A所示,预测的疲劳简档400包括用户在一段时间内的预测的疲劳水平402。例如,预测的疲劳简档400可以表示飞行员在飞行持续时间内的预测的疲劳水平402,其中飞行的持续时间是基于由计算设备接收的飞行信息来确定的。

[0076] 多个关键事件指示符(或风险标记)406a、406b、406c(统称为关键事件指示符406)可以被包括在预测的疲劳简档400中。例如,生成预测的疲劳简档400的计算设备可以基于由IRM计算设备150接收的飞行信息来识别飞行的关键事件。基于飞行信息,计算设备可以将关键事件与预测的疲劳简档400中可能发生关键事件的时间相关联。例如,预测的疲劳简档400可以包括飞行中发生关键事件的部分的关键事件指示符406。关键事件可能包括但不限于起飞、着陆、预期的危险天气、机场条件的改变以及穿越拥挤空域的飞行。例如,预测的疲劳简档400包括对应于起飞406a、预期的危险天气406b和着陆406c的关键事件指示符。在一些实现中,响应于检测到新的关键事件,可以在飞行期间将关键事件添加到预测的疲劳简档400。例如,在起飞后的飞行期间检测到的意外危险天气事件可以被添加到预测的疲劳简档400。

[0077] 预测的疲劳简档400还包括阈值疲劳水平404。在一些实现中,阈值疲劳水平404表示疲劳的水平,超过该疲劳的水平,飞行机组成员管理关键事件的能力降低。在一些实现中,阈值疲劳水平404是动态的,并且基于飞行的每个部分所需的估计的疲劳水平来调整。例如,在诸如起飞和着陆的关键事件406a、406b、406c期间,与飞行的其他部分相比,阈值疲劳水平可以更高,以考虑在关键事件406a、406b、406c期间需要增加的飞行机组成员注意力。图6描绘了动态疲劳阈值606,其基于飞行的各个部分的风险的水平和相应的所需注意来调整。

[0078] 在一些实现中,通过应用疲劳预测模型来生成预测的疲劳简档,该疲劳预测模型将飞行机组成员的一段时间内的睡眠和疲劳水平与睡眠历史相关联。在一些实现中,飞行机组成员的一段时间的睡眠历史是基于该段时间的飞行机组成员的飞行历史来确定的。例如,如前所述,飞行员的睡眠历史可以基于飞行员的工作时间表(包括飞行员最近操作的飞行)来估计。在预测飞行员的睡眠历史之后,可以通过应用将睡眠和疲劳与飞行员的预测睡

眠历史相关联的疲劳预测模型来生成飞行员的预测的疲劳简档。在一些实现中,疲劳预测模型在预测飞行机组成员的疲劳水平时考虑了一天中飞行将发生的时间。在一些实现中,两过程疲劳预测模型被应用于飞行机组成员的睡眠历史,以确定飞行机组成员在整个飞行期间的预测的疲劳水平。

[0079] 在一些实现中,预测的疲劳简档是基于多个群组疲劳简档和为飞行机组成员获得的历史信息(包括由飞行机组成员为准备飞行而执行的疲劳干预)来确定的。如下文进一步详细描述,可以通过将多个测试对象的历史信息(包括测试对象执行的疲劳干预)与各个测试对象的实际疲劳水平进行比较,并确定历史信息和测量的疲劳水平之间的相关性,来生成群组疲劳简档。例如,多个测试对象可以提交他们的历史信息,包括特定时间段的休息唤醒活动和飞行时间表,以及测试对象采取的疲劳干预,诸如咖啡因的消耗,并且可以在飞行或飞行模拟期间观察各个测试对象的实际疲劳水平。

[0080] 在一些实现中,测试对象基于他们的历史信息被分类。例如,测试对象在过去24小时内睡眠7小时或以上,在过去7天内飞行时间少于50小时,而最近4小时内摄入的咖啡因被归类为“群组1”,过去24小时内睡眠少于7小时或过去7天内飞行时间超过50小时且最近4小时内摄入咖啡因的测试对象被归类为“群组2”,并且过去24小时内睡眠少于7小时且过去7天内飞行时间超过50小时且过去4小时内未摄入咖啡因的测试对象被归类为“群组3”。可以通过平均每个相应组中测试对象的疲劳水平来生成群组疲劳简档。例如,通过对分类为“群组1”的测试对象观察到的疲劳水平进行平均来生成第一群组疲劳简档,通过对分类为“群组2”的测试对象观察到的疲劳水平进行平均来生成第二群组疲劳简档。

[0081] 在一些实现中,通过将各个飞行机组成员的历史信息与与每个群组疲劳简档相关联的历史信息类别进行比较,并且为与各个飞行机组成员的历史信息最匹配的类别选择群组疲劳简档,来获得飞行机组成员的预测的疲劳简档。例如,如果飞行机组成员的历史信息指示该飞行机组成员在过去24小时内已经睡了6小时,在过去7天内已经飞行了55小时,并且在过去4小时内没有消耗任何咖啡因,则基于上述群组疲劳简档类别,为“群组3”生成的群组疲劳简档将被选择作为该飞行机组成员的预测的疲劳简档。相反,例如,如果飞行机组成员的历史信息指示该飞行机组成员在过去24小时内已经睡了9小时,在过去7天内已经飞行了30小时,并且在过去4小时内已经消耗了咖啡因,则基于上述群组疲劳简档类别,为“群组1”生成的群组疲劳简档将被选择作为该飞行机组成员的预测的疲劳简档。

[0082] 为飞行机组成员生成一个或多个疲劳指示符简档(308)。图4B描绘了示例性疲劳指示符简档408a、408b。一个或多个疲劳指示符简档408a、408b描绘了一段时间内用户对于各个疲劳指示符中的每一个的预测疲劳指示符值410a、410b。在一些实现中,为飞行机组成员生成的一个或多个疲劳指示符简档表示基于机组人员预测的疲劳简档的飞行持续时间内飞行机组成员的一个或多个可测量疲劳指示符的期望值410a、410b。例如,疲劳指示符简档408a描绘了飞行员在飞行期间的预期眼睑闭合率410a,疲劳指示符简档408b描绘了飞行员在飞行期间的预期标准协议命令错误率410。

[0083] 一个或多个疲劳指示符简档408还可以包括一个或多个关键事件指示符406。在一些实现中,一个或多个疲劳指示符简档408包括与预测的疲劳简档400中包括的关键事件指示符406相同的关键事件指示符406。例如,预测的疲劳简档400、疲劳指示符简档408a和疲劳指示符简档408b各自包括对应于起飞406a、预期危险天气406b和着陆406c的关键事件指

示符。也就是说,临界事件指示符406可以以类似于上面参考预测的疲劳简档400描述的方式应用于飞行指示符简档408。

[0084] 如下面进一步详细描述,一个或多个疲劳指示符简档可以基于为飞行机组成员确定的预测的疲劳简档来确定。此外,可以基于实际疲劳水平和疲劳指示符值之间的相关性来生成一个或多个疲劳指示符简档。在一些实现中,一个或多个疲劳指示符简档由机载计算设备执行的风险管理应用(例如,存储在图2的IRM计算设备150上的风险管理应用144b)生成。在一些实现中,一个或多个疲劳指示符简档由存储在远程设备上的风险管理应用(例如,存储在图2的服务器102上的风险管理应用144a)生成。

[0085] 图3B描绘了用于基于预测的疲劳简档确定疲劳指示符简档的示例过程306的流程图。在一些实现中,过程306可以被提供为使用一个或多个计算设备执行的一个或多个计算机可执行程序。在一些示例中,过程306由系统(诸如图2的IRM系统200)执行。在一些实现中,过程306的全部或部分可以在远程计算设备、服务器系统或基于云的服务器系统上执行。例如,过程306的全部或部分可以由位于载具内的计算设备(例如,位于图2的飞行器204上的IRM计算设备150)来执行。

[0086] 获得飞行机组成员的预测的疲劳简档(322)。如前所述,在一些实现中,基于将疲劳模型应用于从飞行机组成员接收的历史信息,诸如飞行历史信息,来生成预测的疲劳简档。在一些实现中,基于飞行机组成员的历史信息和群组简档集合来生成预测的疲劳简档。在一些实现中,预测的疲劳简档由机载计算设备(例如,图2的IRM计算设备150)获得。在一些实现中,预测的疲劳简档由被机载计算设备执行的风险管理应用来生成。在一些实现中,服务器(例如,图2的服务器102)基于飞行机组成员的历史信息生成预测的疲劳简档。服务器然后将预测的疲劳简档发送到计算设备。在一些实现中,服务器从另一计算设备获得飞行机组成员的预测的疲劳简档。

[0087] 获得疲劳水平和一个或多个疲劳指示符之间的相关性的集合(324)。在一些实现中,由载具的计算系统(例如,图2的飞行器204上的IRM计算设备150)获得疲劳水平和一个或多个疲劳指示符值之间的相关性的集合。在一些实现中,相关性的集合存储在IRM计算设备150上。在一些实现中,IRM计算设备150从另一计算设备(例如,图2的服务器102)获得相关性的集合。

[0088] 在一些实现中,通过在一段时间内(例如,在飞行或飞行模拟期间)测量多个测试对象的实际疲劳水平和一个或多个疲劳指示符值来生成疲劳水平和测量的疲劳指示符之间的相关性的集合,以确定测量的疲劳水平和测量的疲劳指示符值之间的相关性的集合。测试对象的实际疲劳水平可以基于每个测试对象的脑电图(EEG)测量和反应时间测试结果来确定。可以将针对测试对象观察到的一个或多个疲劳指示符值与针对各个测试对象测量到的疲劳水平进行比较,以确定疲劳水平和观察到的疲劳指示符值之间的相关性。例如,多个测试对象中的每个测试对象的疲劳水平可以与每个相应测试对象的每分钟眼睑闭合次数进行比较,以确定眼睑闭合率和疲劳水平之间的相关性。

[0089] 将疲劳水平和疲劳指示符值之间的相关性的集合应用于飞行机组成员的预测的疲劳简档,以生成飞行机组成员的一个或多个疲劳指示符简档(326)。例如,基于在多个测试对象的疲劳水平和眼睑闭合率之间观察到的相关性,可以通过将相关性应用于为飞行机组成员生成的预测的疲劳简档来生成表示飞行过程中飞行机组成员的预期的眼睑闭合率

的疲劳指示符简档。

[0090] 在一些实现中,可以针对一个或多个相应的疲劳指示符为飞行机组成员生成一个或多个疲劳指示符简档。在一些实现中,可以基于与眼睛运动相关的一个或多个疲劳指示符(诸如眼睑闭合率、眼睑闭合长度、注视的注视、眼睛扫描等眼睛运动)来生成疲劳指示符简档。在一些实现中,可以基于与腿部运动相关的一个或多个疲劳指示符(诸如腿部运动率和重量转移率)来生成疲劳指示符简档。在一些实现中,可以基于与人类生理度量相关的一个或多个疲劳指示符(诸如脉搏、血压、呼吸率、体温、睡眠唤醒模式和其他类似的生理指示符)来生成疲劳指示符简档。在一些实现中,疲劳指示符简档可以基于从机组成员接收的一个或多个与疲劳指示符相关的音频数据来生成。例如,可以基于由飞行机组成员执行的标准协议命令陈述序列的集合中的错误率来生成疲劳指示符简档。

[0091] 在一些实现中,可以部分地基于先前预测的疲劳简档和测量的疲劳指示符值来生成一个或多个疲劳指示符简档,先前预测的疲劳简档和测量的疲劳指示符值是针对由飞行机组成员驾驶的先前飞行而为飞行机组成员生成的。例如,通过提供将飞行机组成员的疲劳水平与各种疲劳指示符强相关的附加信息,可以使用飞行机组成员的先前疲劳简档和在由飞行机组成员操作的先前飞行期间由疲劳指示符传感器捕获的相应测量的疲劳指示符值之间的相关性来提高一个或多个疲劳指示符简档的准确性。

[0092] 在一些实现中,历史信息可以包括在预定时间段(例如,12小时、24小时等)内由飞行机组成员工作的几次飞行中为该飞行机组成员生成的测量的疲劳指示符值和疲劳简档。图7描绘了在预定时间段(例如,先前的24小时时间段)内生成的飞行机组成员的疲劳简档,其包括在该时间段期间飞行机组成员工作的三次飞行期间生成的疲劳简档710、712、714,以及在每次飞行之间的休息期间飞行机组成员的预测的疲劳水平720、722。疲劳简档710、712、714是基于在各个飞行期间收集的疲劳指示符传感器数据生成的。通过在由机器学习模型分析以生成一个或多个疲劳指示符简档的数据中包括在由飞行机组成员工作的最近飞行期间生成的一个或多个疲劳简档710、712、714,以及对应于疲劳简档710、712、714的测量的疲劳指示符值,可以提高为即将到来的飞行的飞行机组成员生成的疲劳指示符简档的准确性。

[0093] 在一些实现中,一个或多个机器学习技术被用于生成飞行机组成员的预测的疲劳简档和一个或多个疲劳指示符简档。例如,基于测试数据(诸如上述测试对象的疲劳数据),以及为飞行机组成员获得的飞行信息和历史信息,包括飞行机组成员的先前工作时间表,机器学习算法可用于确定飞行机组成员的预测的疲劳简档和疲劳指示符简档。

[0094] 可以采用多个机器学习技术来为飞行机组成员生成预测的疲劳简档和一个或多个疲劳指示符简档。例如,在一些实现中,可以对飞行机组成员的历史信息和飞行信息进行时间序列分析,以确定飞行机组成员的预测的疲劳简档。可以利用几个类型的时间序列分析,诸如聚类时间序列分析,包括子序列聚类。此外,在训练机器学习模型来预测疲劳时,可以使用时间序列分析来分析与疲劳相关的各种变量。可以使用时间序列分析来训练疲劳预测机器学习模型来分析的数据的示例类型包括,但不限于,关于飞行机组成员在上班时间表的部分期间是唤醒还是睡着的数据、在一次或多次飞行的上班时间表过程中飞行机组成员的预测疲劳、在一次或多次飞行的上班时间表过程中飞行机组成员的测量警觉性以及飞行的预测风险。时间序列分析中用于训练机器学习模型以预测疲劳的数据可以包括时间序

列数据、横截面数据或两者的组合(即“汇集数据”)。

[0095] 使用子序列聚类,在给定的长度为 $m$ 的时间序列 $T$ 中, $T$ 的子序列 $C_p$ 是从 $T$ 开始的长度为 $w < m$ 的连续位置的采样,即对于 $1 <= p <= m-w+1$ , $C = t_p \cdots t_{p+w-1}$ 。长度为 $w$ 的滑动窗口可以从长度为 $m$ 的时间序列 $T$ 中提取,并且所有可能子序列的矩阵 $S$ 可以跨 $T$ 构建,其中子序列 $C_p$ 位于 $S$ 的第 $p$ 行。使用子序列聚类生成的矩阵 $S$ 的大小为 $(m-w+1)$ 乘以 $w$ 。

[0096] 用于子序列聚类的采样长度( $w$ )可以指示用于预测疲劳的时间长度。例如,在一些实现中, $w$ 被设置为24小时,并且从飞行机组成员的计划的各项工作任务结束之前的16小时到飞行机组成员的计划的各项工作任务结束之后的8小时来计算。该采样长度 $w$ 包含机组人员执行任务的潜在睡眠准备以及从任务中恢复。在一些实现中, $w$ 被设置为在飞行机组成员的计划的各项工作任务结束之前的24小时,设置为在飞行机组成员的计划的各项工作任务结束之后的24小时。

[0097] 时间序列聚类能够检测数据中的异常,诸如飞行机组成员的历史信息中的异常。例如,一旦基于执行与飞行机组成员睡眠相关的训练数据的时间序列分析来识别表示特定睡眠模式的聚类,就可以使用时间序列聚类来分析特定飞行机组成员的历史信息,以确定历史信息是否包括聚类之外的睡眠模式(即,典型或预期的睡眠模式之外),这可以预测疲劳水平的增加。

[0098] 在一些实现中,可以使用K-means算法将飞行机组成员的历史信息和/或飞行信息划分成聚类,用于时间序列分析,以及随后生成疲劳预测简档和疲劳指示符简档。使用该技术,为每个聚类形成质心,并且数据点和每个聚类的质心之间的平方距离之和保持最小。例如,可以使用K-means算法来生成由一个或多个飞行机组成员执行的所有飞行的散点图,其中 $x$ 轴表示任务时段开始时间且 $y$ 轴表示任务时段的长度,并且可以识别所绘制的飞行之间的聚类。为了利用K-means算法,必须定义聚类的数量( $k$ )的值。一旦定义了 $k$ ,就初始化 $k$ 个聚类中心,并且基于对象的映射,将每个对象(例如,由飞行机组成员执行的每个先前的飞行)分配给最近的聚类中心。一旦每个对象被分配给聚类, $k$ 个聚类中心就基于绘制的数据对象及其各自的聚类分配被重新估计。使用K-means算法生成的聚类通常是非重叠的。例如,当使用K-means算法形成聚类时,由飞行机组成员操作的特定工作任务或飞行只能被分配给单个聚类

[0099] 在一些实现中,分层聚类可用于将飞行机组成员的历史信息和/或飞行信息划分成聚类,用于时间序列分析和随后生成疲劳预测简档和疲劳指示符简档。使用分层聚类,不需要定义聚类的数量( $k$ )。对于分层聚类,计算每个数据对象之间的距离(例如,由飞行机组成员执行的先前飞行)。形成包含这些距离计算中的每一个的矩阵,并且识别两个最相似的数据对象。基于距离计算被识别为最相似的两个数据对象然后被结合以形成聚类。然后重复这个过程,直到所有的数据对象都包含在单个聚类中。

[0100] 再次参考图3A,在飞行期间获得与飞行机组成员相关联的一个或多个测量的疲劳指示符值(310)。在一些实现中,从飞行器中的至少一个传感器获得与飞行机组成员相关联的一个或多个测量的疲劳指示符值。例如,机载计算设备(例如,图2的机载IRM计算设备150)可以从飞行机组成员(例如,图2的用户206)正在驾驶的飞行器中的至少一个传感器获得一个或多个测量的疲劳指示符值。在一些实现中,计算设备向至少一个传感器发送对疲劳指示符值的请求,并响应于该请求接收疲劳指示符值(例如,“提取”指示符值)。例如,计

算设备可以在飞行过程中周期性地从至少一个传感器(例如,图2的传感器208-214)请求测量的疲劳指示符值。在一些实现中,至少一个传感器在没有接收到请求的情况下向计算设备发送测量的疲劳指示符值(例如,“推送”指示符值)。例如,传感器208-214可以在整个飞行期间周期性地主动向计算设备发送由各个传感器测量的疲劳指示符值。

[0101] 该至少一个传感器可以包括一个或多个眼睛跟踪传感器(例如,图2的眼睛跟踪传感器208)。该至少一个传感器可以包括一个或多个腿部运动传感器(例如,图2的腿部运动传感器210)。该至少一个传感器可以包括一个或多个人体生理传感器(例如,图2的人体生理传感器212)。该至少一个传感器可以包括一个或多个音频传感器(例如,图2的音频传感器214)。

[0102] 与飞行机组成员相关联的一个或多个测量的疲劳指示符值包括但不限于眼睑闭合率、眼睑闭合长度、注视固定、眼睛扫描、腿部运动率、重量转移率、脉搏、血压、呼吸率、体温和标准协议命令中的错误率。在一些实现中,所获得的疲劳指示符值与由为飞行机组成员生成的一个或多个疲劳指示符简档(例如,疲劳指示符简档408a、408b)所表示的一个或多个疲劳指示符相关。

[0103] 生成飞行机组成员的一个或多个更新的疲劳指示符简档(312)。图4C描绘了更新的疲劳指示符简档418a、418b。更新的疲劳指示符简档418a、418b包括用户在一段时间内对于各个疲劳指示符中的每一个的更新的预测疲劳指示符值412a、412b。例如,一个或多个更新的疲劳指示符简档418a、418b包括飞行员当前驾驶的剩余飞行的相应的疲劳指示符412a、412b的期望值。

[0104] 如下文进一步详细描述,可以基于从至少一个传感器获得的一个或多个疲劳指示符值来生成一个或多个更新的疲劳指示符简档。在一些实现中,一个或多个疲劳指示符简档408a、408b基于从测量由相应的疲劳指示符简档表示的疲劳指示符的传感器获得的相应的疲劳指示符值420a、420b来更新。例如,疲劳指示符简档408a,其表示飞行过程中飞行机组成员预期的眼睑闭合率,可以基于从测量眼睛运动的至少一个传感器(例如,图2的眼睛跟踪传感器208)获得的飞行机组成员的测量的眼睑闭合率420a来更新。在一些实现中,更新的疲劳指示符简档418a、418b由机载计算设备执行的风险管理应用生成。在一些实现中,更新的疲劳指示符简档418a、418b由可通信地耦合到至少一个传感器的服务器执行的风险管理应用生成。在一些实现中,通过使用存储在计算机(例如,图2的IRM计算设备150)上的经训练的机器学习模型来处理从至少一个传感器接收的测量的疲劳指示符值420a、420b,生成更新的疲劳指示符简档418a、418b。

[0105] 在一些实现中,响应于确定相应的测量的疲劳指示符值已经偏离超过阈值量,生成一个或多个更新的疲劳指示符简档。例如,如果根据预期眼睑闭合率的疲劳指示符简档408a,在飞行期间的某个时间由机载传感器为飞行员测量的眼睑闭合率420a已经偏离飞行期间该时间的预测眼睑闭合率410a超过阈值量,则生成具有剩余飞行的更新预期眼睑闭合率412a的更新疲劳指示符简档418a。相反,如果根据疲劳指示符简档408a,由机载传感器在飞行期间的某个时间为飞行员测量的眼睑闭合率420a已经偏离了该时间的预测眼睑闭合率410a,但是小于阈值量,则不会生成用于眼睑闭合率的更新的疲劳指示符简档418a。在一些实现中,对于每个疲劳指示符,在重整之前允许的偏差的阈值量是预先确定的。

[0106] 生成飞行机组成员的更新的预测的疲劳简档(314)。图4D描绘了示例性更新的疲

劳简档430。更新的预测的疲劳简档430描绘了用户在一段时间内的更新的预测的疲劳水平414。例如，更新的预测的疲劳简档430描绘了飞行员在剩余飞行中的更新的预测的疲劳水平414。

[0107] 如本文进一步详细描述，可基于一个或多个更新的疲劳指示符简档（例如，更新的疲劳指示符简档418a、418b）生成更新的预测的疲劳简档。例如，疲劳指示符简档408a、40b中的预测疲劳指示符值410a、410b与基于测量的指示符值420a、420b生成的更新的疲劳指示符简档418a、418b中的预测疲劳指示符值412a、412b之间的偏差指示实际疲劳水平与预测的疲劳简档400中最初预测的疲劳水平的偏差。

[0108] 在一些实现中，当预定数量的测量疲劳指示符偏离它们各自的预测疲劳指示符简档时，生成更新的疲劳指示符简档。例如，如果特定驾驶舱结合了三种不同类型的疲劳指示符（例如，眼睑闭合率、标准命令协议错误率和心率），则仅当三个测量的疲劳指示符值中的两个偏离它们各自的疲劳指示符简档阈值量时，才可以生成更新的疲劳指示符简档。仅响应于多个测量的疲劳指示符偏离相应的指示符简档来重整疲劳指示符简档和/或预测的疲劳简档可以通过最小化异常测量的疲劳指示符值的影响（即滤除噪声）来帮助考虑预测的疲劳简档中的噪声。例如，如果只有飞行员测量的眼睑闭合率偏离眼睑闭合率简档，则可能不需要重整预测的疲劳简档和/或疲劳指示符简档。例如，飞行员可能只是干接触，导致他或她眨眼更快。然而，如果飞行员测量的眼睑闭合率和测量的心率都偏离了它们各自的指示符简档，那么两个测量的指示符的偏离更大的可能性是由于非预期的疲劳，并且重整飞行员的疲劳指示符简档和/或预测的疲劳简档是合适的。

[0109] 在一些实现中，基于特定疲劳指示符和实际疲劳水平之间的相关性的强度来加权或优先化疲劳指示符简档。这些权重可以被应用于各个疲劳指示符简档中测量的疲劳指示符值和预测值之间的观察到的偏差，以确定是否出现了阈值偏差量来触发更新的预测的疲劳简档的生成。例如，与眼睛运动和心率相关的疲劳指示符可能比其他指示符权重更大，因为它们可能与疲劳有更强的相关性。在这样的示例中，应用于飞行机组成员的眼睛运动和心率偏差的较高权重将比另一个较低权重的指示符（例如，腿部运动）更有可能触发更新的疲劳指示符简档的生成。基于每个指示符类型和疲劳水平之间的相关性的强度对疲劳指示符进行加权有助于最小化异常测量的疲劳指示符值的影响（即，有助于降低噪声）。

[0110] 在一些实现中，测量的疲劳指示符值可以彼此比较，以更准确地预测疲劳。例如，音频数据可以与来自一个或多个眼睛跟踪传感器的数据进行比较，以确定在命令清单期间，飞行机组成员是否正在查看驾驶舱的正确部分。在一些实现中，组合和比较几个测量的疲劳指示符值提供了更强的疲劳预测。

[0111] 在一些实现中，通过将一个或多个疲劳指示符值和疲劳水平之间的相关性的集合应用于一个或多个更新的疲劳指示符简档418a、418b来生成更新的预测的疲劳简档430。例如，如图4D所示，如果用于预期的眼睑闭合率418a的更新的疲劳指示符简档指示眼睑闭合率比先前预测的低，并且眼睑闭合率低与疲劳水平增加相关，则生成更新的预测的疲劳简档430，更新的预测的疲劳简档430在对应于更新的疲劳指示符简档418a中眼睑闭合率降低的时间段期间具有增加的疲劳水平414。

[0112] 在一些实现中，更新的预测的疲劳简档可以部分地基于先前的预测的疲劳简档和由飞行机组成员驾驶的先前飞行的飞行机组成员的一个或多个测量疲劳指示值来生成。例

如,飞行机组成员先前预测的疲劳简档和先前飞行的各自测量的疲劳指示符值之间的相关性可以应用于飞行机组成员的一个或多个更新的疲劳指示符简档,以基于飞行机组成员先前的疲劳指示符值和预测的疲劳来定制更新的预测的疲劳简档。

[0113] 图3C描绘了用于生成更新的疲劳指示符简档和更新的预测的疲劳简档的示例过程340的流程图。在一些实现中,过程340可以被提供为使用一个或多个计算设备执行的一个或多个计算机可执行程序。在一些示例中,过程340由系统(诸如图2的IRM系统200)执行。在一些实现中,过程340的全部或部分可以在远程计算设备、服务器系统(例如,图2的服务器102)和基于云的服务器系统上执行。例如,过程340的全部或部分可以由位于载具内的计算设备(例如,位于图2的飞行器204上的IRM计算设备150)来执行。

[0114] 从一个或多个传感器(310)获得一个或多个测量疲劳指示符值。如前所述,在一些实现中,从飞行器中的至少一个传感器获得与飞行机组成员相关联的一个或多个测量的疲劳指示符值。例如,机载计算设备可以通过网络从飞行机组成员(例如,用户206)正在驾驶的飞行器中的至少一个传感器接收一个或多个测量的疲劳指示符值。

[0115] 将机器学习应用于测量的疲劳指示符值,以生成一个或多个更新的疲劳指示符简档(342)。在一些实现中,通过使用存储在计算机(例如,图2的IRM计算设备150)上的训练的机器学习模型来处理从至少一个传感器接收的测量的疲劳指示符值,生成更新的疲劳指示符简档。用于处理测量的疲劳指示符值以生成更新的疲劳指示符简档的机器学习模型可以包括贝叶斯优化、深度神经网络或马尔可夫链方法。如前所述,在一些实现中,响应于确定相应的测量疲劳指示符值已经偏离超过偏离的阈值量,生成一个或多个疲劳指示符简档。获得疲劳水平和一个或多个疲劳指示符值之间的相关性的集合(324)。如前所述,可以在一段时间内(例如,在飞行或飞行模拟期间)获得多个测试对象的实际疲劳水平和一个或多个测量的疲劳指示符值。可以将针对多个测试对象观察到的一个或多个疲劳指示符值与针对各个测试对象测量到的疲劳水平进行比较,以确定疲劳水平和观察到的疲劳指示符值之间的相关性。在一些实现中,由载具的计算系统(例如,图2的飞行器204上的IRM计算设备150)获得疲劳水平和一个或多个疲劳指示符值之间的相关性的集合。在一些实现中,相关性的集合存储在IRM计算设备150上。在一些实现中,机载计算设备从另一计算设备(例如,图2的服务器102)获得相关性的集合。

[0116] 将疲劳水平和一个或多个疲劳指示符值之间的相关性的集合应用于一个或多个更新的疲劳指示符简档,以生成飞行机组成员的更新的预测的疲劳简档(344)。例如,基于在多个测试对象的疲劳水平和眼睑闭合率之间观察到的相关性,可以通过将相关性应用于表示飞行员的更新的预期的眼睑闭合率的更新的疲劳指示符简档418a来生成更新的预测的疲劳简档430。如前所述,在一些实现中,响应于在测量的疲劳指示符值和疲劳指示符简档中的预测的疲劳指示符值之间出现的偏差超过阈值量,生成更新的预测的疲劳简档。

[0117] 在一些实现中,更新的预测的疲劳简档可以部分地基于先前预测的疲劳简档和由飞行机组成员驾驶的先前飞行的飞行机组成员的测量的疲劳指示值来生成。例如,飞行机组成员先前预测的疲劳简档和先前飞行的各自测量的疲劳指示符值之间的相关性可以应用于飞行机组成员的一个或多个更新的疲劳指示符简档,以基于飞行机组成员先前的疲劳指示符值和预测的疲劳来定制更新的预测的疲劳简档。

[0118] 在一些实现中,通过使用存储在计算机(例如,图2的IRM计算设备150)上的经训练

的机器学习模型来处理一个或多个更新的疲劳指示符简档,生成更新的预测的疲劳简档。在一些实现中,通过使用存储在计算机(例如,图2的IRM计算设备150)上的经训练的机器学习模型来处理一个或多个更新的疲劳指示符简档、飞行机组成员的先前预测的疲劳简档和飞行机组成员的先前测量疲劳指示符值,来生成更新的预测的疲劳简档。用于生成更新的预测的疲劳简档的机器学习模型可以包括贝叶斯优化、深度神经网络或马尔可夫链方法。

[0119] 在一些实现中,上文参考生成预测的疲劳简档和预测疲劳指示符简档描述的时间序列分析和序列聚类技术可用于生成更新的预测的疲劳简档和更新的疲劳指示符简档。例如,可以使用时间序列分析来分析飞行期间测量的一个或多个疲劳指示符值,并且基于该分析,将其分配给相应类型的疲劳指示符值到疲劳的水平的时间序列映射中的聚类。基于测量疲劳指示符值被分配到的聚类,然后可以基于对应于所分配聚类的疲劳水平来确定飞行机组成员的预测疲劳。如果疲劳指示符值被分配给对应于疲劳水平的聚类,该疲劳水平不同于基于飞行机组成员的预测的疲劳简档的飞行机组成员的当前预测的疲劳水平,这指示飞行机组成员的预测的疲劳简档可能需要被更新。此外,动态时间扭曲可用于提高更新的预测的疲劳简档和更新的疲劳指示符简档的准确性,并将飞行机组成员的预测的疲劳简档和预测的疲劳指示符值投射到未来。

[0120] 在一个示例中,可以使用时间序列分析来实时分析飞行期间为飞行机组成员测量的眼睑闭合率。基于时间序列分析,测量的眼睑闭合率被分配给眼睑闭合率到疲劳水平的时间序列映射中的聚类。基于测量的眼睑闭合率被分配到的聚类,可以估计飞行机组成员的当前疲劳的水平。如果使用基于测量的眼睑闭合率的时间序列分析为飞行机组成员估计的疲劳水平不同于在对应时间段的飞行机组成员的预测的疲劳简档中指示的预测的疲劳水平,则可以更新飞行机组成员的预测的疲劳简档以反映基于测量的眼睑闭合率的时间序列分析确定的估计疲劳。

[0121] 在一些实现中,生成更新的预测的疲劳简档和更新的疲劳指示符简档的过程340是递归的,其中一个或多个更新的疲劳指示符简档和更新的预测的疲劳简档彼此学习(346)。例如,如前所述,通过将一个或多个疲劳指示符值和实际疲劳之间的相关性应用于一个或多个更新的疲劳指示符简档,可以基于一个或多个更新的疲劳指示符简档中的改变来更新预测的疲劳简档。类似地,在一些实现中,通过将一个或多个疲劳指示符值和实际疲劳之间的相关性应用于更新的预测的疲劳简档,可以基于更新的预测的疲劳简档来更新一个或多个疲劳指示符简档。在一些实现中,响应于接收到测量的疲劳指示符数据,在整个飞行期间多次更新一个或多个疲劳指示符简档。在一些实现中,响应于对一个或多个疲劳指示符简档的更新,更新的预测的疲劳简档在整个飞行中被更新多次。

[0122] 在一些实现中,提供一个或多个飞行风险缓解干预(316)。在一些实现中,可以基于为飞行机组成员生成的更新的疲劳简档来提供一个或多个飞行风险缓解干预。例如,如果更新的疲劳简档430指示预测飞行机组成员在关键事件406期间经历阈值疲劳水平404以上的疲劳水平414,如图4D在关键着陆事件406c所示,则可以实施一个或多个飞行风险缓解干预以缓解由机组成员的预测的疲劳水平造成的风险。

[0123] 在一些实现中,基于飞行机组成员的预测疲劳的幅度和持续时间,提供一个或多个飞行风险缓解干预。例如,如果更新的疲劳简档430指示预测飞行机组成员经历阈值疲劳水平404以上的疲劳水平414超过阈值持续时间,则提供飞行风险缓解干预。在一些示例中,

如果更新的疲劳简档430指示预测飞行机组成员经历超过阈值疲劳水平404之上的阈值量的疲劳水平414,则提供飞行风险缓解干预。在一些实现中,基于飞行机组成员的预测的疲劳水平414高于阈值疲劳水平404的幅度和持续时间的组合来提供飞行风险缓解干预。在一些实现中,可以通过计算预测的疲劳水平414和阈值疲劳水平404之间的预测的疲劳水平414简档下的面积448a、448b来确定飞行机组成员的预测的疲劳水平的幅度和持续时间,如图4D所示。

[0124] 在一些实现中,过程300中提供的飞行风险缓解干预包括向飞行机组成员提供警告。例如,可以向飞行机组成员提供警告,指示他或她的预测的疲劳水平在飞行的关键部分期间超过阈值水平。在一些实现中,响应于高的预测的疲劳水平而向飞行机组成员提供的警告包括但不限于减少疲劳的推荐方法,诸如建议摄入咖啡因和建议拉伸。在一些实现中,通过机载计算设备的图形用户界面向机组人员提供警告。在一些实现中,通过电信设备向机组人员提供警告。

[0125] 在一些实现中,基于飞行机组成员的预测疲劳的幅度和持续时间向飞行机组成员提供警告。例如,如果更新的疲劳简档430指示预测飞行机组成员经历阈值疲劳水平404以上的疲劳水平414超过阈值持续时间,则向飞行机组成员提供警告。在一些示例中,如果更新的疲劳简档430指示预测飞行机组成员经历超过阈值疲劳水平404以上的阈值量的疲劳水平414,则向飞行机组成员提供警告。在一些实现中,基于飞行机组成员的预测的疲劳水平414阈值疲劳水平404以上的幅度和持续时间的组合,向飞行机组成员提供警告。

[0126] 在一些实现中,飞行风险缓解干预包括自动改航飞行到备用着陆地点。例如,如果预测的疲劳简档指示飞行机组成员将在计划的着陆期间经历阈值水平以上的疲劳水平,则着陆位置可以被自动改航到着陆位置,该着陆位置允许飞行机组成员在预测飞行机组成员经历阈值疲劳水平以下的疲劳水平时着陆。在一些实现中,飞行风险缓解干预包括向飞行机组成员发送改航飞行的请求,并要求飞行机组成员接受或拒绝改航飞行的请求。

[0127] 在一些实现中,飞行风险缓解干预包括自动启用飞行器的自动驾驶功能。例如,如果更新的预测的疲劳简档指示飞行机组成员将在飞行的某个部分期间经历阈值水平以上的疲劳,则飞行器的自动驾驶功能可以在飞行机组成员的预测的疲劳水平超过阈值水平的飞行的部分期间自动启用。在一些实现中,飞行风险缓解干预包括在高的预测的疲劳水平期间向飞行机组成员发送启用自动驾驶功能的请求,并要求飞行机组成员接受或拒绝启用自动驾驶功能的请求。

[0128] 在一些实现中,飞行风险缓解干预包括将飞行器的控制从飞行机组成员切换到远程操作员。例如,如果更新的预测的疲劳简档指示飞行机组成员将经历阈值水平以上的疲劳水平,则在飞行机组成员的预测的疲劳水平超过阈值水平的飞行的部分期间,飞行器的控制可以从飞行机组成员自动切换到远程操作者,诸如地面控制或位于基于地面的控制位置的另一飞行员,其中。在一些实现中,另一个远程控制飞机的飞行员在机场待命。在一些示例中,远程控制飞机的另一个飞行员在家待命,并接收提醒飞行员前往远程驾驶站(例如,在机场)以远程控制飞行的自动消息。在一些实现中,飞行风险缓解干预包括向飞行机组成员和远程操作员发送请求,以在高的预测的疲劳水平期间将飞行器的控制从飞行机组成员切换到远程操作员,并要求飞行机组成员和远程操作员都接受或拒绝将飞行器的控制切换到远程操作员的请求。

[0129] 在一些实现中,还为远程操作者执行产生预测的疲劳简档并基于一个或多个测量的疲劳指示符值更新预测的疲劳简档的过程300。例如,位于基于地面的控制位置的另一飞行员可以在飞行机组成员的预测的疲劳水平超过阈值水平的飞行的部分期间远程控制飞行器。可以基于远程飞行员的飞行信息和历史信息为远程飞行员生成预测的疲劳简档,并且可以基于远程飞行员的预测的疲劳简档生成一个或多个疲劳指示符简档。位于基于地面的控制位置的一个或多个传感器可以测量远程飞行员的一个或多个疲劳指示符值。基于一个或多个疲劳指示符值,可以为远程飞行员生成一个或多个更新的疲劳指示符简档。响应于一个或多个更新的疲劳指示符简档,可以为远程飞行员生成更新的预测的疲劳简档。

[0130] 在一些实现中,飞行风险缓解干预包括响应于确定当前远程操作员正经历阈值水平以上的疲劳,警告第二远程操作员接管飞行器的控制。在一些实现中,飞行风险缓解干预包括响应于确定当前远程操作员正经历阈值水平以上的疲劳以及飞行器上的飞行员正经历阈值水平以下的疲劳,将飞行器的控制切换回位于飞行器上的飞行员。

[0131] 在一些实现中,可以协调多个飞行机组成员的更新的预测的疲劳简档,以确定适当的飞行风险缓解干预。例如,可以在过程300的步骤306和308中分别为多个飞行机组成员(诸如飞行员和副驾驶)生成预测的疲劳简档和疲劳指示符简档。图4E描绘了预测的疲劳简档440,其包括分别基于飞行员和副驾驶的历史信息的飞行员的预测的疲劳水平402和副驾驶的预测的疲劳水平442。如图4E所示,基于预测的疲劳简档440,在飞行的每个关键事件406期间,飞行员和副驾驶都被预测经历阈值水平以下的疲劳水平。

[0132] 基于在步骤310中为每个飞行机组成员接收的测量的疲劳指示符值,在步骤312中可以为每个飞行机组成员生成更新的疲劳指示符简档。如图4F所示,在步骤314中,基于更新的疲劳指示符简档,可以为每个飞行机组成员生成更新的预测的疲劳简档414、444。然后可以比较这些更新的预测的疲劳简档,以确定适当的缓解干预技术。例如,更新的预测的疲劳简档450包括飞行员的更新的预测的疲劳水平414和副驾驶的更新的预测的疲劳水平444,其可用于确定在一个或多个关键事件406期间,预测飞行员中的任一个或两个是否经历阈值疲劳404以上的疲劳水平414、444。例如,如图4F所示,基于飞行员和副驾驶的更新的预测的疲劳简档450,预测飞行员在着陆事件406c期间经历阈值水平404以上的疲劳水平414,并且预测副驾驶在危险天气事件406b期间经历阈值水平404以上的疲劳水平444。

[0133] 在一些实现中,飞行风险缓解干预包括比较两个或更多飞行机组成员的更新的预测的疲劳简档,并且基于该比较,将飞行器的控制从第一飞行机组成员切换到第二飞行机组成员。例如,如果第一飞行机组成员(例如飞行员)的更新的预测的疲劳简档预测第一飞行机组成员将在飞行的关键部分(诸如着陆)期间经历高疲劳水平,并且第二飞行机组成员(例如副驾驶)的更新的预测的疲劳简档预测第二飞行机组成员将在飞行的剩余部分经历低疲劳水平,则飞行风险缓解干预包括将飞行器的控制从第一飞行机组成员自动切换到第二飞行机组成员。例如,如图4F所示,基于飞行员和副驾驶的更新的预测的疲劳简档450,预测飞行员在着陆事件406c期间经历阈值水平404以上的疲劳水平414,并且预测副驾驶在着陆事件406c期间经历阈值水平404以下的疲劳水平444。作为响应,如果飞行器在着陆事件406c之前由飞行员控制,则飞行器的控制将在与着陆事件406c相关的时间内自动切换到副驾驶。类似地,基于飞行员和副驾驶的更新的预测的疲劳简档450,预测副驾驶在危险天气事件406b期间经历阈值水平404以上的疲劳水平444,并且预测飞行员在危险天气事件406b

期间经历阈值水平404以下的疲劳水平414。作为响应,如果在预期的危险天气事件406b之前飞行器正由副驾驶控制,则在与危险天气事件406b相关的时间期间,飞行器的控制将自动切换到飞行员。

[0134] 在一些实现中,飞行风险缓解干预包括自动启用飞行器的自动驾驶功能。在一些实现中,如果更新的预测的疲劳简档指示在飞行的部分期间第一机组成员的高水平疲劳和第二机组成员的低水平疲劳,则可以提供建议,即在第二机组成员在飞行的指示部分驾驶飞行器时,第一机组成员进行短暂的休息或睡眠。

[0135] 在一些实现中,飞行风险缓解干预包括自动地为飞行重新安排不同的飞行机组成员。例如,如果基于为第一飞行机组成员生成的预测的疲劳指示符简档,预测第一飞行机组成员在飞行期间经历阈值水平以上的疲劳,则第一飞行机组成员的时间表可以在飞行之前自动更新,以将第一飞行机组成员从飞行中移除。此外,基于为第二飞行机组成员生成的预测的疲劳指示符简档,预测在整个飞行期间具有阈值疲劳以下的疲劳水平的第二飞行机组成员可以被自动安排用于替换第一飞行机组成员的飞行。

[0136] 虽然过程300、306和340被描述为由机载计算设备(例如,图2的IRM计算设备150)执行,但是应当理解,过程300、306和340的全部或部分可以由服务器(例如,图2的服务器102)、飞行管理系统(例如,图2的飞行管理系统202)或其他计算设备(例如,图2的计算设备150a、150b、150c)来执行。例如,由多个传感器收集的数据可以通过网络132实时提供给服务器102,用于由存储在服务器102上的风险管理应用144a处理数据。在一些实现中,过程300的第一部分由IRM计算设备150执行,过程300的第二部分由服务器102执行。此外,过程300、306和340每个都是关于评估与航空公司飞行相关联的风险来描述的;然而,过程300、306和340可适用于评估与其他形式的运输相关联的风险,例如机动载具或船只航行。

[0137] 尽管本文件包含许多具体的实施细节,但这些不应被解释为对所要求保护的范围的限制,而是对特定实现或实施例特有的特征的描述。本说明书中在单独实施例的上下文中描述的某些特征也可以在单个实施例中组合实现。相反,在单个实施例的上下文中描述的各种特征也可以在多个实施例中单独实现或者以任何合适的子组合实现。此外,尽管特征可以在上文中被描述为在某些组合中起作用,并且甚至最初被如此要求保护,但是在一些情况下,所要求保护的组合中的一个或多个特征可以从该组合中删除,并且所要求保护的组合可以指向子组合或子组合的变体。

[0138] 此外,附图中描绘的逻辑流程不需要所示的特定顺序或顺序来实现期望的结果。此外,可以从所描述的流程中提供其他步骤,或者可以删除步骤,并且可以向所描述的系统添加其他组件,或者从所描述的系统移除其他组件。因此,其他实现在以下权利要求的范围内。

[0139] 已经描述了本公开的许多实现。然而,应当理解,在不脱离本公开的精神和范围的情况下,可以进行各种修改。因此,其他实现在以下权利要求的范围内。

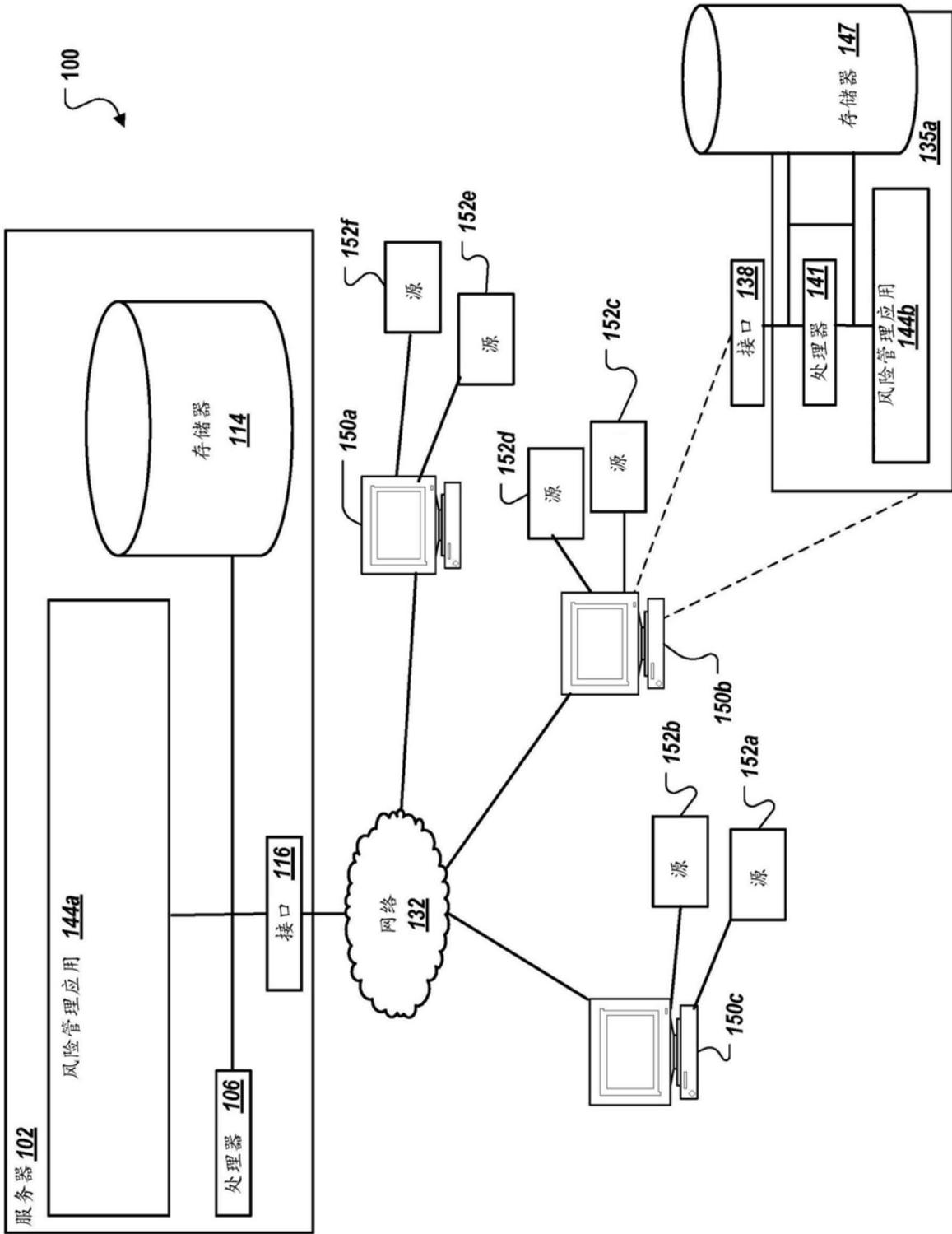


图1

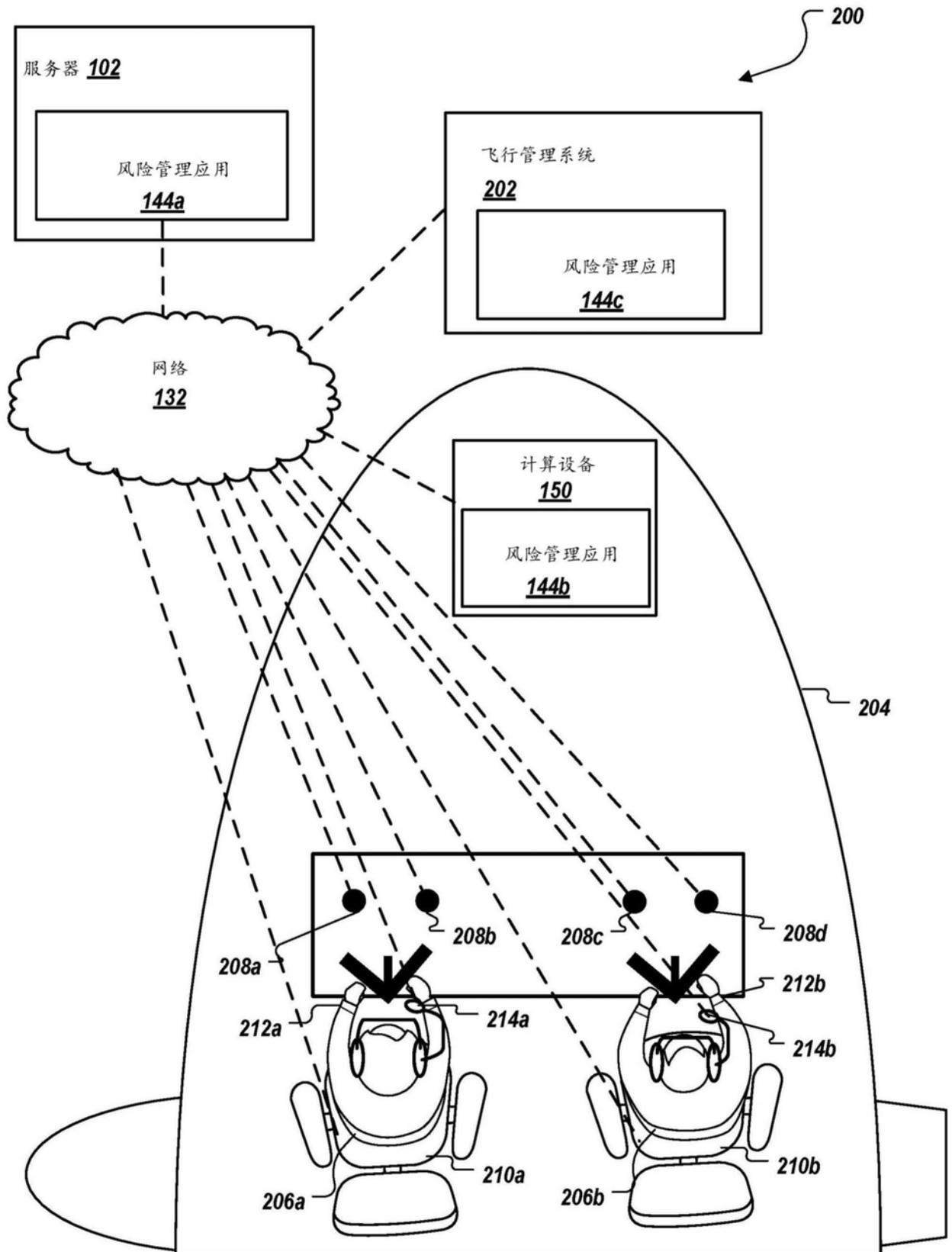


图2

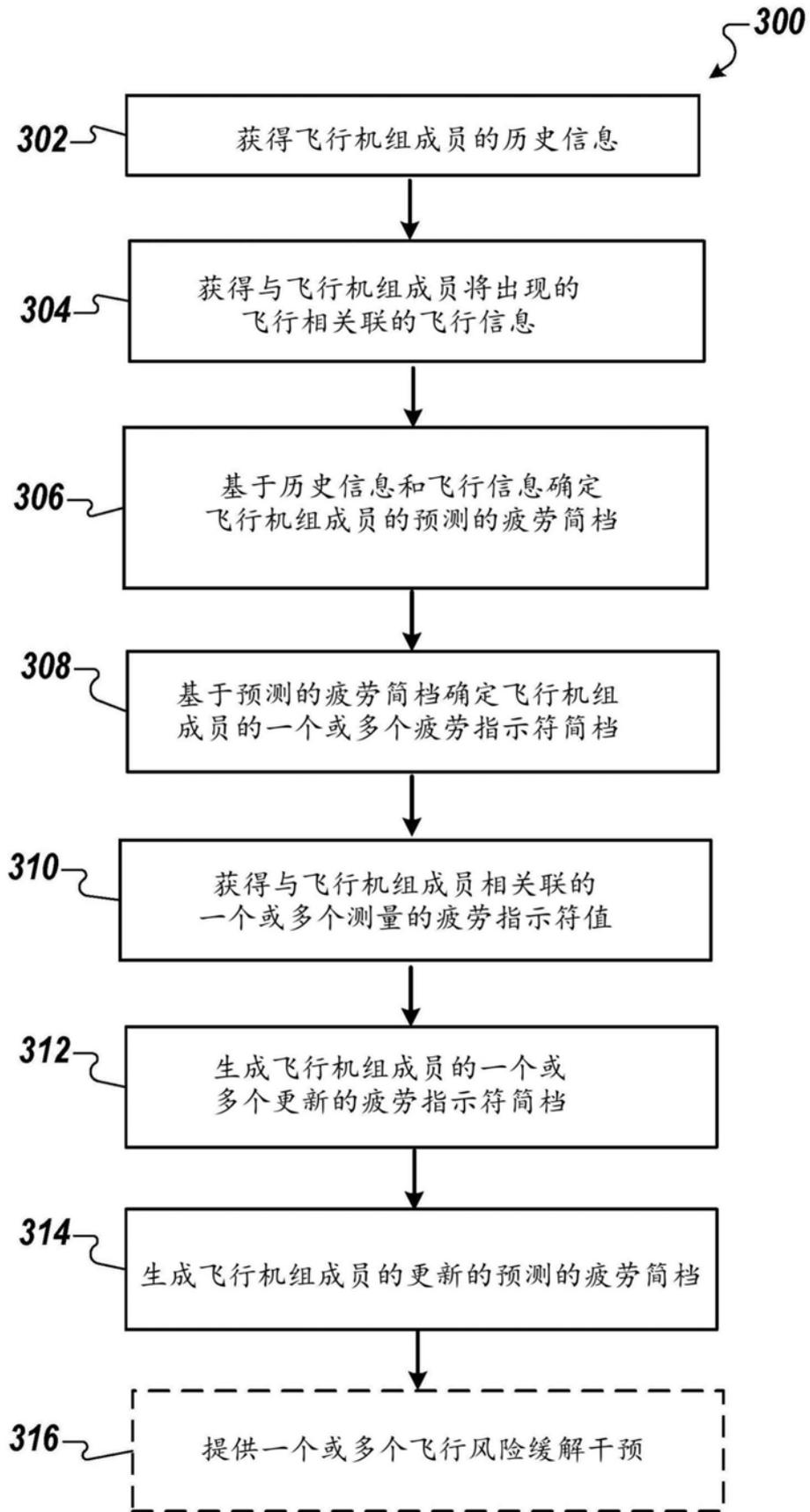


图3A

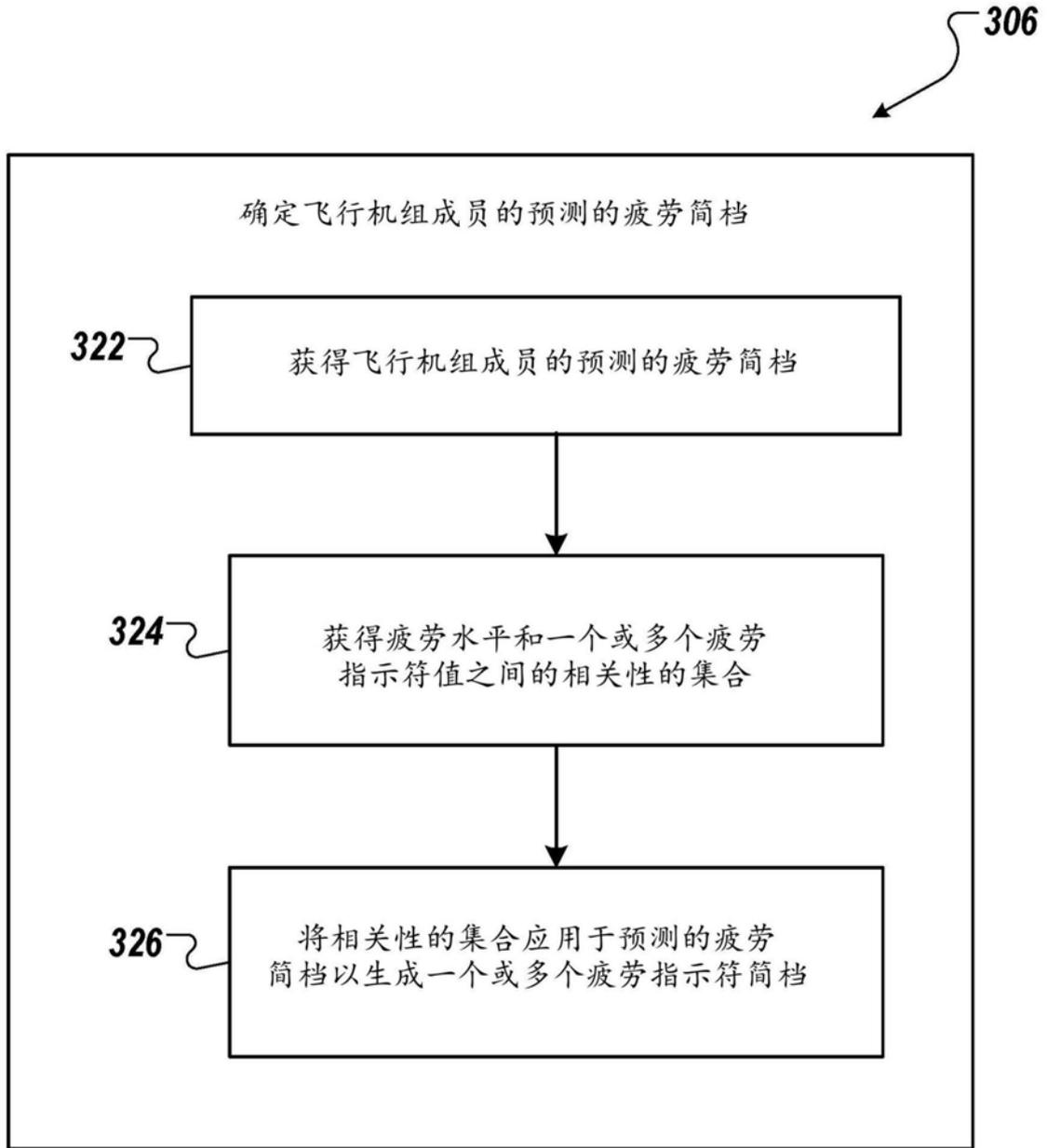


图3B

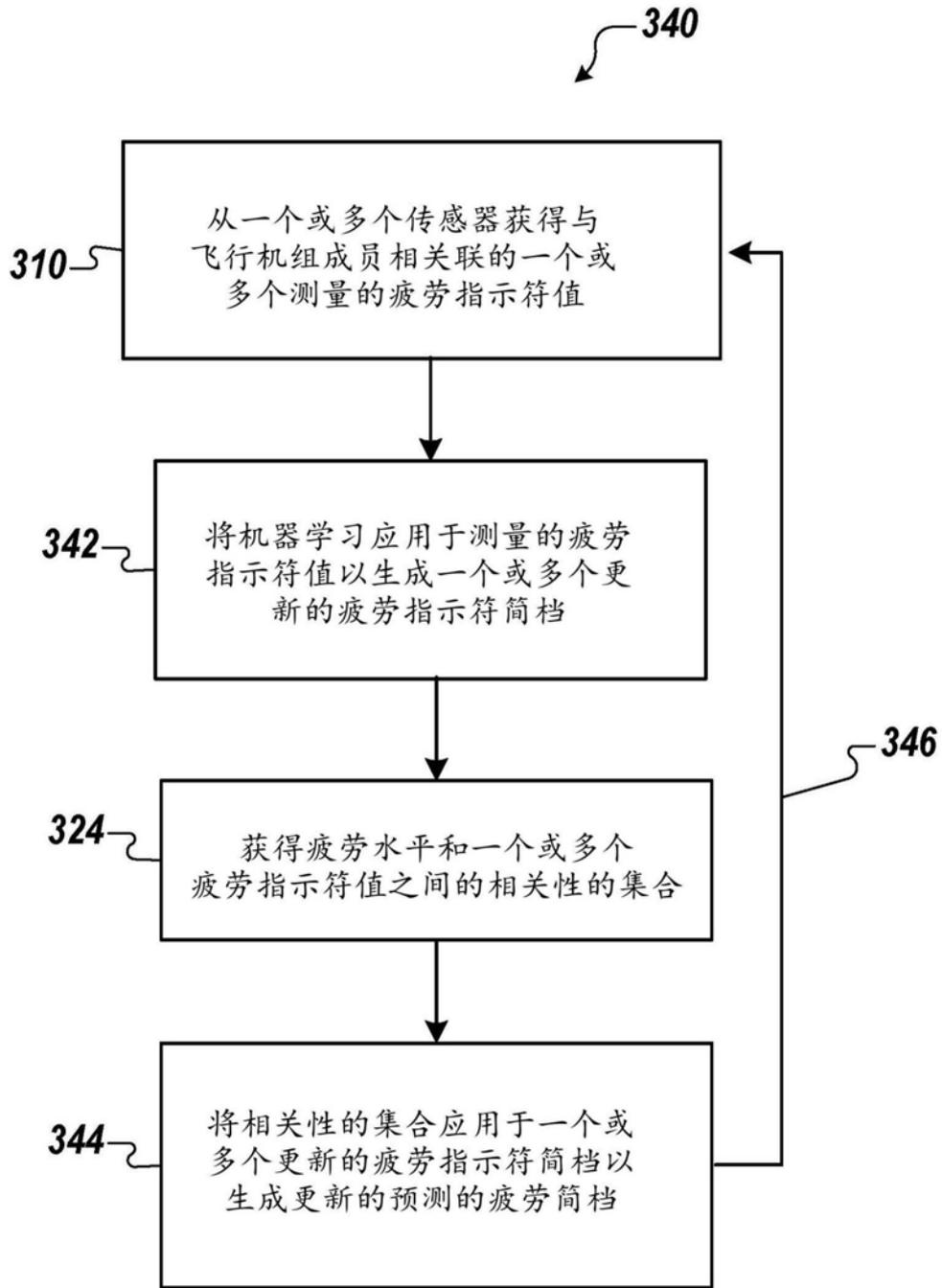


图3C

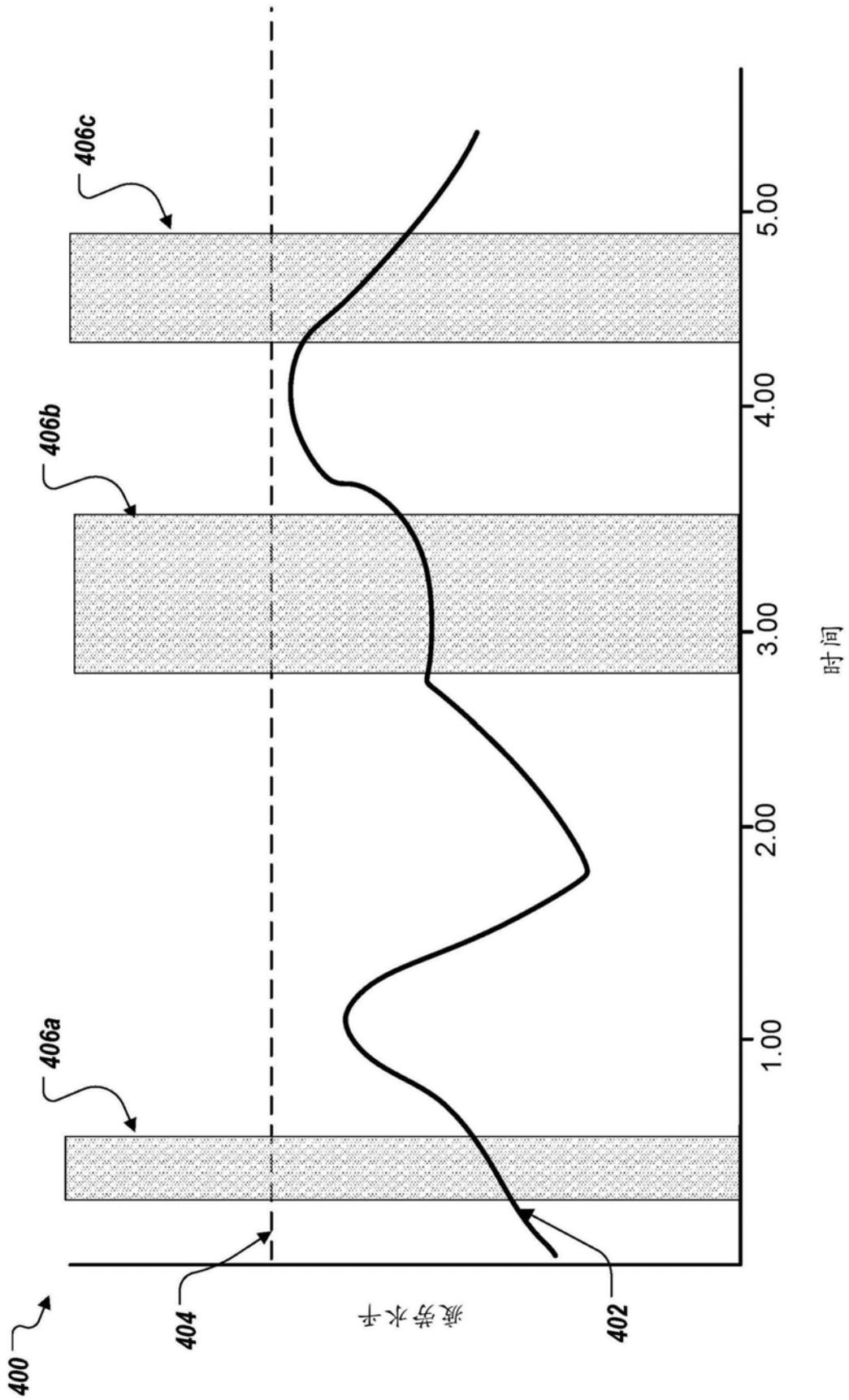


图4A

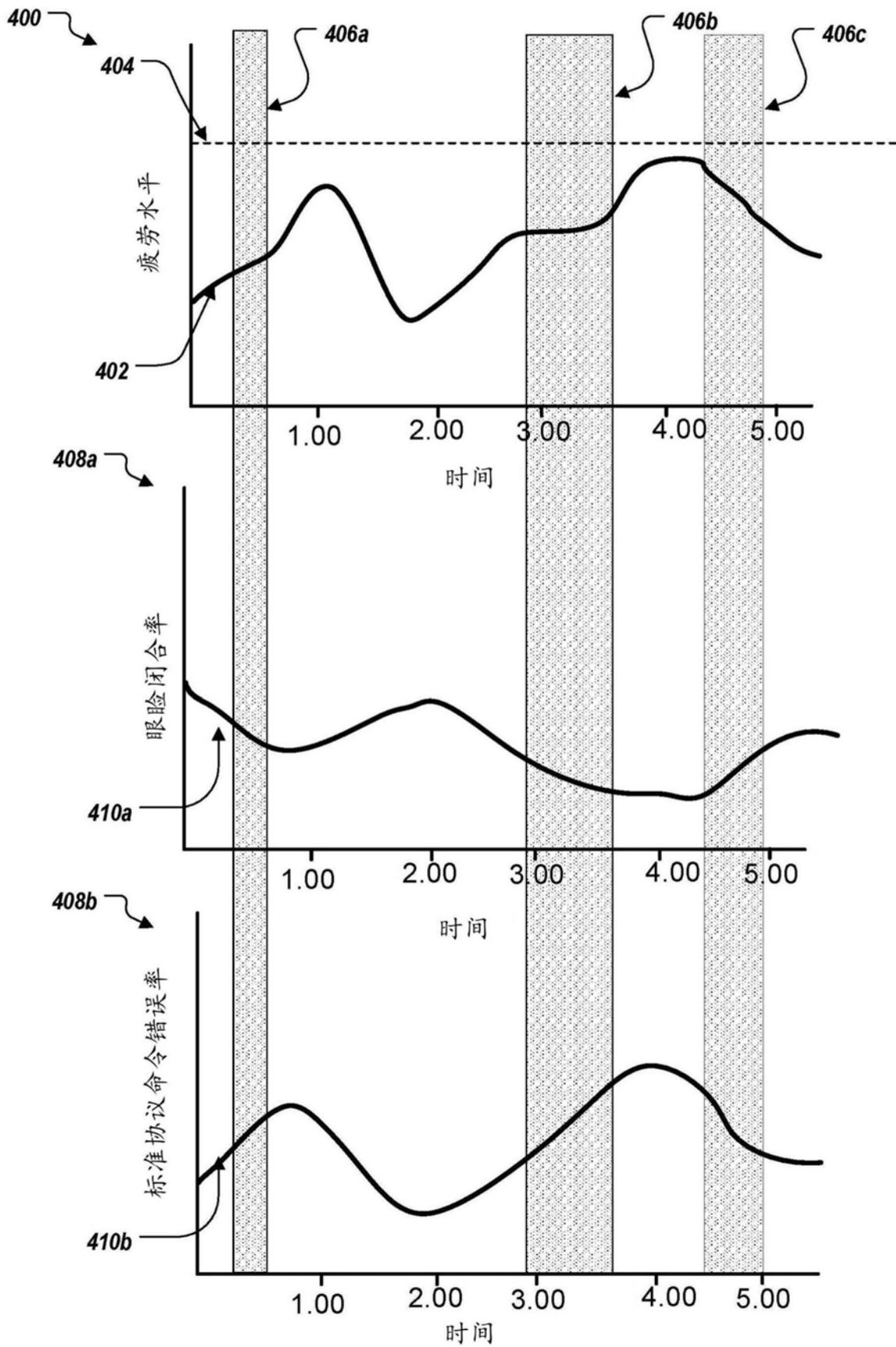


图4B

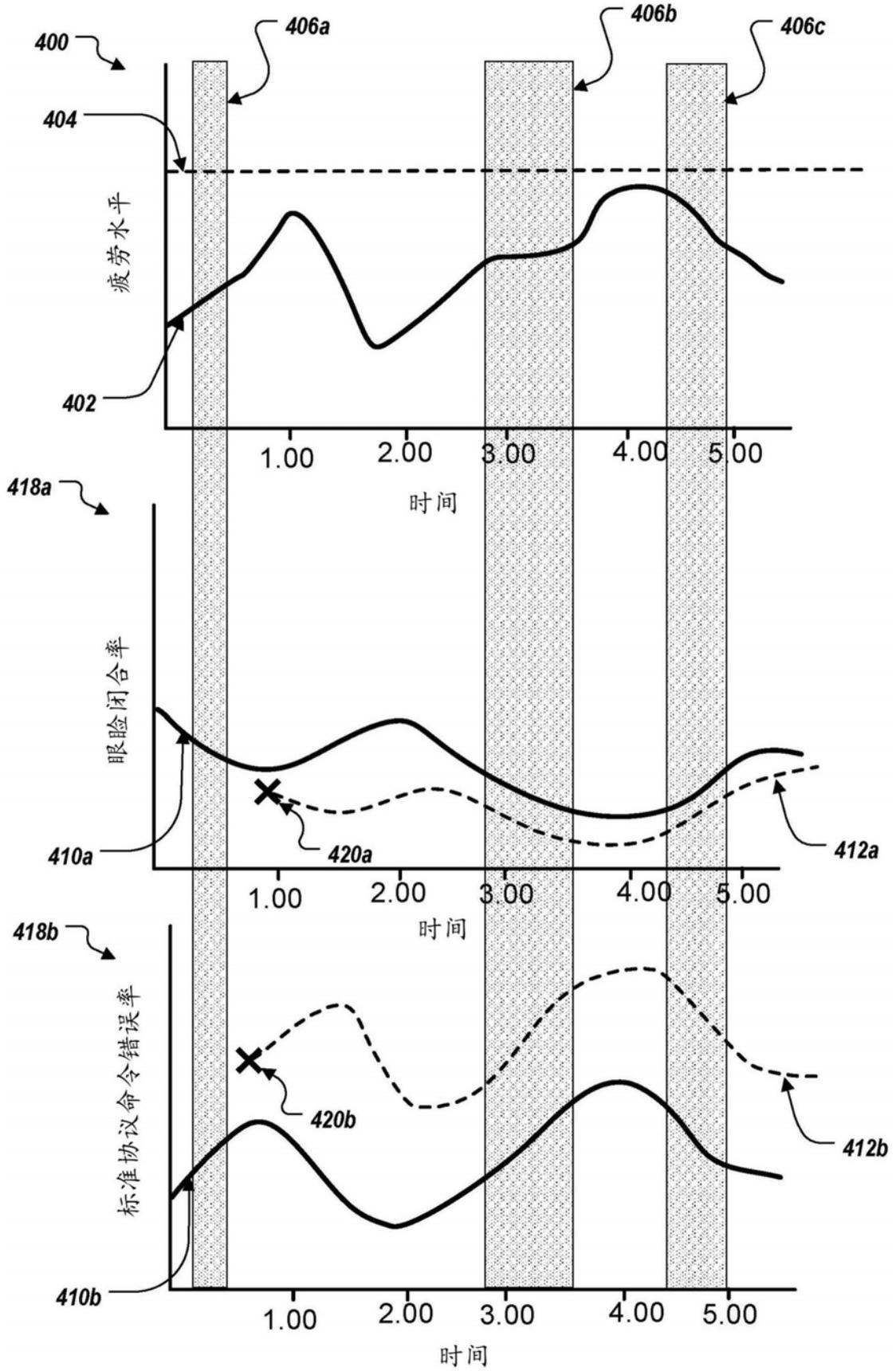


图4C

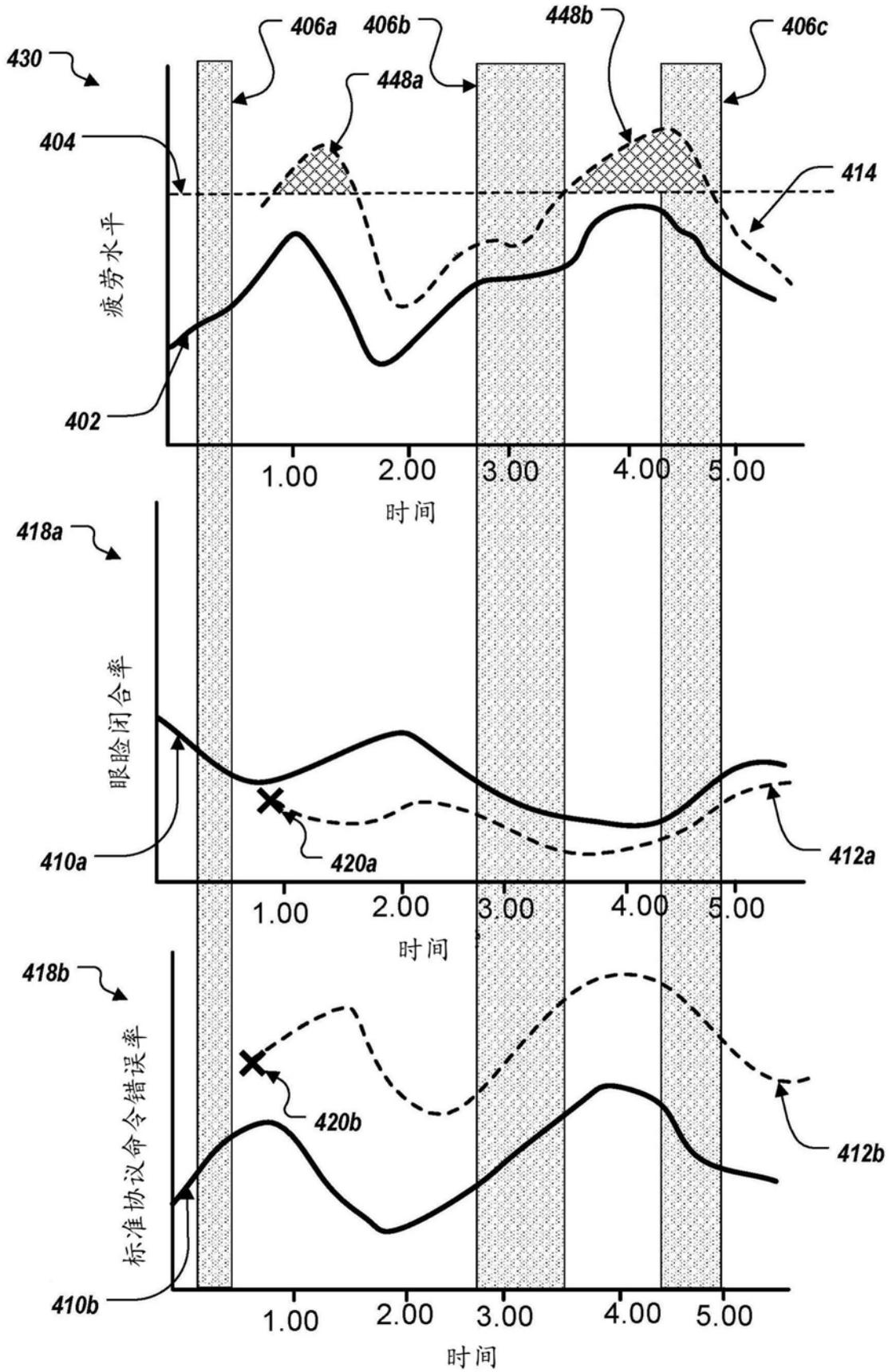


图4D

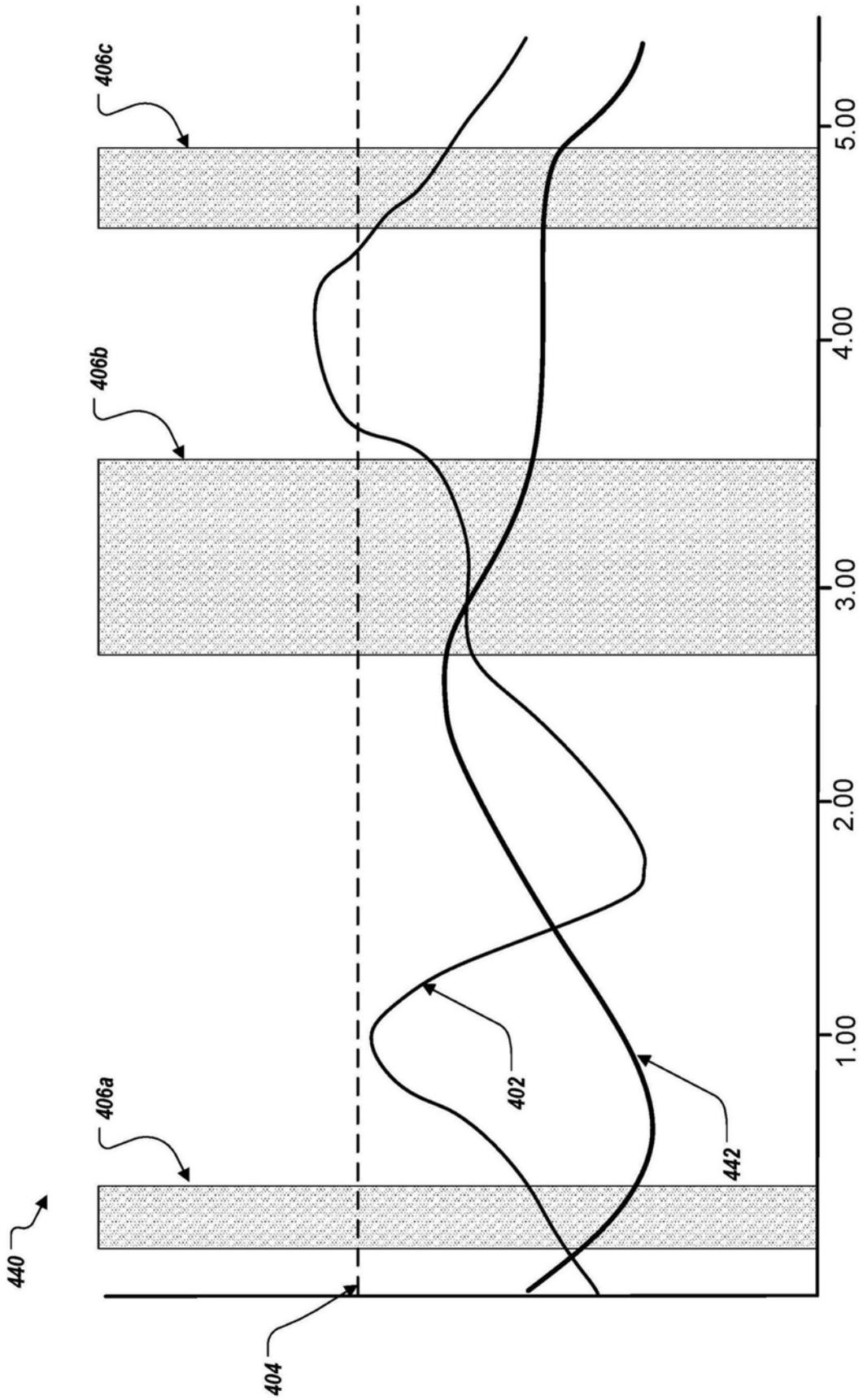


图4E

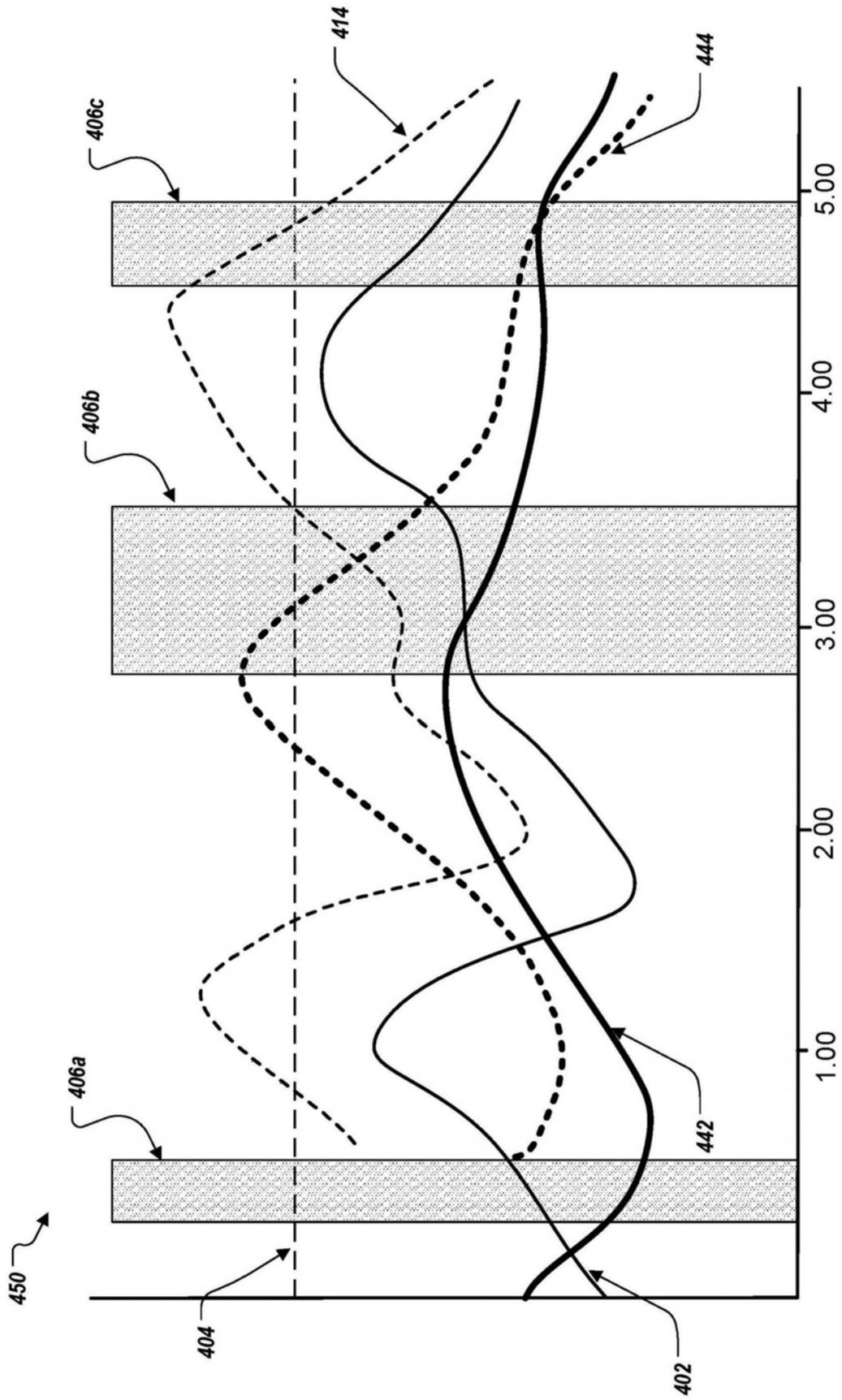


图4F

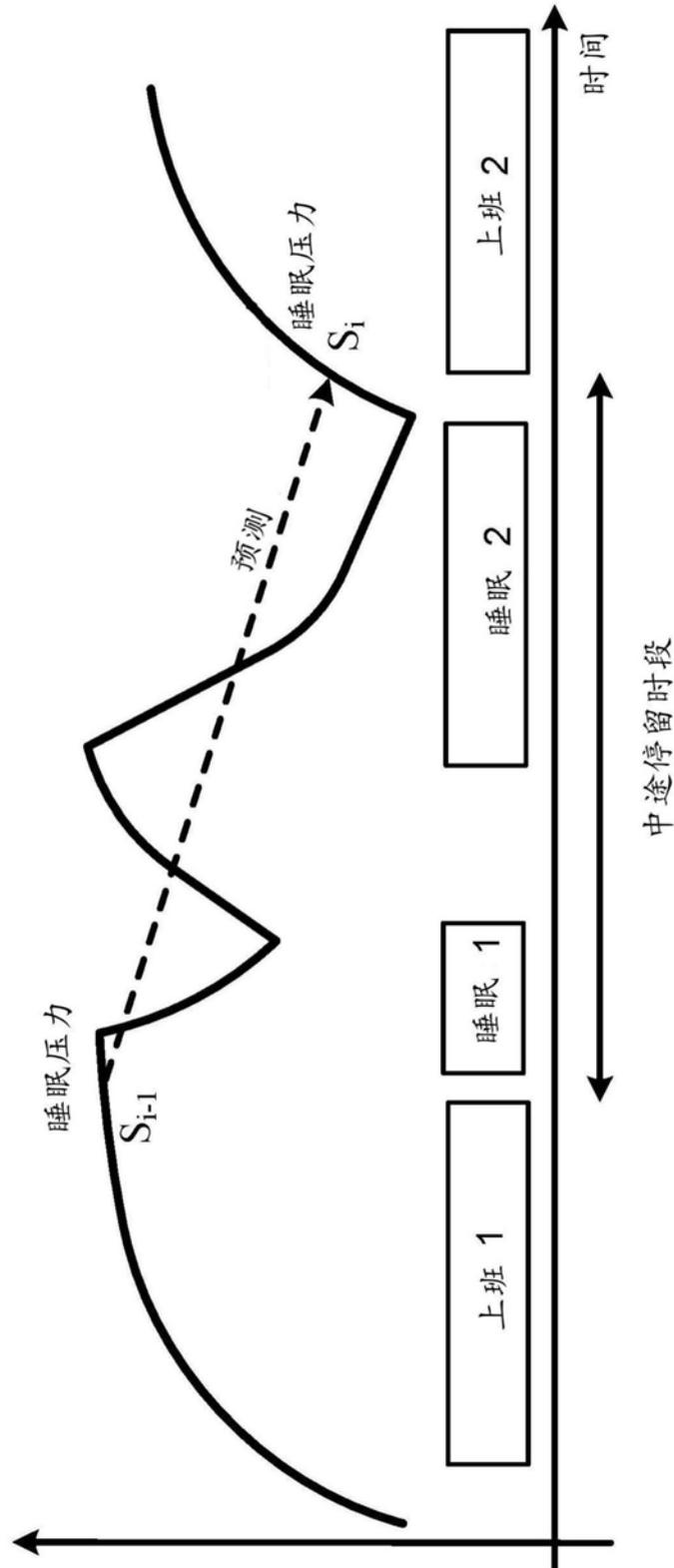


图5

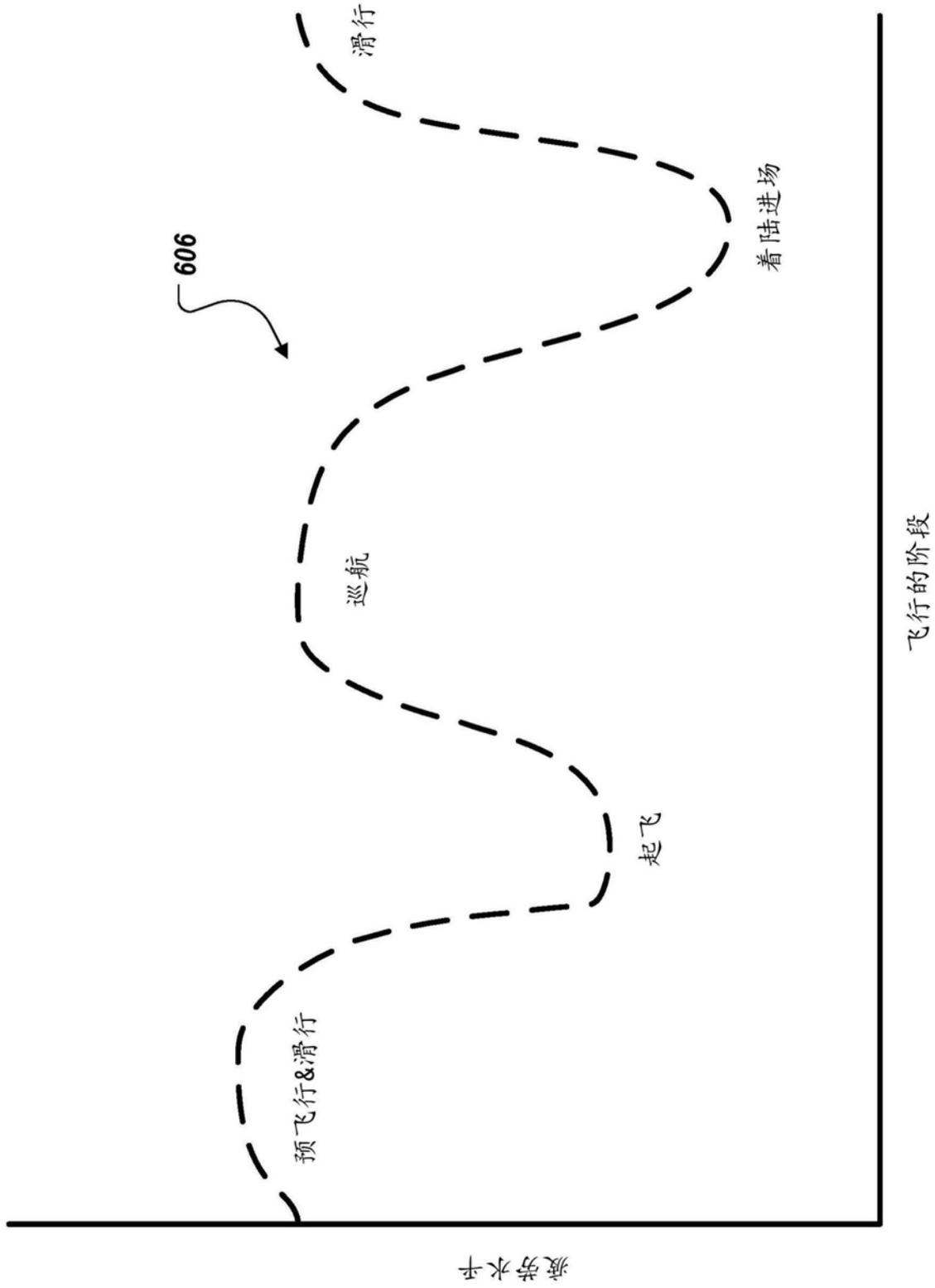


图6

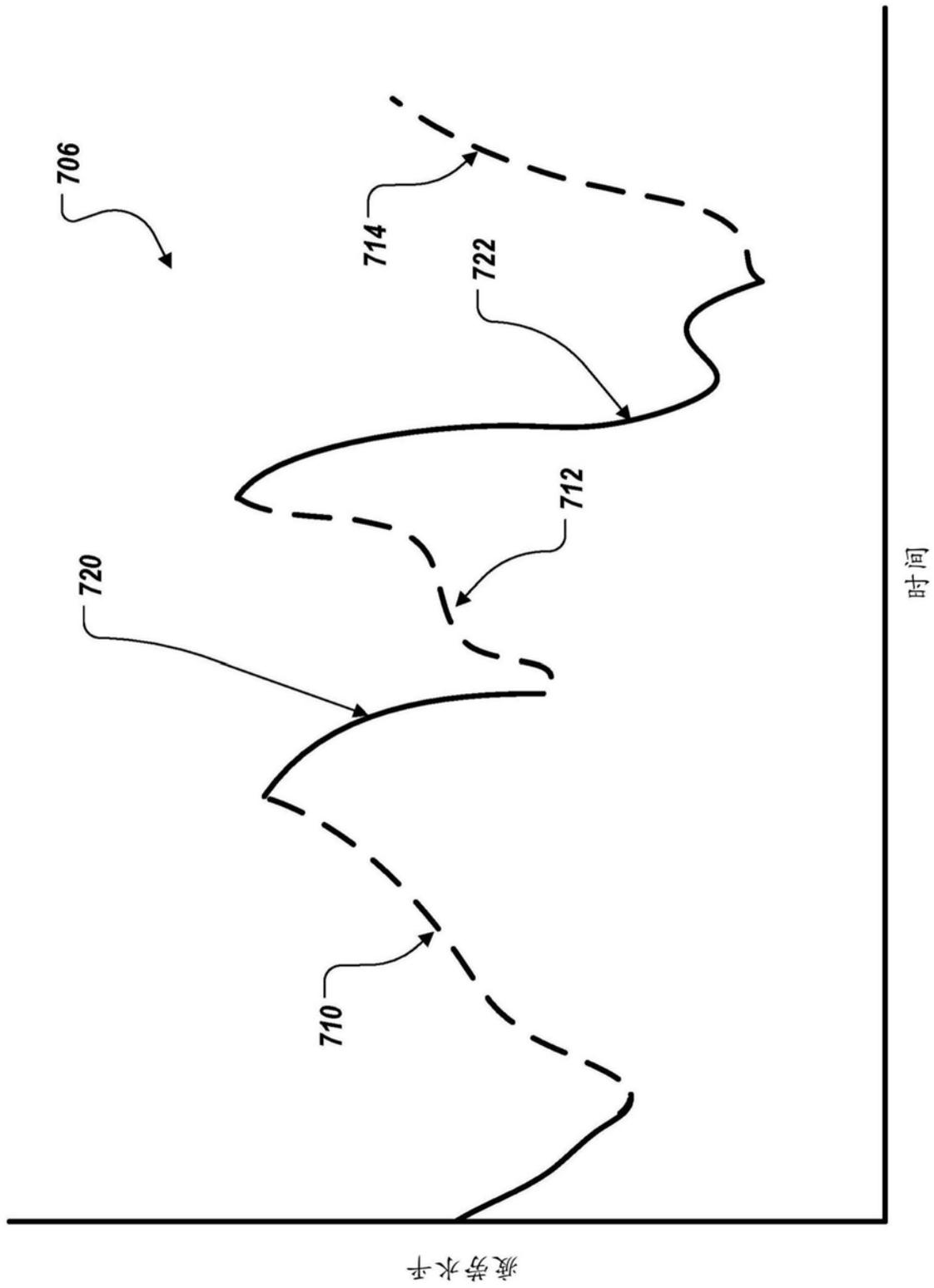


图7