



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110584597 A

(43)申请公布日 2019.12.20

(21)申请号 201910637529.7

G06N 3/04(2006.01)

(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)

A61B 5/18(2006.01)

G06K 9/62(2006.01)

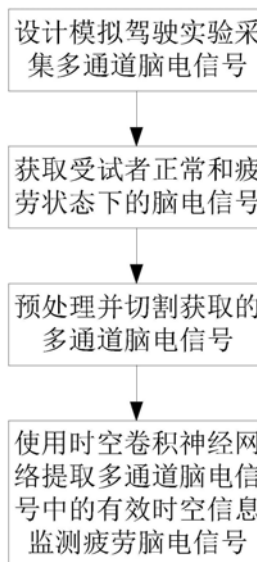
权利要求书1页 说明书4页 附图1页

(54)发明名称

基于时空卷积神经网络的多通道脑电信号  
监测方法及应用

(57)摘要

一种基于时空卷积神经网络的多通道脑电信号监测方法及应用,对从模拟驾驶实验中采集到每个被试者的多通道脑电信号进行预处理:对原始信号降采样后进行带通滤波消噪,采用独立成分分析方法删除脑电信号中的干扰信号,得到正常脑电信号和疲劳脑电信,将每个被试者的正常脑电信号和疲劳脑电信分别分割为没有重叠的正常脑电信号样本和疲劳脑电信号样本;建立一个能够获取多通道脑电信号的空间关系和时间依赖性的时空卷积神经网络;采用十折交叉验证方法对时空卷积神经网络进行训练,将正常脑电信号样本和疲劳脑电信号样本按照清醒阶段和疲劳阶段分成两类,从而得到分类结果。本发明能够实现对疲劳驾驶脑电信号的有效辨识和进行正确分类,并转化为警告信号。



1. 一种基于时空卷积神经网络的多通道脑电信号监测方法,其特征在于,包括如下步骤:

1) 对从模拟驾驶实验中采集到每个被试者的多通道脑电信号进行预处理,包括:

(1) 原始信号降采样到100Hz,进行1-50Hz的带通滤波消噪;

(2) 采用独立成分分析方法删除脑电信号中的干扰信号,得到时长30分钟的正常脑电信号和时长30分钟的疲劳脑电信号;

(3) 将每个被试者的正常脑电信号和疲劳脑电信号分别分割为没有重叠的N个时长为1秒的正常脑电信号样本和N个时长为1秒的疲劳脑电信号样本,N取1800;

2) 建立一个能够获取多通道脑电信号的空间关系和时间依赖性的时空卷积神经网络;

3) 采用十折交叉验证方法对时空卷积神经网络进行训练,最终将N个时长为1秒的正常脑电信号样本和N个时长为1秒的疲劳脑电信号样本按照清醒阶段和疲劳阶段分成两类,从而得到分类结果。

2. 根据权利要求1所述的基于时空卷积神经网络的多通道脑电信号监测方法,其特征在于,步骤2)所述的时空卷积神经网络包括有依次串连的输入层、第一核心层、第一最大池化层、第二核心层、第二最大池化层、第三核心层、平均池化层、密集层和softmax层,其中,所述的第一核心层、第二核心层和第三核心层结构相同,均包括有依次串连的第一卷积层、第二卷积层、第三卷积层、批量归一化层和修正线性激活层,用于提取多通道脑电信号的时域特征,即多通道脑电信号的时间依赖性;第一最大池化层、第二最大池化层和平均池化层用于平衡接收的信号的训练性能和泛化能力;平均池化层输出的特征向量压平成为一维向量后经过密集层提取空间特征,即多通道脑电信号的空间关系;在softmax层中使用交叉熵目标函数生成分别属于清醒阶段的概率和疲劳阶段的概率。

3. 根据权利要求1所述的基于时空卷积神经网络的多通道脑电信号监测方法,其特征在于,步骤3)包括:

(1) 将N个时长为1秒的正常脑电信号样本和N个时长为1秒的疲劳脑电信号样本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) 用具有训练集标签的训练集对时空卷积神经网络进行训练;

(4) 用训练好的时空卷积神经网络对测试集进行分类,即将测试集中的每一个脑电信号样本进行归类,对应归入清醒阶段或疲劳阶段;

(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) 将十个子集分类结果中的清醒阶段和疲劳阶段分别求和,得到最终的分类结果。

4. 一种权利要求1所述的基于时空卷积神经网络的多通道脑电信号监测方法的应用,其特征在于,分别采集S个成年人模拟驾驶实验中的多通道脑电信号,包括清醒阶段和疲劳阶段的多通道脑电信号,对于所采集的多通道脑电信号,分别进行预处理,建立一个能够获取多通道脑电信号的空间关系和时间依赖性的时空卷积神经网络,采用十折交叉验证方法对时空卷积神经网络进行训练,实现对多通道脑电信号的准确分类。

## 基于时空卷积神经网络的多通道脑电信号监测方法及应用

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种脑电信号监测方法。特别是涉及一种基于时空卷积神经网络的多通道脑电信号监测方法及应用。

### 背景技术

[0002] 疲劳驾驶是因为长期的专注驾驶导致的体力和脑力资源的消耗,会影响驾驶者感知、识别和控制车辆的能力。驾驶员疲劳驾驶所引起的交通事故日益增多,已经成为一个不得不解决的社会问题。基于脑电图 (EEG)、眼电图 (EOG)、肌电图 (EMG)、心电图 (ECG) 等生理变量的来估计驾驶员疲劳状态的方法已经被提出。在这些生理指标中,脑电图是最具预测性和最可靠的指标之一,因为它与精神和身体活动密切相关。本发明的基于时空卷积神经网络分析疲劳驾驶过程中的脑电信号以实现驾驶员的疲劳监测。

[0003] 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。其可自动学习信号中的有效信息实现对信号的分类。

### 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脑电信号的高准确率分类的基于时空卷积神经网络的多通道脑电信号监测方法及应用。

[0005] 本发明所采用的技术方案是:一种基于时空卷积神经网络的多通道脑电信号监测方法,包括如下步骤:

[0006] 1) 对从模拟驾驶实验中采集到每个被试者的多通道脑电信号进行预处理,包括:

[0007] (1) 原始信号降采样到100Hz,进行1-50Hz的带通滤波消噪;

[0008] (2) 采用独立成分分析方法删除脑电信号中的干扰信号,得到时长30分钟的正常脑电信号和时长30分钟的疲劳脑电信号;

[0009] (3) 将每个被试者的正常脑电信号和疲劳脑电信号分别分割为没有重叠的N个时长为1秒的正常脑电信号样本和N个时长为1秒的疲劳脑电信号样本,N取1800;

[0010] 2) 建立一个能够获取多通道脑电信号的空间关系和时间依赖性的时空卷积神经网络;

[0011] 3) 采用十折交叉验证方法对时空卷积神经网络进行训练,最终将N个时长为1秒的正常脑电信号样本和N个时长为1秒的疲劳脑电信号样本按照清醒阶段和疲劳阶段分成两类,从而得到分类结果。

[0012] 步骤2) 所述的时空卷积神经网络包括有依次串连的输入层、第一核心层、第一最大池化层、第二核心层、第二最大池化层、第三核心层、平均池化层、密集层和softmax层,其中,所述的第一核心层、第二核心层和第三核心层结构相同,均包括有依次串连的第一卷积层、第二卷积层、第三卷积层、批量归一化层和修正线性激活层,用于提取多通道脑电信号

的时域特征,即多通道脑电信号的时间依赖性;第一最大池化层、第二最大池化层和平均池化层用于平衡接收的信号的训练性能和泛化能力;平均池化层输出的特征向量压平成为一维向量后经过密集层提取空间特征,即多通道脑电信号的空间关系;在softmax层中使用交叉熵目标函数生成分别属于清醒阶段的概率和疲劳阶段的概率。

[0013] 步骤3)包括:

[0014] (1)将N个时长为1秒的正常脑电信号样本和N个时长为1秒的疲劳脑电信号样本分为等长的十个子集;

[0015] (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;

[0016] (3)用具有训练集标签的训练集对时空卷积神经网络进行训练;

[0017] (4)用训练好的时空卷积神经网络对测试集进行分类,即将测试集中的每一个脑电信号样本进行归类,对应归入清醒阶段或疲劳阶段;

[0018] (5)重复第(2)~第(4)步,直到将等长的十个子集全部进行分类;

[0019] (6)将十个子集分类结果中的清醒阶段和疲劳阶段分别求和,得到最终的分类结果。

[0020] 一种基于时空卷积神经网络的多通道脑电信号监测方法的应用,分别采集S个成年人模拟驾驶实验中的多通道脑电信号,包括清醒阶段和疲劳阶段的多通道脑电信号,对于所采集的多通道脑电信号,分别进行预处理,建立一个能够获取多通道脑电信号的空间关系和时间依赖性的时空卷积神经网络,采用十折交叉验证方法对时空卷积神经网络进行训练,实现对多通道脑电信号的准确分类。

[0021] 本发明的基于时空卷积神经网络的多通道脑电信号监测方法及应用,设计脑电实验获取模拟驾驶下受试者正常和疲劳状态的脑电信号,对预处理后的模拟驾驶脑电信号分割为时长一秒无重叠的多通道脑电信号,搭建时空卷积神经网络模型,结合十折交叉验证对时空卷积神经网络模型进行训练,提取多通道脑电信号的时间特征和空间特征,得到能够用于疲劳驾驶下多通道脑电信号有效分类、辨识的时空卷积神经网络模型及参数。本发明能够实现对疲劳驾驶脑电信号的有效辨识和进行正确分类,并转化为警告信号,实现对驾驶员疲劳状态的预警。

## 附图说明

[0022] 图1是本发明基于时空卷积神经网络的多通道脑电信号监测方法的流程图;

## 具体实施方式

[0023] 下面结合实施例和附图对本发明的基于时空卷积神经网络的多通道脑电信号监测方法及应用做出详细说明。

[0024] 如图1所示,本发明的基于时空卷积神经网络的多通道脑电信号监测方法,包括如下步骤:

[0025] 1)对从模拟驾驶实验中采集到每个被试者的多通道脑电信号进行预处理,包括:

[0026] (1)原始信号降采样到100Hz,进行1-50Hz的带通滤波消噪;

[0027] (2)采用独立成分分析方法删除脑电信号中的干扰信号,得到时长30分钟的正常

脑电信号和时长30分钟的疲劳脑电信号；

[0028] (3) 将每个被试者的正常脑电信号和疲劳脑电信号分别分割为没有重叠的N个时长为1秒的正常脑电信号样本和N个时长为1秒的疲劳脑电信号样本，N取1800，即每个被试者有1800个正常脑电信号样本和1800个疲劳脑电信号样本；

[0029] 2) 建立一个能够获取多通道脑电信号的空间关系和时间依赖性的时空卷积神经网络；

[0030] 所述的时空卷积神经网络包括有依次串连的输入层、第一核心层、第一最大池化层、第二核心层、第二最大池化层、第三核心层、平均池化层、密集层和softmax层，其中，所述的第一核心层、第二核心层和第三核心层结构相同，均包括有依次串连的第一卷积层、第二卷积层、第三卷积层、批量归一化层和修正线性激活层，用于提取多通道脑电信号的时域特征，即多通道脑电信号的时间依赖性；第一最大池化层、第二最大池化层和平均池化层，均是用于平衡接收的信号的训练性能和泛化能力；平均池化层输出的特征向量压平成为一维向量后经过密集层提取空间特征，即多通道脑电信号的空间关系；在softmax层中使用交叉熵目标函数生成分别属于清醒阶段的概率和疲劳阶段的概率。

[0031] 3) 采用十折交叉验证方法对时空卷积神经网络进行训练，最终将N个时长为1秒的正常脑电信号样本和N个时长为1秒的疲劳脑电信号样本按照清醒阶段和疲劳阶段分成两类，从而得到分类结果。包括：

[0032] (1) 将N个时长为1秒的正常脑电信号样本和N个时长为1秒的疲劳脑电信号样本分为等长的十个子集；

[0033] (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；

[0034] (3) 用具有训练集标签的训练集对时空卷积神经网络进行训练；

[0035] (4) 用训练好的时空卷积神经网络对测试集进行分类，即将测试集中的每一个脑电信号样本进行归类，对应归入清醒阶段或疲劳阶段；

[0036] (5) 重复第(2)～第(4)步，直到将等长的十个子集全部进行分类；

[0037] (6) 将十个子集分类结果中的清醒阶段和疲劳阶段分别求和，得到最终分类结果。

[0038] 本发明的基于时空卷积神经网络的多通道脑电信号监测方法的应用，分别采集S个成年人模拟驾驶实验中的多通道脑电信号，包括清醒阶段和疲劳阶段的多通道脑电信号，对于所采集的多通道脑电信号，分别进行预处理，建立一个能够获取多通道脑电信号的空间关系和时间依赖性的时空卷积神经网络，采用十折交叉验证方法对时空卷积神经网络进行训练，实现对多通道脑电信号的准确分类。

[0039] 下面给出疲劳驾驶模拟实验：包括开发模拟驾驶实验平台以开展疲劳驾驶实验。驾驶实验的硬件部分主要由驾驶操作设备(包括方向盘，车椅，显示器，扬声器，投影仪，摄像头等)，脑电信号采集装置等组成。其中，有一台电脑用于脑电信号的采集，另外一台电脑运行模拟驾驶软件。通过摄像机记录驾驶者的面部表情及动作等，以及实验过后对驾驶者的问卷调查，确定每个驾驶者在实验的最后阶段均达到了疲劳状态。本发明中设计的模拟驾驶实验中用于采集脑电的设备是购买自Neuroscan公司的40导EEG/ERP脑电采集装置。该装置具有40个(包括30个有效的通道，2个参考通道，4个眼电采集通道，4个闲置通道)电极，

电极按照“国际10-20系统”标准放置,所有的通道数据都以A1和A2的两个电极连接的乳状体为参考,脑电信号的采集频率为1000Hz。在采集脑电信号后,首先对原始信号进行1-50Hz的带通滤波以消除噪音,然后通过独立成分分析法删除脑电信号中的眼电干扰以获得疲劳和正常生理状态下的脑电信号供后续研究。

[0040] 本次疲劳驾驶实验的参与者是来自天津大学的8名学生。参与者均无心理障碍病史。在实验前的24小时内,这些受试者不可以喝茶或咖啡等提神饮品,晚上需要保证8小时的睡眠。所有受试者均在下午(14:00-15:30)参加了驾驶实验,要求所有受试者在整个模拟驾驶期间集中精力模拟开车。为减小环境因素等对实验的影响,实验场景统一选用上文所述模拟驾驶器中的在山路上的日间驾驶。在驾驶过程中,要求受试者尽可能地限制所有不必要的动作,天气状况选择晴天,车型为自动挡小轿车。每次实验前被试者有5分钟的时间来熟悉模拟驾驶器,接下来90分钟的驾驶任务中,受试者需要尽量保持恒定的速度,避免发生车祸。在本次实验中,为了研究驾驶过程中精神疲劳的影响,分别获得两组脑电信号,即模拟驾驶任务的前30分钟为正常阶段的脑电信号,驾驶任务的最后30分钟为疲劳阶段的脑电信号。

[0041] 结合本发明的时空卷积神经网络,发现其在疲劳数据集上的辨识能力十分有效,其正确率均超过了92%,其中平均正确率为97.37%,平均标准差为3.30%。

[0042] 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。

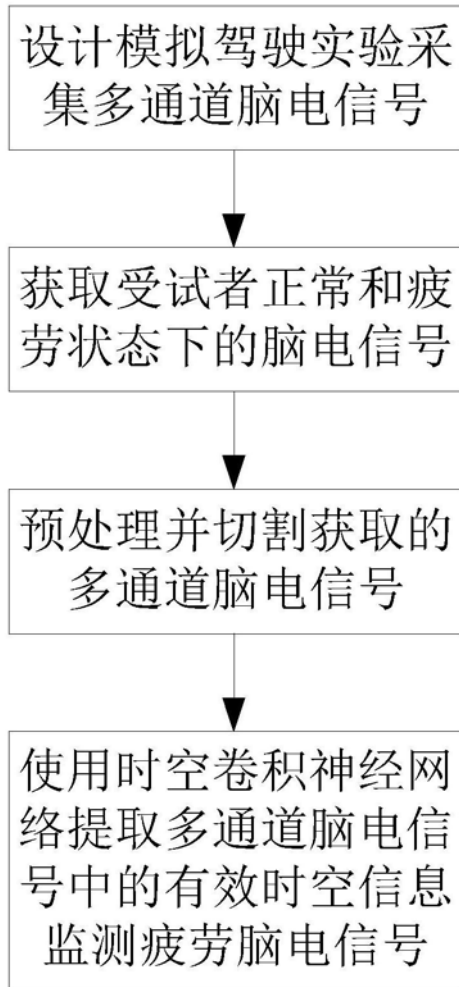


图1

|                |  |         |            |
|----------------|--|---------|------------|
| 专利名称(译)        | 基于时空卷积神经网络的多通道脑电信号监测方法及应用  |         |            |
| 公开(公告)号        | <a href="#">CN110584597A</a>                                     | 公开(公告)日 | 2019-12-20 |
| 申请号            | CN201910637529.7   | 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<br>蔡清<br>马超<br>马文庆   |         |            |
| 发明人            | 高忠科<br>蔡清<br>马超<br>马文庆   |         |            |
| IPC分类号         | A61B5/00 A61B5/04 A61B5/0476 A61B5/18 G06K9/62 G06N3/04          |         |            |
| CPC分类号         | A61B5/04012 A61B5/0476 A61B5/18 A61B5/7267 G06K9/6256 G06N3/0454 |         |            |
| 外部链接           | <a href="#">Espacenet</a> <a href="#">SIPO</a>                   |         |            |

摘要(译)

一种基于时空卷积神经网络的多通道脑电信号监测方法及应用，对从模拟驾驶实验中采集到每个被试者的多通道脑电信号进行预处理：对原始信号降采样后进行带通滤波消噪，采用独立成分分析方法删除脑电信号中的干扰信号，得到正常脑电信号和疲劳脑电信号，将每个被试者的正常脑电信号和疲劳脑电信号分别分割为没有重叠的正常脑电信号样本和疲劳脑电信号样本；建立一个能够获取多通道脑电信号的空间关系和时间依赖性的时空卷积神经网络；采用十折交叉验证方法对时空卷积神经网络进行训练，将正常脑电信号样本和疲劳脑电信号样本按照清醒阶段和疲劳阶段分成两类，从而得到分类结果。本发明能够实现对疲劳驾驶脑电信号的有效辨识和进行正确分类，并转化为警告信号。

