



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110584596 A

(43)申请公布日 2019. 12. 20

(21)申请号 201910637527.8

(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

申请人 天津富瑞隆金属制品有限公司

(72)发明人 高忠科 蔡清 马超 马文庆

(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)

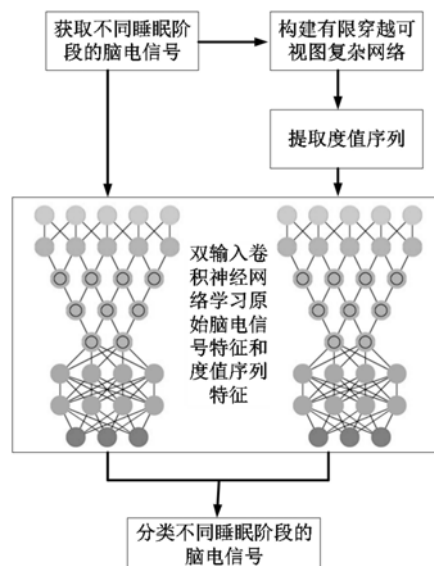
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54)发明名称

基于双输入卷积神经网络的睡眠阶段分类
方法及应用

(57)摘要

一种基于双输入卷积神经网络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;对睡眠阶段脑电片段,建立有限穿越可视图复杂网络;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;建立双输入卷积神经网络模型;采用十折交叉验证和双输入卷积神经网络模型,将节点度值序列和睡眠阶段脑电片段输入到双输入卷积神经网络模型,将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。本发明能够实现对不同睡眠阶段脑电信号的高准确率的分类。可应用于智能家居监测设备,通过分析智能家居监测设备测得的睡眠脑电信号,实现对使用者大脑状态的监测。



1. 一种基于双输入卷积神经网络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) 建立双输入卷积神经网络模型;

3) 采用十折交叉验证和双输入卷积神经网络模型,将N个节点度值序列和N个长度为T的睡眠阶段脑电片段输入到双输入卷积神经网络模型,将一个长度为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所述的基于双输入卷积神经网络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所述的基于双输入卷积神经网络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所述的基于双输入卷积神经网络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所述的基于双输入卷积神经网络的睡眠阶段分类方法,其特征在于,步骤2) 所述的双输入卷积神经网络模型,包括有两个卷积神经网络,每个卷积神经网络由依次串连的第一卷积层、第一平均池化层、第二卷积层、第三卷积层、第四卷积层和第二平均池化层构成,每个卷积层依次执行三个操作:即分别与滤波器进行一维卷积、批量归一化和应用整流线性单元(ReLU)激活,每个平均池化层都对输入平均进行采样,最后两个卷积神经网络得到两个输入的特征向量;将两个输入的特征向量分别压平成一维向量;将两个

一维向量首尾相连经过全连接层后,在softmax层中使用交叉熵目标函数生成分别属于清醒阶段,浅度睡眠阶段,深度睡眠阶段和快速眼动睡眠阶段的概率;将获得最大概率的阶段视为分类结果。

6. 根据权利要求1所述的基于双输入卷积神经网络的睡眠阶段分类方法,其特征在于,步骤3) 包括:

(1) 将N个长度为T的睡眠阶段脑电片段和节点度值序列分别分为两组等长的十个子集,所述的两组等长的十个子集相互对应;

(2) 分别将两组等长的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,提供对应的训练集标签;

(3) 将两组具有训练集标签的训练集分别输入到双输入卷积神经网络模型,对双输入卷积神经网络模型进行训练;

(4) 将两组测试集分别输入到训练好的双输入卷积神经网络模型,得到分类结果;

(5) 重复第(2) ~ 第(4) 步,直到将相互对应的等长的十个子集全部进行分类;

(6) 对全部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。

7. 一种根据权利要求1所述的基于双输入卷积神经网络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双输入卷积神经网络模型,实现对不同睡眠阶段脑状态下脑电数据的准确分类。

基于双输入卷积神经网络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分类方法及应用。特别是涉及一种基于双输入卷积神经网络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。一个健康人的大脑在睡眠过程中会经历几种状态,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,这对睡眠障碍的诊断和睡眠的研究起着至关重要的作用。

[0003] 可视图理论作为一元时间序列复杂网络分析的一个重要的分支,近年来在生理信号分析上的应用越来越广泛。与可视图相比有限穿越可视图具有更好的抗噪能力,其已被广泛用于实测信号分析。卷积神经网络(Convolutional Neural Networks,CNN)是一类包含卷积计算且具有深度结构的前馈神经网络是深度学习的代表算法之一。卷积神经网络具有表征学习能力,能够按其阶层结构对输入信息进行平移不变分类,因此也被称为“平移不变人工神经网络”。

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不同睡眠阶段脑电信号的高准确率分类的基于双输入卷积神经网络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:一种基于双输入卷积神经网络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) 建立双输入卷积神经网络模型;

[0011] 3) 采用十折交叉验证和双输入卷积神经网络模型,将N个节点度值序列和N个长度为T的睡眠阶段脑电片段输入到双输入卷积神经网络模型,将一个长度为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:

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

[0017] 其中, k_i 为第 x_i 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。

[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_i 个节点的度值, T 表示睡眠阶段的长度。

[0021] 步骤2) 所述的双输入卷积神经网络模型,包括有两个卷积神经网络,每个卷积神经网络由依次串连的第一卷积层、第一平均池化层、第二卷积层、第三卷积层、第四卷积层和第二平均池化层构成,每个卷积层依次执行三个操作:即分别与滤波器进行一维卷积、批量归一化和应用整流线性单元(ReLU)激活,每个平均池化层都对输入平均进行采样,最后两个卷积神经网络得到两个输入的特征向量;将两个输入的特征向量分别压平成一维向量;将两个一维向量首尾相连经过全连接层后,在softmax层中使用交叉熵目标函数生成分别属于清醒阶段,浅度睡眠阶段,深度睡眠阶段和快速眼动睡眠阶段的概率;将获得最大概率的阶段视为分类结果。

[0022] 步骤3) 包括:

[0023] (1) 将 N 个长度为 T 的睡眠阶段脑电片段和节点度值序列分别分为两组等长的十个子集,所述的两组等长的十个子集相互对应;

[0024] (2) 分别将两组等长的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,提供对应的训练集标签;

[0025] (3) 将两组具有训练集标签的训练集分别输入到双输入卷积神经网络模型,对双输入卷积神经网络模型进行训练;

[0026] (4) 将两组测试集分别输入到训练好的双输入卷积神经网络模型,得到分类结果;

[0027] (5) 重复第(2)~第(4)步,直到将相互对应的等长的十个子集全部进行分类;

[0028] (6) 对全部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。

[0029] 一种基于双输入卷积神经网络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双输入卷积神经网络模型,实现对不同睡眠阶段脑状态下脑电数据的准确分类。

[0030] 本发明的基于双输入卷积神经网络的睡眠阶段分类方法及应用,构建不同睡眠阶段脑电片段的有限穿越可视图复杂网络,提取复杂网络指标,设计双输入卷积神经网络,同时学习原始脑电信号特征和复杂网络特征,实现对不同睡眠阶段脑电信号的高准确率的分类。本发明的方法可应用于智能家居监测设备,通过分析智能家居监测设备测得的睡眠脑电信号,实现对使用者大脑状态的监测,并在睡眠类疾病发作时提供必要的预警。

附图说明

[0031] 图1是本发明基于双输入卷积神经网络的睡眠阶段分类方法的流程图;

[0032] 图2是本发明的双输入卷积神经网络模型的结构示意图。

具体实施方式

[0033] 下面结合实施例和附图对本发明的基于双输入卷积神经网络的睡眠阶段分类方法及应用做出详细说明。

[0034] 本发明的基于双输入卷积神经网络的睡眠阶段分类方法,从原始脑电信号中提取时间特征和从原始脑电信号构建的有限穿越可视图复杂网络中提取复杂网络特征指标实现对睡眠状态的分类。

[0035] 如图1所示,本发明的基于双输入卷积神经网络的睡眠阶段分类方法,包括如下步骤:

[0036] 1) 获取有限穿越可视图复杂网络的特征指标,包括:

[0037] (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:

[0038] (i) 设置有限穿越视距为L;

[0039] (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。

[0040] (2) 提取节点度值;是采用如下公式提取节点度值:

$$[0041] \quad k_i = \sum_{j=1}^N a_{ij}$$

[0042] 其中, k_i 为第 x_i 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。

[0043] (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:

[0044]
$$K = \{k_i\}_{i=1}^T$$

[0045] 其中, k_i 为第 x_i 个节点的度值, T 表示睡眠阶段的长度。

[0046] 2) 建立双输入卷积神经网络模型; 如图2所示, 所述的双输入卷积神经网络模型, 包括有两个卷积神经网络, 每个卷积神经网络由依次串连的第一卷积层、第一平均池化层、第二卷积层、第三卷积层、第四卷积层和第二平均池化层构成, 每个卷积层依次执行三个操作: 即分别与滤波器进行一维卷积、批量归一化和应用整流线性单元 (ReLU) 激活, 每个平均池化层都对输入平均进行采样, 最后两个卷积神经网络得到两个输入的特征向量; 将两个输入的特征向量分别压平成一维向量; 将两个一维向量首尾相连经过全连接层后, 在 softmax 层中使用交叉熵目标函数生成分别属于清醒阶段, 浅度睡眠阶段, 深度睡眠阶段和快速眼动睡眠阶段的概率; 将获得最大概率的阶段视为分类结果。

[0047] 3) 采用十折交叉验证 (ten-fold cross-validation) 和双输入卷积神经网络模型, 将 N 个节点度值序列和 N 个长度为 T 的睡眠阶段脑电片段输入到双输入卷积神经网络模型, 将一个长度为 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:

[0048] (1) 将 N 个长度为 T 的睡眠阶段脑电片段和节点度值序列分别分为两组等长的十个子集, 所述的两组等长的十个子集相互对应;

[0049] (2) 分别将两组等长的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, 提供对应的训练集标签;

[0050] (3) 将两组具有训练集标签的训练集分别输入到双输入卷积神经网络模型, 对双输入卷积神经网络模型进行训练;

[0051] 在模型训练过程中采用Glorot法初始化器对卷积层的权值进行初始化。使用Adam优化器对模型进行优化, 学习率为0.0001。将学习迭代次数设置为300次, 批大小设置为256次。为了提高分类精度, 采用传统的反向传播方法对权重和偏差进行微调。

[0052] (4) 将两组测试集分别输入到训练好的双输入卷积神经网络模型, 得到分类结果;

[0053] (5) 重复第(2)~第(4)步, 直到将相互对应的等长的十个子集全部进行分类;

[0054] (6) 对全部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。

[0055] 下面通过实例对本发明的基于双输入卷积神经网络的睡眠阶段分类方法进行验证:

[0056] 分别采集10个患有睡眠障碍的成年人和10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, 通过本发明的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90.276%, 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93.032%, 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97.666%。因此本发明方法可有效实现对不同大脑状态的辨识与监测。

[0057] 本发明的基于双输入卷积神经网络的睡眠阶段分类方法的应用,是分别采集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双输入卷积神经网络模型,实现对不同睡眠阶段脑状态下脑电数据的准确分类。

[0058] 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。

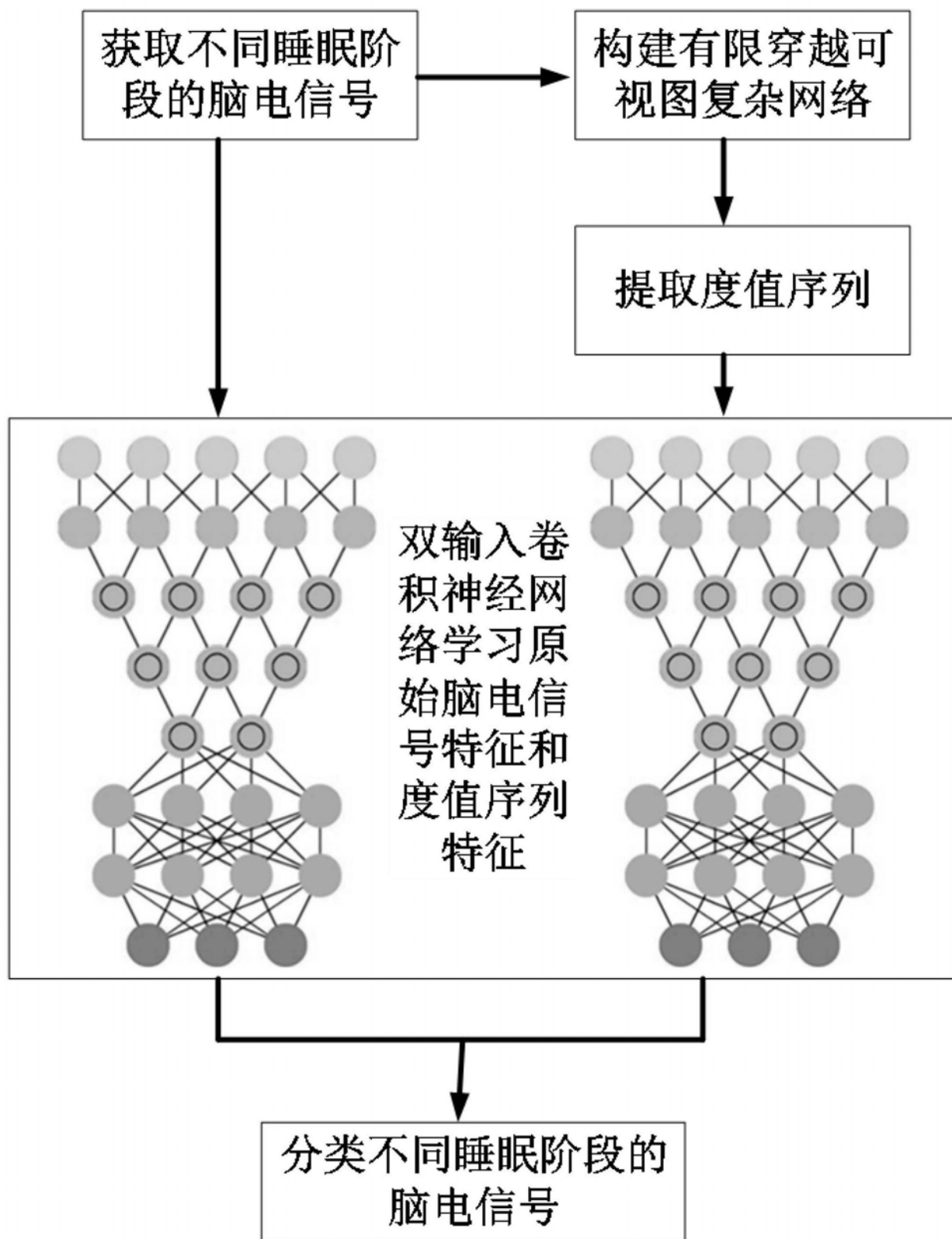


图1

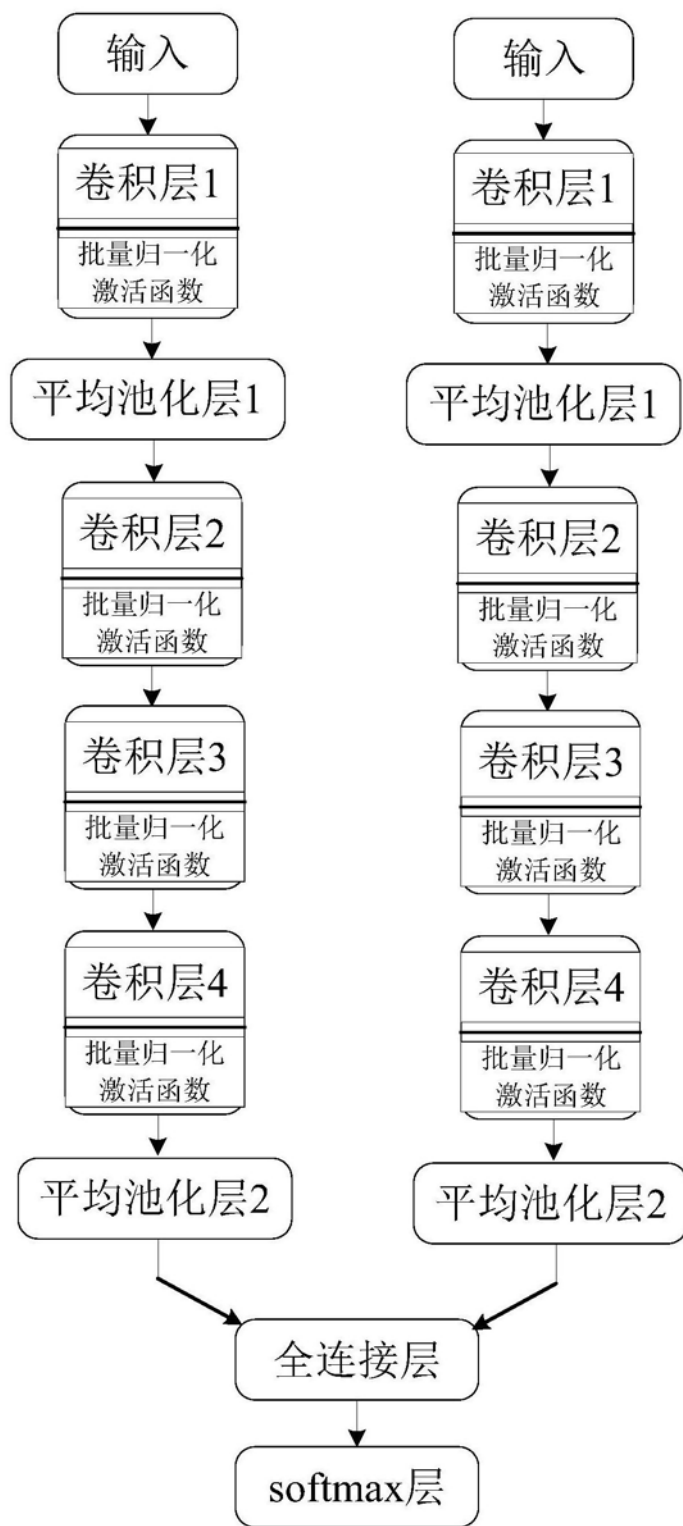


图2

专利名称(译)	基于双输入卷积神经网络的睡眠阶段分类方法及应用		
公开(公告)号	CN110584596A	公开(公告)日	2019-12-20
申请号	CN201910637527.8	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 马超 马文庆		
发明人	高忠科 蔡清 马超 马文庆		
IPC分类号	A61B5/00 A61B5/04 A61B5/0476		
CPC分类号	A61B5/04012 A61B5/0476 A61B5/4812 A61B5/7267 A61B5/746		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

一种基于双输入卷积神经网络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：对睡眠阶段脑电片段，建立有限穿越可视图复杂网络；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；建立双输入卷积神经网络模型；采用十折交叉验证和双输入卷积神经网络模型，将节点度值序列和睡眠阶段脑电片段输入到双输入卷积神经网络模型，将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。本发明能够实现对不同睡眠阶段脑电信号的高准确率的分类。可应用于智能家居监测设备，通过分析智能家居监测设备测得的睡眠脑电信号，实现对使用者大脑状态的监测。

