



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108542386 A

(43)申请公布日 2018.09.18

(21)申请号 201810364467.2

(22)申请日 2018.04.23

(71)申请人 长沙学院

地址 410003 湖南省长沙市开福区洪山路
98号长沙学院科技处

(72)发明人 李方敏 翁同峰 刘新华 旷海兰
杨志邦 栾悉道

(74)专利代理机构 武汉臻诚专利代理事务所
(普通合伙) 42233

代理人 宋业斌

(51)Int.Cl.

A61B 5/0476(2006.01)

A61B 5/00(2006.01)

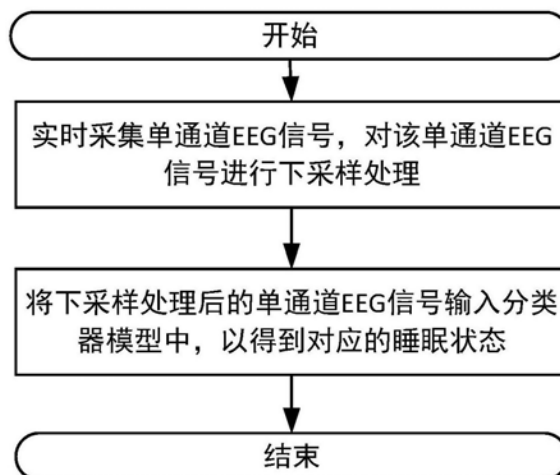
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54)发明名称

一种基于单通道EEG信号的睡眠状态检测方法和系统

(57)摘要

本发明公开了一种基于单通道EEG信号的睡眠状态检测方法,包括:实时采集单通道EEG信号,对该单通道EEG信号进行下采样处理,将下采样处理后的单通道EEG信号输入分类器模型中,以得到对应的睡眠状态。本发明能够解决现有睡眠状态检测方法中由于需要设置多个采集电极所导致的耗费人力、提取特征维度低、以及由于过拟合所导致的泛化能力弱的技术问题。



1. 一种基于单通道EEG信号的睡眠状态检测方法,其特征在于,包括以下步骤:

(1) 实时采集单通道EEG信号,对该单通道EEG信号进行下采样处理;

(2) 将步骤(1)下采样处理后的单通道EEG信号输入分类器模型中,以得到对应的睡眠状态。

2. 根据权利要求1所述的睡眠状态检测方法,其特征在于,EEG信号是Fpz-Cz信号。

3. 根据权利要求1或2所述的睡眠状态检测方法,其特征在于,分类器模型的训练过程如下:

a) 从EEG数据集中获取无睡眠障碍的每个用户的固定时间长度的单通道EEG信号作为训练样本;

b) 统计每个用户的所有训练样本中对应于不同睡眠状态的训练样本数,以训练样本数最多的睡眠状态为标准,对其余4种睡眠状态对应的训练样本进行数据增强处理,使得五种睡眠状态对应的训练样本数相同,所有的睡眠状态对应的训练样本共同构成训练数据集;

c) 将训练数据集(1,3000)输入第一卷积层,其核大小为(1,16),维度为16,步长为4,则第一层输出为(1,750),再输入主路部分,首先经过第一池化层,其核大小为(1,2),步长为2,然后经过第二卷积层,其核大小为(1,8),维度为16,步长1,不改变数据尺寸;随后,再输入第一随机失活层,其失活率为0.8,以降低模型过拟合;之后,输入至第三卷积层,核大小为(1,8),维度为16,步长为2,输出数据尺寸为(1,375);第一卷积层处理后的数据同时输入支路部分,即经过第二池化层,其核大小为(1,2),步长为2,输出尺寸和特征维度与主路相同,最后,将池化层输出的结果与第三卷积层处理后的结果相加。

d) 将步骤c)的结果输入依次相连的8个残差单元进行处理;其中第一个残差单元输出数据的尺寸为(1,375),特征维度为32;第二个残差单元输出数据的尺寸为(1,375),特征维度为32;第三个残差单元输出数据的尺寸为(1,188),特征维度为64;第四个残差单元输出数据的尺寸为(1,94),特征维度为64;第五个残差单元输出数据的尺寸为(1,94),特征维度为128;第六个残差单元输出数据的尺寸为(1,24),特征维度为128;第七个残差单元输出数据的尺寸为(1,24),特征维度为256;第八个残差单元输出数据的尺寸为(1,6),特征维度为256。

e) 将步骤d)最终输出的结果依次输入第三BN层、第三ReLU层、全连接层、以及输出层,以得到所有训练样本对应的睡眠状态。

4. 根据权利要求1至3中任意一项所述的睡眠状态检测方法,其特征在于,EEG数据集是Sleep-EDF Expanded数据集,获取单通道EEG信号的频率为100Hz,固定长度是30秒,每个训练样本包括 $30 \times 100 = 3000$ 个数据点。

5. 根据权利要求1至4中任意一项所述的睡眠状态检测方法,其特征在于,睡眠状态包括:

W期,即清醒期;

N1睡眠期,即非快速眼动睡眠1期;

N2睡眠期,即非快速眼动睡眠2期;

N3睡眠期,即非快速眼动睡眠3期;以及

REM睡眠期,即快速眼动睡眠期。

6. 根据权利要求1至5中任意一项所述的睡眠状态检测方法,其特征在于,

每个残差单元包括主路部分,其是由第一BN层、第一ReLU层、第二随机失活层、第四卷积层、第二BN层、第二ReLU层、第三随机失活层、以及第五卷积层顺次构成;

每个残差单元还包括支路部分,其是由1x1卷积层和第三池化层组成,用于在短连接时改变输入数据的特征维度和尺寸大小,保证在于主路残差模块输出相加时维度和尺寸保持一致;

前7个残差单元中每一个残差单元的主路部分和支路部分的输出结果相加后,作为下一个残差单元的输入;

第8个残差单元中每一个残差单元的主路部分和支路部分的输出结果相加后,作为步骤d)的最终输出结果。

7.一种基于单通道EEG信号的睡眠状态检测系统,其特征在于,包括以下步骤:

第一模块,用于实时采集单通道EEG信号,对该单通道EEG信号进行下采样处理;

第二模块,用于将第一模块下采样处理后的单通道EEG信号输入分类器模型中,以得到对应的睡眠状态。

一种基于单通道EEG信号的睡眠状态检测方法和系统

技术领域

[0001] 本发明属于深度学习技术领域,更具体地,涉及一种基于单通道脑电信号(Electroencephalograph,简称EEG)的睡眠状态检测方法和系统。

背景技术

[0002] 睡眠状态检测技术目前已经得到了广泛的应用,用于实时监测人们的睡眠状态。

[0003] 现有的睡眠状态检测方法主要有两种方式,第一种是通过手动提取多通道EEG信号的频域、时域和统计学特征进行阈值判别,从而得到用户的睡眠状态,另一种是通过两路卷积神经网络提取特征,并输入至长短期记忆网络(Long Short-Term Memory,简称LSTM)获取睡眠状态。

[0004] 然而,上述两种睡眠状态检测方法都存在一些缺陷:针对第一种方法而言,多通道EEG信号的获取需要设置多个采集电极,耗费较多的人力,并且提取的特征的维度低;第二种方法的训练集准确率比验证集准确率高很多,导致该方法的泛化能力弱。

发明内容

[0005] 针对现有技术的以上缺陷或改进需求,本发明提供了一种基于单通道EEG信号的睡眠状态检测方法和系统,其目的在于,解决现有睡眠状态检测方法中由于需要设置多个采集电极所导致的耗费人力、提取特征维度低、以及由于过拟合所导致的泛化能力弱的技术问题。

[0006] 为实现上述目的,按照本发明的一个方面,提供了一种基于单通道EEG信号的睡眠状态检测方法,包括以下步骤:

[0007] (1) 实时采集单通道EEG信号,对该单通道EEG信号进行下采样处理;

[0008] (2) 将步骤(1)下采样处理后的单通道EEG信号输入分类器模型中,以得到对应的睡眠状态。

[0009] 优选地,EEG信号是Fpz-Cz信号。

[0010] 优选地,分类器模型的训练过程如下:

[0011] a) 从EEG数据集中获取无睡眠障碍的每个用户的固定时间长度的单通道EEG信号作为训练样本;

[0012] b) 统计每个用户的所有训练样本中对应于不同睡眠状态的训练样本数,以训练样本数最多的睡眠状态为标准,对其余4种睡眠状态对应的训练样本进行数据增强处理,使得五种睡眠状态对应的训练样本数相同,所有的睡眠状态对应的训练样本共同构成训练数据集;

[0013] c) 将训练数据集(1,3000)输入第一卷积层,其核大小为(1,16),维度为16,步长为4,则第一层输出为(1,750),再输入主路部分,首先经过第一池化层,其核大小为(1,2),步长为2,然后经过第二卷积层,其核大小为(1,8),维度为16,步长1,不改变数据尺寸;随后,再输入第一随机失活层,其失活率为0.8,以降低模型过拟合;之后,输入至第三卷积层,核

大小为(1,8),维度为16,步长为2,输出数据尺寸为(1,375);第一卷积层处理后的数据同时输入支路部分,即经过第二池化层,其核大小为(1,2),步长为2,输出尺寸和特征维度与主路相同,最后,将池化层输出的结果与第三卷积层处理后的结果相加。

[0014] d) 将步骤c)的结果输入依次相连的8个残差单元进行处理;其中第一个残差单元输出数据的尺寸为(1,375),特征维度为32;第二个残差单元输出数据的尺寸为(1,375),特征维度为32;第三个残差单元输出数据的尺寸为(1,188),特征维度为64;第四个残差单元输出数据的尺寸为(1,94),特征维度为64;第五个残差单元输出数据的尺寸为(1,94),特征维度为128;第六个残差单元输出数据的尺寸为(1,24),特征维度为128;第七个残差单元输出数据的尺寸为(1,24),特征维度为256;第八个残差单元输出数据的尺寸为(1,6),特征维度为256。

[0015] e) 将步骤d)最终输出的结果依次输入第三BN层、第三ReLU层、全连接层、以及输出层,以得到所有训练样本对应的睡眠状态。

[0016] 优选地,EEG数据集是Sleep-EDF Expanded数据集,获取单通道EEG信号的频率为100Hz,固定长度是30秒,每个训练样本包括 $30 \times 100 = 3000$ 个数据点。

[0017] 优选地,睡眠状态包括:

[0018] W期,即清醒期;

[0019] N1睡眠期,即非快速眼动睡眠1期;

[0020] N2睡眠期,即非快速眼动睡眠2期;

[0021] N3睡眠期,即非快速眼动睡眠3期;以及

[0022] REM睡眠期,即快速眼动睡眠期。

[0023] 优选地,每个残差单元包括主路部分,其是由第一BN层、第一ReLU层、第二随机失活层、第四卷积层、第二BN层、第二ReLU层、第三随机失活层、以及第五卷积层顺次构成;每个残差单元还包括支路部分,其是由 1×1 卷积层和第三池化层组成,用于在短连接时改变输入数据的特征维度和尺寸大小,保证在于主路残差模块输出相加时维度和尺寸保持一致;前7个残差单元中每一个残差单元的主路部分和支路部分的输出结果相加后,作为下一个残差单元的输入;

[0024] 第8个残差单元中每一个残差单元的主路部分和支路部分的输出结果相加后,作为步骤d)的最终输出结果。

[0025] 按照本发明的另一方面,提供了一种基于单通道EEG信号的睡眠状态检测系统,包括以下步骤:

[0026] 第一模块,用于实时采集单通道EEG信号,对该单通道EEG信号进行下采样处理;

[0027] 第二模块,用于将第一模块下采样处理后的单通道EEG信号输入分类器模型中,以得到对应的睡眠状态。

[0028] 总体而言,通过本发明所构思的以上技术方案与现有技术相比,能够取得下列有益效果:

[0029] (1) 由于本发明是通过使用卷积层从单通道EEG信号中提取高维度特征,因此较常规的从多路EEG信号中手动提取特征,本发明提取的特征维度更高;

[0030] (2) 由于本发明是基于单通道EEG信号实现,即只需要一个采集电极即可实现工作,而无需采用多个采集电极,由此大大节省了人力成本和时间成本;

[0031] (3) 本发明通过在训练数据集时使用8层残差单元,能够实现比现有方法更好的拟合性、更高的准确率、和更短的训练时间。

附图说明

[0032] 图1是本发明基于单通道EEG信号的睡眠状态检测方法的流程图。

[0033] 图2是本发明方法中所使用的分类器模型的示意图。

具体实施方式

[0034] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白,以下结合附图及实施例,对本发明进行进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。此外,下面所描述的本发明各个实施方式中所涉及到的技术特征只要彼此之间未构成冲突就可以相互组合。

[0035] 如图1所示,本发明基于单通道EEG信号的睡眠状态检测方法包括以下步骤:

[0036] (1) 实时采集单通道脑电 (Electroencephalograph, 简称EEG) 信号,对该单通道EEG信号进行下采样处理;

[0037] 具体而言,本步骤的EEG信号是Fpz-Cz信号。

[0038] 本步骤中对单通道EEG信号进行下采样处理的目的是,使得该单通道EEG信号的频率(例如是500Hz)变成和下述步骤中EEG数据集的频率完全相同(例如100Hz)。

[0039] (2) 将步骤(1)下采样处理后的单通道EEG信号输入分类器模型中,以得到对应的睡眠状态;

[0040] 具体而言,本步骤中所使用的分类器模型(如图2所示),其训练过程如下:

[0041] a) 从EEG数据集中获取无睡眠障碍的每个用户的固定时间长度的单通道EEG信号(和上述步骤中的完全相同)作为训练样本;

[0042] 具体而言,本步骤中使用的EEG数据集是Sleep-EDF Expanded数据集,本步骤中获取单通道EEG信号的频率和上一步骤中作为结果的单通道EEG信号的频率相同(均为100Hz),固定长度是30秒,则每个训练样本包括 $30 \times 100 = 3000$ 个数据点。

[0043] 本发明中,各个固定时间长度的单通道EEG信号可对应于五种睡眠状态,其是睡眠专家或医生通过周期性地获取用户的睡眠状态后对该用户对应的单通道EEG信号进行标注所得到的,这五种睡眠状态是:

[0044] W期,即清醒期;

[0045] N1睡眠期,即非快速眼动睡眠(non-rapid eye movements,简称NREM)1期;

[0046] N2睡眠期,即非快速眼动睡眠2期;

[0047] N3睡眠期,即非快速眼动睡眠3期;以及

[0048] REM睡眠期,即快速眼动睡眠期。

[0049] b) 统计每个用户的所有训练样本中对应于不同睡眠状态的训练样本数,以训练样本数最多的睡眠状态为标准,对其余4种睡眠状态对应的训练样本进行数据增强处理,使得五种睡眠状态对应的训练样本数相同,所有的睡眠状态对应的训练样本共同构成训练数据集;

[0050] c) 将训练数据集(1,3000)输入第一卷积层,其核大小为(1,16),维度为16,步长为

4,则第一层输出为(1,750),再输入主路部分,首先经过第一池化(Pooling)层,其核大小为(1,2),步长为2,然后经过第二卷积层,其核大小为(1,8),维度为16,步长1,不改变数据尺寸;随后,再输入第一随机失活(Dropout)层,其失活率为0.8,以降低模型过拟合;之后,输入至第三卷积层,核大小为(1,8),维度为16,步长为2,输出数据尺寸为(1,375);第一卷积层处理后的数据同时输入支路部分,即经过第二池化层,其核大小为(1,2),步长为2,输出尺寸和特征维度与主路(即图1中的主路)相同,最后,将池化层输出的结果与第三卷积层处理后的结果相加。

[0051] d) 将步骤c)的结果输入8个依次相连的残差单元(Residual unit)中进行处理,其中第一个残差单元输出数据的尺寸为(1,375),特征维度为32;第二个残差单元输出数据的尺寸为(1,375),特征维度为32;第三个残差单元输出数据的尺寸为(1,188),特征维度为64;第四个残差单元输出数据的尺寸为(1,94),特征维度为64;第五个残差单元输出数据的尺寸为(1,94),特征维度为128;第六个残差单元输出数据的尺寸为(1,24),特征维度为128;第七个残差单元输出数据的尺寸为(1,24),特征维度为256;第八个残差单元输出数据的尺寸为(1,6),特征维度为256。

[0052] 每个残差单元包括主路部分,其是由第一批归一化层(Batch normalization,简称BN)、第一线性整流函数层(Rectified Linear Unit,简称ReLU)、第二随机失活层、第四卷积层、第二BN层、第二ReLU层、第三随机失活层、以及第五卷积层顺次构成。

[0053] 每个残差单元还包括支路部分,其是由1x1卷积层和一个第三池化层组成,目的是为了在短连接(shortcut connection)时改变输入数据的特征维度和尺寸大小,保证在于主路残差模块输出相加时维度和尺寸保持一致,最后将支路的输出与主路的输出进行相加。

[0054] 前7个残差单元中每一个残差单元的主路部分和支路部分的输出结果相加后,作为下一个残差单元的输入;

[0055] 第8个残差单元中每一个残差单元的主路部分和支路部分的输出结果相加后,作为本步骤的最终输出结果。

[0056] e) 将步骤d)的最终输出结果依次输入第三BN层、第三ReLU层、全连接层(Fully connection,简称FC)、以及输出层(在本步骤中是Softmax分类器),以得到所有训练样本对应的睡眠状态。

[0057] 实验结果

[0058] 首先对现有的深睡眠网(DeepSleepNet)方法进行分析,其是通过两路卷积神经网络提取特征,并输入至LSTM网络获取睡眠状态。

[0059] 通过实验模拟,有如下表1的训练结果:

[0060] 表1

[0061]

训练循环次数	训练一个循环的时间	训练集准确率	训练集 f1	验证集准确率	验证集 f1
199	387	0.987	0.983	0.877	0.805

[0062] 从上表训练结果中看出,DeepSleepNet测试集准确率相比传统手动提取特征进行分类要高一些,但是存在明显过拟合性,最终的训练集准确率为98.7%,测试集准确率为

87.7%，且总共训练了200个训练循环次数(epoch)，每个训练循环次数耗时约387秒，总共耗时77400秒。

[0063] 随后,对本发明方法进行了实验测试,训练结果如下表2所示:

[0064] 表2

[0065]

训练循环次数	训练一个循环的时间	训练集准确率	训练集 f1	验证集准确率	验证集 f1
23	42	0.897	0.897	0.879	0.813

[0066] 综合上述实验数据可以看到,本发明方法的验证集准确率为0.879,训练总时间为966秒,比上文介绍的DeepSleepNet过拟合情况下的准确率要高,且训练时间减少很多。

[0067] 本领域的技术人员容易理解,以上所述仅为本发明的较佳实施例而已,并不用以限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

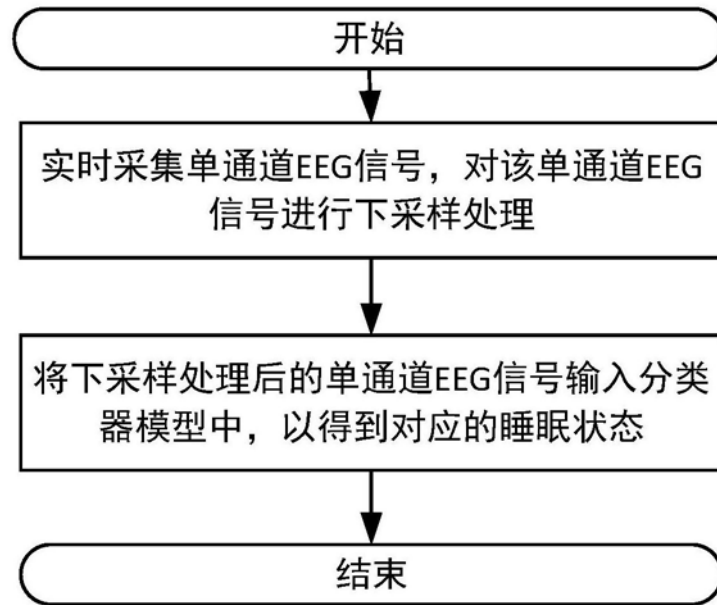


图1

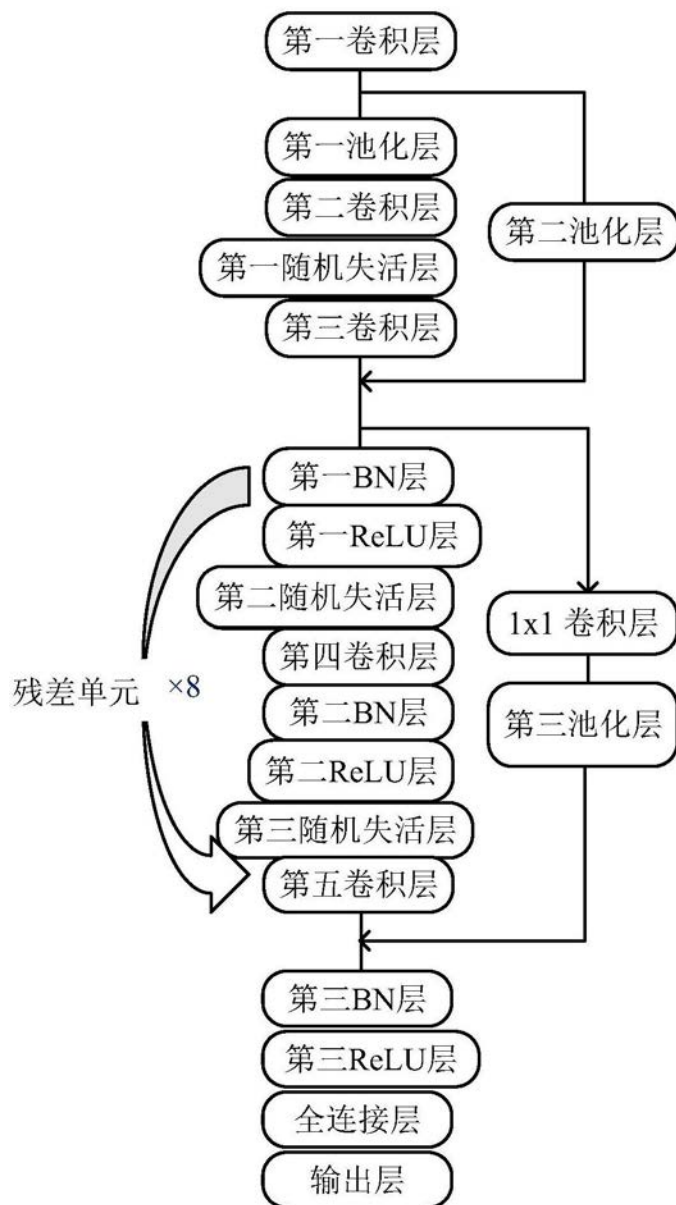


图2

专利名称(译)	一种基于单通道EEG信号的睡眠状态检测方法和系统		
公开(公告)号	CN108542386A	公开(公告)日	2018-09-18
申请号	CN201810364467.2	申请日	2018-04-23
[标]申请(专利权)人(译)	长沙学院		
申请(专利权)人(译)	长沙学院		
当前申请(专利权)人(译)	长沙学院		
[标]发明人	李方敏 翁同峰 刘新华 旷海兰 杨志邦 栾悉道		
发明人	李方敏 翁同峰 刘新华 旷海兰 杨志邦 栾悉道		
IPC分类号	A61B5/0476 A61B5/00		
CPC分类号	A61B5/0476 A61B5/4809 A61B5/4812 A61B5/4815 A61B5/7267		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

本发明公开了一种基于单通道EEG信号的睡眠状态检测方法，包括：实时采集单通道EEG信号，对该单通道EEG信号进行下采样处理，将下采样处理后的单通道EEG信号输入分类器模型中，以得到对应的睡眠状态。本发明能够解决现有睡眠状态检测方法中由于需要设置多个采集电极所导致的耗费人力、提取特征维度低、以及由于过拟合所导致的泛化能力弱的技术问题。

