



# (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109316166 A

(43)申请公布日 2019.02.12

(21)申请号 201811176029.X

(22)申请日 2018.10.10

(71)申请人 大连理工大学

地址 116024 辽宁省大连市甘井子区凌工  
路2号

(72)发明人 高庆华 王洁 马晓瑞

(74)专利代理机构 大连理工大学专利中心  
21200

代理人 梅洪玉 刘秋彤

(51) Int. Cl.

A61B 5/00(2006.01)

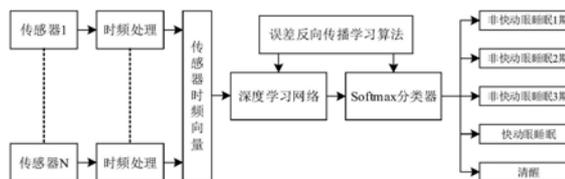
权利要求书1页 说明书3页 附图1页

## (54)发明名称

一种基于深度学习网络的人体睡眠阶段估计方法

## (57)摘要

本发明提供一种基于深度学习网络的人体睡眠阶段估计方法,属于医疗健康与信息技术领域。该方法可以估计人体所处睡眠阶段,为慢性病人及老人监护、健康监护等领域提供了一种分析睡眠阶段的有效方法。该方法利用传感器采集的人体心率、呼吸频率、体动、鼾声、脑电信号等一种或者多种信息,通过深度学习网络提取这些信息的最优特征,并基于最优特征采用Softmax分类器对睡眠阶段进行估计。本发明将提升人体睡眠阶段估计性能,有效的实现对人体健康状态的监测。



1. 一种基于深度学习网络的人体睡眠阶段估计方法,其特征在于,该方法包括离线训练与在线分类两个阶段,离线训练阶段计算和求解稀疏自编码深度学习网络以及Softmax分类器的参数,在线分类阶段基于训练好的稀疏自编码深度学习网络以及Softmax分类器实现睡眠阶段估计,具体步骤如下:

1) 离线训练阶段

(1.1) 传感器采集人体心率、呼吸频率、体动、鼾声、脑电信号中的一种或多种传感器信号;

(1.2) 对一段时间内采集的一个或多个传感器信号时间序列进行时域低通滤波,获得时域序列,同时对传感器信号时间序列进行快速傅里叶变换,获得频域序列;

(1.3) 对时域序列和频域序列进行平滑滤波降采样,形成传感器时频向量,将传感器时频向量输入到采用全连接结构的稀疏自编码深度学习网络中,提取最优特征;

(1.4) 将最优特征输入到Softmax分类器中,实现睡眠阶段估计;

(1.5) 根据真实的睡眠阶段以及估计的睡眠阶段,采用误差反向传播算法对稀疏自编码深度学习网络以及Softmax分类器的参数进行更新学习;

(1.6) 重复步骤(1.1)至(1.5),直到稀疏自编码深度学习网络以及Softmax分类器的参数保持不变,稀疏自编码深度学习网络训练完毕;

2) 在线分类阶段

(2.1) 传感器实时采集人体心率、呼吸频率、体动、鼾声、脑电信号中的一种或多种传感器信号;

(2.2) 对一段时间内采集的一个或多个传感器信号时间序列进行时域低通滤波,获得时域序列,同时对传感器信号时间序列进行快速傅里叶变换,获得频域序列;

(2.3) 对时域序列和频域序列进行平滑滤波降采样,形成传感器时频向量,将传感器时频向量输入到采用全连接结构的稀疏自编码深度学习网络中,提取最优特征;

(2.4) 将最优特征输入到Softmax分类器中,实现实时睡眠阶段估计。

2. 根据权利要求1所述人体睡眠阶段估计方法,其特征在于,采用全连接结构的稀疏自编码深度学习网络从传感器时频向量中提取最优特征的具体步骤如下:

1) 稀疏自编码深度学习网络包括4层,依次为具有 $K_1$ 个单元的输入层,具有 $K_2$ 个单元的第一隐层,具有 $K_3$ 个单元的第二隐层,具有 $K_4$ 个单元的输出层;

2) 稀疏自编码深度学习网络采用全连接结构,前面一层的每个单元均与后面一层的所有单元连接,输入层与第一隐层有 $K_1 \times K_2$ 个连接,第一隐层与第二隐层有 $K_2 \times K_3$ 个连接,第二隐层与输出层有 $K_3 \times K_4$ 个连接;

3) 稀疏自编码深度学习网络的第一隐层、第二隐层、输出层均有稀疏约束,确保对应某一输入时有少于十分之一的单元被激活。

3. 根据权利要求1或2所述人体睡眠阶段估计方法,其特征在于,Softmax分类器对深度学习网络提取的最优特征进行分类,以实现睡眠阶段估计的具体步骤如下:

1) 稀疏自编码深度学习网络输出层输出的最优特征为 $K_4 \times 1$ 的特征向量,Softmax分类器输出的为 $S \times 1$ 的睡眠阶段向量,其中, $S$ 为睡眠阶段的个数;

2) Softmax分类器为一个实现 $K_4 \times 1$ 向量到 $S \times 1$ 向量投影的映射函数,输入 $K_4 \times 1$ 的最优特征,将输出 $S \times 1$ 的睡眠阶段向量。

## 一种基于深度学习网络的人体睡眠阶段估计方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于医疗健康与信息技术领域,涉及一种基于深度学习网络的人体睡眠阶段估计方法。该方法利用传感器采集的人体心率、呼吸频率、体动、鼾声、脑电信号等一种或者多种信息,通过深度学习网络提取这些信息的最优特征,并基于最优特征对睡眠阶段进行估计。本发明可以估计人体所处睡眠阶段,为慢性病人及老人监护、健康监护等领域提供了一种分析睡眠阶段的有效方法。

### 背景技术

[0002] 睡眠质量与一个人的健康状态息息相关,通过对人体睡眠阶段的估计可以有效的实现对人体健康状态的监测,从而实现对慢性病人及老人的监护。

[0003] 人们尝试设计了不同的睡眠阶段估计方法,并进行了有益的探索:

[0004] 刘志勇等人(参考文献:刘志勇、张宏民、赵辉群、朱政、李竹琴.基于脑电信号的睡眠分期算法研究[J].中国生物医学工程学报,2015,34(6):693-700.)采用小波方法分析了脑电信号的特征,利用熵指数、去趋势波动指数、以及频带能量作为特征基于支持向量机实现睡眠阶段分类。

[0005] E·诺约卡特等人(参考文献:E·诺约卡特、F·克雷默、S·M·L·德沃特、X·L·M·A·奥伯特.用于睡眠/清醒状况估计的方法和系统[P].中国发明专利,申请专利号:200980113453.2,2009.)提出采用至少一种传感器来监测人体睡眠,从传感器信号中提取出特征,并基于特征来实现睡眠、清醒两种状态的估计。

[0006] 洪弘等人(参考文献:洪弘、张诚、孙理、蒋洁、顾陈、李彧晟、朱晓华.基于多传感器特征优化算法的睡眠分期方法[P].中国发明专利,申请专利号:201810125662.X,2018.)采用连续波雷达传感器和音频传感器同时采集人体睡眠信号,对呼吸、心跳、体动信号进行特征进行融合,赋予不同特征不同的权重信息,以实现睡眠阶段分类。

[0007] 许燕等人(参考文献:许燕、张鑫.一种自动睡眠分期的方法和装置[P].中国发明专利,申请专利号:201810006161.X,2018.)采用滑动窗获得心率和肢体运动加速度信号的低层特征,基于所述低层特征提取出中层特征,并利用循环神经网络模型学习中层与底层串联特征的在时间上的长期依赖性,并依据此对睡眠阶段进行估计。

[0008] 上述方法多采用人工设计的信号特征进行分类,无法自动实现特征优化以便获得最优的睡眠阶段估计性能,在睡眠阶段估计的自动化、输入参数的多样化、性能的最优化等方面存在不足之处。

[0009] 不同于上述方法,本发明利用深度学习网络自动提取人体心率、呼吸频率、体动、鼾声、脑电信号等一种或者多种传感器信号的最优特征,并基于提取的最优特征采用Softmax分类器对睡眠阶段进行估计。本发明将提升人体睡眠阶段估计性能,从而有效的实现对人体健康状态的监测。

## 发明内容

[0010] 本发明的目的是克服现有技术的缺陷,提供一种基于深度学习网络的人体睡眠阶段估计方法。该方法借助时域与频域二维处理丰富传感器观测信息,通过深度学习网络提取传感器观测信息中的最优特征,采用Softmax分类器对最优特征进行分类从而实现睡眠阶段估计。与现有技术相比,本发明可自动提取出具有显著区分能力的、适用于睡眠阶段分类的传感器信号最优特征,从而有效的提高睡眠阶段估计性能。

[0011] 本发明的技术方案:

[0012] 一种基于深度学习网络的人体睡眠阶段估计方法,该方法包括离线训练与在线分类两个阶段,离线训练阶段计算和求解稀疏自编码深度学习网络以及Softmax分类器的参数,在线分类阶段基于训练好的稀疏自编码深度学习网络以及Softmax分类器实现睡眠阶段估计,具体步骤如下:

[0013] 1) 离线训练阶段

[0014] (1.1) 传感器采集人体心率、呼吸频率、体动、鼾声、脑电信号中的一种或多种传感器信号;

[0015] (1.2) 对一段时间内采集的一个或多个传感器信号时间序列进行时域低通滤波,获得时域序列,同时对传感器信号时间序列进行快速傅里叶变换,获得频域序列;

[0016] (1.3) 对时域序列和频域序列进行平滑滤波降采样,形成传感器时频向量,将传感器时频向量输入到采用全连接结构的稀疏自编码深度学习网络中,提取最优特征;

[0017] (1.4) 将最优特征输入到Softmax分类器中,实现睡眠阶段估计;

[0018] (1.5) 根据真实的睡眠阶段以及估计的睡眠阶段,采用误差反向传播算法对稀疏自编码深度学习网络以及Softmax分类器的参数进行更新学习;

[0019] (1.6) 重复步骤(1.1)至(1.5),直到稀疏自编码深度学习网络以及Softmax分类器的参数保持不变,稀疏自编码深度学习网络训练完毕。

[0020] 2) 在线分类阶段

[0021] (2.1) 传感器实时采集人体心率、呼吸频率、体动、鼾声、脑电信号中的一种或多种传感器信号;

[0022] (2.2) 对一段时间内采集的一个或多个传感器信号时间序列进行时域低通滤波,获得时域序列,同时对传感器信号时间序列进行快速傅里叶变换,获得频域序列;

[0023] (2.3) 对时域序列和频域序列进行平滑滤波降采样,形成传感器时频向量,将传感器时频向量输入到采用全连接结构的稀疏自编码深度学习网络中,提取最优特征;

[0024] (2.4) 将最优特征输入到Softmax分类器中,实现实时睡眠阶段估计。

[0025] 采用全连接结构的稀疏自编码深度学习网络从传感器时频向量中提取最优特征的具体步骤如下:

[0026] 1) 稀疏自编码深度学习网络包括4层,依次为具有K1个单元的输入层,具有K2个单元的第一隐层,具有K3个单元的第二隐层,具有K4个单元的输出层;

[0027] 2) 稀疏自编码深度学习网络采用全连接结构,前面一层的每个单元均与后面一层的所有单元连接,输入层与第一隐层有 $K1 \times K2$ 个连接,第一隐层与第二隐层有 $K2 \times K3$ 个连接,第二隐层与输出层有 $K3 \times K4$ 个连接;

[0028] 3) 稀疏自编码深度学习网络的第一隐层、第二隐层、输出层均有稀疏约束,确保对

应某一输入时有少于十分之一的单元被激活。

[0029] Softmax分类器对深度学习网络提取的最优特征进行分类以实现睡眠阶段估计的具体步骤如下：

[0030] 1) 稀疏自编码深度学习网络输出层输出的最优特征为 $K4 \times 1$ 的特征向量,Softmax分类器输出的为 $S \times 1$ 的睡眠阶段向量,其中, $S$ 为睡眠阶段的个数;

[0031] 2) Softmax分类器为一个实现 $K4 \times 1$ 向量到 $S \times 1$ 向量投影的映射函数,输入 $K4 \times 1$ 的最优特征,将输出 $S \times 1$ 的睡眠阶段向量。

[0032] 本发明的有益效果:本发明的方法将提升人体睡眠阶段估计性能,从而有效的实现对人体健康状态的监测;本发明可以利用深度学习网络自动提取人体心率、呼吸频率、体动、鼾声、脑电信号等一种或者多种传感器信号的最优特征,适用于各种睡眠监测传感器。

### 附图说明

[0033] 图1为本发明一种基于深度学习网络的人体睡眠阶段估计方法的原理图。

### 具体实施方式

[0034] 下面结合技术方案和附图具体详细阐述本发明的具体实施。

[0035] 实施例采用如图1所示的系统结构。采用心率、呼吸频率、体动、鼾声、脑电信号5种传感器信号,采用100Hz采样频率采集各路传感器信号,采用10Hz低通滤波器对信号进行时域滤波,消除高频干扰,同时,对各路传感器采集的信号时间序列做1024点的快速傅里叶变换,获得频域信号序列,基于各传感器获取的时域序列与频域序列进行平滑滤波降采样后形成传感器时频向量,送入到深度学习网络。深度学习网络采用4层全连接结构,输入层有640个单元,第一隐层有320个单元,第二隐层有160个单元,输出层有32个单元,深度学习网络输出 $32 \times 1$ 的最优特征向量,并送入Softmax分类器。Softmax分类器基于 $32 \times 1$ 的最优特征向量,将睡眠阶段分为5种:非快动眼睡眠1期、非快动眼睡眠2期、非快动眼睡眠3期、快动眼睡眠、清醒。

[0036] 测试表明,采用本发明的基于深度学习网络的人体睡眠阶段估计方法,该实施例在使用5种传感器时睡眠阶段估计正确率在98%以上,使用任意3种传感器的平均正确率在96%以上。

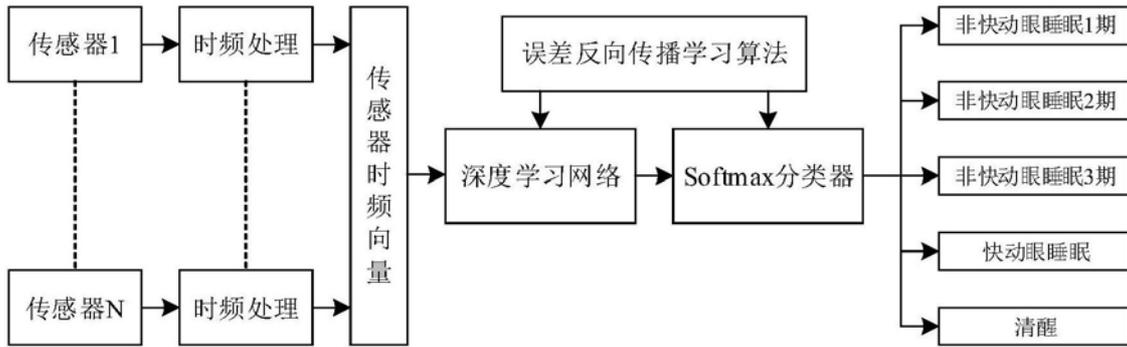


图1

专利名称(译)	一种基于深度学习网络的人体睡眠阶段估计方法		
公开(公告)号	<a href="#">CN109316166A</a>	公开(公告)日	2019-02-12
申请号	CN201811176029.X	申请日	2018-10-10
[标]申请(专利权)人(译)	大连理工大学		
申请(专利权)人(译)	大连理工大学		
当前申请(专利权)人(译)	大连理工大学		
[标]发明人	高庆华 王洁 马晓瑞		
发明人	高庆华 王洁 马晓瑞		
IPC分类号	A61B5/00		
CPC分类号	A61B5/4809 A61B5/4812 A61B5/4815 A61B5/7257 A61B5/7267		
外部链接	<a href="#">Espacenet</a> <a href="#">SIPO</a>		

摘要(译)

本发明提供一种基于深度学习网络的人体睡眠阶段估计方法，属于医疗健康与信息技术领域。该方法可以估计人体所处睡眠阶段，为慢性病人及老人监护、健康监护等领域提供了一种分析睡眠阶段的有效方法。该方法利用传感器采集的人体心率、呼吸频率、体动、鼾声、脑电信号等一种或者多种信息，通过深度学习网络提取这些信息的最优特征，并基于最优特征采用Softmax分类器对睡眠阶段进行估计。本发明将提升人体睡眠阶段估计性能，有效的实现对人体健康状态的监测。

