



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106344008 B

(45)授权公告日 2019.05.07

(21)申请号 201610843516.1

A61B 5/00(2006.01)

(22)申请日 2016.09.21

(56)对比文件

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 106344008 A

CN 105105714 A, 2015.12.02,

CN 101583313 A, 2009.11.18,

CN 101599127 A, 2009.12.09,

AU 654910 B2, 1994.11.24,

EP 1983364 A1, 2008.10.22,

CN 105105714 A, 2015.12.02,

和卫星等.基于样本熵的睡眠脑电分期.

《江苏大学学报(自然科学版)》.2009,第30卷(第5期),第501-504页.

(43)申请公布日 2017.01.25

(73)专利权人 广州视源电子科技股份有限公司

地址 510530 广东省广州市广州黄埔区云埔四路6号

(72)发明人 赵巍 胡静 韩志

审查员 舒玉

(74)专利代理机构 广州华进联合专利商标代理有限公司 44224

代理人 潘桂生

(51)Int.Cl.

A61B 5/0476(2006.01)

A61B 5/0496(2006.01)

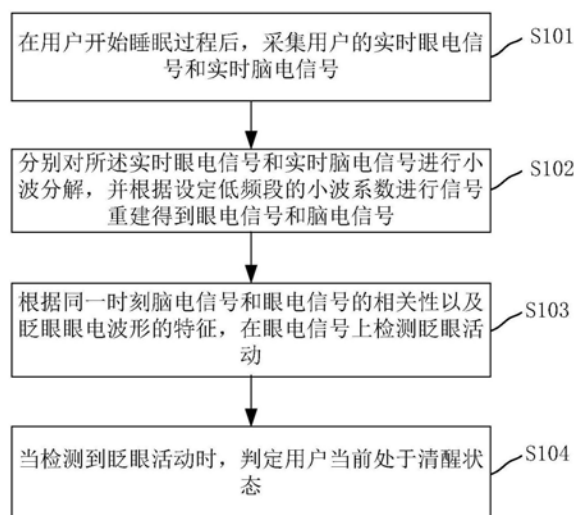
权利要求书3页 说明书7页 附图2页

(54)发明名称

睡眠状态分析中清醒状态检测方法和系统

(57)摘要

本发明涉及一种睡眠状态分析中清醒状态检测方法和系统,其中所述方法包括:在用户开始睡眠过程后,采集用户的实时眼电信号和实时脑电信号;分别对所述实时眼电信号和实时脑电信号进行小波分解,并根据设定低频段的小波系数进行信号重建得到眼电信号和脑电信号;根据同一时刻脑电信号和眼电信号的相关性以及眨眼眼电波形的特征,在眼电信号上检测眨眼活动;当检测到眨眼活动时,判定用户当前处于清醒状态。本发明的技术方案,该方案可以在用户睡眠状态分析过程中,减少外界干扰对清醒状态检测结果的影响,更加准确地检测出用户的清醒状态,有效地提高辅助睡眠的效果。



1. 一种睡眠状态分析中清醒状态检测方法,其特征在于,包括:

在用户开始睡眠过程后,采集用户的实时眼电信号和实时脑电信号;

分别对所述实时眼电信号和实时脑电信号进行小波分解,并根据设定低频段的小波系数进行信号重建得到眼电信号和脑电信号;

根据同一时刻脑电信号和眼电信号的相关性以及眨眼眼电波形的特征,在眼电信号上检测眨眼活动;

当检测到眨眼活动时,判定用户当前处于清醒状态;

所述根据同一时刻脑电信号和眼电信号的相关性以及眨眼眼电波形的特征,在眼电信号上检测眨眼活动的步骤包括,利用具有设定信号幅度和时间长度的滑动窗口截取低频眼电信号;分别计算滑动窗口内眼电信号与同一时刻脑电信号的波形的相关系数,滑动窗口内眼电信号波形尖峰的尖锐程度参数以及尖峰的持续时间;若所述相关系数、尖锐程度参数和持续时间均分别满足预设的相关系数阈值、尖锐程度参数阈值和持续时间阈值,判断该滑动窗口内眼电信号存在眨眼活动。

2. 根据权利要求1所述的睡眠状态分析中清醒状态检测方法,其特征在于,所述计算滑动窗口内眼电信号波形尖峰的尖锐程度参数的步骤包括:

分别计算眼电信号波形在滑动窗口内的上部区域面积和下部区域面积,计算公式如下:

$$area_{up} = \sum_{i=1}^n (p_{\max} - p_i)$$

$$area_{down} = \sum_{i=1}^n (p_i - p_{\min})$$

式中, p_i 为滑动窗口内的眼电信号, $p_{\max}$ 为滑动窗口内眼电信号的最大值, $p_{\min}$ 为滑动窗口内眼电信号的最小值, $area_{up}$ 表示上部区域面积, $area_{down}$ 表示下部区域面积;

根据所述上部区域面积和下部区域面积计算所述眼电信号波形尖峰的面积,计算公式如下:

$$blink_{area} = \begin{cases} area_{up} & \text{if } area_{up} < area_{down} \\ area_{down} & \text{if } area_{up} > area_{down} \end{cases}$$

式中, $blink_{area}$ 表示尖峰的面积,if表示满足条件;

根据尖峰面积计算尖锐程度参数,计算公式如下:

$$blink_{ratio} = blink_{area} / in - blink_{area}$$

式中, $blink_{ratio}$ 表示尖锐程度参数, $in - blink_{area}$ 表示非尖峰部分的面积。

3. 根据权利要求2所述的睡眠状态分析中清醒状态检测方法,其特征在于,所述计算滑动窗口内眼电信号波形尖峰的持续时间的步骤包括:

根据所述上部区域面积和下部区域面积计算所述眼电信号波形尖峰的方向,计算公式如下:

$$blink_{direction} = \begin{cases} 1 & \text{if } area_{up} < area_{down} \\ -1 & \text{if } area_{up} > area_{down} \end{cases}$$

式中, $blink_{direction}$ 表示尖峰方向,标记为1表示尖峰向下,标记为-1表示尖峰向上;

在尖峰向下时,根据尖峰两侧的局部极大值点计算尖峰的持续时间;或者在尖峰向上时,根据尖峰两侧的局部极小值点计算尖峰的持续时间;计算公式如下:

$$\text{blink}_{ts} = \text{vertex}_{\text{right}} - \text{vertex}_{\text{left}},$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} \text{vertex}_{\text{right}} = \text{right_max_loca} & \text{vertex}_{\text{left}} = \text{left_max_loca} & \text{if } \text{blink}_{\text{direction}} = 1 \\ \text{vertex}_{\text{right}} = \text{right_min_loca} & \text{vertex}_{\text{left}} = \text{left_min_loca} & \text{if } \text{blink}_{\text{direction}} = -1 \end{cases}$$

式中, blink_{ts} 表示尖峰的持续时间, $\text{vertex}_{\text{right}}$ 表示尖峰的右侧顶点时刻, 表示尖峰的左侧顶点时刻, right_min_loca 表示尖峰右侧的局部极小值点, right_max_loca 表示尖峰右侧的局部极大值点, left_min_loca 表示尖峰左侧的局部极小值点, left_max_loca 表示尖峰左侧的局部极大值点, s.t. 表示约束条件。

4. 根据权利要求3所述的睡眠状态分析中清醒状态检测方法, 其特征在于, 所述滑动窗口的幅度为75微伏至300微伏, 所述眨眼时眼电信号与脑电信号之间的相关系数阈值为0.9, 所述尖锐程度参数阈值为0.3, 所述持续时间阈值为0.3秒。

5. 根据权利要求1至4任一项所述的睡眠状态分析中清醒状态检测方法, 其特征在于, 还包括:

从开始采集实时脑电信号和实时眼电信号后的设定时间T内, 判定用户一直处于清醒状态。

6. 根据权利要求1所述的睡眠状态分析中清醒状态检测方法, 其特征在于, 还包括:

计算所述脑电信号的样本熵, 将该样本熵与预先计算的样本熵阈值进行比较, 若所述样本熵大于所述样本熵阈值, 则判定用户当前处于清醒状态。

7. 根据权利要求6所述的睡眠状态分析中清醒状态检测方法, 其特征在于, 所述样本熵阈值的计算公式如下:

$$\text{sampen_thre} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \text{sampen_val}_i + \frac{v}{n} \left(\sum_{i=1}^n \text{sampen_val}_i^2 - \sum_{i=1}^n \text{sampen_val}_i \right)$$

$$\text{sampen_val}_i = \text{sampen}(y[p_start:p_end])$$

$$p_start = (i-1) * \text{time_length} * fs + 1$$

$$p_end = p_start + \text{time_length} * fs - 1$$

$$p_end < T * fs$$

式中, 其中 sampen_thre 为样本熵阈值, sampen_val_i 为样本熵集合中第 i 个样本的样本熵, sampen 为求样本熵的运算, 其输入 $y[p_start:p_end]$ 为脑电信号 y 在第 p_start 点开始到第 p_end 点为止的部分, time_length 为计算样本熵的每个样本的时间长度, fs 为脑电信号的采样率, T 为开始采集脑电信号后的设定时间, v 为设定参数。

8. 根据权利要求7所述的睡眠状态分析中清醒状态检测方法, 其特征在于, 所述参数 v 的取值如下:

$$X_i = \frac{\text{sampen_val}_i - u}{\sigma}, i = 1, \dots, n$$

$$\text{其中, } u = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \text{sampen_val}_i, \quad \sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n \text{sampen_val}_i^2 - \sum_{i=1}^n \text{sampen_val}_i \right)}$$

$$x = v$$

$$\Phi(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt = P(X \leq x)$$

式中, X 表示样本熵集合, X_i 表示样本熵集合 X 中第 i 个元素, $\Phi(x)$ 表示标准正态分布函数的积分, $P(X \leq x)$ 表示样本熵的集合 X 中的取值小于 x 的概率。

9. 一种睡眠状态分析中清醒状态检测系统, 其特征在于, 包括:

信号采集模块, 用于在用户开始睡眠过程后, 采集用户的实时眼电信号和实时脑电信号;

信号重建模块, 用于分别对所述实时眼电信号和实时脑电信号进行小波分解, 并根据设定低频段的小波系数进行信号重建得到眼电信号和脑电信号;

眨眼检测模块, 用于根据同一时刻脑电信号和眼电信号的相关性以及眨眼眼电波形的特征, 在眼电信号上检测眨眼活动; 所述眨眼检测模块还用于, 利用具有设定信号幅度和时间长度的滑动窗口截取低频眼电信号; 分别计算滑动窗口内眼电信号与同一时刻脑电信号的波形的相关系数, 滑动窗口内眼电信号波形尖峰的尖锐程度参数以及尖峰的持续时间; 若所述相关系数、尖锐程度参数和持续时间均分别满足预设的相关系数阈值、尖锐程度参数阈值和持续时间阈值, 判断该滑动窗口内眼电信号存在眨眼活动;

状态判定模块, 用于当检测到眨眼活动时, 判定用户当前处于清醒状态。

睡眠状态分析中清醒状态检测方法和系统

技术领域

[0001] 本发明涉及辅助睡眠技术领域,特别是涉及一种睡眠状态分析中清醒状态检测方法和系统。

背景技术

[0002] 目前市面上已经有一些辅助设备来进行辅助人们入睡,即辅助睡眠,以提高用户的睡眠质量。睡眠状态分析是辅助设备了解用户睡眠质量的重要手段,而在此过程中,需要对用户睡眠状态进行检测,以准确知道用户是清醒还是睡着状态,然后才能够进行对应的干预措施。

[0003] 多导睡眠图 (Polysomnography, PSG), 又称睡眠脑电图, 是目前临床上用于睡眠诊断和分析的“金标准”。多导睡眠图利用多种生命体征对睡眠进行分析, 在这些体征信号中, 脑电处于核心地位; 利用脑电波4种节律: δ 波 (1-3Hz), θ 波 (4-7Hz), α 波 (8-12Hz), β 波 (14-30Hz) 的频率特性。根据不同节律的脑电波和眼球运动特征, 除了清醒阶段以外, 睡眠可以分成非眼快动睡眠 (No Rapid Eye Movement Sleep, NREM sleep) 和眼快动睡眠 (Rapid Eye Movement Sleep, REM sleep) 周期。其中非眼快动睡眠又可以分为4个时期: S1期 (完全清醒至睡眠之间的过渡阶段), S2期 (浅睡阶段), S3期 (中等深度睡眠), S4期 (深睡期)。

[0004] 一般情况下, 检测用户是否处于清醒状态, 是通过利用脑电波在4个频段的信号 (δ 波频段、 θ 波频段、 α 波频段和 β 波频段) 训练清醒状态的识别模型 (分类器) 来对脑电信号进行识别, 这些识别模型往往是利用其他人的脑电波进行训练的通用识别模型, 但由于脑电信号的个人特异性很强, 并且脑电的强度很弱 (脑电为微伏级别, 心电为毫伏级别), 在信号采集时极易被外界信号所干扰, 从而导致清醒状态检测过程中也容易受到干扰影响, 难以准确地检测出用户的清醒状态, 容易导致辅助睡眠中执行了错误的干预措施, 影响用户的睡眠质量。

发明内容

[0005] 基于此, 有必要针对上述问题, 提供一种睡眠状态分析中清醒状态检测方法和系统, 可以准确地检测脑电信号的清醒状态, 有效地提高睡眠状态识别的准确率。

[0006] 一种睡眠状态分析中清醒状态检测方法, 包括:

[0007] 在用户开始睡眠过程后, 采集用户的实时眼电信号和实时脑电信号;

[0008] 分别对所述实时眼电信号和实时脑电信号进行小波分解, 并根据设定低频段的小波系数进行信号重建得到眼电信号和脑电信号;

[0009] 根据同一时刻脑电信号和眼电信号的相关性以及眨眼眼电波形的特征, 在眼电信号上检测眨眼活动;

[0010] 当检测到眨眼活动时, 判定用户当前处于清醒状态。

[0011] 一种睡眠状态分析中清醒状态检测系统, 包括:

[0012] 信号采集模块, 用于在用户开始睡眠过程后, 采集用户的实时眼电信号和实时脑

电信号；

[0013] 信号重建模块,用于分别对所述实时眼电信号和实时脑电信号进行小波分解,并根据设定低频段的小波系数进行信号重建得到眼电信号和脑电信号；

[0014] 眨眼检测模块,用于根据同一时刻脑电信号和眼电信号的相关性以及眨眼眼电波形的特征,在眼电信号上检测眨眼活动；

[0015] 状态判定模块,用于当检测到眨眼活动时,判定用户当前处于清醒状态。

[0016] 上述睡眠状态分析中清醒状态检测方法和系统,在用户开始睡眠过程后,采集用户的实时眼电信号和实时脑电信号,进行小波分解和低频段重建得到眼电信号和脑电信号；根据同一时刻脑电信号和眼电信号的相关性以及眨眼眼电波形的特征,在眼电信号上检测眨眼活动从而判定用户当前处于清醒状态。该方案可以在用户睡眠状态分析过程中,减少外界干扰对清醒状态检测结果的影响,更加准确地检测出用户的清醒状态,有效地提高辅助睡眠的效果。

附图说明

[0017] 图1为一个实施例的睡眠状态分析中清醒状态检测方法的流程图；

[0018] 图2是一段常见的清醒时期的脑电信号与眼电信号示意图；

[0019] 图3为滑动窗口内眼电信号波形尖峰面积示意图；

[0020] 图4为检测到眨眼活动的结果示意图；

[0021] 图5为一个实施例的睡眠状态分析中清醒状态检测系统结构示意图。

具体实施方式

[0022] 下面结合附图阐述本发明的睡眠状态分析中清醒状态检测方法和系统的实施例。

[0023] 参考图1所示,图1为一个实施例的睡眠状态分析中清醒状态检测方法的流程图,包括:

[0024] 步骤S101,在用户开始睡眠过程后,采集用户的实时眼电信号和实时脑电信号；

[0025] 此步骤中,可以是在对用户进行辅助睡眠等睡眠状态分析中,在确保用户是清醒的状态下,当用户开始睡眠后,对用户的实时眼电信号和实时脑电信号采集,通过用户佩戴相关眼电传感设备和脑电传感设备,采集用户在睡眠过程中产生的眼电信号和脑电信号。

[0026] 在采集信号时,可以以30s为一帧进行采集,后续对每帧眼电信号和脑电信号进行分析处理。

[0027] 步骤S102,分别对所述实时眼电信号和实时脑电信号进行小波分解,并根据设定低频段的小波系数进行信号重建得到眼电信号和脑电信号；

[0028] 首先分别对实时眼电信号和实时脑电信号进行小波分解,并根据设定低频段的小波系数重建眼电信号和脑电信号,为了避免高频噪声的干扰同时保留信号的基本信息,我们在较低频段上对脑电信号进行分析。为了计算的方便,可以选择 θ 波的频率上限(0~8Hz)进行小波分解和重建。

[0029] 为了计算的方便,可以选择脑电信号的 θ 波(主要是4-7Hz)的频率上限进行重建,即0~8Hz。

[0030] 步骤S103,根据同一时刻脑电信号和眼电信号的相关性以及眨眼眼电波形的特

征,在眼电信号上检测眨眼活动;

[0031] 在正常人的睡眠周期中,眨眼是清醒期所特有的一个活动,由于眨眼时眼电信号的幅度较高,会对脑电信号造成干扰。

[0032] 参考图2,图2是一段常见的清醒时期的脑电信号与眼电信号示意图;图中实线为脑电信号,虚线为眼电信号。通过图中可以看出,眨眼活动在脑电信号和眼电信号上都产生了向下的尖峰,眨眼活动在脑电图上表现为具有短时间的高尖峰的波形,这也是眨眼眼电波形的特征。

[0033] 在上述检测过程中,利用同一时刻的脑电信号和眼电信号之间的相关性,结合眨眼眼电信号的波形特征进行判断。

[0034] 在一个实施例,在眼电信号上检测眨眼活动的方法,可以如下:

[0035] (1) 利用具有设定信号幅度和时间长度的滑动窗口截取所述低频眼电信号;

[0036] 本发明利用一个滑动窗口内的信号幅度、眼电信号与脑电信号的相似程度,尖峰的尖锐程度和尖峰持续时间来检测滑动窗口内是否有眨眼活动,该滑动窗口验证脑电图时间轴上滑动,截取眼电信号波形。

[0037] 由于眨眼的时间一般小于0.4秒,因此可以在一个稍大滑动窗口的内检测眨眼电信号,例如设置0.6倍的采样时间长度,即 $n=0.6 \cdot f_s$, n 为滑动窗口长度, f_s 为眼电信号的采样率。

[0038] 眼电信号的幅度可以通过滑动窗口内眼电信号的最大值减去最小值($p_{\max}-p_{\min}$)的方式求出,一般情况下,滑动窗口的幅度可以设置为75微伏至300微伏之间。

[0039] (2) 分别计算滑动窗口内眼电信号与同一时刻脑电信号的波形的相关系数,滑动窗口内眼电信号波形尖峰的尖锐程度参数以及尖峰的持续时间;

[0040] 这里尖锐程度参数是表征尖峰的特征符合眨眼时短时间的高尖峰的波形强弱的参数。

[0041] 在一个实施例中,计算滑动窗口内眼电信号波形尖峰的尖锐程度参数,可以包括如下:

[0042] (a) 分别计算眼电信号波形在滑动窗口内的上部区域面积和下部区域面积,计算公式如下:

$$[0043] \quad area_{up} = \sum_{i=1}^n (p_{\max} - p_i)$$

$$[0044] \quad area_{down} = \sum_{i=1}^n (p_i - p_{\min})$$

[0045] 式中, p_i 为滑动窗口内的眼电信号, $p_{\max}$ 为滑动窗口内眼电信号的最大值, $p_{\min}$ 为滑动窗口内眼电信号的最小值, $area_{up}$ 表示上部区域面积, $area_{down}$ 表示下部区域面积;

[0046] (b) 根据所述上部区域面积和下部区域面积计算所述眼电信号波形尖峰的面积,计算公式如下:

$$[0047] \quad blink_{area} = \begin{cases} area_{up} & \text{if } area_{up} < area_{down} \\ area_{down} & \text{if } area_{up} > area_{down} \end{cases}$$

[0048] 式中, $blink_{area}$ 表示尖峰的面积, if 表示满足条件;

[0049] 参考图3所示,图3为滑动窗口内眼电信号波形尖峰面积示意图,两种方向的尖峰上、下部区域面积如图所示,左图尖峰方向向上,右图的尖峰方向向下。

[0050] (c) 根据尖峰面积计算尖锐程度参数,计算公式如下:

$$[0051] \quad \text{blinkratio} = \text{blinkarea} / (\text{in} - \text{blinkarea})$$

[0052] 式中, blinkratio 表示尖锐程度参数, $\text{in} - \text{blinkarea}$ 表示非尖峰部分的面积,这里尖锐程度参数也可以转化为是上部区域面积和下部区域面积之间的比值。

[0053] 计算滑动窗口内眼电信号波形尖峰的持续时间的方法,可以包括如下:

[0054] (d) 根据所述上部区域面积和下部区域面积计算所述眼电信号波形尖峰的方向,计算公式如下:

$$[0055] \quad \text{blink}_{\text{direction}} = \begin{cases} 1 & \text{if } \text{area}_{\text{up}} < \text{area}_{\text{down}} \\ -1 & \text{if } \text{area}_{\text{up}} > \text{area}_{\text{down}} \end{cases}$$

[0056] 式中, $\text{blink}_{\text{direction}}$ 表示尖峰方向,标记为1表示尖峰向下,标记为-1表示尖峰向上;

[0057] (e) 在尖峰向下时,根据尖峰两侧的局部极大值点计算尖峰的持续时间;或者在尖峰向上时,根据尖峰两侧的局部局部极小值点计算尖峰的持续时间;计算公式如下:

$$[0058] \quad \text{blink}_{\text{ts}} = \text{vertex}_{\text{right}} - \text{vertex}_{\text{left}},$$

$$[0059] \quad s.t. \begin{cases} \text{vertex}_{\text{right}} = \text{right_min_loca} & \text{vertex}_{\text{left}} = \text{left_min_loca} & \text{if } \text{blink}_{\text{direction}} = 1 \\ \text{vertex}_{\text{right}} = \text{right_max_loca} & \text{vertex}_{\text{left}} = \text{left_max_loca} & \text{if } \text{blink}_{\text{direction}} = -1 \end{cases}$$

[0060] 式中, blink_{ts} 表示尖峰的持续时间, $\text{vertex}_{\text{right}}$ 表示尖峰的右侧顶点时刻,表示尖峰的左侧顶点时刻, right_min_loca 表示尖峰右侧的局部极小值点, right_max_loca 表示尖峰右侧的局部极大值点, left_min_loca 表示尖峰左侧的局部极小值点, left_max_loca 表示尖峰左侧的局部极大值点, $s.t.$ 表示约束条件。

[0061] (3) 若所述相关系数、尖锐程度参数和持续时间均分别满足预设的相关系数阈值、尖锐程度参数阈值和持续时间阈值,判断该滑动窗口内眼电信号存在眨眼活动;

[0062] 具体的,当滑动窗口内的信号幅度、眼电信号与脑电信号的相似程度、尖峰的面积和持续时间都满足条件时,即认为当前滑动窗口存在着眨眼活动;

[0063] 对于相关系数阈值,一般认为,相关系数大于0.7的两个向量基本上可以认为是正相关的,考虑到眨眼时眼电信号对脑电信号的干扰,眨眼时眼电信号与脑电信号之间的相关系数阈值可以设为0.9;对于尖锐程度参数阈值,一般可以设置为0.3;对于尖峰的持续时间阈值,根据眨眼时间一般是0.3-0.4秒,因此,持续时间阈值可以设为0.3秒。

[0064] 步骤S104,当检测到眨眼活动时,判定用户当前处于清醒状态;

[0065] 在正常人的睡眠周期中,眨眼是清醒期所特有的一个活动,因此,如果在检测清醒状态过程中,如果在某一段时间内,检测到有眨眼活动,即可认为当前是处于清醒状态。

[0066] 参考图4,图4为检测到眨眼活动的结果示意图,图中实线和虚线分别为经过小波变换重建后的脑电信号和眼电信号。在眼电信号上,圆圈标出了眨眼活动所形成的尖峰,可以发现,虽然检测出的眨眼活动数量较少,但是误检率极低。

[0067] 进一步地,在实际应用中,为了避免误检出眨眼活动带来的误识别,以一帧30秒眼电信号为例,当在一帧信号里至少要检出2个或2个以上的眨眼活动时,判定用户当前处于

清醒状态,这样就能够极大提高检测准确性。

[0068] 在一个实施例中,本发明的睡眠状态分析中清醒状态检测方法,还可以从开始采集实时脑电信号和实时眼电信号后的设定时间T内,判定用户一直处于清醒状态。

[0069] 一般情况下,考虑到人正常的入睡时间为10~15分钟,在劳累/疲惫时入睡时间甚至会缩短,因此,在用户完全清醒的状态下开始采集用户的脑电信号,可以认为在开始采集后的一个设定时间段内,用户是处于清醒状态的,作为实施例,本发明选择的时间段为300秒(5分钟),即用户开始采集脑电信号后的300秒内都会被判断为清醒状态。

[0070] 为了进一步提高检测准确率,在基于眼电信号的检测眨眼活动方案的基础上,本发明针对于采集的脑电信号,还可以通过样本熵比较方式来进行检测。

[0071] 采用的技术方案可以如下:

[0072] 首先计算所述脑电信号的样本熵,然后将该样本熵与预先计算的样本熵阈值进行比较,若所述样本熵大于所述样本熵阈值,则判定用户当前处于清醒状态。

[0073] 样本熵是时间序列复杂度的一种度量,被广泛应用于癫痫的检测中。在睡眠周期的6个阶段中,清醒阶段的脑电信号的样本熵最高,本发明利用脑电信号的样本熵的大小来判断用户是否为清醒状态,通过设定样本熵阈值,与脑电信号的样本熵进行比较。

[0074] 进一步的,在上述比较过程中,样本熵阈值的选择也是至关重要的一环。在目前癫痫的检测等方面得到的经验数据,并不适合用在睡眠状态分析中对清醒状态的准确判定。

[0075] 如前面实施例所述,从开始采集信号后的设定时间T内,用户都可以认为是清醒的,因此,在确保用户清醒状态下,刚好可以利用这段时间内采集的用户的脑电信号计算样本熵阈值。

[0076] 在一个实施例中,可以采用如下方法计算样本熵阈值,包括:

[0077] 首先将设定时间内的脑电信号分成多个样本,并分别计算各个脑电信号样本的样本熵,得到样本熵集合;在此过程中,假设利用30s为一帧、采集300秒脑电信号进行处理,那么这里就有10个样本,此时可以计算出包括10个样本熵的样本熵集合。

[0078] 然后根据所述样本熵集合计算样本熵阈值;作为实施例,样本熵阈值的计算公式可以如下:

$$[0079] \quad \text{sampen_thre} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \text{sampen_val}_i + \frac{v}{n} \left(\sum_{i=1}^n \text{sampen_val}_i^2 - \sum_{i=1}^n \text{sampen_val}_i \right)$$

$$[0080] \quad \text{sampen_val}_i = \text{sampen}(y[p_start:p_end])$$

$$[0081] \quad p_start = (i-1) * \text{time_length} * fs + 1$$

$$[0082] \quad p_end = t_start + \text{time_length} * fs - 1$$

$$[0083] \quad p_end < T * fs$$

[0084] 式中,其中sampen_thre为样本熵阈值,sampen_val_i为样本熵集合中第i个样本的样本熵,sampen为求样本熵的运算,其输入y[p_start:p_end]为脑电信号y在第p_start点开始到第p_end点为止的部分,time_length为计算样本熵的每个样本的时间长度,fs为脑电信号的采样率,T为开始采集脑电信号后的设定时间,v为设定参数。

[0085] 在上述计算方案中,参数v的取值非常重要,通过参数v可以控制识别准确率;因此,为了提高识别准确率,对于参数v取值可以通过如下公式计算:

[0086] 假设清醒阶段时的样本熵的集合X服从标准正态分布,集合X中第i个元素表示为:

$$[0087] \quad X_i = \frac{sampen_val_i - u}{\sigma}, i = 1, \dots, n$$

$$[0088] \quad \text{其中, } u = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n sampen_val_i, \quad \sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n sampen_val_i^2 - \sum_{i=1}^n sampen_val_i \right)}$$

[0089] 此时, $x = v$

$$[0090] \quad \text{根据标准正态分布函数的积分: } \Phi(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt = P(X \leq x)$$

[0091] 其中, $P(X \leq x)$ 表示样本熵的集合 X 中的取值小于 x 的概率, 由此可以计算, 以 $T = 300s$, $time_length = 30s$ 为例, 当参数 $v = 2.58$ 时, 样本熵集合 X 的值小于 x 的概率为 99.5%。

[0092] 最后, 通过将当前帧的脑电信号计算的样本熵与样本熵阈值比较, 如果样本熵大于样本熵阈值, 即可判断判定用户当前处于清醒状态。

[0093] 此步骤中, 考虑到清醒阶段的脑电信号的样本熵最大, 基于上述实施例计算的样本熵阈值 $sampen_thre$, 可知将样本熵大于 $sampen_thre$ 的脑电信号判断为清醒状态可以得到较高准确率。

[0094] 上述实施例的方案, 在检测眨眼活动的基础上, 进一步通过脑电信号样本熵判断, 能够进一步提高检测准确率。通过进一步对样本熵阈值判断, 可以避免眨眼活动检测中可能存在的漏判情况。以脑电信号和眼电信号 30s 一帧为例, 如果在同期的眼电信号中没有检测出眨眼活动, 通过样本熵阈值判断达到复检和补漏的功能。

[0095] 本发明实施例的睡眠状态分析中清醒状态检测方法, 在多例利用脑电信号进行的清醒状态检测实验中, 得到了准确判断, 具有较高的准确性。

[0096] 本发明实施例的方案, 对清醒状态进行准确判断, 可以形成清醒状态检测器, 该检测器如果输出结果为“是”, 即判定当前状态为清醒状态, 如果输出结果为“否”, 可判定当前状态为非确定状态 (既不是清醒状态, 但也不能认为是睡眠状态)。

[0097] 相对于传统方法的准确率可能会受到干扰影响, 本发明的技术对于部分干扰较严重的信号, 可能会影响检出率, 但是不会影响到准确率, 可以适用于睡眠状态分析中对于清醒状态的检测识别。

[0098] 参考图 5 所示, 图 5 为一个实施例的睡眠状态分析中清醒状态检测系统结构示意图, 包括:

[0099] 信号采集模块 101, 用于在用户开始睡眠过程后, 采集用户的实时眼电信号和实时脑电信号;

[0100] 信号重建模块 102, 用于分别对所述实时眼电信号和实时脑电信号进行小波分解, 并根据设定低频段的小波系数进行信号重建得到眼电信号和脑电信号;

[0101] 眨眼检测模块 103, 用于根据同一时刻脑电信号和眼电信号的相关性以及眨眼眼电波形的特征, 在眼电信号上检测眨眼活动;

[0102] 状态判定模块 104, 用于当检测到眨眼活动时, 判定用户当前处于清醒状态。

[0103] 本发明的睡眠状态分析中清醒状态检测系统与本发明的睡眠状态分析中清醒状态检测方法一一对应, 在上述睡眠状态分析中清醒状态检测方法的实施例阐述的技术特征及其有益效果均适用于睡眠状态分析中清醒状态检测系统的实施例中, 特此声明。

[0104] 以上所述实施例的各技术特征可以进行任意的组合, 为使描述简洁, 未对上述实

施例中的各个技术特征所有可能的组合都进行描述,然而,只要这些技术特征的组合不存在矛盾,都应当认为是本说明书记载的范围。

[0105] 以上所述实施例仅表达了本发明的几种实施方式,其描述较为具体和详细,但不能因此而理解为对发明专利范围的限制。应当指出的是,对于本领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明构思的前提下,还可以做出若干变形和改进,这些都属于本发明的保护范围。因此,本发明专利的保护范围应以所附权利要求为准。

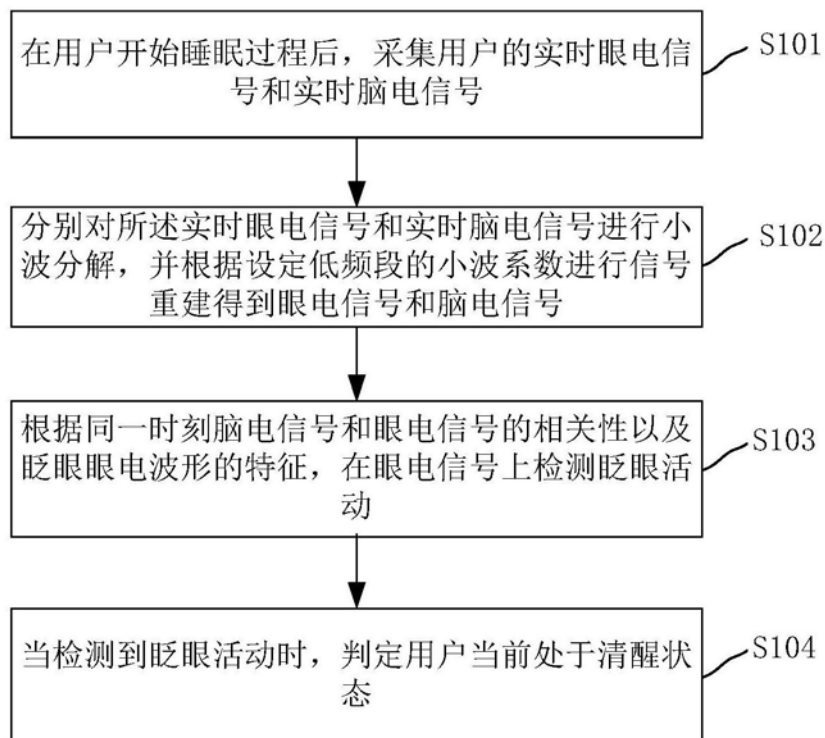


图1

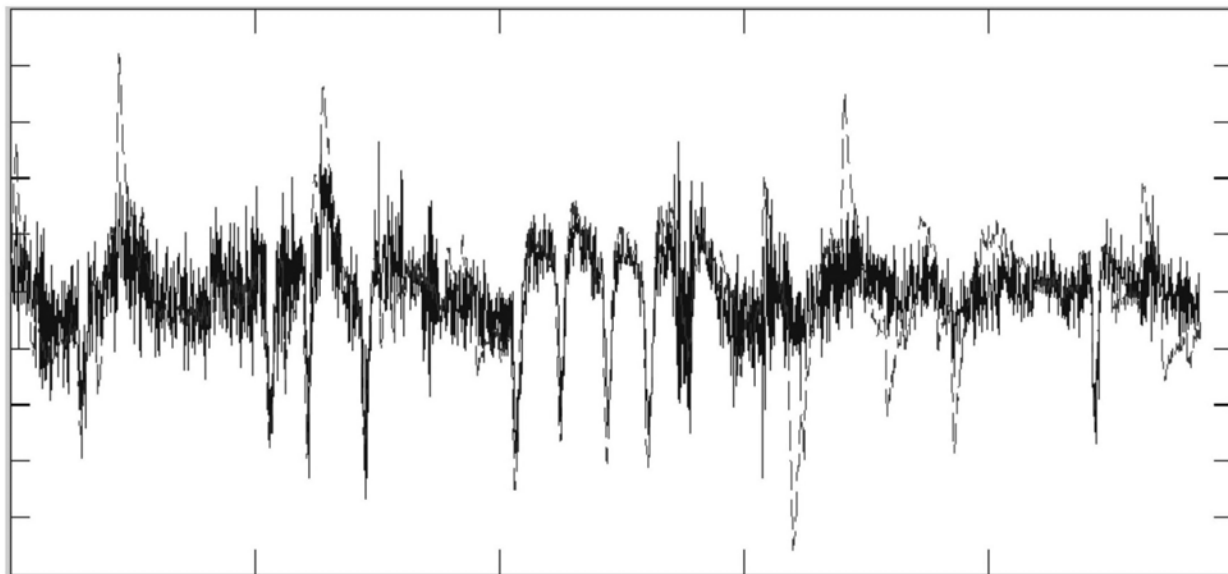


图2

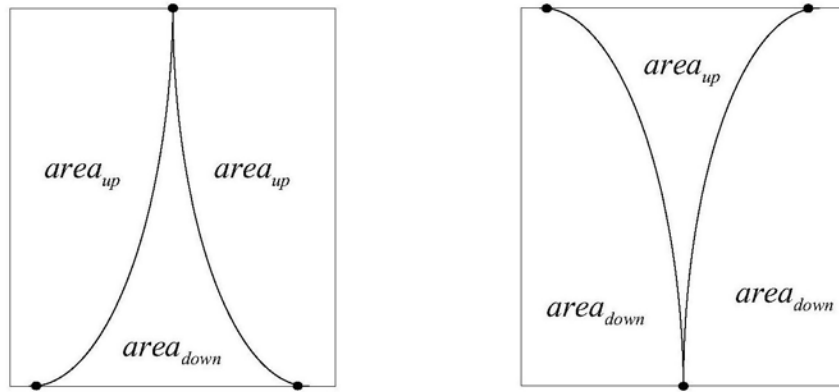


图3

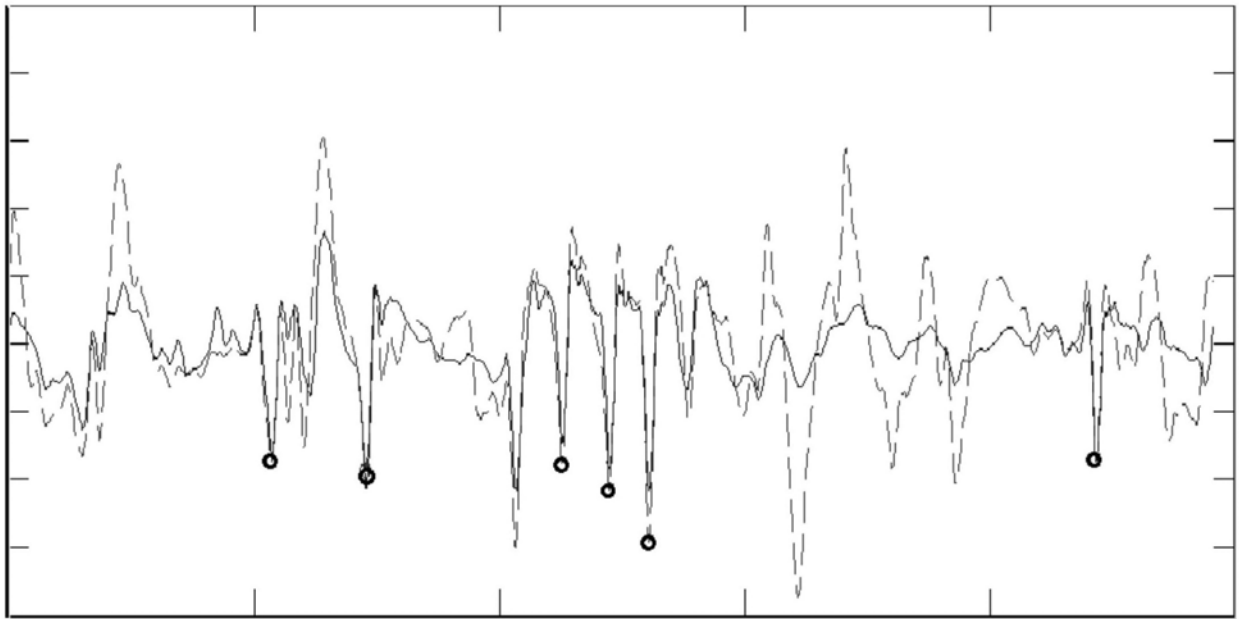


图4

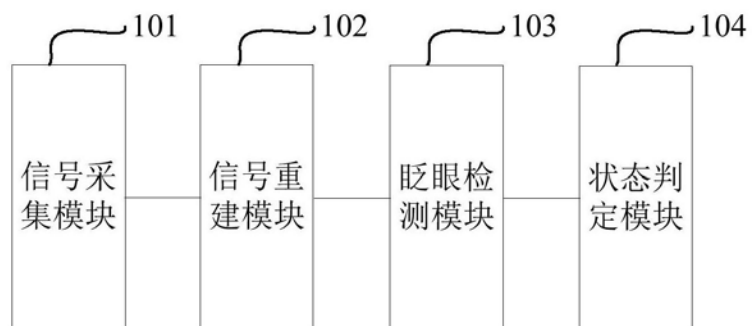


图5

专利名称(译)	睡眠状态分析中清醒状态检测方法和系统		
公开(公告)号	CN106344008B	公开(公告)日	2019-05-07
申请号	CN201610843516.1	申请日	2016-09-21
[标]申请(专利权)人(译)	广州视源电子科技股份有限公司		
申请(专利权)人(译)	广州视源电子科技股份有限公司		
当前申请(专利权)人(译)	广州视源电子科技股份有限公司		
[标]发明人	赵巍 胡静 韩志		
发明人	赵巍 胡静 韩志		
IPC分类号	A61B5/0476 A61B5/0496 A61B5/00		
CPC分类号	A61B5/04012 A61B5/0476 A61B5/0496 A61B5/4809 A61B5/4815 A61B5/6802 A61B5/7203 A61B5/7235		
代理人(译)	潘桂生		
其他公开文献	CN106344008A		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

本发明涉及一种睡眠状态分析中清醒状态检测方法和系统，其中所述方法包括：在用户开始睡眠过程后，采集用户的实时眼电信号和实时脑电信号；分别对所述实时眼电信号和实时脑电信号进行小波分解，并根据设定低频段的小波系数进行信号重建得到眼电信号和脑电信号；根据同一时刻脑电信号和眼电信号的相关性以及眨眼眼电波形的特征，在眼电信号上检测眨眼活动；当检测到眨眼活动时，判定用户当前处于清醒状态。本发明的技术方案，该方案可以在用户睡眠状态分析过程中，减少外界干扰对清醒状态检测结果的影响，更加准确地检测出用户的清醒状态，有效地提高辅助睡眠的效果。

