



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114423342 A

(43) 申请公布日 2022. 04. 29

(21) 申请号 202080066654.8

(22) 申请日 2020.09.15

(30) 优先权数据

2019-177812 2019.09.27 JP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2022.03.23

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/IB2020/058539 2020.09.15

(87) PCT国际申请的公布数据

W02021/059080 JA 2021.04.01

(71) 申请人 株式会社半导体能源研究所

地址 日本神奈川县

(72) 发明人 小国哲平 秋元健吾 冈野达也

(74) 专利代理机构 上海专利商标事务所有限公司 31100

代理人 宋俊寅

(51) Int.Cl.

A61B 5/16 (2006.01)

A61B 3/11 (2006.01)

G16H 50/30 (2018.01)

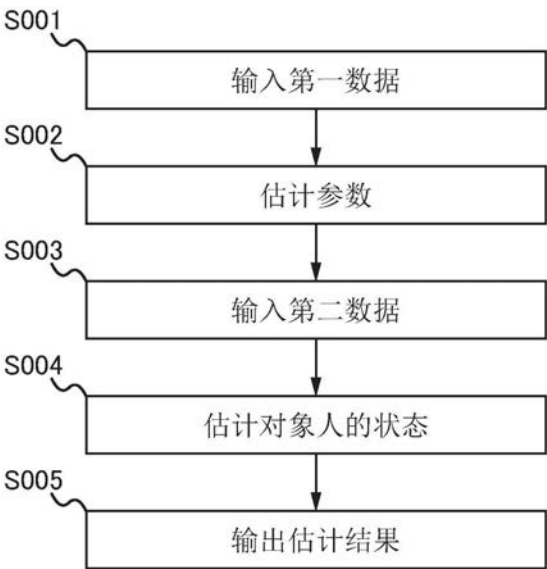
权利要求书2页 说明书13页 附图6页

(54) 发明名称

统计模型的生成方法、状态估计方法及状态估计系统

(57) 摘要

提供一种考虑个体差异而估计对象人的状态的方法。该方法包括：通过使用第一数据估计参数的统计模型从第二数据估计对象人的状态的步骤，其中第一数据包含具有多个人物的瞳孔面积的变化速度和多个人物的状态的数据的多个数据组，第二数据包含对象人的瞳孔面积的变化速度；以及输出对象人的状态的估计结果的步骤。注意，统计模型是使用有序逻辑回归的分层贝叶斯模型，其中线性预测器是截距、偏回归系数与解释变量之积以及表示个体差异的参数之总和。



1. 一种用来估计对象人的状态的统计模型的生成方法，

其中，所述统计模型是使用有序逻辑回归的分层贝叶斯模型，其中概率变量是伯努利分布，链接函数是logit链接函数，线性预测器是截距、偏回归系数与解释变量之积以及表示个体差异的参数之总和，

并且，所述统计模型的生成方法包括：

输入数据集的工序，所述数据集包含具有多个人物的瞳孔面积的变化速度和所述多个人物的状态的数据的多个数据组；

将所述截距的先验分布及所述偏回归系数的先验分布设定为无信息先验分布且将所述表示个体差异的参数的先验分布设定为分层先验分布的工序；以及

利用马尔科夫链蒙特卡洛法估计所述截距的后验分布、所述偏回归系数的后验分布及所述表示个体差异的参数的后验分布的工序。

2. 一种对象人的状态估计方法，包括：

通过使用第一数据估计参数的统计模型从第二数据估计对象人的状态的第一步骤；以及

输出所述对象人的状态的估计结果的第二步骤，

其中，所述统计模型是使用有序逻辑回归的分层贝叶斯模型，

所述第一数据包含具有多个人物的瞳孔面积的变化速度和所述多个人物的状态的数据的多个数据组，

所述第二数据包含所述对象人的瞳孔面积的变化速度，

所述瞳孔面积的变化速度为所述统计模型的解释变量，

并且，所述状态的数据为所述统计模型的反应变量。

3. 根据权利要求2所述的对象人的状态估计方法，

其中在所述有序逻辑回归中，概率变量是伯努利分布，链接函数是logit链接函数，线性预测器是截距、偏回归系数与所述解释变量之积以及表示个体差异的参数之总和。

4. 根据权利要求3所述的对象人的状态估计方法，

其中将所述截距的先验分布及所述偏回归系数的先验分布设定为无信息先验分布，

将所述表示个体差异的参数的先验分布设定为分层先验分布，

并且利用马尔科夫链蒙特卡洛法估计所述截距、所述偏回归系数及所述表示个体差异的参数的后验分布。

5. 一种状态估计系统，包括：

输入部；

输出部；

运算部；

主存储部；以及

辅助存储部，

其中，所述输入部具有输入第一数据及第二数据的功能，

所述运算部具有使用所述第一数据估计统计模型的参数生成所述统计模型的功能，

所述运算部具有基于所述统计模型从所述第二数据估计对象人的状态的功能，

所述输出部具有供应被估计的所述对象人的状态的信息的功能，

所述主存储部或所述辅助存储部具有储存所述统计模型的功能，
所述第一数据包含具有多个人物的瞳孔面积的变化速度和所述多个人物的状态的数据的多个数据组，
并且，所述第二数据包含所述对象人的瞳孔面积的变化速度。

统计模型的生成方法、状态估计方法及状态估计系统

技术领域

[0001] 本发明的一个方式涉及一种统计模型的生成方法。另外，本发明的一个方式涉及一种估计对象人的状态的方法。另外，本发明的一个方式涉及一种状态估计系统。

背景技术

[0002] 适当地管理健康状态是重要的课题。疲劳的积累引起健康状态的恶化。疲劳可以分为身体疲劳、精神疲劳及神经疲劳。因身体疲劳的积累而发生的症状较容易自知。另一方面，因精神疲劳或神经疲劳的积累而发生的症状在很多情况下不容易自知。若可以使精神疲劳或神经疲劳数值化，则可以客观地判断对象人的状态。就是说，若可以估计对象人的疲劳度、压力状态等，则可以适当地管理对象人的健康状态。

[0003] 近年来，使用机器学习等估计压力状态的方法受到注目。专利文献1公开了从对象人的信息估计压力度的压力判定装置。此外，专利文献2公开了一种压力度评价装置，其中根据与相对于虹膜直径的瞳孔直径的比率有关的值取得与压力度有关的值。

[先行技术文献]

[专利文献]

[0004] [专利文献1]日本专利申请公开第2018-11720号公报

[专利文献2]日本专利申请公开第2008-259609号公报

发明内容

发明所要解决的技术问题

[0005] 专利文献1所公开的压力判定装置使用机器学习。另外，专利文献2所公开的压力度评价装置使用基于统计的权重值。它们不考虑个体差异，在对象人不同时，判定结果或评价结果有可能发生差异。

[0006] 于是，本发明的一个方式的目的之一是考虑个体差异而估计对象人的状态。另外，本发明的一个方式的目的之一是提供一种考虑个体差异的状态估计系统。

[0007] 注意，这些目的的记载并不妨碍其他目的的存在。注意，本发明的一个方式并不需要实现所有上述目的。上述目的以外的目的可以显而易见地从说明书、附图、权利要求书等的描述中看出，并且可以从该描述中抽取上述目的以外的目的。

解决技术问题的手段

[0008] 本发明的一个方式是一种用来估计对象人的状态的统计模型的生成方法，统计模型是使用有序逻辑回归的分层贝叶斯模型，其中概率变量是伯努利分布，链接函数是logit链接函数，线性预测器(linear predictor)是截距、偏回归系数与解释变量之积以及表示个体差异的参数之总和。统计模型的生成方法包括：输入数据集的工序，数据集包含具有多个人物的瞳孔面积的变化速度和多个人物的状态的数据的多个数据组；将截距的先验分布及偏回归系数的先验分布设定为无信息先验分布且将表示个体差异的参数的先验分布设定为分层先验分布的工序；以及利用马尔科夫链蒙特卡洛法估计截距的后验分布、偏回归

系数的后验分布及表示个体差异的参数的后验分布的工序。

[0009] 本发明的另一个方式是一种对象人的状态估计方法,包括:通过使用第一数据估计参数的统计模型从第二数据估计对象人的状态的第一步骤;以及输出对象人的状态的估计结果的第二步骤。统计模型是使用有序逻辑回归的分层贝叶斯模型,第一数据包含具有多个人物的瞳孔面积的变化速度和多个人物的状态的数据的多个数据组,第二数据包含对象人的瞳孔面积的变化速度,瞳孔面积的变化速度为统计模型的解释变量,状态的数据为统计模型的反应变量。

[0010] 在上述方法的有序逻辑回归中,优选的是,概率变量是伯努利分布,链接函数是logit链接函数,线性预测器是截距、偏回归系数与解释变量之积以及表示个体差异的参数之总和。

[0011] 另外,在上述方法中,优选的是,将截距的先验分布及偏回归系数的先验分布设定为无信息先验分布,将表示个体差异的参数的先验分布设定为分层先验分布,利用马尔科夫链蒙特卡洛法估计截距、偏回归系数及表示个体差异的参数的后验分布。

[0012] 本发明的另一个方式是一种包括输入部、输出部、运算部、主存储部以及辅助存储部的状态估计系统。输入部具有输入第一数据及第二数据的功能,运算部具有使用第一数据估计统计模型的参数生成统计模型的功能,运算部具有基于统计模型从第二数据估计对象人的状态的功能,输出部具有供应被估计的对象人的状态的信息的功能,主存储部或辅助存储部具有储存统计模型的功能,第一数据包含具有多个人物的瞳孔面积的变化速度和多个人物的状态的数据的多个数据组,第二数据包含对象人的瞳孔面积的变化速度。

发明效果

[0013] 根据本发明的一个方式,可以考虑个体差异而估计对象人的状态。另外,根据本发明的一个方式,可以提供一种考虑个体差异的状态估计系统。

[0014] 注意,本发明的一个方式的效果不局限于上述列举的效果。上述列举的效果并不妨碍其他效果的存在。另外,其他效果是指将在下面的记载中描述的上述以外的效果。本领域技术人员可以从说明书或附图等的记载中导出并适当抽出上述以外的效果。此外,本发明的一个方式实现上述效果及/或其他效果中的至少一个效果。因此,本发明的一个方式有时不具有上述列举的效果。

附图简要说明

[0015] 图1A及图1B是说明分层贝叶斯模型的图。

图2是示出估计对象人的状态的方法的一个例子的流程图。

图3是示出估计参数的方法的一个例子的流程图。

图4是示出估计对象人的状态的方法的一个例子的流程图。

图5是示出估计对象人的状态的方法的一个例子的流程图。

图6A及图6B是示出状态估计系统的结构例子的方框图。

实施发明的方式

[0016] 参照附图对实施方式进行详细说明。注意,本发明不局限于以下说明,所属技术领域的普通技术人员可以很容易地理解一个事实就是其方式及详细内容在不脱离本发明的宗旨及其范围的情况下可以被变换为各种各样的形式。因此,本发明不应该被解释为仅限定在以下所示的实施方式所记载的内容中。

[0017] 注意,在以下说明的发明的结构中,在不同的附图之间共同使用同一附图标记来表示同一部分或具有同一功能的部分,而省略其重复说明。此外,当表示具有相同功能的部分时有时使用相同的阴影线,而不特别附加附图标记。

[0018] 另外,为了便于理解,有时附图中示出的各构成的位置、大小及范围等并不表示其实际的位置、大小及范围等。因此,所公开的发明不一定局限于附图所公开的位置、大小、范围等。

[0019] 此外,在本说明书中使用的“第一”、“第二”、“第三”等序数词是为了方便识别构成要素而附的,而不是为了在数目方面上进行限定的。

[0020] 在本说明书中,有时将对象人的疲劳度、对象人的压力状态等统称为对象人的状态。由此,可以将“对象人的状态”换称为“对象人的疲劳度”或“对象人的压力状态”。另外,有时可以将“压力状态”换称为“疲劳度”。

[0021] (实施方式1)

在本实施方式中,说明估计对象人的状态的方法及状态估计系统。注意,通过使用在本实施方式中说明的估计对象人的状态的方法可以检测对象人的异常,由此也可以将该估计对象人的状态的方法换称为检测对象人的异常的方法。另外,通过使用在本实施方式中说明的状态估计系统可以检测对象人的异常,由此也可以将该状态估计系统换称为异常检测系统。

[0022] <估计对象人的状态的方法>

首先,说明估计对象人的状态的方法。

[0023] 疲劳在自主神经或荷尔蒙的不平衡影响到脑子或身体时被感到。作为自主神经或荷尔蒙的不平衡的原因之一,可以举出压力。就是说,压力导致自主神经或荷尔蒙的不平衡而引起疲劳。因此,自主神经的不平衡(自主神经的紊乱)涉及到疲劳或压力。

[0024] 作为自主神经,有在身体活动、白天或紧张的状态下兴奋的交感神经以及在安静、夜间或放松的状态下兴奋的副交感神经。当交感神经占优势时,发生瞳孔的扩大(散瞳)、心率的促进或血压的上升等。另一方面,当副交感神经占优势时,发生瞳孔的缩小(缩瞳)、心率的抑制、血压的下降或睡意等。

[0025] 尤其是,已知散瞳及缩瞳受到自主神经的双重神经支配。例如,缩瞳的延迟受到交感神经的兴奋及副交感神经的涣散的影响。另外,例如,散瞳的延迟受到交感神经的涣散及副交感神经的兴奋的影响。尤其是,当副交感神经处于兴奋状态时,缩瞳及散瞳被抑制,瞳孔直径或瞳孔面积的变化速度变慢。因此,自主神经的不平衡导致缩瞳或散瞳的延迟,即瞳孔直径或瞳孔面积的变化速度变慢。

[0026] 如上所述,自主神经的不平衡涉及到疲劳度或压力状态。由此,根据对象人的瞳孔直径或瞳孔面积的变化速度,可以估计对象人的状态(对象人的疲劳度、对象人的压力状态等)。注意,瞳孔直径或瞳孔面积的变化速度被处理为数值。于是,在本发明的一个方式中,为了估计对象人的状态而使用统计模型。

[0027] 在统计模型中,设定解释变量及反应变量是很重要的。反应变量是指关于结果事情的变量。就是说,在本发明的一个方式中,反应变量为多个受检者的状态或对象人的状态。注意,该对象人也可以为该多个受检者中的一个。另外,解释变量是指关于原因事情的变量。就是说,在本发明的一个方式中,解释变量为瞳孔直径或瞳孔面积的变化速度。

[0028] 瞳孔面积与瞳孔直径的平方成比例。由此,与瞳孔直径的变化速度相比,观测或取得瞳孔面积的变化速度的推移是更容易的。在以下的说明中,作为解释变量使用瞳孔面积的变化速度。注意,在本说明书中,可以将瞳孔面积的变化速度换称为瞳孔直径的变化速度。

[0029] 注意,解释变量不局限于瞳孔面积的变化速度,也可以将瞳孔面积的变化速度与心率、脉搏、血压、体温、眨眼或姿态等的经过时间变化中的任一个或多个组合。另外,也可以取得关于对象人的状态的问卷调查来与它们组合。注意,眨眼的经过时间变化是指眨眼的时间间隔的经过时间变化、一次眨眼所需要的时间的经过时间变化等。

[0030] 在此,瞳孔面积的变化速度为施加改变受检者或对象人的状态的刺激之前后的瞳孔面积的变化度。例如,将施加该刺激之前的瞳孔面积定义为最大瞳孔面积,将施加该刺激之后的瞳孔面积定义为最小瞳孔面积。此时,将瞳孔面积的变化速度定义为相对于从最大瞳孔面积变化到最小瞳孔面积所需要的时间的最大瞳孔面积与最小瞳孔面积之差。就是说,瞳孔面积的变化速度相当于从最大瞳孔面积变化到最小瞳孔面积时的倾斜度。注意,也可以将最大瞳孔面积定义为施加该刺激之前的规定期间的瞳孔面积的平均值。另外,也可以将最小瞳孔面积定义为施加该刺激之后的规定期间的瞳孔面积的平均值。

[0031] 关于反应变量的受检者的状态参照自我评价。受检者的状态的自我评价通过问卷调查等方法来取得。

[0032] 一般而言,关于受检者的状态的问卷调查以间隔尺度或顺序尺度测定。注意,以间隔尺度测定的数据为定量数据,以顺序尺度测定的数据为定性数据。

[0033] 例如,用“感到压力”、“没有感到压力”的两个等级评价调查压力状态。或者,例如,用“非常感到压力”、“稍微感到压力”、“没有感到压力”的三个等级评价调查压力状态。注意,不局限于此,也可以用四个等级以上的多个等级评价调查压力状态。

[0034] 注意,顺序尺度及间隔尺度可以在刻度间隔之差相等的假定上施加数值。例如,在用三个等级评价调查压力状态的情况下,“非常感到压力”可以为2,“稍微感到压力”可以为1,“没有感到压力”可以为0。此时,以顺序尺度测定的数据也可以被看作定量数据。注意,也可以使用压力指数测定压力状态。例如,优选设定为如下:感到的压力越高压力指数越高,感到的压力越低压力指数越低。

[0035] 如上所述,因为受检者的状态以顺序尺度或间隔尺度测定,所以是离散数据。并且,受检者的状态的数据由非负整数表示。就是说,受检者的状态的数据为计数数据。并且,受检者的状态的数据在有限范围内。

[0036] 受检者的状态有个体差异。作为个体差异,例如有相对于白眼珠的区域的黑眼珠的区域的比率、相对于黑眼珠的区域的瞳孔面积的比率、相对于压力的瞳孔面积的变化速度之差异等。注意,个体差异是与受检者的状态独立的要素。就是说,个体差异被推测为随机效应。于是,为了在对象人的状态的估计中考虑个体差异,优选使用可以考虑随机效应的统计模型。

[0037] 由此,为了考虑个体差异而估计对象人的状态,优选使用统计模型中的一般线性混合模型(*generalized linear mixed model:GLMM*)。一般线性混合模型为扩大一般线性模型(*generalized linear model:GLM*)的统计分析模型。一般线性混合模型为除了固定效应之外还可以考虑随机效应的统计模型。

[0038] 一般线性混合模型是指定概率分布、线性预测器及链接函数的统计模型。在概率分布中, 概率变量的值与其出现概率对应。线性预测器是由参数与解释变量的线性组合表示的算式。链接函数是导出线性预测器的函数。注意, 在很多情况下, 通过决定概率分布来自动决定链接函数。

[0039] 如上所述, 受检者的状态的数据作为有限范围的计数数据被取得。由此, 优选作为用于对象人的状态的估计的统计模型使用逻辑回归。尤其是, 当用三个等级以上的多个等级评价取得受检者的状态时, 优选作为统计模型使用有序逻辑回归。在反应变量为三个分类以上的顺序尺度或间隔尺度的数据的情况下, 优选使用有序逻辑回归。

[0040] 在本实施方式的有序逻辑回归中, 作为概率分布使用伯努利分布。另外, 作为链接函数使用logit链接函数。另外, 线性预测器是截距、解释变量与偏回归系数之积以及表示个体差异的参数之总和。或者, 线性预测器是截距、解释变量与偏回归系数之积、表示个体差异的参数以及表示环境差异的参数之总和。注意, 截距、偏回归系数、表示个体差异的参数及表示环境差异的参数为统计模型的参数。另外, 有时将截距和偏回归系数简单地称为参数。

[0041] 为了生成用来估计对象人的状态的统计模型, 需要估计统计模型的参数。作为统计模型的参数的估计方法, 有最大似然估计、最大后验概率估计、贝叶斯估计等。最大似然估计、最大后验概率估计的参数估计为点估计。在本实施方式中, 因为所观测的数据数有可能不多, 所以优选使用估计统计模型的参数的概率分布的贝叶斯估计而不对统计模型的参数进行点估计。

[0042] 在贝叶斯估计中使用的统计模型(也称为贝叶斯统计模型)具有后验分布和似然度与先验分布之积成比例的结构。在贝叶斯估计中, 要估计的参数的概率分布被求出为后验分布。

[0043] 贝叶斯估计中的后验分布有时难以在分析上求出。在不能够在分析上求出时, 贝叶斯估计中的后验分布可以在数值上求出。例如, 优选利用数值积分或马尔科夫链蒙特卡罗(Markov Chain Monte Carlo:MCMC)法等。另外, 作为MCMC法的算法, 优选利用Metropolis法或吉布斯采样法等。

[0044] 上述统计模型的参数中的截距及偏回归系数是全局性地说明数据整体的参数。另外, 表示个体差异的参数及表示环境差异的参数是仅说明数据的一部分的说明的局部性的参数。全局性的参数使用无信息先验分布估计。另外, 局部性的参数指定分层先验分布估计。

[0045] 本实施方式的统计模型的参数至少包含表示个体差异的参数。于是, 在本实施方式的贝叶斯统计模型中, 优选使用分层先验分布。使用分层先验分布的贝叶斯模型也被称为分层贝叶斯模型。在本实施方式中, 优选的是, 使用分层贝叶斯模型生成统计模型, 通过MCMC法在数值上求出后验分布。

[0046] <<估计对象人的状态的方法的详细内容>>

在本节中, 说明估计对象人的状态的方法的详细内容。

[0047] 图1A是示出作为本发明的一个方式的统计模型的分层贝叶斯模型的图。如图1A所示, 作为分层贝叶斯模型100使用有序逻辑回归。注意, 在有序逻辑回归中, 作为概率分布使用伯努利分布, 作为链接函数使用logit链接函数。另外, 线性预测器是截距101、偏回归系

数102与解释变量之积以及表示个体差异的参数103之总和。

[0048] 另外,解释变量111为瞳孔面积的变化速度。就是说,解释变量是一个。另外,反应变量112为用三个等级评价的压力状态(被分类为三个的数据)。例如,将“非常感到压力”表示为等级3,将“稍微感到压力”表示为等级2,将“没有感到压力”表示为等级1。

[0049] 首先,准备多个人物的瞳孔面积的变化速度及该多个人物的压力状态的N组(N为正的整数)数据。在此,该多个人物为上述多个受检者。注意,对象人也可以包括在该多个人物中。另外,该多个人物的个数优选为2以上。另外,该多个人物的个数优选为N以下。下面,有时将该多个人物记载为受检者或多个受检者。

[0050] 接着,将用三个等级评价调查了的压力状态分类为等级1、与等级2及等级3。此时的逻辑函数(logistic function)及线性预测器可以表示为如下。

[0051] [算式1]

$$q_{i,1} = \text{logistic}(\eta_{i,1}) = \frac{1}{1 + \exp(-\eta_{i,1})}$$

$$\eta_{i,1} = \text{logit}(q_{i,1}) = \log \frac{q_{i,1}}{1 - q_{i,1}} = \beta_{01} + \beta_1 x_i + r_i$$

[0052] 在此, $q_{i,1}$ 是第i个(i为1以上且N以下的整数)数据成为等级2或等级3的概率。 $\eta_{i,1}$ 是 $q_{i,1}$ 的logit。 β_{01} 、 β_1 、 r_i 是参数。 β_{01} 是截距。 β_1 是偏回归系数。 r_i 是表示个体差异的参数。 x_i 是第i个解释变量,其是第i个数据所包含的瞳孔面积的变化速度。另外,在表示这里的压力状态的数据Y为 Y_1 时, Y_1 中的表示等级1的数据为0,表示等级2或等级3的数据为1。

[0053] 接着,将用三个等级评价调查了的压力状态分类为等级1及等级2、与等级3。此时的逻辑函数及线性预测器可以表示为如下。

[0054] [算式2]

$$q_{i,2} = \text{logistic}(\eta_{i,2}) = \frac{1}{1 + \exp(-\eta_{i,2})}$$

$$\eta_{i,2} = \text{logit}(q_{i,2}) = \log \frac{q_{i,2}}{1 - q_{i,2}} = \beta_{02} + \beta_1 x_i + r_i$$

[0055] 在上式中, $q_{i,2}$ 是第i个数据成为等级3的概率。 $\eta_{i,2}$ 是 $q_{i,2}$ 的logit。 β_{02} 、 β_1 、 r_i 是参数。 β_{02} 是截距。注意, β_{02} 以外的参数与上述 β_1 及 r_i 相同。另外,在表示这里的压力状态的数据Y为 Y_2 时, Y_2 中的表示等级1或等级2的数据为0,表示等级3的数据为1。

[0056] 注意,在有序逻辑回归中,成为等级1的概率、成为等级2的概率及成为等级3的概率之总和是1。由此,第i个数据成为等级1的概率是 $1 - q_{i,1}$,第i个数据成为等级2的概率是 $q_{i,1} - q_{i,2}$ 。

[0057] 为了从被输入的解释变量生成用来估计被分为类哪个等级的概率高的统计模型,需要估计作为参数的 β_{0k} (k为1或2)、 β_1 、 r_i 。

[0058] 如上所述,分层贝叶斯模型的后验分布和似然度与先验分布之积成比例。另外,参数 β_{0k} 、 β_1 为固定效应,参数 r_i 为随机效应。由此,满足下述关系。

[0059] [算式3]

$$p(\beta_{01}, \beta_1, s, \{r_i\} | Y_1) = \frac{p(Y_1 | \beta_{01}, \beta_1, \{r_i\}) p(\beta_{01}) p(\beta_1) p(s) \prod_i p(r_i | s)}{p(Y_1)}$$

$$p(\beta_{02}, \beta_1, s, \{r_i\} | Y_2) = \frac{p(Y_2 | \beta_{02}, \beta_1, \{r_i\}) p(\beta_{02}) p(\beta_1) p(s) \prod_i p(r_i | s)}{p(Y_2)}$$

[0060] 在此,左边是后验分布,其是被供应数据 Y_1 或数据 Y_2 时的 β_{0k} 、 β_1 、 s 及 r_i 的概率分布。右边的 $p(\beta_{0k})$ 及 $p(\beta_1)$ 分别是截距 β_{0k} 及偏回归系数 β_1 的先验分布。在此,因为截距及偏回归系数是固定效应,所以将 $p(\beta_{0k})$ 及 $p(\beta_1)$ 设定为无信息先验分布。

[0061] 由于参数 r_i 是随机效应,所以将 $p(r_i | s)$ 设定为分层先验分布。就是说, r_i 的先验分布都跟随平均零且标准偏差 s 的正态分布。在此,有时将 s 称为超参数。另外,有时将 $p(s)$ 称为超先验分布。另外,将 $p(s)$ 设定为无信息先验分布。

[0062] 如上所述那样进行设定,利用MCMC法估计上式的左边的后验分布。由此,通过估计上式的左边的后验分布,可以估计多个参数的后验分布。

[0063] 由此,可以估计参数 β_{0k} (k 为1或2)、 β_1 、 s 及 r_i 。因此,从解释变量生成统计模型,该统计模型用来估计被分类为哪个等级的概率高。例如,将瞳孔面积的变化速度输入到解释变量,使用 β_{0k} 、 β_1 、 r_i 的后验分布的平均,分别算出成为等级1的概率、成为等级2的概率及成为等级3的概率。通过比较这些概率,可以估计相对于所输入的瞳孔面积的变化速度的疲劳度被分类为哪个等级的概率最高。

[0064] 注意,如图1B所示,也可以对线性预测器加上表示环境差异的参数 e_j (j 为正的整数)。因此,可以考虑个体差异及环境差异而估计压力状态。

[0065] 由于参数 e_j 是随机效应,所以 e_j 的先验分布都跟随平均零且标准偏差 s_p 的正态分布。另外,将 $p(s_p)$ 设定为无信息先验分布。

[0066] 另外,反应变量是被评价为 $(m+1)$ 个等级(m 为3以上)的压力状态。此时,数据被分类为 $(m+1)$ 个。在此情况下,优选的是,数据被分类为 m 个等级,准备 m 组逻辑函数及逻辑模型。注意,参数为 β_{01} 至 β_{0m} 、 β_1 、 s 、 r_i 。由此,通过估计这些参数,可以从解释变量生成用来估计压力状态的统计模型。

[0067] 以上是估计对象人的状态的方法的详细说明。

[0068] 由此,可以考虑个体差异而估计对象人的状态。

[0069] <估计对象人的状态的方法的步骤>

接着,说明估计对象人的状态的方法的步骤。

[0070] 在此,作为用来估计对象人的状态的统计模型,使用分层贝叶斯模型。另外,作为统计模型优选使用有序逻辑回归。另外,在有序逻辑回归中,作为概率变量使用伯努利分布,作为链接函数使用logit链接函数。另外,线性预测器是截距、解释变量与偏回归系数之积以及表示个体差异的参数之总和。注意,截距及偏回归系数也是参数。

[0071] 图2是示出估计对象人的状态的方法的一个例子的流程图。估计对象人的状态的方法包括图2所示的步骤S001至步骤S005。

[0072] 步骤S001是输入第一数据的工序。第一数据包含受检者的瞳孔面积的变化速度及受检者的状态的多个数据组(数据集)。注意,受检者优选为多个人。另外,对象人也可以包括在受检者中。受检者的状态的数据是指受检者的疲劳度、受检者的压力状态(或压力指数)等。注意,第一数据也可以包含受检者的心率、脉搏、血压、体温、眨眼或姿态等的经过时间变化中的任一个或多个数据。

[0073] 在本实施方式中,考虑个体差异而估计对象人的状态。于是,优选将表示受检者的

ID分配于第一数据所包含的数据集的每一个。另外,在考虑个体差异及环境差异而估计对象人的状态的情况下,优选将表示受检者的ID及表示测定环境的ID分配于第一数据所包含的数据集的每一个。

[0074] 步骤S002是估计统计模型所包含的参数的工序。注意,通过估计该参数,可以生成用来估计对象人的状态的统计模型。就是说,可以将参数的估计换称为统计模型的生成。

[0075] 参照图3说明步骤S002的详细内容。步骤S002包括步骤S101及步骤S102。

[0076] 在第一数据所包含的数据中,使瞳孔面积的变化速度为统计模型的解释变量,使受检者的状态的数据为统计模型的反应变量。注意,在第一数据包含受检者的心率、脉搏、血压、体温、眨眼或姿态等的经过时间变化中的任一个或多个数据的情况下,这些数据也可以被用作统计模型的解释变量。

[0077] 步骤S101是设定参数的先验分布的工序。因为截距及偏回归系数是个体效应,所以将截距的先验分布及偏回归系数的先验分布设定为无信息先验分布。另外,因为表示个体差异的参数是随机效应,所以将表示个体差异的参数的先验分布设定为分层先验分布。

[0078] 步骤S102是估计参数的后验分布的工序。参数的后验分布的估计优选使用MCMC法。

[0079] 通过进行步骤S002(步骤S101及步骤S102),可以估计统计模型所包含的参数。因此,可以生成统计模型。

[0080] 以上是步骤S002的详细说明。

[0081] 步骤S003是输入第二数据的工序。第二数据需要包含第一数据所具有的解釋变量。就是说,第二数据至少包含对象人的瞳孔面积的变化速度。

[0082] 在本实施方式中,考虑个体差异而估计对象人的状态。于是,优选将表示对象人的ID分配于第二数据。另外,在考虑个体差异及环境差异而估计对象人的状态的情况下,优选将表示对象人的ID及表示测定环境的ID分配于第二数据。

[0083] 步骤S004是从第二数据所包含的瞳孔面积的变化速度估计对象人的状态的工序。对象人的状态的估计使用在步骤S002中生成了的统计模型。

[0084] 步骤S005是供应信息工序。该信息为在步骤S004中估计的对象人的状态的信息。该信息例如作为字符串、数值、图表、颜色等视觉信息或声音、音乐等听觉信息等被供应。

[0085] 在供应上述信息之后步骤S005结束。

[0086] 注意,当在步骤S004中估计的对象人的状态被判断为正常或不异常时,也可以不供应上述信息。此时,也可以在步骤S004结束之后工序结束。另外,在用 $(m+1)$ 个等级(m 为3以上)估计对象人的状态的情况下,也可以预先指定不供应上述信息的等级。

[0087] 估计对象人的状态的方法的步骤不局限于上述步骤。例如,也可以根据图4或图5所示的流程估计对象人的状态。

[0088] 图4是示出估计对象人的状态的方法的另一个例子的流程图。估计对象人的状态的方法也可以包括图4所示的步骤S011至步骤S017。

[0089] 步骤S011是输入第一数据的工序。第一数据包含受检者的瞳孔面积的时间序列变化及受检者的状态的多个数据组。注意,受检者优选为多个人。另外,对象人也可以包括在受检者中。另外,第一数据也可以包含受检者的心率、脉搏、血压、体温、眨眼或姿态等的经

过时间变化中的任一个或多个数据。

[0090] 步骤S012是根据第一数据所包含的瞳孔面积的时间序列变化算出瞳孔面积的变化速度的工序。注意,在第一数据包含心率、脉搏、血压、体温、眨眼或姿态等的经过时间变化中的任一个或多个数据的情况下,也可以算出它们的变化速度。

[0091] 步骤S013是估计统计模型所包含的参数的工序。步骤S013是与步骤S002同样的工序。由此,步骤S013包括图3所示的步骤S101及步骤S102。步骤S013的说明可以参照步骤S002、步骤S101及步骤S102的说明。

[0092] 通过进行步骤S013,可以估计统计模型所包含的参数。因此,可以生成统计模型。

[0093] 步骤S014是输入第二数据的工序。第二数据需要包含第一数据所具有的数据。就是说,第二数据至少包含对象人的瞳孔面积的时间序列变化。注意,在第二数据包含对象人的瞳孔面积的变化速度的情况下,也可以省略下面说明的步骤S015。

[0094] 步骤S015是根据第二数据所包含的瞳孔面积的时间序列变化算出瞳孔面积的变化速度的工序。注意,在第二数据包含对象人的心率、脉搏、血压、体温、眨眼或姿态等的经过时间变化中的任一个或多个数据的情况下,也可以算出它们的变化速度。

[0095] 步骤S016是根据在步骤S015中算出的瞳孔面积的变化速度估计对象人的状态的工序。对象人的状态的估计使用在步骤S013中生成了的统计模型。

[0096] 步骤S017是供应信息工序。该信息为在步骤S016中估计的对象人的状态的信息。该信息例如作为字符串、数值、图表、颜色等视觉信息或声音、音乐等听觉信息等被供应。

[0097] 在供应上述信息之后步骤S017结束。

[0098] 参照图5说明上述之外的估计对象人的状态的方法的步骤。图5是示出估计对象人的状态的方法的另一个例子的流程图。估计对象人的状态的方法也可以包括图5所示的步骤S021至步骤S029。

[0099] 步骤S021是输入第一数据的工序。第一数据包含动态图像及受检者的状态的多个数据组。在此,动态图像是指2帧以上的图像的集合。另外,该动态图像作为被拍摄体包含受检者的眼睛。受检者优选为多个人。另外,对象人也可以包括在受检者中。注意,该动态图像既可以使用摄像装置拍摄,又可以被后述状态估计系统所包括的摄像部拍摄。另外,第一数据也可以包含受检者的心率、脉搏、血压、体温、眨眼或姿态等的经过时间变化中的任一个或多个数据。

[0100] 步骤S022是从第一数据所包含的动态图像检测出瞳孔的工序。就是说,步骤S022是从作为被拍摄体包含受检者的眼睛的动态图像检测出瞳孔的工序。首先,从动态图像所包含的图像中检测出第一物体。第一物体例如为眼睛。注意,在该图像包含两个眼睛时,检测一只眼睛。接着,从第一物体检测出第二物体。第二物体例如为瞳孔。具体而言,通过进行圆形抽出,可以从眼睛检测出瞳孔。由此,可以从第一数据所包含的动态图像检测出瞳孔。

[0101] 注意,在步骤S022中,也可以进行图像处理。作为图像处理,例如优选进行噪声去除、灰度化、归一化、对比度调整等。因此,可以以高精度检测瞳孔。

[0102] 另外,优选在步骤S022中进行机器学习。例如,优选利用神经网络进行机器学习。通过利用机器学习从第一数据所包含的动态图像检测出瞳孔,例如,与用人眼检测瞳孔的情况相比,可以短时间检测瞳孔。另外,例如,即便周围的风光映在瞳孔中,也可以以高精度

检测瞳孔的位置或瞳孔与虹膜的境界。

[0103] 步骤S023是根据在步骤S022中检测的瞳孔算出瞳孔面积的变化速度的工序。首先,算出第二物体的面积。通过步骤S022及算出第二物体的面积的工序,可以算出动态图像所包含的每个图像的瞳孔面积。就是说,可以取得瞳孔面积的时间序列变化。

[0104] 接着,根据瞳孔面积的时间序列变化算出瞳孔面积的变化速度。通过上述工序,可以根据作为被拍摄体包含受检者的眼睛的动态图像算出瞳孔面积的变化速度。

[0105] 注意,在第一数据包含受检者的心率、脉搏、血压、体温、眨眼或姿态等的经过时间变化中的任一个或多个数据的情况下,也可以算出它们的变化速度。

[0106] 步骤S024是估计统计模型所包含的参数的工序。步骤S024是与步骤S002同样的工序。由此,步骤S024包括图3所示的步骤S101及步骤S102。步骤S024的说明可以参照步骤S002、步骤S101及步骤S102的说明。

[0107] 通过进行步骤S024,可以估计统计模型所包含的参数。因此,可以生成统计模型。

[0108] 步骤S025是输入第二数据的工序。第二数据需要包含第一数据所具有的数据。就是说,第二数据至少包含作为被拍摄体包含对象人的一只眼睛的动态图像。注意,该动态图像优选被后述状态估计系统所包括的摄像部拍摄。注意,在第二数据包含对象人的瞳孔面积的变化速度的情况下,也可以省略下面说明的步骤S026及步骤S027。

[0109] 步骤S026是从第二数据所包含的动态图像检测出瞳孔的工序。就是说,步骤S026是从作为被拍摄体包含对象人的眼睛的动态图像检测出瞳孔的工序。注意,由于步骤S026为与步骤S022相同的工序,所以步骤S026的说明可以参照步骤S022的说明。

[0110] 步骤S027是根据在步骤S026中检测的瞳孔算出瞳孔面积的变化速度的工序。注意,由于步骤S027为与步骤S023相同的工序,所以步骤S027的说明可以参照步骤S023的说明。

[0111] 注意,在第二数据包含对象人的心率、脉搏、血压、体温、眨眼或姿态等的经过时间变化中的任一个或多个数据的情况下,也可以算出它们的变化速度。

[0112] 步骤S028是根据在步骤S027中算出的瞳孔面积的变化速度估计对象人的状态的工序。对象人的状态的估计使用在步骤S024中生成了的统计模型。

[0113] 步骤S029是供应信息的工序。该信息为在步骤S028中估计的对象人的状态的信息。该信息例如作为字符串、数值、图表、颜色等视觉信息或声音、音乐等听觉信息等被供应。

[0114] 在供应上述信息之后步骤S029结束。

[0115] 通过使用图5所示的估计对象人的状态的方法,可以一直估计对象人的状态,由此可以一直管理对象人的健康状态。换言之,通过使用图5所示的估计对象人的状态的方法,可以检测对象人的异常,由此可以一直管理对象人的健康状态。

[0116] 注意,估计对象人的状态的方法也可以组合上述步骤。例如,也可以依次实施步骤S011、步骤S012、步骤S013、步骤S025、步骤S026、步骤S027、步骤S028、步骤S029而估计对象人的状态。因此,可以一直估计对象人的状态,所以可以一直管理对象人的健康状态。另外,与动态图像的数据量相比,瞳孔面积的时间序列变化的数据量更少,所以即便数据量较少也可以以高精度估计对象人的状态。由此,可以减少后述状态估计系统所包括的存储部(主存储部或辅助存储部)所储存的数据量。

[0117] 以上是估计对象人的状态的方法的一个例子的说明。因此,可以考虑个体差异而估计对象人的状态。

[0118] <状态估计系统的结构例子>

接着,说明状态估计系统的结构例子。

[0119] 图6A是示出作为本发明的一个方式的状态估计系统的状态估计系统10的结构例子的方框图。状态估计系统10包括信息处理装置20。

[0120] 信息处理装置20包括输入部21、输出部22、运算部23、主存储部24及辅助存储部25。信息处理装置20所包括的构成要素间的数据等可以通过传送通道27传送。

[0121] 输入部21具有输入数据的功能。作为输入部21,有键盘、鼠标等输入器件。输出部22具有供应信息的功能。

[0122] 运算部23具有进行运算处理的功能。运算部23例如具有对从输入部21、主存储部24、辅助存储部25等通过传送通道27传送到运算部23的数据进行规定运算处理的功能。另外,运算部23具有估计参数的功能及估计对象人的状态的功能。另外,运算部23也可以具有加工动态图像所包含的图像的功能、根据图像算出瞳孔面积的功能、根据瞳孔面积的时间序列变化算出瞳孔面积的变化速度的功能等。运算部23例如可以包括CPU(Central Processing Unit:中央处理器)及GPU(Graphics Processing Unit:图形处理器)等。

[0123] 主存储部24具有储存数据及程序等的功能。运算部23可以读取主存储部24所储存的数据及程序等并执行运算处理。例如,运算部23可以通过执行从主存储部24读取的程序来对从主存储部24读取的数据执行规定运算处理。

[0124] 主存储部24优选与辅助存储部25相比高速地进行工作。主存储部24例如可以包括DRAM(Dynamic Random Access Memory:动态随机存取存储器)、SRAM(Static Random Access Memory:静态随机存取存储器)等。

[0125] 辅助存储部25具有与主存储部24相比长期间储存数据及程序等的功能。辅助存储部25例如可以包括HDD(Hard Disk Drive:硬盘驱动器)、SSD(Solid State Drive:固态驱动器)等。另外,辅助存储部25也可以包括ReRAM(Resistive Random Access Memory:电阻随机存取存储器,也称为阻变式存储器)、PRAM(Phase change Random Access Memory:相变存储器)、FeRAM(Ferroelectric Random Access Memory:铁电随机存取存储器)、MRAM(Magnetoresistive Random Access Memory:磁阻随机存取存储器,也称为磁阻式存储器)或快闪存储器等非易失性存储器。

[0126] 通过参数的估计生成的统计模型被储存在辅助存储部25中。注意,该统计模型也可以储存在主存储部24中。

[0127] 信息处理装置20例如可以设置在智能手机、平板终端、个人计算机等信息终端中。

[0128] 注意,信息处理装置20除了上述之外还可以包括摄像部。摄像部具有进行摄像并取得摄像数据的功能。

[0129] 注意,状态估计系统10的结构不局限于上述结构。例如,如图6B所示,状态估计系统10除了信息处理装置20之外还可以包括信息处理装置30。

[0130] 信息处理装置20除了输入部21、输出部22、运算部23、主存储部24及辅助存储部25之外还包括通信部26。注意,关于信息处理装置20及信息处理装置20所包括的构成要素的说明,可以参照上述说明。

[0131] 通信部26具有与设置在信息处理装置20的外部的装置等进行数据等的收发的功能。另外,通信部26可以具有向网络供应数据等的功能及从网络取得数据等的功能。

[0132] 运算部23例如具有对从输入部21、主存储部24、辅助存储部25、通信部26等通过传送通道27传送到运算部23的数据进行规定运算处理的功能。

[0133] 信息处理装置30包括输入部31、输出部32、运算部33、主存储部34、辅助存储部35及通信部36。信息处理装置30所包括的构成要素间的数据等可以通过传送通道37传送。

[0134] 输入部31具有输入数据的功能。作为输入部31,有键盘、鼠标等输入器件。输出部32具有供应信息的功能。

[0135] 运算部33具有进行运算处理的功能。运算部33例如具有对从输入部31、主存储部34、辅助存储部35、通信部36等通过传送通道37传送到运算部33的数据进行规定运算处理的功能。另外,运算部33具有估计参数的功能及估计对象人的状态的功能。另外,运算部33也可以具有加工动态图像所包含的图像的功能、根据图像算出瞳孔面积的功能、根据瞳孔面积的时间序列变化算出瞳孔面积的变化速度的功能等。运算部33例如可以包括CPU及GPU等。

[0136] 主存储部34具有储存数据及程序等的功能。运算部33可以读取主存储部34所储存的数据及程序等并执行运算处理。例如,运算部33可以通过执行从主存储部34读取的程序来对从主存储部34读取的数据执行规定运算处理。

[0137] 主存储部34优选与辅助存储部35相比高速地进行工作。主存储部34例如可以包括DRAM、SRAM等。

[0138] 辅助存储部35具有与主存储部34相比长期间储存数据及程序等的功能。辅助存储部35例如可以包括HDD、SSD等。另外,辅助存储部35也可以包括ReRAM、PRAM、FeRAM、MRAM或快闪存储器等非易失性存储器。

[0139] 通过参数的估计生成的统计模型被储存在辅助存储部35中。注意,该统计模型也可以储存在主存储部34中。

[0140] 通信部36具有与设置在信息处理装置30的外部的装置等进行数据等的收发的功能。例如,通过将数据等从通信部26供应到通信部36,可以将数据等从信息处理装置20供应到信息处理装置30。另外,通信部36可以具有向网络供应数据等的功能及从网络取得数据等的功能。

[0141] 在此,在运算部23及运算部33具有估计对象人的状态的功能的情况下,例如可以由运算部23生成统计模型并将生成了的统计模型从信息处理装置20供应到信息处理装置30。因此,即便设置在信息处理装置30中的运算部33不生成统计模型,也可以对输入到运算部33的数据基于在运算部23中生成的统计模型估计对象人的状态。由此,可以使运算部33的运算处理能力低于运算部23。

[0142] 在由运算部23生成统计模型并将生成了的统计模型从信息处理装置20供应到信息处理装置30的情况下,信息处理装置20例如可以设置在服务器中。注意,当将信息处理装置20设置在服务器中时,也可以不将输入部21及输出部22设置在信息处理装置20中。就是说,也可以将输入部21及输出部22设置在信息处理装置20的外部。

[0143] 另外,信息处理装置30例如可以设置在智能手机、平板终端、个人计算机等信息终端中。另外,也可以将信息处理装置20的构成要素的至少一部分和信息处理装置30的构成

要素的至少一部分都设置在服务器中。例如,也可以将运算部23和运算部33设置在服务器中。此时,例如将信息终端所取得的数据通过网络供应到运算部33,设置在服务器中的运算部33对该数据进行估计等。并且,将估计的结果通过网络供应到信息终端,由此信息终端可以取得估计的结果。

[0144] 注意,信息处理装置30除了上述之外还可以包括摄像部。摄像部具有进行摄像并取得摄像数据的功能。

[0145] 由此,可以提供一种考虑个体差异的状态估计系统。

[0146] 本实施方式所示的结构、方法等可以适当地组合其一部分而使用。

[符号说明]

[0147] 10:状态估计系统、20:信息处理装置、21:输入部、22:输出部、23:运算部、24:主存储部、25:辅助存储部、26:通信部、27:传送通道、30:信息处理装置、31:输入部、32:输出部、33:运算部、34:主存储部、35:辅助存储部、36:通信部、37:传送通道、100:分层贝叶斯模型、101:截距、102:偏回归系数、103:表示个体差异的参数、111:解释变量、112:反应变量

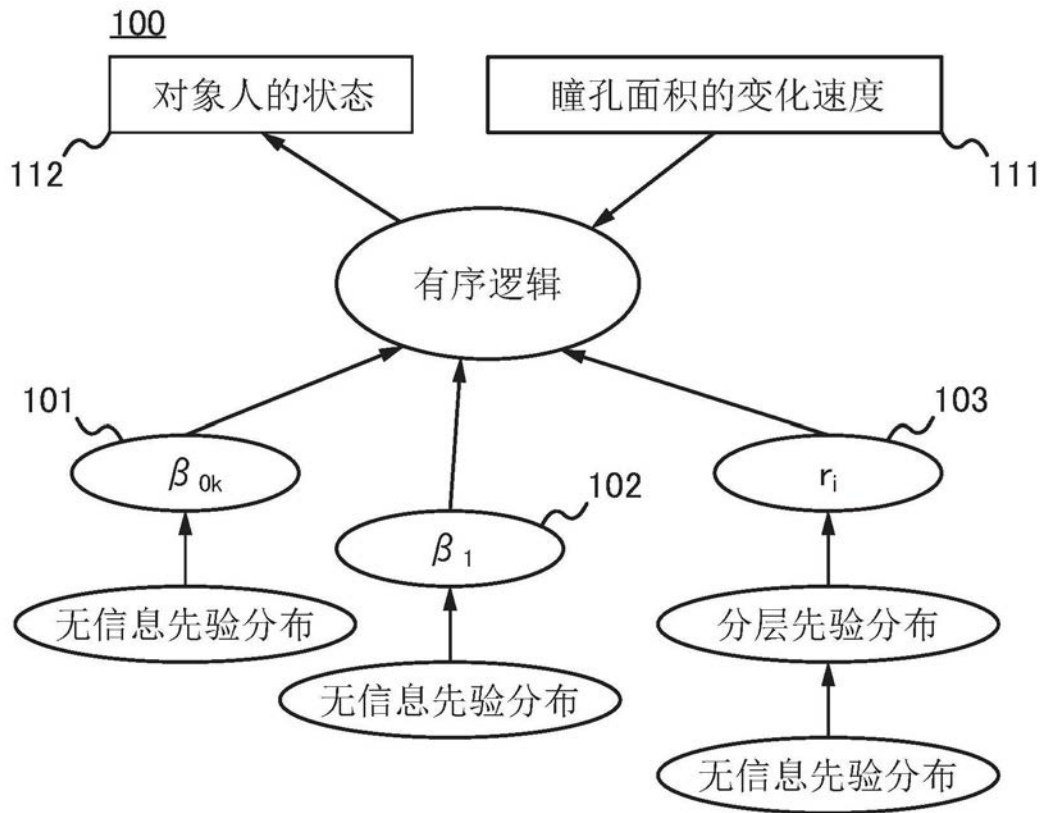


图1A

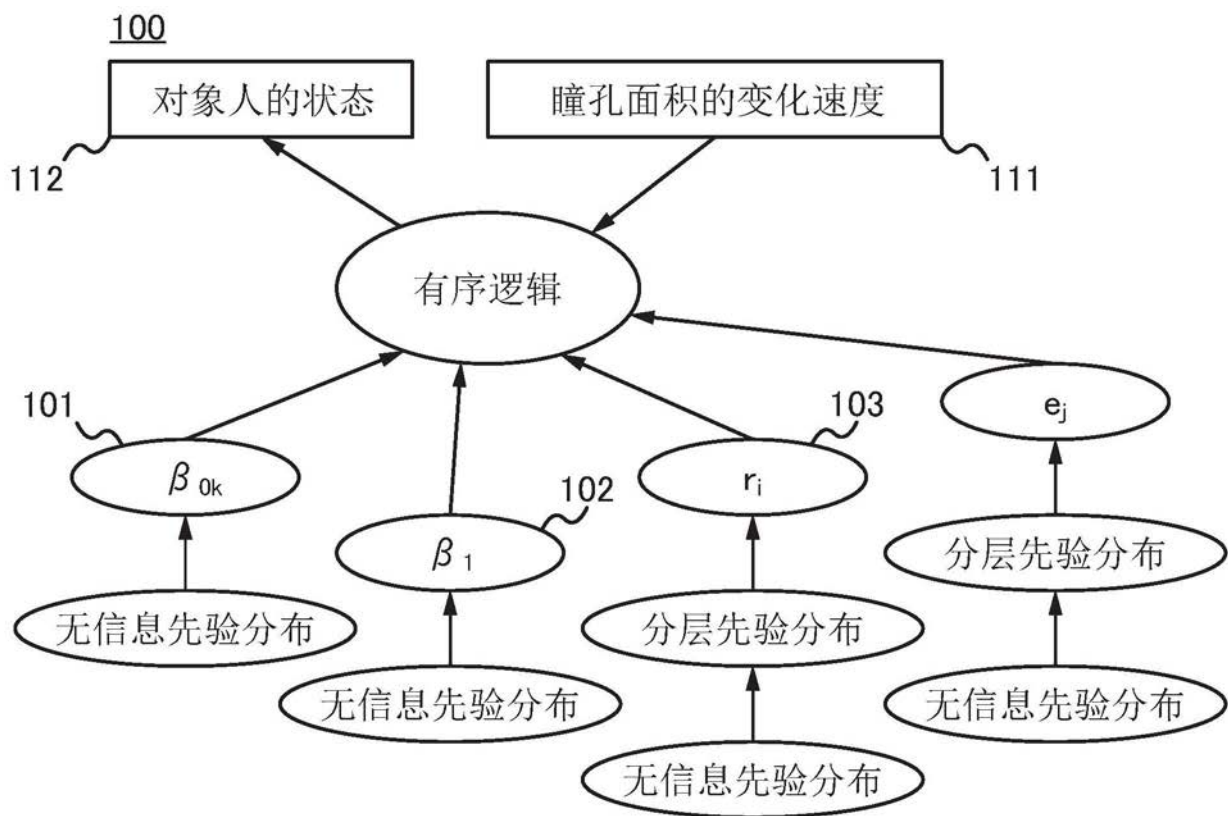


图1B

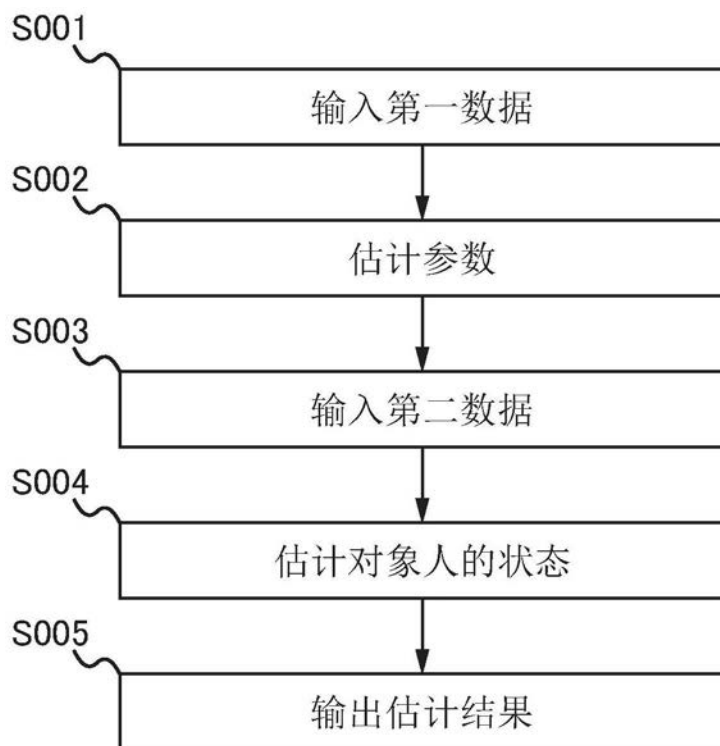


图2

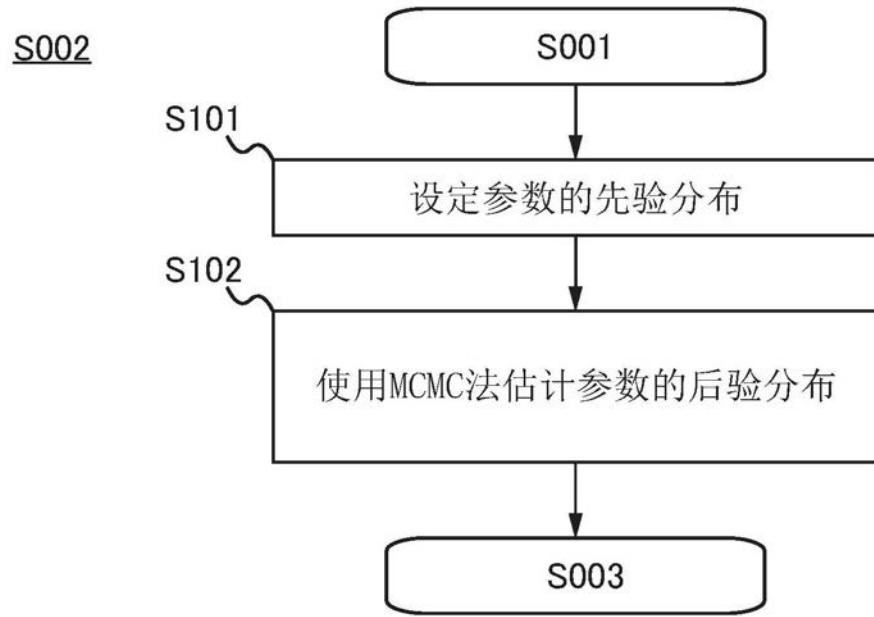


图3

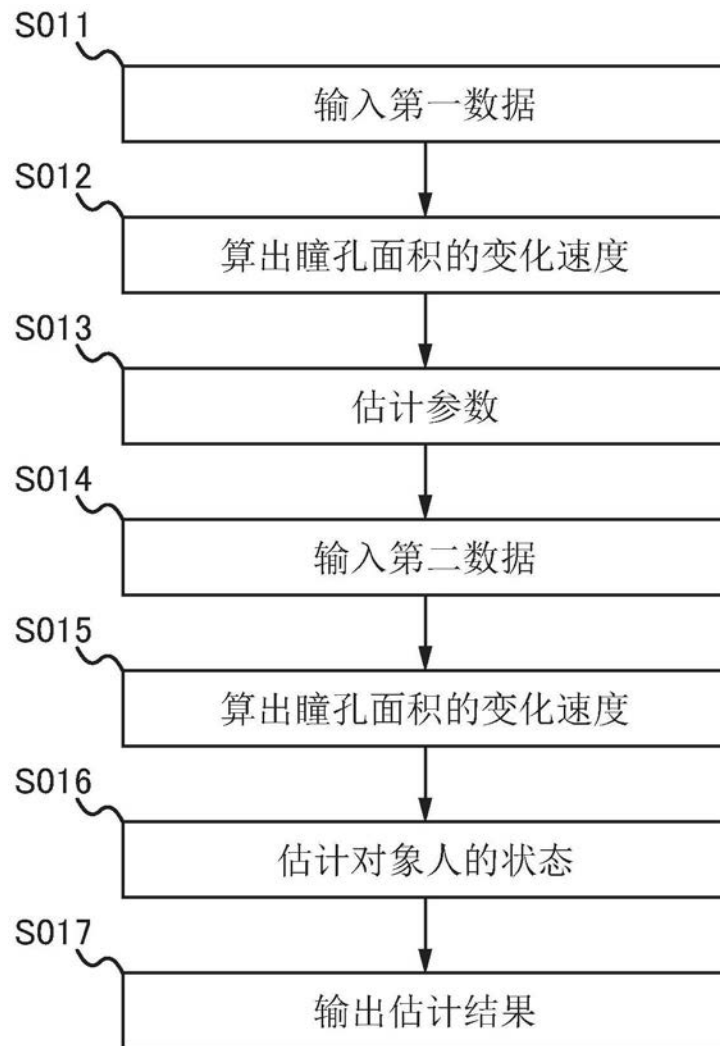


图4

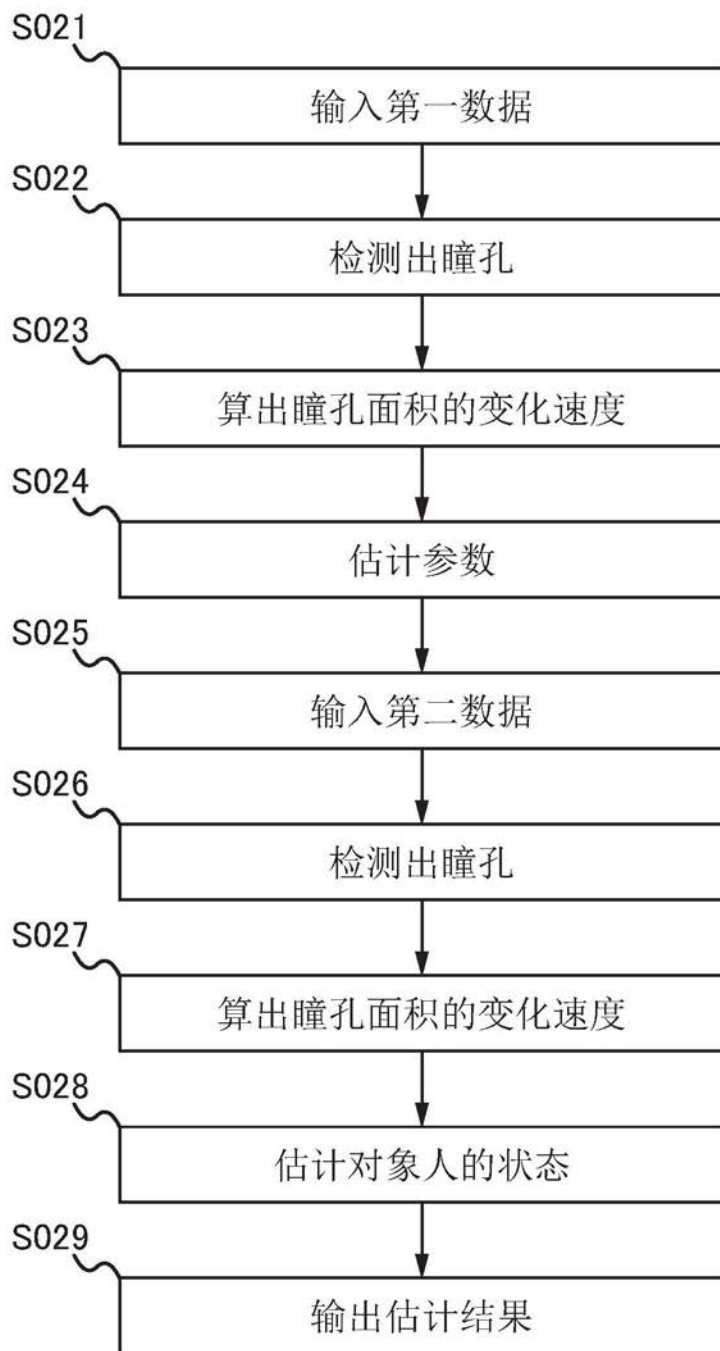


图5

10

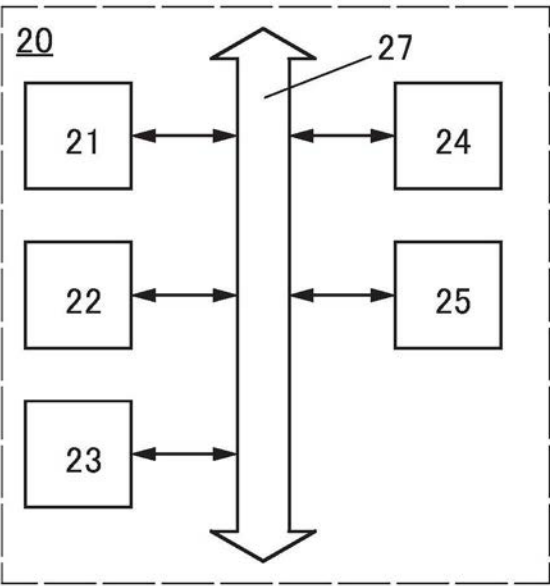


图6A

10

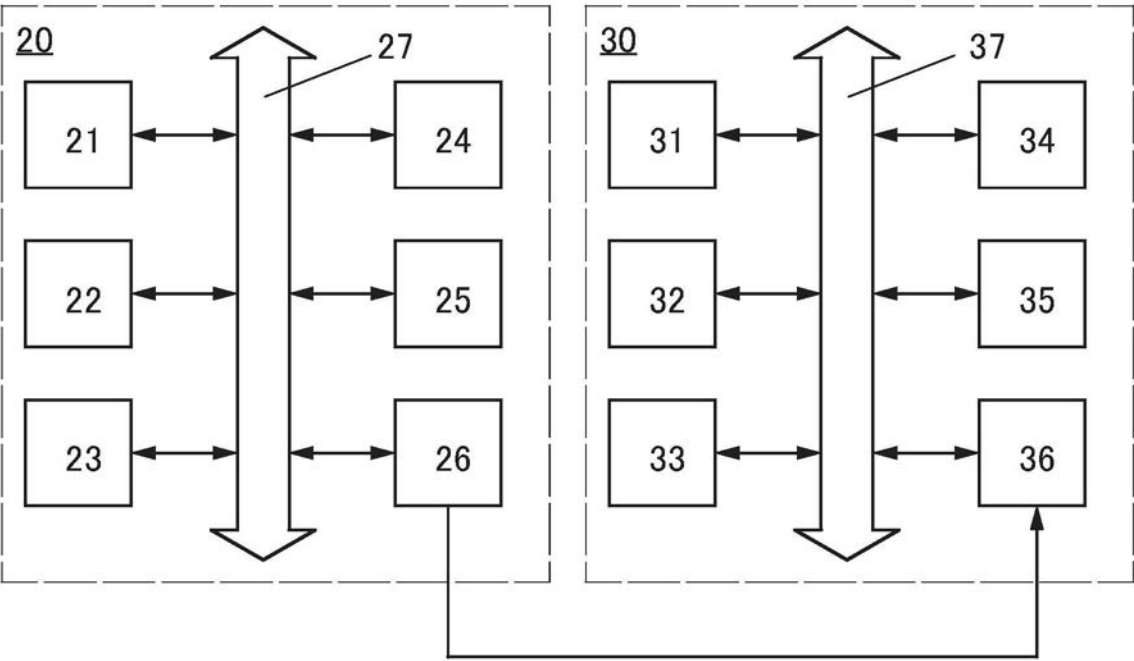


图6B