



## (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 108430568 B

(45) 授权公告日 2022.09.27

(21) 申请号 201680075730.5

亚

(22) 申请日 2016.12.08

J·格托菲尔

(65) 同一申请的已公布的文献号

(74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司  
72002

申请公布号 CN 108430568 A

专利代理人 刘瑜 王英

(43) 申请公布日 2018.08.21

(51) Int.CI.

(30) 优先权数据

A61N 1/36 (2006.01)

62/270,947 2015.12.22 US

A61B 5/00 (2006.01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

A61M 21/00 (2006.01)

2018.06.22

(86) PCT国际申请的申请数据

US 2011015469 A1, 2011.01.20

PCT/IB2016/057421 2016.12.08

WO 2008096307 A1, 2008.08.14

(87) PCT国际申请的公布数据

CN 105142504 A, 2015.12.09

W02017/109621 EN 2017.06.29

US 2008081941 A1, 2008.04.03

(73) 专利权人 皇家飞利浦有限公司

CN 104812432 A, 2015.07.29

地址 荷兰艾恩德霍芬

WO 2015013576 A1, 2015.01.29

(72) 发明人 G·N·加西亚莫利纳

CN 104955513 A, 2015.09.30

A·莫哈德凡

审查员 罗帅

S·S·S·维沙帕加达文卡塔萨蒂

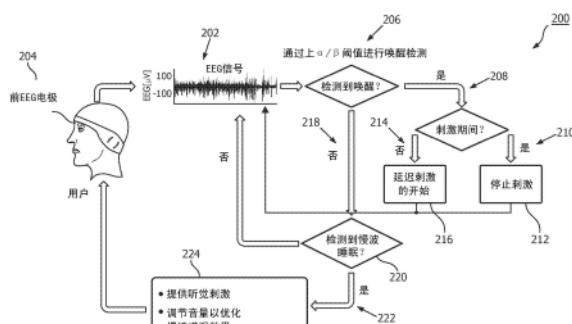
权利要求书2页 说明书10页 附图6页

## (54) 发明名称

基于睡眠深度在睡眠期间调节感觉刺激的强度的系统和方法

## (57) 摘要

本公开涉及一种系统，其被配置为基于睡眠段期间对象中的睡眠深度来调节在所述睡眠段期间递送至所述对象的感觉刺激的强度。通过使用感觉刺激增强睡眠慢波，可以增加睡眠的恢复价值。可以以适当的定时和/或强度施加刺激以增强睡眠慢波从而增强慢波而不干扰睡眠。



1. 一种被配置为调节在睡眠段期间递送到对象(12)的感觉刺激的强度的系统(10),所述系统包括:

一个或多个感觉刺激器(16),其被配置为向所述对象提供感觉刺激;

一个或多个传感器(18),其被配置为生成输出信号,所述输出信号传达与在所述睡眠段期间所述对象中的脑活动有关的信息;以及

与所述一个或多个感觉刺激器和所述一个或多个传感器可操作地通信的一个或多个硬件处理器(20),所述一个或多个硬件处理器由机器可读指令配置为:

基于所述输出信号确定所述睡眠段期间所述对象中的脑活动参数,所述脑活动参数包括以下中的一个或多个:所述对象中慢波的密度和所述对象中所述慢波的峰间幅度;

基于慢波的所述密度和所述慢波的峰间幅度中的一个或多个确定所述睡眠段期间所述对象中的睡眠深度;并且

基于所确定的睡眠深度,控制所述一个或多个感觉刺激器以调节在所述睡眠段期间提供给所述对象的感觉刺激的强度,其中,所述控制包括确定所述睡眠段期间的所述睡眠深度的变化率并基于所确定的所述睡眠深度的变化率来调节在所述睡眠段期间提供给所述对象的感觉刺激的强度。

2. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述一个或多个感觉刺激器被配置为使得所述感觉刺激包括可听音调,并且其中,所述一个或多个硬件处理器被配置为使所述一个或多个感觉刺激器基于所确定的睡眠深度在最小阈值音量和最大阈值音量之间递增或递减所述可听音调的音量。

3. 根据权利要求2所述的系统,其中,所述一个或多个硬件处理器被配置为使得所述最小阈值音量和所述最大阈值音量在所述睡眠段期间保持不变并且基于与来自先前睡眠段的所述对象中的脑活动有关的信息来确定。

4. 根据权利要求2所述的系统,其中,所述一个或多个硬件处理器被配置为基于在所述睡眠段期间的先前睡眠深度估计在所述睡眠段期间调节所述最小阈值音量和所述最大阈值音量。

5. 根据权利要求2所述的系统,其中,所述一个或多个硬件处理器被配置为基于针对人口统计学相似人口的对应音量阈值来调节所述最小阈值音量和所述最大阈值音量。

6. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述一个或多个硬件处理器被配置为使得所确定的睡眠深度在最小睡眠深度阈值和最大睡眠深度阈值之间,所述最小睡眠深度阈值和所述最大睡眠深度阈值是基于针对人口统计学相似人口的对应睡眠深度阈值来确定的。

7. 一种存储有程序指令的计算机可读介质,所述程序指令在由处理器运行时被配置成执行用于利用调节系统(10)调节在睡眠段期间递送到对象(12)的感觉刺激的强度的方法,所述系统包括一个或多个感觉刺激器(16)、一个或多个传感器(18)和一个或多个硬件处理器(20),所述方法包括:

利用所述一个或多个传感器生成输出信号,所述输出信号传达与在所述睡眠段期间所述对象中的脑活动有关的信息;

利用所述一个或多个硬件处理器基于所述输出信号确定所述睡眠段期间所述对象中的脑活动参数,所述脑活动参数包括以下中的一个或多个:所述对象中慢波的密度和所述对象中所述慢波的峰间幅度;

基于慢波的所述密度和所述慢波的峰间幅度中的一个或多个确定所述睡眠段期间所述对象中的睡眠深度；并且

基于所确定的睡眠深度来控制所述一个或多个感觉刺激器以调节在所述睡眠段期间提供给所述对象的感觉刺激的强度，其中，所述控制包括确定所述睡眠段期间的所述睡眠深度的变化率并基于所确定的所述睡眠深度的变化率来调节在所述睡眠段期间提供给所述对象的感觉刺激的强度。

8. 根据权利要求7所述的计算机可读介质，其中，所述感觉刺激包括可听音调，并且其中，所述方法还包括基于所确定的睡眠深度在最小阈值音量与最大阈值音量之间递增或递减所述可听音调的音量。

9. 根据权利要求8所述的计算机可读介质，其中，所述最小阈值音量和所述最大阈值音量在所述睡眠段期间保持不变并且基于与来自先前睡眠段的所述对象中的脑活动有关的信息来确定。

10. 根据权利要求8所述的计算机可读介质，所述方法还包括基于在所述睡眠段期间的先前睡眠深度估计，在所述睡眠段期间调节所述最小阈值音量和所述最大阈值音量。

11. 根据权利要求8所述的计算机可读介质，所述方法还包括基于针对人口统计学相似人口的对应音量阈值来调节所述最小阈值音量和所述最大阈值音量。

12. 根据权利要求7所述的计算机可读介质，其中，所确定的睡眠深度在最小睡眠深度阈值和最大睡眠深度阈值之间，所述最小睡眠深度阈值和所述最大睡眠深度阈值是基于针对人口统计学相似人口的对应睡眠深度阈值来确定的。

## 基于睡眠深度在睡眠期间调节感觉刺激的强度的系统和方法

### 技术领域

[0001] 本公开涉及一种系统，该系统被配置为基于睡眠段期间对象中的睡眠深度来在睡眠段期间调节递送至对象的感觉刺激的强度。

### 背景技术

[0002] 用于监测睡眠的系统是已知的。睡眠期间的感觉刺激是已知的。睡眠期间的感觉刺激通常连续地和/或以与对象的睡眠模式不相对应的间隔和强度来施加。本公开克服了现有技术系统中的缺陷。

### 发明内容

[0003] 因此，本公开的一个或多个方面涉及一种系统，其被配置为在睡眠段期间调节递送至对象的感觉刺激的强度。该系统包括一个或多个感觉刺激器、一个或多个传感器、一个或多个硬件处理器和/或其他部件。一个或多个感觉刺激器被配置为向对象提供感觉刺激。一个或多个传感器被配置为生成输出信号，该输出信号传达与在睡眠段期间对象中的脑活动有关的信息。一个或多个硬件处理器可操作地与一个或多个感觉刺激器和一个或多个传感器通信。所述一个或多个硬件处理器由机器可读指令配置为：基于所述输出信号确定所述睡眠段期间所述对象中的脑活动参数，所述脑活动参数包括以下中的一个或多个：脑电图(EEG)信号的慢频带中的功率与高频带中的功率的比率、所述对象中的慢波的密度或所述对象中的慢波的峰间幅度；基于所述比率、慢波的所述密度或所述峰间慢波幅度中的一个或多个确定所述睡眠段期间所述对象中的睡眠深度；并且控制所述一个或多个感觉刺激器以基于所确定的睡眠深度来调节在所述睡眠段期间提供给所述对象的感觉刺激的强度。

[0004] 本公开的又一方面涉及一种用于利用调节系统调节在睡眠段期间递送至对象的感觉刺激的强度的方法。该系统包括一个或多个感觉刺激器、一个或多个传感器、一个或多个硬件处理器和/或其他部件。所述方法包括：利用所述一个或多个传感器生成输出信号，所述输出信号传达与在睡眠段期间所述对象中的脑活动有关的信息；利用所述一个或多个硬件处理器基于所述输出信号确定所述睡眠段期间所述对象中的脑活动参数，所述脑活动参数包括以下中的一个或多个：脑电图(EEG)的慢频带中的功率与高频带中的功率的比率、对象中慢波的密度、或对象中慢波的峰间幅度；基于所述比率、慢波的所述密度或所述峰间慢波幅度中的一个或多个确定睡眠段期间对象中的睡眠深度；并且控制所述一个或多个感觉刺激器以基于所确定的睡眠深度来调节在所述睡眠段期间提供给所述对象的感觉刺激的强度。

[0005] 本公开的又一方面涉及一种用于调节在睡眠段期间递送至对象的感觉刺激的强度的系统。该系统包括：用于向对象提供感觉刺激的单元；用于生成输出信号的单元，所述输出信号传达与在所述睡眠段期间所述对象中的脑活动有关的信息；用于基于所述输出信号来确定所述睡眠段期间所述对象中的脑活动参数的单元，所述脑活动参数包括以下中的一个或多个：脑电图(EEG)信号的慢频带中的功率与高频带中的功率的比率、对象中慢波的

密度、或对象中慢波的峰间幅度；用于基于所述比率、慢波的所述密度或所述峰间慢波幅度中的一个或多个确定所述睡眠段期间所述对象中的睡眠深度的单元；以及用于控制用于提供感觉刺激的单元以基于所确定的睡眠深度来调节在所述睡眠段期间提供给所述对象的感觉刺激的强度的单元。

[0006] 参考附图考虑到下面的描述和权利要求书，本公开的这些和其他目的、特征和特性，以及方法的操作、和相关结构元件的功能、和部分的组合、和制造经济性将变得更加明显，所有附图构成了本说明书的一部分，其中，相似的附图标记表示各个附图中的对应部分。然而，应该明确地理解，附图仅用于说明和描述的目的，并不意图作为对本公开的限制的定义。

## 附图说明

[0007] 图1图示了被配置为基于睡眠段期间对象中的睡眠深度来调节在睡眠段期间递送至对象的感觉刺激的强度的系统。

[0008] 图2图示了由基于EEG的系统执行的操作，该系统被配置为自动检测能够以低的引起唤醒的风险来递送刺激的NREM睡眠的时段。

[0009] 图3图示了浅睡眠期间的强烈刺激以及由基于EEG的系统控制的刺激强度中的不期望的缓慢增加。

[0010] 图4总结了本系统的基本操作。

[0011] 图5图示了基于睡眠深度在最大阈值音量和最小阈值音量之间对听觉音调的刺激音量的调节。

[0012] 图6图示了对于单个对象本系统的操作相对于现有技术系统的操作。

[0013] 图7图示了利用调节系统调节在睡眠段期间递送至对象的感觉刺激的强度的方法。

## 具体实施方式

[0014] 如本文所使用的，除非上下文另有明确规定，否则单数形式的“一”，“一个”和“该”包括多个引用。如本文所使用的，两个或更多个部分或部件“耦合”的陈述应指部分直接或间接地（即通过一个或多个中间部分或部件，只要链接存在即可）连接或一起操作。如本文所使用的，“直接耦合”是指两个元件直接彼此接触。如本文所使用的，“固定耦合”或“固定”是指两个部件被耦合以一体移动，同时保持相对于彼此的恒定取向。

[0015] 如本文所使用的，词语“单一”意味着部件被创建为单件或单元。也就是说，包含单独创建并随后作为一个单元耦合在一起的件的部件不是“单一”部件或主体。如本文所采用的，两个或更多个部分或部件彼此“接合”的表述应指部分直接地或通过一个或多个中间部分或部件向彼此施加力。如本文所使用的，术语“数字”应指一或大于一的整数（即，多个）。

[0016] 本文使用的方向短语，例如但不限于，顶部、底部、左侧、右侧、上部、下部、前部、后部以及它们的派生词与图中所示的元件的取向有关，并且不限制权利要求，除非在其中明确记载。

[0017] 图1是系统10的示意图，系统10被配置为基于睡眠段期间对象12中的睡眠深度来调节在睡眠段期间递送至对象12的感觉刺激的强度。通过使用感觉刺激增强睡眠慢波可以

增加睡眠的恢复价值。可以在适当的定时和/或强度施加刺激以增强慢波而不干扰睡眠。

[0018] 已知在现有技术系统中当前实施的刺激强度调节机制包括在较浅睡眠期间有时施加最大声刺激并且在睡眠足够深以允许较大声的刺激时施加低音量刺激的控制。

[0019] 图2总结了由基于脑电图(EEG)202的系统执行的操作200,该系统配置为自动检测能够以低的引起唤醒风险来递送刺激的NREM睡眠的时段(下面描述)。系统使用来自引向右乳突的正面EEG电极204的信号。系统首先使用 $\alpha$ (约8-12Hz)和 $\beta$ (约15-30Hz)带中的EEG功率上的上阈值来确定206睡眠微觉醒的存在(或可能性)。如果 $\alpha$ 或 $\beta$ 带中的任一个功率在足够长的时间段内超过其各自预定义的阈值,则系统确定208已经发生微觉醒。如果在施加210刺激时发生微觉醒,则刺激停止212并且当系统检测到稳定的深度睡眠达预定义的时间段时恢复。如果在没有刺激214的时段内检测到微觉醒,则下一刺激的开始被延迟216。在没有微觉醒218的情况下,系统检测到220存在慢波睡眠,其特征在于在8频率范围(0.5至4Hz)内的高活动以及高密度的睡眠慢波(或 $\delta$ 波)。如果在足够长的时段内检测到慢波睡眠并且具有足够密度的慢波(例如,每单位时间的慢波的数量),则系统施加刺激222。根据音量滴定算法在个性化和主观上设定的最小水平和最大水平之间调节224听觉刺激的音量。根据该算法,如果 $\delta$ 频率中的EEG功率(也称为慢波活动(SWA))不随时间降低(例如,为此目的使用15秒长的块),则音量保持不变,并且如果SWA随时间降低,则音量以每单位时间固定的预定速率增加(例如,15秒内10%)。系统增加的音量尝试抵消 $\delta$ 功率中的降低趋势。

[0020] 当SWA趋于降低时音量增加的事实通常能够导致当睡眠自然变浅时发生最强烈刺激的情况。众所周知,睡眠深度具有循环性质,而且睡眠图仅仅是一个实际的,但离散的近似的模拟过程。例如,如果(如上所述主观地调节的)音调的最大音量被低估,则刺激将扰乱睡眠并因此破坏系统的目的。这种低估能够容易发生,特别是如果主观校准音量的环境条件与用户睡眠环境中的环境条件显著不同(例如由于背景噪声)。基于时间的音量增加策略(如上所述)的另一个缺点是例如音量可能增加太慢,即使睡眠很深这也可能使音量太低。这些缺点在图3中示出。

[0021] 图3图示了浅睡眠300期间的强烈(例如,响亮)刺激以及刺激强度302中的不期望的缓慢增加。图3图示了手动评分的睡眠图304、睡眠深度306的估计(例如,显示为负值以显示其与睡眠图304的相关性,使得线下降越低,睡眠越深)以及感觉刺激308。因为当SWA倾向于减小时音量增加,当睡眠自然变浅318时,能够发生最响的刺激320。在该图中,最响的刺激320在N2中发生322,这可以扰乱睡眠。另外,大约130分钟(如图3的下部350所示),即使睡眠很深,刺激音量也低。

[0022] 回到图1,系统10被配置为基于睡眠深度的实时自动估计来调节刺激强度。系统10被配置为当睡眠最深时应用最响的刺激。系统10对睡眠深度的估计基于实时或接近实时确定的EEG特征。这些特征包括 $\delta$ 、 $\alpha$ 和/或 $\beta$ 频带中的功率、慢波幅度和/或密度、和/或其他特征。

[0023] 图4总结了系统10(图1)的基本操作400。系统10至少克服了上述与刺激强度(例如,音量)的调节有关的缺陷。在系统10中,递送给对象12(图1)的刺激的强度(例如,音量)取决于睡眠深度和/或其他参数。系统10被配置为使得当对象12中睡眠最深时发生最强烈(例如,最响)的刺激。如图4所示,系统10被配置为基于EEG信号402实时或接近实时地估计和/或其他方式确定403睡眠深度。系统10被配置为使用一个或多个睡眠深度确定方法来

确定睡眠深度。例如,使用三种不同方法的睡眠深度的三个不同确定404、406、408在图4中示出。图示了睡眠图410以供参考。

[0024] 睡眠深度确定404包括取得EEG信号402的8带中的功率与 $\beta$ 带中的功率之间的比率( $\delta$ - $\beta$ 比率)的对数。该比率与睡眠深度相关,因为 $\delta$ 带中的功率随着睡眠加深增加,并且 $\beta$ 带中的功率随睡眠加深而降低。然而,这些带中的功率(单独取得)也会受到伪影或噪声的影响。取得它们的比率抵消取消伪影的不利影响。在一些实施例中,基于 $\delta$ 和 $\beta$ 带中的滤波EEG信号402和方波滤波信号的运行平均(例如,以确保该比率的平滑变化,30秒长(这不是限制性的)平均被使用)实时或接近实时地确定该比率。

[0025] 睡眠深度确定406包括在20秒长的窗口中检测慢波的数量(在对象12中检测到的N3睡眠期间)(20秒的窗口持续时间仅用于便于可视化,并且不旨在是限制性的)。慢波的密度与睡眠深度正相关。从EEG信号实时或接近实时地检测慢波通过检测以下来实现:负向零交叉,然后在负峰值的幅度低于预定阈值(例如,-40微伏和/或允许系统10如本文所述起作用的任何其他阈值)处的正向零交叉,并且零交叉之间的时间段长于第二预定阈值(例如,200毫秒和/或允许系统10如本文所述起作用的任何其他阈值)。

[0026] 睡眠深度确定408包括确定在N3睡眠期间检测到的慢波的平均峰间幅度。该参数在30秒长的窗口中被平滑。30秒长的窗口是一个例子,并不旨在是限制性的。该窗口可具有允许系统10如本文所述起作用的任何长度。应该注意的是,睡眠深度确定406和408与在N3睡眠期间检测慢波有关。然而,睡眠深度确定404可以独立于N3睡眠的检测而运行。另外,如图3所示,三个睡眠深度确定404、406、408强烈正相关420,并且它们全部在N3睡眠期间达到其最高值。

[0027] 系统10(图1)被配置为单独地基于睡眠深度确定404、406、408中的一个或多个和/或基于它们中两个或更多个的特定组合来调制430刺激强度(例如,音量)。例如,系统10可以被配置为使得睡眠深度确定中的两个或更多个的组合包括加权(例如,使用正系数)相加和/或睡眠深度确定的乘积,但是其他组合是可能的。由基于睡眠深度的调制生成的音量动态的图示450在图4的右上部分中示出。图示450包括睡眠图452和对应的刺激强度(音量)454、456。刺激强度454由现有技术系统控制(包括用于与本系统比较),并且刺激强度456由系统10控制。图示450示出了系统10相对于现有技术系统的至少两个优点(存在其他优点,例如音量增加速率)。首先,图示450示出460如何配置系统10,使得当睡眠较浅时强度(音量)较低(较柔),这减少了干扰睡眠的可能性。其次,图示450示出470系统10如何被配置为使得当睡眠深时刺激强度(音量)高(响),这防止了音量不必要地过低的情况。

[0028] 回到图1,在一些实施例中,系统10包括感觉刺激器16、传感器18、处理器20、电子存储器22、用户接口24和/或其他部件中的一个或多个。在图1中,感测刺激器16、传感器18、处理器20、电子存储器22和用户接口24被示出为分开的实体。这不是限制性的。系统10的部件和/或其他部件中的一些和/或全部可以被分组为一个或多个单个设备。例如,系统10的一些和/或全部部件可以被分组为由对象12穿戴的头带和/或其他衣服的一部分。

[0029] 感觉刺激器16被配置为向对象12提供感觉刺激。感觉刺激器16被配置为在睡眠段之前,在当前睡眠段期间,在睡眠段之后和/或其他时间向对象12提供感觉刺激。例如,感觉刺激器16可以被配置为在睡眠段中的慢波睡眠期间向对象12提供感觉刺激。感觉刺激器16可以被配置为在睡眠段期间向对象12提供感觉刺激以诱导,维持和/或调节对象12中的

慢波活动(由0.5至4Hz带中的EEG功率指示,如下所述)。在一些实施例中,感觉刺激器16可以被配置为使得调节包括对象12中慢波活动(SWA)的增加,减少和/或其他调节。在一些实施例中,感觉刺激的递送被定时以对应于与SWA相关联的睡眠阶段,被定时将对象12从睡眠中唤醒,和/或被定时以对应于对象12中的其他睡眠。

[0030] 在一些实施例中,感觉刺激器16可以被配置为通过无创脑刺激和/或其他方法诱导和/或调节SWA。感觉刺激器16可以被配置为通过使用感觉刺激的无创脑刺激来诱导和/或调节SWA。感觉刺激包括气味、声音、视觉刺激、触觉、味觉和/或其他刺激。例如,经颅磁刺激可以施加于对象12以触发,增加和/或减少SWA。作为另一个范例,感觉刺激器16可以被配置为经由对象12的听觉刺激来诱发和/或调节SWA。感觉刺激器16的范例可以包括音乐播放器、音调发生器、对象12头皮上的电极集合、递送振动刺激(也称为躯体感觉刺激)的单元、生成磁场以直接刺激大脑皮层的线圈、光发生器、芳香剂分配器和/或其他设备中的一个或多个。

[0031] 传感器18被配置为生成传达与对象12的脑活动和/或其他信息有关的信息的输出信号。传感器18被配置为在对象12的睡眠段期间,在睡眠段期间的有规律间隔处和/或在其他时间以持续的方式生成输出信号。对象12的脑活动可对应于对象12中的睡眠深度、当前睡眠阶段、SWA和/或对象12的其他特性。对象12的脑活动可与快速眼动(REM)睡眠、非快速眼动(NREM)睡眠和/或其他睡眠相关联。对象12的睡眠阶段可以包括NREM阶段N1、阶段N2或阶段N3睡眠、REM睡眠和/或其他睡眠阶段中的一个或多个。在一些实施例中,N1对应于浅睡眠状态并且N3对应于深度睡眠状态。在一些实施例中,NREM阶段3或阶段2睡眠可以是慢波(例如,深度)睡眠。

[0032] 传感器18可以包括直接测量这样的参数的一个或多个传感器。例如,传感器18可以是和/或包括被配置为检测由对象12的脑内电流流动引起的沿对象12的头皮的电活动的电极。在一些实施例式中,一个或多个传感器18是EEG电极和/或其他传感器。EEG在整个睡眠段上表现出变化。例如,EEG $\delta$ 功率(SWA)中的显着变化通常是可见的。SWA对应于0.5-4.5Hz带中的EEG信号的功率。在一些实施例中,该带被设定为0.5-4Hz。SWA在给定的睡眠段的整个循环变化上具有典型的行为。SWA在非快速眼动睡眠(NREM)期间增加,在快速眼动(REM)睡眠开始之前下降,并且在REM期间保持低。在连续的NREM片段中的SWA从一片段到另一片段逐渐减少。可以估计SWA,和/或可以在给定睡眠段期间从对象12的EEG确定慢波睡眠(例如,阶段N3)。

[0033] 传感器18可以包括一个或多个传感器,其间接生成传达与对象12的脑活动有关的信息的输出信号。例如,一个或多个传感器18可以基于对象12的心率生成输出(例如,传感器18可以是位于对象12的胸部上的心率传感器,和/或被配置为对象12腕上的手环,和/或位于对象12的另一肢上)、对象12的移动(例如,传感器18可包括围绕对象12的手腕和/或脚踝的具有加速度计的手环,使得可使用体动记录信号来分析睡眠),对象12的呼吸和/或对象12的其他特性。

[0034] 虽然传感器18被示出在靠近对象12的单个位置处,但这并不意图是限制性的。传感器18可以包括设置在多个位置中的传感器,例如以可移除的方式与对象12的皮肤耦合,以可移除的方式与由对象12穿戴的对象12的衣服耦合(例如,作为头带、腕带等),在感觉刺激器16内(或与其通信),被定位成当对象12睡眠时指向对象12(例如,传达与对象12的运动

有关的输出信号的相机),和/或在其他位置。

[0035] 处理器20被配置为提供系统10中的信息处理能力。这样,处理器20可以包括数字处理器、模拟处理器、被设计为处理信息的数字电路、被设计为处理信息的模拟电路、状态机和/或用于电子处理信息的其他机构中的一个或多个。虽然处理器20在图1中示出为一个单独的实体,这仅用于说明目的。在一些实施例中,处理器20可以包括多个处理单元。这些处理单元可以物理地位于同一设备(例如,感觉刺激器16、传感器18)内,或者处理器20可以表示协调操作的多个设备的处理功能。

[0036] 如图1所示,处理器20被配置为执行一个或多个计算机程序部件。一个或多个计算机程序部件可以包括参数部件30、睡眠深度部件32、控制部件34和/或其他部件中的一个或多个。处理器20可以被配置为通过以下执行部件30、32、34和/或其他部件:软件;硬件;固件;软件、硬件和/或固件的特定组合;以及/或者用于配置处理器20上的处理能力的其他机构。

[0037] 应该理解的是,虽然在图1中图示了部件30、32和34共同位于单个处理单元内,在处理器20包括多个处理单元的实施例中,部件30、32、34和/或其他部件中的一个或多个可位于远离其他部件的位置。由不同部件30、32、34和/或下面描述的其他部件提供的功能的描述用于说明的目的,并且不旨在是限制性的,因为部件30、32和/或34中的任一个可以提供比所描述的更多或更少的功能。例如,部件30、32和/或34中的一个或多个可以被省略,并且其部分或全部功能可以由其他部件30、32和/或34提供。作为另一个范例,处理器20可以是被配置为执行一个或多个额外部件,这些额外部件可以执行下面归属于部件30、32和/或34中的一个的一些或全部功能。

[0038] 参数部件30被配置为在睡眠段期间确定对象12中的脑活动参数。参数部件30被配置为基于输出信号和/或其他信息来确定脑活动参数。在一些实施例中,一个或多个脑活动参数包括EEG相关参数,例如EEG的各个频带中的功率,低频带中的功率与高频带中的功率的比率和/或其他参数。在一些实施例中,参数部件30被配置为使得一个或多个脑活动参数是特定睡眠模式的频率、幅度、相位和/或存在和/或与特定睡眠模式的频率、幅度、相位和/或存在相关,所述特定睡眠模式例如纺锤、K-复合波或睡眠慢波、 $\alpha$ 波和/或EEG信号的其他特性。在一些实施例中,确定一个或多个脑活动参数包括对与脑活动有关的单独振荡分量进行加和地组合和/或执行其他数学运算。例如,在一些实施例中,基于EEG信号的频率、幅度和/或其他特性来确定一个或多个脑活动参数。在一些实施例中,所确定的脑活动参数和/或EEG的特性可以是和/或指示对应于REM和/或NREM睡眠阶段的睡眠状态。在一些实施例中,所确定的脑活动参数是上述的REM和/或NREM睡眠阶段。

[0039] 在一些实施例中,脑活动参数包括EEG信号的慢频带(例如,大约0至大约6Hz)中的功率、高频(例如,大约8至大约40Hz)中的功率、EEG信号的慢频带中的功率与高频带中的功率的比率、这样的比率的对数、对象中慢波的密度、对象12中慢波的峰间幅度和/或其他参数中的一个或多个。参数部件30被配置为通过检测以下来检测单独的慢波:EEG信号中的负向零交叉,然后在负峰值的幅度低于预定阈值(例如,-40微伏和/或允许系统10如本文所述起作用的任何其他阈值)处的正向零交叉,并且零交叉之间的时间段长于第二预定阈值(例如,200毫秒和/或允许系统10如本文所述起作用的任何其他阈值)。在一些实施例中,参数部件30被配置为以睡眠段期间的持续方式,在睡眠段期间的预定间隔处和/或其他时间确

定对象12中的脑活动参数。

[0040] 睡眠深度部件32被配置为在睡眠段期间确定对象12中的睡眠深度。睡眠深度部件32被配置为基于EEG信号的慢频带中的功率与EEG信号的高频带中的功率的比率、慢波的密度、峰间慢波幅度和/或由参数部件30确定的其他信息、来自传感器18的输出信号中的信息和/或其他信息中的一个或多个来确定睡眠深度。在一些实施例中，睡眠深度部件32被配置为基于比率(例如， $\delta$ - $\beta$ 比率和/或任何其他低慢频带功率与高频带功率比率)来确定睡眠深度，所述比率基于经过滤的EEG信号(例如，来自传感器18)实时或近实时确定的。在一些实施例中，睡眠深度部件32确定方波滤波信号的运行平均(例如，为了确保该比率的平滑变化，30秒长度(这不意图是限制性的)的平均被使用)，并基于该运行平均来确定比率。在一些实施例中，睡眠深度部件32被配置为使得睡眠深度是确定的比率的值。

[0041] 在一些实施例中，睡眠深度部件32被配置为基于对象12中慢波的密度来确定睡眠深度。睡眠深度部件32和参数部件30被配置为使得对象12中的慢波密度是在预定长度的时间窗期间(例如，20秒长的窗口和/或任何其他允许系统10如本文所述起作用的长度的窗口)在对象12中的N3睡眠期间检测到(例如，通过参数部件30)的慢波的数量。预定长度的时间窗口可以在制造时设置，由睡眠深度部件32基于对象12的先前睡眠来确定，用户经由用户接口24设置，和/或通过其他方法确定。在一些实施例中，睡眠深度部件32被配置为使得睡眠深度由预定时间段中的慢波的数量指示。

[0042] 在一些实施例中，睡眠深度部件32被配置为基于在N3睡眠期间检测到的慢波的平均峰间幅度来确定睡眠深度。睡眠深度部件32可以被配置为使得该参数在30秒长的窗口上被平滑。30秒长的窗口是一个范例，并不意在是限制性的。该窗口可具有允许系统10如本文所述起作用的任何长度。在一些实施例中，睡眠深度部件32被配置为使得睡眠深度由对象12中的慢波的平均峰间幅度来指示。

[0043] 在一些实施例中，如上所述，睡眠深度部件32被配置为单独地基于功率比、慢波密度和/或慢波幅度来确定睡眠深度。在一些实施例中，睡眠深度部件32被配置为通过组合功率比、慢波密度和/或慢波幅度中的两个或更多个来确定睡眠深度。例如，在一些实施例中，睡眠深度部件32被配置为经由睡眠深度确定的加权(例如，使用正系数)相加和/或乘积来组合睡眠深度确定中的两个或更多个，但是其他组合是可能的。睡眠深度部件32被配置为使得这些因素的任何正组合可以用于根据以下等式来确定睡眠深度：

$$d = k_1 \cdot g_1(\delta \text{与} \beta \text{比率}) + k_2 \cdot g_2(\text{慢波密度}) + k_3 \cdot g_3(\text{慢波幅度}),$$

[0045] 其中，d是睡眠深度， $k_1$ ， $k_2$ 和 $k_3$ 是正实常数，并且 $g_1$ ， $g_2$ 和 $g_3$ 是单调非递减函数(例如对数函数)。

[0046] 控制部件34被配置为控制感觉刺激器16以向对象12提供感觉刺激。控制部件34被配置为控制感觉刺激器16以调节提供给对象12的感觉刺激的强度。控制部件34被配置为控制感觉刺激器16基于所确定的睡眠深度和/或其他信息来调节睡眠段期间的强度。

[0047] 在一些实施例中，控制部件34被配置为基于确定的睡眠深度使感觉刺激器16在最小阈值强度(音量)和最大阈值强度(音量)之间递增或递减递送到对象12的感觉刺激(例如，可听音调)的强度(例如，音量)。在一些实施例中，控制部件34被配置为使得最小阈值强度(音量)和最大阈值(音量)在睡眠段期间保持不变并且基于与来自先前睡眠段的对象12中的脑活动有关的信息和/或基于其他信息(例如，对象12在清醒时能够感知的最大和/或

最小频率和/或音量)来确定。在一些实施例中,控制部件34被配置为使得通过例如将最小音量设置为对象12的听力阈值并且将最大音量设置为可以唤醒对象12的音量水平(例如,由对象12设定的唤醒警报的音量)来主观地设置音量极限。还可能通过分析来自校准夜晚的睡眠EEG数据和识别敏感对象来设置音量极限。或者,可以基于人口统计因素和/或其他信息来设置音量极限。

[0048] 作为非限制性的范例,图5图示了基于最大阈值音量506与最小阈值音量508之间的睡眠深度504的听觉音调的刺激音量502的调节500。在图5中,睡眠深度被图示为“d”510,并且在该示例中,被估计为 $\delta$ - $\beta$ 比率、慢波密度和慢波幅度的总和。最小和最大音量(分别为 $V_m$  508和 $V_M$  506)在睡眠段期间保持不变并且基于与来自先前睡眠段和/或其他时间的对象12(图1)中的脑活动有关的信息来确定。在图5中,基于睡眠深度的感觉刺激的音量的调节500遵循一阶等式550。在该模型中, $d_m$  552和 $d_M$  554是刺激的音量将在其内被调制的睡眠深度的极限。不应将与音量和睡眠深度有关的一阶等式550视为限制性的。其他函数是可能的。

[0049] 回到图1,在一些实施例中,控制部件34被配置为调制音量变化的速率。从听觉感知研究中可知,与绝对音量水平相比,人类对音量变化更为敏感。在该实施例中,控制部件34基于睡眠深度成比例地调制音量变化率,如以下等式中所示。

$$[0050] \frac{V_t - V_{t-1}}{V_{t-1}} = k \cdot d,$$

[0051] 其中,d是睡眠深度, $V_t$ 和 $V_{t-1}$ 分别是时间t和t-1处的音量,并且k是正常数。根据这个等式,音量变化速率与睡眠深度成正比。

[0052] 在一些实施例中,如上所述,控制部件34被配置为基于与来自先前睡眠段的对象12中的脑活动相关的信息和/或基于其他信息(例如,对象12在清醒时能够感知的最大和/或最小频率和/或音量)来确定最小阈值强度(音量)和最大阈值(音量)保持。例如,最大阈值强度和/或最小阈值强度可以基于在对象12的一个或多个校准睡眠夜晚收集的信息来确定。在一些实施例中,最大阈值强度和/或最小阈值强度可以基于来自几个对象的群体的信息来确定。例如,考虑到对于人口统计学匹配用户的群体的音量极限的知识,可以将目标用户(例如,对象12)的最小(和/或最大)音量极限设置为音量最小值(和/或最大值)的人口统计匹配群体上的平均值。

[0053] 在一些实施例中,控制部件34被配置为基于睡眠段期间的先前睡眠深度估计来调节睡眠段期间的最小阈值强度(例如,音量)和最大阈值强度。动态更新这些参数会考虑到睡眠周期睡眠深度的变化性。在一些实施例中,控制部件34被配置为基于以下等式来更新最小( $d_m$ )和最大( $d_M$ )睡眠深度阈值水平:

$$[0054] d_m \leftarrow \mu \cdot d_m (\text{历史}) + (1-\mu) d_m (\text{当前睡眠片段}), \text{并且}$$

$$[0055] d_M \leftarrow \mu \cdot d_M (\text{历史}) + (1-\mu) d_M (\text{当前睡眠片段});$$

[0056] 其中,“历史”术语是指在先前的睡眠片段中使用的值(如果当前的睡眠片段是第一次,则为默认值),并且术语“当前的睡眠片段”对应于在当前的睡眠片段中根据先前的睡眠周期的睡眠深度估计。更新参数 $\mu$ 在0和1之间的间隔内(例如0.2),并且控制当前睡眠片段估计相对于先前历史的权重。

[0057] 在一些实施例中,控制部件34被配置为使得控制感觉刺激器16以调节在睡眠段期

间提供给对象12的感觉刺激强度包括确定睡眠段期间的睡眠深度的变化率。在这样的实施例中，控制部件34可以被配置为基于所确定的睡眠深度中的变化率控制感觉刺激器16来调节在睡眠段期间提供给对象12的感觉刺激强度。在该实施例中，音量水平与睡眠深度中的变化成比例地调节，如下等式所示。

$$[0058] \quad V = k \frac{d_t - d_{t-1}}{d_{t-1}},$$

[0059] 其中，V是音量水平，k是正常数，并且 $d_t$ 和 $d_{t-1}$ 分别是在时间t和t-1处的睡眠深度确定。在这样的实施例中，控制部件34可以被配置为基于所确定的睡眠深度或睡眠深度中的变化率中的一个或另一个控制感觉刺激器16来调节在睡眠段期间提供给对象12的感觉刺激强度，和/或控制部件34可以被配置为基于确定的睡眠深度和确定的睡眠深度中的变化率的特定组合来控制感觉刺激器16。

[0060] 图6图示了针对个体对象(PGH004)的系统10(图1)的操作600相对于现有技术系统的操作602。还图示了手动记录的睡眠图604以供参考。利用系统10，防止610在睡眠正在变浅615时递送强烈(例如，响)的刺激。另外，系统10避免在深度睡眠625期间以不必要的低强度(例如，音量)提供刺激620，与现有技术系统不同，在现有技术中强度(音量)不必要地低630。

[0061] 回到图1所示，电子存储器22包括电子存储信息的电子存储介质。电子存储器22的电子存储介质可以包括与系统10一体地(即基本上不可移除)提供的系统存储器和/或可移除存储器中的一个或两个，可移除存储器经由例如端口(例如，USB端口、火线端口等)或驱动器(例如，磁盘驱动器等)可移除地连接到系统10。电子存储器22可以包括光学可读存储介质(例如光盘等)、磁性可读存储介质(例如，磁带、磁硬盘驱动器、软盘驱动器等)，基于电荷的存储介质(例如，EPROM、RAM等)、固态存储介质(例如闪存驱动器等)和/或其他电子可读存储介质中的一个或多个。电子存储器22可以存储软件算法，由处理器20确定的信息，经由用户接口24和/或外部计算系统接收的信息，和/或使系统10能够正常工作的其他信息。电子存储器22可以(全部或部分地)是系统10内的单独部件，或电子存储器22可以与系统10的一个或多个其他部件(例如，处理器20)(整体地或部分地)集成提供。

[0062] 用户接口24被配置为提供系统10与对象12和/或其他用户之间的接口，通过所述接口，对象12和/或其他用户可以向系统10提供信息并且从系统10接收信息。这使得数据、提示、结果和/或指令以及统称为“信息”的任何其他可通信项目将在用户(例如，对象12)和系统10的感觉刺激器16、传感器18、处理器20和/或其他部件中的一个或多个之间传送。例如，可以经由用户接口24将EEG显示给护理人员。

[0063] 适合于包括在用户接口24中的接口设备的范例包括小键盘、按钮、开关、键盘、旋钮、杠杆、显示屏、触摸屏、扬声器、麦克风、指示灯、可听警报器、打印机、触觉反馈设备和/或其他接口设备。在一些实施例中，用户接口24包括多个分离的接口。在一些实施例中，用户接口24包括至少一个与感觉刺激器16和/或系统10的其他部件集成提供的接口。

[0064] 应该理解，本公开还将其他通信技术(硬连线或无线)考虑为用户接口24。例如，本公开考虑到用户接口24可以与由电子存储器22提供的可移除存储接口集成。在该范例中，信息可以从使得(一个或多个)用户能够定制系统10的实施方式的可移除存储器(例如，智能卡、闪存驱动器、可移除磁盘等)加载到系统10中。适于与系统10一起用作用户接口24的

其他示范性输入设备和技术包括但不限于RS-232端口、RF链路、IR链路、调制解调器(电话、线缆或其他)。简而言之,本公开将用于与系统10传送信息的任何技术看作为用户接口24。

[0065] 图7图示了利用调节系统在睡眠期间调节递送给对象的感觉刺激强度的方法700。该系统包括一个或多个感觉刺激器、一个或多个传感器、一个或多个硬件处理器和/或其他部件。以下呈现的方法700的操作旨在是说明性的。在一些实施例中,方法700可以利用未描述的一个或多个附加操作和/或没有讨论的一个或多个操作来完成。另外,图7中图示了方法700的操作的顺序并且下面描述的并不意图是限制性的。

[0066] 在一些实施例中,方法700可以在一个或多个处理设备(例如,数字处理器、模拟处理器、被设计为处理信息的数字电路、被设计为处理信息的模拟电路、状态机和/或用于电子处理信息的其他机构)中实现。一个或多个处理设备可以包括响应于电子地存储在电子存储介质上的指令而执行方法700的一些或全部操作的一个或多个设备。一个或多个处理设备可以包括通过硬件、固件和/或软件配置以专门设计用于执行方法700的一个或多个操作的一个或多个设备。

[0067] 在操作702处,生成传达与在睡眠段期间对象的脑活动有关的信息的输出信号。在一些实施例中,操作702由与传感器18(在图1中示出并在本文中描述)相同或相似的一个或多个传感器执行。

[0068] 在操作704处,确定脑活动参数。基于输出信号和/或其他信息确定脑活动参数。脑活动参数包括脑电图(EEG)信号的慢频带中的功率与高频带中的功率的比率、对象中慢波的密度、对象中慢波的峰间幅度和/或其他参数。在一些实施例中,操作704由与参数部件30(在图1中示出并在本文中描述)相同或相似的硬件处理器部件执行。

[0069] 在操作706处,确定睡眠深度。睡眠深度基于比率、慢波密度、峰间慢波幅度和/或其他信息中的一个或多个来确定。在一些实施例中,在睡眠段期间确定对象中的睡眠深度包括确定睡眠段期间睡眠深度中的变化率。在一些实施例中,操作706由与睡眠深度部件32(在图1中示出并在本文中描述)相同或相似的硬件处理器部件执行。

[0070] 在操作708,控制感觉刺激器以基于确定的睡眠深度调节提供给对象的感觉刺激的强度。在一些实施例中,感觉刺激包括可听音调,并且操作708包括基于确定的睡眠深度在最小阈值音量与最大阈值音量之间递增或递减可听音调的音量。在一些实施例中,最小阈值音量和最大阈值音量在睡眠段期间保持不变并且基于与来自先前睡眠段的对象中的脑活动有关的信息来确定。在一些实施例中,操作708包括基于在睡眠段期间先前的睡眠深度估计来在睡眠段期间调节最小阈值音量和最大阈值音量。在一些实施例中,基于所确定的睡眠深度中的变化率来调节在睡眠段期间提供给对象的感觉刺激的强度。在一些实施例中,操作708由与控制部件34(在图1中示出并且在本文中描述)相同或相似的硬件处理器部件执行。

[0071] 尽管以上提供的描述基于当前被认为是最实用和优选的实施例提供了用于说明目的的细节,但是应该理解,这样的细节仅仅是为了该目的,并且本公开不限于明确公开的实施例,而是相反,旨在覆盖在权利要求的精神和范围内的修改和等价布置。例如,应该理解的是,本公开预见到,在可能的范围内,任何实施例的一个或多个特征可以与任何其他实施例的一个或多个特征组合。

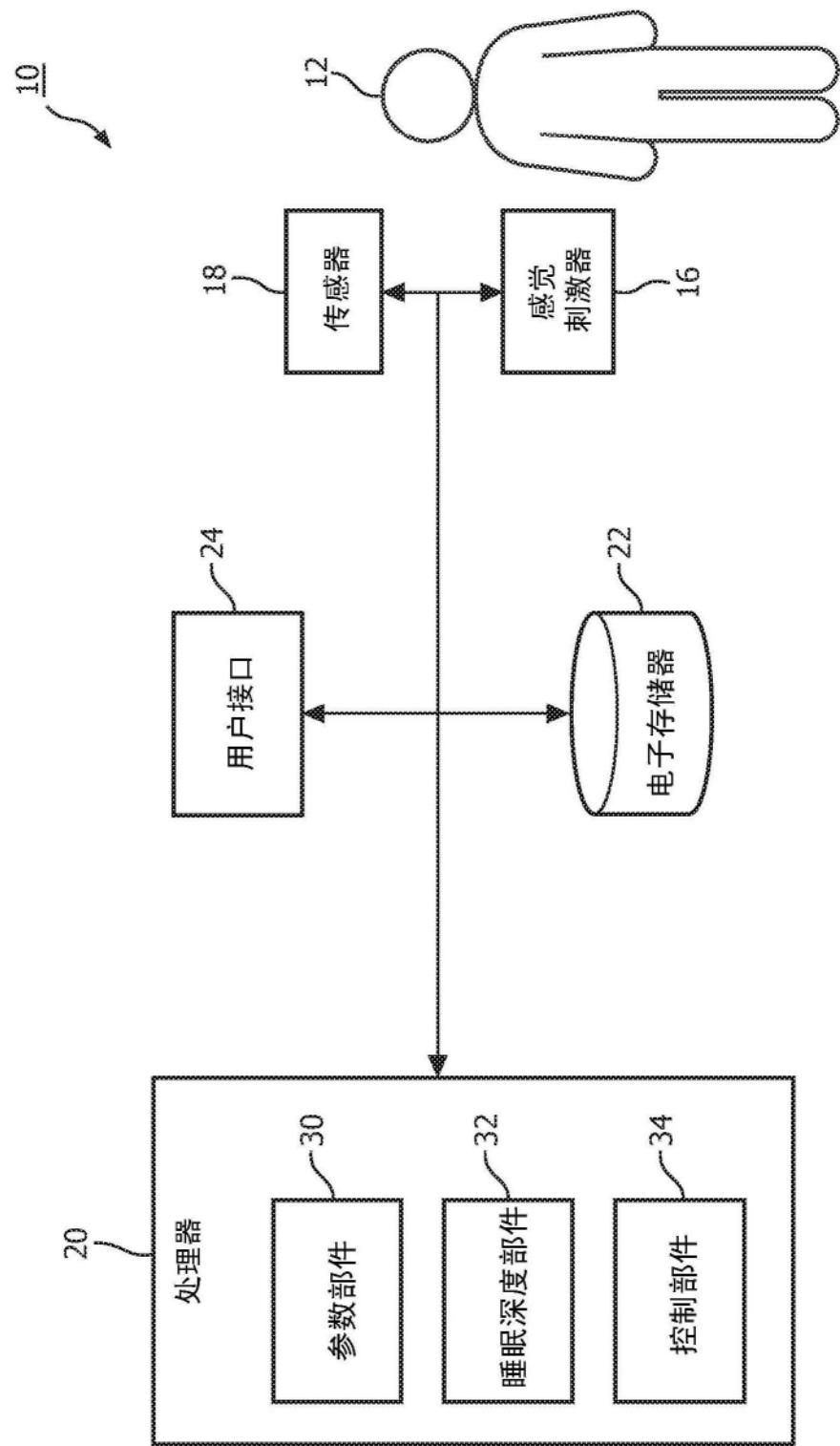


图1

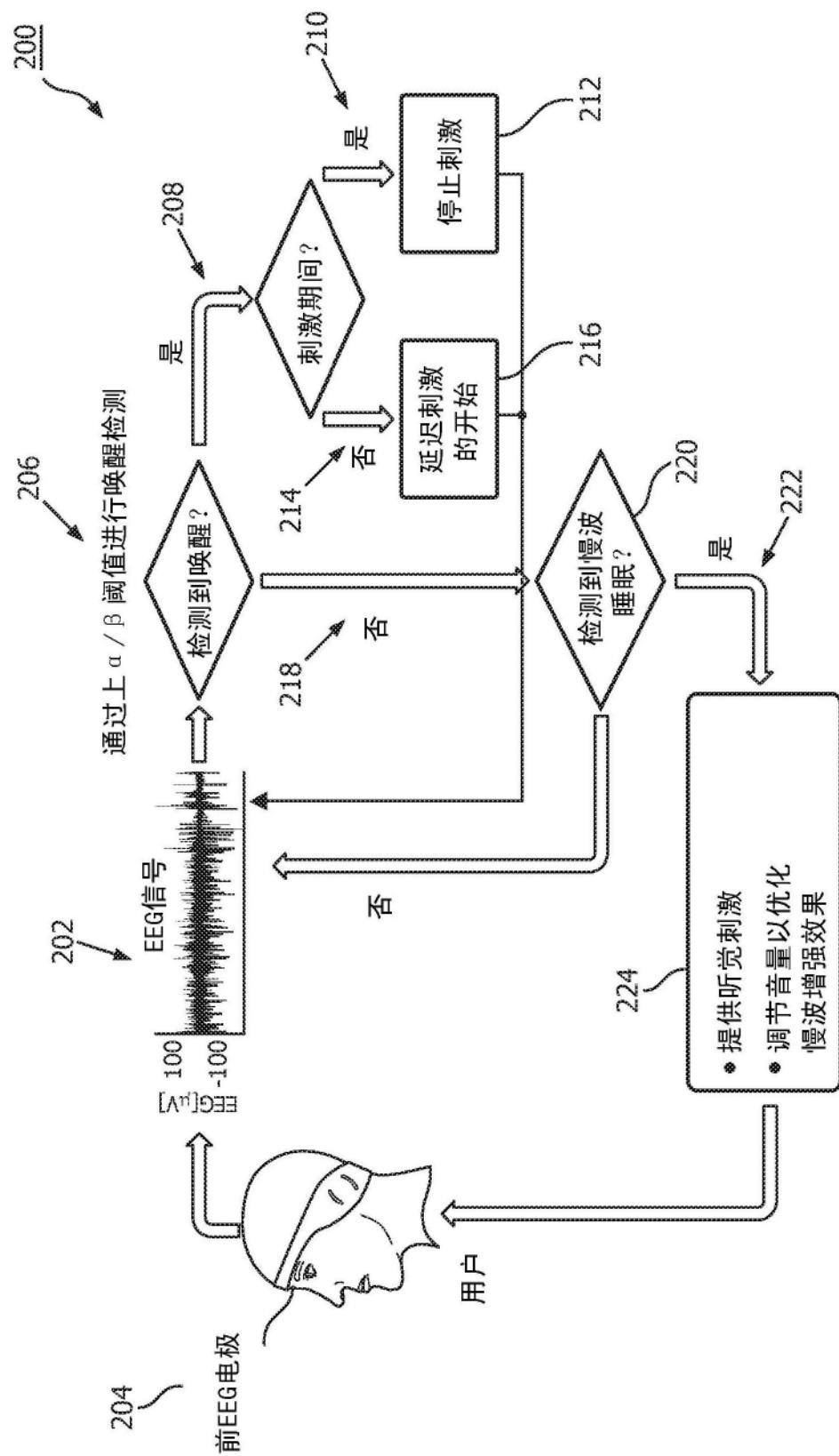


图2

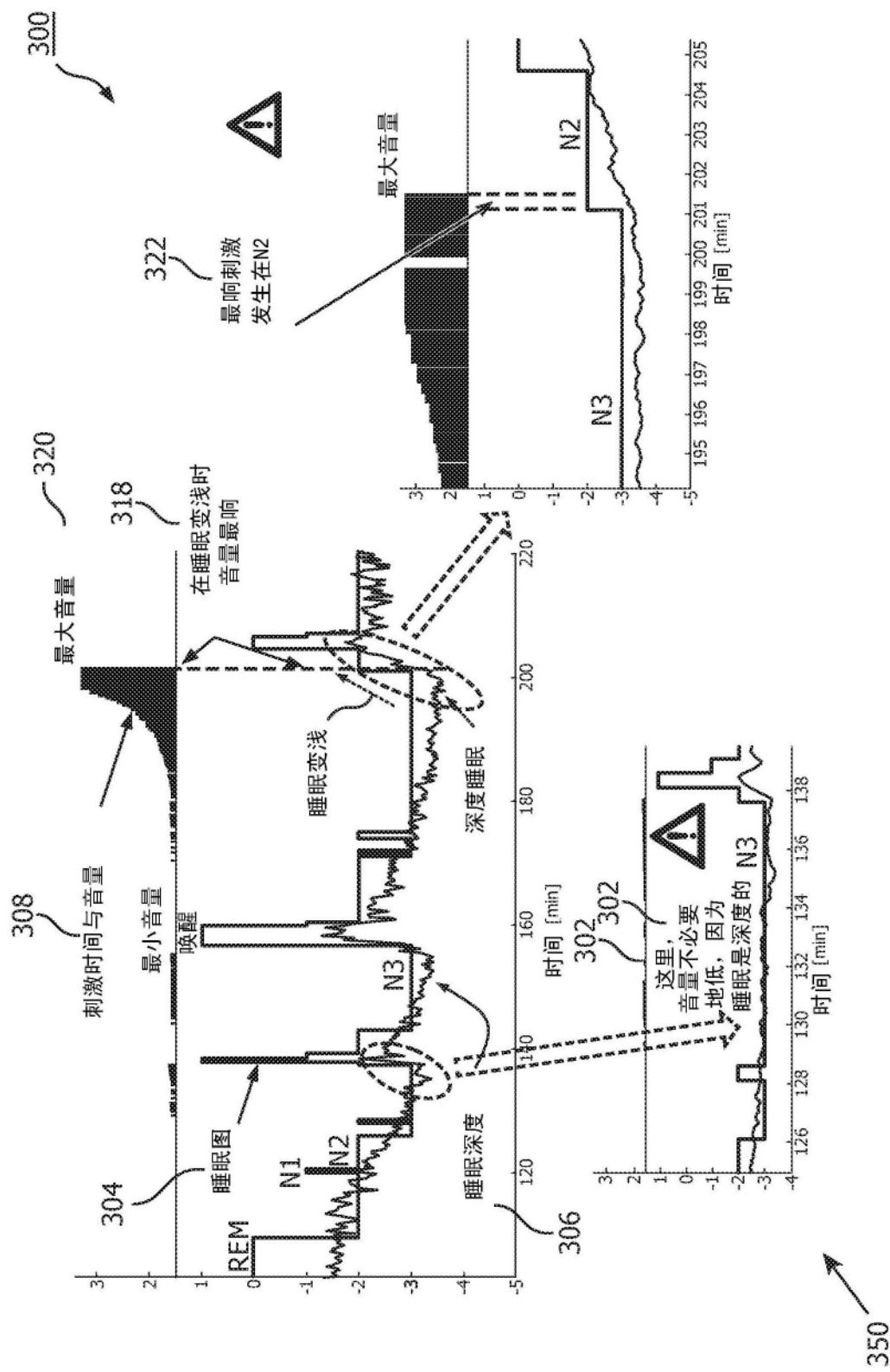


图3

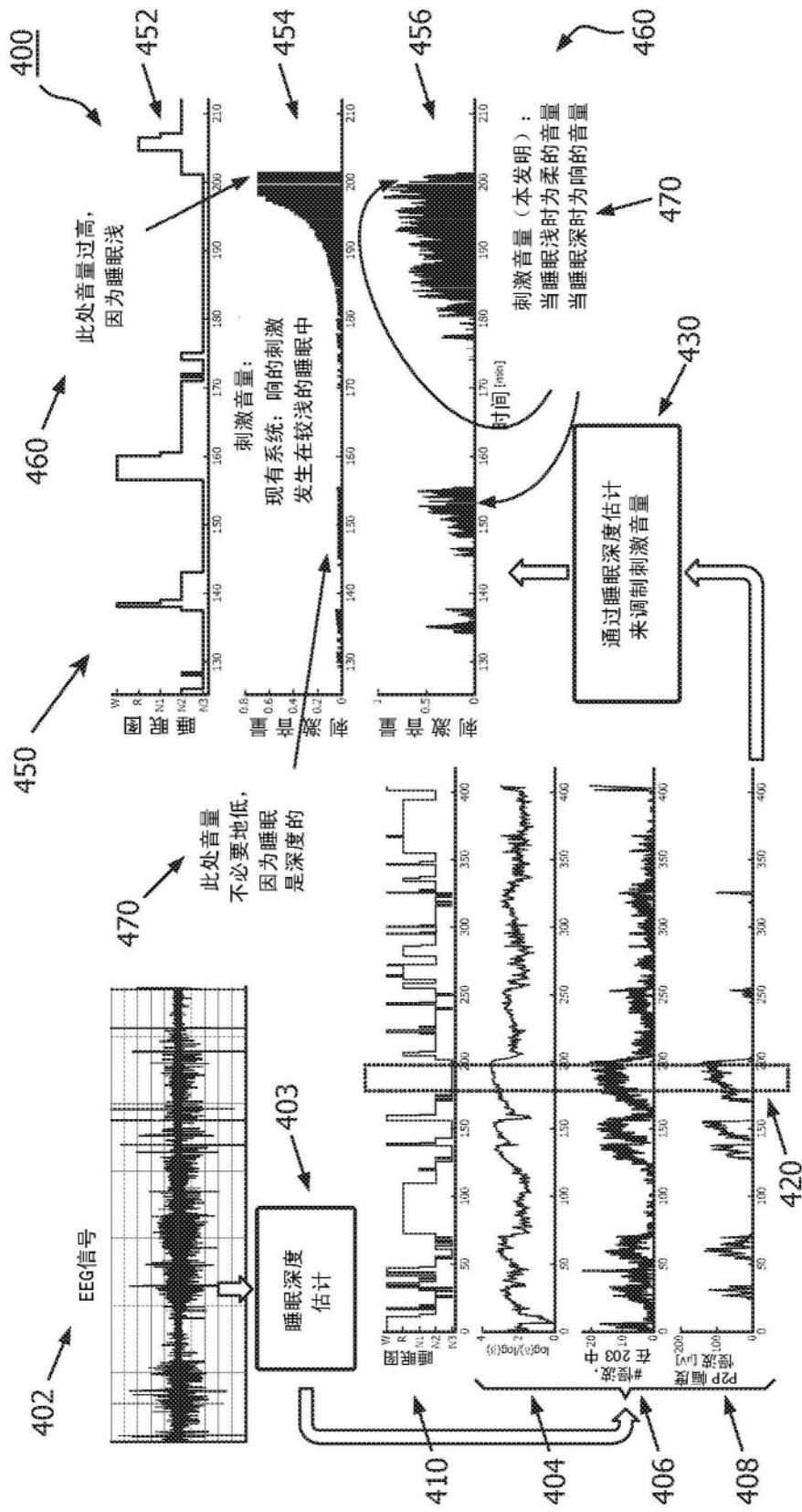


图4

- 在N3睡眠期间，睡眠深度的估计值达到其最高值。
  - 然而睡眠深度在整个N3中不均匀

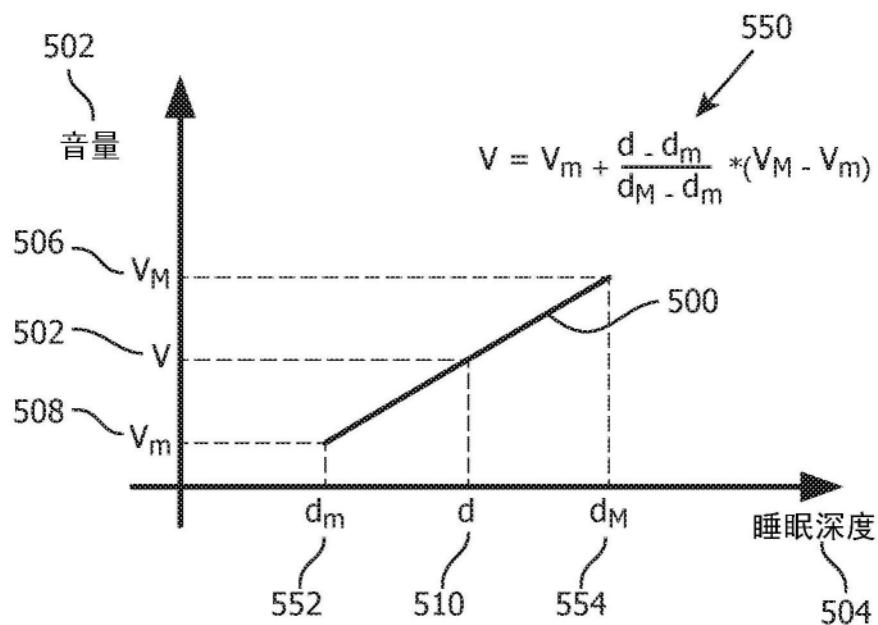


图5

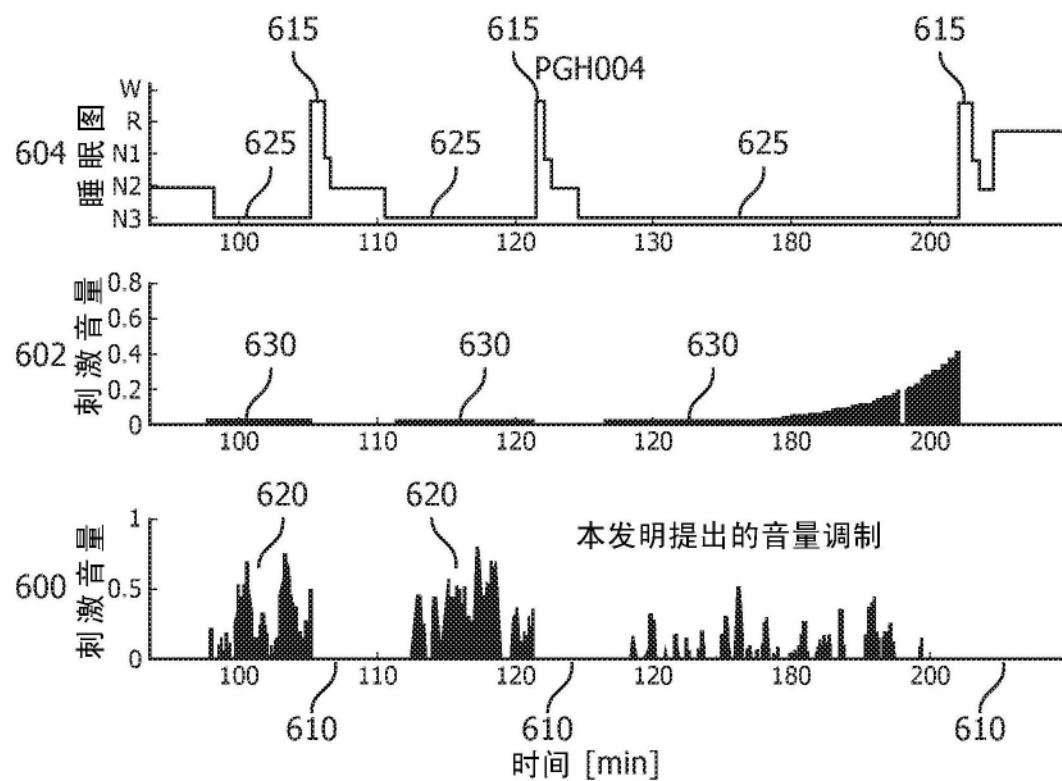


图6

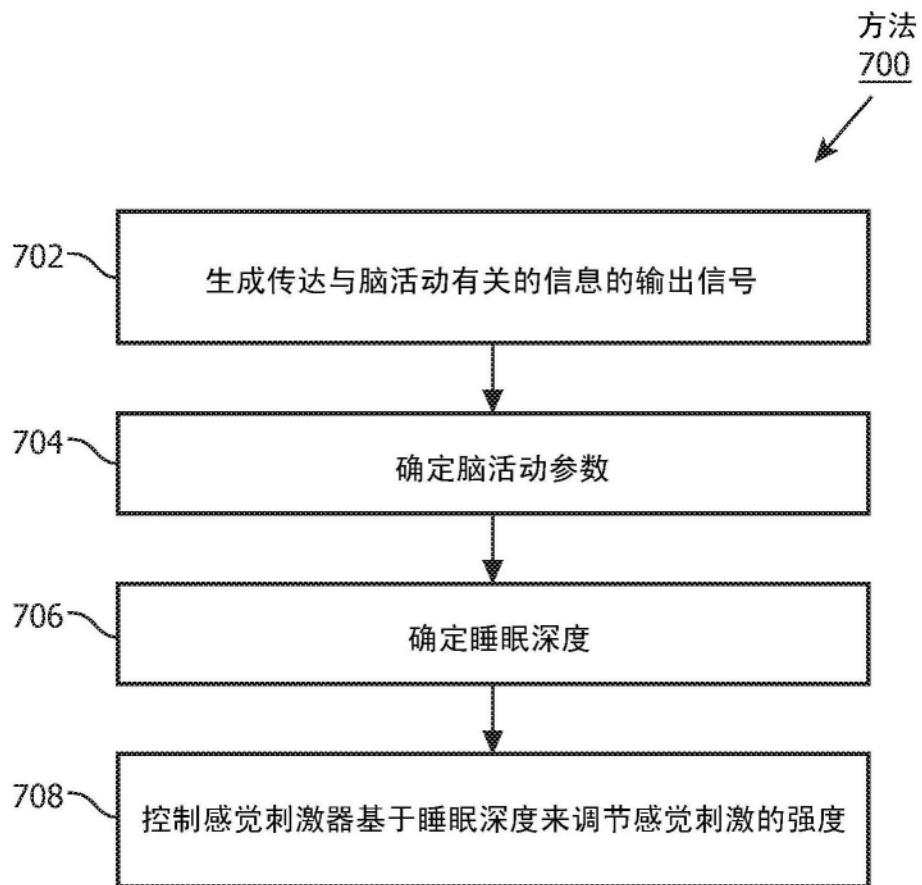


图7