



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108814592 A

(43)申请公布日 2018.11.16

(21)申请号 201810374887.9

(22)申请日 2018.04.24

(71)申请人 哈尔滨工业大学

地址 150001 黑龙江省哈尔滨市南岗区西
大直街92号

(72)发明人 李卓明 陈幸 岑尧辉 吴广腾
赵钰 夏慧云

(74)专利代理机构 哈尔滨市松花江专利商标事
务所 23109

代理人 杨立超

(51)Int.Cl.

A61B 5/0476(2006.01)

A61B 5/00(2006.01)

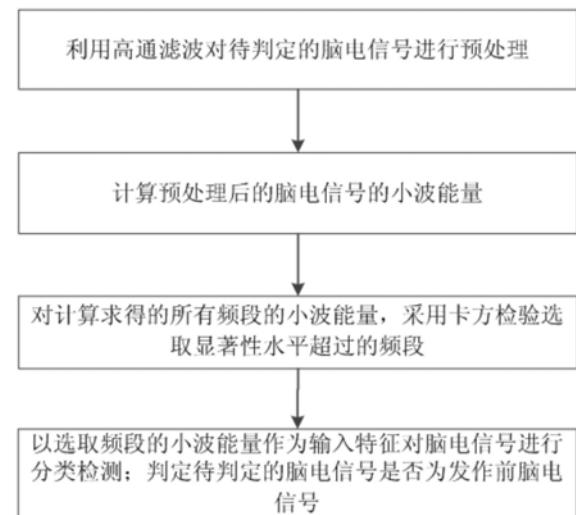
权利要求书2页 说明书9页 附图4页

(54)发明名称

基于小波能量判定癫痫发作前脑电信号的
方法及系统

(57)摘要

本发明提供基于小波能量判定癫痫发作前
脑电信号的方法，属于信号处理与神经工程技术
领域，涉及判定癫痫发作前脑电信号的方法及系
统。本发明首先利用高通滤波对待判定的脑电信
号进行预处理、计算预处理后的脑电信号的小波
能量；然后对计算求得的所有频段的小波能量，
采用卡方检验选取存在显著性水平差异的频段；
最后以选取频段的小波能量作为输入特征对脑
电信号进行分类检测；分类并判定待判定的脑电
信号是否为发作前脑电信号。本发明解决了现有
技术无法准确判定脑电信号是否为发作前脑电
信号，从而导致癫痫发作预测时无法保证准确率
高的同时误判率低的问题。本发明可用于判定癫
痫发作前脑电信号。



1. 基于小波能量判定癫痫发作前脑电信号的方法,其特征在于,所述方法具体包括以下步骤:

步骤一、利用高通滤波对待判定的脑电信号进行预处理;

步骤二、计算预处理后的脑电信号的小波能量;

步骤三、对计算求得的所有频段的小波能量,采用卡方检验选取显著性水平超过 σ 的频段;

步骤四、以选取频段的小波能量作为输入特征对脑电信号进行分类检测;判定待判定的脑电信号是否为发作前脑电信号。

2. 根据权利要求1所述基于小波能量判定癫痫发作前脑电信号的方法,其特征在于,步骤二计算预处理后的脑电信号的小波能量的具体过程包括:

步骤二一、采用Daubechies-5正交小波基对预处理后的脑电信号进行小波分解得到小波分解系数 $d_{j,k}$,即:

$$d_{j,k} = \left| 2^j \right|^{\frac{1}{2}} \int_T^{T+m} S(t) \Psi\left(\frac{t-2^j k}{2^j} \right) dt$$

其中 j 表示离散化尺度后的 j 频段, k 为平移尺度, $j, k \in \mathbb{Z}$, Z 表示整数, t 表示时间,
 $\Psi\left(\frac{t-2^j k}{2^j} \right)$ 为离散Daubechies-5小波基函数, $S(t)$ 为预处理后的脑电信号; T 为 $S(t)$ 开始的
时刻, m 表示每段数据时间窗长度;

步骤二二、计算小波能量:

$$E_j = \sum_k |d_{j,k}|^2$$

其中, E_j 表示 j 频段脑电信号的小波能量值。

3. 根据权利要求1或2所述基于小波能量判定癫痫发作前脑电信号的方法,其特征在于,步骤三中采用卡方检验选取显著性水平超过 σ 的频段具体包括以下步骤:

步骤三一、针对 j 频段脑电信号的小波能量值,查阅卡方检验临界值表,取表中自由度为 j ,显著性水平为 σ 的临界值 K ;

步骤三二、计算卡方 χ^2 :

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(f_i - np_i)^2}{np_i}$$

将小波能量值 E_j 的大小分为 n 个区间 $A_1, \dots, A_i, \dots, A_n$; $i \in [1, n]$;其中, f_i 表示预处理后脑电信号的小波能量 E_j 落入区间 A_i 的频率, p_i 表示正常脑电信号小波能量 E_j 落入区间 A_i 的频率;

步骤三三、判断 χ^2 是否小于等于 K ,若小于等于,则选取此频段,否则,不选取。

4. 根据权利要求3所述基于小波能量判定癫痫发作前脑电信号的方法,其特征在于,步骤四中判定待判定的脑电信号是否为发作前脑电信号的具体包括以下步骤:

步骤四一、采用2折交叉验证选取分类器的最优参数:

步骤四一、将提供待判定的脑电信号的病人的若干不同频段的脑电信号进行预处理、计算预处理后的脑电信号的小波能量,然后采用卡方检验选取显著性水平超过 σ 的频

段；

步骤四一二、将步骤四一一中选取频段的小波能量作为样本,将样本随机分成2个互不相交的子集,每个子集包含的样本数量相等;

步骤四一三、利用其中一个子集进行分类模型的训练,采用网格搜索方法确定人工神经网络模型中各层神经网络的最优参数;

步骤四一四、将步骤四一三中的最优参数作为初始值,对另一个子集进行分类模型的训练,并采用网格搜索方法确定人工神经网络模型中各层神经网络更新后的最优参数;

步骤四一五、将更新后的最优参数作为分类器的参数;

步骤四二、将步骤三中选取频段的小波能量作为分类器的输入特征,分类器判定待判定的脑电信号是否为发作前脑电信号。

5.根据权利要求4所述基于小波能量判定癫痫发作前脑电信号的方法,其特征在于,步骤一中所述预处理具体过程包括,对待判定的脑电信号进行高通滤波,去除0~0.5Hz低频干扰信号。

6.根据权利要求5所述基于小波能量判定癫痫发作前脑电信号的方法,其特征在于,步骤二中每段数据时间窗长度m为20s,相邻数据段时间窗重叠长度为15s。

7.根据权利要求6所述基于小波能量判定癫痫发作前脑电信号的方法,其特征在于,σ的取值为0.5。

8.采用权利要求1~7任一所述方法的基于小波能量判定癫痫发作前脑电信号的系统,其特征在于,包括预处理模块、计算模块、特征提取模块以及分类模块;

所述预处理模块,利用高通滤波对待判定的脑电信号进行预处理,去除0~0.5Hz低频干扰信号;

所述计算模块,计算预处理后的脑电信号的小波能量;

所述特征提取模块,对计算求得的所有频段的小波能量,采用卡方检验来筛选频段,并选取显著性水平超过σ的频段作为分类模块的输入特征;

所述分类模块,利用2折交叉验证选取分类器的最优参数,分类并判定待判定的脑电信号是否为发作前脑电信号。

9.根据权利要求8所述基于小波能量判定癫痫发作前脑电信号的系统,其特征在于,还包括脑电信号采集模块,所述脑电信号采集模块,用于脑电信号的采集与输入。

10.根据权利要求9所述基于小波能量判定癫痫发作前脑电信号的系统,其特征在于,还包括发作预报模块,所述发作预报模块根据分类模块的判定结果发出预报信息。

基于小波能量判定癫痫发作前脑电信号的方法及系统

技术领域

[0001] 本发明涉及判定癫痫发作前脑电信号的方法及系统,属于信号处理与神经工程技术领域。

背景技术

[0002] 癫痫是一种常见的神经系统疾病,属慢性疾病,以大脑神经细胞群反复超同步放电引起的发作性、突然性、短暂性脑功能紊乱为特征,常常会影响患者的生活及工作。对于无法彻底控制发作的癫痫患者,癫痫会以突然、无法预料的状态发作,这种发作方式对患者像是晴天霹雳。癫痫患者不但会遭遇受伤的危险,他们在日常生活还会感到绝望的无助。全球五千万的癫痫患者和癫痫突发的高危性使癫痫发病预测在过去30年中成为临床医生、神经生物学家、数学家、物理学家及工程师们一直合力挑战的研究课题,准确的癫痫发病预测使临床医生能及时地提供治疗或脑电刺激抑制癫痫发病。目前脑电信号的记录和分析被认为是预测癫痫发病的唯一手段,基于EEG(脑电信号)的癫痫的自动检测对临床分析癫痫等神经疾病具有重要价值。

[0003] Viglione等人最先申请了一项关于电子癫痫预警仪的专利,预测成功率达到90%,由于EEG信号记录过程中有严重的噪声和伪迹,预测产生了难以接受的错误警告(S.S.Viglione,G.O.Walsh.Proceedings:epileptic seizure prediction[J].Electroencephalography&Clinical Neurophysiol,1975,39:435-36)。之后,Williamson利用时空特征方法进行预测,预测精确率达到了85%,19个病人的平均误判率达到21%(J.R.Williamson,D.W.Bliss,D.W.Browne,et al.Seizure prediction using EEG spatiotemporal correlation structure[J],EpilepsyBehav,vol.25,no.2,pp.230-238,Oct.2012)。Mirowski提出了一种基于脑电同步性的互相关,非线性相互依赖性特征的癫痫发作预测技术,预测精确率为71%,没有错误警告(P.Mirowski,D.Madhavan,Y.Le Cun,et al.Classification of patterns of EEG synchronization for seizure prediction[J],Clin.Neurophysiol,vol.120,no.11,pp.1927-1940,Nov.2009)。Park提出了一种谱功率和非线性分类的线性特征方法,预测精确率为94.4%,平均误判率为20%(Y.Park,L.Luo,K.K.Parhi,et al.Seizure prediction with spectral power of EEG using cost-sensitive support vector machines[J],Epilepsia,vol.52,no.10,pp.1761-1770,Oct.2011)。Li利用尖波发作率方法预测,得到了75.8%的精确率,平均误判率为9%(S.Li,W.Zhou,Q.Yuan,Y.Liu,Seizure prediction using spike rate of intracranial EEG,IEEE Trans[J].Neural Syst.Rehabil.Eng,vol.21,no.6,pp.880-886,Oct.2013)。Rasekhi利用单变量特征的方法得到了73.9%的精确率,平均误判率为15%(J.Rasekhi,M.R.K.Mollaei,M.Bandarabadi,et al,Preprocessing effects of 221 linear univariate features on the performance of seizure prediction methods[J],J.Neurosci.Methods,vol.217,pp.9-16,2013)。可以看到,基于EEG信号的癫痫预测研究中,准确率和误判率(准确率表示正确识别测试样本发病状态的概率,误判率表示将未发病

样本识别为发病样本的概率)是一对长期存在的矛盾;怎样准确判定脑电信号是否为发作前脑电信号,从而在癫痫发作预测时保证准确率高的同时误判率低是急需解决的问题。

发明内容

[0004] 本发明为解决现有技术无法准确判定脑电信号是否为发作前脑电信号,从而导致癫痫发作预测时无法保证准确率高的同时误判率低的问题,提供了基于小波能量判定癫痫发作前脑电信号的方法及系统。

[0005] 本发明所述基于小波能量判定癫痫发作前脑电信号的方法,通过以下技术方案实现:

[0006] 步骤一、利用高通滤波对待判定的脑电信号进行预处理;

[0007] 步骤二、计算预处理后的脑电信号的小波能量;

[0008] 步骤二一、采用Daubechies-5正交小波基对预处理后的脑电信号进行小波分解得到小波分解系数 $d_{j,k}$,即:

$$[0009] d_{j,k} = \left| 2^j \right|^{\frac{1}{2}} \int_T^{T+m} S(t) \Psi\left(\frac{t-2^j k}{2^j} \right) dt$$

[0010] 其中 j 表示离散化尺度后的 j 频段, k 为平移尺度, $j, k \in \mathbb{Z}$, Z 表示整数, t 表示时间,

$\Psi\left(\frac{t-2^j k}{2^j} \right)$ 为离散Daubechies-5小波基函数, $S(t)$ 为预处理后的脑电信号; T 为 $S(t)$ 开始的

时刻, m 表示每段数据时间窗长度;

[0011] 步骤二二、计算小波能量:

$$[0012] E_j = \sum_k |d_{j,k}|^2$$

[0013] 其中, E_j 表示 j 频段脑电信号的小波能量值。

[0014] 步骤三、对计算求得的所有频段的小波能量,采用卡方检验选取显著性水平超过 σ 的频段;具体包括:

[0015] 步骤三一、针对 j 频段脑电信号的小波能量值,查阅卡方检验临界值表,取表中自由度为 j ,显著性水平为 σ 的临界值 K ;

[0016] 步骤三二、计算卡方 χ^2 :

$$[0017] \chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(f_i - np_i)^2}{np_i}$$

[0018] 将小波能量值 E_j 的大小分为 n 个区间 $A_1, \dots, A_i, \dots, A_n$; $i \in [1, n]$;其中, f_i 表示预处理后脑电信号的小波能量 E_j 落入区间 A_i 的频率, p_i 表示正常脑电信号小波能量 E_j 落入区间 A_i 的频率;

[0019] 步骤三三、判断 χ^2 是否小于等于 K ,若小于等于,则选取此频段,否则,不选取。

[0020] 步骤四、以选取频段的小波能量作为输入特征对脑电信号进行分类检测;判定待判定的脑电信号是否为发作前脑电信号;

[0021] 步骤四中判定待判定的脑电信号是否为发作前脑电信号的具体方法包括:

[0022] 步骤四一、采用2折交叉验证选取分类器的最优参数:

[0023] 步骤四一一、将提供待判定的脑电信号的病人的若干不同频段的脑电信号进行预处理、计算预处理后的脑电信号的小波能量,然后采用卡方检验选取显著性水平超过 σ 的频段;

[0024] 步骤四一二、将步骤四一一中选取频段的小波能量作为样本,将样本随机分成2个互不相交的子集,每个子集包含的样本数量相等;

[0025] 步骤四一三、利用其中一个子集进行分类模型的训练,采用网格搜索方法确定人工神经网络模型中各层神经网络的最优参数;

[0026] 步骤四一四、将步骤四一三中的最优参数作为初始值,对另一个子集进行分类模型的训练,并采用网格搜索方法确定人工神经网络模型中各层神经网络更新后的最优参数;

[0027] 步骤四一五、将更新后的最优参数作为分类器的参数;

[0028] 步骤四二、将步骤三中选取频段的小波能量作为分类器的输入特征,分类器判定待判定的脑电信号是否为发作前脑电信号。

[0029] 进一步的,步骤一中所述预处理具体过程包括,对待判定的脑电信号进行高通滤波,去除0~0.5Hz低频干扰信号;

[0030] 进一步的,步骤二中每段数据时间窗长度m为20s,相邻数据段时间窗重叠长度为15s。

[0031] 进一步的, σ 的取值为0.5。

[0032] 本发明所述基于小波能量判定癫痫发作前脑电信号的系统,包括预处理模块、计算模块、特征提取模块以及分类模块;

[0033] 所述预处理模块,利用高通滤波对待判定的脑电信号进行预处理,去除0~0.5Hz低频干扰信号;

[0034] 所述计算模块,计算预处理后的脑电信号的小波能量;

[0035] 所述特征提取模块,对计算求得的所有频段的小波能量,采用卡方检验来筛选频段,并选取显著性水平超过 σ 的频段作为分类模块的输入特征;

[0036] 所述分类模块,利用2折交叉验证选取分类器的最优参数,分类并判定待判定的脑电信号是否为发作前脑电信号。

[0037] 进一步的,所述基于小波能量判定癫痫发作前脑电信号的系统还包括脑电信号采集模块,所述脑电信号采集模块,用于脑电信号的采集与输入。

[0038] 进一步的,所述基于小波能量判定癫痫发作前脑电信号的系统还包括发作预报模块,所述发作预报模块根据分类模块的判定结果发出预报信息。

[0039] 本发明最为突出的特点和显著的有益效果是:

[0040] 本发明所采用小波变换是一种时频局部化的信号处理方法,适合于在低频变换缓慢和在高频变化较快的信号,它非常适合于局部瞬时事件,这种情况经常在癫痫发作时出现。本发明公开了一种基于小波能量判定癫痫发作前脑电信号的方法及系统,可实现从记录到的头皮电极EEG数据中自动检测到癫痫发作前的脑电信号,并能够发出预报信息;以小波能量作为输入特征对癫痫EEG信号进行分类检测,具有较高的准确率和很低的误判率,进行仿真实验得到平均88.89%的准确率和8.3%的误判率;准确率与误判率综合情况明显优于现有技术;同时计算复杂度较低,可实现对癫痫发作的迅速预测。

附图说明

- [0041] 图1为本发明方法流程图；
- [0042] 图2为实施例中频段为d1的脑电信号小波能量曲线图；
- [0043] 图3为实施例中频段为d2的脑电信号小波能量曲线图；
- [0044] 图4为实施例中频段为d3的脑电信号小波能量曲线图；
- [0045] 图5为实施例中频段为d4的脑电信号小波能量曲线图；
- [0046] 图6为实施例中频段为d5的脑电信号小波能量曲线图；
- [0047] 图7为实施例中频段为d678的脑电信号小波能量曲线图。

具体实施方式

- [0048] 具体实施方式一：结合图1对本实施方式进行说明，本实施方式给出的基于小波能量判定癫痫发作前脑电信号的方法，具体包括以下步骤：
- [0049] 步骤一、利用高通滤波对待判定的脑电信号进行预处理；
- [0050] 步骤二、计算预处理后的脑电信号的小波能量；
- [0051] 步骤三、对计算求得的所有频段的小波能量，采用卡方检验选取显著性水平超过 σ 的频段；
- [0052] 步骤四、以选取频段的小波能量作为输入特征对脑电信号进行分类检测；分类并判定待判定的脑电信号是否为发作前脑电信号。

[0053] 具体实施方式二：本实施方式与具体实施方式一不同的是，步骤二计算预处理后的脑电信号的小波能量的具体过程包括：

[0054] 步骤二一、采用Daubechies-5正交小波基对预处理后的脑电信号进行小波分解得到小波分解系数 $d_{j,k}$ ，即：

$$[0055] d_{j,k} = \left| 2^j \right|^{\frac{1}{2}} \int_T^{T+m} S(t) \Psi\left(\frac{t-2^j k}{2^j} \right) dt$$

[0056] 其中 j 表示离散化尺度后的 j 频段， k 为平移尺度， $j, k \in \mathbb{Z}$ ， Z 表示整数， t 表示时间， $\Psi\left(\frac{t-2^j k}{2^j} \right)$ 为离散Daubechies-5小波基函数，Daubechies小波系是由法国学者Daubechies提出的一系列二进制小波的总称； $S(t)$ 为预处理后的脑电信号； T 为 $S(t)$ 开始的时刻， m 表示每段数据时间窗长度；

[0057] 步骤二二、计算小波能量：

$$[0058] E_j = \sum_k |d_{j,k}|^2$$

[0059] 其中， E_j 表示 j 频段脑电信号的小波能量值。

[0060] 其他步骤及参数与具体实施方式一相同。

[0061] 具体实施方式三：本实施方式与具体实施方式一或二不同的是，步骤三中采用卡方检验选取显著性水平超过 σ 的频段具体包括以下步骤：

[0062] 步骤三一、针对 j 频段脑电信号的小波能量值，查阅卡方检验临界值表，取表中自

由度为j, 显著性水平为 α 的临界值 K ; 卡方检验临界值表(陈彦光《地理数学方法》, 北京大学城市与环境学院, 2008)见下表1:

[0063] 表1: 卡方检验临界值表

自由度	显著性水平 (α)					
	0.50	0.25	0.10	0.05	0.03	0.01
1	0.455	1.323	2.706	3.841	5.024	6.635
2	1.386	2.773	4.605	5.991	7.378	9.210
3	2.366	4.108	6.251	7.815	9.348	11.345
4	3.357	5.385	7.779	9.488	11.143	13.277
5	4.351	6.626	9.236	11.070	12.833	15.086
6	5.348	7.841	10.645	12.592	14.449	16.812
7	6.346	9.037	12.017	14.067	16.013	18.475
8	7.344	10.219	13.362	15.507	17.535	20.090
9	8.343	11.389	14.684	16.919	19.023	21.666
10	9.342	12.549	15.987	18.307	20.483	23.209
11	10.341	13.701	17.275	19.675	21.920	24.725
12	11.340	14.845	18.549	21.026	23.337	26.217
13	12.340	15.984	19.812	22.362	24.736	27.688
14	13.339	17.117	21.064	23.685	26.119	29.141
15	14.339	18.245	22.307	24.996	27.488	30.578
16	15.338	19.369	23.542	26.296	28.845	32.000
17	16.338	20.489	24.769	27.587	30.191	33.409
18	17.338	21.605	25.989	28.869	31.526	34.805
19	18.338	22.718	27.204	30.144	32.852	36.191
20	19.337	23.828	28.412	31.410	34.170	37.566
21	20.337	24.935	29.615	32.671	35.479	38.932
22	21.337	26.039	30.813	33.924	36.781	40.289
23	22.337	27.141	32.007	35.172	38.076	41.638
24	23.337	28.241	33.196	36.415	39.364	42.980
25	24.337	29.339	34.382	37.652	40.646	44.314
26	25.336	30.435	35.563	38.885	41.923	45.642
27	26.336	31.528	36.741	40.113	43.195	46.963
28	27.336	32.620	37.916	41.337	44.461	48.278
29	28.336	33.711	39.087	42.557	45.722	49.588
30	29.336	34.800	40.256	43.773	46.979	50.892
31	30.336	35.887	41.422	44.985	48.232	52.191
32	31.336	36.973	42.585	46.194	49.480	53.486
33	32.336	38.058	43.745	47.400	50.725	54.776
34	33.336	39.141	44.903	48.602	51.966	56.061
35	34.336	40.223	46.059	49.802	53.203	57.342
36	35.336	41.304	47.212	50.998	54.437	58.619
37	36.336	42.383	48.363	52.192	55.668	59.893
38	37.335	43.462	49.513	53.384	56.896	61.162
39	38.335	44.539	50.660	54.572	58.120	62.428
40	39.335	45.616	51.805	55.758	59.342	63.691
41	40.335	46.692	52.949	56.942	60.561	64.950
42	41.335	47.766	54.090	58.124	61.777	66.206
43	42.335	48.840	55.230	59.304	62.990	67.459
44	43.335	49.913	56.369	60.481	64.201	68.710
45	44.335	50.985	57.505	61.656	65.410	69.957

[0064]

46	45.335	52.056	58.641	62.830	66.617	71.201
47	46.335	53.127	59.774	64.001	67.821	72.443
48	47.335	54.196	60.907	65.171	69.023	73.683
49	48.335	55.265	62.038	66.339	70.222	74.919
50	49.335	56.334	63.167	67.505	71.420	76.154
51	50.335	57.401	64.295	68.669	72.616	77.386
52	51.335	58.468	65.422	69.832	73.810	78.616
53	52.335	59.534	66.548	70.993	75.002	79.843
54	53.335	60.600	67.673	72.153	76.192	81.069
55	54.335	61.665	68.796	73.311	77.380	82.292
56	55.335	62.729	69.919	74.468	78.567	83.513
57	56.335	63.793	71.040	75.624	79.752	84.733
58	57.335	64.857	72.160	76.778	80.936	85.950
59	58.335	65.919	73.279	77.931	82.117	87.166
60	59.335	66.981	74.397	79.082	83.298	88.379
61	60.335	68.043	75.514	80.232	84.476	89.591
62	61.335	69.104	76.630	81.381	85.654	90.802
63	62.335	70.165	77.745	82.529	86.830	92.010
64	63.335	71.225	78.860	83.675	88.004	93.217
65	64.335	72.285	79.973	84.821	89.177	94.422
66	65.335	73.344	81.085	85.965	90.349	95.626
67	66.335	74.403	82.197	87.108	91.519	96.828
68	67.335	75.461	83.308	88.250	92.689	98.028
69	68.334	76.519	84.418	89.391	93.856	99.228
70	69.334	77.577	85.527	90.531	95.023	100.425
71	70.334	78.634	86.635	91.670	96.189	101.621
72	71.334	79.690	87.743	92.808	97.353	102.816
73	72.334	80.747	88.850	93.945	98.516	104.010
74	73.334	81.803	89.956	95.081	99.678	105.202
75	74.334	82.858	91.061	96.217	100.839	106.393
76	75.334	83.913	92.166	97.351	101.999	107.583
77	76.334	84.968	93.270	98.484	103.158	108.771
78	77.334	86.022	94.374	99.617	104.316	109.958
79	78.334	87.077	95.476	100.749	105.473	111.144
80	79.334	88.130	96.578	101.879	106.629	112.329
81	80.334	89.184	97.680	103.010	107.783	113.512
82	81.334	90.237	98.780	104.139	108.937	114.695
83	82.334	91.289	99.880	105.267	110.090	115.876
84	83.334	92.342	100.980	106.395	111.242	117.057
85	84.334	93.394	102.079	107.522	112.393	118.236
86	85.334	94.446	103.177	108.648	113.544	119.414
87	86.334	95.497	104.275	109.773	114.693	120.591
88	87.334	96.548	105.372	110.898	115.841	121.767
89	88.334	97.599	106.469	112.022	116.989	122.942
90	89.334	98.650	107.565	113.145	118.136	124.116
91	90.334	99.700	108.661	114.268	119.282	125.289
92	91.334	100.750	109.756	115.390	120.427	126.462
93	92.334	101.800	110.850	116.511	121.571	127.633
94	93.334	102.850	111.944	117.632	122.715	128.803
95	94.334	103.899	113.038	118.752	123.858	129.973
96	95.334	104.948	114.131	119.871	125.000	131.141
97	96.334	105.997	115.223	120.990	126.141	132.309

[0065]

[0066]	98	97.334	107.045	116.315	122.108	127.282	133.476
	99	98.334	108.093	117.407	123.225	128.422	134.642
	100	99.334	109.141	118.498	124.342	129.561	135.807
	101	100.334	110.189	119.589	125.458	130.700	136.971
	102	101.334	111.236	120.679	126.574	131.838	138.134
	103	102.334	112.284	121.769	127.689	132.975	139.297
	104	103.334	113.331	122.858	128.804	134.111	140.459
	105	104.334	114.378	123.947	129.918	135.247	141.620
	106	105.334	115.424	125.035	131.031	136.382	142.780
	107	106.334	116.471	126.123	132.144	137.517	143.940
	108	107.334	117.517	127.211	133.257	138.651	145.099
	109	108.334	118.563	128.298	134.369	139.784	146.257
	110	109.334	119.608	129.385	135.480	140.917	147.414
	111	110.334	120.654	130.472	136.591	142.049	148.571
	112	111.334	121.699	131.558	137.701	143.180	149.727
	113	112.334	122.744	132.643	138.811	144.311	150.882
	114	113.334	123.789	133.729	139.921	145.441	152.037
	115	114.334	124.834	134.813	141.030	146.571	153.191
	116	115.334	125.878	135.898	142.138	147.700	154.344
	117	116.334	126.923	136.982	143.246	148.829	155.496
	118	117.334	127.967	138.066	144.354	149.957	156.648
	119	118.334	129.011	139.149	145.461	151.084	157.800
	120	119.334	130.055	140.233	146.567	152.211	158.950

[0067] 步骤三二、计算卡方 χ^2 :

$$[0068] \chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(f_i - np_i)^2}{np_i}$$

[0069] 将小波能量值 E_j 的大小分为n个区间 $A_1, \dots, A_i, \dots, A_n$; $i \in [1, n]$; 其中, f_i 表示预处理后脑电信号的小波能量 E_j 落入区间 A_i 的频率, p_i 表示正常脑电信号小波能量 E_j 落入区间 A_i 的频率;

[0070] 步骤三三、判断 χ^2 是否小于等于K, 若小于等于, 则选取此频段, 否则, 不选取。

[0071] 其他步骤及参数与具体实施方式一或二相同。

[0072] 具体实施方式四: 本实施方式与具体实施方式三不同的是, 选用人工神经网络算法将癫痫发作状态检测转换为二分类问题。

[0073] 步骤四中判定待判定的脑电信号是否为发作前脑电信号的具体包括以下步骤:

[0074] 步骤四一、采用2折交叉验证选取分类器的最优参数:

[0075] 步骤四一一、将提供待判定的脑电信号的病人的若干不同频段的脑电信号进行预处理、计算预处理后的脑电信号的小波能量, 然后采用卡方检验选取显著性水平超过 α 的频段;

[0076] 步骤四一二、将步骤四一一中选取频段的小波能量作为样本, 将样本随机分成2个互不相交的子集, 每个子集包含的样本数量相等;

[0077] 步骤四一三、利用其中一个子集进行分类模型的训练, 采用网格搜索方法确定人工神经网络模型中各层神经网络的最优参数;

[0078] 步骤四一四、将步骤四一三中的最优参数作为初始值, 对另一个子集进行分类模型的训练, 并采用网格搜索方法确定人工神经网络模型中各层神经网络更新后的最优参数;

- [0079] 步骤四一五、将更新后的最优参数作为分类器的最优参数；
- [0080] 步骤四二、将步骤三中选取频段的小波能量作为分类器的输入特征，分类器判定待判定的脑电信号是否为发作前脑电信号。
- [0081] 其他步骤及参数与具体实施方式三相同。
- [0082] 具体实施方式五：本实施方式与具体实施方式四不同的是，步骤一中所述预处理具体过程包括，对待判定的脑电信号进行高通滤波，去除0~0.5Hz低频干扰信号。
- [0083] 其他步骤及参数与具体实施方式四相同。
- [0084] 具体实施方式六：本实施方式与具体实施方式五不同的是，步骤二一中每段数据时间窗长度m为20s，相邻数据段时间窗重叠长度为15s。
- [0085] 其他步骤及参数与具体实施方式五相同。
- [0086] 具体实施方式七：本实施方式与具体实施方式六不同的是， σ 的取值为0.5，此时选取的的频段存在显著性差异。
- [0087] 其他步骤及参数与具体实施方式六相同。
- [0088] 具体实施方式八：本实施方式给出的基于小波能量判定癫痫发作前脑电信号的系统，包括预处理模块、计算模块、特征提取模块以及分类模块；
- [0089] 所述预处理模块，利用高通滤波对待判定的脑电信号进行预处理，去除0~0.5Hz低频干扰信号；
- [0090] 所述计算模块，计算预处理后的脑电信号的小波能量；
- [0091] 所述特征提取模块，对计算求得的所有频段的小波能量，采用卡方检验来筛选频段，并选取显著性水平超过 σ 的频段作为分类模块的输入特征， $\sigma=0.5$ ；
- [0092] 所述分类模块，利用2折交叉验证选取分类器的最优参数，分类并判定待判定的脑电信号是否为发作前脑电信号。
- [0093] 具体实施方式九：本实施方式与具体实施方式八不同的是，还包括脑电信号采集模块，所述脑电信号采集模块，用于脑电信号的采集与输入。
- [0094] 其他步骤及参数与具体实施方式八相同。
- [0095] 具体实施方式十：本实施方式与具体实施方式九不同的是，还包括发作预报模块，所述发作预报模块根据分类模块的判定结果发出预报信息；一旦分类模块得到待判定的脑电信号为发作前脑电信号，则发作预报模块会发出预报信息，对用户进行提醒。
- [0096] 其他步骤及参数与具体实施方式九相同。
- [0097] 实施例
- [0098] 采用以下实施例验证本发明的有益效果：
- [0099] 本实施例以美国麻省理工学院提供的MIT-BIH数据库中的儿童癫痫数据为实验数据，这些数据由Boston Children's Hospital采集，包含23名被试数据，每个被试者在发作前一个星期停止用药，均连续采集了916个小时，采样频率为256Hz。EEG电极采用10-20双极导联方式放置。本发明使用其中的3个被试数据，其中CHB01为女性，11岁，CHB08为男性，3.5岁，CHB20为女性，6岁。
- [0100] (1) 预处理模块基于小波能量判定癫痫发作前脑电信号的系统对每一个被试者的脑电信号进行预处理，对脑电信号进行高通滤波，去除0~0.5Hz低频干扰信号；
- [0101] (2) 计算模块，计算预处理后的信号的小波能量；

[0102] (2.1)、采用Daubechies-5正交小波基对预处理后的脑电信号进行小波分解得到小波分解系数 $d_{j,k}$,即:

$$[0103] d_{j,k} = \left| 2^j \right|^{-\frac{1}{2}} \int_{\frac{T}{2}}^{\frac{T+m}{2}} S(t) \Psi\left(\frac{t-2^j k}{2^j} \right) dt$$

[0104] 其中,每段数据时间窗长度m为20s,相邻数据段时间窗重叠长度为15s;

[0105] (2.2)、计算小波能量:

$$[0106] E_j = \sum_k |d_{j,k}|^2$$

[0107] (计算结果如图2~图7所示)。

[0108] (3)之后特征提取模块通过卡方检验来筛选频段,并选取显著性水平超过0.5的频段作为分类器的输入特征;

[0109] (4)分类模块利用2折交叉验证选取分类器的最优参数,分类并判定待判定的脑电信号是否为发作前脑电信号。

[0110] 将判定结果与测试者的实际发病情况比较进行验证准确率与误判率,最终得到平均准确率分别达到86.67%、100%、80%,误判率分别为0%、0%、25% (具体数据见下表2),明显优于现有技术。其中准确率表示正确识别测试样本发病状态的概率,误判率表示将未发病样本识别为发病样本的概率。

[0111] 表2

[0112]

患者	训练后	测试后	准确率	误判率
CHB01	6	6	86.67%	0%
CHB08	5	5	100%	0%
CHB20	8	8	80%	25%

[0113] 本发明还可有其它多种实施例,在不背离本发明精神及其实质的情况下,本领域技术人员当可根据本发明作出各种相应的改变和变形,但这些相应的改变和变形都应属于本发明所附的权利要求的保护范围。

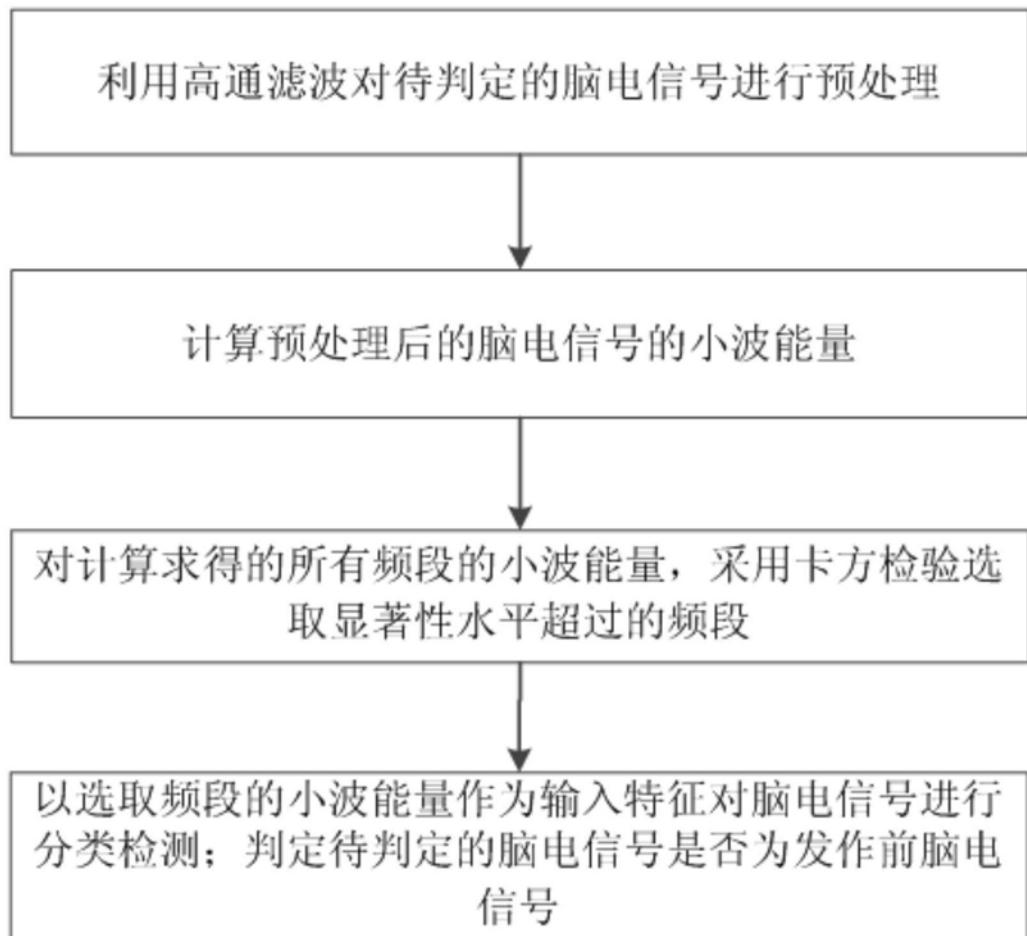


图1

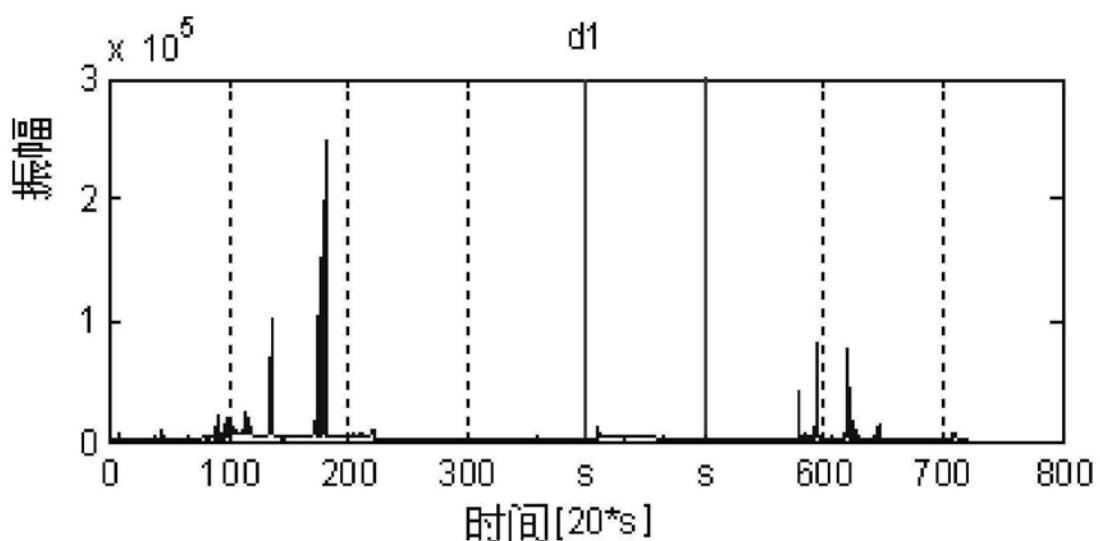


图2

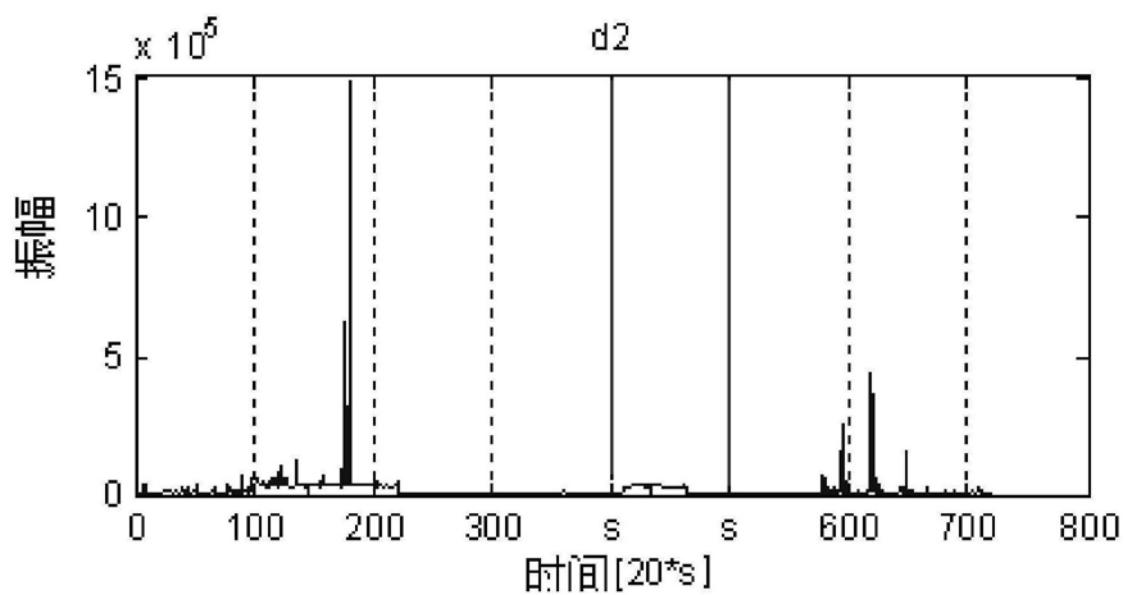


图3

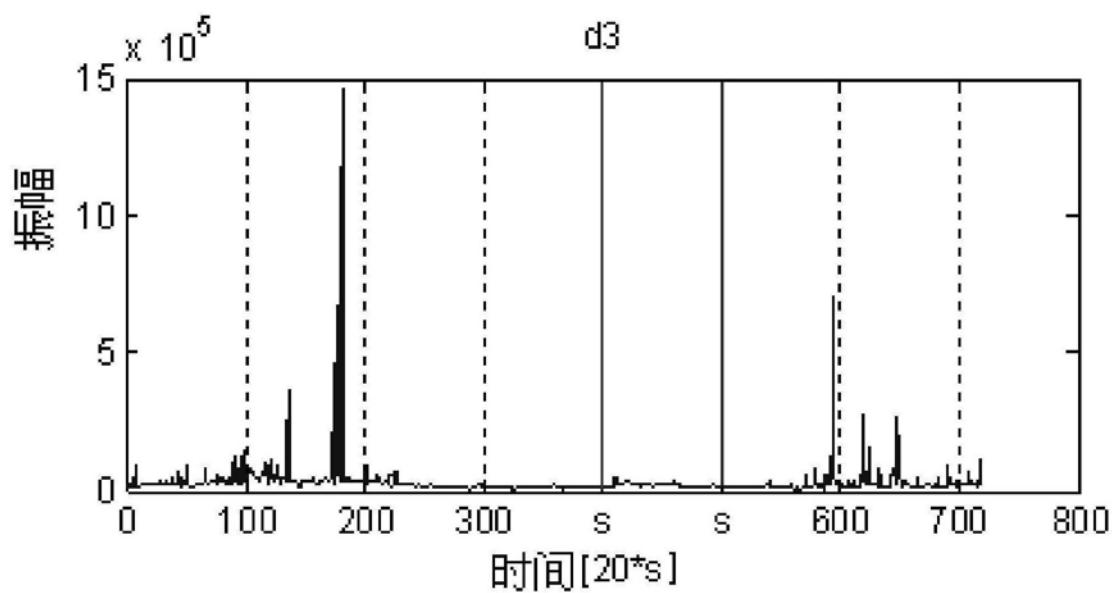


图4

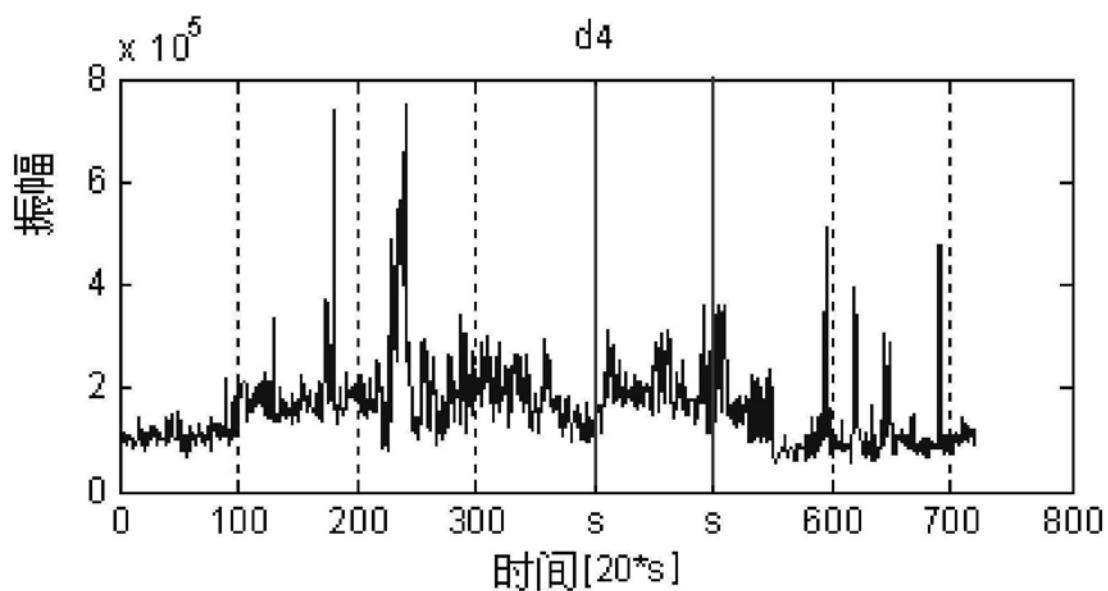


图5

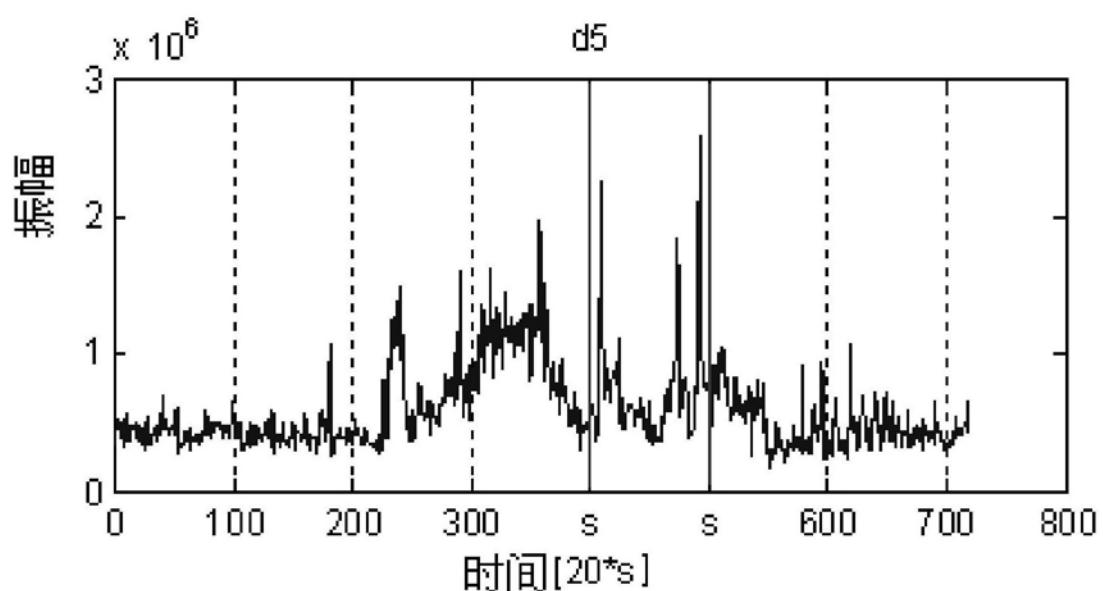


图6

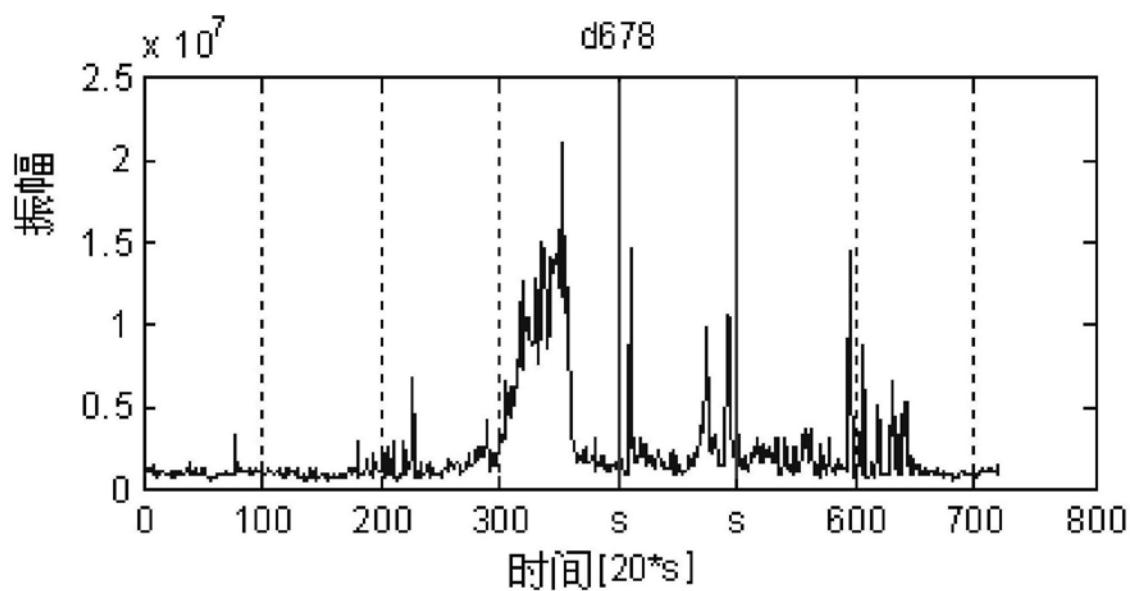


图7

专利名称(译)	基于小波能量判定癫痫发作前脑电信号的方法及系统		
公开(公告)号	CN108814592A	公开(公告)日	2018-11-16
申请号	CN201810374887.9	申请日	2018-04-24
[标]申请(专利权)人(译)	哈尔滨工业大学		
申请(专利权)人(译)	哈尔滨工业大学		
当前申请(专利权)人(译)	哈尔滨工业大学		
[标]发明人	李卓明 陈幸 岑尧辉 赵钰 夏慧云		
发明人	李卓明 陈幸 岑尧辉 吴广腾 赵钰 夏慧云		
IPC分类号	A61B5/0476 A61B5/00		
CPC分类号	A61B5/0476 A61B5/4094		
代理人(译)	杨立超		
外部链接	Espacenet Sipo		

摘要(译)

本发明提供基于小波能量判定癫痫发作前脑电信号的方法，属于信号处理与神经工程技术领域，涉及判定癫痫发作前脑电信号的方法及系统。本发明首先利用高通滤波对待判定的脑电信号进行预处理、计算预处理后的脑电信号的小波能量；然后对计算求得的所有频段的小波能量，采用卡方检验选取存在显著性水平差异的频段；最后以选取频段的小波能量作为输入特征对脑电信号进行分类检测；分类并判定待判定的脑电信号是否为发作前脑电信号。本发明解决了现有技术无法准确判定脑电信号是否为发作前脑电信号，从而导致癫痫发作预测时无法保证准确率高的同时误判率低的问题。本发明可用于判定癫痫发作前脑电信号。

