



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111184509 A

(43)申请公布日 2020.05.22

(21)申请号 201911196894.5

(22)申请日 2019.11.29

(71)申请人 杭州电子科技大学

地址 310018 浙江省杭州市下沙高教园区2
号大街

(72)发明人 高云园 王翔坤 高博 朱涛
余青山 孟明

(74)专利代理机构 杭州君度专利代理事务所
(特殊普通合伙) 33240

代理人 杨舟涛

(51)Int.Cl.

A61B 5/0476(2006.01)

A61B 5/00(2006.01)

权利要求书1页 说明书4页 附图3页

(54)发明名称

一种基于传递熵的情绪诱导脑电信号分类
方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于传递熵的情绪诱导脑电信号分类方法,首先采集在不同情绪类型的视听觉刺激时的多通道脑电信号,并对其进行预处理。然后选择Fp1,Fp2,P3,P4,C3,C4,O1,O2,F3,F4这10个通道的脑电信号使用传递熵的相关算法构建通道之间的传递熵关系矩阵图,通过方向梯度直方图对生成的传递熵矩阵关系图进行特征提取。最后使用核函数为径向基函数的支持向量机对提取的特征进行训练和分类,根据不同的情感状态对脑电信号进行分析和分类。本发明可以全面、准确、快速的反映在情绪刺激时不同通道之间的信息交互,成为之后的分类和分析的基础,减少了特征冗余,提高了分类准确率并减少分析时间。



1. 一种基于传递熵的情绪诱导脑电信号分类方法,该方法具体包括以下步骤:

步骤一,利用不同类型的视听觉刺激诱发不同的情绪,采集此时段参与者的多通道头皮脑电信号;

步骤二,对采集到的不同情绪诱发的EEG信号进行如下预处理:

1) 使用EEGLAB去除基线漂移、眼电伪迹和50Hz工频信号,并且使用带通滤波器保留4-45Hz的EEG信号,将采集的EEG信号从512Hz降采样到128Hz并保存;

2) 使用小波包变换将每个样本分解成4个频段的数据,分别是 θ 频段(4-8Hz), α 频段(8-13Hz), β 频段(13-30Hz), γ 频段(30-45Hz),使用'db5'小波基进行6层分解,再找出4个频段分别对应的小波包树节点,将各个频段的小波包系数进行重构后,得到4个频段的EEG信号数据;

3) 分别对这4个频段的数据进行双密度双树复数小波变换,对EEG信号进行消噪;

步骤三,从预处理好的数据中,选择Fp1,Fp2,P3,P4,C3,C4,O1,O2,F3,F4这10个通道的EEG信号,使用传递熵构建 10×10 的传递熵关系矩阵,将二维的关系矩阵归一化后生成矩阵关系图;

传递熵的计算方法为:假设给定两个时间序列 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_T\}$ 和 $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_T\}$,其中T是时间序列的长度, x_1, y_1 分别是第一个观测值, x_2, y_2 分别是第二个观测值,依次类推;得到Y到X的传递熵 $TE_{Y \rightarrow X}$ 和X到Y的传递熵 $TE_{X \rightarrow Y}$,如(1)、(2)式:

$$TE_{Y \rightarrow X} = \sum_{x_{n+\tau}, x_n, y_n} p(x_{n+\tau}, x_n, y_n) \log_2 \left(\frac{p(x_{n+\tau}, x_n, y_n) p(x_n)}{p(x_n, y_n) p(x_{n+\tau}, x_n)} \right) \quad (1)$$

$$TE_{X \rightarrow Y} = \sum_{x_{n+\tau}, x_n, y_n} p(y_{n+\tau}, x_n, y_n) \log_2 \left(\frac{p(y_{n+\tau}, x_n, y_n) p(y_n)}{p(x_n, y_n) p(y_{n+\tau}, y_n)} \right) \quad (2)$$

其中n为离散时间指标, τ 为预测时间, $p(\cdot)$ 代表概率分布;

步骤四,使用方向梯度直方图对步骤三中生成的传递熵矩阵关系图进行特征提取;

步骤五,使用核函数为径向基函数的支持向量机对步骤四中的特征进行分类,用交叉验证和网格搜索得到最优的参数,对训练集进行训练,得到效果更优良的分类模型。

一种基于传递熵的情绪诱导脑电信号分类方法

技术领域

[0001] 本发明属于生物信号处理领域,涉及一种基于传递熵的在不同情绪刺激时脑电信号的分类方法。

技术背景

[0002] 脑电信号(Electroencephalogram, EEG)是通过电极记录到的大脑神经群自发或者节律性活动所产生的信号,它反映了大脑功能区神经细胞群活动时的电位变化。认知心理学和脑神经学的研究表明,情绪的产生和变化与大脑的中枢神经系统直接相关。情绪识别主要通过分析参与者的语言,面部表情,EEG信号和其他生理电信号来进行识别,而EEG信号具有良好的时间分辨率,非侵入性,快速性和成本较低的特点,使得EEG信号成为研究情绪变化的主要方法。

[0003] EEG信号特征通常可以分为时域特征、频域特征、时频域特征和空域特征。时域特征主要包括信号的一些统计量、事件相关电位、功率、能量、高阶过零分析、分形维数等。频域特征主要是将原始 EEG信号分解为 θ 频段(4-8Hz), α 频段(8-13Hz), β 频段(13-30Hz), γ 频段(30-45Hz)等频段,再从中分别计算高阶谱、事件相关同步化、事件相关去同步化、功率谱密度等特征。时频域特征通常使用小波变换,小波包变换、短时傅里叶变换和希尔伯特-黄变换来进行时频域的信号变换。空间域特征主要根据不同大脑皮层的不同位置的电极采集的信号分析不同脑区之间的特征。

[0004] 由于大脑是一个相当复杂的非线性动力系统,而传递熵是一种基于转移概率定义的不对称测量方法,它包含方向性和动态信息,具有不依赖已建立的模型和非线性定量分析的特点,可以用来估计功能耦合强度和大脑区域之间的信息传递,所以本发明使用非线性方法中的传递熵(Transfer entropy, TE)作为EEG特征提取的方法,根据通道间的关系构建传递熵关系矩阵,探索在不同情感状态下的EEG信号变化。

发明内容

[0005] 为了客观、有效地对不同情绪刺激时的EEG信号进行分析和分类,本发明利用EEG信号,提出了一种基于传递熵的情绪诱导EEG信号分类方法。首先采集不同情绪刺激时参与者的EEG信号,并对采集的信号进行预处理,然后使用传递熵对所选择的通道构建传递熵关系矩阵并生成图片,之后使用方向梯度直方图(Histogram of oriented gradient, HOG)对生成的图片进行特征提取,最后使用核函数为径向基函数的支持向量机对特征进行分类。本发明可以有效的分析不同情绪刺激时EEG信号的变化,为后续脑电情绪分类和人机交互的广泛应用提供了一种思路。

[0006] 本发明方法主要包括以下步骤:

[0007] 步骤一,利用不同类型的视听觉刺激诱发不同的情绪,采集此时段参与者的多通道EEG信号。

[0008] 步骤二,对采集到的不同情绪诱发EEG信号进行如下预处理:

[0009] 1) 使用EEGLAB去除基线漂移、眼电伪迹和50Hz工频信号,并且使用带通滤波器保留4-45Hz的EEG信号,将采集的EEG信号从 512Hz降采样到128Hz并保存;

[0010] 2) 使用小波包变换将每个样本分解成4个频段的数据,分别是 θ 频段(4-8Hz), α 频段(8-13Hz), β 频段(13-30Hz), γ 频段(30-45Hz),使用‘db5’小波基进行6层分解,再找出4个频段分别对应的小波包树节点,将各个频段的小波包系数进行重构后,得到4个频段的EEG信号数据;

[0011] 3) 分别对这4个频段的数据进行双密度双树复数小波变换,得到较为纯净的EEG信号。

[0012] 步骤三,从预处理好的数据中,选择Fp1,Fp2,P3,P4,C3,C4,O1,O2,F3,F4这10个通道的EEG信号,使用传递熵构建 10×10 的传递熵关系矩阵,将二维的关系矩阵归一化后生成矩阵关系图。

[0013] 传递熵的计算方法为:假设给定两个时间序列 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_T\}$ 和 $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_T\}$,其中T是时间序列的长度, x_1, y_1 分别是第一个观测值, x_2, y_2 分别是第二个观测值,依次类推;我们可以得到Y到X的传递熵($TE_{Y \rightarrow X}$)和X到Y的传递熵($TE_{X \rightarrow Y}$)如(1)、(2)式:

$$[0014] \quad TE_{Y \rightarrow X} = \sum_{x_{n+\tau}, x_n, y_n} p(x_{n+\tau}, x_n, y_n) \log_2 \left(\frac{p(x_{n+\tau}, x_n, y_n) p(x_n)}{p(x_n, y_n) p(x_{n+\tau}, x_n)} \right) \quad (1)$$

$$[0015] \quad TE_{X \rightarrow Y} = \sum_{x_{n+\tau}, x_n, y_n} p(y_{n+\tau}, x_n, y_n) \log_2 \left(\frac{p(y_{n+\tau}, x_n, y_n) p(y_n)}{p(x_n, y_n) p(y_{n+\tau}, y_n)} \right) \quad (2)$$

[0016] 其中n为离散时间指标, τ 为预测时间, $p(\cdot)$ 代表概率分布。

[0017] 步骤四,使用方向梯度直方图(HOG)对步骤三中生成的传递熵矩阵关系图进行特征提取。

[0018] 步骤五,使用核函数为径向基函数的支持向量机(SVM)对步骤四中的特征进行分类,用交叉验证和网格搜索得到最优的参数,对训练集进行训练,得到效果更优良的分类模型。

[0019] 本发明与已有的诸多情绪刺激EEG信号分类方法相比,具有如下特点:

[0020] 第一,在EEG信号源的选择上,本发明选择了额叶的Fp1,Fp2通道,顶叶的P3,P4,C3,C4通道,枕叶的O1,O2通道和颞叶的F3,F4通道,可以全面、准确、快速的反映在情绪刺激时不同通道之间的信息交互,成为之后的分类和分析的基础。

[0021] 第二,在特征提取时,首先使用传递熵提取所选择的EEG信号通道间之间的特征,构建通道间的关系矩阵,并进行归一化处理后使用MATLAB生成图片,之后使用HOG对图片进行特征提取,这样做的好处在于减少特征冗余,提高分类准确率并减少分析时间。

附图说明

[0022] 图1表示情绪刺激时EEG信号分类流程图;

[0023] 图2表示EEG信号通道选择示意图;

[0024] 图3表示小波分频示意图;

[0025] 图4表示(a)平静状态时传递熵关系矩阵图,图4(b)表示压力状态时传递熵关系矩阵图;

[0026] 图5表示使用HOG特征提取流程图;

[0027] 图6表示HOG特征提取中Cell和Block的关系;

[0028] 图7表示不同方法分类准确率结果。

具体实施方式

[0029] 为了有效的提取EEG的特征并进行分类,本发明主要在EEG特征提取上进行改进。下面结合附图对本发明的实施例作详细说明:本实施例在以本发明技术方案为前提下进行实施,给出了详细的实施方式和具体的操作过程。

[0030] 基于传递熵的情绪诱导EEG信号分类方法,整体流程如图1所示,其具体实施方式包括如下步骤:

[0031] 步骤一,采集在不同情绪刺激时的EEG信号。选择32名志愿者进行40次视听觉刺激实验,同时采集位于额叶的Fp1,Fp2,顶叶的P3,P4,C3,C4,枕叶的O1,O2,颞叶的F3,F4这10个通道的EEG信号,如图2所示。在实验结束后,每位志愿者需要根据自身的体验,效价-唤醒度二维情感模型从Valence(积极-消极),Arousal(唤醒-未唤醒)两个维度上,分别对这40个视听觉刺激进行1-9打分。

[0032] 步骤二,对采集到的不同情绪诱发EEG信号进行如下预处理:

[0033] (1) 使用EEGLAB去除基线漂移、眼电伪迹和50Hz工频信号,并且使用带通滤波器只保留4-45Hz的EEG信号,将采集的EEG信号从512Hz降采样到128Hz并保存;

[0034] (2) 根据心理学和脑科学的相关理论,EEG信号的四个节率波频段与人的生理和心理活动密切相关。所以本发明使用小波包变换将每个样本分解成4个频段的数据,分别是 θ 频段(4-8Hz), α 频段(8-13Hz), β 频段(13-30Hz), γ 频段(30-45Hz),使用'db5'小波基进行6层分解,再找出4个频段分别对应的小波包树节点,将各个频段的小波包系数进行重构后,得到4个频段的EEG信号数据。

[0035] (3) 分别对这4个频段的数据进行双密度双树复数小波变换,得到较为纯净的EEG信号,如图3所示。根据之前的研究,频段内含有大量与情感相关的特征,所以本发明使用采集到的 β 频段EEG信号进行分析研究。

[0036] 步骤三,对处理好的数据,使用传递熵构建 10×10 的传递熵关系矩阵,将二维的关系矩阵归一化后生成矩阵关系图,如图4所示。

[0037] 步骤四,使用HOG对步骤三中生成的传递熵矩阵关系图进行特征提取,技术流程如图5所示,具体步骤为:

[0038] (1) 标准化Gamma空间和色彩空间。调整图像的对比度以抑制噪声干扰。

[0039] (2) 计算图像梯度。使用一维离散差分模板在水平和垂直方向上处理图像。

[0040] (3) 创建方向直方图。将图像划分为几个单元(Cell),对单元中的每个像素进行加权并投影到具有梯度方向(映射到固定角度范围)的直方图中,然后可以获得这个单元的梯度方向直方图。

[0041] (4) 将单元格分组为较大的空间块(Block),然后分别对每个块进行归一化。图6展示了块和单元之间的关系。以此类推,将块中所有单元的特征向量组合为空间块的HOG特征。

[0042] (5) 收集HOG特征。收集检测窗口中所有重叠的块以获得HOG特征,并将其合并为最终特征向量以进行分类。

[0043] 步骤五,使用核函数为径向基函数的支持向量机(SVM)对步骤四中的特征进行分类,用交叉验证和网格搜索得到最优的参数,对训练集进行训练,得到效果更优良的分类模型。

[0044] 本范例分析了32名参与者在满足平静和压力两种情绪的视听觉刺激时的EEG信号,总共获得了125组平静状态时的传递熵关系矩阵和127组压力状态时的传递熵关系矩阵。如图7所示,对比使用不同方法的准确率可以看出,在得到传递熵关系矩阵后,使用HOG对传递熵关系矩阵图进行特征提取可以有效提高分类准确率,揭示情绪刺激时不同通道EEG信号之间的关系。



图1

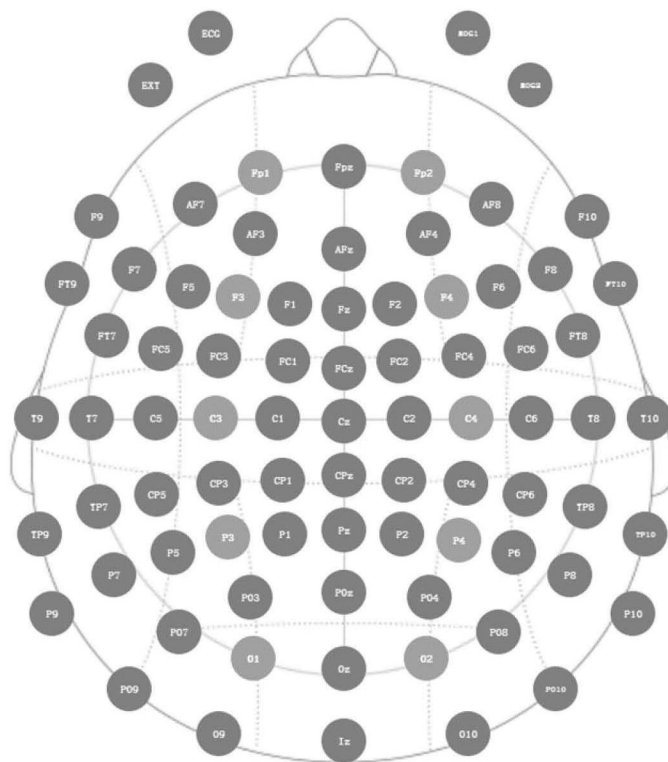


图2

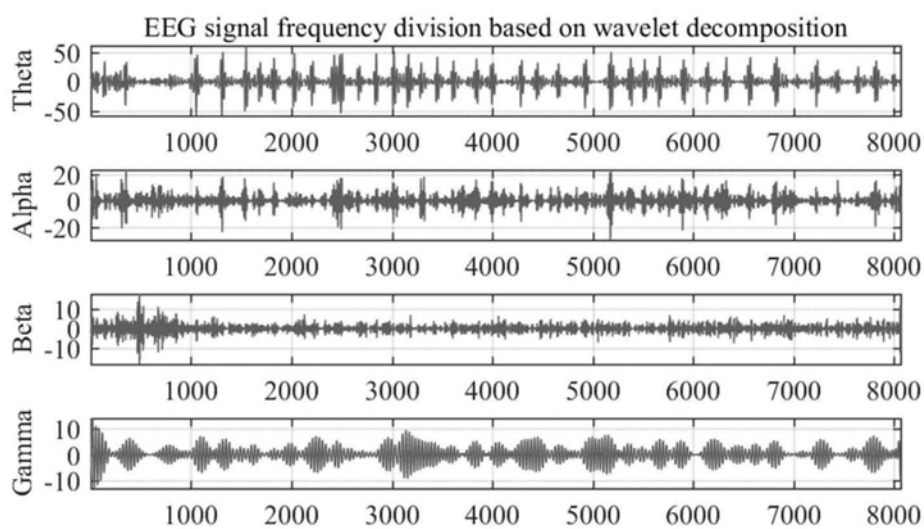
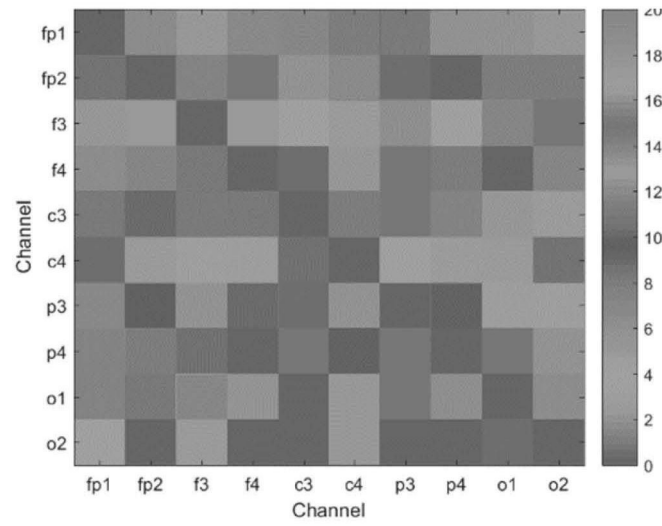
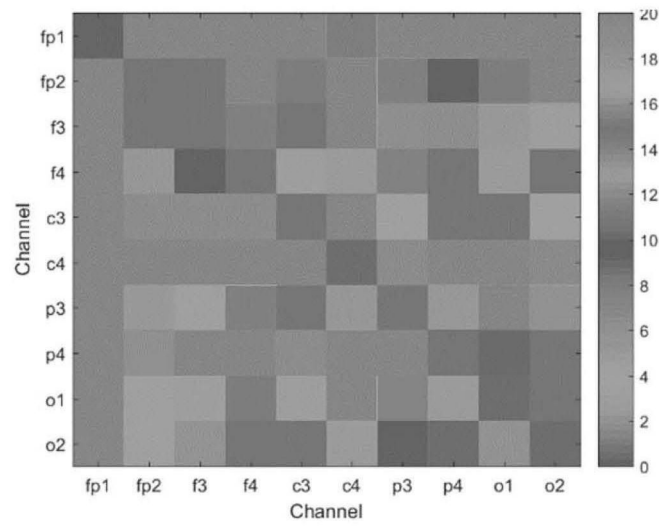


图3



(a)



(b)

图4

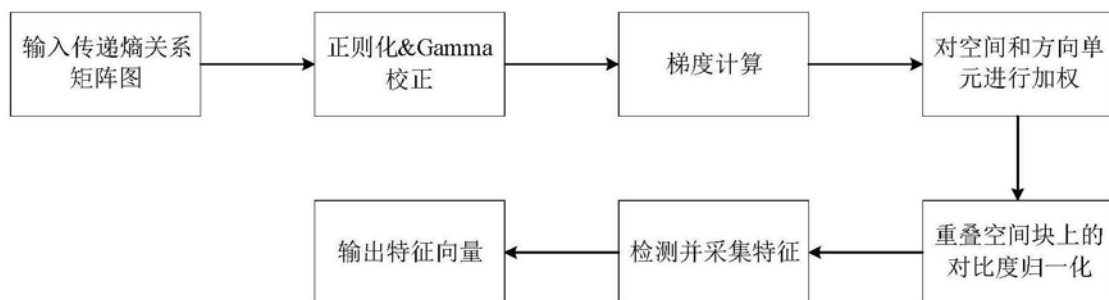


图5

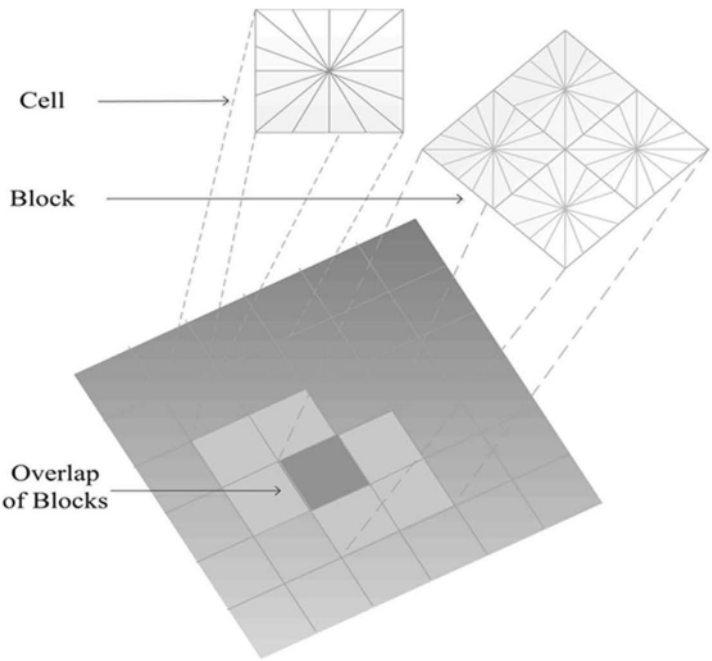


图6

特征	分类器	准确率
TE	SVM（支持向量机）	81.88%
TE	RF（随机森林）	74.23%
TE	DT（决策树）	72.47%
TE+HOG	SVM	95.21%
TE+HOG	RF	84.26%
TE+HOG	DT	83.04%

图7

专利名称(译)	一种基于传递熵的情绪诱导脑电信号分类方法		
公开(公告)号	CN111184509A	公开(公告)日	2020-05-22
申请号	CN201911196894.5	申请日	2019-11-29
[标]申请(专利权)人(译)	杭州电子科技大学		
申请(专利权)人(译)	杭州电子科技大学		
当前申请(专利权)人(译)	杭州电子科技大学		
[标]发明人	高云园 王翔坤 高博 朱涛 余青山 孟明		
发明人	高云园 王翔坤 高博 朱涛 余青山 孟明		
IPC分类号	A61B5/0476 A61B5/00		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

本发明公开了一种基于传递熵的情绪诱导脑电信号分类方法，首先采集在不同情绪类型的视听觉刺激时的多通道脑电信号，并对其进行预处理。然后选择Fp1，Fp2，P3，P4，C3，C4，O1，O2，F3，F4这10个通道的脑电信号使用传递熵的相关算法构建通道之间的传递熵关系矩阵图，通过方向梯度直方图对生成的传递熵矩阵关系图进行特征提取。最后使用核函数为径向基函数的支持向量机对提取的特征进行训练和分类，根据不同的情感状态对脑电信号进行分析和分类。本发明可以全面、准确、快速的反映在情绪刺激时不同通道之间的信息交互，成为之后的分类和分析的基础，减少了特征冗余，提高了分类准确率并减少分析时间。

