(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
2023 年 6 月 29 日 (29.06.2023)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2023/115339 A1

(51) 国际专利分类号:
G06T 11/00 (2006.01) *A61B 5/055* (2006.01)
G06N 3/08 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2021/140119

(22) 国际申请日: 2021 年 12 月 21 日 (21.12.2021)

(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, Guangdong 518055 (CN)。

(72) 发明人: 王珊珊 (**WANG, Shanshan**); 中国广东省深圳市南山区西丽大学城学苑大道1068号, Guangdong 518055 (CN)。 郑海荣 (**ZHENG, Hairong**); 中国广东省深圳市南山区西丽大学城学苑大道1068号, Guangdong 518055 (CN)。 吴若有 (**WU, Ruoyou**); 中国广东省深圳市南山区西丽大学城学苑大道1068号, Guangdong 518055 (CN)。 刘新 (**LIU, Xin**); 中国广东省深圳市南山区西丽大学城学苑大道1068号, Guangdong 518055 (CN)。 梁栋 (**LIANG, Dong**); 中国广东省深圳市南山区西丽大学城学苑大道1068号, Guangdong 518055 (CN)。

(74) 代理人: 北京市诚辉律师事务所 (**BEIJING CHENGHUI LAW FIRM**); 中国北京市朝阳区朝阳北路99号楼2单元905, Beijing 100123 (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,

(54) **Title:** PHYSICS-BASED DATA AUGMENTATION CONTRASTIVE LEARNING REPRESENTATION IMAGING METHOD

(54) 发明名称: 基于物理的数据增强对比学习表示成像方法

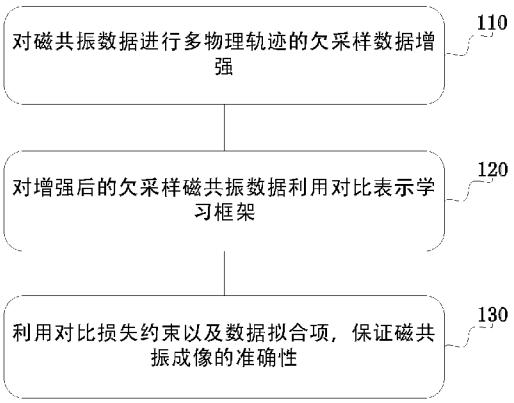


图 1

110 Perform undersampling data augmentation of multiple physical trajectories on magnetic resonance data
120 Apply a contrastive representation learning framework to augmented undersampled magnetic resonance data
130 Ensure the accuracy of magnetic resonance imaging by using a contrastive loss constraint and a data fitting item

(57) **Abstract:** Disclosed in the present application are a physics-based data augmentation contrastive learning representation imaging method and apparatus, and a device and a storage medium thereof. The method comprises: performing undersampling data augmentation of multiple physical trajectories on magnetic resonance data; applying a contrastive representation learning framework to augmented undersampled magnetic resonance data; and ensuring the accuracy of magnetic resonance imaging by using a contrastive loss constraint and a data fitting item. By means of the solution provided in the present application, the problem of dependency on fully sampled data is solved, thereby improving the utilization efficiency of undersampled data. In addition, provided in the present invention is a parallel network framework for fast magnetic resonance imaging, thereby providing guidance for a magnetic resonance imaging technique.

WO 2023/115339 A1

[见续页]

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, 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))。

(57) 摘要：本申请公开了一种基于物理的数据增强对比学习表示成像方法、装置、设备及其存储介质，该方法包括：对磁共振数据进行多物理轨迹的欠采样数据增强；对增强后的欠采样磁共振数据利用对比表示学习框架；利用对比损失约束以及数据拟合项，保证磁共振成像的准确性。本申请提供的上述方案，解决了对于全采样数据的依赖问题，提高了对欠采样数据的利用效率。此外，本发明提出了一种磁共振快速成像的并行网络框架，为磁共振成像技术提供了指导。

基于物理的数据增强对比学习表示成像方法

技术领域

本发明涉及医学影像技术，具体涉及一种基于物理的数据增强对比学习表示成像方法、装置、设备及其存储介质。

背景技术

磁共振成像(MRI)广泛应用于各种疾病的诊断，与计算机断层扫描(CT)等其他医学成像技术相比，MRI 的一个瓶颈是扫描时间过长。并行 MRI 是一种广泛使用的加速策略，利用多个接收线圈提供的冗余信息来减少扫描时间。

近年来，深度学习以其优异的性能被广泛应用于 MR 图像重建。对于纯数据驱动的方法，通常需要学习欠采样数据和全采样数据之间的映射，或者有伪影和没有伪影图像之间的映射。为了提高方法的可解释性，提出了物理引导的方法，通常利用正则化最小二乘目标函数求解逆问题。这些模型主要采用全监督学习方法，在模型优化时需要全采样数据作为参考。尽管取得了成功，但在实际应用中很难获得完整的采样数据，尤其是在动态成像中。自监督学习方法可以解决这一问题，并取得了鼓舞人心的成绩。但是，由于收集的数据利用率较低，性能仍然可以得到改善。

现有的 MRI 重建方法的主要缺点是基于监督学习的方法过度依赖于全采样数据，在实际场景中，全采样数据很难获得或获得的成本

较大。而且长时间的扫描会引起患者的不适，并且对于心脏部分的成像会产生伪影。基于自监督的方法解决了对于全采样数据依赖的问题，但没有充分欠采样数据。

发明内容

鉴于现有技术中的上述缺陷或不足，期望提供一种基于物理的数据增强对比学习表示成像方法、装置、设备及其存储介质。

第一方面，本申请实施例提供了一种基于物理的数据增强对比学习表示成像方法，该方法包括：对磁共振数据进行多物理轨迹的欠采样数据增强；对增强后的欠采样磁共振数据利用对比表示学习框架；利用对比损失约束以及数据拟合项，保证磁共振成像的准确性。

在其中一个实施例中，所述对磁共振数据进行多物理轨迹的欠采样数据增强，包括：对欠采样数据进行二次欠采样得到数据增强子集一和数据增强子集二，将数据增强子集一和数据增强子集二结合图像的灵敏度图生成网络的输入图像。

在其中一个实施例中，所述对增强后的欠采样磁共振数据利用对比表示学习框架，包括：基于数据增强子集一和数据增强子集二搭建对应的并行网络框架重建网络一和重建网络二；将数据增强子集一输入到重建网络中生成重建图像一，将数据增强子集二输入到重建网络二中生成重建图像二。

在其中一个实施例中，所述利用对比损失约束以及数据拟合项，保证磁共振成像的准确性，包括：对于重建图像一和重建图像二进行重建损失设计；对比重建图像一和重建图像二之间的损失，保证重建图像一和重建图像二的输出保持一致；对重建图像一之后生成的变换图像一和重建图像二之后生成的变换图像二进行数据一致性损失设计；对训练好的模型进行测试，将并行网络的输出图像的平均值作为最终

的重建结果。

第二方面，本申请实施例还提供了一种基于物理的数据增强对比学习表示成像装置，该装置包括：增强单元，用于对磁共振数据进行多物理轨迹的欠采样数据增强；重建单元，用于对增强后的欠采样磁共振数据利用对比表示学习框架；保证单元，用于利用对比损失约束以及数据拟合项，保证磁共振成像的准确性。

在其中一个实施例中，所述对磁共振数据进行多物理轨迹的欠采样数据增强，包括：对欠采样数据进行二次欠采样得到数据增强子集一和数据增强子集二，将数据增强子集一和数据增强子集二结合图像的灵敏度图生成网络的输入图像。

在其中一个实施例中，所述对增强后的欠采样磁共振数据利用对比表示学习框架，包括：基于数据增强子集一和数据增强子集二搭建对应的并行网络框架重建网络一和重建网络二；将数据增强子集一输入到重建网络中生成重建图像一，将数据增强子集二输入到重建网络二中生成重建图像二。

在其中一个实施例中，所述利用对比损失约束以及数据拟合项，保证磁共振成像的准确性，包括：重建损失单元，用于对于重建图像一和重建图像二进行重建损失设计；对比损失单元，用于对比重建图像一和重建图像二之间的损失，保证重建图像一和重建图像二的输出保持一致；数据一致性损失单元，用于对重建图像一之后生成的变换图像一和重建图像二之后生成的变换图像二进行数据一致性损失设计；模型测试单元，用于对训练好的模型进行测试，将并行网络的输出图像的平均值作为最终的重建结果。

第三方面，本申请实施例还提供了一种计算机设备，包括存储器、处理器以及存储在存储器上并可在处理器上运行的计算机程序，所述处理器执行所述程序时实现如本申请实施例描述中任一所述的方法。

第四方面，本申请实施例还提供了一种计算机设备一种计算机可读存储介质，其上存储有计算机程序，所述计算机程序用于：所述计算机程序被处理器执行时实现如本申请实施例描述中任一所述的方法。

本发明的有益效果：

本发明提供的基于物理的数据增强对比学习表示成像方法，解决了对于全采样数据的依赖问题，提高了对欠采样数据的利用效率。此外，本发明提出了一种磁共振快速成像的并行网络框架，为磁共振成像技术提供了指导。

附图说明

通过阅读参照以下附图所作的对非限制性实施例所作的详细描述，本申请的其它特征、目的和优点将会变得更明显：

图 1 示出了本申请实施例提供的基于物理的数据增强对比学习表示成像方法的流程示意图；

图 2 示出了本申请又一实施例提供的基于物理的数据增强对比学习表示成像方法的流程示意图；

图 3 示出了根据本申请一个实施例的基于物理的数据增强对比学习表示成像装置 300 的示例性结构框图；

图 4 示出了本申请又一实施例的基于物理的数据增强对比学习表示成像装置 400 的示例性结构框图；

图 5 示出了适于用来实现本申请实施例的终端设备的计算机系统的结构示意图；

图 6 示出了本申请实施例提供的又一流程图。

具体实施方式

为使本发明的上述目的、特征和优点能够更加明显易懂，下面结合附图对本发明的具体实施方式做详细的说明。在下面的描述中阐述了很多具体细节以便于充分理解本发明。但是本发明能够以很多不同于在此描述的其它方式来实施，本领域技术人员可以在不违背本发明内涵的情况下做类似改进，因此本发明不受下面公开的具体实施例的限制。

在本发明的描述中，需要理解的是，术语“中心”、“纵向”、“横向”、“长度”、“宽度”、“厚度”、“上”、“下”、“前”、“后”、“左”、“右”、“竖直”、“水平”、“顶”、“底”、“内”、“外”、“顺时针”、“逆时针”、“轴向”、“径向”、“周向”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系，仅是为了便于描述本发明和简化描述，而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作，因此不能理解为对本发明的限制。

此外，术语“第一”、“第二”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”的特征可以明示或者隐含地包括至少一个该特征。在本发明的描述中，“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。

在本发明中，除非另有明确的规定和限定，术语“安装”、“相连”、“连接”、“固定”等术语应做广义理解，例如，可以是固定连接，也可以是可拆卸连接，或成一体；可以是机械连接，也可以是电连接；可以是直接相连，也可以通过中间媒介间接相连，可以是两个元件内部的连通或两个元件的相互作用关系，除非另有明确的限定。对于本领域的普通技术人员而言，可以根据具体情况理解上述术语在本发明中的具体含义。

在本发明中，除非另有明确的规定和限定，第一特征在第二特征“上”或“下”可以是第一和第二特征直接接触，或第一和第二特征通过中间媒介间接接触。而且，第一特征在第二特征“之上”、“上方”和“上面”可是第一特征在第二特征正上方或斜上方，或仅仅表示第一特征水平高度高于第二特征。第一特征在第二特征“之下”、“下方”和“下面”可以是第一特征在第二特征正下方或斜下方，或仅仅表示第一特征水平高度小于第二特征。

需要说明的是，当元件被称为“固定于”或“设置于”另一个元件，它可以直接在另一个元件上或者也可以存在居中的元件。当一个元件被认为是“连接”另一个元件，它可以是直接连接到另一个元件或者可能同时存在居中元件。本文所使用的术语“垂直的”、“水平的”、“上”、“下”、“左”、“右”以及类似的表述只是为了说明的目的，并不表示是唯一的实施方式。

请参考图 1，图 1 示出了本申请实施例提供的基于物理的数据增强对比学习表示成像方法的流程示意图。

如图 1 所示，该方法包括：

步骤 110，对磁共振数据进行多物理轨迹的欠采样数据增强；

步骤 120，对增强后的欠采样磁共振数据利用对比表示学习框架；

步骤 130，利用对比损失约束以及数据拟合项，保证磁共振成像的准确性。

采用上述技术方案，解决了对于全采样数据的依赖问题，提高了对欠采样数据的利用效率。此外，本发明提出了一种磁共振快速成像的并行网络框架，为磁共振成像技术提供了指导。

在一些实施例中，参考图 6 所示，本申请中的对磁共振数据进行多物理轨迹的欠采样数据增强，包括：对欠采样数据进行二次欠采样得到数据增强子集一和数据增强子集二，将数据增强子集一和数据增

强子集二结合图像的灵敏度图生成网络的输入图像。

在一些实施例中，参考图 6 所示，本申请中的对增强后的欠采样磁共振数据利用对比表示学习框架，包括：基于数据增强子集一和数据增强子集二搭建对应的并行网络框架重建网络一和重建网络二；将数据增强子集一输入到重建网络中生成重建图像一，将数据增强子集二输入到重建网络二中生成重建图像二。

在一些实施例中，请参考图 2，图 2 给出了本申请又一实施例提供的基于物理的数据增强对比学习表示成像方法的流程示意图。

如图 2 所示，其中利用对比损失约束以及数据拟合项，保证磁共振成像的准确性，包括：

步骤 210，对于重建图像一和重建图像二进行重建损失设计；

步骤 220，对比重建图像一和重建图像二之间的损失，保证重建图像一和重建图像二的输出保持一致；

步骤 230，对重建图像一之后生成的变换图像一和重建图像二之后生成的变换图像二进行数据一致性损失设计；

步骤 240，对训练好的模型进行测试，将并行网络的输出图像的平均值作为最终的重建结果。

综上所述，参考图 6 所示，本申请中的方法首先将欠采样数据进行二次欠采样得到两个数据增强子集。将两个子集结合图像的灵敏度图生成网络的输入图像。基于两个数据子集搭建一个并行网络框架，其中重建网络部分可以使用基于模型的 MRI 重建方法或者其他的 MRI 重建方法。重建损失主要是用来约束网络的输出和输入之间的一致性，保证网络更好的学习输入和输出之间的映射关系。对比损失主要用来保证并行网络的输出之间保持一致，借助于对比学习的优势更好的利用欠采样数据。数据一致性损失是对网络训练的进一步约束，主要目的提高重建图像的质量。模型测试部分是利用训练好的模型进

行测试，将并行网络的输出图像的平均值作为最后的重建结果。

进一步地，参考图 3，图 3 示出了根据本申请一个实施例的基于物理的数据增强对比学习表示成像装置 300 的示例性结构框图。

如图 3 所示，该装置包括：

增强单元 310，用于对磁共振数据进行多物理轨迹的欠采样数据增强；

重建单元 320，用于对增强后的欠采样磁共振数据利用对比表示学习框架；

保证单元 330，用于利用对比损失约束以及数据拟合项，保证磁共振成像的准确性。

采用上述技术方案，解决了对于全采样数据的依赖问题，提高了对欠采样数据的利用效率。此外，本发明提出了一种磁共振快速成像的并行网络框架，为磁共振成像技术提供了指导。

进一步地，请参考图 4，图 4 给出了本申请又一实施例的基于物理的数据增强对比学习表示成像装置 400 的示例性结构框图。

如图 4 所示，该装置包括：

重建损失单元 410，用于对于重建图像一和重建图像二进行重建损失设计；

对比损失单元 420，用于对比重建图像一和重建图像二之间的损失，保证重建图像一和重建图像二的输出保持一致；

数据一致性损失单元 430，用于对重建图像一之后生成的变换图像一和重建图像二之后生成的变换图像二进行数据一致性损失设计；

模型测试单元 440，用于对训练好的模型进行测试，将并行网络的输出图像的平均值作为最终的重建结果。

应当理解，装置 300-400 中记载的诸单元或模块与参考图 1-2 描述的方法中的各个步骤相对应。由此，上文针对方法描述的操作和特

征同样适用于装置 300-400 及其中包含的单元，在此不再赘述。装置 300-400 可以预先实现在电子设备的浏览器或其他安全应用中，也可以通过下载等方式而加载到电子设备的浏览器或其安全应用中。装置 300-400 中的相应单元可以与电子设备中的单元相互配合以实现本申请实施例的方案。

下面参考图 5，其示出了适于用来实现本申请实施例的终端设备或服务器的计算机系统 500 的结构示意图。

如图 5 所示，计算机系统 500 包括中央处理单元（CPU）501，其可以根据存储在只读存储器（ROM）502 中的程序或者从存储部分 508 加载到随机访问存储器（RAM）503 中的程序而执行各种适当的动作和处理。在 RAM 503 中，还存储有系统 500 操作所需的各种程序和数据。CPU 501、ROM 502 以及 RAM 503 通过总线 504 彼此相连。输入/输出（I/O）接口 505 也连接至总线 504。

以下部件连接至 I/O 接口 505：包括键盘、鼠标等的输入部分 506；包括诸如阴极射线管（CRT）、液晶显示器（LCD）等以及扬声器等的输出部分 507；包括硬盘等的存储部分 508；以及包括诸如 LAN 卡、调制解调器等的网络接口卡的通信部分 509。通信部分 509 经由诸如因特网的网络执行通信处理。驱动器 510 也根据需要连接至 I/O 接口 505。可拆卸介质 511，诸如磁盘、光盘、磁光盘、半导体存储器等等，根据需要安装在驱动器 510 上，以便于从其上读出的计算机程序根据需要被安装入存储部分 508。

特别地，根据本公开的实施例，上文参考图 1-2 描述的过程可以被实现为计算机软件程序。例如，本公开的实施例包括一种基于物理的数据增强对比学习表示成像方法，其包括有形地包含在机器可读介质上的计算机程序，所述计算机程序包含用于执行图 1-2 的方法的程序代码。在这样的实施例中，该计算机程序可以通过通信部分 509 从

网络上被下载和安装，和/或从可拆卸介质 511 被安装。

附图中的流程图和框图，图示了按照本发明各种实施例的系统、方法和计算机程序产品的可能实现的体系架构、功能和操作。在这点上，流程图或框图中的每个方框可以代表一个模块、程序段、或代码的一部分，前述模块、程序段、或代码的一部分包含一个或多个用于实现规定的逻辑功能的可执行指令。也应当注意，在有些作为替换的实现中，方框中所标注的功能也可以以不同于附图中所标注的顺序发生。例如，两个接连地表示的方框实际上可以基本并行地执行，它们有时也可以按相反的顺序执行，这依所涉及的功能而定。也要注意的是，框图和/或流程图中的每个方框、以及框图和/或流程图中的方框的组合，可以用执行规定的功能或操作的专用的基于硬件的系统来实现，或者可以用专用硬件与计算机指令的组合来实现。

描述于本申请实施例中所涉及到的单元或模块可以通过软件的方式实现，也可以通过硬件的方式来实现。所描述的单元或模块也可以设置在处理器中，例如，可以描述为：一种处理器包括第一子区域生成单元、第二子区域生成单元以及显示区域生成单元。其中，这些单元或模块的名称在某种情况下并不构成对该单元或模块本身的限定，例如，显示区域生成单元还可以被描述为“用于根据第一子区域和第二子区域生成文本的显示区域的单元”。

作为另一方面，本申请还提供了一种计算机可读存储介质，该计算机可读存储介质可以是上述实施例中前述装置中所包含的计算机可读存储介质；也可以是单独存在，未装配入设备中的计算机可读存储介质。计算机可读存储介质存储有一个或者一个以上程序，前述程序被一个或者一个以上的处理器用来执行描述于本申请的应用于透明窗口信封的文本生成方法。

以上描述仅为本申请的较佳实施例以及对所运用技术原理的说明。

本领域技术人员应当理解，本申请中所涉及的发明范围，并不限于上述技术特征的特定组合而成的技术方案，同时也应涵盖在不脱离前述发明构思的情况下，由上述技术特征或其等同特征进行任意组合而形成的其它技术方案。例如上述特征与本申请中公开的(但不限于)具有类似功能的技术特征进行互相替换而形成的技术方案。

权 利 要 求 书

1、一种基于物理的数据增强对比学习表示成像方法，其特征在于，该方法包括：

对磁共振数据进行多物理轨迹的欠采样数据增强；

对增强后的欠采样磁共振数据利用对比表示学习框架；

利用对比损失约束以及数据拟合项，保证磁共振成像的准确性。

2、根据权利要求 1 所述的基于物理的数据增强对比学习表示成像方法，其特征在于，所述对磁共振数据进行多物理轨迹的欠采样数据增强，包括：

对欠采样数据进行二次欠采样得到数据增强子集一和数据增强子集二，将数据增强子集一和数据增强子集二结合图像的灵敏度图生成网络的输入图像。

3、根据权利要求 2 所述的基于物理的数据增强对比学习表示成像方法，其特征在于，所述对增强后的欠采样磁共振数据利用对比表示学习框架，包括：

基于数据增强子集一和数据增强子集二搭建对应的并行网络框架重建网络一和重建网络二；

将数据增强子集一输入到重建网络中生成重建图像一，将数据增强子集二输入到重建网络二中生成重建图像二。

4、根据权利要求 3 所述的基于物理的数据增强对比学习表示成像方法，其特征在于，所述利用对比损失约束以及数据拟合项，保证磁共振成像的准确性，包括：

对于重建图像一和重建图像二进行重建损失设计；

对比重建图像一和重建图像二之间的损失，保证重建图像一和重建图像二的输出保持一致；

对重建图像一之后生成的变换图像一和重建图像二之后生成的变换图像二进行数据一致性损失设计；

对训练好的模型进行测试，将并行网络的输出图像的平均值作为最终的重建结果。

5、一种基于物理的数据增强对比学习表示成像装置，其特征在于，该装置包括：

增强单元，用于对磁共振数据进行多物理轨迹的欠采样数据增强；

重建单元，用于对增强后的欠采样磁共振数据利用对比表示学习框架；

保证单元，用于利用对比损失约束以及数据拟合项，保证磁共振成像的准确性。

6、根据权利要求 5 所述的基于物理的数据增强对比学习表示成像装置，其特征在于，所述对磁共振数据进行多物理轨迹的欠采样数据增强，包括：

对欠采样数据进行二次欠采样得到数据增强子集一和数据增强子集二，将数据增强子集一和数据增强子集二结合图像的灵敏度图生成网络的输入图像。

7、根据权利要求 6 所述的基于物理的数据增强对比学习表示成像装置，其特征在于，所述对增强后的欠采样磁共振数据利用对比表示学习框架，包括：

基于数据增强子集一和数据增强子集二搭建对应的并行网络框架重建网络一和重建网络二；

将数据增强子集一输入到重建网络中生成重建图像一，将数据增强子集二输入到重建网络二中生成重建图像二。

8、根据权利要求 7 所述的基于物理的数据增强对比学习表示成像装置，其特征在于，所述利用对比损失约束以及数据拟合项，保证磁

共振成像的准确性，包括：

重建损失单元，用于对于重建图像一和重建图像二进行重建损失设计；

对比损失单元，用于对比重建图像一和重建图像二之间的损失，保证重建图像一和重建图像二的输出保持一致；

数据一致性损失单元，用于对重建图像一之后生成的变换图像一和重建图像二之后生成的变换图像二进行数据一致性损失设计；

模型测试单元，用于对训练好的模型进行测试，将并行网络的输出图像的平均值作为最终的重建结果。

9、一种计算机设备，包括存储器、处理器以及存储在存储器上并可在处理器上运行的计算机程序，其特征在于，所述处理器执行所述程序时实现如权利要求 1-4 中任一所述的方法。

10、一种计算机可读存储介质，其上存储有计算机程序，所述计算机程序用于：

所述计算机程序被处理器执行时实现如权利要求 1-4 中任一所述的方法。

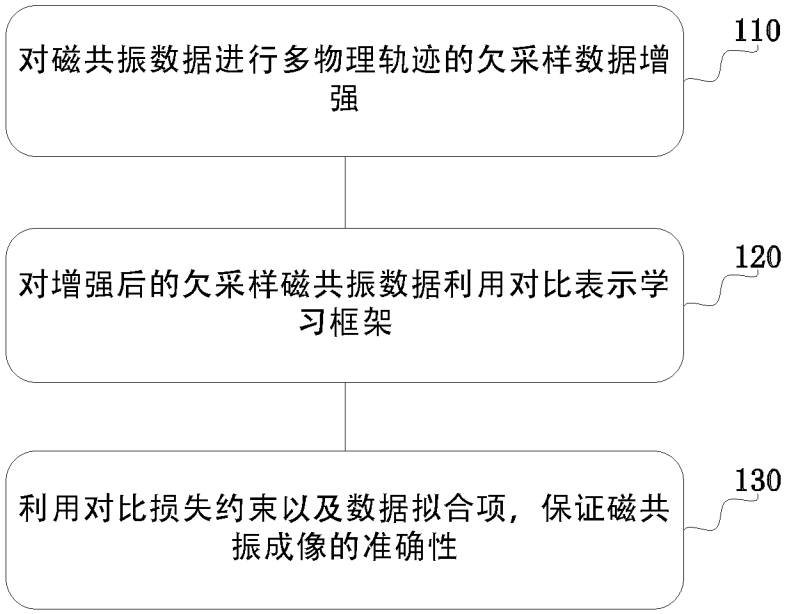

对磁共振数据进行多物理轨迹的欠采样数据增强
110
对增强后的欠采样磁共振数据利用对比表示学习框架
120
利用对比损失约束以及数据拟合项，保证磁共振成像的准确性
130

图 1

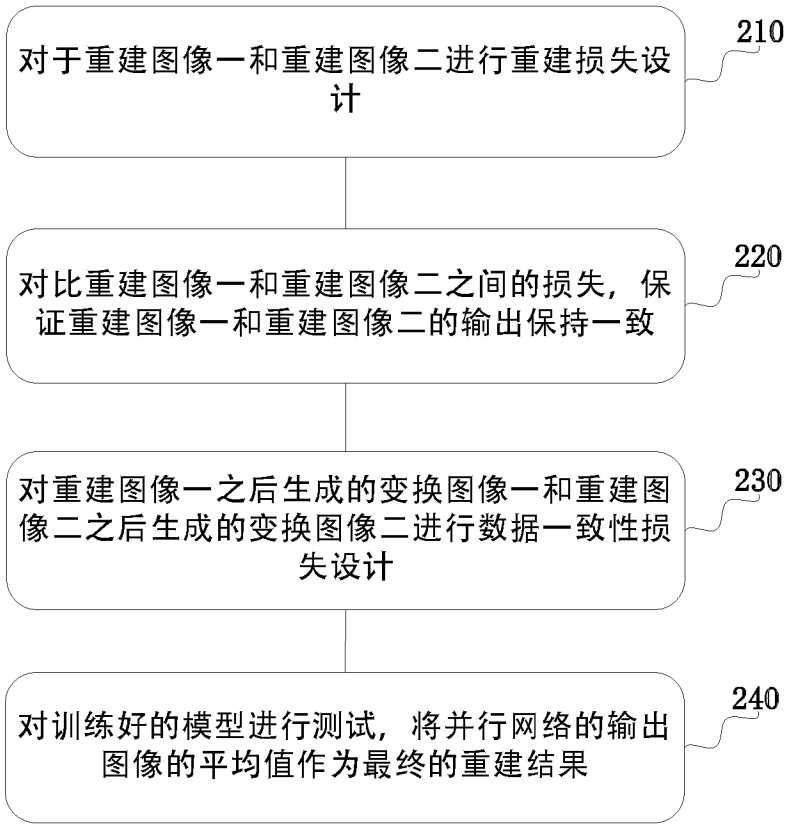

对于重建图像一和重建图像二进行重建损失设计
210
对比重建图像一和重建图像二之间的损失，保证重建图像一和重建图像二的输出保持一致
220
对重建图像一之后生成的变换图像一和重建图像二之后生成的变换图像二进行数据一致性损失设计
230
对训练好的模型进行测试，将并行网络的输出图像的平均值作为最终的重建结果
240

图 2

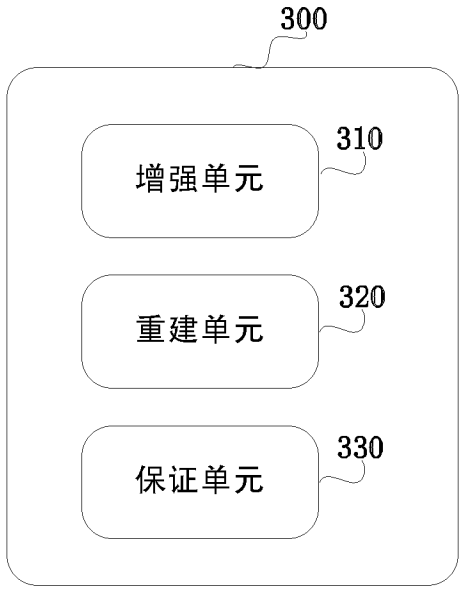

300
增强单元
310
重建单元
320
保证单元
330

图 3


400
重建损失单元
410
对比损失单元
420
数据一致性损失单元
430
模型测试单元
440

图 4

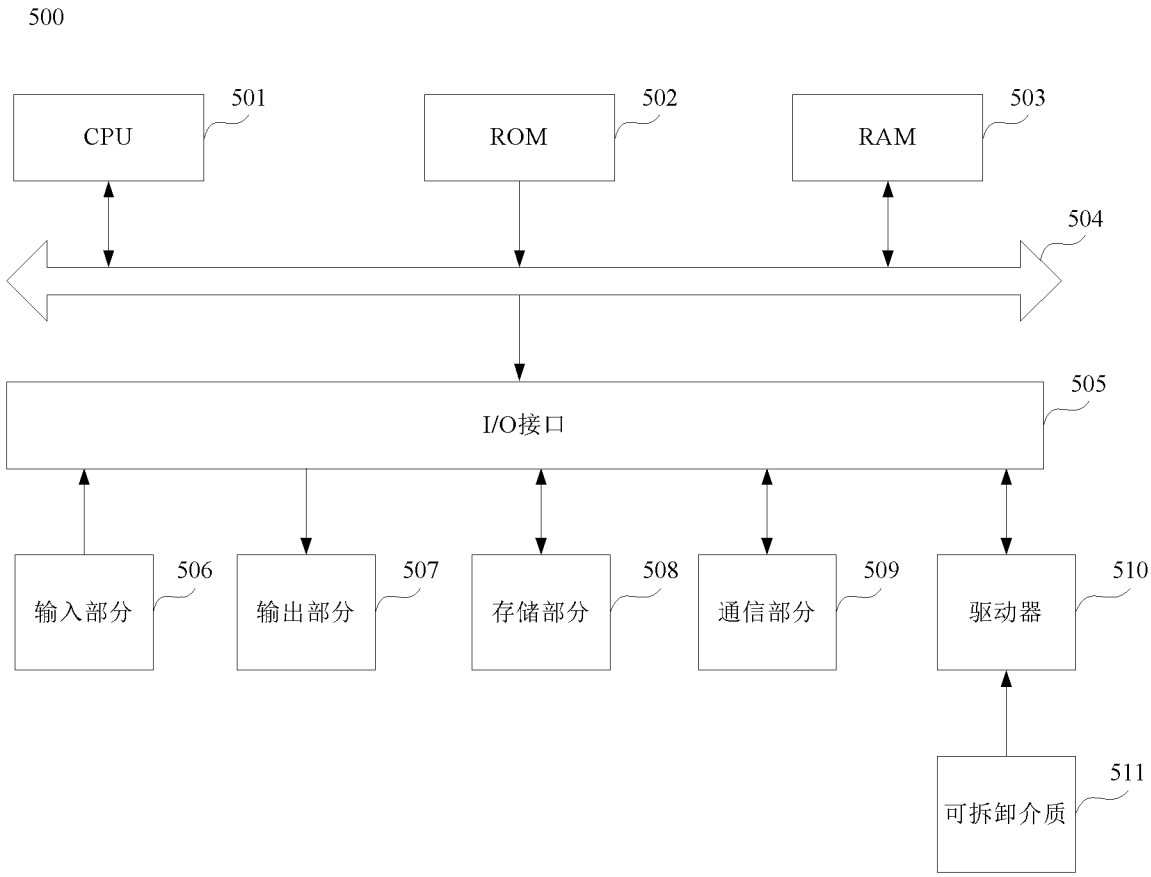

500
CPU
501
ROM
502
RAM
503
504
I/O接口
505
输入部分
506
输出部分
507
存储部分
508
通信部分
509
驱动器
510
可拆卸介质
511

图 5

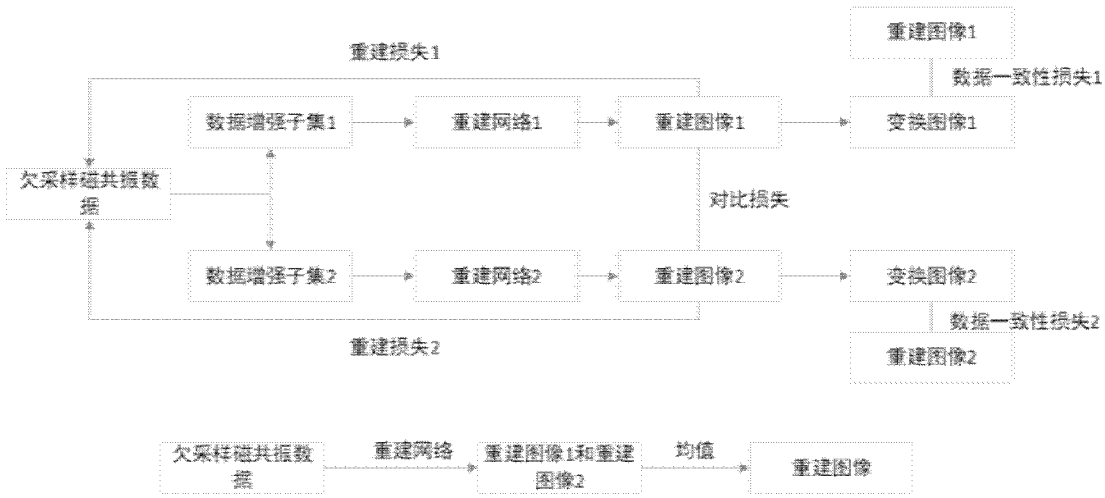

重建图像1
重建损失1
数据一致性损失1
数据增强子集1
重建网络1
重建图像1
变换图像1
欠采样磁共振数据
对比损失
数据增强子集2
重建网络2
重建图像2
变换图像2
数据一致性损失2
重建损失2
重建图像2
欠采样磁共振数据
重建网络
重建图像1和重建图像2
均值
重建图像

图 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2021/140119

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06T 11/00(2006.01)i; G06N 3/08(2006.01)i; A61B 5/055(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)

G06T; G06N; 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; CNKI; WPABS; DWPI; USTXT; WOTXT; EPTXT: 深圳先进技术研究院, 磁共振, 欠采样, 增强, 二次, 第二, 对比, 比对, 比较, 相似, 损失, 约束, 拟合, 重建, 并行, MRI, under, sample, enhance, second, compare, similarity, constraint, loss, fit, reconstruct, parallel

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CN 113192151 A (GUANGDONG UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 30 July 2021 (2021-07-30) description, paragraphs [0041]-[0067]	1-10
A	CN 110992440 A (SHENZHEN INSTITUTES OF ADVANCED TECHNOLOGY, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) 10 April 2020 (2020-04-10) entire document	1-10
A	CN 106491131 A (SHENZHEN INSTITUTE OF ADVANCED TECHNOLOGY) 15 March 2017 (2017-03-15) entire document	1-10
A	程慧涛 等 (CHENG, Huitao et al.). "基于深度递归级联卷积神经网络的并行磁共振成像方法 (A Deep Recursive Cascaded Convolutional Network for Parallel MRI)" *波谱学杂志 (Chinese Journal of Magnetic Resonance),* Vol. 36, No. 4, 31 December 2019 (2019-12-31), ISSN: 1000-4556, pp. 437-445	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
"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
16 March 2022	**20 May 2022**
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/CN2021/140119

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN 113192151 A	30 July 2021	None	
CN 110992440 A	10 April 2020	WO 2021114098 A1	17 June 2021
CN 106491131 A	15 March 2017	CN 106491131 B	07 May 2019

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2021/140119

A. 主题的分类

G06T 11/00(2006.01)i; G06N 3/08(2006.01)i; A61B 5/055(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)

G06T; G06N; 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;CNKI;WPABS;DWPI;USTXT;WOTXT;EPTXT：深圳先进技术研究院，磁共振，欠采样，增强，二次，第二，对比，比对，比较，相似，损失，约束，拟合，重建，并行，MRI，under，sample，enhance，second，compare，similarity，constraint，loss，fit，reconstruct，parallel

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
X	CN 113192151 A (广东工业大学) 2021年7月30日 (2021-07-30) 说明书第[0041]-[0067]段	1-10
A	CN 110992440 A (中国科学院深圳先进技术研究院) 2020年4月10日 (2020-04-10) 全文	1-10
A	CN 106491131 A (深圳先进技术研究院) 2017年3月15日 (2017-03-15) 全文	1-10
A	程慧涛 等. "基于深度递归级联卷积神经网络的并行磁共振成像方法" 波谱学杂志, 第36卷, 第4期, 2019年12月31日 (2019-12-31), ISSN: 1000-4556, 第437-445页	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

"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
2022年3月16日	2022年5月20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	受权官员 谭碧云 电话号码 (86-512) 88995858

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2021/140119

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 113192151 A	2021年7月30日	无	
CN 110992440 A	2020年4月10日	WO 2021114098 A1	2021年6月17日
CN 106491131 A	2017年3月15日	CN 106491131 B	2019年5月7日