



## (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109805928 A

(43)申请公布日 2019. 05. 28

(21)申请号 201910278823.3

(22)申请日 2019.04.09

(71)申请人 太原理工大学

地址 030000 山西省太原市迎泽西大街79  
号太原理工大学

(72)发明人 李凤莲 张雪英 焦江丽 王灿  
黄丽霞 樊宇宙 回海生

(74)专利代理机构 北京高沃律师事务所 11569  
代理人 程华

(51)Int.Cl.

A61B 5/0476(2006.01)

A61B 5/00(2006.01)

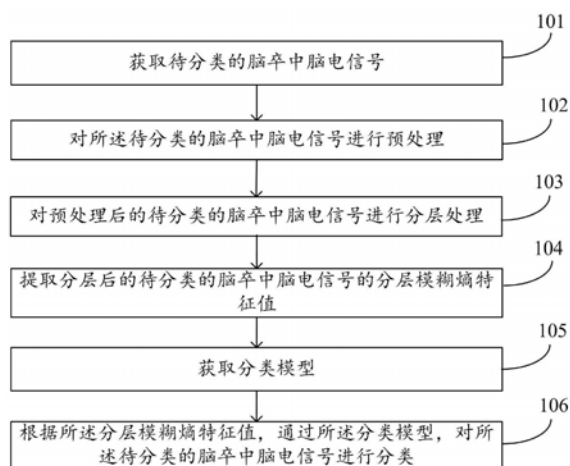
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

### (54)发明名称

一种脑卒中脑电信号分类方法及系统

### (57)摘要

本发明公开了一种脑卒中脑电信号分类方法及系统。该方法包括：获取待分类的脑卒中脑电信号；对所述待分类的脑卒中脑电信号进行预处理；对预处理后的待分类的脑卒中脑电信号进行分层处理；提取分层后的待分类的脑卒中脑电信号的分层模糊熵特征值；获取分类模型；根据所述分层模糊熵特征值，通过所述分类模型，对所述待分类的脑卒中脑电信号进行分类。本发明利用脑电信号进行分层模糊熵的特征提取，并用支持向量机进行分类，得到较高的识别率，为临床分析诊断提供一定的参考。



1. 一种脑卒中脑电信号分类方法,其特征在于,所述方法包括:  
获取待分类的脑卒中脑电信号;  
对所述待分类的脑卒中脑电信号进行预处理;  
对预处理后的待分类的脑卒中脑电信号进行分层处理;  
提取分层后的待分类的脑卒中脑电信号的分层模糊熵特征值;  
获取分类模型;  
根据所述分层模糊熵特征值,通过所述分类模型,对所述待分类的脑卒中脑电信号进行分类。
2. 根据权利要求1所述的脑卒中脑电信号分类方法,其特征在于,所述对所述待分类的脑卒中脑电信号进行预处理,具体包括:  
对所述待分类的脑卒中脑电信号进行低通滤波;  
对滤波后的脑卒中脑电信号先进行分段处理。
3. 根据权利要求1所述的脑卒中脑电信号分类方法,其特征在于,在所述获取分类模型,之前还包括:  
获取支持向量机模型以及训练样本;所述训练样本为脑卒中脑电样本信号,所述脑卒中脑电样本信号包括脑梗死样本信号以及脑出血样本信号;  
对所述训练样本进行预处理;  
对预处理后的训练样本进行分层处理;  
提取分层处理后的训练样本的模糊熵特征值;  
通过样本分层模糊熵特征值训练所述支持向量机模型,得到分类模型。
4. 根据权利要求1所述的脑卒中脑电信号分类方法,其特征在于,还包括:通过主成分分析法对分层模糊熵特征值进行降维。
5. 一种脑卒中脑电信号分类系统,其特征在于,所述系统包括:  
第一获取模块,用于获取待分类的脑卒中脑电信号;  
第一预处理模块,用于对所述待分类的脑卒中脑电信号进行预处理;  
第一分层模块,用于对预处理后的待分类的脑卒中脑电信号进行分层处理第一提取模块,用于提取分层后的待分类的脑卒中脑电信号的分层模糊熵特征值;  
模型获取模块,用于获取分类模型;  
分类模块,用于根据所述分层模糊熵特征值,通过所述分类模型,对所述待分类的脑卒中脑电信号进行分类。
6. 根据权利要求5所述的脑卒中脑电信号分类系统,其特征在于,所述第一预处理模块,具体包括:  
滤波单元,用于对所述待分类的脑卒中脑电信号进行低通滤波;  
分段单元,用于对滤波后的脑卒中脑电信号先进行分段处理。
7. 根据权利要求5所述的脑卒中脑电信号分类系统,其特征在于,所述分类系统还包括:  
第二获取模块,用于获取支持向量机模型以及训练样本;所述训练样本为脑卒中脑电样本信号,所述脑卒中脑电样本信号包括脑梗死样本信号以及脑出血样本信号;  
第二预处理模块,用于对所述训练样本进行预处理;

第二分层模块,用于对预处理后的训练样本进行分层处理

第二提取模块,用于提取分层处理后的训练样本的模糊熵特征值;

训练模块,用于通过样本分层模糊熵特征值训练所述支持向量机模型,得到分类模型。

8.根据权利要求5所述的脑卒中脑电信号分类系统,其特征在于,所述分类系统还包括:

降维模块,用于通过主成分分析法对分层模糊熵特征值进行降维。

## 一种脑卒中脑电信号分类方法及系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及脑电信号分类领域,特别是涉及一种脑卒中脑电信号分类方法及系统。

### 背景技术

[0002] 脑卒中是一种脑血液循环产生障碍而引起的疾病,严重危害了人类的健康。其发病机理一方面是由于大脑的血管破裂导致出血而引起的脑功能障碍,另一方面是由脑血管狭窄导致缺血而引起的脑功能障碍。脑卒中一般分为两种类型,一种是由血栓导致的供血不足而引发的缺血性脑卒中,又称脑梗死,另一种是由出血导致的出血性脑卒中,占全部脑卒中的20%~30%,又称脑出血。

[0003] 近年来,众多学者对脑卒中的脑电信号分类展开了多项研究。研究方向主要包含两大类:一种是探讨适用于EEG信号的特征提取方法;另一种是探讨合适的分类方法以对提取的特征进行分类。特征提取方面,自回归模型、希尔伯特黄变换、Lyapunov指数等均被应用于脑电信号的特征提取中。常见的脑电信号分类方法则主要包括:人工神经网络、最近邻分类器、支持向量机等。此外,近年来还提出了一些熵的分析方法:排列熵、近似熵、样本熵、模糊熵等。在动力学系统中,熵表示的是新信息的产生率,产生新信息的概率越大,序列的复杂性就越大。2011年,Jiang等又提出分层熵的概念,通过分层,同时考虑信号的低频和低频成分,提取不同层序列的样本熵信息。这些熵的方法为分析脑卒中脑电信号提供了新思路。目前关于脑卒中脑电信号的分类研究中,主要集中于脑卒中病人运动想象的分类、脑卒中病人思维状态的分类以及脑卒中病人情感的分类研究中,对脑卒中病人脑梗死和脑出血的分类研究仍然很少。但有效进行脑梗死和脑出血的分类研究,对提高脑卒中诊断准确率,降低脑卒中致残率及病死率具有重要的意义。

### 发明内容

[0004] 本发明的目的是提供一种脑卒中脑电信号分类方法及系统,利用脑电信号进行分层模糊熵的特征提取,并用支持向量机进行分类,得到较高的识别率,为临床分析诊断提供一定的参考。

[0005] 为实现上述目的,本发明提供了如下方案:

[0006] 一种脑卒中脑电信号分类方法,所述方法包括:

[0007] 获取待分类的脑卒中脑电信号;

[0008] 对所述待分类的脑卒中脑电信号进行预处理;

[0009] 对预处理后的待分类的脑卒中脑电信号进行分层处理;

[0010] 提取分层后的待分类的脑卒中脑电信号的分层模糊熵特征值;

[0011] 获取分类模型;

[0012] 根据所述分层模糊熵特征值,通过所述分类模型,对所述待分类的脑卒中脑电信号进行分类。

- [0013] 可选的,所述对所述待分类的脑卒中脑电信号进行预处理,具体包括:
- [0014] 对所述待分类的脑卒中脑电信号进行低通滤波;
- [0015] 对滤波后的脑卒中脑电信号先进行分段处理。
- [0016] 可选的,在所述获取分类模型,之前还包括:
- [0017] 获取支持向量机模型以及训练样本;所述训练样本为脑卒中脑电样本信号,所述脑卒中脑电样本信号包括脑梗死样本信号以及脑出血样本信号;
- [0018] 对所述训练样本进行预处理;
- [0019] 对预处理后的训练样本进行分层处理;
- [0020] 提取分层处理后的训练样本的模糊熵特征值;
- [0021] 通过样本分层模糊熵特征值训练所述支持向量机模型,得到分类模型。
- [0022] 可选的,还包括:通过主成分分析法对分层模糊熵特征值进行降维。
- [0023] 本发明还提供了一种脑卒中脑电信号分类系统,所述系统包括:
- [0024] 第一获取模块,用于获取待分类的脑卒中脑电信号;
- [0025] 第一预处理模块,用于对所述待分类的脑卒中脑电信号进行预处理;
- [0026] 第一分层模块,用于对预处理后的待分类的脑卒中脑电信号进行分层处理
- [0027] 第一提取模块,用于提取分层后的待分类的脑卒中脑电信号的分层模糊熵特征值;
- [0028] 模型获取模块,用于获取分类模型;
- [0029] 分类模块,用于根据所述分层模糊熵特征值,通过所述分类模型,对所述待分类的脑卒中脑电信号进行分类。
- [0030] 可选的,所述第一预处理模块,具体包括:
- [0031] 滤波单元,用于对所述待分类的脑卒中脑电信号进行低通滤波;
- [0032] 分段单元,用于对滤波后的脑卒中脑电信号先进行分段处理。
- [0033] 可选的,所述分类系统还包括:
- [0034] 第二获取模块,用于获取支持向量机模型以及训练样本;所述训练样本为脑卒中脑电样本信号,所述脑卒中脑电样本信号包括脑梗死样本信号以及脑出血样本信号;
- [0035] 第二预处理模块,用于对所述训练样本进行预处理;
- [0036] 第二分层模块,用于对预处理后的训练样本进行分层处理
- [0037] 第二提取模块,用于提取分层处理后的训练样本的模糊熵特征值;
- [0038] 训练模块,用于通过样本分层模糊熵特征值训练所述支持向量机模型,得到分类模型。
- [0039] 可选的,所述分类系统还包括:
- [0040] 降维模块,用于通过主成分分析法对分层模糊熵特征值进行降维。
- [0041] 与现有技术相比,本发明具有以下技术效果:本发明对所述待分类的脑卒中脑电信号进行预处理;提取预处理后的待分类的脑卒中脑电信号的分层模糊熵特征值;根据所述分层模糊熵特征值,通过所述分类模型,对所述待分类的脑卒中脑电信号进行分类。利用脑电信号进行分层模糊熵的特征提取,并用支持向量机进行分类,得到了较高的识别率,为临床分析诊断提供了一定的参考。

## 附图说明

[0042] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动性的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0043] 图1为本发明实施例脑卒中脑电信号分类方法的流程图;

[0044] 图2为本发明实施例脑出血与脑梗死脑电信号排列熵特征值的分布示意图;

[0045] 图3为本发明实施例脑出血与脑梗死脑电信号近似熵特征值的分布示意图;

[0046] 图4为本发明实施例脑出血与脑梗死脑电信号样本熵特征值的分布示意图;

[0047] 图5为本发明实施例脑出血与脑梗死脑电信号模糊熵特征值的分布示意图;

[0048] 图6为本发明实施例脑卒中脑电信号分类系统的结构框图。

## 具体实施方式

[0049] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0050] 本发明的目的是提供一种脑卒中脑电信号分类方法及系统,利用脑电信号进行分层模糊熵的特征提取,并用支持向量机进行分类,得到较高的识别率,为临床分析诊断提供一定的参考。

[0051] 为使本发明的上述目的、特征和优点能够更加明显易懂,下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步详细的说明。

[0052] 本发明提供的脑卒中脑电信号分类方法的原理为:原始的脑电信号经过低通滤波器,保留35Hz以下的频段范围,然后将该频段信号分为每段1000个数据点的样本集;对样本集用小波包变换进行分解得到高频分量与低频分量,分别提取高频与低频分量的模糊熵特征值用主成分分析法进行降维后作为特征向量,并采用支持向量机算法进行分类模型训练,并对测试集进行分类,得出最终分类结果。

[0053] 如图1所示,脑卒中脑电信号分类方法包括以下步骤:

[0054] 步骤101:获取待分类的脑卒中脑电信号。

[0055] 步骤102:对所述待分类的脑卒中脑电信号进行预处理。对所述待分类的脑卒中脑电信号进行低通滤波;对滤波后的脑卒中脑电信号先进行分段处理。

[0056] 步骤103:对预处理后的待分类的脑卒中脑电信号进行分层处理。

[0057] 步骤104:提取分层后的待分类的脑卒中脑电信号的分层模糊熵特征值。

[0058] 步骤105:获取分类模型。

[0059] 步骤106:根据所述分层模糊熵特征值,通过所述分类模型,对所述待分类的脑卒中脑电信号进行分类。

[0060] 在步骤105之前,还包括:

[0061] 获取支持向量机模型以及训练样本;所述训练样本为脑卒中脑电样本信号,所述脑卒中脑电样本信号包括脑梗死样本信号以及脑出血样本信号;

[0062] 对所述训练样本进行预处理；

[0063] 提取预处理后的训练样本的样本分层模糊熵特征值；

[0064] 通过样本分层模糊熵特征值训练所述支持向量机模型，得到分类模型。

[0065] 为进行实验结果的对比，还分别提取了近似熵、样本熵、排列熵作为特征值进行分类，并得出了四种熵特征值分层前后的结果。

[0066] 本发明采用了盒图直观的表示了分层前四种熵特征值的分布情况，如图2-图5所示。

[0067] 用346个样本集分别计算脑出血和脑梗死脑电信号的排列熵、近似熵、样本熵和模糊熵的值，求出它们的最大值、最小值等，得到的实验数据用盒图表示。

[0068] 盒图主要由五个数值点组成，从下到上依次为：最小值，下四分位数，中位数，上四分位数，最大值。其中下四分位数和上四分位数组成一个空盒子，中位数把盒子一分为二。上四分位数到最大值之间和下四分位数到最小值之间各用一条延伸线连接。图中的“+”代表离群点，离群点单独汇出的目的是保证整体特征的稳定性，数据不会因此偏移，而盒图中延伸线的两级修改成最小(大)观测值，最小(大)观测值按经验设置为下(上)四分位数减(加)1.5倍四分位数间距离。分析数据时盒图不仅能够帮助我们直观地识别样本数据中的异常值(离群点)，而且通过观察盒子的长度，上下隔间的形状，以及延伸线的长度可以有效判断样本数据的离散程度和偏向。

[0069] 图2到图5分别为脑出血与脑梗死两类脑电信号的排列熵、近似熵、样本熵和模糊熵值的盒图。每个图的纵坐标表示的是幅值，横坐标表示的是导联数，其中奇数为脑出血相应导联的盒子，偶数为脑梗死对应导联的盒子。从下面的图中可以看出，对于排列熵而言，脑出血与脑梗死患者脑电信号8个导联的排列熵特征值分布都比较集中，相对于其他三种情况来说异常值比较多；对于近似熵和样本熵而言，脑出血与脑梗死患者脑电信号8个导联的熵特征值分布比较相似，分布较为分散；对于模糊熵而言，脑出血与脑梗死患者脑电信号8个导联的模糊熵特征值分布最为分散，相对于其他三种情况来说异常值比较少。

[0070] 评价指标

[0071] 本发明的评价指标采用二分类问题常用的评价指标：敏感性Se (Sensitivity)，特异性Sp (Specificity) 和准确率Acc (Accuracy)，其定义为

$$[0072] \quad Se = \frac{TP}{TP+FN}; \quad Sp = \frac{TN}{TN+FP}; \quad Acc = \frac{TP+TN}{TP+FN+TN+FP}$$

[0073] 上式中TP、FN、TN、FP分别代表被分类模型预测为正类的正类样本数、被分类模型预测为负类的正类样本数、被分类模型预测为负类的负类样本数、以及被分类模型预测为正类的负类样本数，Se、Sp、Acc的值越大表明分类效果越好。本文中的正类样本是脑出血样本集，负类样本是脑梗死样本集。

[0074] 实验结果

[0075] (1) 提取脑卒中患者脑电信号的排列熵、近似熵、样本熵和模糊熵四种熵特征值并进行分类后的实验结果见下表1。

[0076] 表1四种熵特征值的脑卒中分类的实验结果

[0077]

| 实验方案一 | 特征向量 | 敏感性 Se/% | 特异性 Sp /% | 准确率 Acc/% |
|-------|------|----------|-----------|-----------|
|-------|------|----------|-----------|-----------|

[0078]

|   |     |        |        |        |
|---|-----|--------|--------|--------|
| 1 | 排列熵 | 40.35% | 84.62% | 63.93% |
| 2 | 近似熵 | 75.44% | 60.00% | 67.21% |
| 3 | 样本熵 | 68.42% | 61.54% | 64.75% |
| 4 | 模糊熵 | 96.49% | 43.08% | 68.03% |

[0079] (2) 提取脑卒中患者脑电信号的分层排列熵、分层近似熵、分层样本熵和分层模糊熵四种熵特征值并进行分类后的实验结果见下表2。

[0080] 表2四种分层熵特征值的脑卒中分类的实验结果

[0081]

| 实验方案二 | 特征向量  | 敏感性Se/% | 特异性Sp/% | 准确率Acc/% |
|-------|-------|---------|---------|----------|
| 1     | 分层排列熵 | 50.88%  | 66.15%  | 59.02%   |
| 2     | 分层近似熵 | 100.00% | 92.31%  | 95.90%   |
| 3     | 分层样本熵 | 85.96%  | 93.85%  | 90.16%   |
| 4     | 分层模糊熵 | 96.49%  | 96.92%  | 96.72%   |

[0082] 综上(1)与(2)可知,四种熵特征值进行分类得到准确率Acc都在65%左右,与分层前的熵特征值相比,分层后的近似熵、样本熵和模糊熵均能有效地区分脑梗死与脑出血患者的脑电信号,它们的物理意义相近,均表示时间序列产生新信息的概率大小,产生新信息的概率越大,序列的复杂度就越大。分层模糊熵的SVM准确率Acc最好,其次是分层近似熵、分层样本熵。模糊熵中用模糊隶属度函数代替样本熵中Heavside函数作为相似性度量,可有效提高脑卒中脑电信号的准确率Acc。

[0083] 根据本发明提供的具体实施例,本发明公开了以下技术效果:本发明对所述待分类的脑卒中脑电信号进行预处理;提取预处理后的待分类的脑卒中脑电信号的分层模糊熵特征值;根据所述分层模糊熵特征值,通过所述分类模型,对所述待分类的脑卒中脑电信号进行分类。利用脑电信号进行分层模糊熵的特征提取,并用支持向量机进行分类,得到了较高的识别率,为临床分析诊断提供了一定的参考。

[0084] 如图6所示,本发明还提供了一种脑卒中脑电信号分类系统,所述系统包括:

[0085] 第一获取模块601,用于获取待分类的脑卒中脑电信号。

[0086] 第一预处理模块602,用于对所述待分类的脑卒中脑电信号进行预处理。

[0087] 所述第一预处理模块602,具体包括:

[0088] 滤波单元,用于对所述待分类的脑卒中脑电信号进行低通滤波;

[0089] 分段单元,用于对滤波后的脑卒中脑电信号先进行分段处理。

[0090] 第一分层模块603,用于对预处理后的待分类的脑卒中脑电信号进行分层处理

[0091] 第一提取模块604,用于提取分层后的待分类的脑卒中脑电信号的分层模糊熵特



征值。

[0092] 模型获取模块605,用于获取分类模型。

[0093] 分类模块606,用于根据所述分层模糊熵特征值,通过所述分类模型,对所述待分类的脑卒中脑电信号进行分类。

[0094] 所述分类系统还包括:

[0095] 第二获取模块,用于获取支持向量机模型以及训练样本;所述训练样本为脑卒中脑电样本信号,所述脑卒中脑电样本信号包括脑梗死样本信号以及脑出血样本信号;

[0096] 第二预处理模块,用于对所述训练样本进行预处理;

[0097] 第二提取模块,用于提取预处理后的训练样本的样本分层模糊熵特征值;

[0098] 训练模块,用于通过样本分层模糊熵特征值训练所述支持向量机模型,得到分类模型。

[0099] 所述分类系统还包括:

[0100] 降维模块,用于通过主成分分析法对分层模糊熵特征值进行降维。

[0101] 本说明书中各个实施例采用递进的方式描述,每个实施例重点说明的都是与其他实施例的不同之处,各个实施例之间相同相似部分互相参见即可。对于实施例公开的系统而言,由于其与实施例公开的方法相对应,所以描述的比较简单,相关之处参见方法部分说明即可。

[0102] 本文中应用了具体个例对本发明的原理及实施方式进行了阐述,以上实施例的说明只是用于帮助理解本发明的方法及其核心思想;同时,对于本领域的一般技术人员,依据本发明的思想,在具体实施方式及应用范围上均会有改变之处。综上所述,本说明书内容不应理解为对本发明的限制。

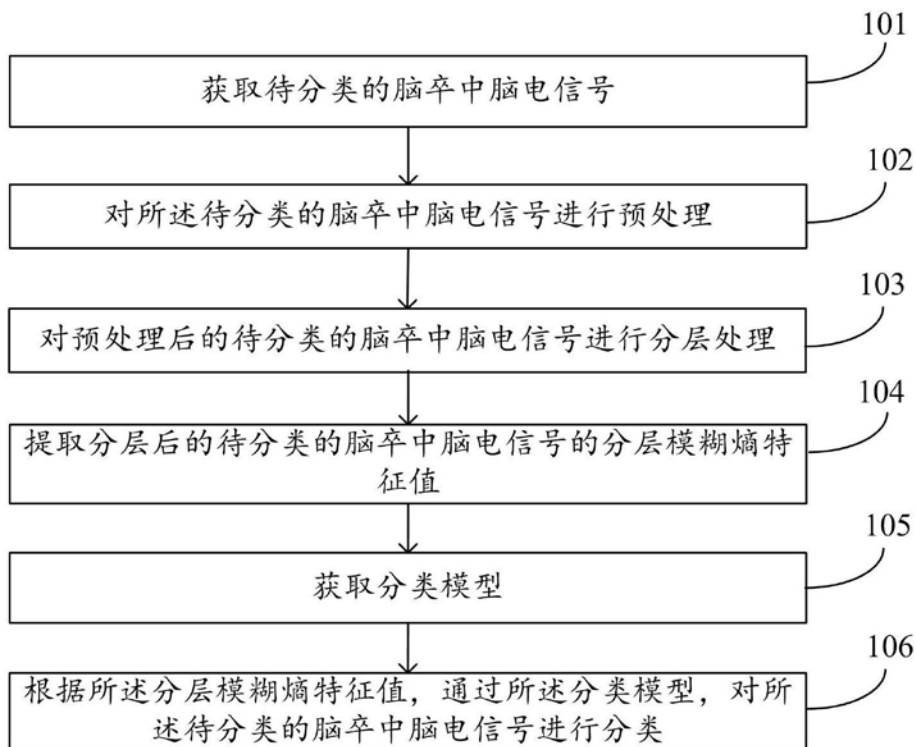


图1

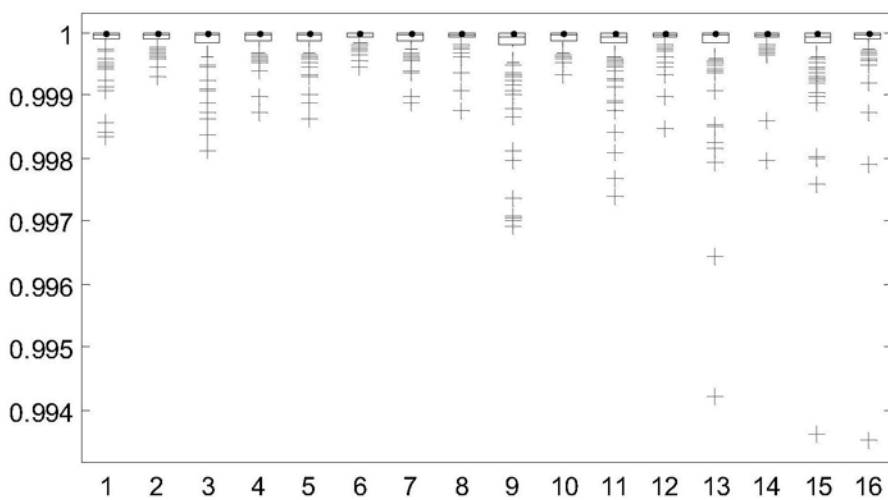


图2

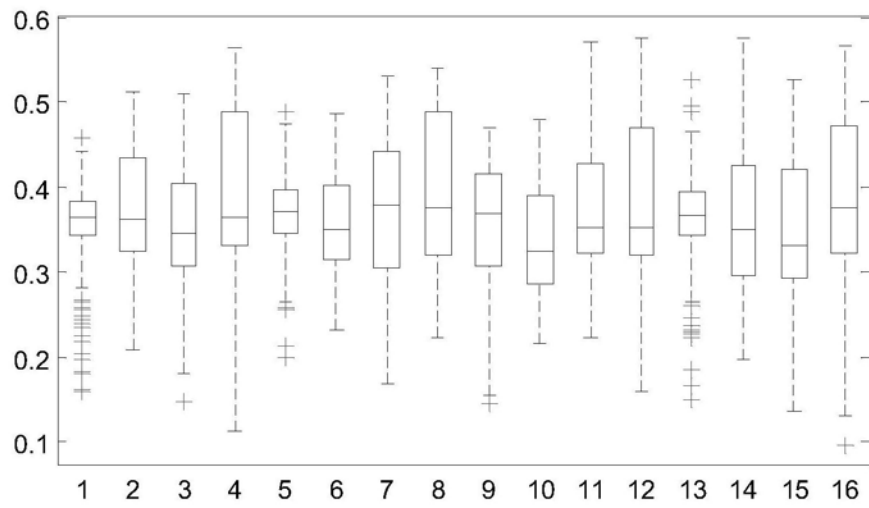


图3

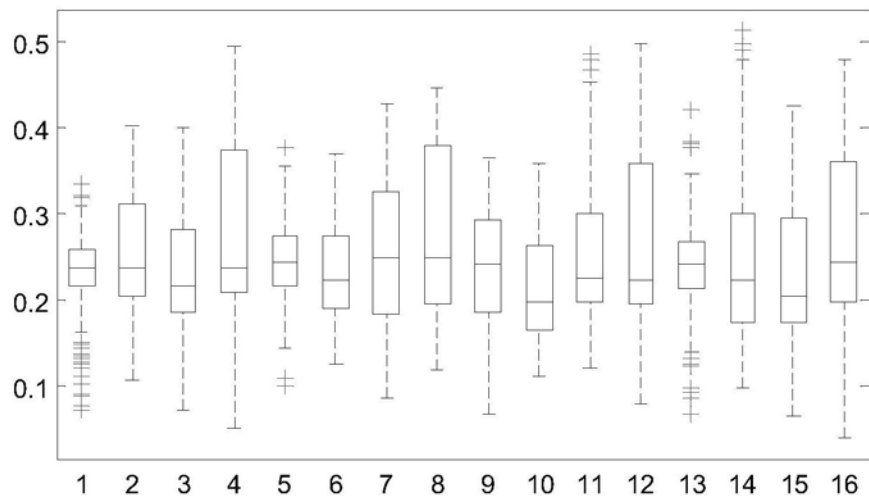


图4

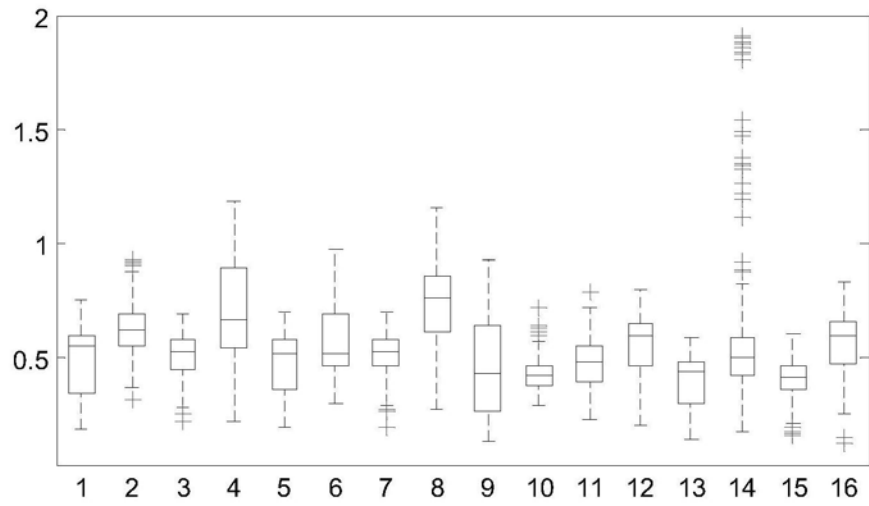


图5

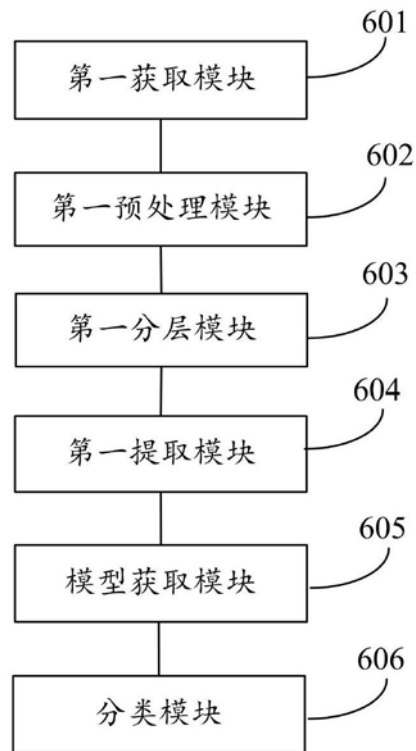


图6

|                |                                                |         |            |
|----------------|------------------------------------------------|---------|------------|
| 专利名称(译)        | 一种脑卒中脑电信号分类方法及系统                               |         |            |
| 公开(公告)号        | <a href="#">CN109805928A</a>                   | 公开(公告)日 | 2019-05-28 |
| 申请号            | CN201910278823.3                               | 申请日     | 2019-04-09 |
| [标]申请(专利权)人(译) | 太原理工大学                                         |         |            |
| 申请(专利权)人(译)    | 太原理工大学                                         |         |            |
| 当前申请(专利权)人(译)  | 太原理工大学                                         |         |            |
| [标]发明人         | 李凤莲<br>张雪英<br>焦江丽<br>王灿<br>黄丽霞<br>樊宇宙<br>回海生   |         |            |
| 发明人            | 李凤莲<br>张雪英<br>焦江丽<br>王灿<br>黄丽霞<br>樊宇宙<br>回海生   |         |            |
| IPC分类号         | A61B5/0476 A61B5/00                            |         |            |
| 代理人(译)         | 程华                                             |         |            |
| 外部链接           | <a href="#">Espacenet</a> <a href="#">SIPO</a> |         |            |

# 摘要(译)

本发明公开了一种脑卒中脑电信号分类方法及系统。该方法包括：获取待分类的脑卒中脑电信号；对所述待分类的脑卒中脑电信号进行预处理；对预处理后的待分类的脑卒中脑电信号进行分层处理；提取分层后的待分类的脑卒中脑电信号的分层模糊熵特征值；获取分类模型；根据所述分层模糊熵特征值，通过所述分类模型，对所述待分类的脑卒中脑电信号进行分类。本发明利用脑电信号进行分层模糊熵的特征提取，并用支持向量机进行分类，得到较高的识别率，为临床分析诊断提供一定的参考。

