(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
2025 年 6 月 26 日 (26.06.2025)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2025/129461 A1

(51) 国际专利分类号:
G16H 50/20 (2018.01) *A61B 5/369* (2021.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2023/139971

(22) 国际申请日: 2023 年 12 月 19 日 (19.12.2023)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(71) 申请人: 深 圳 先 进 技 术 研 究 院 **(SHENZHEN INSTITUTES OF ADVANCED TECHNOLOGY)** [CN/CN]; 中国广东省深圳市南山区西丽大学城学苑大道1068号 518055 (CN)。

(72) 发明人:徐永杰**(XU, Yongjie)**; 中国广东省深圳市南山区西丽大学城学苑大道1068号 518055 (CN)。
王怡珊**(WANG, Yishan)**; 中国广东省深圳市南山区西丽大学城学苑大道1068号 518055 (CN)。
李烨**(LI, Ye)**; 中国广东省深圳市南山区西丽大学城学苑大道1068号 518055 (CN)。

(74) 代理人:深圳市科进知识产权代理事务所（普通合伙） **(SHENZHEN KEJIN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE)**; 中国广东省深圳市南山区粤兴三道二号虚拟大学园产业化基地A701室 518000 (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:** AUTISM RISK ASSESSMENT METHOD AND DEVICE BASED ON SMALL SAMPLE DATA ENHANCEMENT

(54) 发明名称: 一种基于小样本数据增强的自闭症风险评估方法及装置

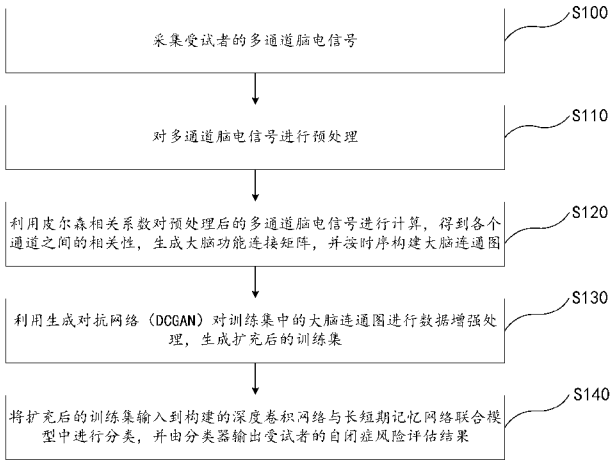

图 1

S100 Collect a multi-channel electroencephalogram signal of a subject
S110 Preprocess the multi-channel electroencephalogram signal
S120 Calculate the preprocessed multi-channel electroencephalogram signal using a Pearson correlation coefficient to obtain the correlation between channels, generate a brain functional connectivity matrix, and construct a brain connected graph according to the time sequence
S130 Perform data enhancement processing on the brain connected graph in a training set using a generative adversarial network (DCGAN), and generate an expanded training set
S140 Input the expanded training set into a constructed deep convolutional network and long short-term memory network joint model for classification, and output an autism risk assessment result of the subject by a classifier

(57) **Abstract:** The present application relates to an autism risk assessment method and device based on small sample data enhancement. The method comprises: collecting a multi-channel electroencephalogram signal of a subject; calculating the multi-channel electroencephalogram signal using a Pearson correlation coefficient to obtain the correlation between channels, generating a brain functional connectivity matrix, and constructing a brain time sequence connected graph according to time sequence information of the multi-channel electroencephalogram signal; and performing data enhancement processing on the brain time sequence connected graph using a generative adversarial network, inputting the brain time sequence connected graph after data enhancement processing into a trained deep convolutional network and long short-term memory network joint model for classification, and outputting an autism risk assessment result of the subject by a classifier. According to the embodiments of the present application, the differences between patients with autism and healthy people are taken into account from the perspective of brain functional connectivity, and the brain functional connectivity and the time information contained in an electroencephalogram signal are both taken into account, so that autism risk

WO 2025/129461 A1

[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))。

assessment can be more accurately performed on a subject.

(57) 摘要: 本申请涉及一种基于小样本数据增强的自闭症风险评估方法及装置。所述方法包括：采集受试者的多通道脑电信号；利用皮尔森相关系数对多通道脑电信号进行计算，得到各个通道之间的相关性，生成大脑功能连接矩阵，并按多通道脑电信号的时序信息构建大脑时序连通图；利用生成对抗网络对所述大脑时序连通图进行数据增强处理，并将数据增强处理后的大脑时序连通图输入到训练好的深度卷积网络与长短期记忆网络联合模型中进行分类，由分类器输出受试者的自闭症风险评估结果。本申请实施例从大脑功能连通性的角度考虑了自闭症患者与健康人群之间存在的差异性，同时考虑了大脑功能连接性与脑电信号所具有的时间信息，能更准确地对受试者进行自闭症风险评估。

一种基于小样本数据增强的自闭症风险评估方法及装置

技术领域

本申请属于深度学习技术领域，特别涉及一种基于小样本数据增强的自闭症风险评估方法及装置。

背景技术

自闭症谱系障碍是一种神经发育障碍性疾病，自闭症患者的大脑功能连通性与正常人相比有明显的差异。自闭症会导致患者的社交沟通技巧和行为持续存在缺陷。截至 2020 年，在中国 6-12 岁儿童中的自闭症患病率约为 0.70%，相当于每 143 名儿童中就有一名患有自闭症。自闭症人群会给家庭与社会造成严重的经济负担，传统的自闭症临床诊断方案采取观察量表和行为学等方式进行自闭症的评估和分析，需要医生具有较高的专业水平，且诊断效率较低。

对于自闭症风险评估可以通过构建自闭症识别模型来实现，目前有很多研究者利用脑电信号与机器学习和深度学习的方法构建自闭症的识别模型。例如，国内有研究从 ASD(Autistic Spectrum Disorders, 泛自闭症障碍症候群)儿童和正常儿童的 EEG（Electroencephalogram, 脑电波）信号中提取四种熵特征，并应用独立样本 t 检验分析组间差异。最后利用支持向量机学习算法为不同脑区的每种熵测量建立分类模型，分类准确率最高到 84.55%。国外另一项研究通过离散傅里叶变换将脑电时域信号转换为频域信号，设计强化学习算法快速更新和重建卷积神经网络模型，利用最终的卷积神经网络模型进行分类，最高能够达到 92.63%的识别精度。

然后，现有基于 EEG 信号的自闭症检测方法普遍是利用 EEG 信号的原始信号或者频谱特征，受限于受试者数量，普遍存在实验受试者数量少的状况，现

有技术大都是采用受试者在不同时间片段数据都作为独立样本进行重复利用，每次只利用部分片段的脑电数据进行分析，可能会遗漏较为重要的脑电信息，并且这种分析方式可能会造成数据污染，导致分析结果失真；或复用一个受试者数据增加为多个样本，导致样本之间的相似性太高。另外，现有技术中很少有研究利用EEG数据统计受试者的大脑功能连接特征以及自闭症分析。

发明内容

本申请提供了一种基于小样本数据增强的自闭症风险评估方法及装置，旨在至少在一定程度上解决现有技术中的上述技术问题之一。

为了解决上述问题，本申请提供了如下技术方案：

一种基于小样本数据增强的自闭症风险评估方法，包括：

采集受试者的多通道脑电信号；

利用皮尔森相关系数对对所述多通道脑电信号进行计算，得到各个通道之间的相关性，生成大脑功能连接矩阵，并按所述多通道脑电信号的时序信息构建大脑时序连通图；

利用生成对抗网络对所述大脑时序连通图进行数据增强处理，并将所述数据增强处理后的大脑时序连通图输入到训练好的深度卷积网络与长短期记忆网络联合模型中进行分类，并由分类器输出受试者的自闭症风险评估结果。

本申请实施例采取的技术方案还包括：所述采集受试者的多通道脑电信号之后，还包括：

对所述多通道脑电信号进行预处理；所述预处理过程包括：使用抗混叠滤波器对所述多通道脑电信号进行滤波，以设定采样率对所有脑电信号进行数字化并放大；

使用基线校正算法对放大后的多通道脑电信号进行校正，并利用伪影检测算法对多通道脑电信号进行伪影去除，得到预处理后的多通道脑电信号。

本申请实施例采取的技术方案还包括：所述利用皮尔森相关系数对对所述多通道脑电信号进行计算，得到各个通道之间的相关性，生成大脑功能连接矩阵，并按所述多通道脑电信号的时序信息构建大脑时序连通图，具体为：

通过皮尔森相关系数计算受试者一个脑电片段中每个通道与其他通道之间的相关性，得到一个设定大小的功能连接矩阵；

将所述功能连接矩阵的上三角矩阵展开成一维，并利用 SelectKBest 算法作为特征筛选算法对功能连接特征进行筛选，保留设定数量的主要功能连接特征；

将一个受试者所采集的设定数量的时间片段的脑电信号按照时间顺序组成设定大小的大脑功能连接矩阵，并根据灰度值分布将所述大脑功能连接矩阵转化为大脑时序连通图。

本申请实施例采取的技术方案还包括：所述按所述多通道脑电信号的时序信息构建大脑时序连通图之后，还包括：

将所述大脑时序连通图按照设定比例划分为训练集和验证集。

本申请实施例采取的技术方案还包括：所述利用生成对抗网络对所述大脑时序连通图进行数据增强处理，具体为：

所述生成对抗网络包括生成器和判别器，所述生成器包括3层反卷积层，将噪声矢量通过反卷积层映射到大脑时序连通图中，生成新的大脑时序连通图；所述判别器使用3层卷积层判别生成的大脑时序连通图真伪，并经过生成器与判别器迭代对抗设定次数后，将所述生成器生成的大脑时序连通图作为扩充的伪样本。

本申请实施例采取的技术方案还包括：所述将所述数据增强处理后的大脑时序连通图输入到训练好的深度卷积网络与长短期记忆网络联合模型中进行分类，并由分类器输出受试者的自闭症风险评估结果，具体为：

所述深度卷积网络与长短期记忆网络联合模型的深度卷积网络部分包括5个卷积层和4个池化层，通过卷积层学习输入数据的局部特征，所述卷积层由ReLU函数激活；所述长短期记忆网络包括隐藏层、循环网络层和全连接层，输入数据经过输入维数转换后，依次经过隐藏层的整形和两个循环网络层，然后经过两个全连接层，最后连接分类器输出二值分类结果，所述二值分类结果包括“自闭症”和“健康”两类。

本申请实施例采取的另一技术方案为：一种基于小样本数据增强的自闭症风险评估装置，包括：

信号采集模块：用于采集受试者的多通道脑电信号；

连通图构建模块：用于利用皮尔森相关系数对对所述多通道脑电信号进行计算，得到各个通道之间的相关性，生成大脑功能连接矩阵，并按所述多通道脑电信号的时序信息构建大脑时序连通图；

数据增强模块：用于利用生成对抗网络对所述大脑时序连通图进行数据增强处理；

风险评估模块：用于将所述数据增强处理后的大脑时序连通图输入到训练好的深度卷积网络与长短期记忆网络联合模型中进行分类，并由分类器输出受试者的自闭症风险评估结果。

本申请实施例采取的技术方案还包括：所述连通图构建模块利用皮尔森相关系数对对所述多通道脑电信号进行计算，得到各个通道之间的相关性，生成大脑功能连接矩阵，并按所述多通道脑电信号的时序信息构建大脑时序连通图，

具体为：

通过皮尔森相关系数计算受试者一个脑电片段中每个通道与其他通道之间的相关性，得到一个设定大小的功能连接矩阵；

将所述功能连接矩阵的上三角矩阵展开成一维，并利用 SelectKBest 算法作为特征筛选算法对功能连接特征进行筛选，保留设定数量的主要功能连接特征；

将一个受试者所采集的设定数量的时间片段的脑电信号按照时间顺序组成设定大小的大脑功能连接矩阵，并根据灰度值分布将所述大脑功能连接矩阵转化为大脑时序连通图。

本申请实施例采取的又一技术方案为：一种计算机设备，所述计算机设备包括处理器、与所述处理器耦接的存储器，其中，

所述存储器存储有用于实现所述基于小样本数据增强的自闭症风险评估方法的程序指令；

所述处理器用于执行所述存储器存储的所述程序指令以控制基于小样本数据增强的自闭症风险评估方法。

本申请实施例采取的又一技术方案为：一种存储介质，存储有处理器可运行的程序指令，所述程序指令用于执行所述基于小样本数据增强的自闭症风险评估方法。

相对于现有技术，本申请实施例产生的有益效果在于：本申请实施例的基于小样本数据增强的自闭症风险评估方法及装置利用脑电信号计算出大脑功能连接矩阵，并根据脑电信号的时间信息构建大脑时序连通图，利用生成对抗网络对大脑时序连通图进行样本扩充后，输入到深度卷积网络与长短期记忆网络联合模型进行分类，并由分类器输出自闭症风险评估结果。本申请实施例从

大脑功能连通性的角度考虑了自闭症患者与健康人群之间存在的差异性，同时考虑了大脑功能连接性与脑电信号所具有的时间信息，能更准确地对受试者进行自闭症风险评估。将每一个受试者整体时间的脑电信号作为一个样本也更加符合实际诊断场景。通过设计生成对抗网络模型进行样本扩充，有效解决了样本量普遍较少的问题。通过构建了深度卷积网络与长短期记忆网络联合模型进行自闭症风险评估，能够考虑更全面的脑电信号特征，进一步提高自闭症风险评估的精度。

附图说明

图 1 是本申请实施例的基于小样本数据增强的自闭症风险评估方法的流程图；

图 2 是本申请实施例构建的大脑时序连通图；

图 3 为本申请实施例的生成对抗网络的模型结构示意图；

图 4 为本申请实施例的深度卷积网络与长短期记忆网络联合模型结构示意图；

图 5 为本申请实施例的基于小样本数据增强的自闭症风险评估装置结构示意图；

图 6 为本申请实施例的计算机设备结构示意图；

图 7 为本申请实施例的存储介质的结构示意图。

具体实施方式

下面将结合本申请实施例中的附图，对本申请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申请的一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本申请中的实施例，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实施例，都属于本申请保护的范围。

本申请中的术语“第一”、“第二”、“第三”仅用于描述目的，而不能理解为指示或暗示相对重要性或者隐含指明所指示的技术特征的数量。由此，限定有“第一”、“第二”、“第三”的特征可以明示或者隐含地包括至少一个该特征。本申请的描述中，“多个”的含义是至少两个，例如两个，三个等，除非另有明确具体的限定。本申请实施例中所有方向性指示（诸如上、下、左、右、前、后……）仅用于解释在某一特定姿态（如附图所示）下各部件之间的相对位置关系、运动情况等，如果该特定姿态发生改变时，则该方向性指示也相应地随之改变。此外，术语“包括”和“具有”以及它们任何变形，意图在于覆盖不排他的包含。例如包含了一系列步骤或单元的过程、方法、系统、产品或计算机设备没有限定于已列出的步骤或单元，而是可选地还包括没有列出的步骤或单元，或可选地还包括对于这些过程、方法、产品或计算机设备固有的其它步骤或单元。

在本文中提及“实施例”意味着，结合实施例描述的特定特征、结构或特性可以包含在本申请的至少一个实施例中。在说明书中的各个位置出现该短语并不一定均是指相同的实施例，也不是与其它实施例互斥的独立的或备选的实施例。本领域技术人员显式地和隐式地理解的是，本文所描述的实施例可以与其它实施例相结合。

具体地，请参阅图 1，是本申请实施例的基于小样本数据增强的自闭症风险评估方法的流程图。本申请实施例的基于小样本数据增强的自闭症风险评估方法包括以下步骤：

S100：采集受试者的多通道脑电信号；

本步骤中，采集的多通道脑电信号具有 125 个通道，具体通道数可根据实际应用场景进行设定。

S110：对多通道脑电信号进行预处理；

本步骤中，由于在脑电信号采集过程中不可避免会有噪声引入，因此在预处理阶段需对眼电信号等噪声进行消除处理。本申请实施例中，多通道脑电信

号的预处理过程包括：使用抗混叠滤波器对多通道脑电信号进行滤波，以设定采样率对所有脑电信号进行数字化并放大。最后使用基线校正算法对放大后的多通道脑电信号进行校正，并利用伪影检测算法对多通道脑电信号进行伪影去除，得到预处理后的多通道脑电信号。

S120：利用皮尔森相关系数(Pearson product-moment correlation coefficient)对预处理后的多通道脑电信号进行计算，得到各个通道之间的相关性，生成大脑功能连接矩阵，并按时序构建大脑时序连通图；

本步骤中，通过皮尔森相关系数计算受试者一个脑电片段中每个通道与其他通道之间的相关性，从而得到一个 125×125 的功能连接矩阵。将功能连接矩阵的上三角矩阵展开成一维，然后利用 SelectKBest 算法作为特征筛选算法对功能连接特征进行筛选，保留设定数量的主要功能连接特征。假设保留的主要功能连接特征为 400 个，将一个受试者所采集的 40 个时间片段的脑电信号按照时间顺序组成 400×40 的大脑功能连接矩阵，然后根据灰度值分布将大脑功能连接矩阵转化为大脑时序连通图，并将所有大脑时序连通图按照设定比例划分为训练集和验证集，本申请实施例中，训练集的划分比例为 80%，验证集的划分比例为 20%，具体可根据实际应用场景进行设定。具体如图 2 所示，是本申请实施例构建的大脑时序连通图，其中（a）为自闭症患者的大脑时序连通图，（b）为健康对照组的大脑时序连通图；由图（2）可以看到自闭症患者与健康对照组的大脑时序连通图具有明细差异。可以理解，在本申请其他实施例中，还可以采用相位锁定值作为构建大脑时序连通图的连接指标。

S130：利用生成对抗网络（DCGAN）对训练集中的大脑时序连通图进行数据增强处理，生成扩充后的训练集；

本步骤中，由于自闭症受试者样本数量普遍不足，本申请实施例利用 pytorch 设计生成对抗网络（DCGAN），将生成对抗网络作为一种数据增强的方法对大脑时序连通图进行样本量扩充。具体的，本申请实施例的生成对抗网络的模型结构如图 3 所示，生成对抗网络包括生成器和判别器两个部分，在生成

器部分由 3 层反卷积层组成，将 100x1 噪声矢量通过反卷积映射到 400x40x1 的大脑时序连通图中，生成新的大脑时序连通图；在判别器部分用 3 层卷积层判别生成的大脑时序连通图真伪。经过生成器与判别器迭代对抗 100 次后，将生成器生成的大脑时序连通图作为扩充的伪样本。本申请实施例中，仅针对训练集进行数据增强处理，不会影响验证集分类实验的结果。

S140：将扩充后的训练集输入到构建的深度卷积网络与长短期记忆网络联合模型（CNN-LSTM）中进行分类，并由分类器输出受试者的自闭症风险评估结果；

本步骤中，利用 pytorch 搭建深度卷积网络与长短期记忆网络联合模型，深度卷积网络与长短期记忆网络联合模型结构如图 4 所示。其中，深度卷积网络部分包括 5 个卷积层和 4 个池化层，通过大小为 3X3 和 2x2 的卷积层学习输入数据的局部特征，卷积层由 ReLU 函数激活。长短期记忆网络的隐藏层维度大小设置为 64，循环网络的层数设置为 2 层，全连接层设置为 2 层。由于构建的大脑时序连通图是灰度值图像，因此起始的输入数据尺寸为 400×40×1。经过输入维数转换后，图像尺寸变为 400×1×1，随后依次经过隐藏层的整形和两个循环网络层后图像尺寸变为 64×1×1，然后经过两个全连接层最后连接分类器输出最终的二值分类结果，利用 5 倍交叉验证技术对深度卷积网络与长短期记忆网络联合模型进行实验验证，得到最优的深度卷积网络与长短期记忆网络联合模型。所述二值分类结果包括“自闭症”和“健康”两类结果，如果分类结果为“自闭症”，表示受试者患有自闭症的风险较高，需要进行下一步更加专业的诊断。可以理解，本申请实施例仅以基于小样本数据增强的自闭症风险评估为例，本申请实施例同样适用于其他同样存在样本量较小的医学图像以及具有时空特征图像的评估分类。

为了验证本申请实施例的可行性和有效性，通过实验对本申请实施例的识别精度进行了评估，本发明通过实验证明方法可行，利用自闭症患者与健康对照组数据进行测试可达到的识别精度如下表 1 所示：

表 1 自闭症患者与健康对照组数据进行测试的识别精度

脑电信号数据集	静息态脑电信号	任务态脑电信号
网络模型识别准确率	81.08%	74.55%

实验结果表明，本申请实施例可以快速准确地对受试者患有自闭症的风险进行评估，其中在静息态脑电信号数据集中，利用本申请实施例的深度卷积网络与长短期记忆网络联合模型进行测试得到的识别精度最高可达 81.08%。

基于上述，本申请实施例的基于小样本数据增强的自闭症风险评估方法利用脑电信号计算出大脑功能连接矩阵，并根据脑电信号的时间信息构建大脑时序连通图，利用生成对抗网络（DCGAN）对大脑时序连通图进行样本扩充后，输入到深度卷积网络与长短期记忆网络联合模型（CNN-LSTM）进行分类，并由分类器输出自闭症风险评估结果。本申请实施例从大脑功能连通性的角度考虑了自闭症患者与健康人群之间存在的差异性，同时考虑了大脑功能连接性与脑电信号所具有的时间信息，能更准确地对受试者进行自闭症风险评估。将每一个受试者整体时间的脑电信号作为一个样本也更加符合实际诊断场景。通过设计生成对抗网络模型进行样本扩充，有效解决了样本量普遍较少的问题。通过构建了深度卷积网络与长短期记忆网络联合模型进行自闭症风险评估，能够考虑更全面的脑电信号特征，进一步提高自闭症风险评估的精度。

请参阅图 5，为本申请实施例的基于小样本数据增强的自闭症风险评估装置结构示意图。本申请实施例的基于小样本数据增强的自闭症风险评估装置 40 包括：

信号采集模块 41：用于采集受试者的多通道脑电信号；

连通图构建模块 42：用于利用皮尔森相关系数对对所述多通道脑电信号进行计算，得到各个通道之间的相关性，生成大脑功能连接矩阵，并按所述多通道脑电信号的时序信息构建大脑时序连通图；

数据增强模块 43：用于利用生成对抗网络对所述大脑时序连通图进行数据增强处理；

风险评估模块 44：用于利用生成对抗网络对所述大脑时序连通图进行数据增强处理，并将所述数据增强处理后的大脑时序连通图输入到训练好的深度卷积网络与长短期记忆网络联合模型中进行分类，并由分类器输出受试者的自闭症风险评估结果。

需要说明的是，上述装置/单元之间的信息交互、执行过程等内容，由于与本申请方法实施例基于同一构思，其具体功能及带来的技术效果，具体可参见方法实施例部分，此处不再赘述。

本申请实施例提供的装置可以应用在前述方法实施例中，详情参见上述方法实施例的描述，在此不再赘述。

请参阅图 6，为本申请实施例的计算机设备结构示意图。该计算机设备 50 包括：

存储有可执行程序指令的存储器 51；

与存储器 51 连接的处理器 52；

处理器 52 用于调用存储器 51 中存储的可执行程序指令并执行以下步骤：采集受试者的多通道脑电信号；利用皮尔森相关系数对对所述多通道脑电信号进行计算，得到各个通道之间的相关性，生成大脑功能连接矩阵，并按所述多通道脑电信号的时序信息构建大脑时序连通图；利用生成对抗网络对所述大脑时序连通图进行数据增强处理，并将所述数据增强处理后的大脑时序连通图输入到训练好的深度卷积网络与长短期记忆网络联合模型中进行分类，并由分类器输出受试者的自闭症风险评估结果。

其中，处理器 52 还可以称为 CPU（Central Processing Unit，中央处理单元）。处理器 52 可能是一种集成电路芯片，具有信号的处理能力。处理器 52 还可以是通用处理器、数字信号处理器（DSP）、专用集成电路（ASIC）、现成可编程门阵列（FPGA）或者其他可编程逻辑器件、分立门或者晶体管逻辑器

件、分立硬件组件。通用处理器可以是微处理器或者该处理器也可以是任何常规的处理器等。

请参阅图 7，图 7 为本申请实施例的存储介质的结构示意图。本申请实施例的存储介质存储有能够实现以下步骤的程序指令 61：采集受试者的多通道脑电信号；利用皮尔森相关系数对对所述多通道脑电信号进行计算，得到各个通道之间的相关性，生成大脑功能连接矩阵，并按所述多通道脑电信号的时序信息构建大脑时序连通图；利用生成对抗网络对所述大脑时序连通图进行数据增强处理，并将所述数据增强处理后的大脑时序连通图输入到训练好的深度卷积网络与长短期记忆网络联合模型中进行分类，并由分类器输出受试者的自闭症风险评估结果。其中，该程序指令 61 可以以软件产品的形式存储在上述存储介质中，包括若干指令用以使得一台计算机设备（可以是个人计算机，服务器，或者网络计算机设备等）或处理器（processor）执行本申请各个实施方式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指令的介质，或者是计算机、服务器、手机、平板等终端计算机设备。其中，服务器可以是独立的服务器，也可以是提供云服务、云数据库、云计算、云函数、云存储、网络服务、云通信、中间件服务、域名服务、安全服务、内容分发网络（Content Delivery Network，CDN）、以及大数据和人工智能平台等基础云计算服务的云服务器。

在本申请所提供的几个实施例中，应该理解到，所揭露的系统，装置和方法，可以通过其它的方式实现。例如，以上所描述的系统实施例仅仅是示意性的，例如，单元的划分，仅仅为一种逻辑功能划分，实际实现时可以有另外的划分方式，例如多个单元或组件可以结合或者可以集成到另一个系统，或一些特征可以忽略，或不执行。另一点，所显示或讨论的相互之间的耦合或直接耦合或通信连接可以是通过一些接口，装置或单元的间接耦合或通信连接，可以是电性，机械或其它的形式。

另外，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单元中，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单元中。上述集成的单元既可以采用硬件的形式实现，也可以采用软件功能单元的形式实现。以上仅为本申请的实施方式，并非因此限制本申请的专利范围，凡是利用本申请说明书及附图内容所作的等效结构或等效流程变换，或直接或间接运用在其他相关的技术领域，均同理包括在本申请的专利保护范围内。

权利要求

1、一种基于小样本数据增强的自闭症风险评估方法，其特征在于，包括：

采集受试者的多通道脑电信号；

利用皮尔森相关系数对对所述多通道脑电信号进行计算，得到各个通道之间的相关性，生成大脑功能连接矩阵，并按所述多通道脑电信号的时序信息构建大脑时序连通图；

利用生成对抗网络对所述大脑时序连通图进行数据增强处理，并将所述数据增强处理后的大脑时序连通图输入到训练好的深度卷积网络与长短期记忆网络联合模型中进行分类，并由分类器输出受试者的自闭症风险评估结果。

2、根据权利要求 1 所述的基于小样本数据增强的自闭症风险评估方法，其特征在于，所述采集受试者的多通道脑电信号之后，还包括：

对所述多通道脑电信号进行预处理；所述预处理过程包括：使用抗混叠滤波器对所述多通道脑电信号进行滤波，以设定采样率对所有脑电信号进行数字化并放大；

使用基线校正算法对放大后的多通道脑电信号进行校正，并利用伪影检测算法对多通道脑电信号进行伪影去除，得到预处理后的多通道脑电信号。

3、根据权利要求 2 所述的基于小样本数据增强的自闭症风险评估方法，其特征在于，所述利用皮尔森相关系数对对所述多通道脑电信号进行计算，得到各个通道之间的相关性，生成大脑功能连接矩阵，并按所述多通道脑电信号的时序信息构建大脑时序连通图，具体为：

通过皮尔森相关系数计算受试者一个脑电片段中每个通道与其他通道之间的相关性，得到一个设定大小的功能连接矩阵；

将所述功能连接矩阵的上三角矩阵展开成一维，并利用 SelectKBest 算法作为特征筛选算法对功能连接特征进行筛选，保留设定数量的主要功能连接特征；

将一个受试者所采集的设定数量的时间片段的脑电信号按照时间顺序组成设定大小的大脑功能连接矩阵，并根据灰度值分布将所述大脑功能连接矩阵转化为大脑时序连通图。

4、根据权利要求 1 至 3 任一项所述的基于小样本数据增强的自闭症风险评估方法，其特征在于，所述按所述多通道脑电信号的时序信息构建大脑时序连通图之后，还包括：

将所述大脑时序连通图按照设定比例划分为训练集和验证集。

5、根据权利要求1至4任一项所述的基于小样本数据增强的自闭症风险评估方法，其特征在于，所述利用生成对抗网络对所述大脑时序连通图进行数据增强处理，具体为：

所述生成对抗网络包括生成器和判别器，所述生成器包括3层反卷积层，将噪声矢量通过反卷积层映射到大脑时序连通图中，生成新的大脑时序连通图；所述判别器使用3层卷积层判别生成的大脑时序连通图真伪，并经过生成器与判别器迭代对抗设定次数后，将所述生成器生成的大脑时序连通图作为扩充的伪样本。

6、根据权利要求5所述的基于小样本数据增强的自闭症风险评估方法，其特征在于，所述将所述数据增强处理后的大脑时序连通图输入到训练好的深度卷积网络与长短期记忆网络联合模型中进行分类，并由分类器输出受试者的自闭症风险评估结果，具体为：

所述深度卷积网络与长短期记忆网络联合模型的深度卷积网络部分包括5个卷积层和4个池化层，通过卷积层学习输入数据的局部特征，所述卷积层由

ReLU函数激活；所述长短期记忆网络包括隐藏层、循环网络层和全连接层，输入数据经过输入维数转换后，依次经过隐藏层的整形和两个循环网络层，然后经过两个全连接层，最后连接分类器输出二值分类结果，所述二值分类结果包括“自闭症”和“健康”两类。

7、一种基于小样本数据增强的自闭症风险评估装置，其特征在于，包括：

信号采集模块：用于采集受试者的多通道脑电信号；

连通图构建模块：用于利用皮尔森相关系数对对所述多通道脑电信号进行计算，得到各个通道之间的相关性，生成大脑功能连接矩阵，并按所述多通道脑电信号的时序信息构建大脑时序连通图；

数据增强模块：用于利用生成对抗网络对所述大脑时序连通图进行数据增强处理；

风险评估模块：用于将所述数据增强处理后的大脑时序连通图输入到训练好的深度卷积网络与长短期记忆网络联合模型中进行分类，并由分类器输出受试者的自闭症风险评估结果。

8、根据权利要求 7 所述的基于小样本数据增强的自闭症风险评估装置，其特征在于，所述连通图构建模块利用皮尔森相关系数对对所述多通道脑电信号进行计算，得到各个通道之间的相关性，生成大脑功能连接矩阵，并按所述多通道脑电信号的时序信息构建大脑时序连通图，具体为：

通过皮尔森相关系数计算受试者一个脑电片段中每个通道与其他通道之间的相关性，得到一个设定大小的功能连接矩阵；

将所述功能连接矩阵的上三角矩阵展开成一维，并利用 SelectKBest 算法作为特征筛选算法对功能连接特征进行筛选，保留设定数量的主要功能连接特征；

将一个受试者所采集的设定数量的时间片段的脑电信号按照时间顺序组成

设定大小的大脑功能连接矩阵，并根据灰度值分布将所述大脑功能连接矩阵转化为大脑时序连通图。

9、一种计算机设备，其特征在于，所述计算机设备包括处理器、与所述处理器耦接的存储器，其中，

所述存储器存储有用于实现权利要求1-6任一项所述的基于小样本数据增强的自闭症风险评估方法的程序指令；

所述处理器用于执行所述存储器存储的所述程序指令以控制基于小样本数据增强的自闭症风险评估方法。

10、一种存储介质，其特征在于，存储有处理器可运行的程序指令，所述程序指令用于执行权利要求 1 至 6 任一项所述基于小样本数据增强的自闭症风险评估方法。

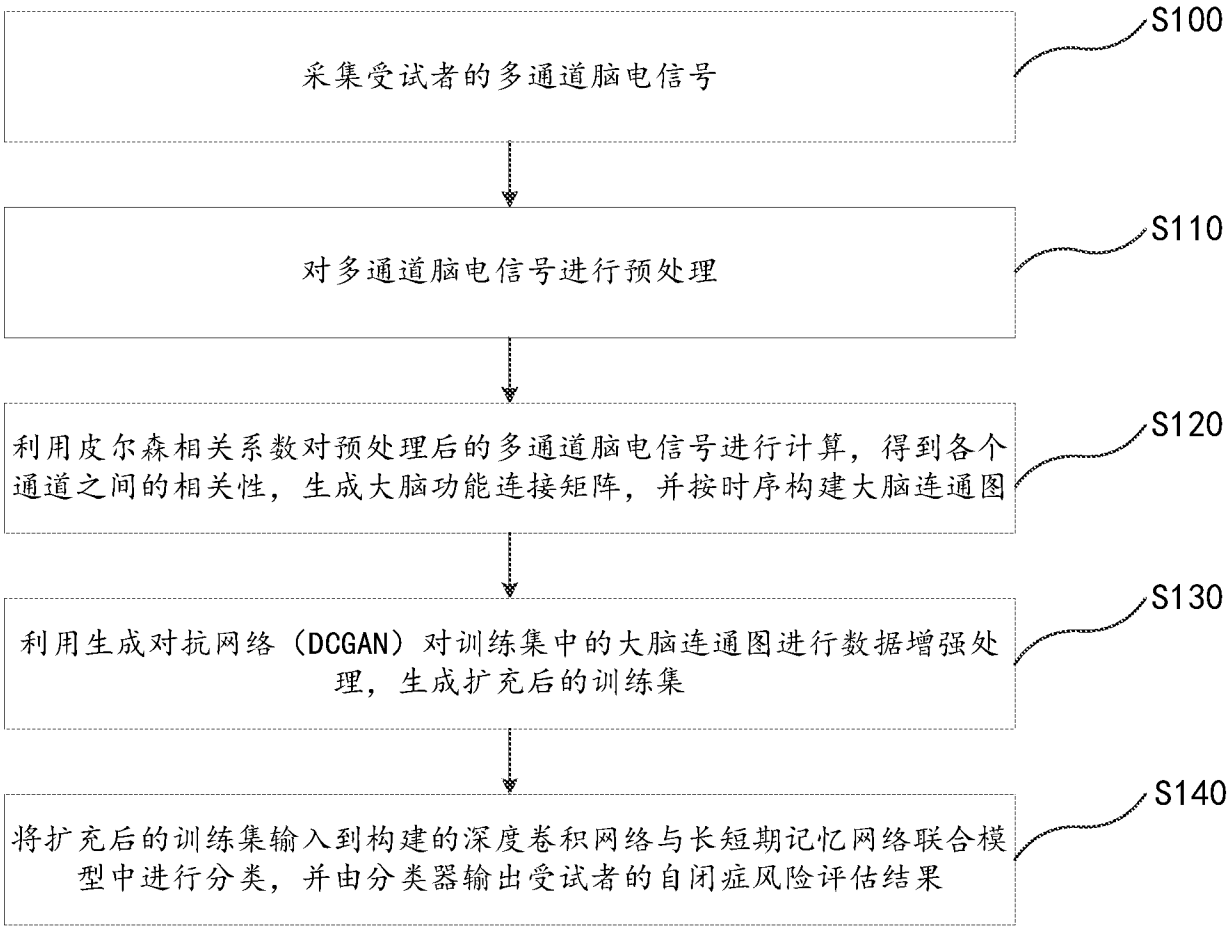
采集受试者的多通道脑电信号
S100
对多通道脑电信号进行预处理
S110
利用皮尔森相关系数对预处理后的多通道脑电信号进行计算，得到各个通道之间的相关性，生成大脑功能连接矩阵，并按时序构建大脑连通图
S120
利用生成对抗网络（DCGAN）对训练集中的大脑连通图进行数据增强处理，生成扩充后的训练集
S130
将扩充后的训练集输入到构建的深度卷积网络与长短期记忆网络联合模型中进行分类，并由分类器输出受试者的自闭症风险评估结果
S140

图 1

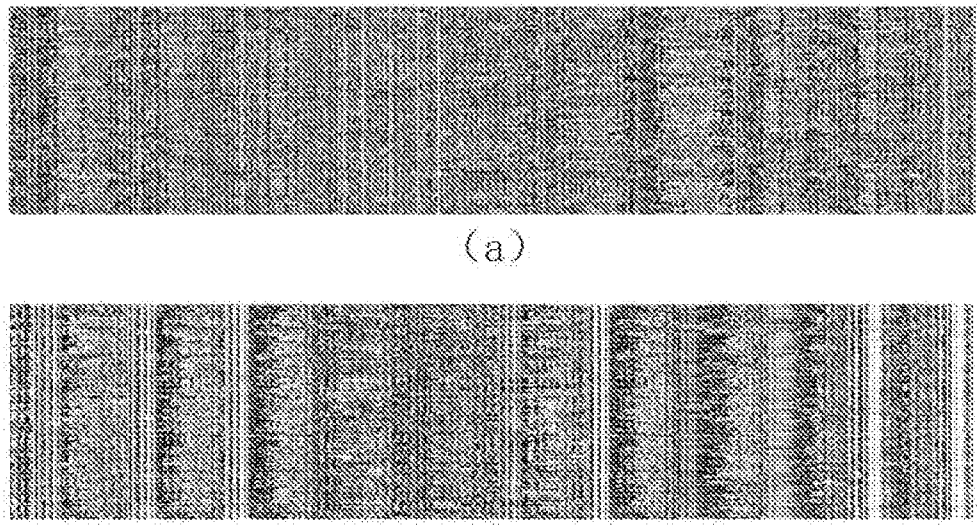

图 2

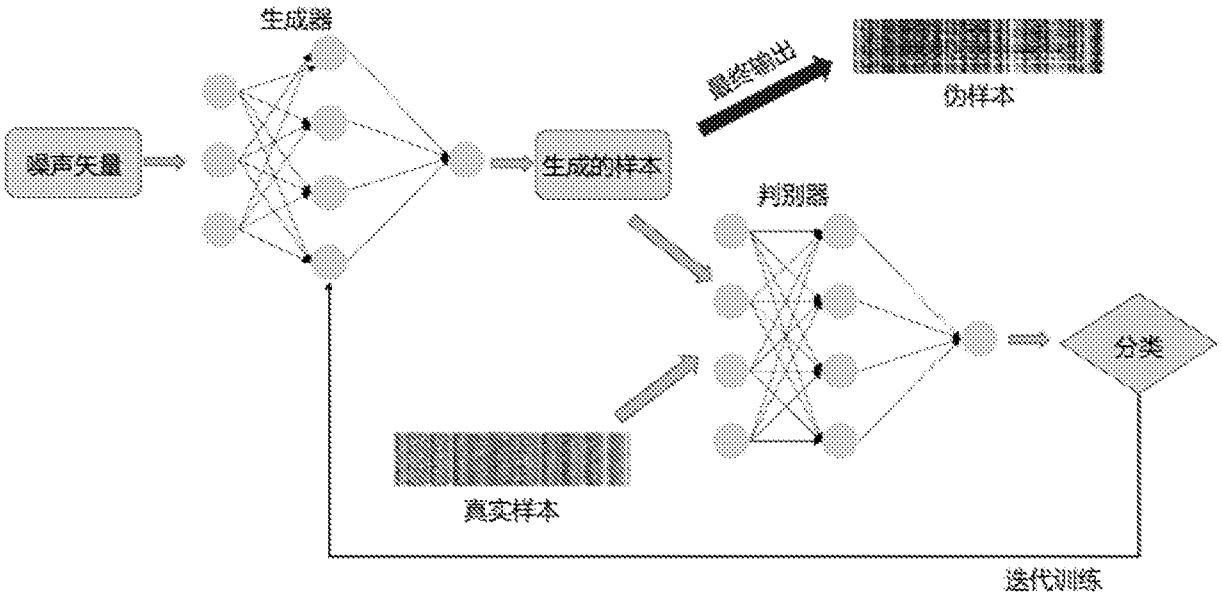

图 3

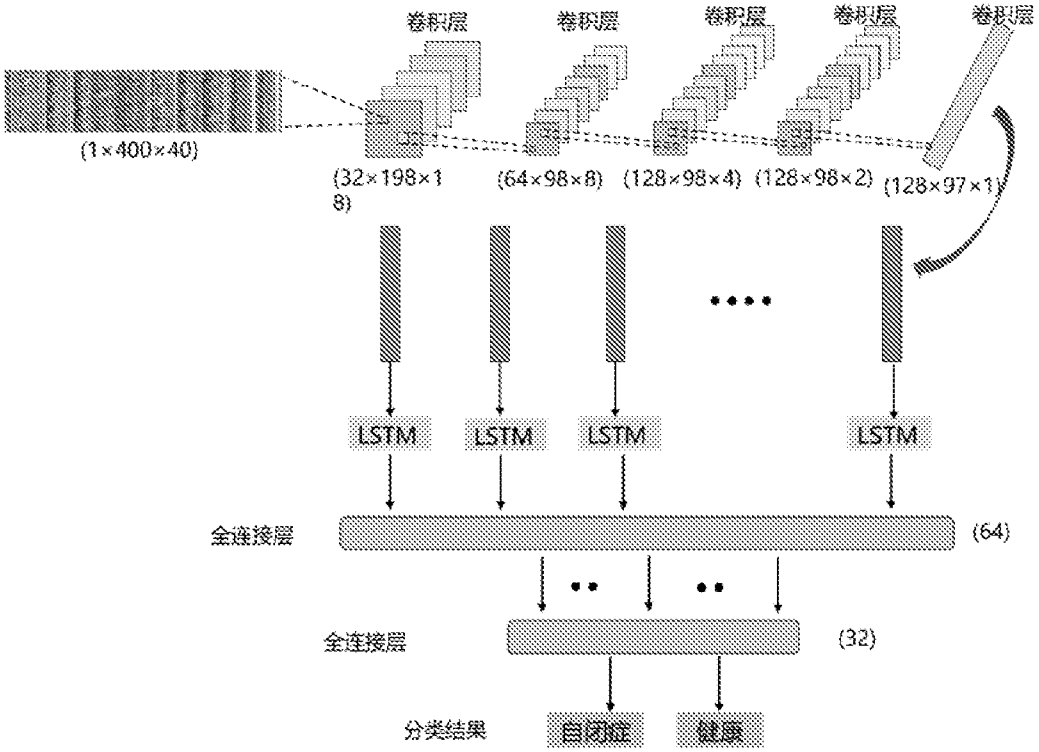
卷积层
卷积层
卷积层
卷积层
卷积层
(1×400×40)
(32×198×18)
(64×98×8)
(128×98×4)
(128×98×2)
(128×97×1)
LSTM
LSTM
LSTM
LSTM
全连接层
(64)
全连接层
(32)
分类结果
自闭症
健康

图 4

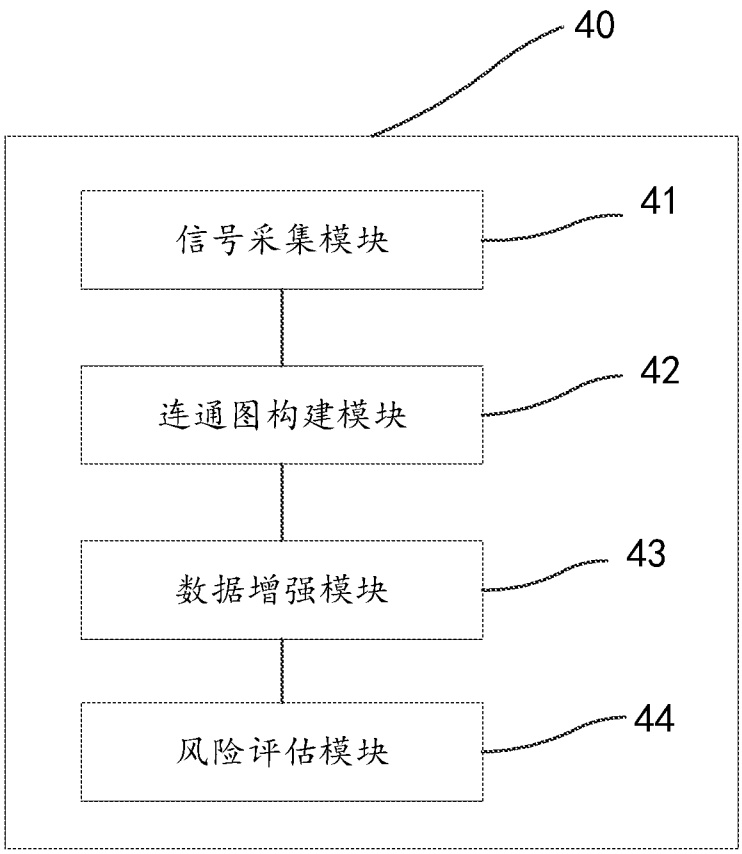
40
信号采集模块
41
连通图构建模块
42
数据增强模块
43
风险评估模块
44

图 5

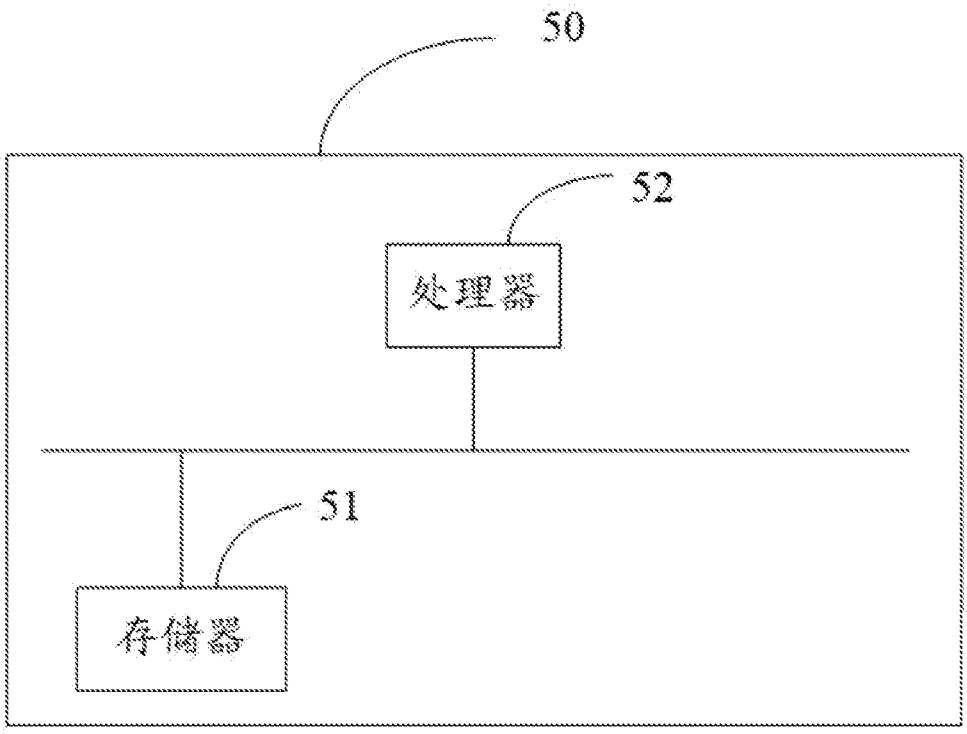

图 6

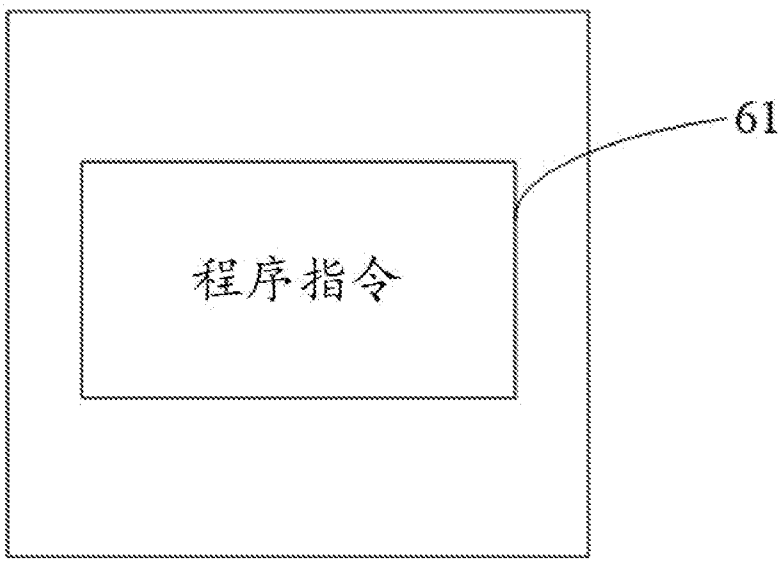

图 7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2023/139971

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G16H50/20(2018.01)i; A61B5/369(2021.01)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: G16H; A61B

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)

CNABS, CNTXT, DWPI, VEN, USTXT, EPTXT, WOTXT, CNKI, IEEE: 自闭症, 脑, 通道, 相关, 功能, 连接, 时序, 增强, 模型, 分类, ASD, autism, brain, channel, correlation, functional, connectivity, time series, enhance, model, classification

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	CN 115414041 A (SHENZHEN INSTITUTE OF ADVANCED TECHNOLOGY) 02 December 2022 (2022-12-02) description, paragraphs 22-89	1-10
Y	CN 114241240 A (SHENZHEN INSTITUTES OF ADVANCED TECHNOLOGY, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) 25 March 2022 (2022-03-25) description, paragraphs 18, 54 and 72	1-10
Y	CN 113768465 A (ANHUI NORMAL UNIVERSITY) 10 December 2021 (2021-12-10) description, paragraphs [0031]-[0052]	1-10
Y	CN 112001306 A (XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY) 27 November 2020 (2020-11-27) description, paragraphs [0049]-[0082]	1-10
A	CN 116313090 A (SHANGHAI INTERNATIONAL STUDIES UNIVERSITY) 23 June 2023 (2023-06-23) entire document	1-10
A	US 2011301431 A1 (THE BOARD OF TRUSTEES OF THE LELAND STANFORD JUNIOR UNIVERSITY) 08 December 2011 (2011-12-08) 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	Date of mailing of the international search report
22 August 2024	**04 September 2024**

Name and mailing address of the ISA/CN	Authorized officer
China National Intellectual Property Administration (ISA/CN) **China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing 100088**	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2023/139971

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN 115414041 A	02 December 2022	WO 2024040797 A1	29 February 2024
CN 114241240 A	25 March 2022	None	
CN 113768465 A	10 December 2021	None	
CN 112001306 A	27 November 2020	None	
CN 116313090 A	23 June 2023	None	
US 2011301431 A1	08 December 2011	None	

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2023/139971

A. 主题的分类

G16H50/20(2018.01)i；A61B5/369(2021.01)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: G16H; A61B

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））

CNABS;CNTXT;DWPI;VEN;USTXT;EPTXT;WOTXT;CNKI;IEEE:自闭症，脑，通道，相关，功能，连接，时序，增强，模型，分类，ASD, autism, brain, channel, correlation, functional, connectivity, time series, enhance, model, classification

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
Y	CN 115414041 A (深圳先进技术研究院) 2022年12月2日 (2022 - 12 - 02) 说明书第22-89段	1-10
Y	CN 114241240 A (中国科学院深圳先进技术研究院) 2022年3月25日 (2022 - 03 - 25) 说明书第18、54、72段	1-10
Y	CN 113768465 A (安徽师范大学) 2021年12月10日 (2021 - 12 - 10) 说明书第31-52段	1-10
Y	CN 112001306 A (西安交通大学) 2020年11月27日 (2020 - 11 - 27) 说明书第49-82段	1-10
A	CN 116313090 A (上海外国语大学) 2023年6月23日 (2023 - 06 - 23) 全文	1-10
A	US 2011301431 A1 (THE BOARD OF TRUSTEES OF THE LELAND STANFORD JUNIOR UNIVERSITY) 2011年12月8日 (2011 - 12 - 08) 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	国际检索报告邮寄日期
2024年8月22日	2024年9月4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	受权官员 戴诚 电话号码 (+86) 020-28958945

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2023/139971

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	115414041	A	2022年12月2日	WO	2024040797	A1	2024年2月29日
CN	114241240	A	2022年3月25日		无		
CN	113768465	A	2021年12月10日		无		
CN	112001306	A	2020年11月27日		无		
CN	116313090	A	2023年6月23日		无		
US	2011301431	A1	2011年12月8日		无		