



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109674469 A

(43)申请公布日 2019.04.26

(21)申请号 201910002013.5

(22)申请日 2019.01.02

(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 臧天仪 闵腾飞 王福旭 王跃莹

(74)专利代理机构 哈尔滨市阳光惠远知识产权
代理有限公司 23211

代理人 李恩庆

(51)Int.Cl.

A61B 5/048(2006.01)

A61B 5/00(2006.01)

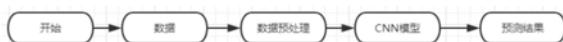
权利要求书2页 说明书4页 附图3页

(54)发明名称

基于CNN模型的癫痫发作预警算法

(57)摘要

基于CNN模型的癫痫发作预警算法，是一种基于深度学习的早期癫痫发作预警方法。该发明提出了一种基于CNN模型的癫痫发作预警算法，旨在实现一种癫痫发作预警系统。该算法首先对在IEEG监测下的癫痫患者颅内脑电图(EEG)数据进行预处理，然后基于CNN模型并通过Softmax, Minmax, 和Median来标准化预测原始结果，分析基于CNN模型提取癫痫患者EEG数据的ROC曲线和灵敏度特异性分析曲线，得到基于CNN模型的原始预测AUC值。该算法的原始预测AUC值为0.790，也就是说该算法的CNN模型已经学到了预测癫痫的关键信息，能够准确预测基于脑电数据集的癫痫发作时或癫痫发作前状态变化。该算法可用于控制癫痫发作，并可提醒患者何时需要注意驾驶或游泳等潜在危险的活动。



1. 基于CNN模型的癫痫发作预警算法,其算法特征包括以下步骤:

步骤1,数据采集:

获得在IEEG监测下的癫痫患者的颅内脑电图(EEG)数据;

步骤2,数据预处理:

依次通过巴特沃斯滤波器、离散傅里叶变换、频带划分和数据正则化对步骤1中的EEG数据进行预处理;

步骤3,基于预处理数据,构建CNN癫痫预测模型:

将二维矩阵或三维矩阵作为输入数据送入卷积神经网络CNN,通过卷积神经网络的卷积和池化自动提取数据特征,并通过全连接层和softmax进行分类,以此构建CNN模型;

步骤4,基于步骤3的模型,进行癫痫发作预警分析:

基于CNN模型癫痫预测模型,提取癫痫患者EEG数据的ROC曲线和灵敏度特异性分析曲线,进行分析与预警。

2. 根据权利要求1所述的基于CNN模型的癫痫发作预警算法,其特征在于:所述步骤1的颅内脑电图(EEG)数据源于美国癫痫协会癫痫预测竞赛的数据,包括5只患有癫痫的狗和2名在IEEG监测下的患者等数据。

3. 根据权利要求1所述的基于CNN模型的癫痫发作预警算法,其特征在于:所述的步骤2的数据预处理过程为:

Step1取样;以400Hz的频率采取数据段每个电极上的数据,使每个10分钟数据段的统一尺寸为N(600s×400/s);

Step2滤波:使用巴特沃斯滤波器对Step1采取的数据中小于0.1Hz和高于180Hz的数据进行滤波;

Step3离散傅里叶变换:将每个10分钟数据段分为20个30秒的小段,每个小段使用离散傅里叶变换从时域信号变为频域信号,其中离散傅里叶变换公式为:

$$\sum_{n=1}^{N=1} x_{(n)} \exp\left(-2\pi i \frac{n}{N} k\right),$$

Step4划分频带:在每个10分钟数据段分为20个30秒的小段频域信号之后,将频域从0.1Hz到180Hz划分为八个相互不相交的频带,分别为a频带、b频带、c频带、d频带、e频带、f频带、g频带和h频带,其中a频带的取值范围为[0.1Hz, 4Hz], b频带的取值范围为(4Hz, 8Hz], c频带的取值范围为(8Hz, 12Hz], d频带的取值范围为(12Hz, 30Hz], e频带的取值范围为(30Hz, 50Hz], f频带的取值范围为(50Hz, 70Hz], g频带的取值范围为(70Hz, 100Hz], h频带的取值范围为(100Hz, 180Hz];将划分后的八个频带的幅度取log10的值,此时数据变换为N×8×20的矩阵,其中N表示得到颅内脑电图时电极的数量,8表示频带的数量,20表示30秒的小段频域信号数量。

4. 根据权利要求1所述的基于CNN模型的癫痫发作预警算法,其特征在于:所述的CNN癫痫预测模型的建模过程为:

步骤一,CNN基本结构模型的第一个卷积层C1为同时对所有电极的频带进行卷积,电极的总数为N,设定第一个卷积层是尺寸为(8×N)×1的滤波卷积核,第一个卷积层共有(16×8×N+16)个参数,通过第一个卷积层计算得到一个16×20的输出矩阵;

步骤二,将第一个卷积层的输出矩阵输入至第二个卷积层,第二个卷积层C2有32个卷

积核,滤波器大小为 16×12 ,第二个卷积层总共6176个参数;

步骤三,提取第二个卷积层特征得输入到第三个卷积层,第三个卷积层是完全连接层F3;

步骤四,由第一个卷积层C1和第二个卷积层C2提取得到 32×9 特征矩阵,将 32×9 特征矩阵与F3的512个神经元完全连接;

步骤五,将所有特征信息提取到512个神经元中进行分类,总共147968个参数;

步骤六,为减少参数数量,构建CNN癫痫预测模型:在C2和F3中引入完全连接的池化层GP3,汇集层由C2层计算获得的 1×9 矩阵的平均值、最大值、最小值、方差、L2正则化值和几何平均值。

5.根据权利要求1所述的基于CNN模型的癫痫发作预警算法,其特征在于:所述的基于癫痫发作预警模型的分析过程为:设置不同的数据预处理超参数和CNN参数,并通过softmax,minmax,median来标准化预测的原始结果,分析基于CNN模型提取癫痫患者EGG数据的ROC曲线和灵敏度特异性分析曲线,得到基于CNN模型的原始预测的AUC值。

基于CNN模型的癫痫发作预警算法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种基于CNN模型的癫痫发作预警算法,具体涉及基于深度学习的早期癫痫发作预警方法。

背景技术

[0002] 癫痫是一种可复发无迹像的慢性神经系统疾病。据世界卫生组织统计,癫痫患病率在5‰至11.2‰。世界上约有5000万癫痫患者,我国癫痫患者为900万,其中活动性癫痫约600万,25%的患者不能通过系统药物控制,所以称为难治性癫痫。即使采用最佳治疗方法,许多患者仍然会出现癫痫发作。在癫痫不发作情况下,癫痫患者经常会焦虑自己癫痫会发作。

[0003] 目前,癫痫可通过连续脑电图(EEG)监测来诊断,但脑电图只能在住院环境中获得。近年来,随着便携式EEG系统的发展,EEG记录已经变得非常普遍。虽然患者容易获得与住院监测相同的脑电图,但如何使用大量记录的脑电图,使其在癫痫发作前提供可靠早期预警信号成为一个非常有价值的研究问题。因此,提供一种癫痫发作预警系统,并以此降低由不可预测的癫痫发作引起的伤害是十分必要的。

发明内容

[0004] 本发明提出了一种基于CNN模型的癫痫发作预警算法,该算法包括以下步骤:

[0005] 步骤1,数据采集:

[0006] 获得在IEEG监测下的癫痫患者的颅内脑电图(EEG)数据;

[0007] 步骤2,数据预处理:

[0008] 依次通过巴特沃斯滤波器、离散傅里叶变换、频带划分和数据正则化对步骤1中的EEG数据进行预处理;

[0009] 步骤3,基于预处理数据,构建CNN癫痫预测模型:

[0010] 将二维矩阵或三维矩阵作为输入数据送入卷积神经网络CNN,通过卷积神经网络的卷积和池化自动提取数据特征,并通过全连接层和softmax进行分类,以此构建CNN模型;

[0011] 步骤4,基于步骤3的模型,进行癫痫发作预警分析:

[0012] 基于CNN模型癫痫预测模型,提取癫痫患者EEG数据的ROC曲线和灵敏度特异性分析曲线,进行分析与预警。

[0013] 优选的:所述步骤1的颅内脑电图(EEG)数据源于美国癫痫协会癫痫预测竞赛的数据,包括患有癫痫的狗和在IEEG监测下的人类患者等数据。

[0014] 优选的:所述的步骤2的数据预处理的过程为:

[0015] Step1取样;以400Hz的频率采取数据段每个电极上的数据,使每个10分钟数据段的统一尺寸为N(600s×400/s);

[0016] Step2滤波:使用巴特沃斯滤波器对Step1采取的数据中小于0.1Hz和高于180Hz的数据进行滤波;

[0017] Step3离散傅里叶变换:将每个10分钟数据段分为20个30秒的小段,每个小段使用离散傅里叶变换从时域信号变为频域信号,其中离散傅里叶变换公式为:;

[0018] Step4划分频带:在每个10分钟数据段分为20个30秒的小段频域信号之后,将频域从0.1Hz到180Hz划分为八个相互不相交的频带,分别为a频带、b频带、c频带、d频带、e频带、f频带、g频带和h频带,其中a频带的取值范围为[0.1Hz, 4Hz], b频带的取值范围为(4Hz, 8Hz], c频带的取值范围为(8Hz, 12Hz], d频带的取值范围为(12Hz, 30Hz], e频带的取值范围为(30Hz, 50Hz], f频带的取值范围为(50Hz, 70Hz], g频带的取值范围为(70Hz, 100Hz], h频带的取值范围为(100Hz, 180Hz];将划分后的八个频带的幅度取 \log_{10} 的值,此时数据变换为 $N \times 8 \times 20$ 的矩阵,其中N表示得到颅内脑电图时电极的数量,8表示频带的数量,20表示30秒的小段频域信号数量。

[0019] 优选的:所述的CNN癫痫预测模型的建模过程为:

[0020] 步骤一,CNN基本结构模型的第一个卷积层C1为同时对所有电极的频带进行卷积,电极的总数为N,设定第一个卷积层是尺寸为 $(8 \times N) \times 1$ 的滤波卷积核,第一个卷积层共有 $(16 \times 8 \times N + 16)$ 个参数,通过第一个卷积层计算得到一个 16×20 的输出矩阵;

[0021] 步骤二,将第一个卷积层的输出矩阵输入至第二个卷积层,第二个卷积层C2有32个卷积核,滤波器大小为 16×12 ,第二个卷积层总共6176个参数;

[0022] 步骤三,提取第二个卷积层特征得输入到第三个卷积层,第三个卷积层是完全连接层F3;

[0023] 步骤四,由第一个卷积层C1和第二个卷积层C2提取得到 32×9 特征矩阵,将 32×9 特征矩阵与F3的512个神经元完全连接;

[0024] 步骤五,将所有特征信息提取到512个神经元中进行分类,总共147968个参数;

[0025] 步骤六,为减少参数数量,构建CNN癫痫预测模型:在C2和F3中引入完全连接的池化层GP3,汇集层由C2层计算获得的 1×9 矩阵的平均值、最大值、最小值、方差、L2正则化值和几何平均值。

[0026] 优选的:所述的基于CNN模型的癫痫发作预警算法,其特征在于:所述的基于癫痫发作预警模型的分析过程为:设置不同的数据预处理超参数和CNN参数,并通过softmax, minmax, median来标准化预测的原始结果,分析基于CNN模型提取癫痫患者EGG数据的ROC曲线和灵敏度特异性分析曲线,得到基于CNN模型的原始预测的AUC值。

[0027] 本发明具有以下效益:本发明涉及一种基于CNN深度学习的癫痫发作预警算法,该算法的原始预测AUC值为0.790,也就是说该算法的CNN模型已经学到了预测癫痫的关键信息,能够准确预测基于脑电数据集的癫痫发作时或癫痫发作前状态变化。该算法可用于控制癫痫发作,并可提醒患者何时需要注意驾驶或游泳等潜在危险的活动。

附图说明

[0028] 图1是本发明的基于CNN模型的癫痫发作预警算法的流程图;

[0029] 图2是癫痫患者的EEG数据集;

[0030] 图3是预处理后的幅度谱;

[0031] 图4是CNN的基本结构;

[0032] 图5是CNN的基本结构的局部连接和权值共享;

- [0033] 图6是CNN架构；
[0034] 图7是CNN癫痫预测模型。

具体实施方式

[0035] 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，所描述的实施例仅是本发明的一个，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的实施例，都属于本发明的保护范围。

[0036] 结合说明书附图1至图7说明本发明的具体实施方式，具体说明如下：

[0037] 基于CNN模型的癫痫发作预警算法的流程图如图1所示，

[0038] (一)数据采集；

[0039] 癫痫患者的颅内脑电图(EEG)数据来自5只患有癫痫的狗和2名在IEEG监测下的人类患者，数据来源于美国癫痫协会癫痫预测竞赛的数据。狗的EEG记录在400Hz通过16个电极采样，并记录每组电极电压组的平均值，人类患者的EEG以5000Hz的频率进行采样，图2所示测试训练集的正例(阳性样本/总样本)，图中的“24/504”表示Dog1的训练集中有504个例子，其中24个是正例，正例是癫痫发作前的片段。

[0040] (二)数据预处理

[0041] (1)取样：以400Hz的频率采样数据段每个电极上的数据，使每个10分钟数据段的统一尺寸为N(600s×400/s)。

[0042] (2)滤波：使用巴特沃斯滤波器对小于0.1Hz和高于180Hz的(1)中的数据进行滤波；该步骤可使用scipy中的信号模块和滤波器来实现。

[0043] (3)离散傅里叶变换：将每个10分钟数据段分为20个30秒的小段，每个小段使用离散傅里叶变换从时域信号变为频域信号，其中离散傅里叶变换公式为：

$$\sum_{n=1}^{N=1} x_{(n)} \exp(-2\pi i \frac{n}{N} k);$$

一维离散傅里叶变换的这一步骤可由numpy包的fft模块的rfft函数实现。

[0044] (4)划分频带：在每个10分钟数据段分为20个30秒的小段频域信号之后，将频域从0.1Hz到180Hz划分为八个相互不相交的频带，分别为a频带、b频带、c频带、d频带、e频带、f频带、g频带和h频带，其中a频带的取值范围为[0.1Hz, 4Hz]，b频带的取值范围为(4Hz, 8Hz]，c频带的取值范围为(8Hz, 12Hz]，d频带的取值范围为(12Hz, 30Hz]，e频带的取值范围为(30Hz, 50Hz]，f频带的取值范围为(50Hz, 70Hz]，g频带的取值范围为(70Hz, 100Hz]，h频带的取值范围为(100Hz, 180Hz]，将划分后的八个频带的幅度取log10的值，数据预处理后的幅度谱如图3所示，此时数据矩阵由N变换为N×8×20的矩阵，其中N表示得到颅内脑电图时电极的数量，8表示频带的数量，20表示30秒的小段频域信号数量；步骤通过python代码实现分区和日志处理。

[0045] (三)基于预处理数据，构建CNN癫痫预测模型

[0046] CNN的基础结构如图4所示，从图中可以看出，二维矩阵或者三维矩阵作为输入数据送入卷积神经网络，通过卷积神经网络的卷积和池化自动提取数据特征，全连接层和softmax进行分类。如图5所示，其中卷积和池化提取高维度的数据特征主要依靠于4个特

性,分别为:局部连接、权值共享、非线性、池化。图中左侧表示的是卷积网络的局部连接的特性,输入数据为 6×6 的矩阵,经过 3×3 的卷积核经过步长为1的移动后,提取特征获得 4×4 的特征图。图中右侧表示的是每次当卷积核扫描到神经网络的神经元时,每个神经网络边上的权值和偏移量是共享的。卷积网络的非线性体现在每个卷积操作之后,即将高维数据特征降到低维空间之后,还可以在此基础上加入非线性的操作,ReLU就是非线性操作中的一种,以像素为单位生效的,其将所有负值像素替换为0。池化(也称为subsampling),池化的操作一般是在卷积之后进行的,进一步降低特征维度。

[0047] 如图6所示,将数据划分为八个相互不相交的频带,在CNN基本结构模型基础上,构建CNN癫痫预测模型的过程为:(1) CNN基本结构模型的第一个卷积层C1为同时对所有电极的频带进行卷积,电极的总数为N,设定第一个卷积层是尺寸为 $(8 \times N) \times 1$ 的滤波卷积核,第一个卷积层共有 $(16 \times 8 \times N+16)$ 个参数,通过第一个卷积层计算得到一个 16×20 的输出矩阵;(2) 将第一个卷积层的输出矩阵输入至第二个卷积层,第二个卷积层C2是32个卷积核,滤波器大小为 16×12 ,第二个卷积层总共6176个参数;(3) 提取第二个卷积层特征得输入到第三个卷积层,第三个卷积层是完全连接层F3;(4) 由第一个卷积层C1和第二个卷积层C2提取得到 32×9 特征矩阵,将 32×9 特征矩阵与F3的512个神经元完全连接;(5) 将所有特征信息提取到512个神经元中进行分类,总共147968个参数;(6) 为减少参数数量,构建CNN癫痫预测模型:在C2和F3中引入完全连接的池化层GP3,汇集层由C2层计算获得的 1×9 矩阵的平均值、最大值、最小值、方差、L2正则化值和几何平均值。这导致 $32(1 \times 6)$ 个矩阵连接到具有512个单元的完全连接层。因此汇集层和完全连接层仅为98816。由于添加了汇集层,参数减少了大约50000个。

[0048] (四) 基于癫痫发作预警模型分析过程,设置不同的数据预处理参数和CNN参数,并通过softmax,minmax,median来标准化预测的原始结果。分析基于CNN深度学习提取癫痫患者EGG数据的ROC曲线和灵敏度特异性分析曲线,得到基于CNN模型的原始预测的AUC值为0.790,也就是说,正样本预测值接近1,并且负样本预测值接近0,即本算法的CNN模型已经学到了预测癫痫的关键信息,能够准确预测基于EEG数据集的癫痫发作前状态变化。

[0049] 本实施方式只是对本专利的示例性说明,并不限定它的保护范围,本领域技术人员还可以对其局部进行改变,只要没有超出本专利的精神实质,都在本专利的保护范围内。

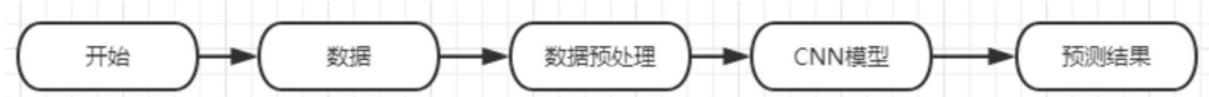


图1

对象	Dog1	Dog2	Dog3	Dog4	Dog5	Patient1	Patient2
训练集	24/504	42/542	72/151	297/901	30/480	18/68	18/60
测试集	24/502	90/1000	42/907	57/990	12/191	12/195	14/150

图2

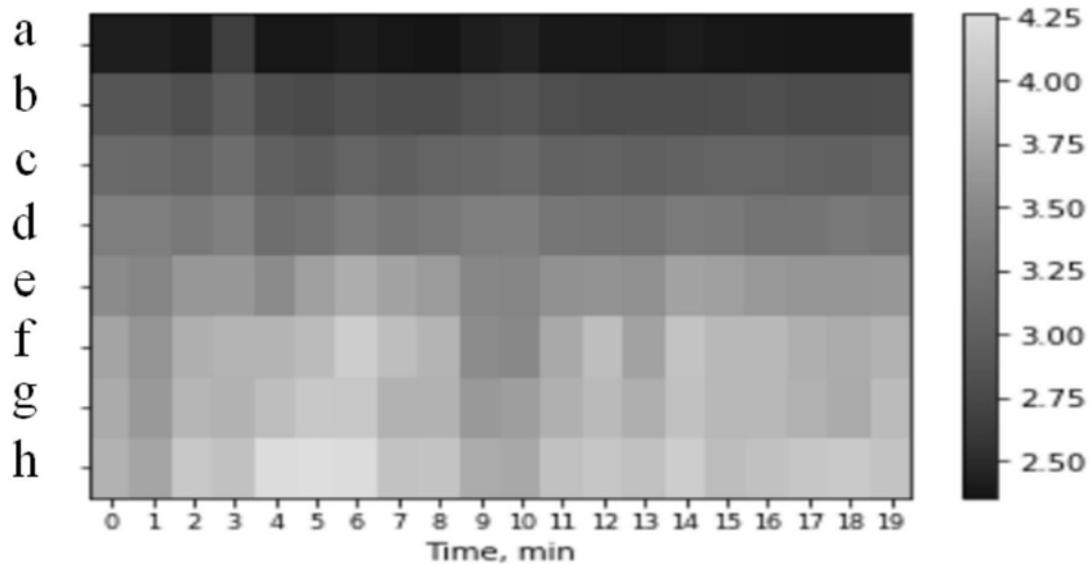


图3

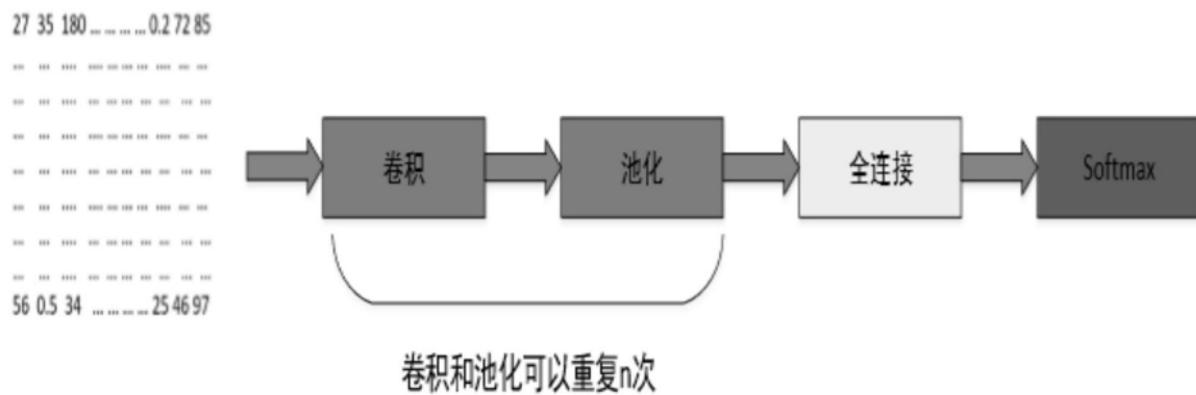


图4

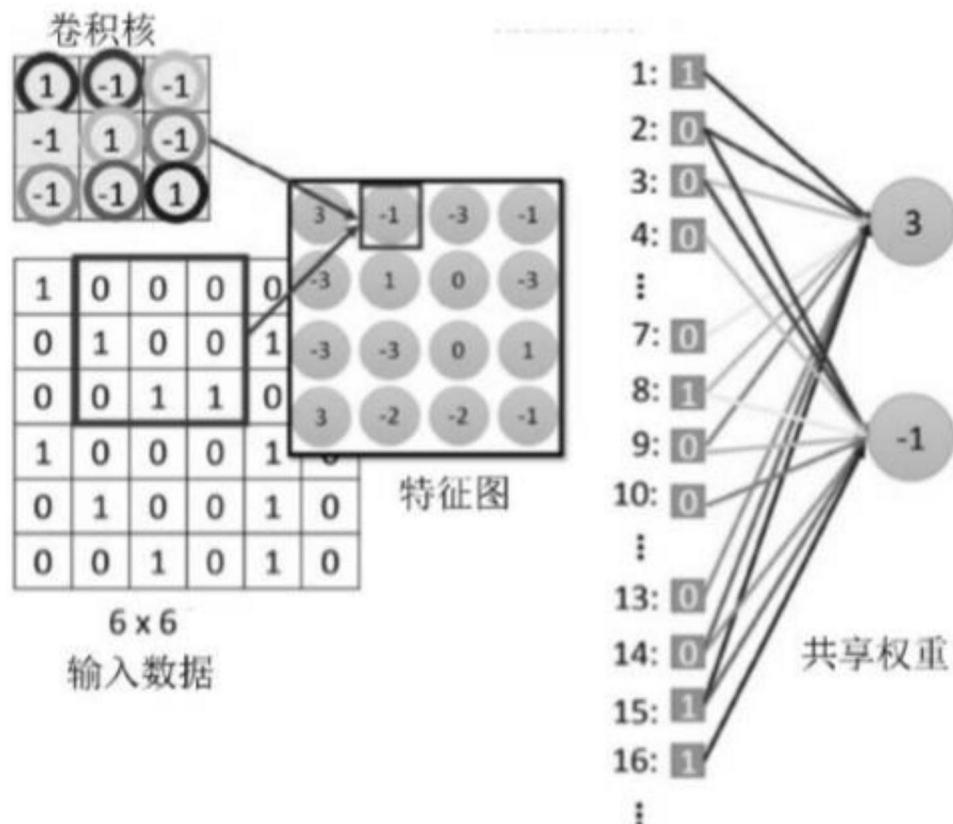


图5

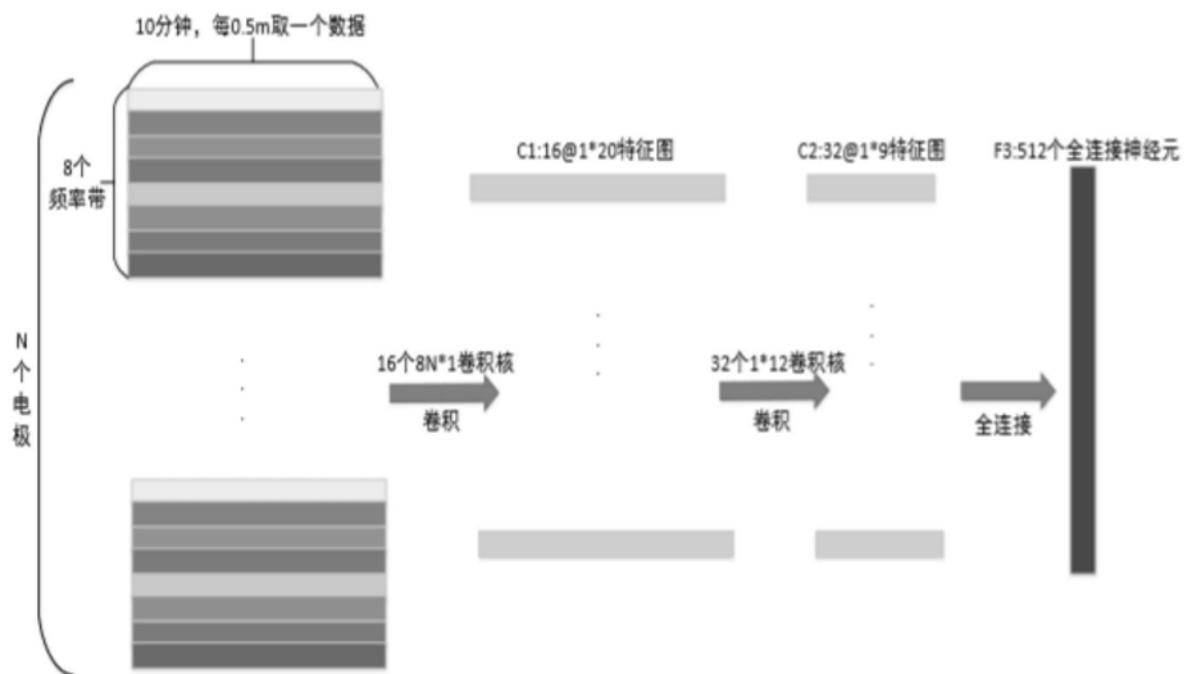


图6

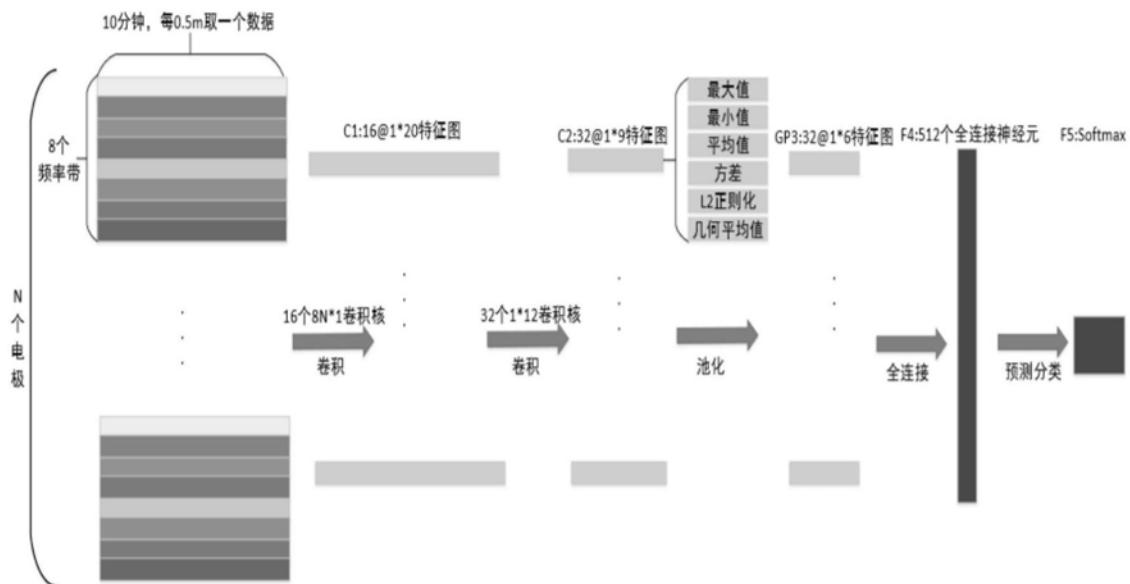


图7

专利名称(译)	基于CNN模型的癫痫发作预警算法		
公开(公告)号	CN109674469A	公开(公告)日	2019-04-26
申请号	CN201910002013.5	申请日	2019-01-02
[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	闵腾飞 王福旭		
发明人	臧天仪 闵腾飞 王福旭 王跃莹		
IPC分类号	A61B5/048 A61B5/00		
CPC分类号	A61B5/048 A61B5/4094 A61B5/725 A61B5/7257 A61B5/7267		
代理人(译)	李恩庆		
外部链接	Espacenet Sipo		

摘要(译)

基于CNN模型的癫痫发作预警算法，是一种基于深度学习的早期癫痫发作预警方法。该发明提出了一种基于CNN模型的癫痫发作预警算法,旨在实现一种癫痫发作预警系统。该算法首先对在IEEG监测下的癫痫患者颅内脑电图(EEG)数据进行预处理，然后基于CNN模型并通过Softmax, Minmax,和Median来标准化预测原始结果，分析基于CNN模型提取癫痫患者EGG数据的ROC曲线和灵敏度特异性分析曲线，得到基于CNN模型的原始预测AUC值。该算法的原始预测AUC值为0.790，也就是说该算法的CNN模型已经学到了预测癫痫的关键信息，能够准确预测基于脑电数据集的癫痫发作时或癫痫发作前状态变化。该算法可用于控制癫痫发作，并可提醒患者何时需要注意驾驶或游泳等潜在危险的活动。

