



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 109620148 B

(45)授权公告日 2020.03.31

(21)申请号 201811446018.9

(22)申请日 2018.11.29

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 109620148 A

(43)申请公布日 2019.04.16

(73)专利权人 西安交通大学

地址 710049 陕西省西安市咸宁西路28号

(72)发明人 李尊朝 白海龙 冯立琛 刘宙思

(74)专利代理机构 西安通大专利代理有限责任公司 61200

代理人 高博

(51)Int.Cl.

A61B 5/00(2006.01)

A61B 5/0476(2006.01)

G06K 9/62(2006.01)

(56)对比文件

CN 102119857 A,2011.07.13,全文.

CN 102119857 A,2011.07.13,全文.

CN 107095669 A,2017.08.29,全文.

CN 104680236 A,2015.06.03,全文.

崔刚强.基于小波多尺度分析和极限学习机的癫痫脑电分类算法.《生物医学工程杂志》.2016,第33卷(第6期),1026-1030.

审查员 桂叶晨

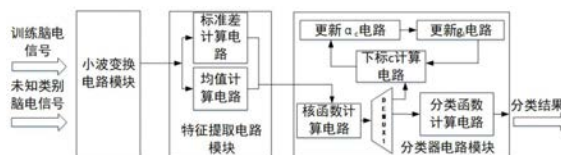
权利要求书4页 说明书11页 附图5页

(54)发明名称

一种基于稀疏极限学习机算法的癫痫检测集成电路

(57)摘要

本发明公开了一种基于稀疏极限学习机算法的癫痫检测集成电路,用包含256个点的窗口对脑电数据中的信号进行划分,数据类型为16位定点数,包括整数部分8位和小数部分8位,将已知类别的脑电数据通过小波变换电路模块生成四维信号,再将生成的信号输入特征提取电路模块得到八维特征向量,然后将八维特征向量输入分类器电路模块训练后分类输出;将未知类别的脑电信号依次经小波变换电路模块和特征提取电路模块后得到八维特征向量,将该八维特征向量输入分类器电路模块中进行分类后输出。本发明使用提升式小波变换对脑电信号处理,可以得到信号时域和频域中不同频带的特征,其结果优于传统的滤波器以及傅里叶变换。



1. 一种基于稀疏极限学习机算法的癫痫检测集成电路,其特征在于,包括小波变换电路模块、特征提取电路模块和分类器电路模块,用包含256个点的窗口对脑电数据中的信号进行划分,数据类型为16位定点数,包括整数部分8位和小数部分8位,将已知类别的脑电数据通过小波变换电路模块生成四维信号,再将生成的信号输入特征提取电路模块得到八维特征向量,然后将八维特征向量输入分类器电路模块训练后分类输出;将未知类别的脑电信号依次经小波变换电路模块和特征提取电路模块后得到八维特征向量,将该八维特征向量输入分类器电路模块中进行分类后输出;

分类器电路模块包括训练和分类两部分,训练部分用于将已知类别脑电信号经特征提取得到的八维特征向量输入到核函数计算电路中计算核函数,然后依次按下标c计算电路,更新 α_c 电路,更新 g_i 电路的顺序对极限学习机的各个参数进行更新,并重复执行以上步骤,直到拉格朗日参数 α 符合要求,最后将拉格朗日参数 α 输入到分类函数计算电路中;

分类部分用于将未知类别的脑电信号经过计算得到的特征向量输入到核函数计算电路中计算核函数,然后将得到的结果输入到分类函数计算电路,得到分类结果;包括下标c计算电路,更新 α_c 电路,核函数计算电路,更新 g_i 电路和分类函数计算电路;下标c计算电路的输出端接更新 α_c 电路的输入端,更新 α_c 电路的输出端分别接更新 g_i 电路和分类函数计算电路的输入端,更新 g_i 电路的输出端接回下标c计算电路的输入端;特征提取电路模块输出的八维特征向量接入核函数计算电路,核函数计算电路的输出通过一个多路分配器分别接更新 α_c 电路和分类函数计算电路的输入端,分类函数计算电路输出分类结果,下标c计算电路包括第一比较器、第二比较器、多路选择器第一MUX、第二MUX、求最小值下标电路、第四RAM、第五RAM和反向器;

第四RAM的输出接第一MUX的信号选择端;第五RAM的输出接反向器的输入端和第二MUX的输入端;第一比较器的第一个输入端接0,第二个输入端接反向器的输出端;第一MUX的三个输入端分别接1,-1,第一比较器的输出端;第二MUX的第二个输入端接反向器输出端,选择信号端接第一MUX的输出端,输出端接求最小值下标电路输入端;求最小值下标电路两个输出端分别输出值c和接第二比较器的输入端;第二比较器的另一个输入端接-0.001,输出端输出终止信号R;

第四RAM和第五RAM中分别存储拉格朗日乘子 α 和梯度g的值,首先通过反向器和比较器获得 g_i 符号的负值;然后和1,-1一起输入到多路选择器第一MUX中, α_i 接到多路选择器的选择信号端,第一MUX输出 d_i ,如果 α_i 的值等于0则第一MUX输出为1,如果 α_i 大于0且小于C则第一MUX输出为 g_i 符号的负值,如果 α_i 等于C则第一MUX输出-1, d_i 具体计算如下:

$$d_i = \begin{cases} 1, & \alpha_i = 0 \\ -\text{sign}(g_i), & 0 < \alpha_i < C \\ -1, & \alpha_i = C \end{cases}$$

其中, g_i 和 g_i 的负值接多路选择器第二MUX的输入端,同时将计算得到的 d_i 接到第二MUX的选择输入端,用以实现公式 $J_i = g_i \cdot d_i$ 的计算;

将第二MUX的输出端接求最小值下标电路的输入端,求出 J_i 的最小值以及 $c = \arg\min J_i$;最后将 J_i 的最小值接到第二比较器的输入端,与-0.001比较,若小于-0.001则输出终止信

号,反之则继续参数 α_c 的更新;

更新 α_c 电路包括第四减法器、第三比较器、第四比较器、第三MUX、第四MUX、第四RAM和第五RAM;第四RAM和第五RAM的输出端分别接在第四减法器的两个输入端,第四减法器的输出端接在第三比较器,第四比较器和第三MUX的一个输入端;第三比较器的第二个输入端接0,输出端接第三MUX的选择信号端;第三MUX的第二个输入端接0,输出端接第四MUX的一个输入端;第四比较器的第二个输入端接C,输出端接第四MUX的选择信号端;第四MUX的第二个输入端接C,输出存入第四RAM;

首先使用减法器进行 α_c 和 g_c 的相减操作,然后将输出的结果分别与0和设定值C使用比较器进行比较,最后使用多路选择器第三MUX,第四MUX确定最终的输出,并将更新后的参数 α_c 存入第四RAM中备用,参数 $\alpha_c^{new,clip}$ 的更新公式及限定条件如下:

$$\alpha_c^{new} = \alpha_c^{old} - g_c^{old}$$

$$\alpha_c^{new,clip} = \begin{cases} 0, & \alpha_c^{new} < 0 \\ \alpha_c^{new}, & \alpha_c^{new} \in [0, C] \\ C, & \alpha_c^{new} > C \end{cases}$$

其中,C为预先设定值;

更新 g_i 电路包括第五减法器、第六减法器、第五MUX、第七加法器、第九乘法器、异或门、第三RAM、第四RAM、第五RAM、第六RAM;第六RAM的两个输出端接异或门的两个输入端,异或门的输出端接第五MUX的选择信号端;第四RAM的一个输出端接第五减法器和第六减法器的一个输入端,第二个输出端接第五减法器第六减法器的第二个输入端;第五减法器第六减法器的输出端接第五MUX的两个输入端;第五MUX的输出端接第九乘法器的一个输入端;第三RAM的输出端接第九乘法器的另一个输入端;第九乘法器的输出端接第七加法器的一个输入端,第五RAM的输出端接第七加法器的另一个输入端;第七加法器输出数据存入第六RAM;

首先第五减法器第六减法器分别完成 $\alpha_c^{new}-\alpha_c^{old}$ 和 $\alpha_c^{old}-\alpha_c^{new}$ 的计算,并将结果接在多路选择器第五MUX的两个输入端,特征向量所对应的脑电信号的类别 t_i 和 t_c 做异或操作作为选择信号,并将其结果接在第五MUX的选择输入端,若异或结果为0则第五MUX输出 $\alpha_c^{new}-\alpha_c^{old}$ 的值,若异或结果为1则第五MUX输出 $\alpha_c^{old}-\alpha_c^{new}$;第五MUX的输出与第三RAM输出的核函数值使用第九乘法器进行乘法操作,然后使用第七加法器与现有的 g_i 相加并将结果存入第五RAM中备用,更新 g_i 所用到的公式如下:

$$g_i^{new} = g_i^{old} + t_i \cdot t_c \cdot k(x_i, x_c) \cdot (\alpha_c^{new} - \alpha_c^{old})$$

其中, $i=1,2,\dots,N$ 为训练所需特征向量的序号。

2. 根据权利要求1所述的基于稀疏极限学习机算法的癫痫检测集成电路,其特征在于,小波变换电路模块采用提升式的离散小波变换,选取db4有限脉冲响应滤波器实现低通和高通滤波器,并将得到的高通信号继续进行小波变换,重复三次得到输出的四维信号。

3. 根据权利要求2所述的基于稀疏极限学习机算法的癫痫检测集成电路,其特征在于,小波变换电路模块包括第一乘法器、第二乘法器、第三乘法器、第四乘法器、第五乘法器、第

一加法器、第二加法器、第三加法器、第一延时器和第二延时器；

第一加法器的一个输入端接输入信号X下标为奇数的信号，另一个输入端接第一乘法器的输出端；第一乘法器的第一个输入端和第二加法器的第一个输入端接输入信号X下标为偶数的信号，第一乘法器的第二个输入端接 α ；第二乘法器的第一个输入端接第一加法器的输出端，第二个输入端接 β ；第二加法器的第二个输入端接第二乘法器的输出端，第三个输入端接第三乘法器的输出端，输出端分别接到第二延时器和第五乘法器的输入端；第五乘法器的第二个输入端接 $1/k$ ，输出端为该模块的一个输出信号 X_4 ，接回模块输入端X；第一延时器的输入端接第一加法器的输出端，输出端接第三乘法器的一个输入端；第三乘法器的第二个输入端接 γ ；第三加法器的一个输入端接第二延时器的输出端，第二个输入端接第一加法器的输出端，输出端接第四乘法器的一个输入端；第四乘法器的第二个输入端接 k ，输出端为该模块的三个输出信号 X_1, X_2, X_3 。

4. 根据权利要求1所述的基于稀疏极限学习机算法的癫痫检测集成电路，其特征在于，特征提取电路模块用于将对小波变换后的四个信号序列分别作为输入，以256个点为窗口，并对每一个窗口内的数据分别进行求均值差和求标准差，然后将得到的结果存入RAM中组成一组八维的特征矢量序列。

5. 根据权利要求4所述的基于稀疏极限学习机算法的癫痫检测集成电路，其特征在于，求均值差电路包括多路分配器第一DEMUX、第四加法器、第一移位器、第一控制器和第一RAM，求均值差电路的输入端依次输入 X_1, X_2, X_3, X_4 到第四加法器的一个输入端；第四加法器的输出端接多路分配器第一DEMUX的输入端；第一DEMUX的选择信号端接第一控制器，其第一个输出端接第四加法器的第二个输入端，第二个输出端接第一移位器的输入端，第一移位器输出数据存入第一RAM，将小波变换电路模块生成的四维信号作为输入，求取输入到该电路模块中数据的均值 $\bar{X}_i$ ，均值 $\bar{X}_i$ 具体为：

$$\bar{X}_i = \frac{\sum_{j=1}^{256} X_i(j)}{256} = \sum_{j=1}^{256} X_i(j) \gg 8$$

其中， i 代表四维信号的序号， $j=1, 2, 3, \dots, 256$ 代表一个窗口内的信号，首先使用第四加法器对窗口内的256个点进行累加操作，求出其总和，然后使用第一移位器对其进行右移8位的移位操作求取其均值，最后将得到的结果存入第一RAM中备用。

6. 根据权利要求4所述的基于稀疏极限学习机算法的癫痫检测集成电路，其特征在于，求标准差电路包括第六乘法器、第七乘法器、第五加法器、多路分配器第二DEMUX、第二移位器、第一减法器、开平方电路、第二控制器、第一RAM、第二RAM；求标准差电路的输入端依次输入 X_1, X_2, X_3, X_4 到第六乘法器的两个输入端，第六乘法器的输出端接第五加法器的一个输入端；第五加法器的输出端接第二DEMUX的输入端；第二DEMUX的选择信号端接第二控制器的输出端，第二DEMUX的两个输出端分别接第二移位器的输入端和第五加法器的第二个输入端；第二移位器的输出端和第七乘法器的输出端分别接第一减法器的两个输入端，第七乘法器的两个输入端均接第一RAM的输出端；第一减法器的输出端接开平方电路的输入端，开平方电路的输出端输出数据存入第二RAM；将小波变换电路模块生成的四维信号作为输入，求取输入到该电路模块中数据的标准差 X_{sd} 如下：

$$X_{sd} = \sqrt{\left(\frac{\sum_{j=1}^{256} X_i(j)^2}{256} - \bar{X}^2\right)} = \sqrt{\left(\sum_{j=1}^{256} X_i(j)^2 \gg 8 - \bar{X}^2\right)}$$

其中, i 代表四维信号的序号, $j=1, 2, 3, \dots, 256$ 代表一个窗口内的信号, $\bar{X}$ 代表窗口内数据的均值; 首先使用第五加法器和第六乘法器对窗口内的256个数据的平方进行累加操作, 求出总和, 然后对其进行右移8位的移位操作求取其平方和的均值, 再将得到的结果减去数据均值的平方, 然后通过开平方电路进行开平方计算, 最后将结果存入第二RAM。

7. 根据权利要求1所述的基于稀疏极限学习机算法的癫痫检测集成电路, 其特征在于, 核函数计算电路包括第二减法器、第三减法器、第八乘法器、第六加法器、第三DEMUX、第三移位器、e指数电路、第一RAM、第二RAM、第三RAM和第三控制器;

第一RAM和第二RAM的输出分别接第二减法器的两个输入端, 第二减法器的输出端接第八乘法器的两个输入端; 第八乘法器的输出端接第六加法器的一个输入端, 第六加法器的输出端接第三DEMUX的输入端, 第三控制器输出端接第三DEMUX的选择信号端, 第三DEMUX的两个输出端分别接第六加法器的第二个输入端和第三减法器的一个输入端; 第三减法器的第二个输入端接0, 输出端接第三移位器; 第三移位器的输出端接e指数电路的输入端; e指数电路输出数据存入第三RAM;

将输入的两个八维向量通过减法器 and 乘法器实现每一维相减并做平方运算, 然后使用累加器求其平方和, 再将得到的数据使用减法器求其负数, 使用移位器实现除法运算, 最后通过e指数电路并将结果存入第三RAM中, 核函数计算如下:

$$k(x_i, x_j) = \exp\left(-\frac{\|x_i - x_j\|^2}{2\sigma^2}\right)$$

其中, x_i 和 x_j 为两个八维向量, $i, j=1, 2, \dots, N$ 为训练所需特征向量的序号, σ 为设定的参数。

8. 根据权利要求1所述的基于稀疏极限学习机算法的癫痫检测集成电路, 其特征在于, 分类函数计算电路包括第八加法器、第十乘法器、第十一乘法器、第四DEMUX、第三RAM、第四RAM、第五RAM、符号函数电路和第四控制器;

第四RAM和第五RAM的两个输出端接第十乘法器的两个输入端, 第十乘法器的输出端和第三RAM的输出端接第十一乘法器的两个输入端; 第十一乘法器的输出端接第八加法器的一个输入端; 第八加法器的输出端接第四DEMUX的输入端; 第四DEMUX的两个输出端分别接第八加法器的第二个输入端和符号函数电路的输入端; 第四控制器的输出端接第四DEMUX的选择输入端; 符号函数电路输出分类结果;

首先将第四RAM和第五RAM的输出接在第十乘法器的两个输入端, 计算 $t_i \times \alpha_i$ 的值, 接着使用第十一乘法器将 $t_i \times \alpha_i$ 的值与对应的核函数相乘, 并使用第八加法器进行累加, 最后将累加的结果接在符号函数电路的输入端求其符号, 其输出为分类结果, 分类函数计算电路 $f(x)$ 如下:

$$f(x) = \text{sign}\left(\sum_{i=1}^{N_s} \alpha_i t_i k(x, x_i)\right)$$

其中, N_s 为非零的特征矢量个数, 其中 $i=1, 2, \dots, N_s$ 为非零特征向量的序号。

一种基于稀疏极限学习机算法的癫痫检测集成电路

技术领域

[0001] 本发明属于集成电路技术领域,具体涉及一种基于稀疏极限学习机算法的癫痫检测集成电路。

背景技术

[0002] 癫痫是由于大脑神经元异常放电引起的,所以癫痫发作会对人的脑电信号产生很大的影响。脑电图检查由于其无创、方便的特点,在癫痫发作诊断中扮演着重要的角色,并且它还有助于对癫痫发作的种类进行分类,临床怀疑癫痫的病例均是通过脑电图检查来诊断的。目前,通过脑电图进行癫痫检测还是主要依靠医生对患者的脑电信号进行人工分析,这种方法不仅耗时,而且没有统一的判断依据,再加上医师个人主观因素的影响,也无法保证其准确性。

[0003] 由于人工分析信号的诸多缺点,再加之医疗电子技术的不断发展,人们就开始思考能不能将某些分类的算法用软件或者电路实现,对已知分类好的脑电信号进行训练,继而产生一定的标准,之后电路便可以通过这些标准对未知的脑电信号进行测试分类,得出癫痫的诊断结果。因为有这些切实的需求,各种对脑电信号进行分类的算法便很快被提了出来。

[0004] 经过对现有资料文献的检索发现,对使用提升式小波变换对脑电信号进行处理,提取特征,然后使用稀疏极限学习机进行训练及分类的方法进行集成电路实现还未见报道。

发明内容

[0005] 本发明所要解决的技术问题在于针对上述现有技术中的不足,提供一种基于稀疏极限学习机算法的癫痫检测集成电路,可以提取癫痫发作或癫痫未发作时脑电信号的时域和频域特征,并使用稀疏极限学习机对其进行训练和分类,从而达到了检测癫痫疾病的目的,减少了人工的参与,降低了因人为因素引起的误判率。

[0006] 本发明采用以下技术方案:

[0007] 一种基于稀疏极限学习机算法的癫痫检测集成电路,包括小波变换电路模块、特征提取电路模块和分类器电路模块,用包含256个点的窗口对脑电数据中的信号进行划分,数据类型为16位定点数,包括整数部分8位和小数部分8位,将已知类别的脑电数据通过小波变换电路模块生成四维信号,再将生成的信号输入特征提取电路模块得到八维特征向量,然后将八维特征向量输入分类器电路模块训练后分类输出;将未知类别的脑电信号依次经小波变换电路模块和特征提取电路模块后得到八维特征向量,将该八维特征向量输入分类器电路模块中进行分类后输出。

[0008] 具体的,小波变换电路模块采用提升式的离散小波变换,选取db4有限脉冲响应滤波器实现低通和高通滤波器,并将得到的高通信号继续进行小波变换,重复三次得到输出的四维信号。

[0009] 进一步的,小波变换电路模块包括第一乘法器、第二乘法器、第三乘法器、第四乘法器、第五乘法器、第一加法器、第二加法器、第三加法器、第一延时器和第二延时器;

[0010] 第一加法器的一个输入端接输入信号X下标为奇数的信号,另一个输入端接第一乘法器的输出端;第一乘法器的第一个输入端和第二加法器的第一个输入端接输入信号X下标为偶数的信号,第一乘法器的第二个输入端接 α ;第二乘法器的第一个输入端接第一加法器的输出端,第二个输入端接 β ;第二加法器的第二个输入端接第二乘法器的输出端,第三个输入端接第三乘法器的输出端,输出端分别接到第二延时器和第五乘法器的输入端;第五乘法器的第二个输入端接 $1/k$,输出端为该模块的一个输出信号 X_4 ,接回模块输入端X;第一延时器的输入端接第一加法器的输出端,输出端接第三乘法器的一个输入端;第三乘法器的第二个输入端接 γ ;第三加法器的一个输入端接第二延时器的输出端,第二个输入端接第一加法器的输出端,输出端接第四乘法器的一个输入端;第四乘法器的第二个输入端接 k ,输出端为该模块的三个输出信号 X_1, X_2, X_3 。

[0011] 具体的,特征提取电路模块用于将对小波变换后的四个信号序列分别作为输入,以256个点为窗口,并对每一个窗口内的数据分别进行求均值差和求标准差,然后将得到的结果存入RAM中组成一组八维的特征矢量序列。

[0012] 进一步的,求均值差电路包括多路分配器第一DEMUX、第四加法器、第一移位器、第一控制器和第一RAM,求均值差电路的输入端依次输入 X_1, X_2, X_3, X_4 到第四加法器的一个输入端;第四加法器的输出端接多路分配器第一DEMUX的输入端;第一DEMUX的选择信号端接第一控制器,其第一个输出端接第四加法器的第二个输入端,第二个输出端接第一移位器的输入端,第一移位器输出数据存入第一RAM,将小波变换电路模块生成的四维信号作为输入,求取输入到该电路模块中数据的均值 $\bar{X}_i$,均值 $\bar{X}_i$ 具体为:

$$[0013] \quad \bar{X}_i = \frac{\sum_{j=1}^{256} X_i(j)}{256} = \sum_{j=1}^{256} X_i(j) \gg 8$$

[0014] 其中,i代表四维信号的序号, $j=1, 2, 3, \dots, 256$ 代表一个窗口内的信号,首先使用第四加法器对窗口内的256个点进行累加操作,求出其总和,然后使用第一移位器对其进行右移8位的移位操作求取其均值,最后将得到的结果存入第一RAM中备用。

[0015] 进一步的,求标准差电路包括第六乘法器、第七乘法器、第五加法器、多路分配器第二DEMUX、第二移位器、第一减法器、开平方电路、第二控制器、第一RAM、第二RAM;,求标准差电路的输入端依次输入 X_1, X_2, X_3, X_4 到第六乘法器的两个输入端,第六乘法器的输出端接第五加法器的一个输入端;第五加法器的输出端接第二DEMUX的输入端;第二DEMUX的选择信号端接第二控制器的输出端,第二DEMUX的两个输出端分别接第二移位器的输入端和第五加法器的第二个输入端;第二移位器的输出端和第七乘法器的输出端分别接第一减法器的两个输入端,第七乘法器的两个输入端均接第一RAM的输出端;第一减法器的输出端接开平方电路的输入端,开平方电路的输出端输出数据存入第二RAM;将小波变换电路模块生成的四维信号作为输入,求取输入到该电路模块中数据的标准差 X_{sd} 如下:

$$[0016] \quad X_{sd} = \sqrt{\left(\frac{\sum_{j=1}^{256} X_i(j)^2}{256} - \bar{X}^2\right)} = \sqrt{\left(\sum_{j=1}^{256} X_i(j)^2 \gg 8 - \bar{X}^2\right)}$$

[0017] 其中, i 代表四维信号的序号, $j=1, 2, 3, \dots, 256$ 代表一个窗口内的信号, $\bar{x}$ 代表窗口内数据的均值; 首先使用第五加法器和第六乘法器对窗口内的 256 个数据的平方进行累加操作, 求出总和, 然后对其进行右移 8 位的移位操作求取其平方和的均值, 再将得到的结果减去该组数据均值的平方, 然后通过开平方电路进行开平方计算, 最后将结果存入第二 RAM。

[0018] 具体的, 分类器电路模块包括训练和分类两部分, 训练部分用于将已知类别脑电信号经特征提取得到的八维特征向量输入到核函数计算电路中计算核函数, 然后依次按下标 c 计算电路, 更新 a_c 电路, 更新 g_i 电路的顺序对极限学习机的各个参数进行更新, 并重复执行以上述操作, 直到拉格朗日参数 α 符合要求, 最后将拉格朗日参数 α 输入到分类函数计算电路中;

[0019] 分类部分用于将未知类别的脑电信号经过计算得到的特征向量输入到核函数计算电路中计算核函数, 然后将得到的结果输入到分类函数计算电路, 得到分类结果; 包括下标 c 计算电路, 更新 a_c 电路, 核函数计算电路, 更新 g_i 电路和分类函数计算电路; 下标 c 计算电路的输出端接更新 a_c 电路的输入端, 更新 a_c 电路的输出端分别接更新 g_i 电路和分类函数计算电路的输入端, 更新 g_i 电路的输出端接回下标 c 计算电路的输入端; 特征提取电路模块输出的八维特征向量接入核函数计算电路, 核函数计算电路的输出通过一个多路分配器分别接更新 a_c 电路和分类函数计算电路的输入端, 分类函数计算电路输出分类结果。

[0020] 进一步的, 核函数计算电路包括第二减法器、第三减法器、第八乘法器、第六加法器、第三 DEMUX、第三移位器、 e 指数电路、第一 RAM、第二 RAM、第三 RAM 和第三控制器;

[0021] 第一 RAM 和第二 RAM 的输出分别接第二减法器的两个输入端, 第二减法器的输出端接第八乘法器的两个输入端; 第八乘法器的输出端接第六加法器的一个输入端, 第六加法器的输出端接第三 DEMUX 的输入端, 第三控制器输出端接第三 DEMUX 的选择信号端, 第三 DEMUX 的两个输出端分别接第六加法器的第二个输入端和第三减法器的一个输入端; 第三减法器的第二个输入端接 0, 输出端接第三移位器; 第三移位器的输出端接 e 指数电路的输入端; e 指数电路输出数据存入第三 RAM;

[0022] 将输入的两个八维向量通过减法器 and 乘法器实现每一维相减并做平方运算, 然后使用累加器求其平方和, 再将得到的数据使用减法器求其负数, 使用移位器实现除法运算, 最后通过 e 指数电路并将结果存入第三 RAM 中, 核函数计算如下:

$$[0023] \quad k(x_i, x_j) = \exp\left(-\frac{\|x_i - x_j\|^2}{2\sigma^2}\right)$$

[0024] 其中, x_i 和 x_j 为两个八维向量, $i, j=1, 2, \dots, N$ 为训练所需特征向量的序号, σ 为设定的参数。

[0025] 进一步的, 下标 c 计算电路包括第一比较器、第二比较器、多路选择器第一 MUX、第二 MUX、求最小值下标电路、第四 RAM、第五 RAM 和反向器;

[0026] 第四 RAM 的输出接第一 MUX 的信号选择端; 第五 RAM 的输出接反向器的输入端和第二 MUX 的输入端; 第一比较器的第一个输入端接 0, 第二个输入端接反向器的输出端; 第一 MUX 的三个输入端分别接 1, -1, 第一比较器的输出端; 第二 MUX 的第二个输入端接反向器输出端, 选择信号端接第一 MUX 的输出端, 输出端接求最小值下标电路输入端; 求最小值下标电路两个输出端分别输出值 c 和接第二比较器的输入端; 第二比较器的另一个输入端接-

0.001,输出端输出终止信号R;

[0027] 第四RAM和第五RAM中分别存储拉格朗日乘子 α 和梯度 g 的值,首先通过反向器和比较器获得 g_i 符号的负值;然后将该值和1,-1一起输入到多路选择器第一MUX中, α_i 接到多路选择器的选择信号端,第一MUX输出 d_i ,如果 α_i 的值等于0则第一MUX输出为1,如果 α_i 大于0且小于C则第一MUX输出为 g_i 符号的负值,如果 α_i 等于C则第一MUX输出-1, d_i 具体计算如下:

$$[0028] \quad d_i = \begin{cases} 1, & \alpha_i = 0 \\ -sign(g_i), & 0 < \alpha_i < C \\ -1, & \alpha_i = C \end{cases}$$

[0029] 其中, g_i 和 g_i 的负值接多路选择器第二MUX的输入端,同时将计算得到的 d_i 接到第二MUX的选择输入端,用以实现公式 $J_i = g_i \cdot d_i$ 的计算;

[0030] 将第二MUX的输出端接求最小值下标电路的输入端,求出 J_i 的最小值以及 $c = \text{argmin} J_i$;最后将 J_i 的最小值接到第二比较器的输入端,与-0.001比较,若小于-0.001则输出终止信号,反之则继续参数 α_c 的更新;

[0031] 更新 α_c 电路包括第四减法器、第三比较器、第四比较器、第三MUX、第四MUX、第四RAM和第五RAM;第四RAM和第五RAM的输出端分别接在第四减法器的两个输入端,第四减法器的输出端接在第三比较器,第四比较器和第三MUX的一个输入端;第三比较器的第二个输入端接0,输出端接第三MUX的选择信号端;第三MUX的第二个输入端接0,输出端接第四MUX的一个输入端;第四比较器的第二个输入端接C,输出端接第四MUX的选择信号端;第四MUX的第二个输入端接C,输出存入第四RAM;

[0032] 首先使用减法器进行 α_c 和 g_c 的相减操作,然后将输出的结果分别与0和设定值C使用比较器进行比较,最后使用多路选择器第三MUX,第四MUX确定最终的输出,并将更新后的参数 α_c 存入第四RAM中备用,参数 $\alpha_c^{\text{new,clip}}$ 的更新公式及限定条件如下:

$$[0033] \quad \alpha_c^{\text{new}} = \alpha_c^{\text{old}} - g_c^{\text{old}}$$

$$[0034] \quad \alpha_c^{\text{new,clip}} = \begin{cases} 0, & \alpha_c^{\text{new}} < 0 \\ \alpha_c^{\text{new}}, & \alpha_c^{\text{new}} \in [0, C] \\ C, & \alpha_c^{\text{new}} > C \end{cases}$$

[0035] 其中,C为预先设定值;

[0036] 更新 g_i 电路包括第五减法器、第六减法器、第五MUX、第七加法器、第九乘法器、异或门、第三RAM、第四RAM、第五RAM、第六RAM。第六RAM的两个输出端接异或门的两个输入端,异或门的输出端接第五MUX的选择信号端;第四RAM的一个输出端接第五减法和第六减法器的一个输入端,第二个输出端接第五减法和第六减法器的第二个输入端;第五减法和第六减法器的输出端接第五MUX的两个输入端;第五MUX的输出端接第九乘法器的一个输入端;第三RAM的输出端接第九乘法器的另一个输入端;第九乘法器的输出端接第七加法器的一个输入端,第五RAM的输出端接第七加法器的另一个输入端;第七加法器输出数据存入第六RAM;

[0037] 首先第五减法器和第六减法器分别完成 $\alpha_c^{new}-\alpha_c^{old}$ 和 $\alpha_c^{old}-\alpha_c^{new}$ 的计算,并将结果接在多路选择器第五MUX的两个输入端,特征向量所对应的脑电信号的类别 t_i 和 t_c 做异或操作作为选择信号,并将其结果接在第五MUX的选择输入端,若异或结果为0则第五MUX输出 $\alpha_c^{new}-\alpha_c^{old}$ 的值,若异或结果为1则第五MUX输出 $\alpha_c^{old}-\alpha_c^{new}$;第五MUX的输出与第三RAM输出的核函数值使用第九乘法器进行乘法操作,然后使用第七加法器与现有的 g_i 相加并将结果存入第五RAM中备用,更新 g_i 所用到的公式如下:

$$[0038] \quad g_i^{new} = g_i^{old} + t_i \cdot t_c \cdot k(x_i, x_c) \cdot (\alpha_c^{new} - \alpha_c^{old})$$

[0039] 其中, $i=1,2,\dots,N$ 为训练所需特征向量的序号。

[0040] 进一步的,分类函数计算电路包括第八加法器、第十乘法器、第十一乘法器、第四DEMUX、第三RAM、第四RAM、第五RAM、符号函数电路和第四控制器;

[0041] 第四RAM和第五RAM的两个输出端接第十乘法器的两个输入端,第十乘法器的输出端和第三RAM的输出端接第十一乘法器的两个输入端;第十一乘法器的输出端接第八加法器的一个输入端;第八加法器的输出端接第四DEMUX的输入端;第四DEMUX的两个输出端分别接第八加法器的第二个输入端和符号函数电路的输入端;第四控制器的输出端接第四DEMUX的选择输入端;符号函数电路输出分类结果;

[0042] 首先将第四RAM和第五RAM的输出接在第十乘法器的两个输入端,计算 $t_i \times \alpha_i$ 的值,接着使用第十一乘法器将 $t_i \times \alpha_i$ 的值与对应的核函数相乘,并使用第八加法器进行累加,最后将累加的结果接在符号函数电路的输入端求其符号,其输出为分类结果,分类函数计算电路 $f(x)$ 如下:

$$[0043] \quad f(x) = \text{sign}\left(\sum_{i=1}^{N_s} \alpha_i t_i k(x, x_i)\right)$$

[0044] 其中, N_s 为非零的特征矢量个数,其中 $i=1,2,\dots,N_s$ 为非零特征向量的序号。

[0045] 与现有技术相比,本发明至少具有以下有益效果:

[0046] 本发明提供了一种基于稀疏极限学习机算法的癫痫检测集成电路,已知类别的脑电数据首先通过小波变换电路模块生成四维信号,再将生成的信号输入特征提取电路模块得到八维特征向量,然后将八维特征向量输入分类器电路模块进行训练,未知类别的脑电信号经过小波变换电路模块和特征提取电路模块得到八维特征向量,将该八维特征向量输入分类器电路模块中进行分类,从而达到癫痫检测的目的。

[0047] 进一步的,不同于传统的基于有限脉冲响应滤波器的离散小波变换,本发明使用的提升式离散小波变换仅使用了5个乘法器和3个加法器,减小了电路面积,降低了功耗。

[0048] 进一步的,使用小波变换对脑电信号进行处理,可以有效地提取滤出信号时频域的特征。

[0049] 进一步的,特征提取电路模块提取了信号中具有统计意义的特征,实现降维的目的,简化了后续的计算。

[0050] 进一步的,求均值电路对每个窗口内的信号求取均值作为信号特征。

[0051] 进一步的,求标准差电路对每个窗口内的信号求取标准差作为信号特征。

[0052] 进一步的,分类器电路模块包括训练和分类两个部分,训练电路使用已知类别的

特征向量进行学习得到分类所需的参数;分类电路对未知类别的特征向量进行分类,输出该特征向量的类别,从而达到癫痫检测的目的。训练和分类部分使用了稀疏极限学习机算法自动计算,减少了人工的参与,降低了因人为因素引起的误判率。

[0053] 进一步的,核函数计算电路计算后续电路所需的核函数的值,并将其存储备用。

[0054] 进一步的,下标 c 计算电路、更新 α_c 电路、更新 g_i 电路实现稀疏极限学习机训练的算法,更新了分类函数电路所需的参数。

[0055] 进一步的,分类函数计算电路使用下标 c 计算电路、更新 α_c 电路和更新 g_i 电路计算所得的参数,对未知类别的脑电特征向量进行分类,实现癫痫检测的目的。

[0056] 综上所述,本发明使用的算法稀疏极限学习机是一种已被认可的机器学习算法,在模式识别、分类以及回归分析等领域已有成熟的应用。它可以自动学习大量数据的特征,训练生成判断模型,并利用生成的模型对数据进行准确地自动分类,同时,使用提升式小波变换对脑电信号处理,可以得到信号时域和频域中不同频带的特征,其结果优于传统的滤波器以及傅里叶变换。

[0057] 下面通过附图和实施例,对本发明的技术方案做进一步的详细描述。

附图说明

[0058] 图1为本发明的系统电路框图;

[0059] 图2为本发明的提升式离散小波变换电路图;

[0060] 图3为本发明提升式小波变换算法示意图;

[0061] 图4为本发明特征提取电路模块中求均值电路图;

[0062] 图5为本发明特征提取电路模块中求标准差电路图;

[0063] 图6为本发明分类器电路模块中训练部分状态转移图;

[0064] 图7为本发明分类器电路模块中核函数计算电路图;

[0065] 图8为本发明分类器电路模块中下标 c 计算电路图;

[0066] 图9为本发明分类器电路模块中更新 α_c 电路;

[0067] 图10为本发明分类器电路模块中更新 g_i 电路图;

[0068] 图11为本发明分类器电路模块中分类函数计算电路图。

具体实施方式

[0069] 本发明提供了一种基于稀疏极限学习机算法的癫痫检测集成电路,将已知类别的脑电信号首先通过小波变换电路模块生成四维信号,然后通过特征提取电路模块中的标准差计算电路和均值计算电路对每个信号提取特征生成一组八维向量,再将这些特征向量输入到分类器电路模块进行训练,最后未知类别的脑电信号通过小波变换电路模块和特征提取模块之后,输入到分类器电路模块进行分类。本发明可以将癫痫发作和未发作时的脑电信号进行分类,从而达到癫痫检测的目的。

[0070] 请参阅图1,本发明一种基于稀疏极限学习机算法的癫痫检测集成电路,包括小波变换电路模块、特征提取电路模块、分类器电路模块。每个信号被包含256个点的窗口划分,数据类型为16位定点数,其中包括整数部分8位和小数部分8位。已知类别的脑电数据首先通过小波变换电路模块生成四维信号,再将生成的信号输入特征提取电路模块得到八维特

征向量,然后将八维特征向量输入分类器电路模块进行训练,未知类别的脑电信号经过小波变换电路模块和特征提取电路模块得到八维特征向量,将该八维特征向量输入分类器电路模块中进行分类,输出类别。

[0071] 请参阅图2,小波变换电路模块采用提升式的离散小波变换,选取db4有限脉冲响应滤波器来实现低通和高通滤波器,并将得到的高通信号继续进行小波变换,重复三次之后,便可以得到本电路模块输出的四维信号。

[0072] 小波变换电路模块包括第一乘法器、第二乘法器、第三乘法器、第四乘法器、第五乘法器、第一加法器、第二加法器、第三加法器、第一延时器、第二延时器。第一加法器的一个输入端接输入信号X下标为奇数的信号,其另一个输入端接第一乘法器的输出端;第一乘法器的第一个输入端和第二加法器的第一个输入端接输入信号下标为偶数的信号,第一乘法器的第二个输入端接 α ;第二乘法器的第一个输入端接第一加法器的输出端,第二个输入端接 β ;第二加法器的第二个输入端接第二乘法器的输出端,第三个输入端接第三乘法器的输出端,其输出端分别接到第二延时器和第五乘法器的输入端;第五乘法器的第二个输入端接 $1/k$,输出端为该模块的一个输出信号 X_4 ,接回模块输入端X;第一延时器的输入端接第一加法器的输出端,输出端接第三乘法器的一个输入端;第三乘法器的第二个输入端接 γ ;第三加法器的一个输入端接第二延时器的输出端,第二个输入端接第一加法器的输出端,其输出端接第四乘法器的一个输入端;第四乘法器的第二个输入端接 k ,其输出端为该模块的三个输出信号 X_1, X_2, X_3 。

[0073] 不同于传统的基于有限脉冲响应滤波器的离散小波变换,本发明使用的提升式离散小波变换仅使用了5个乘法器和3个加法器。Db4提升式离散小波变换的算法如图3所示。

[0074] 其中, $\alpha = -\sqrt{3}$, $\beta = \frac{\sqrt{3}}{4}$, $\gamma = \frac{\sqrt{3}-2}{4}$, $k = \frac{1+\sqrt{3}}{\sqrt{2}}$ 。

[0075] 特征提取电路模块是指对小波变换后的四个信号序列分别作为输入,对其求均值和标准差,最后得到一个八维的特征矢量信号。其中,求均值电路包括多路分配器第一DEMUX、第四加法器、第一移位器、第一控制器和第一RAM。求标准差电路包括第六乘法器、第七乘法器、第五加法器、多路分配器第二DEMUX、第二移位器、第一减法器、开平方电路、第二控制器、第一RAM、第二RAM。

[0076] 特征提取电路模块是指将四维信号作为输入,以256个点为窗口,并对每一个窗口内的数据进行求均值和求标准差的计算,然后将所得到的结果存入RAM中组成一组八维的特征矢量序列。

[0077] 请参阅图4,求均值电路的输入端依次输入 X_1, X_2, X_3, X_4 到第四加法器的一个输入端;第四加法器的输出端接多路分配器第一DEMUX的输入端;第一DEMUX的选择信号端接第一控制器,其第一个输出端接第四加法器的第二个输入端,第二个输出端接第一移位器的输入端,第一移位器输出数据存入第一RAM。

[0078] 将小波变换电路模块生成的四维信号作为输入,求取输入到该电路模块中数据的均值。求均值的方法如下式:

$$[0079] \quad \bar{X}_i = \frac{\sum_{j=1}^{256} X_i(j)}{256} = \sum_{j=1}^{256} X_i(j) \gg 8$$

[0080] 其中, i 代表四维信号的序号, $j=1, 2, 3, \dots, 256$ 代表一个窗口内的信号, 首先使用第四加法器对窗口内的 256 个点进行累加操作, 求出其总和, 然后使用第一移位器对其进行右移 8 位的移位操作求取其均值, 最后将得到的结果存入第一 RAM 中备用。

[0081] 请参阅图 5, 求标准差电路的输入端依次输入 X_1, X_2, X_3, X_4 到第六乘法器的两个输入端, 第六乘法器的输出端接第五加法器的一个输入端; 第五加法器的输出端接第二 DEMUX 的输入端; 第二 DEMUX 的选择信号端接第二控制器的输出端, 第二 DEMUX 的两个输出端分别接第二移位器的输入端和第五加法器的第二个输入端; 第二移位器的输出端和第七乘法器的输出端分别接第一减法器的两个输入端, 第七乘法器的两个输入端均接第一 RAM 的输出端; 第一减法器的输出端接开平方电路的输入端, 开平方电路的输出端输出数据存入第二 RAM。

[0082] 将小波变换电路模块生成的四维信号作为输入, 求取输入到该电路模块中数据的标准差。求标准差的方法如下式:

$$[0083] \quad X_{sd} = \sqrt{\left(\frac{\sum_{j=1}^{256} X_i(j)^2}{256} - \bar{X}^2\right)} = \sqrt{\left(\sum_{j=1}^{256} X_i(j)^2 \gg 8 - \bar{X}^2\right)}$$

[0084] 其中, i 代表四维信号的序号, $j=1, 2, 3, \dots, 256$ 代表一个窗口内的信号, $\bar{X}$ 代表窗口内数据的均值。首先使用第五加法器和第六乘法器对窗口内的 256 个数据的平方进行累加操作, 求出总和, 然后对其进行右移 8 位的移位操作求取其平方和的均值, 再将得到的结果减去该组数据均值的平方, 然后通过开平方电路进行开平方计算, 最后将结果存入第二 RAM。

[0085] 分类器电路模块分为训练和分类两个部分, 训练部分是将已知类别脑电信号经特征提取得到的八维特征向量输入到核函数计算电路中计算核函数, 然后依次按下标 c 计算电路, 更新 α_c 电路, 更新 g_i 电路的顺序对极限学习机的各个参数进行更新, 并多次执行上述操作, 直到拉格朗日参数 α 符合要求, 最后参数 α 输入到分类函数计算电路。

[0086] 请参阅图 6, 实现的算法如下:

状态 S0: 初始化 $\alpha_i = 0$, $g_i = -1$, $J_i = -1$, $d_i = 1$ ($i=1, \dots, N$)。

循环:

状态 S1: 计算最小的 J_i , 找需要更新的拉格朗日乘子

α_c , $c = \arg \min_{i=1, \dots, N} J_i$ 。

[0087]

状态 S2: 更新拉格朗日乘子 α_c , 修剪 α_c 使其在 $[0, C]$

范围。

状态 S3: 更新 g_i , d_i 以及 J_i ($i=1, 2, \dots, N$)。

结束循环: 满足条件 $\min_{i=1, \dots, N} J_i > -\varepsilon$ 。

[0088] 其中, $J_i = g_i \cdot d_i$, $g_i = \frac{\partial}{\partial \alpha_i} L_d$ 代表拉格朗日函数 L_d 的梯度, d_i 表示拉格朗日乘子 α_c 更新的方向, i 为训练所用特征向量的序号。

[0089] 分类电路是将未知类别的脑电信号经过计算得到的特征向量输入到核函数计算电路中计算核函数,然后将得到的结果输入到分类函数计算电路,得到分类结果;包括下标 c 计算电路,更新 α_c 电路,核函数计算电路,更新 g_i 电路,分类函数计算电路。下标 c 计算电路的输出端接更新 α_c 电路的输入端,更新 α_c 电路的输出端分别接更新 g_i 电路和分类函数计算电路的输入端,更新 g_i 电路的输出端接回下标 c 计算电路的输入端。特征提取电路模块输出的八维特征向量接入核函数计算电路,核函数计算电路的输出通过一个多路分配器分别接更新 α_c 电路和分类函数计算电路的输入端,分类函数计算电路输出分类结果。

[0090] 请参阅图7,核函数计算电路包括第二减法器、第三减法器、第八乘法器、第六加法器、第三DEMUX、第三移位器、e指数电路、第一RAM、第二RAM、第三RAM、第三控制器。第一RAM和第二RAM的输出分别接第二减法器的两个输入端,第二减法器的输出端接第八乘法器的两个输入端;第八乘法器的输出端接第六加法器的一个输入端,第六加法器的输出端接第三DEMUX的输入端,第三控制器输出端接第三DEMUX的选择信号端,第三DEMUX的两个输出端分别接第六加法器的第二个输入端和第三减法器的一个输入端;第三减法器的第二个输入端接0,输出端接第三移位器;第三移位器的输出端接e指数电路的输入端;e指数电路输出数据存入第三RAM。

[0091] 将输入的两个八维向量通过减法器 and 乘法器实现每一维相减并做平方运算,然后使用累加器求其平方和,再将得到的数据使用减法器求其负数,使用移位器实现除法运算,最后通过e指数电路并将结果存入第三RAM中。核函数的计算公式如下式:

$$[0092] \quad k(x_i, x_j) = \exp\left(-\frac{\|x_i - x_j\|^2}{2\sigma^2}\right)$$

[0093] 其中, x_i 和 x_j 为两个八维向量, $i, j = 1, 2, \dots, N$ 为训练所需特征向量的序号。 σ 为设定的参数。

[0094] 请参阅图8,分类器电路模块中的下标 c 计算电路包括第一比较器、第二比较器、多路选择器第一MUX、第二MUX、求最小值下标电路、第四RAM、第五RAM、反向器。第四RAM的输出接第一MUX的信号选择端;第五RAM的输出接反向器的输入端和第二MUX的输入端;第一比较器的第一个输入端接0,第二个输入端接反向器的输出端;第一MUX的三个输入端分别接1, -1, 第一比较器的输出端;第二MUX的第二个输入端接反向器输出端,选择信号端接第一MUX的输出端,输出端接求最小值下标电路输入端;求最小值下标电路两个输出端分别输出值 c 和接第二比较器的输入端;第二比较器的另一个输入端接-0.001,输出端输出终止信号R。

[0095] 第四RAM和第五RAM中分别存储拉格朗日乘子 α 和梯度 g 的值,首先通过反向器和比较器获得 g_i 符号的负值。然后将该值和1, -1一起输入到多路选择器第一MUX中, α_i 接到多路选择器的选择信号端,第一MUX输出为下式 d_i 的值,如果 α_i 的值等于0则第一MUX输出为1,如果 α_i 大于0且小于C则第一MUX输出为 g_i 符号的负值,如果 α_i 等于C则第一MUX输出-1。

$$[0096] \quad d_i = \begin{cases} 1, & \alpha_i = 0 \\ -\text{sign}(g_i), & 0 < \alpha_i < C \\ -1, & \alpha_i = C \end{cases}$$

[0097] 其中, g_i 和 g_i 的负值接多路选择器第二MUX的输入端, 同时将计算得到的 d_i 接到第二MUX的选择输入端, 用以实现公式 $J_i = g_i \cdot d_i$ 的计算。

[0098] 将第二MUX的输出端接求最小值下标电路的输入端, 求出 J_i 的最小值以及 $c = \text{argmin} J_i$ 。最后将 J_i 的最小值接到第二比较器的输入端, 与 -0.001 比较, 若小于 -0.001 则输出终止信号, 反之则继续参数 α_c 的更新。

[0099] 请参阅图9, 分类器模块的更新 α_c 电路包括第四减法器、第三比较器、第四比较器、多路选择器第三MUX、第四MUX、第四RAM、第五RAM。第四RAM和第五RAM输出端分别接在第四减法器的两个输入端, 第四减法器的输出端接在第三比较器, 第四比较器和第三MUX的一个输入端; 第三比较器的第二个输入端接0, 输出端接第三MUX的选择信号端; 第三MUX的第二个输入端接0, 输出端接第四MUX的一个输入端; 第四比较器的第二个输入端接C, 输出端接第四MUX的选择信号端; 第四MUX的第二个输入端接C, 输出存入第四RAM。

[0100] 首先使用减法器进行 α_c 和 g_c 的相减操作, 然后将输出的结果分别与0和设定值C使用比较器进行比较, 最后使用多路选择器第三MUX, 第四MUX确定最终的输出, 并将更新后的参数 α_c 存入第四RAM中备用。参数 $\alpha_c^{\text{new, clip}}$ 的更新公式及限定条件如下:

$$[0101] \quad \alpha_c^{\text{new}} = \alpha_c^{\text{old}} - g_c^{\text{old}}$$

$$[0102] \quad \alpha_c^{\text{new, clip}} = \begin{cases} 0, & \alpha_c^{\text{new}} < 0 \\ \alpha_c^{\text{new}}, & \alpha_c^{\text{new}} \in [0, C] \\ C, & \alpha_c^{\text{new}} > C \end{cases}$$

[0103] 其中, C为预先设定值。

[0104] 请参阅图10, 分类器电路模块中的更新 g_i 电路包括第五减法器、第六减法器、第五MUX、第七加法器、第九乘法器、异或门、第三RAM、第四RAM、第五RAM、第六RAM。第六RAM的两个输出端接异或门的两个输入端, 异或门的输出端接第五MUX的选择信号端; 第四RAM的一个输出端接第五减法和第六减法器的一个输入端, 第二个输出端接第五减法和第六减法器的第二个输入端; 第五减法和第六减法器的输出端接第五MUX的两个输入端; 第五MUX的输出端接第九乘法器的一个输入端; 第三RAM的输出端接第九乘法器的另一个输入端; 第九乘法器的输出端接第七加法器的一个输入端, 第五RAM的输出端接第七加法器的另一个输入端; 第七加法器输出数据存入第六RAM。

[0105] 首先第五减法和第六减法器分别完成 $\alpha_c^{\text{new}} - \alpha_c^{\text{old}}$ 和 $\alpha_c^{\text{old}} - \alpha_c^{\text{new}}$ 的计算, 并将结果接在多路选择器第五MUX的两个输入端, 特征向量所对应的脑电信号的类别 t_i 和 t_c 做异或操作作为选择信号, 并将其结果接在第五MUX的选择输入端, 若异或结果为0则第五MUX输出 $\alpha_c^{\text{new}} - \alpha_c^{\text{old}}$ 的值, 若异或结果为1则第五MUX输出 $\alpha_c^{\text{old}} - \alpha_c^{\text{new}}$ 。第五MUX的输出与第三RAM输出的核函数值使用第九乘法器进行乘法操作, 然后使用第七加法器与现有的 g_i 相加并将结果存

入第五RAM中备用。更新 g_i 所用到的公式如下：

$$[0106] \quad g_i^{new} = g_i^{old} + t_i \cdot t_c \cdot k(x_i, x_c) \cdot (\alpha_c^{new} - \alpha_c^{old})$$

[0107] 其中, $i=1, 2, \dots, N$ 为训练所需特征向量的序号。

[0108] 请参阅图11, 分类器电路模块中的分类函数计算电路包括第八加法器、第十乘法器、第十一乘法器、第四DEMUX、第三RAM、第四RAM、第五RAM、符号函数电路、第四控制器。第四RAM和第五RAM的两个输出端接第十乘法器的两个输入端, 第十乘法器的输出端和第三RAM的输出端接第十一乘法器的两个输入端; 第十一乘法器的输出端接第八加法器的一个输入端; 第八加法器的输出端接第四DEMUX的输入端; 第四DEMUX的两个输出端分别接第八加法器的第二个输入端和符号函数电路的输入端; 第四控制器的输出端接第四DEMUX的选择输入端; 符号函数电路输出分类结果。

[0109] 该电路功能如下, 首先将第四RAM和第五RAM的输出接在第十乘法器的两个输入端, 计算 $t_i \times \alpha_i$ 的值, 接着使用第十一乘法器将 $t_i \times \alpha_i$ 的值与对应的核函数相乘, 并使用第八加法器进行累加, 最后将累加的结果接在符号函数电路的输入端求其符号, 其输出为分类结果。分类函数计算电路所用的公式如下：

$$[0110] \quad f(x) = \text{sign}\left(\sum_{i=1}^{N_s} \alpha_i t_i k(x, x_i)\right)$$

[0111] 其中, N_s 为非零的特征矢量个数, 其中 $i=1, 2, \dots, N_s$ 为非零特征向量的序号。

[0112] 以上内容仅为说明本发明的技术思想, 不能以此限定本发明的保护范围, 凡是按照本发明提出的技术思想, 在技术方案基础上所做的任何改动, 均落入本发明权利要求书的保护范围之内。

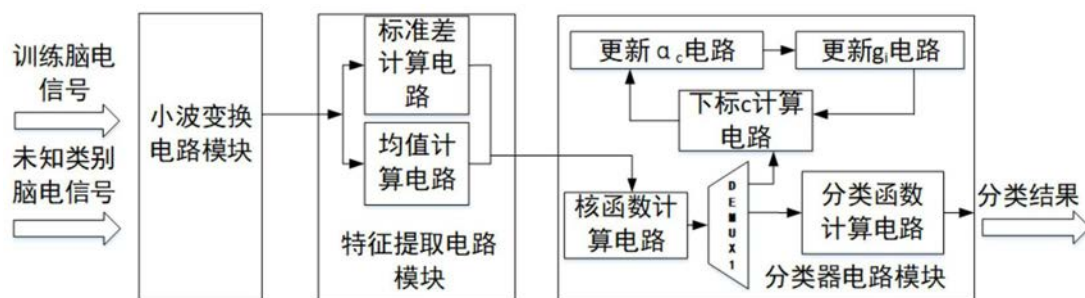


图1

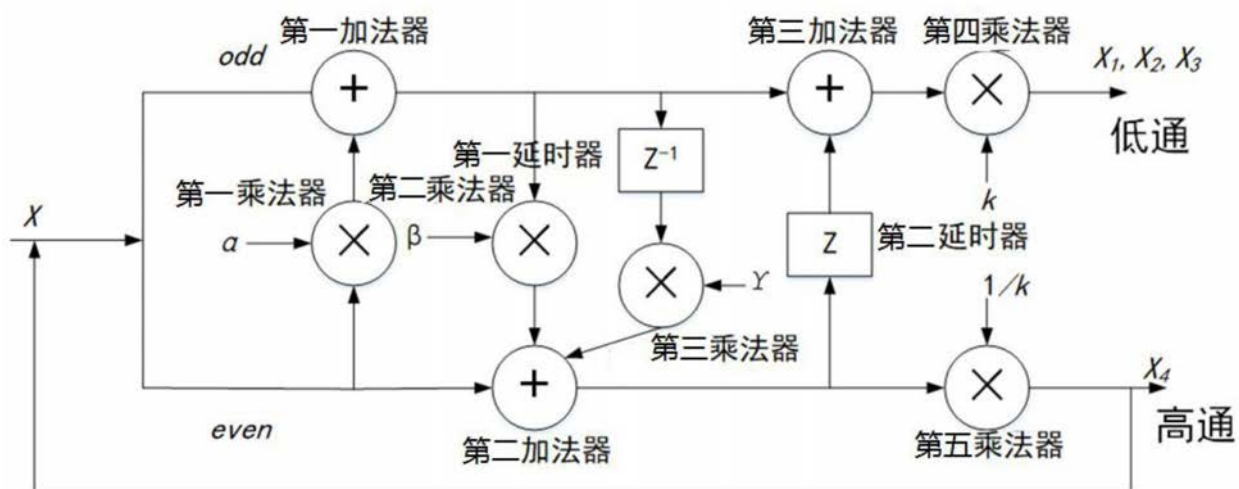


图2

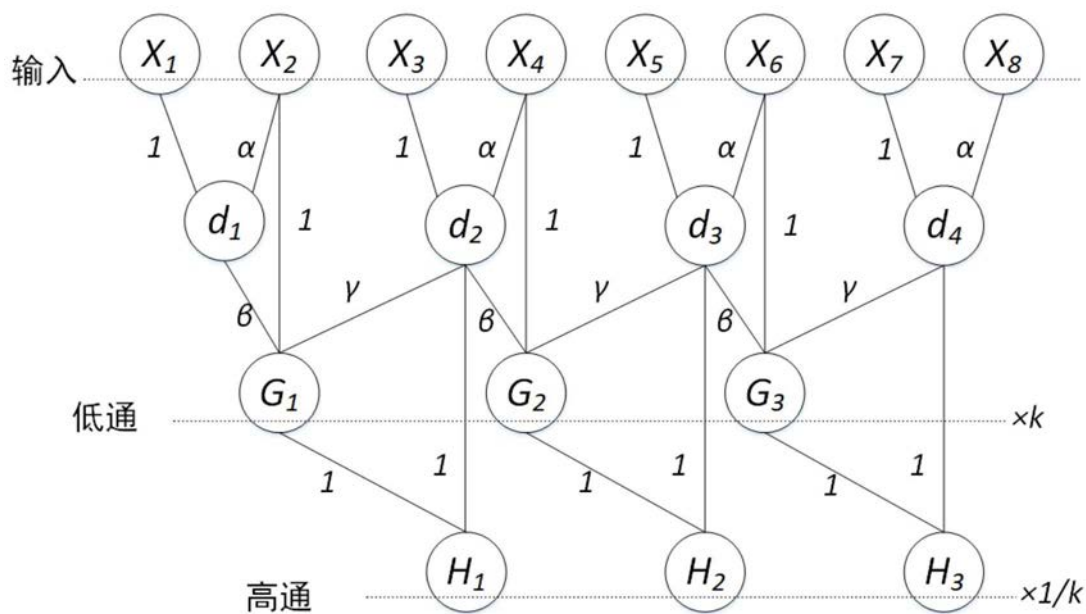


图3

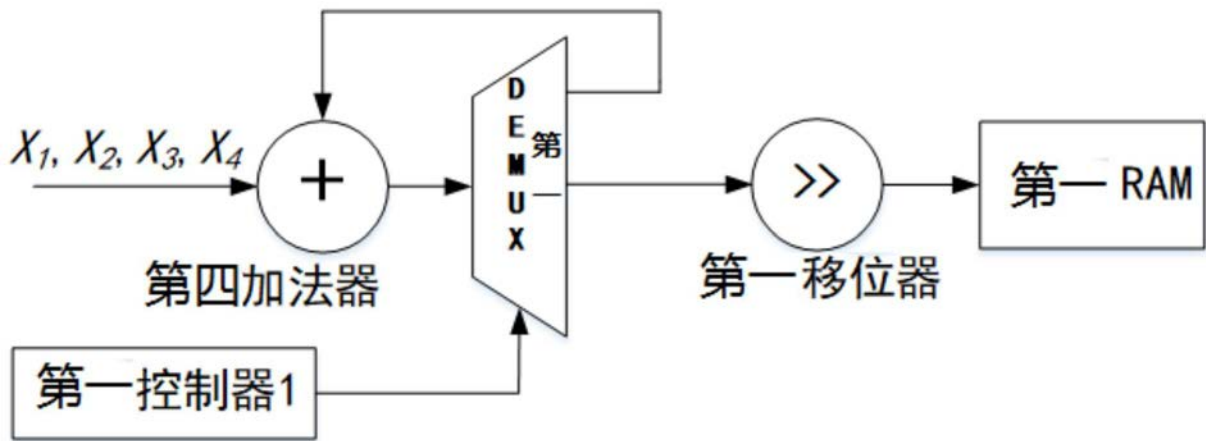


图4

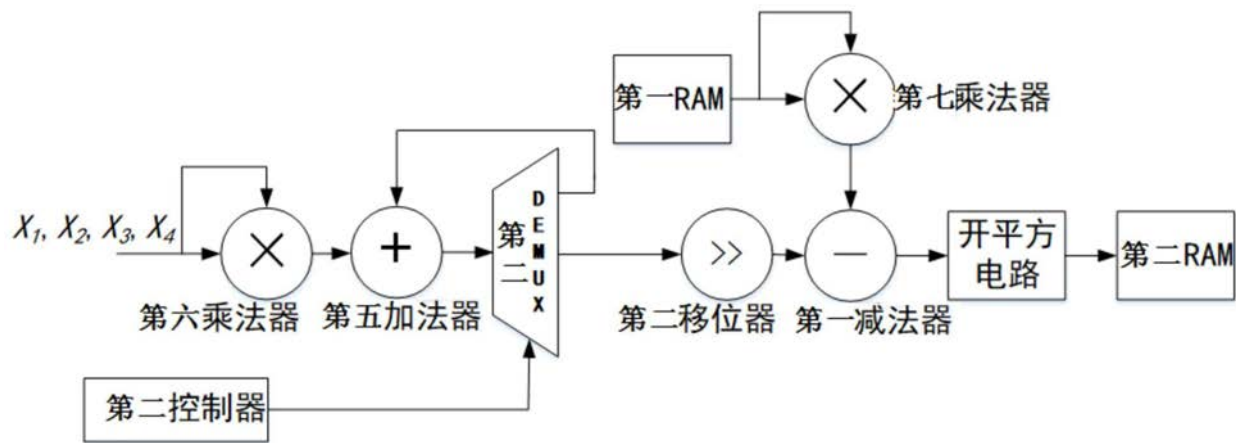


图5

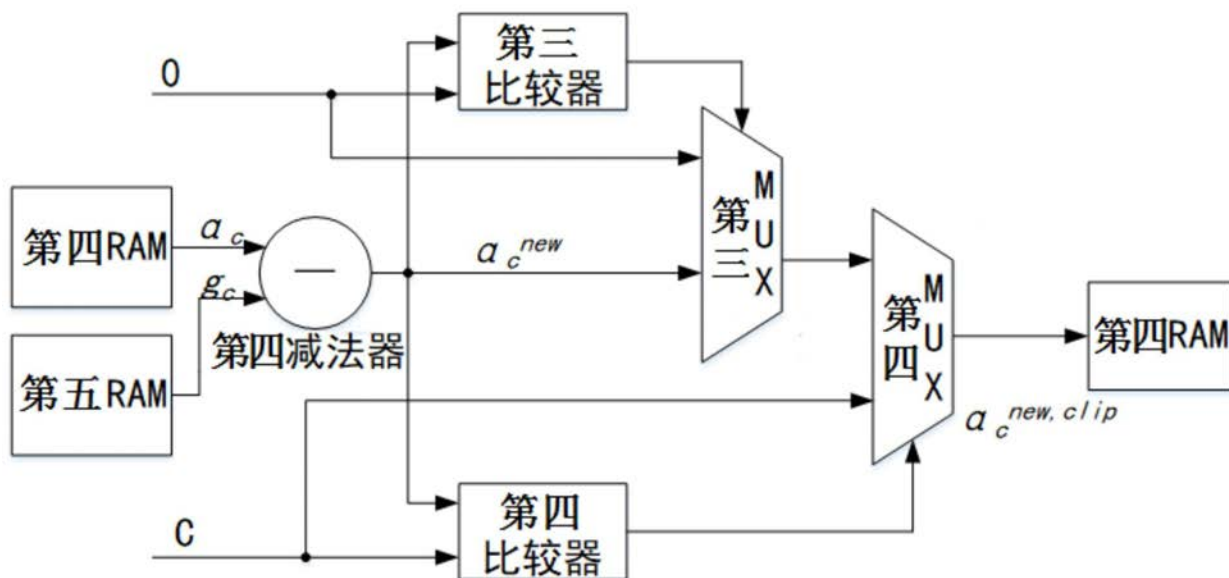


图9

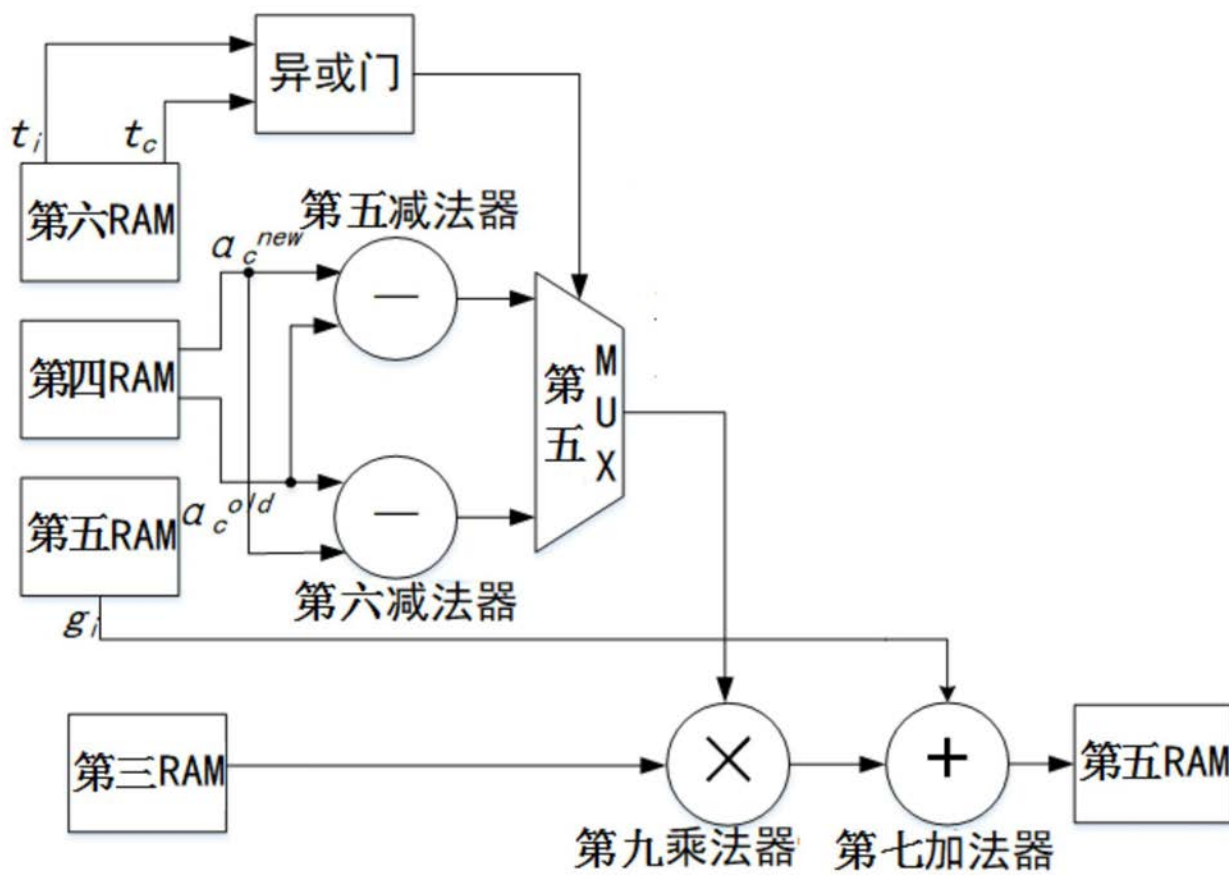


图10

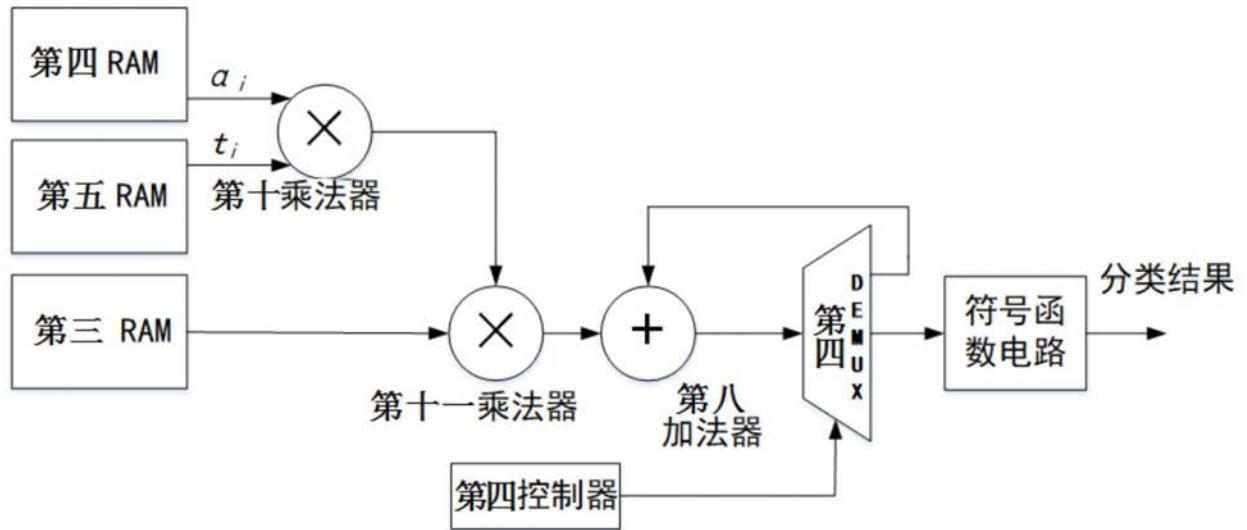


图11

专利名称(译)	一种基于稀疏极限学习机算法的癫痫检测集成电路		
公开(公告)号	CN109620148B	公开(公告)日	2020-03-31
申请号	CN201811446018.9	申请日	2018-11-29
[标]申请(专利权)人(译)	西安交通大学		
申请(专利权)人(译)	西安交通大学		
当前申请(专利权)人(译)	西安交通大学		
[标]发明人	李尊朝 白海龙 冯立琛		
发明人	李尊朝 白海龙 冯立琛 刘宙思		
IPC分类号	A61B5/00 A61B5/0476 G06K9/62		
CPC分类号	A61B5/04012 A61B5/04017 A61B5/0476 A61B5/4094 A61B5/72 A61B5/726 A61B5/7267 G06K9/6256 G06K9/6267		
代理人(译)	高博		
其他公开文献	CN109620148A		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

本发明公开了一种基于稀疏极限学习机算法的癫痫检测集成电路，用包含256个点的窗口对脑电数据中的信号进行划分，数据类型为16位定点数，包括整数部分8位和小数部分8位，将已知类别的脑电数据通过小波变换电路模块生成四维信号，再将生成的信号输入特征提取电路模块得到八维特征向量，然后将八维特征向量输入分类器电路模块训练后分类输出；将未知类别的脑电信号依次经小波变换电路模块和特征提取电路模块后得到八维特征向量，将该八维特征向量输入分类器电路模块中进行分类后输出。本发明使用提升式小波变换对脑电信号处理，可以得到信号时域和频域中不同频带的特征，其结果优于传统的滤波器以及傅里叶变换。

