



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110367933 A

(43)申请公布日 2019.10.25

(21)申请号 201910637530.X

(22)申请日 2019.07.15

(71)申请人 天津大学

地址 300072 天津市南开区卫津路92号

(72)发明人 高忠科 蔡清

(74)专利代理机构 天津市北洋有限责任专利代

理事务所 12201

代理人 杜文茹

(51)Int.Cl.

A61B 5/00(2006.01)

A61B 5/04(2006.01)

A61B 5/0476(2006.01)

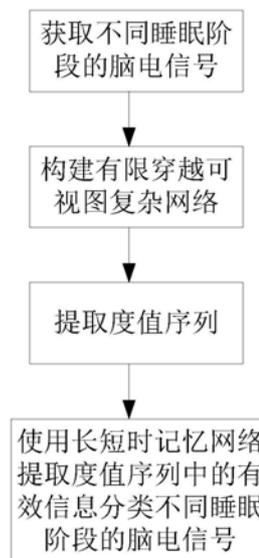
权利要求书2页 说明书5页 附图1页

(54)发明名称

基于复杂网络和深度学习的睡眠阶段分类方法及应用

(57)摘要

一种基于复杂网络和深度学习的睡眠阶段分类方法及应用:获取有限穿越可视图复杂网络的特征指标,包括建立有限穿越可视图复杂网提取节点度值,根据节点度值得到节点度值序列,将节点度值序列作为有限穿越可视图复杂网络的特征指标;对睡眠阶段脑电片段分别建立有限穿越视距为1的有限穿越可视图复杂网;采用十折交叉验证和长短时记忆模型,对睡眠阶段脑电片段按照清醒阶段、浅度睡眠阶段、深度睡眠阶段和快速眼动睡眠阶段分成四类。本发明的方法可应用于头戴式智能穿戴设备,通过分析智能穿戴设备测得的睡眠脑电信号,实现对使用者大脑状态的了解,并可提供必要的预警。



1. 一种基于复杂网络和深度学习的睡眠阶段分类方法,其特征在于,包括如下步骤:

1) 获取有限穿越可视图复杂网络的特征指标,包括:

(1) 对一个长度为T的睡眠阶段脑电片段 $\{x_t\}_{t=1}^T$,建立有限穿越可视图复杂网络,其中, x_t 表示睡眠阶段脑电片段的第i个节点;

(2) 提取节点度值;

(3) 根据节点度值得到节点度值序列,将节点度值序列作为有限穿越可视图复杂网络的特征指标:

2) 对N个长度为T的睡眠阶段脑电片段分别采用步骤的1)方法,建立有限穿越视距为1的有限穿越可视图复杂网络,得到N个可视图复杂网络的特征指标,即N个节点度值序列,将N个节点度值序列作为特征向量输入深度学习模型训练,得到一个能够监测睡眠阶段的长短时记忆模型,所述的长短时记忆模型包括有依次串接的:三个长短时记忆层、一个全连接层和一个softmax层,其中,三个长短时记忆层的每层包括64个长短时记忆单元;

3) 采用十折交叉验证和长短时记忆模型,对N个长度为T的睡眠阶段脑电片段按照清醒阶段、浅度睡眠阶段、深度睡眠阶段和快速眼动睡眠阶段分成四类。

2. 根据权利要求1所述的基于复杂网络和深度学习的睡眠阶段分类方法,其特征在于,步骤1)第(1)步包括:

(i) 设置有限穿越视距为L;

(ii) 找出有连边的节点对,具体是找出睡眠阶段脑电片段中所有不相邻的两个节点 x_i 和 x_j 之间的所有节点,对所有节点中的每一个节点 x_b 进行判断是否满足条件: $x_b < x_j + (x_i - x_j) \frac{j-b}{j-i}$,

其中, x_i, x_j, x_b 分别表示睡眠阶段脑电片段的第i个、j个、b个节点,当所述的所有节点中不满足所述条件的节点数小于等于L个,则认定在有限穿越视距为L的有限穿越可视图复杂网络中节点 x_i 和节点 x_j 之间存在连边,否则认定在有限穿越视距为L的时间窗有限穿越可视图复杂网络中节点 x_i 和节点 x_j 之间不存在连边,所有连边和所有节点构成有限穿越可视图复杂网络。

3. 根据权利要求1所述的基于复杂网络和深度学习的睡眠阶段分类方法,其特征在于,步骤1)第(2)步是采用如下公式提取节点度值:

$$k_i = \sum_{j=1}^N a_{ij}$$

其中, k_i 为第 x_t 个节点的度值, a_{ij} 为可视图复杂网络中两个节点 x_i 和 x_j 的连边。

4. 根据权利要求1所述的基于复杂网络和深度学习的睡眠阶段分类方法,其特征在于,步骤1)第(3)步所述的节点度值序列表达式如下:

$$K = \{k_i\}_{i=1}^T$$

其中, k_i 为第 x_t 个节点的度值,T表示睡眠阶段的长度。

5. 根据权利要求1所述的基于复杂网络和深度学习的睡眠阶段分类方法,其特征在于,步骤3)包括:

(1) 将N个节点度值序列分为等长的十个子集;

(2) 将十个子集中的一个子集作为测试集,剩余的九个子集作为训练集,并对训练集提

供对应的训练集标签；

(3) 用具有训练集标签训练集对长短时记忆模型进行训练；

(4) 用训练好的长短时记忆模型对测试集进行分类,得到作为测试集的子集分类结果；

(5) 重复第(2)~第(4)步,直到将等长的十个子集全部进行分类；

(6) 对十个子集分类结果中的清醒阶段、浅度睡眠阶段、深度睡眠阶段和快速眼动睡眠阶段分别求和,得到四个分类结果。

6. 一种权利要求1所述的基于复杂网络和深度学习的睡眠阶段分类方法的应用,其特征在于,分别采集S个患有睡眠障碍的成年人四个睡眠阶段的脑电数据,所述四个睡眠阶段包括,清醒阶段,浅度睡眠阶段,深度睡眠阶段和快速眼动睡眠阶段,对于所采集的脑电数据,分别构建每个睡眠阶段下脑电片段的有限穿越可视图复杂网络,其中有限穿越视距 $L=1$,计算在有限穿越可视图复杂网络的所有节点度值序列,基于十折交叉验证和长短时记忆模型,实现对不同睡眠阶段脑状态下脑电数据的准确分类。

基于复杂网络和深度学习的睡眠阶段分类方法及应用

技术领域

[0001] 本发明涉及一种睡眠阶段监测方法及应用。特别是涉及一种基于复杂网络和深度学习的睡眠阶段分类方法及应用。

背景技术

[0002] 睡眠是发生在人类身上的一个重要的、动态的、有规律的过程,它对一个人的日常活动有着重要的影响,睡眠是大脑活动的最重要的功能之一。一个健康的人的大脑在睡眠过程中会经历几种心理-生理状态,即睡眠阶段。随着现在社会生活压力的增加,越来越多的人被睡眠相关的疾病,如睡眠呼吸暂停、失眠、嗜睡、昏厥等所困扰。这将严重的影响人们的健康和生活质量。越来越多的人希望通过连续的脑电信号采集与分析并进行睡眠监护来了解自己的睡眠状态,睡眠阶段检测,就是对睡眠阶段进行分类,这对睡眠障碍的研究起着至关重要的作用。

[0003] 可视图建网从其被创立之初至今已在多领域得到广泛应用,为时间序列分析提供了一个新视角。神经网络作为一种分类器,在过去的几十年中得到了长足发展。其主要基于对数据的特征进行学习以实现分类。但是过去的训练模型大多数是浅层的,分类效果无法达到很精确的地步。随着神经网络中梯度消失的问题被有效解决,搭建深层次的神经网络即卷积神经网络成为可能。深度学习模型相比于浅层网络在特征提取和分类上的性能得到有效提升。

发明内容

[0004] 本发明所要解决的技术问题是,提供一种能够实现对睡眠阶段脑电信号的高准确率分类的基于复杂网络和深度学习的睡眠阶段分类方法及应用。

[0005] 本发明所采用的技术方案是:一种基于复杂网络和深度学习的睡眠阶段分类方法,包括如下步骤:

[0006] 1) 获取有限穿越可视图复杂网络的特征指标,包括:

[0007] (1) 对一个长度为T的睡眠阶段脑电片段 $\{x_t\}_{t=1}^T$,建立有限穿越可视图复杂网络,其中, x_t 表示睡眠阶段脑电片段的第i个节点;

[0008] (2) 提取节点度值;

[0009] (3) 根据节点度值得到节点度值序列,将节点度值序列作为有限穿越可视图复杂网络的特征指标:

[0010] 2) 对N个长度为T的睡眠阶段脑电片段分别采用步骤的1)方法,建立有限穿越视距为1的有限穿越可视图复杂网络,得到N个可视图复杂网络的特征指标,即N个节点度值序列,将N个节点度值序列作为特征向量输入深度学习模型训练,得到一个能够监测睡眠阶段的长短时记忆模型,所述的长短时记忆模型包括有依次串接的:三个长短时记忆层、一个全连接层和一个softmax层,其中,三个长短时记忆层的每层包括64个长短时记忆单元;

[0011] 3) 采用十折交叉验证和长短时记忆模型,对N个长度为T的睡眠阶段脑电片段按照

清醒阶段、浅度睡眠阶段、深度睡眠阶段和快速眼动睡眠阶段分成四类。

[0012] 步骤1) 第(1)步包括:

[0013] (i) 设置有限穿越视距为L;

[0014] (ii) 找出有连边的节点对, 具体是找出睡眠阶段脑电片段中所有不相邻的两个节点 x_i 和 x_j 之间的所有节点, 对所有节点中的每一个节点 x_b 进行判断是否满足条件:

$x_b < x_j + (x_i - x_j) \frac{j-b}{j-i}$, 其中, x_i, x_j, x_b 分别表示睡眠阶段脑电片段的第i个、j个、b个节点, 当

所述的所有节点中不满足所述条件的节点数小于等于L个, 则认定在有限穿越视距为L的有限穿越可视图复杂网络中节点 x_i 和节点 x_j 之间存在连边, 否则认定在有限穿越视距为L的时间窗有限穿越可视图复杂网络中节点 x_i 和节点 x_j 之间不存在连边, 所有连边和所有节点构成有限穿越可视图复杂网络。

[0015] 步骤1) 第(2)步是采用如下公式提取节点度值:

$$[0016] \quad k_i = \sum_{j=1}^N a_j$$

[0017] 其中, k_i 为第 x_t 个节点的度值, a_j 为可视图复杂网络中两个节点 x_i 和 x_j 的连边。

[0018] 步骤1) 第(3)步所述的节点度值序列表达式如下:

$$[0019] \quad K = \{k_i\}_{i=1}^T$$

[0020] 其中, k_i 为第 x_t 个节点的度值, T表示睡眠阶段的长度。

[0021] 步骤3) 包括:

[0022] (1) 将N个节点度值序列分为等长的十个子集;

[0023] (2) 将十个子集中的一个子集作为测试集, 剩余的九个子集作为训练集, 并对训练集提供对应的训练集标签;

[0024] (3) 用具有训练集标签训练集对长短时记忆模型进行训练;

[0025] (4) 用训练好的长短时记忆模型对测试集进行分类, 得到作为测试集的子集分类结果;

[0026] (5) 重复第(2)~第(4)步, 直到将等长的十个子集全部进行分类;

[0027] (6) 对十个子集分类结果中的清醒阶段、浅度睡眠阶段、深度睡眠阶段和快速眼动睡眠阶段分别求和, 得到四个分类结果。

[0028] 一种基于复杂网络和深度学习的睡眠阶段分类方法的应用, 分别采集S个患有睡眠障碍的成年人四个睡眠阶段的脑电数据, 所述四个睡眠阶段包括, 清醒阶段, 浅度睡眠阶段, 深度睡眠阶段和快速眼动睡眠阶段, 对于所采集的脑电数据, 分别构建每个睡眠阶段下脑电片段的有限穿越可视图复杂网络, 其中有限穿越视距 $L=1$, 计算在有限穿越可视图复杂网络的所有节点度值序列, 基于十折交叉验证和长短时记忆模型, 实现对不同睡眠阶段脑状态下脑电数据的准确分类。

[0029] 本发明的基于复杂网络和深度学习的睡眠阶段分类方法及应用, 结合有限穿越可视图理论, 构建不同睡眠阶段下脑电信号的有限穿越可视图复杂网络, 提取度值序列, 结合深度学习中的长短时记忆模型, 实现对不同睡眠阶段的高准确率分类。本发明的方法可应用于头戴式智能穿戴设备, 通过分析智能穿戴设备测得的睡眠脑电信号, 实现对使用者大脑状态的了解, 并可提供必要的预警。

附图说明

[0030] 图1是本发明基于复杂网络和深度学习的睡眠阶段分类方法及应用的流程图；

[0031] 图2是本发明的长短时记忆网络结构示意图。

具体实施方式

[0032] 下面结合实施例和附图对本发明的基于复杂网络和深度学习的睡眠阶段分类方法及应用做出详细说明。

[0033] 本发明的基于复杂网络和深度学习的睡眠阶段分类方法，是从脑电信号构建可视图复杂网络，提取复杂网络特征指标，结合长短时记忆网络实现对睡眠状态的分类。

[0034] 如图1所示，本发明的基于复杂网络和深度学习的睡眠阶段分类方法，包括如下步骤：

[0035] 1) 获取有限穿越可视图复杂网络的特征指标，包括：

[0036] (1) 对一个长度为T的睡眠阶段脑电片段 $\{x_t\}_{t=1}^T$ ，建立有限穿越可视图复杂网络，其中， x_t 表示睡眠阶段脑电片段的第i个节点；包括：

[0037] (i) 设置有限穿越视距为L；

[0038] (ii) 找出有连边的节点对，具体是找出睡眠阶段脑电片段中所有不相邻的两个节点 x_i 和 x_j 之间的所有节点，对所有节点中的每一个节点 x_b 进行判断是否满足条件：

$x_b < x_j + (x_i - x_j) \frac{j-b}{j-i}$ ，其中， x_i, x_j, x_b 分别表示睡眠阶段脑电片段的第i个、j个、b个节点，当

所述的所有节点中不满足所述条件的节点数小于等于L个，则认定在有限穿越视距为L的有限穿越可视图复杂网络中节点 x_i 和节点 x_j 之间存在连边，否则认定在有限穿越视距为L的时间窗有限穿越可视图复杂网络中节点 x_i 和节点 x_j 之间不存在连边，所有连边和所有节点构成有限穿越可视图复杂网络。

[0039] (2) 提取节点度值，是采用如下公式提取节点度值：

$$[0040] \quad k_i = \sum_{j=1}^N a_j$$

[0041] 其中， k_i 为第 x_t 个节点的度值， a_j 为可视图复杂网络中两个节点 x_i 和 x_j 的连边。

[0042] (3) 根据节点度值得到节点度值序列，将节点度值序列作为有限穿越可视图复杂网络的特征指标：所述的节点度值序列表达式如下：

$$[0043] \quad K = \{k_i\}_{i=1}^T$$

[0044] 其中， k_i 为第 x_t 个节点的度值，T表示睡眠阶段的长度。

[0045] 2) 对N个长度为T的睡眠阶段脑电片段分别采用步骤的1)方法，建立有限穿越视距为1的有限穿越可视图复杂网络，得到N个可视图复杂网络的特征指标，即N个节点度值序列，将N个节点度值序列作为特征向量输入深度学习模型训练，得到一个能够监测睡眠阶段的长短时记忆(LSTM)模型，如图2所示，所述的长短时记忆模型包括有依次串接的：三个长短时记忆层、一个全连接层和一个softmax层，其中，三个长短时记忆层的每层包括64个长短时记忆单元；所述的LSTM算法全称为Long short-term memory，是一种特定形式的循环神经网络。一个典型的LSTM单元由四个主要组件组成，即输入门、输出门、遗忘门以及存储

单元。这些门相互协作,决定哪些信息必须保存在内存中,哪些应该丢弃。具体地说,这三个门赋予LSTM删除或向单元状态添加信息的能力。包括:

[0046] 输入门表示为:

$$[0047] \quad \Gamma_i = \sigma(W_i[h_{t-1}, x_t] + b_i)$$

[0048] 输出门表示为:

$$[0049] \quad \Gamma_o = \sigma(W_o[h_{t-1}, x_t] + b_o)$$

[0050] 遗忘门表示为:

$$[0051] \quad \Gamma_f = \sigma(W_f[h_{t-1}, x_t] + b_f)$$

[0052] 存储单元表示为:

$$[0053] \quad \tilde{c}_t = \tanh(W_c[h_{t-1}, x_t] + b_c)$$

$$[0054] \quad c_t = \Gamma_i \otimes \tilde{c}_t + \Gamma_f \otimes c_{t-1}$$

$$[0055] \quad h_t = \Gamma_o \otimes \tanh(c^{(t)})$$

[0056] 其中, x_t 为输入向量; h_{t-1} 为前一时刻的隐藏层状态变量; c_{t-1} 为前一时刻的记忆单元状态变量; σ 代表Sigmoid激活函数; $\Gamma_i, \Gamma_o, \Gamma_f$ 分别表示输入门, 输出门和遗忘门; c_t 表示记忆单元状态变量, W_i, W_o, W_f, W_c 分别表示输入门, 输出门, 遗忘门和记忆单元状态变量的可调参数矩阵; b_i, b_o, b_f, b_c 分别表示输入门, 输出门, 遗忘门和记忆单元状态变量的可调向量; \tilde{c}_t 表示新获取信息; \tanh 为双曲正切激活函数。

[0057] 3) 采用十折交叉验证(ten-fold cross-validation)和长短时记忆模型,对N个长度为T的睡眠阶段脑电片段按照清醒阶段、浅度睡眠阶段、深度睡眠阶段和快速眼动睡眠阶段分成四类。包括:

[0058] (1) 将N个节点度值序列分为等长的十个子集;

[0059] (2) 将十个子集中的一个子集作为测试集,剩余的九个子集作为训练集,并对训练集提供对应的训练集标签;

[0060] (3) 用具有训练集标签训练集对长短时记忆模型进行训练;

[0061] (4) 用训练好的长短时记忆模型对测试集进行分类,得到作为测试集的子集分类结果;

[0062] (5) 重复第(2)~第(4)步,直到将等长的十个子集全部进行分类;

[0063] (6) 对十个子集分类结果中的清醒阶段、浅度睡眠阶段、深度睡眠阶段和快速眼动睡眠阶段分别求和,得到四个分类结果。

[0064] 本发明的基于复杂网络和深度学习的睡眠阶段分类方法,是对于获取到的被测者不同睡眠阶段下的脑电数据,采用基于复杂网络的脑电信号分析方法,应用长短时记忆模型得到不同脑电的分类结果,通过分析分类结果,实现对使用者大脑状态的分类。下面结合实例验证本发明方法的准确性:

[0065] 分别采集四个患有睡眠障碍的成年人和四个健康的成年人的四个睡眠阶段的脑电数据,这四个睡眠阶段包括,清醒阶段,浅度睡眠阶段,深度睡眠阶段和快速眼动睡眠阶段。对于所采集的数据,分别构建每个睡眠阶段下脑电信号片段的有限穿越可视图复杂网络,其中有限穿越视距 $L=1$, 计算在有限穿越可视图复杂网络的度值序列,基于十折交叉验证,通过本发明方法亦可实现对不同睡眠阶段脑状态下EEG数据的准确分类,基于清醒阶

段,浅度睡眠阶段,深度睡眠阶段和快速眼动睡眠阶段的四种状态分类准确率可达86.15%,基于清醒阶段,浅深度睡眠阶段(浅度睡眠阶段和深度睡眠阶段)和快速眼动睡眠阶段的三种状态分类准确率可达89.03%,基于清醒阶段和睡眠阶段(浅度睡眠阶段和深度睡眠阶段和快速眼动睡眠阶段)两种状态分类准确率可达96.33%。因此本发明的方法可有效实现对不同大脑状态的辨识与监测。

[0066] 本发明的基于复杂网络和深度学习的睡眠阶段分类方法的应用,包括分别采集S个患有睡眠障碍的成年人四个睡眠阶段的脑电数据,所述四个睡眠阶段包括,清醒阶段,浅度睡眠阶段,深度睡眠阶段和快速眼动睡眠阶段,对于所采集的脑电数据,分别构建每个睡眠阶段下脑电片段的有限穿越可视图复杂网络,其中有限穿越视距 $L=1$,计算在有限穿越可视图复杂网络的所有节点度值序列,基于十折交叉验证和长短时记忆模型,实现对不同睡眠阶段脑状态下脑电数据的准确分类。

[0067] 以上对本发明和实施例的描述,并不局限于此,实施例中的描述仅是本发明的实施方式之一,在不脱离本发明创造宗旨的情况下,任何不经创造性的设计出与该技术方案类似的结构或实施例,均属本发明的保护范围。

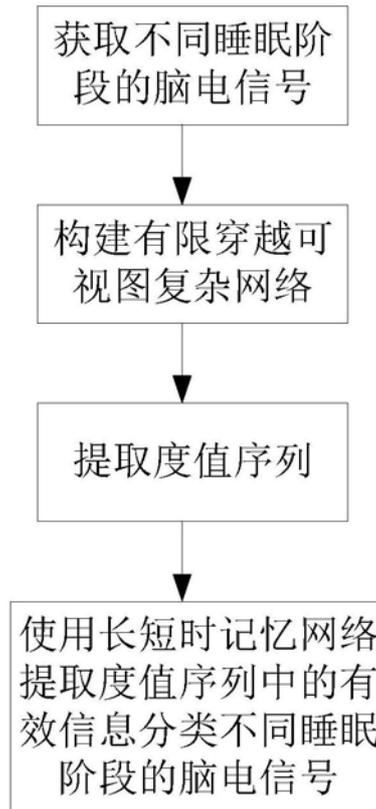


图1

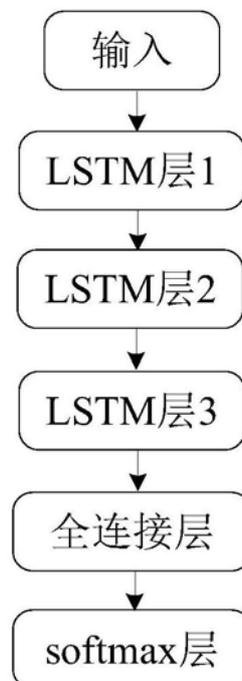


图2

专利名称(译)	基于复杂网络和深度学习的睡眠阶段分类方法及应用		
公开(公告)号	CN110367933A	公开(公告)日	2019-10-25
申请号	CN201910637530.X	申请日	2019-07-15
[标]申请(专利权)人(译)	天津大学		
申请(专利权)人(译)	天津大学		
当前申请(专利权)人(译)	天津大学		
[标]发明人	高忠科 蔡清		
发明人	高忠科 蔡清		
IPC分类号	A61B5/00 A61B5/04 A61B5/0476		
CPC分类号	A61B5/04012 A61B5/0476 A61B5/4812 A61B5/6803 A61B5/7267 A61B5/746		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

一种基于复杂网络和深度学习的睡眠阶段分类方法及应用：获取有限穿越可视图复杂网络的特征指标，包括建立有限穿越可视图复杂网提取节点度值，根据节点度值得到节点度值序列，将节点度值序列作为有限穿越可视图复杂网络的特征指标：对睡眠阶段脑电片段分别建立有限穿越视距为1的有限穿越可视图复杂网；采用十折交叉验证和长短时记忆模型，对睡眠阶段脑电片段按照清醒阶段、浅度睡眠阶段、深度睡眠阶段和快速眼动睡眠阶段分成四类。本发明的方法可应用于头戴式智能穿戴设备，通过分析智能穿戴设备测得的睡眠脑电信号，实现对使用者大脑状态的了解，并可提供必要的预警。

