

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2024 年 12 月 26 日 (26.12.2024)



(10) 国际公布号
WO 2024/259913 A1

(51) 国际专利分类号:
A61N 1/36 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2023/137693

(22) 国际申请日: 2023 年 12 月 9 日 (09.12.2023)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
202310743390.0 2023年6月21日 (21.06.2023) CN

(71) 申请人: 中国科学院深圳先进技术研究院 (SHENZHEN INSTITUTES OF ADVANCED TECHNOLOGY CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) [CN/CN]; 中国广东省深圳市南山区深圳大学城学苑大道 1068 号, Guangdong 518055 (CN)。

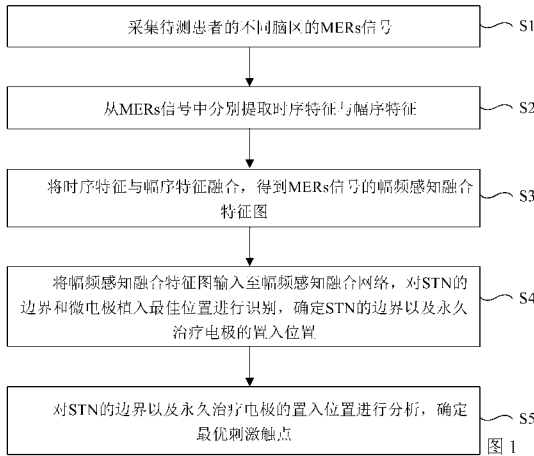
(72) 发明人: 司伟鑫 (SI, Weixin); 中国广东省深圳市南山区深圳大学城学苑大道 1068 号, Guangdong 518055 (CN)。

(74) 代理人: 北京中巡通大知识产权代理有限公司 (BEIJING ZHONG XUN TONG DA INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY CO., LTD.); 中国北京市西城区西直门外大街 1 号院 2 号楼 7 层 7C1, Beijing 100044 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD,

(54) Title: METHOD AND SYSTEM FOR SELECTING ELECTRODE STARTUP CONTACT FOR SUBTHALAMIC NUCLEUS DEEP BRAIN STIMULATION

(54) 发明名称: 一种丘脑底核深部脑刺激术电极开机触点选择方法及系统



S1 Collect MERs signals of different brain regions of a patient to be tested
S2 Respectively extract time-sequence features and amplitude-sequence features from the MERs signals
S3 Fuse the time-sequence features with the amplitude-sequence features, so as to obtain an amplitude-frequency perceptual fusion feature map of the MERs signals
S4 Input the amplitude-frequency perceptual fusion feature map into an amplitude-frequency perceptual fusion network, and identify the boundary of an STN and an optimal implantation position of a microelectrode, so as to determine the boundary of the STN and an implantation position of a permanent therapeutic electrode
S5 Analyze the boundary of the STN and the implantation position of the permanent therapeutic electrode, so as to determine an optimal stimulation contact

图 1

(57) Abstract: A method and system for selecting an electrode startup contact for subthalamic nucleus (STN) deep brain stimulation, which method and system relate to the technical field of electroencephalogram data processing. The method comprises the following steps: firstly, collecting MERs signals of different brain regions of a patient to be tested (S1); respectively extracting time-sequence features and amplitude-sequence features from the MERs signals (S2); fusing the time-sequence features with the amplitude-sequence features, so as to obtain an amplitude-frequency perceptual fusion feature map of the MERs signals (S3); inputting the amplitude-frequency perceptual fusion feature map into an amplitude-frequency perceptual fusion network, and identifying the boundary of an STN and an optimal implantation position of a microelectrode, so as to determine the boundary of the STN and an implantation position of a permanent therapeutic electrode (S4); and analyzing the boundary of the STN and the implantation position of the permanent therapeutic electrode, so as to determine an optimal stimulation contact (S5). Thus, the problem of a postoperative optimal contact selection process requiring repeated tests and being time-consuming and effort-consuming is solved, thereby improving the postoperative program control efficiency, and reducing the dependence on the experience of clinicians.

[见续页]

SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ,
UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明，要求每一种可提供的地区
保护): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ,
NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚
(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE,
BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR,
HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO,
PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF,
CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN,
TD, TG)。

本国际公布:
— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

(57) 摘要: 一种丘脑底核深部脑刺激术电极开机触点选择方法及系统，涉及脑电数据处理技术领域，方法包括以下步骤：首先，采集待测患者的不同脑区的MERs信号（S1）；从MERs信号中分别提取时序特征与幅序特征（S2）；将时序特征与幅序特征融合，得到MERs信号的幅频感知融合特征图（S3）；将幅频感知融合特征图输入至幅频感知融合网络，对STN的边界和微电极植入最佳位置进行识别，确定STN的边界以及永久治疗电极的置入位置（S4）；对STN的边界以及永久治疗电极的置入位置进行分析，确定最优刺激触点（S5）。解决了术后最佳触点选择过程需要反复试验且耗时费力的难题，提高术后程控的效率并减少对临床医师经验的依赖。

一种丘脑底核深部脑刺激术电极开机触点选择方法及系统

技术领域

本申请实施例涉及脑电数据处理技术领域，特别涉及一种丘脑底核深部脑刺激术电极开机触点选择方法及系统。

背景技术

帕金森（Parkinson's Disease, PD）是一种常见的进行性神经退行性疾病，可导致不可控的颤抖、强直、行走迟缓、缺乏协调性等运动症状，严重影响患者的生活质量。脑深部电刺激（DBS）疗法已被应用于神经调节领域，在 DBS 疗法中，电刺激依靠植入式的脑深部刺激器实现。脑深部刺激器的基本工作原理是：在患者大脑功能部位（一般是丘脑底核，STN）靶点植入刺激电极，由埋植于皮下的延长线将电极和埋植在胸前的脉冲发生器相连，脉冲发生器发出指定频率、强度的刺激电脉冲，作用于患者大脑深部的功能区域，达到治疗效果。

DBS 疗法主要包括 MERs 信号监测、治疗电极置入和术后最优开机触点电刺激。目前，术后最优触点的选择通常是采用“试错式”方法，通过观察患者每个触点电刺激之后的肌张力和运动改善情况进行判断，该过程具有一定的盲目性，需要耗费大量的时间和精力，而且还必须由有经验的程控医师来完成。为实现永久治疗电极置入位置的精准定位和术后最优触点的选择，神经外科医生通过将幅序和时序特征融合来识别 STN 边界和微电极植入的最佳位置。然而，目前还没有对永久治疗电极置入位置的确定和术后最优开机触点的选择的联合分析算法。

发明内容

本申请实施例提供一种丘脑底核深部脑刺激术电极开机触点选择方法及系统，以解决术后最佳触点选择过程需要反复试验且耗时费力的难题，提高术后

程控的效率并减少对临床医师经验的依赖。

为解决上述技术问题，第一方面，本申请实施例提供一种丘脑底核深部脑刺激术电极开机触点选择方法，包括以下步骤：首先，采集待测患者的不同脑区的 MERs 信号；从 MERs 信号中分别提取时序特征与幅序特征；将时序特征与幅序特征融合，得到 MERs 信号的幅频感知融合特征图；将幅频感知融合特征图输入至幅频感知融合网络，对 STN 的边界和微电极植入最佳位置进行识别，确定 STN 的边界以及永久治疗电极的置入位置；对 STN 的边界以及永久治疗电极的置入位置进行分析，确定最优刺激触点。

在一些示例性实施例中，从 MERs 信号中分别提取时序特征与幅序特征，包括：采用连续小波变换方法，从 MERs 信号中提取时序特征；以及采用 GASF 方法将 MERs 信号转换为 GASF 视觉图像，并基于 GASF 视觉图像，提取幅序特征。

在一些示例性实施例中，连续小波变换表示为：

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (1)$$

$$W(a,b) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \psi_{a,b}(t) dt \quad (2)$$

公式（1）和公式（2）中， ψ 为小波基函数， a 为尺度系数将 $\psi(t)$ 扩展或缩小到 $\psi(t/a)$ ， $a \neq 0$ ， b 为小波位置的时移系数。

在一些示例性实施例中，采用 GASF 方法将所述 MERs 信号转换为 GASF 视觉图像，包括：将 MERs 时间序列归一化至区间 $[-1, 1]$ ，得到归一化后的 MERs 数据；MERs 时间序列表示为 $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ ；将归一化后的 MERs 数据转换为极坐标；基于极坐标，得到 GASF 矩阵；基于 GASF 矩阵，生成 GASF 视觉图像；极坐标如公式（3）所示：

$$\begin{cases} \phi = \arccos(\tilde{y}_i), -1 \leq \tilde{y}_i \leq 1, \tilde{y}_i \in \tilde{Y} \\ r = \frac{t_i}{N}, t_i \in N \end{cases} \quad (3)$$

所述 GASF 矩阵如公式 (4) 所示:

$$G = \begin{bmatrix} \cos(\phi_1 + \phi_1) & \dots & \cos(\phi_1 + \phi_n) \\ \cos(\phi_2 + \phi_1) & \dots & \cos(\phi_2 + \phi_n) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \cos(\phi_n + \phi_1) & \dots & \cos(\phi_n + \phi_n) \end{bmatrix} \quad (4)$$

其中, 角度 ϕ 和半径 r 利用归一化的 $MERS \tilde{y}_i$ 的值和相应的时间戳 t 来表示, 其中 N 是正则化跨度的常数因子。

在一些示例性实施例中, 幅频感知融合网络采用 CBAM 集成的卷积神经网络模型为分类器, 对幅频感知融合特征图进行识别, 得到 STN 边界以及永久治疗电极的置入位置。

在一些示例性实施例中, 幅频感知深度融合网络采用七个阶段执行全分辨率的卷积, 每个阶段包括一个卷积层模块和一个 CBAM 模块; 最后一个阶段包括一个全连接层和一个 Softmax 函数, 用来获得幅频感知深度融合网络的输出。

在一些示例性实施例中, CBAM 模块包括通道注意力模块和空间注意力模块; 给定一个中间特征映射 X 作为输入, 整个 CBAM 过程表示为:

$$\begin{cases} X' = M_C(X) \otimes X \\ X'' = M_S(X') \otimes X' \end{cases} \quad (5)$$

其中, M_C 为通道注意力模块, M_S 为空间注意力模块, $\otimes$ 表示逐个元素相乘, X' 表示通过通道注意力模块后获得的特征, X'' 为 CBAM 的最终输出。

在一些示例性实施例中, 所述通道注意力模块的计算公式如下所示:

$$M_C(X) = \sigma \left(MLP \left(f_{AvgPool}(X) \right) + MLP \left(f_{MaxPool}(X) \right) \right) \quad (6)$$

其中, M_C 为通道注意力模块, $f_{AvgPool}$ 和 $f_{MaxPool}$ 分别为平均池化和最大池

化； MLP 表示多层感知机， σ 为 sigmoid 函数；

空间注意力模块的计算公式如下所示：

$$M_S(X') = \sigma(F_{cov}([f_{AvgPool}(X); f_{MaxPool}(X)])) \quad (7)$$

其中， M_S 为空间注意力模块， F_{cov} 表示卷积运算。

在一些示例性实施例中，对 STN 的边界以及所述永久治疗电极的置入位置进行分析，确定最优刺激触点，包括：对 STN 的边界以及永久治疗电极的置入位置进行分析，得到永久治疗电极的置入策略；基于永久治疗电极的置入策略，确定最优刺激触点；永久治疗电极的置入策略为永久治疗电极的顶端靠近 STN 的下边界；最优刺激触点的选择的原则是覆盖永久治疗电极植入的最佳位置的聚集区。

第二方面，本申请实施例还提供了一种丘脑底核深部脑刺激术电极开机触点选择系统，包括：依次连接的 MERs 信号采集模块、特征提取模块、特征融合模块、识别模块以及分析模块；MERs 信号采集模块用于采集待测患者的不同脑区的 MERs 信号；特征提取模块用于从所述 MERs 信号中分别提取时序特征与幅序特征；特征融合模块用于将所述时序特征与所述幅序特征融合，得到 MERs 信号的幅频感知融合特征图；识别模块用于将所述幅频感知融合特征图输入至幅频感知融合网络，对 STN 的边界和微电极植入最佳位置进行识别，确定 STN 的边界以及永久治疗电极的置入位置；分析模块用于对所述 STN 的边界以及所述永久治疗电极的置入位置进行分析，确定最优刺激触点。

本申请实施例提供的技术方案至少具有以下优点：

本申请实施例提供一种丘脑底核深部脑刺激术电极开机触点选择方法及系统，该方法包括以下步骤：首先，采集待测患者的不同脑区的 MERs 信号；从 MERs 信号中分别提取时序特征与幅序特征；将时序特征与幅序特征融合，得到 MERs 信号的幅频感知融合特征图；将幅频感知融合特征图输入至幅频感知融合网络，对 STN 的边界和微电极植入最佳位置进行识别，确定 STN 的边界以及永

久治疗电极的置入位置；对 STN 的边界以及永久治疗电极的置入位置进行分析，确定最优刺激触点。

本申请提供的丘脑底核深部脑刺激术电极开机触点选择方法，是基于幅频感知深度融合网络的 STN-DBS 电极最优触点的选择方法。该方法将幅频感知融合特征和 CBAM 集成 CNN 模型用于 STN 边界和微电极植入的最佳位置的识别，根据 STN 边界指导 STN-DBS 永久治疗电极的置入，依据微电极植入的最佳位置分布选择术后最佳的开机触点。实验结果表明，本申请 STN 识别的平均准确率为 96.78%，精确率为 97.77%，灵敏度为 95.26%，特异度为 98.07%；微电极植入的最佳位置识别的平均准确率为 98.24%，精确率为 98.53%，灵敏度为 96.05%，特异度为 99.31%，所有结果均优于目前的 STN 和微电极植入的最佳位置识别算法。所提出的方法选择的最优触点与神经外科医生的成功决策结果一致，这表明本申请所提出的方法在提高手术效率的同时减少对临床医生经验的依赖有很大的潜力。

附图说明

一个或多个实施例通过与之对应的附图中的图片进行示例性说明，这些示例性说明并不构成对实施例的限定，除非有特别申明，附图中的图不构成比例限制。

图 1 为本申请一实施例提供的一种丘脑底核深部脑刺激术电极开机触点选择方法的流程示意图；

图 2 为本申请一实施例提供的一种丘脑底核深部脑刺激术电极开机触点选择方法的具体流程示意图；

图 3 为本申请一实施例提供的 CBAM 集成的 CNN 模型结构示意图；

图 4 为本申请一实施例提供的一种丘脑底核深部脑刺激术电极开机触点选择系统的结构示意图；

图 5 为本申请一实施例提供的一种电子设备的结构示意图。

具体实施方式

由背景技术可知，目前术后最优触点的选择通常是采用“试错式”方法，通过观察患者每个触点电刺激之后的肌张力和运动改善情况进行判断，该过程具有一定的盲目性，需要耗费大量的时间和精力，而且还必须由有经验的程控医师来完成。

术后最优触点的选择应该尽可能的覆盖整个感觉运动区且避免影响到黑质。然而 STN 的感觉运动区非常小，因此定位 STN 的边界和感觉运动区对临床医生来说具有很大的难度。MERs 信号识别的微电极植入的最佳位置聚集区通常可以被认为是感觉运动区，根据这个原则可以辅助医生准确的识别治疗电极的最优触点。此外，永久治疗电极的置入位置也会影响最优触点的选择。因此，永久治疗电极的置入位置的确定和最优触点的选择对于 STN-DBS 手术的成功缺一不可。

临床医生选择最优触点通常还可以借助于 MERs 信号识别的微电极植入的最佳位置。一相关技术提出了一种利用 GASF 特征对 MERs 信号进行分类，用于微电极植入的最佳位置的自动识别。GASF 方法是通过将时间序列数据转换为二维的 GASF 图像，可以将一维时间序列信号识别问题转换为通过人工智能（Artificial intelligence, AI）的方法对图像进行分类的问题。对于部分高频高幅特征的 MERs 信号，GASF 图像显示的条纹特征不够明显，然而对峰值不明显的 MERs 信号，时间序列特征提取方法效果不佳。因此，上面提到的 MERs 信号识别算法只分析时序特征或者 GASF 幅序特征都会影响 MERs 信号的识别效果。

为实现永久治疗电极置入位置的精准定位和术后最优触点的选择，神经外科医生通过将幅序和时序特征融合来识别 STN 边界和微电极植入的最佳位置。然而，目前还没有对永久电极置入位置的确定和术后最优开机触点的选择的联合分析算法。临床上，永久治疗电极的置入位置是由神经外科医生依据 MERs

信号特征进行识别，然后通过试错策略确定最优开机触点。MERs 信号类别是由经验丰富的临床医生根据峰值、频率和振幅特征等手动标定为五个等级，微电极植入的最佳位置被标记为最高两个等级，电极的最优触点通常根据微电极植入的最佳位置的聚集区确定。

为解决上述技术问题，本申请实施例提供一种丘脑底核深部脑刺激术电极开机触点选择方法，包括以下步骤：首先，采集待测患者的不同脑区的 MERs 信号；从 MERs 信号中分别提取时序特征与幅序特征；将时序特征与幅序特征融合，得到 MERs 信号的幅频感知融合特征图；将幅频感知融合特征图输入至幅频感知融合网络，对 STN 的边界和微电极植入最佳位置进行识别，确定 STN 的边界以及永久治疗电极的置入位置；对 STN 的边界以及永久治疗电极的置入位置进行分析，确定最优刺激触点。本申请实施例通过提供一种丘脑底核深部脑刺激术电极开机触点选择方法，以解决术后最佳触点选择过程需要反复试验且耗时费力的难题，提高术后程控的效率并减少对临床医师经验的依赖。

下面将结合附图对本申请的各实施例进行详细的阐述。然而，本领域的普通技术人员可以理解，在本申请各实施例中，为了使读者更好地理解本申请而提出了许多技术细节。但是，即使没有这些技术细节和基于以下各实施例的种种变化和修改，也可以实现本申请所要求保护的技术方案。

参看图 1，本申请实施例提供了一种丘脑底核深部脑刺激术电极开机触点选择方法，包括以下步骤：

步骤 S1、采集待测患者的不同脑区的 MERs 信号。

步骤 S2、从 MERs 信号中分别提取时序特征与幅序特征。

步骤 S3、将时序特征与幅序特征融合，得到 MERs 信号的幅频感知融合特征图。

步骤 S4、将幅频感知融合特征图输入至幅频感知融合网络，对 STN 的边界和微电极植入最佳位置进行识别，确定 STN 的边界以及永久治疗电极的置入位置。

步骤 S5、对 STN 的边界以及永久治疗电极的置入位置进行分析，确定最优刺激触点。

针对术后最佳触点选择过程需要反复试验且耗时费力的难点，本申请提出了一种基于幅频感知深度融合网络的 STN-DBS 电极最优触点的选择方法。首先，提出将 MERs 信号的时间序列特性和生成的 GASF 特征相结合得到幅频感知融合特征，然后提出幅频感知深度融合网络对不同频率和幅值的微电极记录分级信号进行分类，可以帮助临床医生有效地识别 STN 边界和微电极植入的最佳位置，以实现 DBS 永久电极的最佳触点的选择。

具体的，本申请提出的基于幅频感知深度融合网络的 STN-DBS 电极最优触点选择方法，该方法首先识别 STN 的边界用于指导永久治疗电极的置入，然后确定微电极植入最佳位置的聚集区，达到精确选择术后最优开机触点的目的。具体的，一方面，本申请利用二维时间序列图像和 GASF 图像分别表征 MERs 时间序列信号的高频和高幅特征。该方法可以将时间序列信号分级识别任务转换为利用 AI 技术进行二维融合的视觉图像特征分类任务；另一方面，本申请提出幅频感知深度融合网络，根据不同的频率和幅值对分级的 MERs 信号进行自动识别，可以帮助临床医生自动的识别 STN 边界和微电极植入的最佳位置。最后，本申请还提出了一种 STN-DBS 手术中、术后自动决策的方法。该方法准确地识别了 STN 边界用于永久治疗电极置入位置的确定和最优开机触点选择。实验结果表明，神经外科医生和本文方法选择了相同的最佳开机触点。此外，该方法在 STN 和微电极植入最佳位置的识别方面的性能优于目前最先进的方法。

本申请提出的基于幅频感知深度融合网络的 STN-DBS 电极最优触点的选择方法的总流程图如图 2 所示，针对非连续的高频、高幅信号和峰值不明显的 MERs 信号识别的难题以及术后最佳触点选择过程需要反复试验且耗时费力的难题，选择方法的整个过程被总结为两个阶段：基于幅频感知深度融合网络的 MERs 信号的自动识别和最优刺激触点的选择。STN-DBS 术中和术后难点主要包括 STN 边界定位、微电极的最佳植入位置识别以及永久治疗电极最优触点的选择，本

申请为 STN-DBS 术中和术后的这些难点提供了智能决策方案。首先, 通过将 CWT 提取的时序特征与 GASF 特征融合得到 MERs 信号的幅频感知融合特征图。然后利用 CBAM 集成 CNN 模型用于识别幅频感知的融合特征图, 用于识别 STN 的边界和微电极植入最佳位置。在 STN 边界被确定之后, DBS 永久电极的置入原则是电极头尽量触及 STN 的下边界且不会影响黑质, 同时要避免对患者产生不良反应。最后, 对永久治疗电极置入的位置和微电极植入的最佳位置的分布综合分析可以确定最优的刺激触点。

步骤 S1 是采集 MERs 信号的过程。MERs 信号是通过一种电生理导航系统 (NeuroNav 223/12, Alpha Omega 工程, 以色列) 采集。神经外科医生首先利用 MRI 影像初步的确定靶区位置, 并结合 CT 扫描技术规划微电极植入轨迹, 然后根据预设的靶区位置和规划的电极的轨迹将微电极植入 STN 核团。一般情况下, MERs 的测量方法如下: (1) 信号的采集通过植入一个或两个钨微电极; (2) 微电极 (带针芯的套管) 被插入到预设的靶区上方约 10mm 处; (3) 微电极进一步以大约 1mm 步长移动直到插入距离预设靶区约 5mm, 每步测量一个 MERs 信号; (4) 微电极再以大约 0.5mm 步长进行推进直至到靶区之下约 4.0~5.0mm, 每一步测量一个 MERs 信号。微电极的运动可能会产生噪声干扰, 临床医生通常需要在每个位置多等待一段时间使 MERs 信号达到稳定, 因此临床在微电极的每个位置收集的 MERs 信号时长是不一样的, 通常采集 1~5s 的信号。考虑到不同长度的 MERs 数据可能会影响信号处理的实验结果, 为排除噪声干扰并保持 MERs 信号的稳定性, 根据专业神经外科医生的建议, 每个位置选取噪声最小的 1s 时长的 MERs 信号片段。原始的 MERs 信号由专业神经外科医生使用 Mapfile Converter 软件 (版权 Alpha Omega 2018, 版本 5.1.11.0) 进行预处理, 然后利用 MATLAB 软件 (Mathworks, Inc., Natick, MA) 通过非重叠的 1 秒时长的滑动窗对 MERs 进行裁剪并标记。所有信号采样频率为 24kHz, 放大倍数为 1000, 在 MATLAB 中使用 0.5kHz 至 5kHz 的 6 极 Butterworth 数字带通滤波器和 60Hz 的陷波滤波器进行数字滤波。所有原始 MERs 信号通过适当的抗混叠滤波降采样

至 12kHz，可以减少数据采样点，提高信号识别的效率。微电极通常贯穿大脑的以下区域，主要包括 Rt、IC、ZI、H2、STN 和 SN。由于不同的脑区具有不同的电生理信号，因此通过采集的不同脑区的 MERs 信号特征的差异可以有效的识别 STN 边界和微电极植入的最佳位置。根据采集的 MERs 信号识别的 STN 边界位置和微电极探测的植入路径，神经外科医生可以确定永久治疗电极的植入轨迹，然后将所有的微电极移除，最后的四触点的永久治疗电极置入到 STN。在术后阶段，临床医生根据临床经验选择最优触点以改善帕金森患者的运动症状。本研究得到了当地医院人体研究伦理委员会的批准。在对所涉及的程序进行充分的解释后，获得了所有参与者的书面知情同意。

在一些实施例中，步骤 S2 中从 MERs 信号中分别提取时序特征与幅序特征，包括：采用连续小波变换方法，从 MERs 信号中提取时序特征；以及采用 GASF 方法将 MERs 信号转换为 GASF 视觉图像，并基于 GASF 视觉图像，提取幅序特征。

具体的，在 STN-DBS 手术中，微电极植入的轨迹从前额叶运动皮层开始一直到达黑质。为了避免电刺激黑质，精确的判定治疗电极的置入位置在手术过程中至关重要。治疗电极置入 STN 之后，可根据术中微电极植入的最佳位置的分布选择最佳触点。因此，STN-DBS 的挑战在于识别 STN 的边界以确定治疗电极的置入位置，以及识别微电极植入的最佳位置选择术后的最佳触点。由于不同脑组织的 MERs 信号具有不同的特征，因此可以根据 MERs 的特征来识别 STN 的边界和微电极植入的最佳位置。对于微电极植入的最佳位置的识别，经验丰富的临床医生通常根据峰值、频率和振幅特征将 MERs 信号分 5 级标记，位于微电极植入的最佳位置的 MERs 属于最高两个等级，其余为非最佳位置的 MERs。因此，STN 的边界和微电极植入的最佳位置的识别可以定义为一个典型的三分类问题，即 MERs 信号来自非 STN、STN 中的最佳位置和 STN 中的非最佳位置。

由于 MERs 信号具有随机性、多分量性和非平稳性等复杂特征，将一维的 MERs 信号转化为二维图像，可以克服 MERs 复杂一维特征分析的难题。MERs 时间序列图片转换最常用的两种特征提取方法是时序特征提取和幅序特征提取。

连续小波变换作为一种时频域变换方法，具有分析非平稳信号的优势，可以有效地提取时间序列特征。

在一些实施例中，给定一个时间序列信号，连续小波变换CWT表示为：

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (1)$$

$$W(a,b) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \psi_{a,b}(t) dt \quad (2)$$

公式（1）和公式（2）中， ψ 为小波基函数， a 为尺度系数将 $\psi(t)$ 扩展或缩小到 $\psi(t/a)$ ， $a \neq 0$ ， b 为小波位置的时移系数。

在一些实施例中，采用GASF方法将所述MERs信号转换为GASF视觉图像，包括：将MERs时间序列归一化至区间 $[-1, 1]$ ，得到归一化后的MERs数据；MERs时间序列表示为 $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ ；将归一化后的MERs数据转换为极坐标；基于极坐标，得到GASF矩阵；基于GASF矩阵，生成GASF视觉图像。

复Morlet小波作为一种应用广泛的小波基函数，在CWT中对时间序列特征提取具有最优的时频分辨率和最优的聚焦性能，因此，本申请选择复Morlet小波（cmor3-3）作为小波基函数。由于尺度序列越长，频率分辨率越高，而尺度序列过长可能会造成时间分辨率的损失，因此，尺度序列长度设为256。由于信号的采样频率为12kHz，则采样时间为，总的时间序列长度为1s，时移系数序列可以通过采样时间沿时间轴得到。通过改变时移系数计算小波系数，得到最终的时频特征图。利用典型的时间序列特征提取方法CWT，可以将位于STN的最佳位置、STN的非最佳位置和非STN的MERs信号生成3维的时频图像。

为了获得MERs信号的幅序特征，利用GASF方法将MERs信号转换为GASF视觉图像。已知MERs时间序列， Y 被归一化到区间 $[-1, 1]$ 。然后将归一化后的MERs数据转换为极坐标表示，如公式（3）所示：

$$\begin{cases} \phi = \arccos(\tilde{y}_i), -1 \leq \tilde{y}_i \leq 1, \tilde{y}_i \in \tilde{Y} \\ r = \frac{t_i}{N}, t_i \in N \end{cases} \quad (3)$$

通过检验三角和，可以很容易地识别出不同时间区间内的时间相关性，则GASF矩阵如公式（4）所示：

$$G = \begin{bmatrix} \cos(\phi_1 + \phi_1) & \dots & \cos(\phi_1 + \phi_n) \\ \cos(\phi_2 + \phi_1) & \dots & \cos(\phi_2 + \phi_n) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \cos(\phi_n + \phi_1) & \dots & \cos(\phi_n + \phi_n) \end{bmatrix} \quad (4)$$

其中，角度 ϕ 和半径 r 利用归一化的MERS $\tilde{y}_i$ 的值和相应的时间戳 t 来表示，其中 N 是正则化跨度的常数因子。

然后将GASF矩阵生成尺寸为 $100 \times 100 \times 3$ 的GASF图像。来自STN的最佳位置、STN的非最佳位置和非STN的三类MERS信号生的GASF图像具有纹理和条纹特征差异。

在一些实施例中，幅频感知融合网络采用CBAM集成的卷积神经网络模型为分类器，对幅频感知融合特征图进行识别，得到STN边界以及永久治疗电极的置入位置。

为了准确地识别STN的边界和微电极植入的最佳位置，将CWT得到的时序特征图与GASF方法得到的幅序特征图相融合得到幅频感知融合特征，得到的幅频感知融合特征图的维度为 $100 \times 100 \times 6$ 。由于注意力机制可以重点提取MERS信号的幅频感知融合特征中利于分类的特征信息，抑制不相关的神经活动特征，因此本申请提出CBAM集成的CNN模型为分类器用于识别幅频感知融合特征图，可以精确的识别STN边界和微电极植入的最佳位置。

在一些实施例中，幅频感知深度融合网络采用七个阶段执行全分辨率的卷积，每个阶段包括一个卷积层模块和一个CBAM模块；最后一个阶段包括一个全连接层和一个Softmax函数，用来获得幅频感知深度融合网络的输出。

具体的，为了在分类任务中能够提取更多丰富的信息同时避免池化造成的信息丢失，该幅频感知深度融合网络采用七个阶段执行全分辨率的卷积。同时，考虑到输入图像尺寸设置为 $100 \times 100 \times 3$ ，经过四个阶段卷积之后神经元的接受域就足以覆盖输入，因此在最后三个阶段使用池化层来获得用于分类任务的高级特征。如图3所示，该幅频感知深度融合网络由七个阶段组成，每个阶段包含一个卷积层模块和一个CBAM模块。最后一个阶段是一个全连接层和一个Softmax函数用来获得整个网络的输出。Maxpooling层分别跟在第四、第五和第六阶段后面。每个卷积层之后是BN和ReLU。

如图3所示，在一些实施例中，CBAM模块包括通道注意力模块和空间注意力模块；给定一个中间特征映射 X 作为输入，整个CBAM过程表示为：

$$\begin{cases} X' = M_c(X) \otimes X \\ X'' = M_s(X') \otimes X' \end{cases} \quad (5)$$

其中， M_c 为通道注意力模块， M_s 为空间注意力模块， $\otimes$ 表示逐个元素相乘， X' 表示通过通道注意力模块后获得的特征， X'' 为CBAM的最终输出。

对于通道注意力模块，输入特征映射同时经过平均池化和最大池化，然后通过多层感知机。多层感知机包含一个共享的MLP，然后对MLP的输出特性进行元素求和，再通过sigmoid激活函数进行输出。则通道注意力模块的计算公式如下所示：

$$M_c(X) = \sigma \left(MLP \left(f_{AvgPool}(X) \right) + MLP \left(f_{MaxPool}(X) \right) \right) \quad (6)$$

其中， M_c 为通道注意力模块， $f_{AvgPool}$ 和 $f_{MaxPool}$ 分别为平均池化和最大池化； MLP 表示多层感知机， σ 为sigmoid函数。

然后将通道注意力模块的输出特征图作为空间注意力模块的输入特征图。首先，通过最大池化和平均池化处理输入特征，在通道维上进行压缩采样，然

后经过一个卷积层，得到二维空间注意力特征图；空间注意力模块的计算公式如下所示：

$$M_S(X') = \sigma(F_{cov}([f_{AvgPool}(X); f_{MaxPool}(X)])) \quad (7)$$

其中， M_S 为空间注意力模块， F_{cov} 表示卷积运算，卷积核大小为 7×7 。

CBAM模块能够有效的学习强调或抑制的特征，并有效地细化中间特征。在本申请提出的幅频感知深度融合网络中，第1~7阶段卷积层的通道数分别为16、32、64、128、128、128、128、128。卷积核大小为 3×3 ，最大池化层的核大小为 2×2 。模型网络初始化采用“random_uniform”方法，采用Adam算法进行网络优化。学习率和批量大小分别设置为 $1e-2$ 和32。在训练阶段，迭代次数设置为50。

根据上述模型分析，基于幅频感知深度融合网络的MERs信号识别算法流程如表1所示：

表 1 基于幅频感知融合网络算法的实现过程

输入：	输入样本集 D_{CWT} 和 D_{GASF}
输出：	预测标签 y_{pre}
1	将 $D_{CWT} = \{a_1, a_2, \dots, a_{100}\}$ 和 $D_{GASF} = \{b_1, b_2, \dots, b_{100}\}$ 对应特征图拼接，得到融合样本集 $X = \{c_1, c_2, \dots, c_{100}\}$
2	将 X 拆分为训练集 $X_{tr} = \{c_1, c_2, \dots, c_{80}\}$ 和测试集 $X_{test} = \{c_{81}, c_{82}, \dots, c_{100}\}$
3	将 X_{tr} 划分为10个块 $X_{tr} = \{x_1, x_2, \dots, x_{10}\}$
4	Initialization: $i = 1$
5	While $i \leq 10$ do
6	验证集 $X_{val} \leftarrow \{x_i\}$ ，则更新训练集 $X_{tr} \leftarrow \{x_1, x_2, \dots, x_{i-1}, x_{i+1}, \dots, x_{10}\}$
7	训练CBAM集成CNN模型，编译loss二值交叉熵损失函数， $lr \leftarrow 1e-2$
8	for j in range(0, len(X_{test}), batch_size=32)
9	测试模型

```

10    return  $y_{pre}$ 
11    根据 $y_{pre}$ 和 $y_{test}$ , 计算混淆矩阵
12    输出 $kfold, k++$ 
13    end
14 end while

```

具体的算法描述如下：

如表1所示， $D_{CWT} = \{a_1, a_2, \dots, a_{100}\}$ 和 $D_{GASF} = \{b_1, b_2, \dots, b_{100}\}$ 分别表示CWT和GASF方法生成的特征图组成的样本集，其中， a_1 和 b_1 分别表示第一个患者的CWT和GASF特征图集合，以此类推。首先将 D_{CWT} 和 D_{GASF} 样本集对应样本进行拼接得到融合特征图样本集 X ，样本集 X 表示100人的MERS数据生成的两种融合特征图组成的集合。第二，将100人样本集拆分为80人用于训练，20人用于测试，则可以得到训练集 $X_{tr} = \{c_1, c_2, \dots, c_{80}\}$ 和测试集 $X_{test} = \{c_{81}, c_{82}, \dots, c_{100}\}$ 。第三，将 X_{tr} 以8人为一组，分为10个块 $X_{tr} = \{x_1, x_2, \dots, x_{10}\}$ ，其中表示以8人为一组组成的特征图集合。第四，采用十折交叉方法将训练集中的一块数据用作验证集 X_{val} ，则训练集中其余数据更新为新的训练集，将得到的新的训练集和验证集输入到CBAM增强网络模型中，用于训练模型参数。第五，在测试过程，将测试集输入到训练好的模型中，得到预测的标签值 y_{pre} ，然后根据测试集标签 y_{test} 计算预测结果与实际结果的混淆矩阵，可以得到算法的分类准确率、精确率等评价结果，用来评价模型性能。

在一些实施例中，步骤S5中对STN的边界以及所述永久治疗电极的置入位置进行分析，确定最优刺激触点，包括：对STN的边界以及永久治疗电极的置入位置进行分析，得到永久治疗电极的置入策略；基于永久治疗电极的置入策略，确定最优刺激触点；永久治疗电极的置入策略为永久治疗电极的顶端靠近STN的下边界；最优刺激触点的选择的原则是覆盖永久治疗电极植入的最佳位置的聚集区。

最优刺激触点的选择包括永久治疗电极的置入策略以及术后最优开机触点的选择策略。

对于永久治疗电极的置入策略，永久治疗电极置入位置会严重影响最优触点的选择，其原因是永久治疗电极置入过深，若超过STN的下边界，触及黑质会对患者造成不良后果，严重的可能诱发各种并发症，若电极没有完全置入STN中，则对靶区术后开机程控的覆盖面不够，不能完全改善患者的运动状态。永久治疗电极置入之前，首先需要利用微电极多次探测以找到STN的边界和微电极植入的最佳位置，第三节中已经介绍了根据MERs信号识别STN的边界和电极植入的最佳位置的主要过程。由于永久治疗电极置入需要受多个条件的限制，因此如何根据STN的边界和微电极植入最佳位置以及其他的限制条件制定一个合理的永久治疗电极的置入策略也是一个难点。

永久治疗电极置入受多个条件限制，主要包括STN的尺寸、永久治疗电极的尺寸、触点电刺激的覆盖区域，具体描述如下：

(1) STN的尺寸。依据MERs信号特征可以得到STN边界范围为-1到4.5点区间范围，则得到实际的STN的尺寸为5.5mm，而且STN的下边界也有明显差异，因此永久治疗电极的置入要严格参照实际识别的STN区域。

(2) 永久治疗电极的尺寸。永久治疗电极的长度约为7.5mm，由四个1.5mm长的触点组成，间隔0.5mm。每个触点都可以外加电刺激，对靶区进行程控，而且程控的区域也是有限的。

(3) 触点电刺激的覆盖区域。选择的最优电极触点外加电刺激要尽量覆盖STN，尤其是感觉运动区域，同时又需要避免刺激SN，避免术后程控对患者带来副作用。

因此，综合分析STN的尺寸、永久治疗电极的尺寸、触点电刺激的覆盖区域这三个限制因素，本申请将DBS永久治疗电极置入的最佳位置总结为电极的顶端要靠近STN下边界。

对于术后最优开机触点的选择策略，永久治疗电极置入STN之后，在胸前植入脉冲发生器，则STN-DBS手术完成。患者STN-DBS手术之后，需要经过开机程控即在治疗电极的最优触点上加入电刺激以达到改善患者运动状态的目的。最优开机触点应尽可能的电刺激感觉运动区，才能达到最佳治疗效果。由于微电极植入的最佳位置的聚集区可视为STN的感觉运动区，因此根据微电极植入的最佳位置的分布可以确定最佳的刺激触点，同时还应该注意避免电刺激影响SN。通过MERs信号可以有效的识别出微电极植入的最佳位置，最优刺激触点的选择的原则是覆盖微电极植入的最佳位置的聚集区。微电极植入的最佳位置的聚集区主要是位于电极深度为1~2.5mm区间内，则该区间覆盖的电极触点为标号2触点，因此术后的最佳刺激触点选择是以微电极植入的最佳位置的聚集区为重要依据。

通过本申请提供的丘脑底核深部脑刺激术电极开机触点选择方法进行实验验证，结果证实本申请的微电极植入的最佳位置的识别准确率为97.47%，能够满足临床准确率要求。此外，本申请能够实现从20个测试患者中精准识别出18个患者的最优刺激触点，因此最优刺激触点准确率 $\text{Accuracy}=18/(20*100\%)=90\%$ 。在临床实践中，临床医生通常选择最优和次最优电刺激触点作为最终候选触点。结合临床实践，将次最优触点考虑到最终结果评价当中，则本申请能有效的识别出20个测试患者的最优触点，准确率可以达到100%，满足精准手术的要求。因此，本申请的选择与临床医生的选择一致，可以为神经外科医生提供有用的指导。

参看图4，本申请实施例还提供了一种丘脑底核深部脑刺激术电极开机触点选择系统，包括：依次连接的MERs信号采集模块101、特征提取模块102、特征融合模块103、识别模块104以及分析模块105；MERs信号采集模块101用于采集待测患者的不同脑区的MERs信号；特征提取模块102用于从所述MERs信号中分别提取时序特征与幅序特征；特征融合模块103用于将所述时序特征与所述幅序特征融合，得到MERs信号的幅频感知融合特征图；识别模块104用于将所述幅频感

知融合特征图输入至幅频感知融合网络,对STN的边界和微电极植入最佳位置进行识别,确定STN的边界以及永久治疗电极的置入位置;分析模块105用于对所述STN的边界以及所述永久治疗电极的置入位置进行分析,确定最优刺激触点。

参看图5,本申请另一实施例提供了一种电子设备,包括:至少一个处理器110;以及,与至少一个处理器通信连接的存储器111;其中,存储器111存储有可被至少一个处理器110执行的指令,指令被至少一个处理器110执行,以使至少一个处理器110能够执行上述任一方法实施例。

其中,存储器111和处理器110采用总线方式连接,总线可以包括任意数量的互联的总线和桥,总线将一个或多个处理器110和存储器111的各种电路连接在一起。总线还可以将诸如外围设备、稳压器和功率管理电路等之类的各种其他电路连接在一起,这些都是本领域所公知的,因此,本文不再对其进行进一步描述。总线接口在总线和收发机之间提供接口。收发机可以是一个元件,也可以是多个元件,比如多个接收器和发送器,提供用于在传输介质上与各种其他装置通信的单元。经处理器110处理的数据通过天线在无线介质上进行传输,进一步,天线还接收数据并将数据传送给处理器110。

处理器110负责管理总线和通常的处理,还可以提供各种功能,包括定时,外围接口,电压调节、电源管理以及其他控制功能。而存储器111可以被用于存储处理器110在执行操作时所使用的数据。

本申请另一实施例涉及一种计算机可读存储介质,存储有计算机程序。计算机程序被处理器执行时实现上述方法实施例。

由以上技术方案,本申请实施例提供一种丘脑底核深部脑刺激术电极开机触点选择方法及系统,该方法包括以下步骤:首先,采集待测患者的不同脑区的MERs信号;从MERs信号中分别提取时序特征与幅序特征;将时序特征与幅序特征融合,得到MERs信号的幅频感知融合特征图;将幅频感知融合特征图输入至幅频感知融合网络,对STN的边界和微电极植入最佳位置进行识别,确定STN

的边界以及永久治疗电极的置入位置；对STN的边界以及永久治疗电极的置入位置进行分析，确定最优刺激触点。

本申请提供的丘脑底核深部脑刺激术电极开机触点选择方法，是基于幅频感知深度融合网络的STN-DBS电极最优触点的选择方法。该方法将幅频感知融合特征和CBAM集成CNN模型用于STN边界和微电极植入的最佳位置的识别，根据STN边界指导STN-DBS永久治疗电极的置入，依据微电极植入的最佳位置分布选择术后最佳的开机触点。实验结果表明，本申请STN识别的平均准确率为96.78%，精确率为97.77%，灵敏度为95.26%，特异度为98.07%；微电极植入的最佳位置识别的平均准确率为98.24%，精确率为98.53%，灵敏度为96.05%，特异度为99.31%，所有结果均优于目前的STN和微电极植入的最佳位置识别算法。所提出的方法选择的最优触点与神经外科医生的成功决策结果一致，这表明本申请所提出的方法在提高手术效率的同时减少对临床医生经验的依赖有很大的潜力。

即，本领域技术人员可以理解，实现上述实施例方法中的全部或部分步骤是可以通程序来指令相关的硬件来完成，该程序存储在一个存储介质中，包括若干指令用以使得一个设备（可以是单片机，芯片等）或处理器（processor）执行本申请各个实施例上述方法的全部或部分步骤。而前述的存储介质包括：U盘、移动硬盘、只读存储器（ROM，Read-Only Memory）、随机存取存储器（RAM，Random Access Memory）、磁碟或者光盘等各种可以存储程序代码的介质。

本领域的普通技术人员可以理解，上述各实施方式是实现本申请的具体实施例，而在实际应用中，可以在形式上和细节上对其作各种改变，而不偏离本申请的精神和范围。任何本领域技术人员，在不脱离本申请的精神和范围内，均可作各自更动与修改，因此本申请的保护范围应当以权利要求限定的范围为准。

权 利 要 求 书

1、一种丘脑底核深部脑刺激术电极开机触点选择方法,其特征在于,包括:
 采集待测患者的不同脑区的 MERs 信号;
 从所述 MERs 信号中分别提取时序特征与幅序特征;
 将所述时序特征与所述幅序特征融合,得到 MERs 信号的幅频感知融合特征图;
 将所述幅频感知融合特征图输入至幅频感知融合网络,对 STN 的边界和微电极植入最佳位置进行识别,确定 STN 的边界以及永久治疗电极的置入位置;
 对所述 STN 的边界以及所述永久治疗电极的置入位置进行分析,确定最优刺激触点。

2、根据权利要求 1 所述的丘脑底核深部脑刺激术电极开机触点选择方法,其特征在于,从所述 MERs 信号中分别提取时序特征与幅序特征,包括:
 采用连续小波变换方法,从所述 MERs 信号中提取时序特征;以及采用 GASF 方法将所述 MERs 信号转换为 GASF 视觉图像,并基于所述 GASF 视觉图像,提取幅序特征。

3、根据权利要求 2 所述的丘脑底核深部脑刺激术电极开机触点选择方法,其特征在于,所述连续小波变换表示为:

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (1)$$

$$W(a,b) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \psi_{a,b}(t) dt \quad (2)$$

公式(1)和公式(2)中, ψ 为小波基函数, a 为尺度系数将 $\psi(t)$ 扩展或缩小到 $\psi(t/a)$, $a \neq 0$, b 为小波位置的时移系数。

4、根据权利要求 2 所述的丘脑底核深部脑刺激术电极开机触点选择方法,其特征在于,采用 GASF 方法将所述 MERs 信号转换为 GASF 视觉图像,包括:
 将 MERs 时间序列归一化至区间 $[-1, 1]$,得到归一化后的 MERs 数据;所述

MERs 时间序列表示为 $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$;

将所述归一化后的 MERs 数据转换为极坐标;

基于所述极坐标, 得到 GASF 矩阵;

基于所述 GASF 矩阵, 生成 GASF 视觉图像;

所述极坐标如公式 (3) 所示:

$$\begin{cases} \phi = \arccos(\tilde{y}_i), -1 \leq \tilde{y}_i \leq 1, \tilde{y}_i \in \tilde{Y} \\ r = \frac{t_i}{N}, t_i \in N \end{cases} \quad (3)$$

所述 GASF 矩阵如公式 (4) 所示:

$$G = \begin{bmatrix} \cos(\phi_1 + \phi_1) & \dots & \cos(\phi_1 + \phi_n) \\ \cos(\phi_2 + \phi_1) & \dots & \cos(\phi_2 + \phi_n) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \cos(\phi_n + \phi_1) & \dots & \cos(\phi_n + \phi_n) \end{bmatrix} \quad (4)$$

其中, 角度 ϕ 和半径 r 利用归一化的 MERs $\tilde{y}_i$ 的值和相应的时间戳 t 来表示, 其中 N 是正则化跨度的常数因子。

5、根据权利要求 1 所述的丘脑底核深部脑刺激术电极开机触点选择方法, 其特征在于, 所述幅频感知融合网络采用 CBAM 集成的卷积神经网络模型为分类器, 对所述幅频感知融合特征图进行识别, 得到 STN 边界以及永久治疗电极的置入位置。

6、根据权利要求 5 所述的丘脑底核深部脑刺激术电极开机触点选择方法, 其特征在于, 所述幅频感知深度融合网络采用七个阶段执行全分辨率的卷积, 每个阶段包括一个卷积层模块和一个 CBAM 模块; 最后一个阶段包括一个全连接层和一个 Softmax 函数, 用来获得所述幅频感知深度融合网络的输出。

7、根据权利要求 6 所述的丘脑底核深部脑刺激术电极开机触点选择方法, 其特征在于, 所述 CBAM 模块包括通道注意力模块和空间注意力模块;

给定一个中间特征映射 X 作为输入, 整个 CBAM 过程表示为:

$$\begin{cases} X' = M_c(X) \otimes X \\ X'' = M_s(X') \otimes X' \end{cases} \quad (5)$$

其中, M_c 为通道注意力模块, M_s 为空间注意力模块, $\otimes$ 表示逐个元素相乘, X' 表示通过通道注意力模块后获得的特征, X'' 为 CBAM 的最终输出。

8、根据权利要求 7 所述的丘脑底核深部脑刺激术电极开机触点选择方法, 其特征在于, 所述通道注意力模块的计算公式如下所示:

$$M_c(X) = \sigma \left(MLP \left(f_{AvgPool}(X) \right) + MLP \left(f_{MaxPool}(X) \right) \right) \quad (6)$$

其中, M_c 为通道注意力模块, $f_{AvgPool}$ 和 $f_{MaxPool}$ 分别为平均池化和最大池化; MLP 表示多层感知机, σ 为 sigmoid 函数;

所述空间注意力模块的计算公式如下所示:

$$M_s(X') = \sigma(F_{cov}([f_{AvgPool}(X); f_{MaxPool}(X)])) \quad (7)$$

其中, M_s 为空间注意力模块, F_{cov} 表示卷积运算。

9、根据权利要求 1 所述的丘脑底核深部脑刺激术电极开机触点选择方法, 其特征在于, 对所述 STN 的边界以及所述永久治疗电极的置入位置进行分析, 确定最优刺激触点, 包括:

对所述 STN 的边界以及所述永久治疗电极的置入位置进行分析, 得到永久治疗电极的置入策略; 基于所述永久治疗电极的置入策略, 确定最优刺激触点;

所述永久治疗电极的置入策略为永久治疗电极的顶端靠近 STN 的下边界;

所述最优刺激触点的选择的的原则是覆盖永久治疗电极植入的最佳位置的聚集区。

10、一种丘脑底核深部脑刺激术电极开机触点选择系统, 其特征在于, 包括: 依次连接的 MERs 信号采集模块、特征提取模块、特征融合模块、识别模块以及分析模块;

所述 MERs 信号采集模块用于采集待测患者的不同脑区的 MERs 信号；

所述特征提取模块用于从所述 MERs 信号中分别提取时序特征与幅序特征；

所述特征融合模块用于将所述时序特征与所述幅序特征融合，得到 MERs 信号的幅频感知融合特征图；

所述识别模块用于将所述幅频感知融合特征图输入至幅频感知融合网络，对 STN 的边界和微电极植入最佳位置进行识别，确定 STN 的边界以及永久治疗电极的置入位置；

所述分析模块用于对所述 STN 的边界以及所述永久治疗电极的置入位置进行分析，确定最优刺激触点。

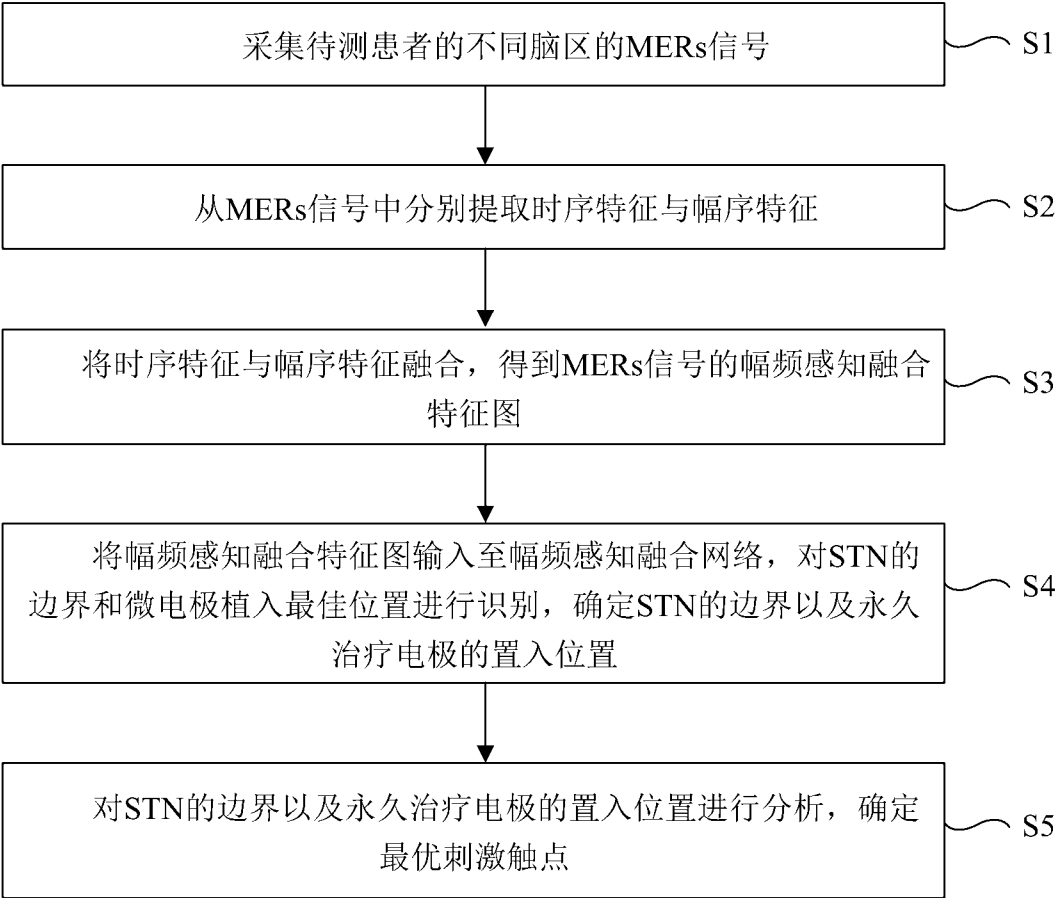


图 1

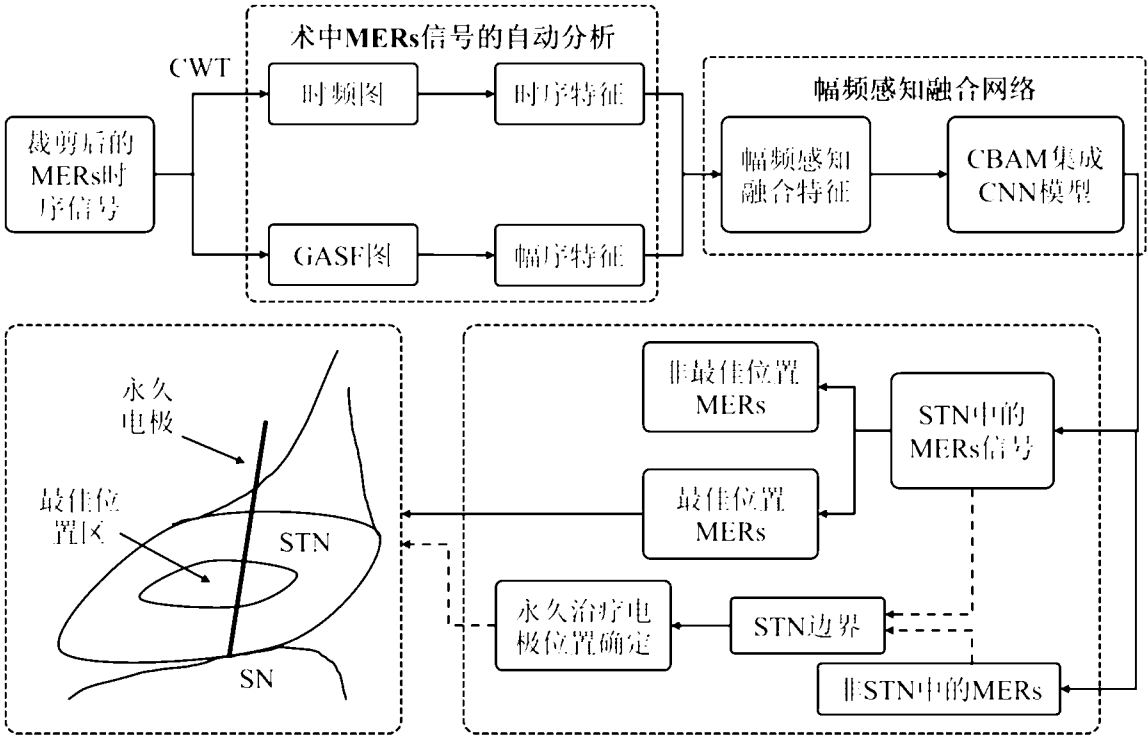
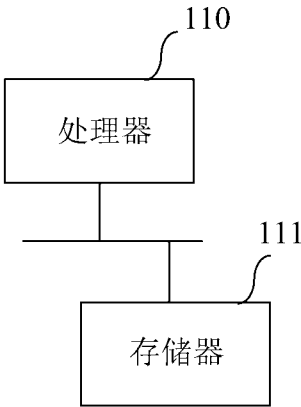
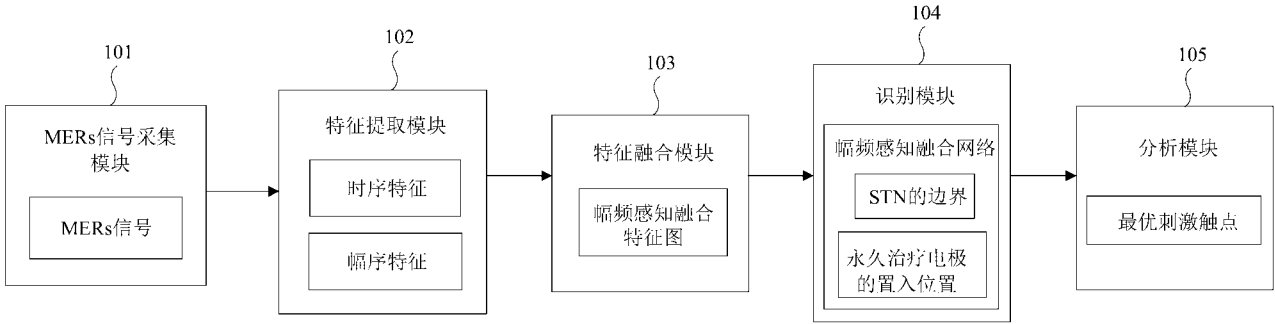
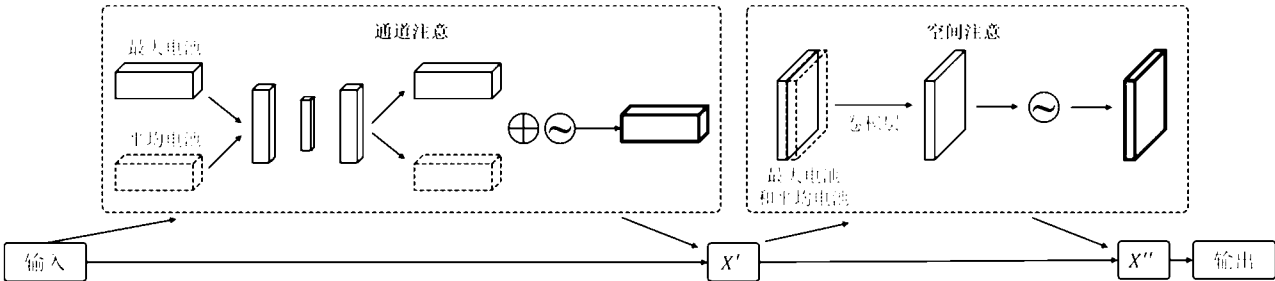


图 2



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2023/137693

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER A61N1/36(2006.01)i According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC																	
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC: A61N Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) CNTXT, ENTXTC, CNKI, DWPI, WPABS: 中国科学院深圳先进技术研究院, MERs, 丘脑底核, STN, 深部脑刺激, DBS, 微电极, 时序, 时间序列, 幅序, 振幅序列, 融合, 网络, 最佳, 最优, 刺激, 放置, 置入, 位置, 植入, 连续小波, GASF, CBAM, 卷积, microelectrode record, time, frequency, amplitude, combine, sequence, convolutional block attention module, implant, border, position, sweet, spot																	
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT <table border="1"> <thead> <tr> <th>Category*</th> <th>Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages</th> <th>Relevant to claim No.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PX</td> <td>CN 116943027 A (SHENZHEN INSTITUTES OF ADVANCED TECHNOLOGY, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) 27 October 2023 (2023-10-27) claims 1-10</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>X</td> <td>XIAO, Linxia et al. "Amplitude-frequency-aware deep fusion network for optimal contact selection on STN-DBS electrodes" <i>SCIENCE CHINA</i>, Vol. 65, 10 March 2022 (2022-03-10), 140404:1-140404:16 chapters 1-2, and figure 2</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>WO 2022211976 A1 (THE REGENTS OF THE UNIVERSITY OF MICHIGAN) 06 October 2022 (2022-10-06) entire document</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 2010100152 A1 (KONINKLIJKE PHILIPS ELECTRONICS N. V.) 22 April 2010 (2010-04-22) entire document</td> <td>1-10</td> </tr> </tbody> </table>			Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.	PX	CN 116943027 A (SHENZHEN INSTITUTES OF ADVANCED TECHNOLOGY, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) 27 October 2023 (2023-10-27) claims 1-10	1-10	X	XIAO, Linxia et al. "Amplitude-frequency-aware deep fusion network for optimal contact selection on STN-DBS electrodes" <i>SCIENCE CHINA</i> , Vol. 65, 10 March 2022 (2022-03-10), 140404:1-140404:16 chapters 1-2, and figure 2	1-10	A	WO 2022211976 A1 (THE REGENTS OF THE UNIVERSITY OF MICHIGAN) 06 October 2022 (2022-10-06) entire document	1-10	A	US 2010100152 A1 (KONINKLIJKE PHILIPS ELECTRONICS N. V.) 22 April 2010 (2010-04-22) entire document	1-10
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.															
PX	CN 116943027 A (SHENZHEN INSTITUTES OF ADVANCED TECHNOLOGY, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) 27 October 2023 (2023-10-27) claims 1-10	1-10															
X	XIAO, Linxia et al. "Amplitude-frequency-aware deep fusion network for optimal contact selection on STN-DBS electrodes" <i>SCIENCE CHINA</i> , Vol. 65, 10 March 2022 (2022-03-10), 140404:1-140404:16 chapters 1-2, and figure 2	1-10															
A	WO 2022211976 A1 (THE REGENTS OF THE UNIVERSITY OF MICHIGAN) 06 October 2022 (2022-10-06) entire document	1-10															
A	US 2010100152 A1 (KONINKLIJKE PHILIPS ELECTRONICS N. V.) 22 April 2010 (2010-04-22) entire document	1-10															
☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.																	
* Special categories of cited documents: “A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance “D” document cited by the applicant in the international application “E” earlier application or patent but published on or after the international filing date “L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) “O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means “P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed “T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention “X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone “Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art “&” document member of the same patent family																	
Date of the actual completion of the international search 19 February 2024		Date of mailing of the international search report 22 February 2024															
Name and mailing address of the ISA/CN China National Intellectual Property Administration (ISA/CN) China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing 100088		Authorized officer Telephone No.															

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2023/137693**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2018033732 A1 (OXFORD UNIVERSITY INNOVATION LIMITED) 22 February 2018 (2018-02-22) entire document	1-10
A	CN 113797440 A (BEIJING Tiantan Hospital, Capital Medical University) 17 December 2021 (2021-12-17) entire document	1-10
A	CN 110337312 A (BRAINLAB AG) 15 October 2019 (2019-10-15) entire document	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2023/137693

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	116943027	A	27 October 2023	None			
WO	2022211976	A1	06 October 2022	None			
US	2010100152	A1	22 April 2010	RU	2009136435	A	10 April 2011
				RU	2467773	C2	27 November 2012
				EP	2131916	A1	16 December 2009
				JP	2010519949	A	10 June 2010
				EP	2495011	A1	05 September 2012
				WO	2008107815	A1	12 September 2008
WO	2018033732	A1	22 February 2018	GB	201613982	D0	28 September 2016
CN	113797440	A	17 December 2021	None			
CN	110337312	A	15 October 2019	US	2019343389	A1	14 November 2019
				US	11020004	B2	01 June 2021
				EP	3589355	A1	08 January 2020
				EP	3589355	B1	30 September 2020
				WO	2018157909	A1	07 September 2018
				JP	2020508763	A	26 March 2020
				JP	6844019	B2	17 March 2021

A. 主题的分类

A61N1/36(2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

IPC: A61N

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))

CNTEXT,ENTXTC,CNKI,DWPI,WPABS: 中国科学院深圳先进技术研究院, MERs, 丘脑底核, STN,深部脑刺激, DBS, 微电极, 时序, 时间序列, 幅序, 振幅序列, 融合, 网络, 最佳, 最优, 刺激, 放置, 置入, 位置, 植入, 连续小波, GASF, CBAM, 卷积, microelectrode record,time, frequency, amplitude, combine, sequence, convolutional block attention module, implant, border, position, sweet, spot

C. 相关文件

类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 116943027 A (中国科学院深圳先进技术研究院) 2023年10月27日 (2023 - 10 - 27) 权利要求1-10	1-10
X	XIAO, Linxia 等. "Amplitude-frequency-aware deep fusion network for optimal contact selection on STN-DBS electrodes" SCIENCE CHINA, 第65卷, 2022年3月10日 (2022 - 03 - 10), 140404:1-140404:16 第1-2章, 图2	1-10
A	WO 2022211976 A1 (THE REGENTS OF THE UNIVERSITY OF MICHIGAN) 2022年10月6日 (2022 - 10 - 06) 全文	1-10
A	US 2010100152 A1 (KONINKLIJKE PHILIPS ELECTRONICS N.V.) 2010年4月22日 (2010 - 04 - 22) 全文	1-10

☒ 其余文件在C栏的续页中列出。

☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

"A" 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

"D" 申请人在国际申请中引证的文件

"E" 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

"L" 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的)

"O" 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

"P" 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

"T" 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

"X" 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

"Y" 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

"&" 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2024年2月19日

国际检索报告邮寄日期

2024年2月22日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中国国家知识产权局
中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

授权官员

李尹岑

电话号码 (+86) 010-53962490

PCT/ISA/210 表(第2页) (2022年7月)

C. 相关文件		
类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
A	WO 2018033732 A1 (OXFORD UNIVERSITY INNOVATION LIMITED) 2018年2月22日 (2018 - 02 - 22) 全文	1-10
A	CN 113797440 A (首都医科大学附属北京天坛医院) 2021年12月17日 (2021 - 12 - 17) 全文	1-10
A	CN 110337312 A (博医来股份公司) 2019年10月15日 (2019 - 10 - 15) 全文	1-10

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2023/137693

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	116943027	A	2023年10月27日	无			
WO	2022211976	A1	2022年10月6日	无			
US	2010100152	A1	2010年4月22日	RU	2009136435	A	2011年4月10日
				RU	2467773	C2	2012年11月27日
				EP	2131916	A1	2009年12月16日
				JP	2010519949	A	2010年6月10日
				EP	2495011	A1	2012年9月5日
				WO	2008107815	A1	2008年9月12日
WO	2018033732	A1	2018年2月22日	GB	201613982	D0	2016年9月28日
CN	113797440	A	2021年12月17日	无			
CN	110337312	A	2019年10月15日	US	2019343389	A1	2019年11月14日
				US	11020004	B2	2021年6月1日
				EP	3589355	A1	2020年1月8日
				EP	3589355	B1	2020年9月30日
				WO	2018157909	A1	2018年9月7日
				JP	2020508763	A	2020年3月26日
				JP	6844019	B2	2021年3月17日