

(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
2022 年 1 月 27 日 (27.01.2022)



(10) 国际公布号
WO 2022/017202 A1

(51) 国际专利分类号:

A61B 5/00 (2006.01)

(21) 国际申请号:

PCT/CN2021/105590

(22) 国际申请日:

2021 年 7 月 9 日 (09.07.2021)

(25) 申请语言:

中文

(26) 公布语言:

中文

(30) 优先权:

202010728201.9 2020 年 7 月 24 日 (24.07.2020) CN
202110426679.0 2021 年 4 月 20 日 (20.04.2021) CN

(71) 申请人: 天津大学 (TIANJIN UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国天津市南开区卫津路 92 号, Tianjin 300072 (CN)。

(72) 发明人: 许敏鹏 (XU, Minpeng); 中国天津市南开区卫津路 92 号, Tianjin 300072 (CN)。 吴乔逸 (WU, Qiaoyi); 中国天津市南开区卫津路 92 号, Tianjin 300072 (CN)。 罗睿心 (LUO, Ruixin); 中国天津市南开区卫津路 92 号, Tianjin 300072 (CN)。

(CN)。 明东 (MING, Dong); 中国天津市南开区卫津路 92 号, Tianjin 300072 (CN)。

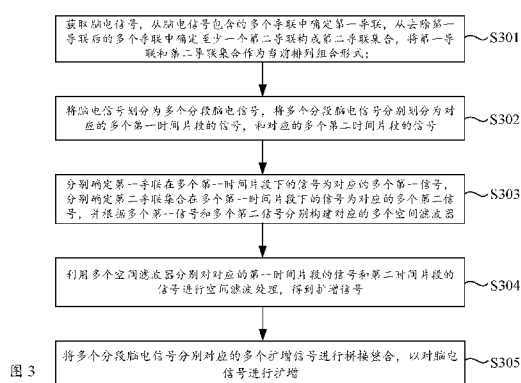
(74) 代理人: 北京清亦华知识产权代理事务所 (普通合伙) (TSINGYIHUA INTELLECTUAL PROPERTY LLC); 中国北京市海淀区北洼路 45 号 1 号楼 2 层 201, Beijing 100142 (CN)。

(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, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, 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, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM,

(54) Title: METHOD AND APPARATUS FOR DYNAMIC SPATIAL FILTERING AND AMPLIFICATION OF ELECTROENCEPHALOGRAPH, ELECTRONIC DEVICE, AND STORAGE MEDIUM

(54) 发明名称: 脑电信号的动态空间滤波与扩增方法、装置、电子设备以及存储介质



- S301 Acquire EEG, determine a first lead from a plurality of leads contained in the EEG, determine at least one second lead from the plurality of leads, from which the first lead has been removed, to constitute a second lead set, and take the first lead and the second lead set as a current permutation and combination form
- S302 Divide the EEG into a plurality of segmented EEGs, divide the plurality of segmented EEGs into corresponding signals of a plurality of first time segments and corresponding signals of a plurality of second time segments
- S303 Respectively determine that signals of the first lead in the plurality of first time segments are the corresponding multiple first signals, respectively determine that signals of the second lead set in the plurality of first time segments are the corresponding multiple second signals, and respectively construct corresponding multiple spatial filters according to the multiple first signals and the multiple second signals
- S304 Use the multiple spatial filters to respectively perform spatial filtering processing on the corresponding signals of the first time segments and signals of the second time segments, to obtain amplified signals
- S305 Splice and integrate a plurality of amplified signals respectively corresponding to the plurality of segmented EEGs, to amplify the EEG

(57) Abstract: The present application provides a method and an apparatus for dynamic spatial filtering and amplification of electroencephalogram (EEG), an electronic device and a storage medium. Said method comprises: constructing a spatial filter according to lead information of EEG; and using the spatial filter to perform amplification processing on the EEG. Thus, a spatial filter can be constructed according to the EEG, and potential EEG information is effectively developed from original EEG according to the spatial filter, thereby reflecting current EEG characteristics, achieving the purpose of amplifying the EEG, and achieving the technical effect of improving the reliability and effectiveness of EEG information.

(57) 摘要: 本申请提供一种脑电信号的动态空间滤波与扩增方法、装置、电子设备以及存储介质, 方法包括: 根据脑电信号的导联信息, 构建空间滤波器; 以及利用空间滤波器对脑电信号进行扩增处理。从而, 可以根据脑电信号构建空间滤波器, 并根据空间滤波器从原有的脑电信号中有效发掘潜在的脑电信息, 反映当前脑电特性, 实现了对脑电信号进行扩增的目的, 达到了提高脑电信息的可靠性和有效性的技术效果。

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, 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))。

脑电信号的动态空间滤波与扩增方法、装置、电子设备以及存储介质

相关申请的交叉引用

本申请要求天津大学于 2020 年 07 月 24 日提交中国专利局、申请号为 202010728201.9、发明名称为“一种脑电空间滤波器的动态构建方法”的中国专利申请的优先权，以及天津大学于 2021 年 04 月 20 日提交中国专利局、申请号为 202110426679.0、发明名称为“脑电信号的扩增方法、装置、电子设备以及存储介质”的中国专利申请的优先权。其全部内容通过引用结合在本申请中。

技术领域

本申请涉及计算机、脑机接口、脑功能认知状态评估、脑状态检测等多个领域，特别是指一种脑电信号的动态空间滤波与扩增方法、装置、电子设备以及存储介质。

背景技术

脑电信号 (electroencephalogram, EEG) 是大脑神经细胞的电生理活动在大脑皮层的总体反映，可由头皮电极进行记录 (图 1A 示出了电极放置示意图)。脑电信号包含了大量的生理信息，在工程应用方面，EEG 信号可以用来设计实现脑-机接口 (Brain-Computer Interface, BCI)。脑-机接口是一种能够获取并解码人脑产生的生理信号来控制计算机或外部设备的新型人-机交互系统，可以脱离大脑正常的指令输出通路，无需经由外周神经和相关肌肉组织的传统运动控制途径。按照刺激范式的不同，BCI 系统可以分为主动式、被动式和反应式三种。主动式 BCI 的特点是用户主动输出指令控制外部设备，以基于运动想象 (Motor Imagery, MI) 信号的系统为主；被动式 BCI 多用于检测大脑状态，如精神状态和

注意力水平等；反应式 BCI 主要用于检测大脑基于外部刺激的响应并间接输出控制指令，刺激诱发信号种类众多，如事件相关电位(Event-Related Potential, ERP)、稳态视觉诱发电位(Steady State Visual Evoked Potential, SSVEP)、错误相关电位(Error-Related Potential, ErrP)、事件相关去同步(Event-Related Desynchronization, ERD)等。BCI 系统尤其适用于以下两种应用场景：（1）基本肢体运动功能受损、但思维正常的患者；（2）工作空间狭窄，不方便进行肢体运动（如航天环境等）。因此，BCI 技术在当下越来越受到重视。

EEG 信号是非平稳、时变的随机信号，而且容易受到背景活动噪声、运动伪迹、电磁噪声等的干扰。为了降低噪声干扰，提高有效信号的信噪比，大多数采集到的脑电信号通常都需要经过各种预处理之后才能进行下一步的分析：例如降采样可以减少存储压力，提高实时运算速度，同时在一定程度上抑制高频噪声的干扰；数字滤波常用来滤除或保留特定频段的信号，主要种类有低通滤波、高通滤波、带通滤波和陷波等；信号空间投影(Signal-Space Projection, SSP)常用来消除设备产生的电磁噪声和眼电干扰；独立成分分析(Independent Component Analysis, ICA)常用于分离多个非高斯的统计独立的源信号；主成分分析(Principle Component Analysis, PCA)常用于数据降维提取信号的主要特征；麦克斯韦滤波(Maxwell Filtering)与信号空间分离(Signal-Space Separation, SSS)常用于分离并去除外部源的电磁噪声（环境噪声）等等。

最近几年，脑电信号及其应用得到了愈发广泛和深入的研究，脑-机接口系统的指令集数量不断加大，信息传输率(Information Transfer Rate, ITR)逐步提高。然而目前相关研究和发展在更快响应时间和更高准确率两个方向上似乎都达到了瓶颈，其中一个很重要的原因在于前述常规的脑电数据预处理手段不足以进一步提升特征信号的质量，且现有空间滤波器的具体参数大多由训练集数据或相应的先验知识提前固定，因此无法很好地处理具有强随机性、非线性和非平稳性的各类非目标特征的脑电噪声。

此外，针对脑电信号的传统信号处理方法主要包括预处理、特征提取、模

式识别三个步骤（如图 1B 虚线框所示），在实际应用中至关重要。其中信号预处理能够抑制噪声信号，有助于特征提取和分类识别，但是无法增加信号的有效成分信息。近年来，以 EEG 信号作为大脑信息获取方法的 BCI 系统发展迅速，其性能得到了不断优化。然而，脑电信号的解码仍然存在着空间分辨率低、数据量小等限制。为了有效利用已有的脑电数据，研究者们期望通过数据扩增方法来增加信号的有效信息。EEG 信号是多通道的动态时间序列，不适合使用传统图像增强的几何变换方法。目前研究中的脑电信号扩增方法的作用效果有限、鲁棒性较差，因此在实际的 BCI 系统构建中均未能得到广泛使用。

发明内容

本申请提供了一种脑电信号的动态空间滤波与扩增方法、装置、电子设备以及存储介质，旨在至少在一定程度上解决相关技术中的技术问题之一。

根据第一方面，提供了一种脑电信号的动态空间滤波与扩增方法，包括：根据脑电信号的导联信息，构建空间滤波器；以及利用空间滤波器对脑电信号进行扩增处理。

可选地，根据脑电信号的导联信息，构建空间滤波器，包括以下步骤：

1) 输入训练集数据之后按设定时间点划分前后数据段，并从前后数据段中选定目标导联；

2) 对剩余导联进行抽选，抽选出一部分导联，分别确定两个时间段下的目标导联与抽选导联集合的信号，然后利用上述四部分信号求解目标函数，构建统一模型；

3) 判断目标函数的输出是否满足终止条件，如果是，执行步骤 4)，如果不是，重新执行步骤 2)；

4) 输入当前的测试数据并按照步骤 1) 进行预处理，根据模型训练得出的导联集合从预处理后的测试数据中抽选导联信号；

5) 结合步骤 4) 抽选的信号对测试目标导联应用统一模型，动态求解适用

于当前环境的空间滤波器并对测试数据进行空间滤波。

可选地，按设定时间点划分前后数据段具体为：根据人为设定的起始时刻 $t=t_0$ 将张量 ϕ 划分为 $t < t_0$ 的脑电片段 $X \in \mathbf{R}^{N_c \times N_s \times m}$ 和 $t > t_0$ 的脑电片段 $Y \in \mathbf{R}^{N_c \times N_s \times n}$ ， m 和 n 分别为数据点数且均为常数， $\mathbf{R}$ 表示常数集， N_c 表示采集数据包含的导联个数， N_s 表示总试次数。

可选地，统一模型具体为：

$$\left\{ \begin{aligned} \hat{U}_i^{(k)} = \arg \min_{U_i^{(k)}} \left\{ \left\| U_i^{(k)} * X^{(k)}(\varsigma_i, :) - X^{(k)}(i, :) \right\|_p \right\} \end{aligned} \right. \quad (1)$$

$$\left\{ \begin{aligned} \hat{\varsigma}_i = \arg \max_{\varsigma_i} \left\{ f \left(\left\{ \chi^{(k)} \mid k=1, 2, \dots, N_s \right\}, \left\{ \gamma^{(k)} \mid k=1, 2, \dots, N_s \right\} \right) \right\} \end{aligned} \right. \quad (2)$$

$$\chi^{(k)} = U_i^{(k)} * X^{(k)}(\varsigma_i, :) - X^{(k)}(i, :) \quad (3)$$

$$\gamma^{(k)} = U_i^{(k)} * Y^{(k)}(\varsigma_i, :) - Y^{(k)}(i, :) \quad (4)$$

其中， $X^{(k)}(i, :) \in \mathbf{R}^{1 \times m}$ 与 $Y^{(k)}(i, :) \in \mathbf{R}^{1 \times n}$ 分别表示 $t < t_0$ 和 $t > t_0$ 两个时段内，目标导联 i 的第 k 个试次的信号； ς_i 表示从除目标导联 i 以外的剩余导联中抽选的 φ 个导联组成的导联集合， $X^{(k)}(\varsigma_i, :) \in \mathbf{R}^{\varphi \times m}$ 与 $Y^{(k)}(\varsigma_i, :) \in \mathbf{R}^{\varphi \times n}$ 分别表示 t_0 前后两个时段内导联集合 ς_i 的第 k 个试次的信号； $\hat{\varsigma}_i$ 为使得函数 f 输出值最大的导联集合 ς_i 的估计；式(1)为空间滤波器 $U_i^{(k)}$ 的约束条件， $\|\cdot\|_p$ 表示向量的 p -范数， $\arg \min$ 表示寻找使得目标函数取最小值时的变量值；与之相对地， $\arg \max$ 表示寻找使得目标函数取最大值时的变量值； $\hat{U}_i^{(k)}$ 为使得对应 p -范数输出值最小的空间滤波器 $U_i^{(k)}$ 的估计；式(2)为求解导联集合 ς_i 的目标函数 f ，其输出是与信号质量相关的量化指标，目标函数的输入 $\chi^{(k)} \in \mathbf{R}^{1 \times m}$ 和 $\gamma^{(k)} \in \mathbf{R}^{1 \times n}$ 由式(3)、(4)求解得到。

可选地，对测试目标导联应用统一模型，动态求解适用于当前环境的空间滤波器，并对测试数据进行空间滤波，具体为：

$$\widehat{W}_i = \arg \min_{W_i} \left\{ \left\| W_i * \overline{X}(\zeta_i, :) - \overline{X}(i, :) \right\|_p \right\} \quad (5)$$

利用公式(4)与空间滤波器 W_i 对当前测试数据进行空间滤波处理，得到降噪后的信号 $\overline{y}$ ，见式(6)， $\overline{y}$ 即为滤波完成之后、 $t > t_0$ 时段的测试信号；

$$\overline{y} = W_i * \overline{Y}(\zeta_i, :) - \overline{Y}(i, :) \quad (6) \text{ 其中, } \widehat{W}_i \text{ 为使得 } P\text{-范数输出值最小的}$$

空间滤波器估计， $\overline{X}(\zeta_i, :)$ 和 $\overline{X}(i, :)$ 分别为测试数据中、 $t < t_0$ 时段的导联集合 ζ_i 信号与目标导联 i 的单试次信号， $\overline{Y}(\zeta_i, :)$ 和 $\overline{Y}(i, :)$ 分别为测试数据中、 $t > t_0$ 时段的导联集合 ζ_i 信号与目标导联 i 的单试次信号。

可选地，根据脑电信号的导联信息，构建空间滤波器，包括：获取脑电信号，从脑电信号包含的多个导联中确定第一导联，从去除第一导联后的多个导联中确定至少一个第二导联构成第二导联集合，将第一导联和第二导联集合作为当前排列组合形式；将脑电信号划分为多个分段脑电信号，将多个分段脑电信号分别划分为对应的多个第一时间片段的信号，和对应的多个第二时间片段的信号；分别确定第一导联在多个第一时间片段下的信号为对应的多个第一信号，分别确定第二导联集合在多个第一时间片段下的信号为对应的多个第二信号，并根据多个第一信号和多个第二信号分别构建对应的多个空间滤波器。

可选地，利用空间滤波器对脑电信号进行处理，包括：利用多个空间滤波器分别对对应的第一时间片段的信号和第二时间片段的信号进行空间滤波处理，得到扩增信号；以及将多个分段脑电信号分别对应的多个扩增信号进行拼接整合，以对脑电信号进行扩增。

可选地，在将多个分段脑电信号分别对应的多个扩增信号进行拼接整合，

以对脑电信号进行扩增之后，还包括：对当前排列组合形式进行更新，并对更新后的当前排列组合形式对应的脑电信号进行扩增。

可选地，将脑电信号划分为多个分段脑电信号，将多个分段脑电信号分别划分为对应的多个第一时间片段的信号，和对应的多个第二时间片段的信号，包括：利用动态时间窗将脑电信号划分为多个分段脑电信号，其中动态时间窗表示为以 t 为中心的时间范围为 $[t - \Delta t_1, t + \Delta t_2]$ 的形式， $[t - \Delta t_1, t]$ 代表第一时间片段， $[t, t + \Delta t_2]$ 代表第二时间片段。

可选地，采用目标公式构建空间滤波器，其中，目标公式为：

$$\hat{\mathbf{W}}_j = \arg \min_{\mathbf{W}_j} \left\{ \left\| \mathbf{W}_j * \mathbf{U}_j(\zeta_i, :) - \mathbf{U}_j(i, :) \right\|_p \right\}$$

目标公式，表示编号为 j 的分段脑电信号对应的空间滤波器 $\mathbf{W}_j$ 的约束条件， $\|\cdot\|_p$ 为向量的 P -范数， $\arg \min$ 函数用于：搜索使得目标最小时的变量值， $\hat{\mathbf{W}}_j$ 为约束条件下空间滤波器 $\mathbf{W}_j$ 的估计，其中 $\mathbf{U}_j(i, :)$ 为第一信号， i 代表第一导联的编号； $\mathbf{U}_j(\zeta_i, :)$ 为第二信号，其中 ζ_i 代表第二导联集合， $\mathbf{U}_j \in \mathbf{R}^{N_c \times m}$ 代表编号为 j 的分段脑电信号在第一时间片段的信号，其中 N_c 为脑电信号包含的多个导联的数量， m 表示动态时间窗截取的采样点数， $m = [\Delta t_1 \times F_s]$ ，且 m 取不超过实数的整数部分， F_s 为脑电信号的采样频率。

可选地，利用空间滤波器对分段脑电信号的第一时间片段的信号和第二时间片段的信号进行空间滤波处理，得到扩增信号，包括，根据以下公式得到扩增信号：

$$\chi_j = \hat{\mathbf{W}}_j * \mathbf{U}_j(\zeta_i, :) - \mathbf{U}_j(i, :)$$

$$\gamma_j = \hat{\mathbf{W}}_j * \mathbf{V}_j(\zeta_i, :) - \mathbf{V}_j(i, :)$$

其中， $\chi_j \in \mathbf{R}^{1 \times m}$ 和 $\gamma_j \in \mathbf{R}^{1 \times n}$ 分别代表对 $\mathbf{U}_j$ 和 $\mathbf{V}_j$ 进行滤波处理得到的扩

增信号, $V_j \in R^{N_c \times n}$ 代表编号为 j 的分段脑电信号在第二时间片段的信号, n 表示动态时间窗截取的采样点数, $n = [\Delta t_2 \times F_s]$, 且 n 取不超过实数的整数部分, $V_j(i,:)$ 代表编号为 i 的第一导联在编号为 j 的分段脑电信号的第二时间片段的信号, $V_j(\zeta_i,:)$ 代表编号为 i 的第一导联对应的第二导联集合在编号为 j 的分段脑电信号的第二时间片段的信号。

根据第二方面, 提供了一种脑电信号的扩增装置, 包括: 信号获取模块, 用于获取脑电信号, 从脑电信号包含的多个导联中确定第一导联, 从去除第一导联后的多个导联中确定至少一个第二导联构成第二导联集合, 将第一导联和第二导联集合作为当前排列组合形式; 信号划分模块, 用于将脑电信号划分为多个分段脑电信号, 将多个分段脑电信号分别划分为对应的多个第一时间片段的信号, 和对应的多个第二时间片段的信号; 滤波器构建模块, 用于分别确定第一导联在多个第一时间片段下的信号为对应的多个第一信号, 分别确定第二导联集合在多个第一时间片段下的信号为对应的多个第二信号, 并根据多个第一信号和多个第二信号分别构建对应的多个空间滤波器; 滤波处理模块, 用于利用多个空间滤波器分别对对应的第一时间片段的信号和第二时间片段的信号进行空间滤波处理, 得到扩增信号; 以及第一扩增模块, 用于将多个分段脑电信号分别对应的多个扩增信号进行拼接整合, 以对脑电信号进行扩增。

根据第三方面, 提供了一种电子设备, 包括: 至少一个处理器; 以及与至少一个处理器通信连接的存储器; 其中, 存储器存储有可被至少一个处理器执行的指令, 指令被至少一个处理器执行, 以使至少一个处理器能够执行本申请公开的脑电信号的扩增方法。

根据第四方面, 提供了一种存储有计算机指令的非瞬时计算机可读存储介质, 其中, 计算机指令用于使计算机执行本申请公开的脑电信号的扩增方法。

本申请提供的技术方案, 通过构建和应用空间滤波器对脑电信号进行滤波处理得到扩增信号, 进一步地对扩增信号进行拼接整合, 以对脑电信号进行扩

增。从而，可以从原有的脑电信号中有效发掘潜在的脑电信息，反映当前脑电特性，实现了对脑电信号进行扩增的目的，达到了提高脑电信息的可靠性和有效性的技术效果。进而解决了现有的脑电信号扩增方法作用效果有限、鲁棒性较差，因此在实际的 BCI 系统构建中均未能得到广泛使用的技术问题。

此外，本申请提供的技术方案的有益效果还包括：

1、本申请可在脑电信号预处理过程中动态设计空间滤波器，抑制多种非目标特征的脑电噪声，应用范围广泛；

2、本申请对脑机接口的实验数据分析显示，对于单试次脑电特征信号的信噪比提升显著，并能有效提高后续特征分类的识别准确率，能进一步完善脑电信号的预处理技术，促进该技术向应用成果转化；

3、本申请可用于脑电信号的数据预处理，能有效改善采集信号的质量，改进脑机接口系统性能，有望获得可观的社会效益和经济效益。

附图说明

图 1A 是现有技术中的采集脑电信号的电极放置示意图；

图 1B 是现有技术中的脑电信号处理过程的示意图；

图 1C 是本申请实施例对脑电信号处理过程的示意图；

图 2 是根据本申请一实施例的流程示意图；

图 3 是根据本申请另一实施例的流程示意图；

图 4 是根据本申请另一实施例的流程示意图；

图 5 是根据本申请实施例通过动态时间窗划分脑电信号的示意图；

图 6 是根据本申请实施例整体流程示意图；

图 7 是根据本申请另一实施例的流程示意图；

图 8 是根据本申请另一实施例的流程示意图；以及

图 9 是用来实现本申请实施例的脑电信号的扩增方法的电子设备的框图。

具体实施方式

下面详细描述本申请的实施例，所述实施例的示例在附图中示出，其中自始至终相同或类似的标号表示相同或类似的元件或具有相同或类似功能的元件。下面通过参考附图描述的实施例是示例性的，仅用于解释本申请，而不能理解为对本申请的限制。相反，本申请的实施例包括落入所附加权利要求书的精神和内涵范围内的所有变化、修改和等同物。

针对背景技术中提到的现有技术中的脑电信号扩增方法作用效果有限、鲁棒性较差，因此在实际的BCI系统构建中均未能得到广泛使用的技术问题，本实施例技术方案提供了一种脑电信号的扩增方法，参考图1C所示，在对脑电信号进行特征提取之前，本申请提出的技术方案可以对信号进行扩增。下面结合具体的实施例对该方法进行说明。

其中，需要说明的是，本实施例的脑电信号的扩增方法的执行主体可以为脑电信号的扩增装置，该装置可以由软件和/或硬件的方式实现，该装置可以配置在电子设备中，电子设备可以包括但不限于终端、服务器端等。

图2是根据本申请一实施例的流程示意图，如图2所示，该脑电信号的扩增方法包括：

S201：根据脑电信号的导联信息，构建空间滤波器。

本实施例中，首先获取脑电信号的导联信息，其中，脑电信号中可以包括多个导联，例如包括FP1、C3、O1三个导联，多个导联的信息可以被称为脑电信号的导联信息。

获取导联信息后，可以根据导联信息构建空间滤波器，其中，构建空间滤波器可以理解为动态求解适用于当前环境的空间滤波器，可以采用任意可能的方式构建空间滤波器，此处不作限制。

S202：利用空间滤波器对脑电信号进行扩增处理。

上述构建空间滤波器后，可以利用空间滤波器对脑电信号进行扩增处理，可以从原有的脑电信号中有效发掘潜在的脑电信息，反映当前脑电特性，实现了对脑电信号进行扩增的目的，达到了提高脑电信息的可靠性和有效性的技术效果。

图 3 是根据本申请另一实施例的流程示意图。如图 3 所示，该脑电信号的扩增方法包括：

S301：获取脑电信号，从脑电信号包含的多个导联中确定第一导联，从去除第一导联后的多个导联中确定至少一个第二导联构成第二导联集合，将第一导联和第二导联集合作为当前排列组合形式。

具体地，本方案首先获取脑电信号，其中该脑电信号例如但不限于癫痫脑电信号、稳态视觉诱发电位信号等。其中，该脑电信号可以是原始采集的脑电信号，还可以是经过预处理后的脑电信号。并且，脑电信号的形式可以是二维信号 $X \in \mathbf{R}^{N_c \times N_t}$ ，其中 N_c 和 N_t 分别表示脑电信号的通道数量（即导联数量）、采集时间点，且均为常数， $\mathbf{R}$ 表示实数集。

进一步地，从脑电信号包含的多个导联中确定第一导联，从去除第一导联后的多个导联中确定至少一个第二导联构成第二导联集合。在一个具体实例中，以癫痫脑电信号为例，癫痫脑电信号例如包括 FP1、C3、O1 三个导联，本方案需要从三个导联中确定第一导联和第二导联集合。在实际操作中，可以首先确定第一导联（例如 FP1），然后从去除第一导联后剩余的导联中抽取任意数量的第二导联构成该第二导联集合，本实施例中第二导联集合包括 {C3,O1}、{C3}、{O1}。

此外，本方案还需要确定脑电信号对应的当前排列组合形式，其中当前排列组合形式是第一导联和第二导联集合的排列组合形式。在上述实例中，由 FP1、C3、O1 三个导联构成的第一导联和第二导联集合的排列组合形式如表 1 所示：

表 1

		第二导联集合					
		{C3,O1}	{C3,FP1}	{O1,FP1}	{FP1}	{C3}	{O1}
第一导联	FP1	√				√	√
	C3			√	√		√
	O1		√		√	√	

参考表 1，排列组合形式包括：FP1 与 {C3,O1}、FP1 与 {C3}、FP1 与 {O1}、C3 与 {FP1,O1}、C3 与 {FP1}、C3 与 {O1}、O1 与 {FP1,C3}、O1 与 {FP1}、O1 与 {C3} 九种。本方案需要确定一种排列组合形式作为该当前排列组合形式，例如：当前排列组合形式为 FP1 与 {C3,O1}。以下将以 FP1 与 {C3,O1} 作为该当前排列组合形式对本实施例继续进行说明。

应当理解的是，本方案虽然以脑电信号为例进行说明，但是本领域技术人员还可以将该信号的扩增方法应用到其他应用场景，例如心电信号。关于信号的形式，此处不作具体限定。

S302：将脑电信号划分为多个分段脑电信号，将多个分段脑电信号分别划分为对应的多个第一时间片段的信号，和对应的多个第二时间片段的信号。

具体地，在获取到脑电信号的情况下，本实施例技术方案需要将脑电信号划分为多个分段脑电信号，即：将一段脑电信号截取为多个分段脑电信号，例如将脑电信号划分为：1 分段脑电信号、2 分段脑电信号.....j 分段脑电信号，j 表示分段脑电信号的编号。

进一步地，将多个分段脑电信号分别划分为对应的多个第一时间片段的信号，和对应的多个第二时间片段的信号。在实际操作中，可以从多个分段脑电

信号中任意抽取一个分段脑电信号，然后将抽取的脑电信号按照时间再次进行划分，得到第一时间片段的信号和第二时间片段的信号。其中，第一时间片段与第二时间片段的长度可以根据实际需要确定，两个时间片段的长度既可以相同，也可以不同，本方案不作具体限定。依照上述方式对每个分段脑电信号再次进行划分，划分过程此处不再赘述。从而，针对每个分段脑电信号都可以得到对应的第一时间片段的信号和第二时间片段的信号。

S303：分别确定第一导联在多个第一时间片段下的信号为对应的多个第一信号，分别确定第二导联集合在多个第一时间片段下的信号为对应的多个第二信号，并根据多个第一信号和多个第二信号分别构建对应的多个空间滤波器。

具体地，在确定第一时间片段的信号和第二时间片段的信号之后，进一步地，本实施例技术方案分别确定第一导联在多个第一时间片段下的信号为对应的多个第一信号，分别确定第二导联集合在多个第一时间片段下的信号为对应的多个第二信号。

在实际操作中，针对每个分段脑电信号，分别确定第一导联和第二导联集合在该分段的第一时间片段下的信号为第一信号和第二信号。

在一个具体实例中，例如：分段脑电信号为 j 分段脑电信号，则第一导联 FP1 在 j 分段脑电信号的第一时间片段下的信号为第一信号，第二导联 C3 和 O1 在该 j 分段脑电信号的第一时间片段下的信号为第二信号。其他分段脑电信号对应的第一信号和第二信号的确定方式同理于 j 分段脑电信号的确定方式，此处不在赘述。从而，针对每个分段脑电信号（1 分段脑电信号... j 分段脑电信号），可以确定第一导联和第二导联在该分段下的第一信号和第二信号。

进一步地，根据多个第一信号和多个第二信号分别构建对应的多个空间滤波器。即：根据每个分段脑电信号下的第一信号和第二信号分别构建空间滤波器，从而每个分段脑电信号都对应应有单独的空间滤波器。其中，本实施例技术

方案中的空间滤波器的构建原理例如可以参考现有技术中的空间滤波器构建原理，此处对于空间滤波器不作具体限定。

S304：利用多个空间滤波器分别对对应的第一时间片段的信号和第二时间片段的信号进行空间滤波处理，得到扩增信号。

进一步地，在空间滤波器构建完成的情况下，本方案利用多个空间滤波器分别对对应的第一时间片段的信号和第二时间片段的信号进行空间滤波处理，即：利用每个空间滤波器对对应的分段脑电信号的第一时间片段的信号和第二时间片段的信号进行滤波处理，从而得到每个分段脑电信号的第一时间片段下的扩增信号和第二时间片段下的扩增信号。

S305：将多个分段脑电信号分别对应的多个扩增信号进行拼接整合，以对脑电信号进行扩增。

最终，在得到扩增信号的情况下，本实施例将多个分段脑电信号分别对应的多个扩增信号进行拼接整合。在具体实现上，可以首先对不同的时间片段下的扩增信号进行拼接，在每个分段脑电信号的第一时间片段和第二时间片段下的扩增信号拼接完成的情况下，将拼接后的每个分段脑电信号进行整合，从而完成对脑电信号进行扩增的过程。

根据本实施例技术方案，通过构建和应用空间滤波器对脑电信号进行滤波处理得到扩增信号，进一步地对扩增信号进行拼接整合，以对脑电信号进行扩增。从而，可以从原有的脑电信号中有效发掘潜在的脑电信息，反映当前脑电特性，实现了对脑电信号进行扩增的目的，达到了提高脑电信息的可靠性和有效性的技术效果。进而解决了现有的脑电信号扩增方法作用效果有限、鲁棒性较差，因此在实际的BCI系统构建中均未能得到广泛使用的技术问题。

上述实施例可以实现对一种排列组合形式导联（FP1与{C3,O1}）的脑电信号进行信号扩增。但是为了实现对脑电信号进行进一步地扩增，本申请还提出了第二种实施例，图4是根据本申请另一实施例的示意图。如图4所示，该脑

电信号的扩增方法包括：

S401：获取脑电信号，从脑电信号包含的多个导联中确定第一导联，从去除第一导联后的多个导联中确定至少一个第二导联构成第二导联集合，将第一导联和第二导联集合作为当前排列组合形式。

S402：将脑电信号划分为多个分段脑电信号，将多个分段脑电信号分别划分为对应的多个第一时间片段的信号，和对应的多个第二时间片段的信号。

S403：分别确定第一导联在多个第一时间片段下的信号为对应的多个第一信号，分别确定第二导联集合在多个第一时间片段下的信号为对应的多个第二信号，并根据多个第一信号和多个第二信号分别构建对应的多个空间滤波器。

S404：利用多个空间滤波器分别对对应的第一时间片段的信号和第二时间片段的信号进行空间滤波处理，得到扩增信号。

S405：将多个分段脑电信号分别对应的多个扩增信号进行拼接整合，以对脑电信号进行扩增。

S401- S405 的描述说明，可以具体参见上述实施例，此处不再赘述。

S406：对当前排列组合形式进行更新，并对更新后的当前排列组合形式对应的脑电信号进行扩增。

具体地，结合上述实施例，在对当前排列组合形式（FP1 与{C3,O1}）完成信号扩增之后，本方案还可以对当前排列组合形式进行更新。在实际操作中，可以对上述的九种排列组合形式进行遍历，将遍历到的排列组合形式作为当前排列组合形式，并执行步骤 S402- S405 的操作。

在一个具体实例中，例如在对当前排列组合形式（FP1 与{C3,O1}）完成信号扩增的情况下，对剩余的八种排列组合形式进行遍历，比如遍历到FP1 与{C3}的排列组合形式，则将FP1 与{C3}作为更新后的当前排列组合形式。进一步地，针对FP1 与{C3}进行 S402- S405 的操作，最终完成在FP1 与{C3}排列组合形

式下对脑电信号的扩增。依次对排列组合形式进行遍历，直至九种排列组合形式下的脑电信号都得到信号扩增。

如果每种排列组合形式下得到的扩增信号用 $y^{(n)}$ 表示， n 表示排列组合的序号，则上述的九种排列组合形式下得到的扩增信号如表 2 所示：

表 2

		第二导联集合					
		{C3,O1}	{C3,FP1}	{O1,FP1}	{FP1}	{C3}	{O1}
第一导联	FP1	$y^{(1)}$				$y^{(2)}$	$y^{(3)}$
	C3			$y^{(4)}$	$y^{(5)}$		$y^{(6)}$
	O1		$y^{(7)}$		$y^{(8)}$	$y^{(9)}$	

从而通过这种方式，可以得到更多的扩增信号，进一步地实现了对脑电信号进行扩增的目的。

可选地，将脑电信号划分为多个分段脑电信号，将分段脑电信号划分为连续的第一时间片段信号和第二时间片段信号，包括：利用动态时间窗将脑电信号划分为多个分段脑电信号，其中动态时间窗表示为以 t 为中心的时间范围为 $[t - \Delta t_1, t + \Delta t_2]$ 的形式， $[t - \Delta t_1, t]$ 代表第一时间片段， $[t, t + \Delta t_2]$ 代表第二时间片段。

具体地，本申请第三实施例，在将脑电信号划分为多个分段脑电信号，将分段脑电信号划分为连续的第一时间片段信号和第二时间片段信号的操作中，本方案可以利用动态时间窗口对脑电信号进行划分。

在一个具体实例中，参考图 5 所示，该动态时间窗口例如是 $[t - \Delta t_1, t + \Delta t_2]$ ，表示以 t 为中心的一个动态时间窗，时间窗中心点集合 $t = \{t^{(1)}, t^{(2)} \dots t^{(j)}\}$ 内元素 $t^{(j)}$ 代表划分后的每个分段脑电信号，并且需要满足条件 $\Delta t_1 \leq t^{(j)} \leq T - \Delta t_2$ ，不同时间窗中心之间步长为 t_s ； j 代表分段脑电信号的编号，即： $t^{(1)}, t^{(2)} \dots t^{(j)}$ 依次

对应于上述 1 分段脑电信号、2 分段脑电信号.....j 分段脑电信号； T 代表脑电信号的总时长。

此外，通过该动态时间窗可以对分段脑电信号进行划分。具体地，参考图 5 所示，可以利用 $[t-\Delta t_1, t]$ 区间代表第一时间分段（对应于图 5 中的①段），利用 $[t, t+\Delta t_2]$ 区间表示第二时间分段（对应于图 5 中的②段）。

从而通过这种方式，可以准确地对脑电信号进行划分得到分段脑电信号，并且使得对分段脑电信号划分为第一时间片段和第二时间片段的过程更加简便。

可选地，本申请技术方案在构建空间滤波器的过程中，可以采用目标公式构建空间滤波器，其中，目标公式为：

$$\hat{\mathbf{W}}_j = \arg \min_{\mathbf{W}_j} \left\{ \left\| \mathbf{W}_j * \mathbf{U}_j(\zeta_i, :) - \mathbf{U}_j(i, :) \right\|_p \right\}$$

目标公式，表示编号为 j 的分段脑电信号对应的空间滤波器 $\mathbf{W}_j$ 的约束条件， $\|\cdot\|_p$ 为向量的 P-范数，argmin 函数用于：搜索使得目标最小时的变量值， $\hat{\mathbf{W}}_j$ 为约束条件下空间滤波器 $\mathbf{W}_j$ 的估计，其中 $\mathbf{U}_j(i, :)$ 为第一信号， i 代表第一导联的编号； $\mathbf{U}_j(\zeta_i, :)$ 为第二信号，其中 ζ_i 代表第二导联集合， $\mathbf{U}_j \in \mathbf{R}^{N_c \times m}$ 代表编号为 j 的分段脑电信号在第一时间片段的信号，其中 N_c 为脑电信号包含的多个导联的数量， m 表示动态时间窗截取的采样点数， $m = [\Delta t_1 \times F_s]$ ，且 m 取不超过实数的整数部分， F_s 为脑电信号的采样频率。

本方案可以利用脑电信号对空间滤波器进行构建，从而构建的空间滤波器更能充分保留脑电信号特征，进而使得脑电信号扩增过程鲁棒性更强，并且扩增得到的脑电信号更能反应当前脑电特性。

应当理解的是，本方案只是以上述的目标公式为例对构建空间滤波器的过

程进行解释说明，但构建该空间滤波器不限于采用上述的目标公式，还可以采用其他的公式或者其他的形式进行构建，此处不作具体限定。

可选地，本申请技术方案在利用空间滤波器对分段脑电信号的第一时间片段的信号和第二时间片段的信号进行空间滤波处理，得到扩增信号的操作中，可以根据以下公式得到扩增信号：

$$\chi_j = \hat{W}_j * U_j(\zeta_i, :) - U_j(i, :)$$

$$\gamma_j = \hat{W}_j * V_j(\zeta_i, :) - V_j(i, :)$$

其中， $\chi_j \in R^{1 \times m}$ 和 $\gamma_j \in R^{1 \times n}$ 分别代表对 U_j 和 V_j 进行滤波处理得到的扩增信号， $V_j \in R^{N_c \times n}$ 代表编号为 j 的分段脑电信号在第二时间片段的信号， n 表示动态时间窗截取的采样点数， $n = [\Delta t_2 \times F_s]$ ，且 n 取不超过实数的整数部分， $V_j(i, :)$ 代表编号为 i 的第一导联在编号为 j 的分段脑电信号的第二时间片段的信号， $V_j(\zeta_i, :)$ 代表编号为 i 的第一导联对应的第二导联集合在编号为 j 的分段脑电信号的第二时间片段的信号。

从而通过这种方式，可以分别对每个时间片段下的信号进行扩增，因此扩增得到的信号更能反应当前脑电特性。

应当理解的是，本方案只是以上述的公式为例对信号的扩增过程进行解释性说明，但信号的扩增过程包括但不限于上述的方式，还可以采用其他的公式或者其他的形式进行信号扩增，此处不作具体限定。

为了对本申请技术方案进行更清楚地描述，将以一个整体流程的实施例对本方案进行进一步地解释说明，6 示例性地示出了本申请实施例整体流程示意图，参考图 6 所示，包括以下步骤：

- 1) 输入预处理后信号（对应于上述实施例中的脑电信号）

2) 确定目标导联 (该目标导联对应于上述实施例中的第一导联), 并从除目标导联外的剩余导联中任意抽取数量不定的导联集合 (对应于上述实施例中的第二导联集合)。针对预处理后的数据, 依据动态时间窗依次截取若干分段数据 (对应于上述实施例的分段脑电信号), 将分段数据划分为两个时间片段的信号 (对应于上述实施例的第一时间片段和第二时间片段)。

输入的预处理后数据可以表示为一个二维信号 $X \in \mathbf{R}^{N_c \times N_t}$, 其中 N_c 和 N_t 分别表示脑电信号的通道数量 (即导联数量)、数据点数 (采集时间点), 且均为常数, $\mathbf{R}$ 表示实数集。结合图 5 所示, 时间范围 $[t - \Delta t_1, t + \Delta t_2]$ 代表以 t 为中心的一个动态时间窗, 时间窗中心点集合 $t = \{t^{(1)}, t^{(2)} \dots t^{(j)}\}$ 内元素 $t^{(j)}$ 需要满足条件 $\Delta t_1 \leq t^{(j)} \leq T - \Delta t_2$, 不同时间窗中心之间步长为 t_s , 其中 j 代表分段数据的序号, T 代表信号的总时长。

该动态时间窗可将分段数据划分为: $[t - \Delta t_1, t]$ 区间内的时间片段①信号 (对应于上述实施例的第一时间片段), 在第 j 个分段数据下可以表示为 $U_j \in \mathbf{R}^{N_c \times m}$; $[t, t + \Delta t_2]$ 区间内的时间片段②信号 (对应于上述实施例的第二时间片段), 在第 j 个分段数据下可以表示为 $V_j \in \mathbf{R}^{N_c \times n}$ 。其中, m 、 n 表示动态时间窗截取的采样点数, 详见式(1)(2):

$$m = [\Delta t_1 \times F_s], m \text{ 为正整数} \quad (1)$$

$$n = [\Delta t_2 \times F_s], n \text{ 为正整数} \quad (2)$$

其中, F_s 为信号的采样频率; $[x]$ 为取整函数, 表示不超过实数 x 的整数部分。

3) 选取任一分段数据, 依据目标导联和抽选导联集合分别确定两个时间片段下的模板信号 (模板信号对应于上述实施例的第一信号) 和拟合信号 (拟合信号对应于上述实施例的第二信号), 并利用前一时间片段的模板信号和拟合

信号构建动态空间滤波器。

空间滤波器的构建过程具体如下：

$$\hat{W}_j = \arg \min_{W_j} \left\{ \|W_j * U_j(\zeta_i, :) - U_j(i, :)\|_p \right\} \quad (3)$$

式(3)表示空间滤波器 W_j 的约束条件， $\|\cdot\|_p$ 为向量的 P-范数，argmin 函数的目的是找到使得目标最小时的变量值， $\hat{W}_j$ 为该约束条件下空间滤波器 W_j 的估计。

式中， $U_j(i, :)$ 是模板信号，代表时间片段 U_j 下目标导联 i 的信号； $U_j(\zeta_i, :)$ 是拟合信号，代表时间片段 U_j 下导联集合 ζ_i 的信号，其中 ζ_i 是从除目标导联 i 外的 $N_c - 1$ 个剩余导联中任意抽取、数量不定的导联集合。

4) 应用空间滤波器对两个时间片段信号进行空间滤波处理，分别获得该分段数据下不同时间片段的扩增信号。

空间滤波器的应用过程具体如下：

$$\chi_j = \hat{W}_j * U_j(\zeta_i, :) - U_j(i, :) \quad (4)$$

$$\gamma_j = \hat{W}_j * V_j(\zeta_i, :) - V_j(i, :) \quad (5)$$

式(4)(5)中， $\chi_j \in R^{1 \times m}$ 和 $\gamma_j \in R^{1 \times n}$ 分别代表 U_j 和 V_j 得到的扩增信号，两者的所有可能值与抽取导联组 ζ_i 的排列组合数量一致。其中， $V_j(i, :)$ 是时间片段 V_j 下目标导联 i 的信号， $V_j(\zeta_i, :)$ 是代表时间片段 V_j 下导联组 ζ_i 的信号。

5) 重复步骤 3) 和 4)，直至所有分段数据均处理完成。对得到的所有分段扩增信号进行拼接和整合，输出该目标导联和导联组下获得的最终扩增信号。

遍历 j 个不同时间窗下的分段数据, 获得不同分段数据下的分段扩增信号 $x_j \in R^{1 \times m}$ 以及 $y_j \in R^{1 \times n}$ 。对不同时间窗下的分段扩增信号按照时间窗中心点集合 $\{t^{(1)}, t^{(2)} \dots t^{(j)}\}$ 进行拼接整合, 获得目标导联 i 、导联组 S_i 下的新成分信号 $y \in R^{1 \times N_i}$ (即, 扩增信号)。

当 $t_s < \Delta t_1 + \Delta t_2$ 时, 对重叠部分可进行叠加平均处理; 当 $t_s \geq \Delta t_1 + \Delta t_2$ 时, 对于缺失部分可进行补零或插值处理。需要注意的是, 若在 $[t - \Delta t_1, t]$ 区间的时间片段①为任务无关信号, 在 $[t, t + \Delta t_2]$ 区间的时间片段②为任务相关信号, 该情况下进行拼接和整合时可以仅利用 $y_j \in R^{1 \times n}$ 部分信号。

重复步骤 2) 至 5), 遍历目标导联和抽选导联组的所有排列组合, 获得若干新成分信号。若干新成分信号与原有信号共同构成新的脑电成分空间。

具体地, 依次重新选择目标导联 i 、抽选导联组 S_i , 重复步骤 2) 至 5) 获得若干新成分信号 $y^{(n)} \in R^{1 \times N_i}$ 。其中, $y^{(n)}$ 代表第 n 个新成分信号。集合 $\{y^{(1)}, y^{(2)} \dots y^{(n)}\}$ 或其子集与原有信号共同构成新的脑电成分空间 $Y \in R^{N_s \times N_t}$, N_s 代表扩增后空间内的成分数量, 其最大可能值由式 (6) 决定。

$$N_s = N_c \times (2^{N_c - 1} + 1) \quad (6)$$

本申请在脑电信号处理与分析中应用范围广泛, 具有可观的实用性。所得到的扩增信号作为新的脑电成分, 将原有数据映射到新的成分空间, 能够有效发掘潜在的脑电信息。

此外, 通过构建和应用动态空间滤波器来获得扩增信号, 因此所得的扩增信号能够反映当前脑电特性, 具有较高的可靠性和有效性。

本申请中提出的脑电信号扩增方法能产生大量扩增信号, 获得的新成分空

间中包含原有信号和扩增信号。更详细地描述是：同一个目标导联下，从 $N_c - 1$ 个剩余导联中任意抽取、数量不定的导联集合 S_i 能产生 2^{N_c-1} 种可能组合。对导联数为 N_c 的信号来说，该方法产生的 $N_c \times 2^{N_c-1}$ 段扩增信号或子集与原有信号共同构成了新的脑电成分空间。

图 7 是根据本申请另一实施例的示意图，如图 7 所示，一种脑电空间滤波器的动态构建方法，该方法包括以下步骤：

步骤 101：输入训练集数据之后按设定时间点划分前后数据段，从前后数据段中选定目标导联；

即通过上述步骤 101 实现对训练集数据的预处理。

步骤 102：对剩余导联进行抽选，抽选出一部分导联，分别确定两个时间段下的目标导联与抽选导联集合的信号，然后利用上述四部分信号求解目标函数，构建统一模型；例如：目标导联选为 Oz，在初始阶段抽选 POz、Pz 和 FCz 三个导联组成导联集合 {POz、Pz、FCz}，该集合元素为导联名称。在前后两个时间段均分别抽选导联 Oz 的信号与导联集合 {POz、Pz、FCz} 的信号，以上共计四部分信号；

步骤 103：判断目标函数的输出是否满足终止条件，如果是，执行步骤 104，如果否，重新执行步骤 102；

即，通过上述步骤 102 和 103 实现了统一模型的建立，如果否，则重新进行导联抽选。

步骤 104：输入当前的测试数据并按照步骤 101 进行预处理，通过统一模型训练得出的导联集合从预处理后的测试数据中抽选导联信号；例如：若目标导联选为 Oz，且模型训练得出的导联集合为 {POz、Pz、FCz}，则在测试数据中，同样地抽取 POz、Pz 和 FCz 这三个导联的信号作为导联集合信号；

步骤 105：结合步骤 104 抽选的信号对目标导联应用统一模型，动态求解适用于当前环境的空间滤波器并对测试数据进行空间滤波，至此滤波完成。

综上所述，通过上述步骤 101-步骤 105 实现了对脑电空间滤波器的动态构建，满足了实际应用中的多种需要。

下面结合具体的计算公式、实例、图 7 对上述方案进行进一步地扩展、细化，详见下文描述：

训练数据中某一刺激条件下所有试次的信号可以表示为一个三维张量 $\phi \in \mathbf{R}^{N_c \times N_s \times N_t}$ ， N_c 表示采集数据包含的导联个数， N_s 表示总试次数， N_t 表示该段数据的采样点数。根据人为设定的起始时刻 ($t = t_0$) 将张量 ϕ 划分为 $t < t_0$ 的脑电片段 $\mathbf{X} \in \mathbf{R}^{N_c \times N_s \times m}$ 和 $t > t_0$ 的脑电片段 $\mathbf{Y} \in \mathbf{R}^{N_c \times N_s \times n}$ ， m 和 n 分别为数据点数且均为常数， $\mathbf{R}$ 表示常数集。

本申请即利用 $\mathbf{X}$ 、 $\mathbf{Y}$ 两个脑电片段之间的关系来建模与设计空间滤波器，针对 $t > t_0$ 的脑电片段进行滤波降噪处理，主要包括以下三个部分：

(1) 由训练数据建立求解动态滤波器的统一模型 $\mathbf{G}$ ，详见式(1)-(4)。

$$\left\{ \begin{aligned} \hat{\mathbf{U}}_i^{(k)} &= \arg \min_{\mathbf{U}_i^{(k)}} \left\{ \left\| \mathbf{U}_i^{(k)} * \mathbf{X}^{(k)}(\varsigma_i, :) - \mathbf{X}^{(k)}(i, :) \right\|_p \right\} \end{aligned} \right. \quad (1)$$

$$\left\{ \begin{aligned} \hat{\varsigma}_i &= \arg \max_{\varsigma_i} \left\{ f \left(\left\{ \chi^{(k)} \mid k = 1, 2, \dots, N_s \right\}, \left\{ \gamma^{(k)} \mid k = 1, 2, \dots, N_s \right\} \right) \right\} \end{aligned} \right. \quad (2)$$

$$\chi^{(k)} = \mathbf{U}_i^{(k)} * \mathbf{X}^{(k)}(\varsigma_i, :) - \mathbf{X}^{(k)}(i, :) \quad (3)$$

$$\gamma^{(k)} = \mathbf{U}_i^{(k)} * \mathbf{Y}^{(k)}(\varsigma_i, :) - \mathbf{Y}^{(k)}(i, :) \quad (4)$$

其中， $\mathbf{X}^{(k)}(i, :) \in \mathbf{R}^{1 \times m}$ 与 $\mathbf{Y}^{(k)}(i, :) \in \mathbf{R}^{1 \times n}$ 分别表示 $t < t_0$ 和 $t > t_0$ 两个时段内，目标导联 i 的第 k 个试次的信号； ς_i 表示从除目标导联 i 以外的剩余导联中

抽选的 φ 个导联组成的导联集合（ φ 的数值不固定）， $\mathbf{X}^{(k)}(\varsigma_i,:) \in \mathbf{R}^{\varphi \times m}$ 与 $\mathbf{Y}^{(k)}(\varsigma_i,:) \in \mathbf{R}^{\varphi \times n}$ 分别表示 t_0 前后两个时段内导联集合 ς_i 的第 k 个试次的信号。

式(1)为空间滤波器 $\mathbf{U}_i^{(k)}$ 的约束条件， $\|\cdot\|_p$ 表示向量的 p -范数。 $\arg \min$ 表示寻找使得目标函数取最小值时的变量值；与之相对地， $\arg \max$ 表示寻找使得目标函数取最大值时的变量值。式(2)为求解导联集合 ς_i 的目标函数 f ，其输出是与信号质量相关的量化指标，具体形式多样，包括但不限于特征信号的频谱、能量、信噪比等等。目标函数的输入 $\mathbf{X}^{(k)} \in \mathbf{R}^{1 \times m}$ 和 $\mathbf{Y}^{(k)} \in \mathbf{R}^{1 \times n}$ 由式(3)、(4)求解得到。

(2) 对测试数据进行预处理，按同样的时间点（ $t=t_0$ ）划分前后数据段得到 $\overline{\mathbf{X}} \in \mathbf{R}^{N_c \times N_s \times m}$ 和 $\overline{\mathbf{Y}} \in \mathbf{R}^{N_c \times N_s \times n}$ ，利用模型 $\mathbf{G}$ 训练得到的导联集合 ς_i 与目标导联 i 抽选信号 $\overline{\mathbf{X}}(\varsigma_i,:) \in \mathbf{R}^{\varphi \times m}$ 、 $\overline{\mathbf{X}}(i,:) \in \mathbf{R}^{1 \times m}$ 、 $\overline{\mathbf{Y}}(\varsigma_i,:) \in \mathbf{R}^{\varphi \times n}$ 和 $\overline{\mathbf{Y}}(i,:) \in \mathbf{R}^{1 \times n}$ ，其中， $\overline{\mathbf{X}}(i,:) \in \mathbf{R}^{1 \times m}$ 、 $\overline{\mathbf{X}}(\varsigma_i,:) \in \mathbf{R}^{\varphi \times m}$ 分别表示 $t < t_0$ 时段内，测试数据中目标导联 i 与导联集合 ς_i 的单试次信号； $\overline{\mathbf{Y}}(i,:) \in \mathbf{R}^{1 \times n}$ 与 $\overline{\mathbf{Y}}(\varsigma_i,:) \in \mathbf{R}^{\varphi \times n}$ 分别表示 $t > t_0$ 时段内，测试数据中目标导联 i 与导联集合 ς_i 的单试次信号。

利用模型 $\mathbf{G}$ 中的公式(1)动态求解适用于当前脑电环境的空间滤波器 $\mathbf{W}_i$ ，见式(5)。

$$\widehat{\mathbf{W}}_i = \arg \min_{\mathbf{W}_i} \left\{ \left\| \mathbf{W}_i * \overline{\mathbf{X}}(\varsigma_i,:) - \overline{\mathbf{X}}(i,:) \right\|_p \right\} \quad (5)$$

(3) 利用模型 G 中的公式(4)与空间滤波器 W_i 对当前测试数据进行空间滤波处理, 得到降噪后的信号 $\bar{y}$, 见式(6)。 $\bar{y}$ 即为滤波完成之后、 $t > t_0$ 时段的测试信号。

$$\bar{y} = W_i * \bar{Y}(\zeta_i, :) - \bar{Y}(i, :) \quad (6)$$

理论上训练数据中包含的所有导联都可以作为目标导联执行上述步骤并建模, 最终可以实现测试数据的全导联空间滤波。

图 8 是根据本申请另一实施例的流程示意图。

如图 8 所示, 该脑电信号的扩增装置 80, 包括: 信号获取模块 801, 用于获取脑电信号, 从脑电信号包含的多个导联中确定第一导联, 从去除第一导联后的多个导联中确定至少一个第二导联构成第二导联集合, 将第一导联和第二导联集合作为当前排列组合形式;

信号划分模块 802, 用于将脑电信号划分为多个分段脑电信号, 将多个分段脑电信号分别划分为对应的多个第一时间片段的信号, 和对应的多个第二时间片段的信号;

滤波器构建模块 803, 用于分别确定第一导联在多个第一时间片段下的信号为对应的多个第一信号, 分别确定第二导联集合在多个第一时间片段下的信号为对应的多个第二信号, 并根据多个第一信号和多个第二信号分别构建对应的多个空间滤波器;

滤波处理模块 804, 用于利用多个空间滤波器分别对对应的第一时间片段的信号和第二时间片段的信号进行空间滤波处理, 得到扩增信号; 以及

第一扩增模块 805, 用于将多个分段脑电信号分别对应的多个扩增信号进行拼接整合, 以对脑电信号进行扩增。

可选地,装置 80 还包括:第二扩增模块,用于在将多个分段脑电信号分别对应的多个扩增信号进行拼接整合,以对脑电信号进行扩增之后,对当前排列组合形式进行更新,并对更新后的当前排列组合形式对应的脑电信号进行扩增。

可选地,信号划分模块 802,包括:信号划分子模块,用于利用动态时间窗将脑电信号划分为多个分段脑电信号,其中动态时间窗表示为以 t 为中心的时间范围为 $[t-\Delta t_1, t+\Delta t_2]$ 的形式, $[t-\Delta t_1, t]$ 代表第一时间片段, $[t, t+\Delta t_2]$ 代表第二时间片段。

可选地,滤波器构建模块 803 采用目标公式构建空间滤波器,其中,目标

公式为:

$$\hat{W}_j = \arg \min_{W_j} \left\{ \|W_j * U_j(\zeta_i, :) - U_j(i, :)\|_p \right\}$$

目标公式,表示编号为 j 的分段脑电信号对应的空间滤波器 W_j 的约束条件, $\|\cdot\|_p$ 为向量的 P-范数, $\arg \min$ 函数用于:搜索使得目标最小时的变量值, $\hat{W}_j$ 为约束条件下空间滤波器 W_j 的估计,其中 $U_j(i, :)$ 为第一信号, i 代表第一导联的编号; $U_j(\zeta_i, :)$ 为第二信号,其中 ζ_i 代表第二导联集合, $U_j \in R^{N_c \times m}$ 代表编号为 j 的分段脑电信号在第一时间片段的信号,其中 N_c 为脑电信号包含的多个导联的数量, m 表示动态时间窗截取的采样点数, $m = [\Delta t_1 \times F_s]$, 且 m 取不超过实数的整数部分, F_s 为脑电信号的采样频率。

可选地,滤波处理模块 804 根据以下公式得到扩增信号:

$$\chi_j = \hat{W}_j * U_j(\zeta_i, :) - U_j(i, :)$$

$$\gamma_j = \hat{W}_j * V_j(\zeta_i, :) - V_j(i, :)$$

其中, $\chi_j \in R^{1 \times m}$ 和 $\gamma_j \in R^{1 \times n}$ 分别代表对 U_j 和 V_j 进行滤波处理得到的扩增信号, $V_j \in R^{N_c \times n}$ 代表编号为 j 的分段脑电信号在第二时间片段的信号, n 表

示动态时间窗截取的采样点数, $n = [\Delta t_2 \times F_s]$, 且 n 取不超过实数的整数部分, $V_j(i,:)$ 代表编号为 i 的第一导联在编号为 j 的分段脑电信号的第二时间片段的信号, $V_j(\zeta_i,:)$ 代表编号为 i 的第一导联对应的第二导联集合在编号为 j 的分段脑电信号的第二时间片段的信号。

需要说明的是, 前述对脑电信号的扩增方法的解释说明也适用于本实施例的装置, 此处不再赘述。

根据本申请的实施例, 本申请还提供了一种电子设备和一种可读存储介质。

图 9 是用来实现本申请实施例的脑电信号的扩增方法的电子设备的框图。电子设备旨在表示各种形式的数字计算机, 诸如, 膝上型计算机、台式计算机、工作台、个人数字助理、服务器、刀片式服务器、大型计算机、和其它适合的计算机。电子设备还可以表示各种形式的移动装置, 诸如, 个人数字处理、蜂窝电话、智能电话、可穿戴设备和其它类似的计算装置。本文所示的部件、它们的连接和关系、以及它们的功能仅仅作为示例, 并且不意在限制本文中描述的和/或者要求的本申请的实现。

如图 9 所示, 设备 900 包括计算单元 901, 其可以根据存储在只读存储器 (ROM) 902 中的计算机程序或者从存储单元 908 加载到随机访问存储器 (RAM) 903 中的计算机程序, 来执行各种适当的动作和处理。在 RAM 903 中, 还可存储设备 900 操作所需的各种程序和数据。计算单元 901、ROM 902 以及 RAM 903 通过总线 904 彼此相连。输入/输出 (I/O) 接口 905 也连接至总线 904。

设备 900 中的多个部件连接至 I/O 接口 905, 包括: 输入单元 906, 例如键盘、鼠标等; 输出单元 907, 例如各种类型的显示器、扬声器等; 存储单元 908, 例如磁盘、光盘等; 以及通信单元 909, 例如网卡、调制解调器、无线通信收发机等。通信单元 909 允许设备 900 通过诸如因特网的计算机网络和/或各种电信网络与其他设备交换信息/数据。

计算单元 901 可以是各种具有处理和计算能力的通用和/或专用处理组件。计算单元 901 的一些示例包括但不限于中央处理单元 (CPU)、图形处理单元 (GPU)、各种专用的人工智能 (AI) 计算芯片、各种运行机器学习模型算法的计算单元、数字信号处理器 (DSP)、以及任何适当的处理器、控制器、微控制器等。计算单元 901 执行上文所描述的各个方法和处理, 例如, 脑电信号的扩增方法。

例如, 在一些实施例中, 脑电信号的扩增方法可被实现为计算机软件程序, 其被有形地包含于机器可读介质, 例如存储单元 908。在一些实施例中, 计算机程序的部分或者全部可以经由 ROM 902 和/或通信单元 909 而被载入和/或安装到设备 900 上。当计算机程序加载到 RAM 903 并由计算单元 901 执行时, 可以执行上文描述的脑电信号的扩增方法的一个或多个步骤。备选地, 在其他实施例中, 计算单元 901 可以通过其他任何适当的方式 (例如, 借助于固件) 而被配置为执行脑电信号的扩增方法。

本文中以上描述的系统和技术和各种实施方式可以在数字电子电路系统、集成电路系统、现场可编程门阵列 (FPGA)、专用集成电路 (ASIC)、专用标准产品 (ASSP)、芯片上系统的系统 (SOC)、负载可编程逻辑设备 (CPLD)、计算机硬件、固件、软件、和/或它们的组合中实现。这些各种实施方式可以包括: 实施在一个或者多个计算机程序中, 该一个或者多个计算机程序可在包括至少一个可编程处理器的可编程系统上执行和/或解释, 该可编程处理器可以是专用或者通用可编程处理器, 可以从存储系统、至少一个输入装置、和至少一个输出装置接收数据和指令, 并且将数据和指令传输至该存储系统、该至少一个输入装置、和该至少一个输出装置。

用于实施本申请的脑电信号的扩增方法的程序代码可以采用一个或多个编程语言的任何组合来编写。这些程序代码可以提供给通用计算机、专用计算机或其他可编程脑电信号的扩增装置的处理器或控制器, 使得程序代码当由处理器或控制器执行时使流程图和/或框图中所规定的功能/操作被实施。程序代码

可以完全在机器上执行、部分地在机器上执行，作为独立软件包部分地在机器上执行且部分地在远程机器上执行或完全在远程机器或服务器上执行。

在本申请的上下文中，机器可读介质可以是有形的介质，其可以包含或存储以供指令执行系统、装置或设备使用或与指令执行系统、装置或设备结合地使用的程序。机器可读介质可以是机器可读信号介质或机器可读储存介质。机器可读介质可以包括但不限于电子的、磁性的、光学的、电磁的、红外的、或半导体系统、装置或设备，或者上述内容的任何合适组合。机器可读存储介质的更具体示例会包括基于一个或多个线的电气连接、便携式计算机盘、硬盘、随机存取存储器（RAM）、只读存储器（ROM）、可擦除可编程只读存储器（EPROM 或快闪存储器）、光纤、便捷式紧凑盘只读存储器（CD-ROM）、光学储存设备、磁储存设备、或上述内容的任何合适组合。

为了提供与用户的交互，可以在计算机上实施此处描述的系统和技术，该计算机具有：用于向用户显示信息的显示装置（例如，CRT（阴极射线管）或者 LCD（液晶显示器）监视器）；以及键盘和指向装置（例如，鼠标或者轨迹球），用户可以通过该键盘和该指向装置来将输入提供给计算机。其它种类的装置还可以用于提供与用户的交互；例如，提供给用户的反馈可以是任何形式的传感反馈（例如，视觉反馈、听觉反馈、或者触觉反馈）；并且可以用任何形式（包括声输入、语音输入或者、触觉输入）来接收来自用户的输入。

可以将此处描述的系统和技术实施在包括后台部件的计算系统（例如，作为数据服务器）、或者包括中间件部件的计算系统（例如，应用服务器）、或者包括前端部件的计算系统（例如，具有图形用户界面或者网络浏览器的用户计算机，用户可以通过该图形用户界面或者该网络浏览器来与此处描述的系统和技术实施方式交互）、或者包括这种后台部件、中间件部件、或者前端部件的任何组合的计算系统中。可以通过任何形式或者介质的数字数据通信（例如，通信网络）来将系统的部件相互连接。通信网络的示例包括：局域网（LAN）、广域网（WAN）、互联网及区块链网络。

计算机系统可以包括客户端和服务端。客户端和服务端一般远离彼此并且通常通过通信网络进行交互。通过在相应的计算机上运行并且彼此具有客户端-服务器关系的计算机程序来产生客户端和服务端的关系。服务器可以是云服务器，又称为云计算服务器或云主机，是云计算服务体系中的一项主机产品，以解决了传统物理主机与 VPS 服务 ("Virtual Private Server", 或简称 "VPS") 中，存在的管理难度大，业务扩展性弱的缺陷。服务器也可以为分布式系统的服务器，或者是结合了区块链的服务器。

需要说明的是，在本申请的描述中，术语“第一”、“第二”等仅用于描述目的，而不能理解为指示或暗示相对重要性。此外，在本申请的描述中，除非另有说明，“多个”的含义是两个或两个以上。

流程图中或在此以其他方式描述的任何过程或方法描述可以被理解为，表示包括一个或更多个用于实现特定逻辑功能或过程的步骤的可执行指令的代码的模块、片段或部分，并且本申请的优选实施方式的范围包括另外的实现，其中可以不按所示出或讨论的顺序，包括根据所涉及的功能按基本同时的方式或按相反的顺序，来执行功能，这应被本申请的实施例所属技术领域的技术人员所理解。

应当理解，本申请的各部分可以用硬件、软件、固件或它们的组合来实现。在上述实施方式中，多个步骤或方法可以用存储在存储器中且由合适的指令执行系统执行的软件或固件来实现。例如，如果用硬件来实现，和在另一实施方式中一样，可用本领域公知的下列技术中的任一项或它们的组合来实现：具有用于对数据信号实现逻辑功能的逻辑门电路的离散逻辑电路，具有合适的组合逻辑门电路的专用集成电路，可编程门阵列 (PGA)，现场可编程门阵列 (FPGA) 等。

本技术领域的普通技术人员可以理解实现上述实施例方法携带的全部或部分步骤是可以通过程序来指令相关的硬件完成，所述的程序可以存储于一种计算机可读存储介质中，该程序在执行时，包括方法实施例的步骤之一或其组合。

此外，在本申请各个实施例中的各功能单元可以集成在一个处理模块中，也可以是各个单元单独物理存在，也可以两个或两个以上单元集成在一个模块中。上述集成的模块既可以采用硬件的形式实现，也可以采用软件功能模块的形式实现。所述集成的模块如果以软件功能模块的形式实现并作为独立的产品销售或使用，也可以存储在一个计算机可读取存储介质中。

上述提到的存储介质可以是只读存储器，磁盘或光盘等。

在本说明书的描述中，参考术语“一个实施例”、“一些实施例”、“示例”、“具体示例”、或“一些示例”等的描述意指结合该实施例或示例描述的具体特征、结构、材料或者特点包含于本申请的至少一个实施例或示例中。在本说明书中，对上述术语的示意性表述不一定指的是相同的实施例或示例。而且，描述的具体特征、结构、材料或者特点可以在任何的一个或多个实施例或示例中以合适的方式结合。

尽管上面已经示出和描述了本申请的实施例，可以理解的是，上述实施例是示例性的，不能理解为对本申请的限制，本领域的普通技术人员在本申请的范围内可以对上述实施例进行变化、修改、替换和变型。

权利要求书

- 1、一种脑电信号的动态空间滤波与扩增方法，其特征在于，所述方法包括：
根据脑电信号的导联信息，构建空间滤波器；以及
利用所述空间滤波器对所述脑电信号进行扩增处理。
- 2、如权利要求 1 所述的方法，其特征在于，根据脑电信号的导联信息，构建空间滤波器，包括以下步骤：
 - 1) 输入训练集数据之后按设定时间点划分前后数据段，并从前后数据段中选定目标导联；
 - 2) 对剩余导联进行抽选，抽选出一部分导联，分别确定两个时间段下的目标导联与抽选导联集合的信号，然后利用上述四部分信号求解目标函数，构建统一模型；
 - 3) 判断目标函数的输出是否满足终止条件，如果是，执行步骤 4)，如果否，重新执行步骤 2)；
 - 4) 输入当前的测试数据并按照步骤 1) 进行预处理，根据模型训练得出的导联集合从预处理后的测试数据中抽选导联信号；
 - 5) 结合步骤 4) 抽选的信号对测试目标导联应用统一模型，动态求解适用于当前环境的空间滤波器并对测试数据进行空间滤波。
- 3、如权利要求 2 所述的方法，其特征在于，所述按设定时间点划分前后数据段具体为：

根据人为设定的起始时刻 $t=t_0$ 将张量 ϕ 划分为 $t < t_0$ 的脑电片段 $X \in \mathbf{R}^{N_c \times N_s \times m}$ 和 $t > t_0$ 的脑电片段 $Y \in \mathbf{R}^{N_c \times N_s \times n}$ ， m 和 n 分别为数据点数且均为常数， $\mathbf{R}$ 表示常数集， N_c 表示采集数据包含的导联个数， N_s 表示总试次数。
- 4、如权利要求 3 所述的方法，其特征在于，其特征在在于，所述统一模型具体为：

$$\left\{ \begin{aligned} \hat{U}_i^{(k)} &= \arg \min_{U_i^{(k)}} \left\{ \left\| U_i^{(k)} * X^{(k)}(\varsigma_i, :) - X^{(k)}(i, :) \right\|_p \right\} \end{aligned} \right. \quad (1)$$

$$\left\{ \begin{aligned} \hat{\varsigma}_i &= \arg \max_{\varsigma_i} \left\{ f \left(\left\{ X^{(k)} \mid k=1, 2, \dots, N_s \right\}, \left\{ Y^{(k)} \mid k=1, 2, \dots, N_s \right\} \right) \right\} \end{aligned} \right. \quad (2)$$

$$\left\{ \begin{aligned} X^{(k)} &= U_i^{(k)} * X^{(k)}(\varsigma_i, :) - X^{(k)}(i, :) \\ Y^{(k)} &= U_i^{(k)} * Y^{(k)}(\varsigma_i, :) - Y^{(k)}(i, :) \end{aligned} \right. \quad (3)$$

$$\left\{ \begin{aligned} Y^{(k)} &= U_i^{(k)} * Y^{(k)}(\varsigma_i, :) - Y^{(k)}(i, :) \end{aligned} \right. \quad (4)$$

其中, $X^{(k)}(i, :) \in \mathbf{R}^{1 \times m}$ 与 $Y^{(k)}(i, :) \in \mathbf{R}^{1 \times n}$ 分别表示 $t < t_0$ 和 $t > t_0$ 两个时段内, 目标导联 i 的第 k 个试次的信号; ς_i 表示从除目标导联 i 以外的剩余导联中抽选的 φ 个导联组成的导联集合, $X^{(k)}(\varsigma_i, :) \in \mathbf{R}^{\varphi \times m}$ 与 $Y^{(k)}(\varsigma_i, :) \in \mathbf{R}^{\varphi \times n}$ 分别表示 t_0 前后两个时段内导联集合 ς_i 的第 k 个试次的信号; $\hat{\varsigma}_i$ 为使得函数 f 输出值最大的导联集合 ς_i 的估计;

式(1)为空间滤波器 $U_i^{(k)}$ 的约束条件, $\|\cdot\|_p$ 表示向量的 p -范数, $\arg \min$ 表示寻找使得目标函数取最小值时的变量值; 与之相对地, $\arg \max$ 表示寻找使得目标函数取最大值时的变量值; $\hat{U}_i^{(k)}$ 为使得对应 p -范数输出值最小的空间滤波器 $U_i^{(k)}$ 的估计;

式(2)为求解导联集合 ς_i 的目标函数 f , 其输出是与信号质量相关的量化指标, 目标函数的输入 $X^{(k)} \in \mathbf{R}^{1 \times m}$ 和 $Y^{(k)} \in \mathbf{R}^{1 \times n}$ 由式(3)、(4)求解得到。

5、如权利要求4所述的方法, 其特征在于, 所述对测试目标导联应用统一模型, 动态求解适用于当前环境的空间滤波器, 并对测试数据进行空间滤波, 具体为:

$$\hat{W}_i = \arg \min_{W_i} \left\{ \left\| W_i * \bar{X}(\varsigma_i, :) - \bar{X}(i, :) \right\|_p \right\} \quad (5)$$

利用公式(4)与空间滤波器 W_i 对当前测试数据进行空间滤波处理,得到降噪后的信号 $\bar{y}$, 见式(6), $\bar{y}$ 即为滤波完成之后、 $t > t_0$ 时段的测试信号;

$$\bar{y} = W_i * \bar{Y}(\zeta_i, :) - \bar{Y}(i, :) \quad (6)$$

其中,

$\hat{W}_i$ 为使得 P -范数输出值最小的空间滤波器估计, $\bar{X}(\zeta_i, :)$ 和 $\bar{X}(i, :)$ 分别为测试数据中、 $t < t_0$ 时段的导联集合 ζ_i 信号与目标导联 i 的单试次信号, $\bar{Y}(\zeta_i, :)$ 和 $\bar{Y}(i, :)$ 分别为测试数据中、 $t > t_0$ 时段的导联集合 ζ_i 信号与目标导联 i 的单试次信号。

6、如权利要求 1 所述的方法,其特征在于,根据脑电信号的导联信息,构建空间滤波器,包括:

获取脑电信号,从所述脑电信号包含的多个导联中确定第一导联,从去除所述第一导联后的所述多个导联中确定至少一个第二导联构成第二导联集合,将所述第一导联和第二导联集合作为当前排列组合形式;

将所述脑电信号划分为多个分段脑电信号,将所述多个分段脑电信号分别划分为对应的多个第一时间片段的信号,和对应的多个第二时间片段的信号;

分别确定所述第一导联在所述多个第一时间片段下的信号为对应的多个第一信号,分别确定所述第二导联集合在所述多个第一时间片段下的信号为对应的多个第二信号,并根据所述多个第一信号和所述多个第二信号分别构建对应的多个空间滤波器。

7、如权利要求 6 所述的方法,其特征在于,利用所述空间滤波器对所述脑电信号进行处理,包括:

利用所述多个空间滤波器分别对对应的所述第一时间片段的信号和所述第二时间片段的信号进行空间滤波处理,得到扩增信号;以及

将所述多个分段脑电信号分别对应的多个扩增信号进行拼接整合,以对所

述脑电信号进行扩增。

8、如权利要求7所述的方法，其特征在于，在所述将所述多个分段脑电信号分别对应的多个扩增信号进行拼接整合，以对所述脑电信号进行扩增之后，还包括：

对所述当前排列组合形式进行更新，并对更新后的当前排列组合形式对应的脑电信号进行扩增。

9、如权利要求7所述的方法，其特征在于，将所述脑电信号划分为多个分段脑电信号，将所述多个分段脑电信号分别划分为对应的多个第一时间片段的信号，和对应的多个第二时间片段的信号，包括：

利用动态时间窗将所述脑电信号划分为多个分段脑电信号，其中所述动态时间窗表示为以 t 为中心的时间范围为 $[t - \Delta t_1, t + \Delta t_2]$ 的形式， $[t - \Delta t_1, t]$ 代表第一时间片段， $[t, t + \Delta t_2]$ 代表第二时间片段。

10、如权利要求9所述的方法，其特征在于，采用目标公式构建所述空间滤波器，其中，所述目标公式为：

$$\hat{\mathbf{W}}_j = \arg \min_{\mathbf{W}_j} \left\{ \left\| \mathbf{W}_j * \mathbf{U}_j(\zeta_i, :) - \mathbf{U}_j(i, :) \right\|_p \right\}$$

所述目标公式，表示编号为 j 的分段脑电信号对应的空间滤波器 $\mathbf{W}_j$ 的约束条件， $\|\cdot\|_p$ 为向量的 p -范数， $\arg \min$ 函数用于：搜索使得目标最小时的变量值， $\hat{\mathbf{W}}_j$ 为所述约束条件下空间滤波器 $\mathbf{W}_j$ 的估计，其中 $\mathbf{U}_j(i, :)$ 为所述第一信号， i 代表所述第一导联的编号； $\mathbf{U}_j(\zeta_i, :)$ 为所述第二信号，其中 ζ_i 代表所述第二导联集合， $\mathbf{U}_j \in \mathbf{R}^{N_c \times m}$ 代表编号为 j 的分段脑电信号在第一时间片段的信号，其中 N_c 为所述脑电信号包含的多个导联的数量， m 表示所述动态时间窗截取的采样点数， $m = [\Delta t_1 \times F_s]$ ，且 m 取不超过实数的整数部分， F_s 为所述脑电信号的采样频率。

11、如权利要求 10 所述的方法，其特征在于，利用所述空间滤波器对所述分段脑电信号的第一时间片段的信号和第二时间片段的信号进行空间滤波处理，得到扩增信号，包括，根据以下公式得到所述扩增信号：

$$\chi_j = \hat{\mathbf{W}}_j * \mathbf{U}_j(\zeta_i, :) - \mathbf{U}_j(i, :)$$

$$\gamma_j = \hat{\mathbf{W}}_j * \mathbf{V}_j(\zeta_i, :) - \mathbf{V}_j(i, :)$$

其中， $\chi_j \in \mathbf{R}^{1 \times m}$ 和 $\gamma_j \in \mathbf{R}^{1 \times n}$ 分别代表对 $\mathbf{U}_j$ 和 $\mathbf{V}_j$ 进行滤波处理得到的扩增信号， $\mathbf{V}_j \in \mathbf{R}^{N_c \times n}$ 代表编号为 j 的分段脑电信号在第二时间片段的信号， n 表示所述动态时间窗截取的采样点数， $n = [\Delta t_2 \times F_s]$ ，且 n 取不超过实数的整数部分， $\mathbf{V}_j(i, :)$ 代表编号为 i 的第一导联在编号为 j 的分段脑电信号的第二时间片段的信号， $\mathbf{V}_j(\zeta_i, :)$ 代表编号为 i 的第一导联对应的第二导联集合在编号为 j 的分段脑电信号的第二时间片段的信号。

12、一种脑电信号的扩增装置，包括：

信号获取模块，用于从所述脑电信号包含的多个导联中确定第一导联，从去除所述第一导联后的所述多个导联中确定至少一个第二导联构成第二导联集合，将所述第一导联和第二导联集合作为当前排列组合形式；

信号划分模块，用于将所述脑电信号划分为多个分段脑电信号，将所述多个分段脑电信号分别划分为对应的多个第一时间片段的信号，和对应的多个第二时间片段的信号；

滤波器构建模块，用于分别确定所述第一导联在所述多个第一时间片段下的信号为对应的多个第一信号，分别确定所述第二导联集合在所述多个第一时间片段下的信号为对应的多个第二信号，并根据所述多个第一信号和所述多个第二信号分别构建对应的多个空间滤波器；

滤波处理模块，用于利用所述多个空间滤波器分别对对应的所述第一时间片段的信号和所述第二时间片段的信号进行空间滤波处理，得到扩增信号；以

及

第一扩增模块，用于将所述多个分段脑电信号分别对应的多个扩增信号进行拼接整合，以对所述脑电信号进行扩增。

13、如权利要求 12 所述的脑电信号的扩增装置，其特征在于，还包括：第二扩增模块，用于在所述将所述多个分段脑电信号分别对应的多个扩增信号进行拼接整合，以对所述脑电信号进行扩增之后，对所述当前排列组合形式进行更新，并对更新后的当前排列组合形式对应的脑电信号进行扩增。

14、如权利要求 12 所述的脑电信号的扩增装置，其特征在于，所述信号划分模块，包括：

信号划分子模块，用于利用动态时间窗将所述脑电信号划分为多个分段脑电信号，其中所述动态时间窗表示为以 t 为中心的时间范围为 $[t - \Delta t_1, t + \Delta t_2]$ 的形式， $[t - \Delta t_1, t]$ 代表第一时间片段， $[t, t + \Delta t_2]$ 代表第二时间片段。

15、一种电子设备，包括：

至少一个处理器；以及

与所述至少一个处理器通信连接的存储器；其中，

所述存储器存储有可被所述至少一个处理器执行的指令，所述指令被所述至少一个处理器执行，以使所述至少一个处理器能够执行权利要求 1-11 中任一项所述的方法。

16、一种存储有计算机指令的非瞬时计算机可读存储介质，其中，所述计算机指令用于使所述计算机执行根据权利要求 1-11 中任一项所述的方法。

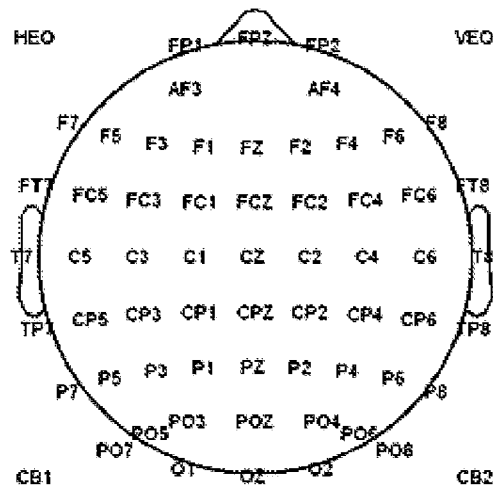


图 1A



图 1B

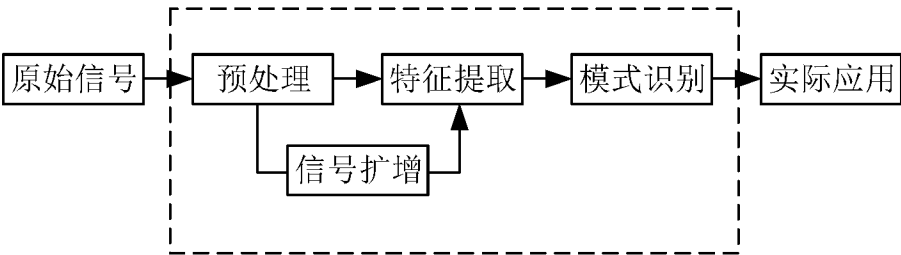


图 1C

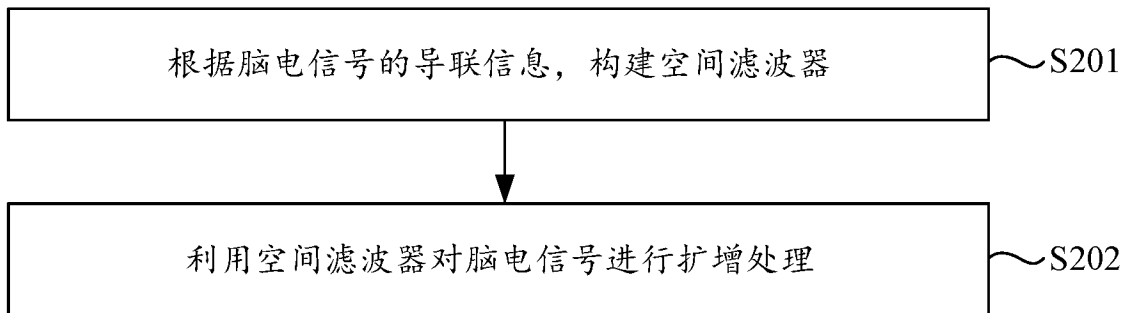


图 2

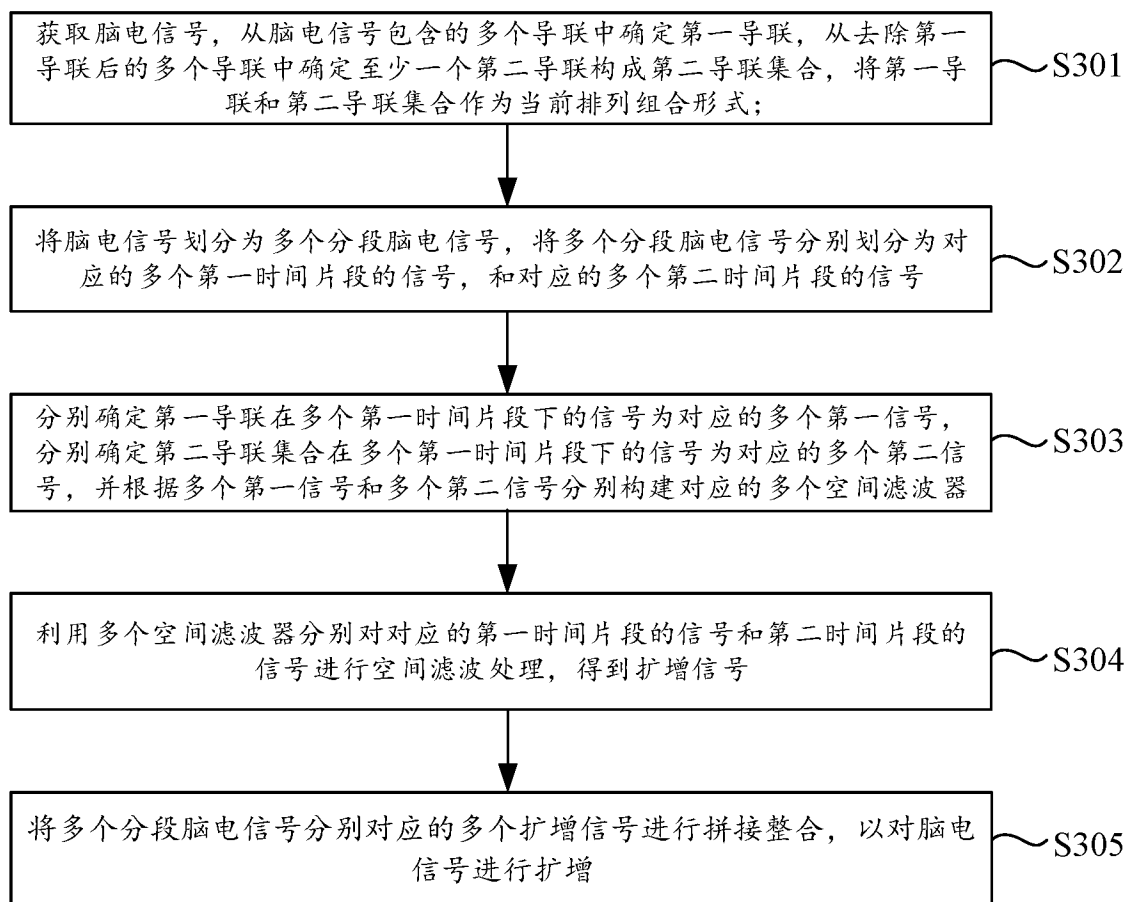


图 3

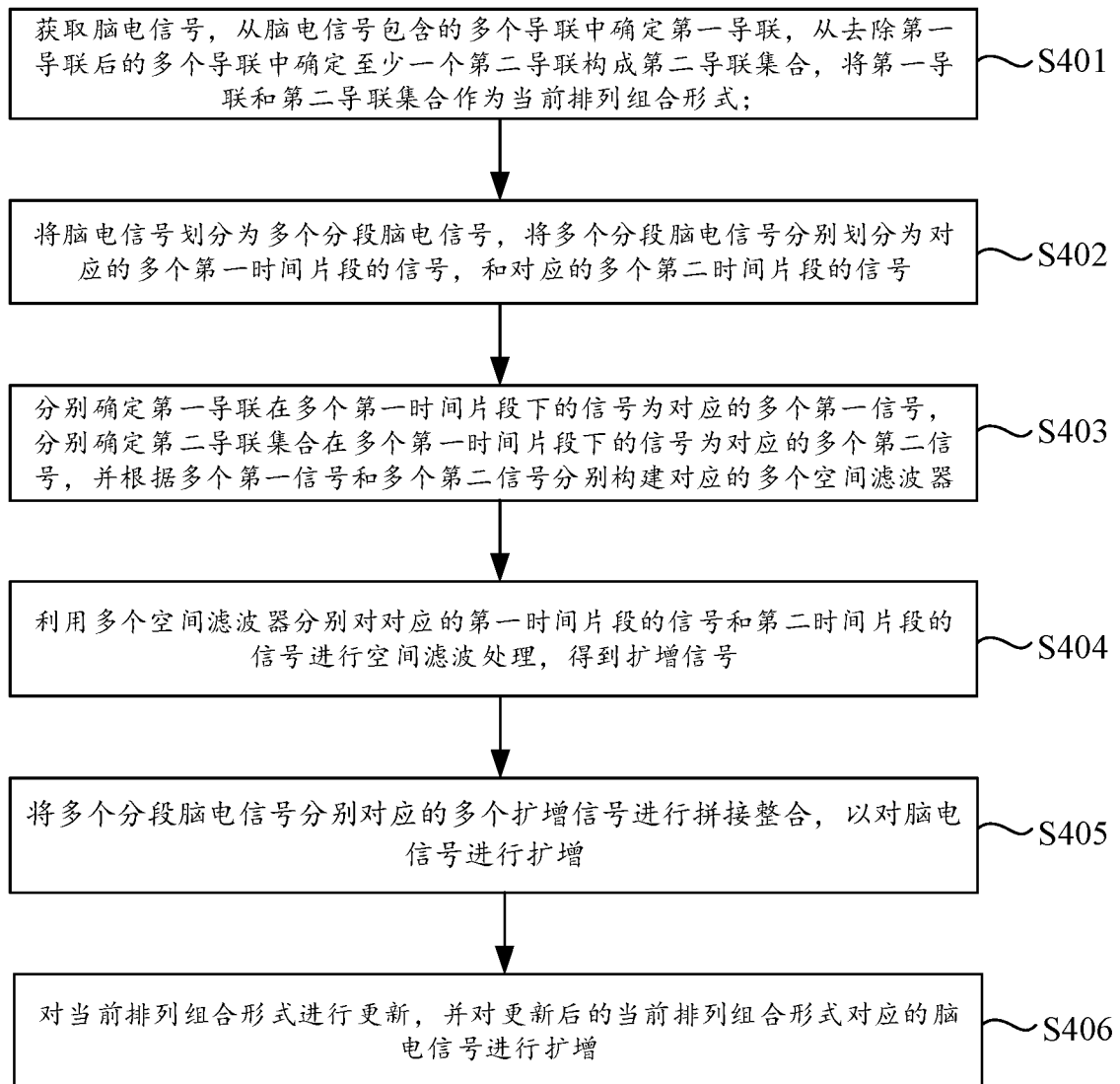


图 4

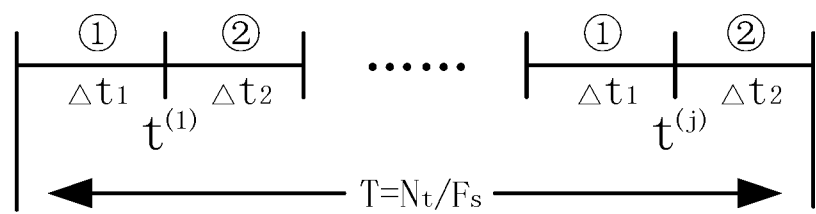


图 5

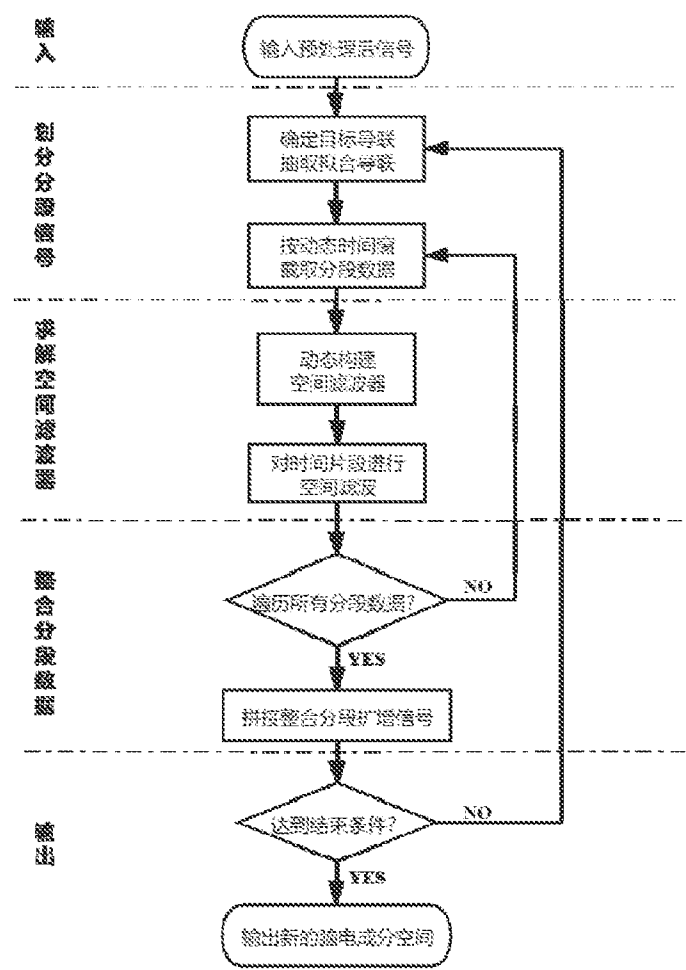


图 6

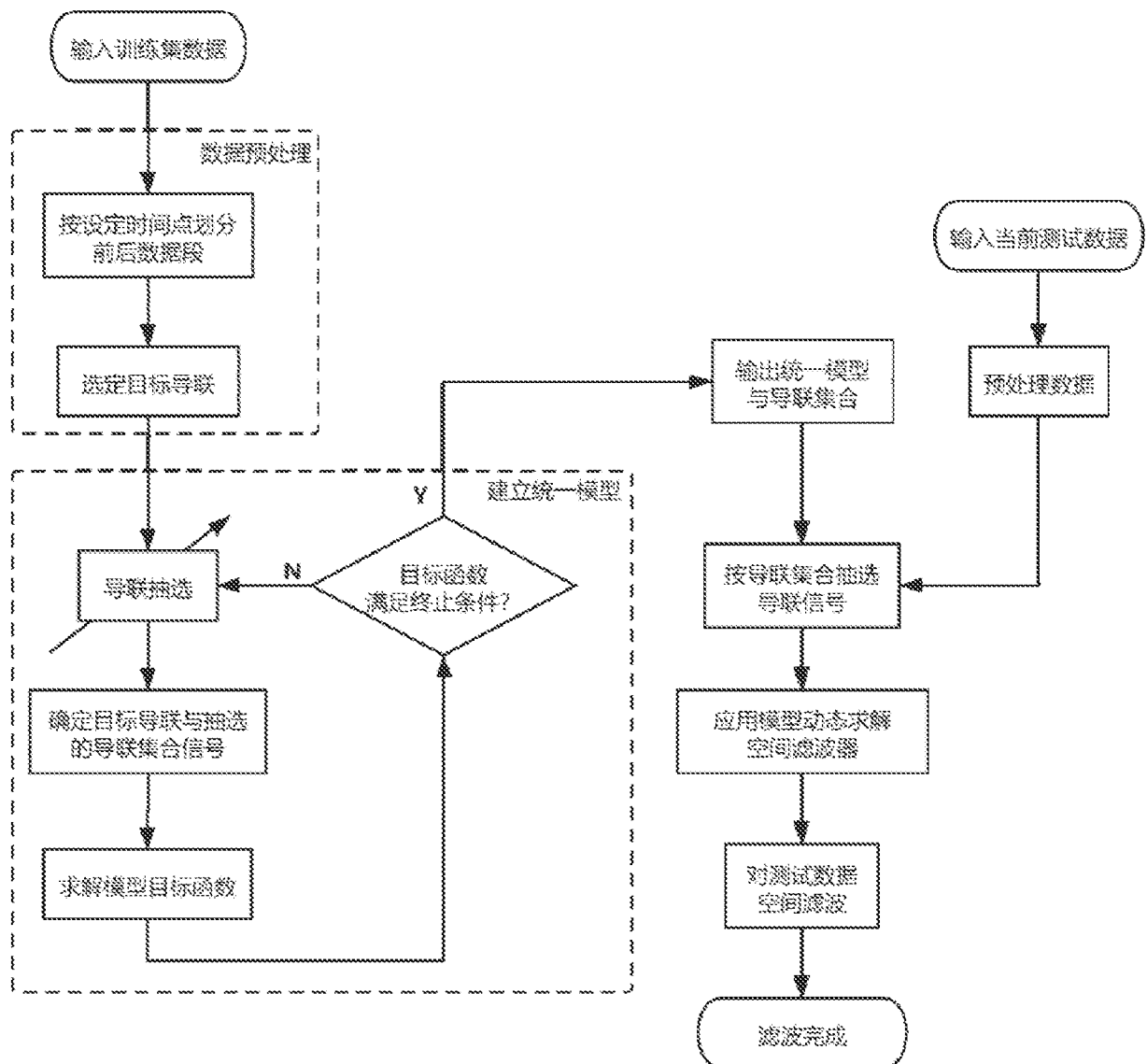


图 7

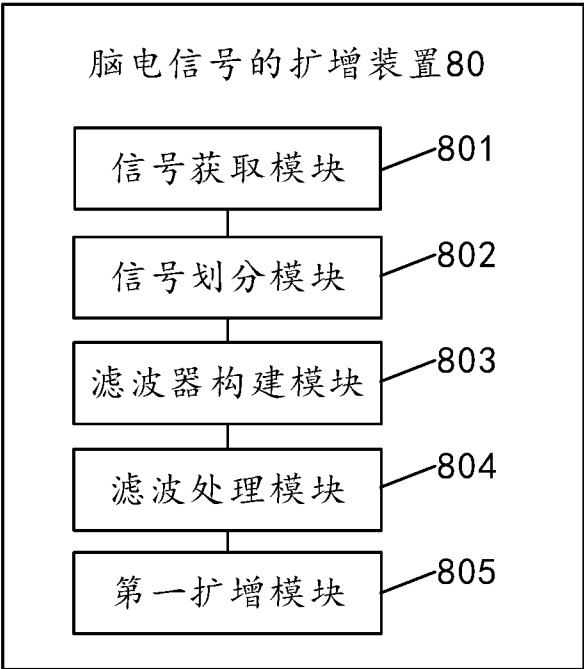


图 8

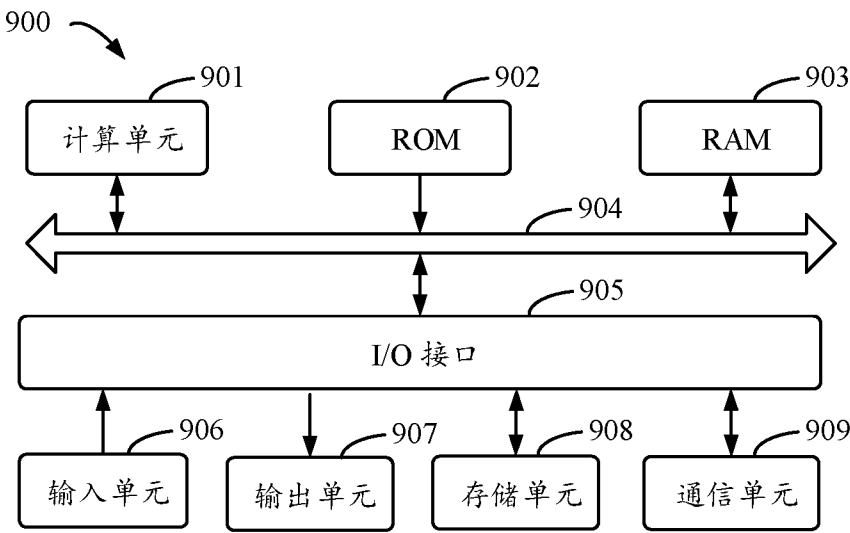


图 9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2021/105590

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

A61B 5/00(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)

A61B; G06F

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)

WPI; EPODOC; CNKI; CNPAT: 脑电信号, 空间滤波, 扩增, 动态, 训练, 测试, 导联, electroencephalogram, eeg, spatial, filter, dynamic, train, test, lead

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 111820876 A (TIANJIN UNIVERSITY) 27 October 2020 (2020-10-27) description, paragraphs [0020]-[0044]	1-5, 15-16
X	CN 102715911 A (TIANJIN UNIVERSITY) 10 October 2012 (2012-10-10) description, paragraphs [0006]-[0052]	1, 15-16
X	US 2012059273 A1 (FACULDADES CATOLICAS) 08 March 2012 (2012-03-08) description paragraphs [0074]-[0077]	1, 15-16
X	程龙龙 等 (CHENG, Longlong et al.). "基于极能差与共空间模式算法的脑电信号特征增强研究 (Research on EEG Feature Enhancement Based on Extreme Energy Difference and Common Spatial Pattern Algorithms)" 高技术通讯 (High Technology Letters), Vol. 23, No. 9, 15 September 2013 (2013-09-15), 980-987	1, 15-16
A	CN 102722255 A (SHANGHAI MARITIME UNIVERSITY) 10 October 2012 (2012-10-10) entire document	1-16



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

"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

26 September 2021

Date of mailing of the international search report

11 October 2021

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing
100088
China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2021/105590

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	111820876	A	27 October 2020	None			
CN	102715911	A	10 October 2012	None			
US	2012059273	A1	08 March 2012	BR	PI1100261	A2	29 April 2014
CN	102722255	A	10 October 2012	None			

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2021/105590

A. 主题的分类 A61B 5/00 (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) A61B; G06F 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)) WPI; EPDOC; CNKI; CNPAT: 脑电信号, 空间滤波, 扩增, 动态, 训练, 测试, 导联, electroencephalogram, eeg, spatial, filter, dynamic, train, test, lead																				
C. 相关文件 <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PX</td> <td>CN 111820876 A (天津大学) 2020年 10月 27日 (2020 - 10 - 27) 说明书第[0020]-[0044]段</td> <td>1-5, 15-16</td> </tr> <tr> <td>X</td> <td>CN 102715911 A (天津大学) 2012年 10月 10日 (2012 - 10 - 10) 说明书第[0006]-[0052]段</td> <td>1, 15-16</td> </tr> <tr> <td>X</td> <td>US 2012059273 A1 (FACULDADES CATOLICAS) 2012年 3月 8日 (2012 - 03 - 08) 说明书第[0074]-[0077]段</td> <td>1, 15-16</td> </tr> <tr> <td>X</td> <td>程龙龙 等, “基于极能差与共空间模式算法的脑电信号特征增强研究” 高技术通讯, 第23卷, 第9期, 2013年 9月 15日 (2013 - 09 - 15), 980-987</td> <td>1, 15-16</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 102722255 A (上海海事大学) 2012年 10月 10日 (2012 - 10 - 10) 全文</td> <td>1-16</td> </tr> </tbody> </table>			类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	PX	CN 111820876 A (天津大学) 2020年 10月 27日 (2020 - 10 - 27) 说明书第[0020]-[0044]段	1-5, 15-16	X	CN 102715911 A (天津大学) 2012年 10月 10日 (2012 - 10 - 10) 说明书第[0006]-[0052]段	1, 15-16	X	US 2012059273 A1 (FACULDADES CATOLICAS) 2012年 3月 8日 (2012 - 03 - 08) 说明书第[0074]-[0077]段	1, 15-16	X	程龙龙 等, “基于极能差与共空间模式算法的脑电信号特征增强研究” 高技术通讯, 第23卷, 第9期, 2013年 9月 15日 (2013 - 09 - 15), 980-987	1, 15-16	A	CN 102722255 A (上海海事大学) 2012年 10月 10日 (2012 - 10 - 10) 全文	1-16
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																		
PX	CN 111820876 A (天津大学) 2020年 10月 27日 (2020 - 10 - 27) 说明书第[0020]-[0044]段	1-5, 15-16																		
X	CN 102715911 A (天津大学) 2012年 10月 10日 (2012 - 10 - 10) 说明书第[0006]-[0052]段	1, 15-16																		
X	US 2012059273 A1 (FACULDADES CATOLICAS) 2012年 3月 8日 (2012 - 03 - 08) 说明书第[0074]-[0077]段	1, 15-16																		
X	程龙龙 等, “基于极能差与共空间模式算法的脑电信号特征增强研究” 高技术通讯, 第23卷, 第9期, 2013年 9月 15日 (2013 - 09 - 15), 980-987	1, 15-16																		
A	CN 102722255 A (上海海事大学) 2012年 10月 10日 (2012 - 10 - 10) 全文	1-16																		
☐ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。																				
<table border="0"> <tr> <td> * 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 “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 </td> <td> “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 </td> </tr> </table>			* 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 “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																
* 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 “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 2021年 9月 26日		国际检索报告邮寄日期 2021年 10月 11日																		
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局 (ISA/CN) 中国 北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451		授权官员 冯婷霆 电话号码 86-(10)-53961364																		

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2021/105590

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	111820876	A	2020年 10月 27日	无	
CN	102715911	A	2012年 10月 10日	无	
US	2012059273	A1	2012年 3月 8日	BR PI1100261 A2	2014年 4月 29日
CN	102722255	A	2012年 10月 10日	无	