

(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 10 月 26 日 (26.10.2023)



(10) 国际公布号
WO 2023/201625 A1

(51) 国际专利分类号:
G06T 11/00 (2006.01) **G06V 10/774** (2022.01)
G06K 9/62 (2022.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2022/088186

(22) 国际申请日: 2022 年 4 月 21 日 (21.04.2022)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(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: 苏鉴东 (SU, Jiandong); 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)。商琨 (SHANG, Kun); 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)。梁栋 (LIANG, Dong); 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)。刘新 (LIU, Xin); 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)。郑海荣 (ZHENG, Hairong); 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: 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, Guangdong 518055 (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,

(54) Title: ARTIFACT CORRECTION METHOD AND APPARATUS BASED ON NORMALIZING FLOW

(54) 发明名称: 一种基于标准化流的伪影矫正方法及装置

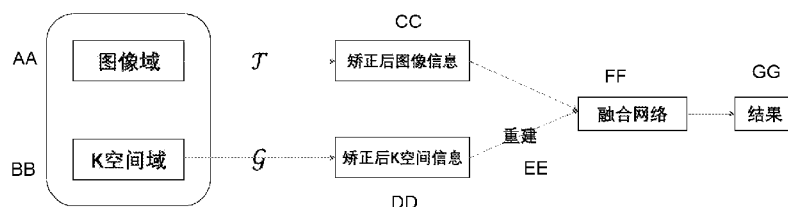


图 3

AA Image domain
BB K-space domain
CC Corrected image information
DD Corrected K-space information
EE Reconstruct
FF Fusion network
GG Result

(57) Abstract: An artifact correction method and apparatus based on normalizing flow. The method comprises: learning different artifact types and different levels of flow models for data in an image domain and a K-space domain; performing dual learning on the data in the image domain and the K-space domain by using the normalizing flow in the flow models, so as to construct bidirectional reversible mapping between artifact data and artifact-free data; and performing artifact correction on an MRI image by using the bidirectional reversible mapping. Compared with a traditional correction method, due to the reversibility of a flow method, the artifact correction method based on the normalizing flow has better interpretability, and can also have a better artifact correction effect by combining dual domain constraints.



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, JM, 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, 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, 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: 一种基于标准化流的伪影校正方法及装置, 对图像域与K空间域中的数据学习不同的伪影类型和不同等级的流模型; 利用流模型中的标准化流对图像域与K空间域中的数据进行对偶学习, 构建有伪影数据和无伪影数据之间的双向可逆映射; 利用双向可逆映射对MRI图像进行伪影校正。与传统的校正方法相比, 由于流方法的可逆性, 基于标准化流的伪影校正方法拥有更好的可解释性, 同时结合对偶域约束, 也能拥有更好的伪影校正效果。

一种基于标准化流的伪影矫正方法及装置

技术领域

本申请涉及磁共振成像领域，具体而言，涉及一种基于标准化流的伪影矫正方法及装置。

背景技术

核磁共振成像技术（Magnetic Resonance Imaging, MRI）在医学诊断领域一直得到了广泛的应用，但由于成像过程中对于成像环境的高要求，患者的呼吸和移动均会在影像中造成影响诊断的伪影。因此，对于伪影也成为了核磁共振影像的重要研究内容。现有研究主要分两个方向，一个基于图像域进行伪影去除，主要使用计算机视觉的方法，用神经网络学习有伪影和无伪影图像的残差来进行伪影去除。另一个基于 K 空间进行伪影去除，将伪影信息视为离群值进行处理。两条路线都有各自的不足，基于图像域的方法由于 MRI 图像的复杂性和特殊性，包括伪影类型的多样性，经常导致网络很难学到真正伪影的特征，从而导致伪影矫正结果不佳。基于 K 空间的方法由于很难拿到初始的原始数据（Raw data），导致现有的研究乏善可陈。为了解决这一问题，基于对偶域的矫正方法是一个很不错的选择，结合图像域与 K 空间域的双域信息，结合核磁共振成像的物理方法，更能保证 MRI 图像质量，对于辅助医疗和诊断领域有非常重要的科学意义和应用前景。

同时核磁共振是一种近年得到广泛应用的一种医学成像技术，能够从人体分子内部反映出人体器官失常和早期病变，在很多地方优于 X-ray 和 CT 成像。相较于 CT 和 X-ray，MRI 能够提供更多人体器官的生理状态信息，能够进行

任意层面成像，磁共振成像还能通过测出原子的核弛豫时间 T1 和 T2，能将人体组织有关化学结构的信息反映出来，对于软组织和灰质白质的定量分析更加准确。

在核磁共振检查过程中，如患者不屏住呼吸，则在 K 空间上对图像信息产生扰动，从而在图像域上产生伪影，影响医生诊断速度和准确度。MRI 的伪影以呼吸伪影居多，图像表示为条纹状，伪影模糊程度与患者在检查过程中的呼吸强弱程度呈正相关。因此，对 MRI 图像上的伪影矫正是十分必要的。

标准化流（Normalizing flow）是近年提出的一种新式的生成模型，相比生成对抗网络（GAN）和变分自编码器（VAE），它具有更好的可解释性和回溯性。流（Flow）指的是数据流经过一系列双射(可逆映射)，最终映射到合适的表征空间。标准化（normalizing）指的是表征空间的变量积分是 1，使其满足概率分布函数的定义。此技术可简单描述为：从简单的概率分布来生产建立更为复杂、更有表达能力的概率分布。让初始的基本概率分布通过这一系列的映射变化，一步一步变成所需要的复杂分布。

Andreas Lugmayr 等人在 2020 年提出了基于标准化流的超分重建方法（SRFlow）去学习一个从低分辨率图像到高分辨率图像的可逆变换，使得 SRFlow 能够从学习的复杂分布中生成多个不同分辨率的高质量图像，展示出更好的表示能力和可解释性。此外，由于 SRFlow 的变换是可逆的，它可以完成从高分辨率图像到低分辨率图像的下采样的任务。Muhammad Asim 等人提出利用 Flow 先验替换 GAN 先验求解反问题的模型：

$$\min_x \|AG(x) - y\|^2 - \lambda \log p_G(x);$$

其中 A 为度量矩阵，G(·) 为 Flow 模型， p_G 是由 G 引导的关于 x 的似然函数， λ 为超参数。Asim 等人将此模型应用于求解压缩感知与图像去噪问题，取

得了不错的性能。

传统的伪影矫正是单独基于图像域或 K 空间域的信息进行伪影矫正的方法，有以下的缺点：

1. 单独域（图像域或 K 空间域）相比双域而言，信息量相对较少。
2. 方法对于已经训练过的伪影具有作用，对未知分布的伪影类型没有有效的去除。
3. 基于图像域的方法对于较重伪影矫正效果不佳，同时在矫正过程中会将部分脂肪组织增强导致细节损失。
4. 基于 K 空间的方法很难获取原始数据，缺乏足够的技术支持。

发明内容

本申请实施例提供了一种基于标准化流的伪影矫正方法及装置，以至少解决现有伪影矫正方法效果不佳的技术问题。

根据本申请的一实施例，提供了一种基于标准化流的伪影矫正方法，包括以下步骤：

对图像域与 K 空间域中的数据学习不同的伪影类型和不同等级的流模型；
利用流模型中的标准化流对图像域与 K 空间域中的数据进行对偶学习，
构建有伪影数据和无伪影数据之间的双向可逆映射；
利用双向可逆映射对 MRI 图像进行伪影矫正。

本申请实施例采取的技术方案还包括：对图像域与 K 空间域中的数据学习不同的伪影类型和不同等级的流模型包括：

收集相对应的数据使用深度学习算法对图像域与 K 空间域进行成对训练。

本申请实施例采取的技术方案还包括：收集相对应的数据使用深度学习算

法对图像域与 K 空间域进行成对训练包括:

收集有伪影的图像域数据、有伪影的 K 空间域数据、无伪影的图像域数据、无伪影的 K 空间域数据的四组数据, 并根据设备参数, 由图像域数据经过逆傅里叶变换获得对应 K 空间数据。

本申请实施例采取的技术方案还包括: 对图像域与 K 空间域中的数据学习不同的伪影类型和不同等级的流模型还包括:

对伪影数据按着程度进行下一步的细分, 分为轻、中、重度伪影数据;

建立图像域和 K 空间域上的无、轻、中、重度伪影数据集。

本申请实施例采取的技术方案还包括: 利用流模型中的标准化流对图像域与 K 空间域中的数据进行对偶学习, 构建有伪影数据和无伪影数据之间的双向可逆映射包括:

定义可微、可逆变换 $T: y = f(x)$, $y \in \mathbb{R}^d$ 为从一个基本分布 $p_x(x)$ 中采样 u 经过变换 T 得到一个随机变量:

$$y = f(x), x \sim p_x(x);$$

$$p_y(y) = p_x(x) |\det J_f(x)|^{-1} = p_y(f^{-1}(x)) * |\det J_{f^{-1}}(x)|;$$

用一系列的可逆映射 $T_i (z_k = T_k \circ \dots \circ T_2 \circ T_1(z_0), z_0 = x, z_k = y)$ 建立原始分布无伪影数据 x 转换成新的分布有伪影数据 y 的映射关系;

建立无伪影和各程度伪影的映射关系, 一系列的可逆映射将原始分布转换成新的分布。

本申请实施例采取的技术方案还包括: 利用双向可逆映射对 MRI 图像进行伪影矫正包括:

利用所学习的标准化流模型对 MRI 图像进行伪影矫正。

本申请实施例采取的技术方案还包括: 对图像域与 K 空间域数据分别进行

相关域的伪影矫正，再进行矫正结果融合，如只有单独域的结果直接给出最后的矫正结果。

根据本申请的另一实施例，提供了一种基于标准化流的伪影矫正装置，包括：

流模型构建单元，用于对图像域与 K 空间域中的数据学习不同的伪影类型和不同等级的流模型；

双向可逆映射单元，用于利用流模型中的标准化流对图像域与 K 空间域中的数据进行对偶学习，构建有伪影数据和无伪影数据之间的双向可逆映射；

伪影矫正单元，用于利用双向可逆映射对 MRI 图像进行伪影矫正。

一种存储介质，存储介质存储有能够实现上述任意一项基于标准化流的伪影矫正方法的程序文件。

一种处理器，处理器用于运行程序，其中，程序运行时执行上述任意一项的基于标准化流的伪影矫正方法。

相对于现有技术，本申请实施例产生的有益效果在于：本申请实施例中的基于标准化流的伪影矫正方法及装置，对图像域与 K 空间域中的数据学习不同的伪影类型和不同等级的流模型；利用流模型中的标准化流对图像域与 K 空间域中的数据进行对偶学习，构建有伪影数据和无伪影数据之间的双向可逆映射；利用双向可逆映射对 MRI 图像进行伪影矫正。与传统的矫正方法相比，由于流方法的可逆性，该发明拥有更好的可解释性，同时结合对偶域约束，也能拥有更好的伪影矫正效果。

附图说明

此处所说明的附图用来提供对本申请的进一步理解，构成本申请的一部分，

本申请的示意性实施例及其说明用于解释本申请,并不构成对本申请的不当限定。在附图中:

图 1 为本申请实施例基于标准化流的伪影矫正方法中可逆映射的标准化流示意图;

图 2 为本申请实施例基于标准化流的伪影矫正方法中图像域与 K 空间域的对偶学习示意图;

图 3 为本申请实施例基于标准化流的伪影矫正方法中整个伪影矫正的流程图。

具体实施方式

为了使本技术领域的人员更好地理解本申请方案,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,所描述的实施例仅仅是本申请一部分的实施例,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,都应当属于本申请保护的范围。

需要说明的是,本申请的说明书和权利要求书及上述附图中的术语“第一”、“第二”等是用于区别类似的对象,而不必用于描述特定的顺序或先后次序。应该理解这样使用的数据在适当情况下可以互换,以便这里描述的本申请的实施例能够以除了在这里图示或描述的那些以外的顺序实施。此外,术语“包括”和“具有”以及他们的任何变形,意图在于覆盖不排除他的包含,例如,包含了一系列步骤或单元的过程、方法、系统、产品或设备不必限于清楚地列出的那些步骤或单元,而是可包括没有清楚地列出的或对于这些过程、方法、产品或设备固有的其它步骤或单元。

实施例 1

根据本申请一实施例，提供了一种基于标准化流的伪影矫正方法，包括以下步骤：

对图像域与 K 空间域中的数据学习不同的伪影类型和不同等级的流模型；
利用流模型中的标准化流对图像域与 K 空间域中的数据进行对偶学习，
构建有伪影数据和无伪影数据之间的双向可逆映射；
利用双向可逆映射对 MRI 图像进行伪影矫正。

本申请实施例中的基于标准化流的伪影矫正方法，对图像域与 K 空间域中的数据学习不同的伪影类型和不同等级的流模型；利用流模型中的标准化流对图像域与 K 空间域中的数据进行对偶学习，构建有伪影数据和无伪影数据之间的双向可逆映射；利用双向可逆映射对 MRI 图像进行伪影矫正。与传统的矫正方法相比，由于流方法的可逆性，该发明拥有更好的可解释性，同时结合对偶域约束，也能拥有更好的伪影矫正效果。

其中，对图像域与 K 空间域中的数据学习不同的伪影类型和不同等级的流模型包括：

收集相对应的数据使用深度学习算法对图像域与 K 空间域进行成对训练。

其中，收集相对应的数据使用深度学习算法对图像域与 K 空间域进行成对训练包括：

收集有伪影的图像域数据、有伪影的 K 空间域数据、无伪影的图像域数据、无伪影的 K 空间域数据的四组数据，并根据设备参数，由图像域数据经过逆傅里叶变换获得对应 K 空间数据。

其中，对图像域与 K 空间域中的数据学习不同的伪影类型和不同等级的流模型还包括：

对伪影数据按着程度进行下一步的细分，分为轻、中、重度伪影数据；

建立图像域和 K 空间域上的无、轻、中、重度伪影数据集。

其中，利用流模型中的标准化流对图像域与 K 空间域中的数据进行对偶学习，构建有伪影数据和无伪影数据之间的双向可逆映射包括：

定义可微、可逆变换 $T: y = f(x)$, $y \in \mathbb{R}^d$ 为从一个基本分布 $p_x(x)$ 中采样 u 经过变换 T 得到一个随机变量：

$$y = f(x), x \sim p_x(x);$$

$$p_y(y) = p_x(x) |\det J_f(x)|^{-1} = p_y(f^{-1}(x)) * |\det J_{f^{-1}}(x)|;$$

用一系列的可逆映射 $T_i (z_k = T_k \circ \dots \circ T_2 \circ T_1(z_0), z_0 = x, z_k = y)$ 建立原始分布无伪影数据 x 转换成新的分布有伪影数据 y 的映射关系；

建立无伪影和各程度伪影的映射关系，一系列的可逆映射将原始分布转换成新的分布。

其中，利用双向可逆映射对 MRI 图像进行伪影矫正包括：

利用所学习的标准化流模型对 MRI 图像进行伪影矫正。

其中，对图像域与 K 空间域数据分别进行相关域的伪影矫正，再进行矫正结果融合，如只有单独域的结果直接给出最后的矫正结果。

下面以具体实施例，对本申请的基于标准化流的伪影矫正方法进行详细说明：

为了解决 MRI 成像图像质量的技术问题，本申请将结合图像域与 K 空间双域提供更多的信息量，提出一种新的基于标准化流的伪影矫正方法，针对 MRI 成像过程中的伪影进行有效的矫正，减少这种不必要的信息对放射科医生进行诊断的影响，提供 MRI 图像的成像质量。本申请在伪影去除时使用成对数据构建由有伪影图像到无伪影图像的可逆映射，基于此映射进行伪影去除。

与传统的矫正方法相比，由于流方法的可逆性，该发明拥有更好的可解释性，同时结合对偶域约束，也能拥有更好的伪影矫正效果。

本申请结合已有研究，首先，利用标准化流对于图像域与 K 空间域中的数据进行对偶学习，构建有伪影数据和无伪影数据之间的双向可逆映射。其次，进一步学习不同的伪影类型和不同等级的流模型。最后，实现 MRI 图像的伪影矫正，相比之前已有方法，矫正结果更好，可解释性更强，泛化性更佳。

为实现上述目的，本申请的具体实现方法如下：

一.数据集

本申请是对图像域与 K 空间域进行成对训练的深度学习算法，需收集相对应的数据。

首先，需收集 1)有伪影的图像域数据、2)有伪影的 K 空间域数据、3)无伪影的图像域数据、4)无伪影的 K 空间域数据的四组数据。不要求 1)与 2)的数据和 3)与 4)的数据必须一一对应，成对的数据存在，可根据设备参数，由图像域数据经过逆傅里叶变换获得对应 K 空间数据。

其次，对伪影数据可进行下一步的细分，按着程度进行划分，分为轻、中、重度伪影数据。

最后，建立图像域和 K 空间域上的无、轻、中、重度伪影数据集。

二.伪影与无伪影的可逆映射建立

步骤一，定义可微、可逆变换 $T: y = f(x)$, $y \in \mathbb{R}^d$ 为从一个基本分布 $p_x(x)$ 中采样 u 经过变换 T 得到一个随机变量：

$$y = f(x), x \sim p_x(x);$$

$$\text{那么 } p_y(y) = p_x(x) |\det J_f(x)|^{-1} = p_y(f^{-1}(x)) * |\det J_{f^{-1}}(x)|;$$

步骤二，用一系列的可逆映射 T_i ($z_k = T_k \circ \dots \circ T_2 \circ T_1(z_0), z_0 = x, z_k = y$) 建

立原始分布（无伪影数据 x ）转换成新的分布（有伪影数据 y ）的映射关系，具体如图 1 所示，图 1 为可逆映射的标准化流示意图，由 Z_0 到 Z_k 的生成过程。

步骤三、建立无伪影和各程度伪影的映射关系，一系列的可逆映射将原始分布转换成新的分布，通过优化这一系列分布，即可实现将简单的高斯分布转换为复杂的真实后验分布的目的。基于对偶域数据的双向学习策略，如图 2 所示，图 2 为图像域与 K 空间域的对偶学习示意图。

步骤四、利用所学习的标准化流模型用于 MRI 伪影校正，如有图像域与 K 空间域数据，分别进行相关域的伪影校正，再进行校正结果融合，如只有单独域的结果直接给出最后的校正结果，整个流程如图 3 所示，图 3 为整个伪影校正的流程图。

本申请方法的关键点和欲保护点至少在于：

1. 基于标准化流，建立无伪影至轻度、中度、重度伪影数据之间的可逆映射关系，实现各种数据之间的自由转换。

2. 利用图像域与 K 空间域对偶域的信息进行伪影校正，并实现最后校正图像的质量增强。

3. 本申请可认为是基于同一映射可逆性的伪影校正方法，也可以认为是基于同一映射可逆性的伪影生成方法。

本申请方法和现有的呼吸伪影校正方法，其优点体现在：

首先，本申请基于对偶域约束对伪影校正方法进行优化，相比于传统的基于单域的呼吸伪影校正效果更好，能有效的复原图像，也拥有更好的回溯性和可解释性。

其次，基于标准化流的可逆性，相比于其他单纯进行伪影校正的方法，本申请能够同时产生相比于其他伪影生成方法更逼真的伪影，能够进一步的扩充

数据集，提高模型泛化性。

最后，图像域与 K 空间域的对偶域同时优化，能够提供比单一域更加丰富的细节信息，减少伪影矫正后的图像的细节丢失。

本申请方法的变更设计或替代方案为：

本方法除用于 MRI 伪影矫正外，经过适当变换也可以用于 CT 图像伪影矫正。

本方法进一步优化，可以应用于 MRI 与 CT 重建与伪影矫正的联合任务，利用流先验构建数据驱动的图片重建和伪影矫正的联合模型。

基于流模型的可逆性，本方法可用于 MR 图像伪影产生。

实施例 2

根据本申请的另一实施例，提供了一种基于标准化流的伪影矫正装置，包括：

流模型构建单元，用于对图像域与 K 空间域中的数据学习不同的伪影类型和不同等级的流模型；

双向可逆映射单元，用于利用流模型中的标准化流对图像域与 K 空间域中的数据进行对偶学习，构建有伪影数据和无伪影数据之间的双向可逆映射；

伪影矫正单元，用于利用双向可逆映射对 MRI 图像进行伪影矫正。

本申请实施例中的基于标准化流的伪影矫正装置，对图像域与 K 空间域中的数据学习不同的伪影类型和不同等级的流模型；利用流模型中的标准化流对图像域与 K 空间域中的数据进行对偶学习，构建有伪影数据和无伪影数据之间的双向可逆映射；利用双向可逆映射对 MRI 图像进行伪影矫正。与传统的矫正方法相比，由于流方法的可逆性，该发明拥有更好的可解释性，同时结合对偶域约束，也能拥有更好的伪影矫正效果。

下面以具体实施例,对本申请的基于标准化流的伪影校正装置进行详细说明:

为了解决 MRI 成像图像质量的技术问题,本申请将结合图像域与 K 空间双域提供更多的信息量,提出一种新的基于标准化流的伪影校正装置,针对 MRI 成像过程中的伪影进行有效的校正,减少这种不必要的信息对放射科医生进行诊断的影响,提供 MRI 图像的成像质量。本申请在伪影去除时使用成对数据构建由有伪影图像到无伪影图像的可逆映射,基于此映射进行伪影去除。与传统的校正方法相比,由于流方法的可逆性,该发明拥有更好的可解释性,同时结合对偶域约束,也能拥有更好的伪影校正效果。

本申请结合已有研究,首先,利用标准化流对于图像域与 K 空间域中的数据进行对偶学习,构建有伪影数据和无伪影数据之间的双向可逆映射。其次,进一步学习不同的伪影类型和不同等级的流模型。最后,实现 MRI 图像的伪影校正,相比之前已有方法,校正结果更好,可解释性更强,泛化性更佳。

为实现上述目的,本申请的具体实现方法如下:

一.流模型构建单元:对图像域与 K 空间域中的数据进行学习,获得不同的伪影类型和不同等级的流模型。

本申请是对图像域与 K 空间域进行成对训练的深度学习算法,需收集相对应的数据。

首先,需收集 1)有伪影的图像域数据、2)有伪影的 K 空间域数据、3)无伪影的图像域数据、4)无伪影的 K 空间域数据的四组数据。不要求 1)与 2)的数据和 3)与 4)的数据必须一一对应,成对的数据存在,可根据设备参数,由图像域数据经过逆傅里叶变换获得对应 K 空间数据。

其次,对伪影数据可进行下一步的细分,按着程度进行划分,分为轻、中、

重度伪影数据。

最后，建立图像域和 K 空间域上的无、轻、中、重度伪影数据集。

二.双向可逆映射单元：伪影与无伪影的可逆映射建立

步骤一，定义可微、可逆变换 $T: y = f(x)$, $y \in \mathbb{R}^d$ 为从一个基本分布 $p_x(x)$ 中采样 u 经过变换 T 得到一个随机变量：

$$y = f(x), x \sim p_x(x);$$

$$\text{那么 } p_y(y) = p_x(x) |\det J_f(x)|^{-1} = p_y(f^{-1}(x)) * |\det J_{f^{-1}}(x)|;$$

步骤二，用一系列的可逆映射 T_i ($z_k = T_k \circ \dots \circ T_2 \circ T_1(z_0), z_0 = x, z_k = y$) 建立原始分布（无伪影数据 x ）转换成新的分布（有伪影数据 y ）的映射关系，具体如图 1 所示，图 1 为可逆映射的标准化流示意图，由 z_0 到 z_k 的生成过程。

步骤三、建立无伪影和各程度伪影的映射关系，一系列的可逆映射将原始分布转换成新的分布，通过优化这一系列分布，即可实现将简单的高斯分布转换为复杂的真实后验分布的目的。基于对偶域数据的双向学习策略，如图 2 所示，图 2 为图像域与 K 空间域的对偶域学习示意图。

步骤四、伪影校正单元：利用所学习的标准化流模型用于 MRI 伪影校正，如有图像域与 K 空间域数据，分别进行相关域的伪影校正，再进行校正结果融合，如只有单独域的结果直接给出最后的校正结果，整个流程如图 3 所示，图 3 为整个伪影校正的流程图。

本申请装置的关键点和欲保护点至少在于：

1.基于标准化流，建立无伪影至轻度、中度、重度伪影数据之间的可逆映射关系，实现各种数据之间的自由转换。

2.利用图像域与 K 空间域对偶域的信息进行伪影校正，并实现最后校正图像的质量增强。

3.本申请可认为是基于同一映射可逆性的伪影矫正方法，也可以认为是基于同一映射可逆性的伪影生成方法。

本申请装置和现有的呼吸伪影矫正方法，其优点体现在：

首先，本申请基于对偶域约束对伪影矫正方法进行优化，相比于传统的基于单域的呼吸伪影矫正效果更好，能有效的复原图像，也拥有更好的回溯性和可解释性。

其次，基于标准化流的可逆性，相比于其他单纯进行伪影矫正的方法，本申请能够同时产生相比于其他伪影生成方法更逼真的伪影，能够进一步的扩充数据集，提高模型泛化性。

最后，图像域与 K 空间域的对偶域同时优化，能够提供比单一域更加丰富的细节信息，减少伪影矫正后的图像的细节丢失。

本申请装置的变更设计或替代方案为：

本装置除用于 MRI 伪影矫正外，经过适当变换也可以用于 CT 图像伪影矫正。

本装置进一步优化，可以应用于 MRI 与 CT 重建与伪影矫正的联合任务，利用流先验构建数据驱动的图片重建和伪影矫正的联合模型。

基于流模型的可逆性，本装置可用于 MR 图像伪影产生。

实施例 3

一种存储介质，存储介质存储有能够实现上述任意一项基于标准化流的伪影矫正方法的程序文件。

实施例 4

一种处理器，处理器用于运行程序，其中，程序运行时执行上述任意一项的基于标准化流的伪影矫正方法。

上述本申请实施例序号仅仅为了描述，不代表实施例的优劣。

在本申请的上述实施例中，对各个实施例的描述都各有侧重，某个实施例中沒有详述的部分，可以参见其他实施例的相关描述。

在本申请所提供的几个实施例中，应该理解到，所揭露的技术内容，可通过其它的方式实现。其中，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，可以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通过一些接口，单元或模块的间接耦合或通信连接，可以是电性或其它的形式。

作为分离部件说明的单元可以是或者也可以不是物理上分开的，作为单元显示的部件可以是或者也可以不是物理单元，即可以位于一个地方，或者也可以分布到多个单元上。可以根据实际的需要选择其中的部分或者全部单元来实现本实施例方案的目的。

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。

集成的单元如果以软件功能单元的形式实现并作为独立的产品销售或使用时，可以存储在一个计算机可读取存储介质中。基于这样的理解，本申请的技术方案本质上或者说对现有技术做出贡献的部分或者该技术方案的全部或部分可以以软件产品的形式体现出来，该计算机软件产品存储在一个存储介质中，包括若干指令用以使得一台计算机设备(可为个人计算机、服务器或者网

络设备等)执行本申请各个实施例方法的全部或部分步骤。而前述的存储介质包括:U盘、只读存储器(ROM, Read-Only Memory)、随机存取存储器(RAM, Random Access Memory)、移动硬盘、磁碟或者光盘等各种可以存储程序代码的介质。

以上所述仅是本申请的优选实施方式,应当指出,对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本申请原理的前提下,还可以做出若干改进和润饰,这些改进和润饰也应视为本申请的保护范围。

权 利 要 求 书

1.一种基于标准化流的伪影矫正方法，其特征在于，包括以下步骤：

对图像域与 K 空间域中的数据学习不同的伪影类型和不同等级的流模型；

利用流模型中的标准化流对图像域与 K 空间域中的数据进行对偶学习，构建有伪影数据和无伪影数据之间的双向可逆映射；

利用双向可逆映射对 MRI 图像进行伪影矫正。

2.根据权利要求 1 所述的基于标准化流的伪影矫正方法，其特征在于，所述对图像域与 K 空间域中的数据学习不同的伪影类型和不同等级的流模型包括：

收集相对应的数据使用深度学习算法对图像域与 K 空间域进行成对训练。

3.根据权利要求 2 所述的基于标准化流的伪影矫正方法，其特征在于，所述收集相对应的数据使用深度学习算法对图像域与 K 空间域进行成对训练包括：

收集有伪影的图像域数据、有伪影的 K 空间域数据、无伪影的图像域数据、无伪影的 K 空间域数据的四组数据，并根据设备参数，由图像域数据经过逆傅里叶变换获得对应 K 空间数据。

4.根据权利要求 2 所述的基于标准化流的伪影矫正方法，其特征在于，所述对图像域与 K 空间域中的数据学习不同的伪影类型和不同等级的流模型还包括：

对伪影数据按着程度进行下一步的细分，分为轻、中、重度伪影数据；

建立图像域和 K 空间域上的无、轻、中、重度伪影数据集。

5.根据权利要求 1 所述的基于标准化流的伪影矫正方法，其特征在于，所述利用流模型中的标准化流对图像域与 K 空间域中的数据进行对偶学习，构建有伪影数据和无伪影数据之间的双向可逆映射包括：

定义可微、可逆变换 $T: y = f(x)$, $y \in \mathbb{R}^d$ 为从一个基本分布 $p_x(x)$ 中采样

u 经过变换 T 得到一个随机变量：

$$y = f(x), x \sim p_x(x);$$

$$p_y(y) = p_x(x) |\det J_f(x)|^{-1} = p_y(f^{-1}(x)) * |\det J_{f^{-1}}(x)|;$$

用一系列的可逆映射 T_i ($z_k = T_k \circ \dots \circ T_2 \circ T_1(z_0)$, $z_0 = x$, $z_k = y$) 建立原始分布无伪影数据 x 转换成新的分布有伪影数据 y 的映射关系；

建立无伪影和各程度伪影的映射关系，一系列的可逆映射将原始分布转换成新的分布。

6.根据权利要求 1 所述的基于标准化流的伪影矫正方法，其特征在于，所述利用双向可逆映射对 MRI 图像进行伪影矫正包括：

利用所学习的标准化流模型对 MRI 图像进行伪影矫正。

7.根据权利要求 6 所述的基于标准化流的伪影矫正方法，其特征在于，对图像域与 K 空间域数据分别进行相关域的伪影矫正，再进行矫正结果融合，如只有单独域的结果直接给出最后的矫正结果。

8.一种基于标准化流的伪影矫正装置，其特征在于，包括：

流模型构建单元，用于对图像域与 K 空间域中的数据学习不同的伪影类型和不同等级的流模型；

双向可逆映射单元，用于利用流模型中的标准化流对图像域与 K 空间域中的数据进行对偶学习，构建有伪影数据和无伪影数据之间的双向可逆映射；

伪影矫正单元，用于利用双向可逆映射对 MRI 图像进行伪影矫正。

9.一种存储介质，其特征在于，所述存储介质存储有能够实现权利要求 1 至 7 中任意一项所述基于标准化流的伪影矫正方法的程序文件。

10.一种处理器，其特征在于，所述处理器用于运行程序，其中，所述程序运行时执行权利要求 1 至 7 中任意一项所述的基于标准化流的伪影矫正方法。

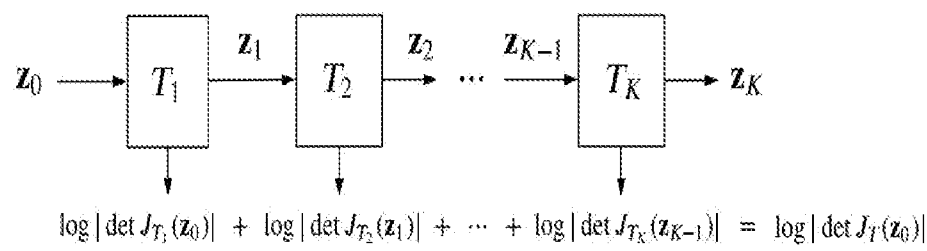


图 1

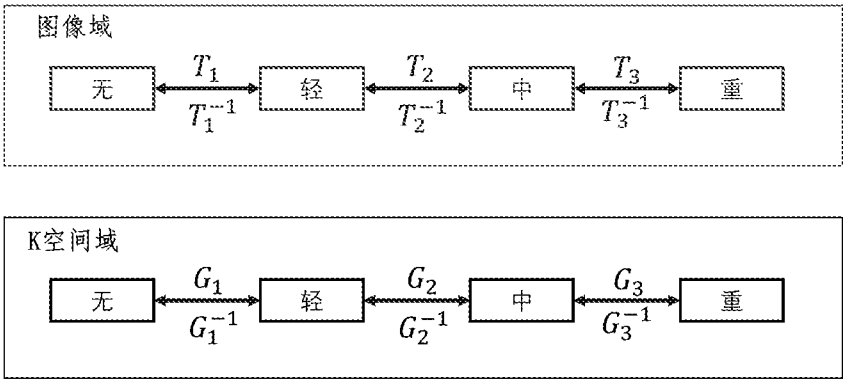


图 2

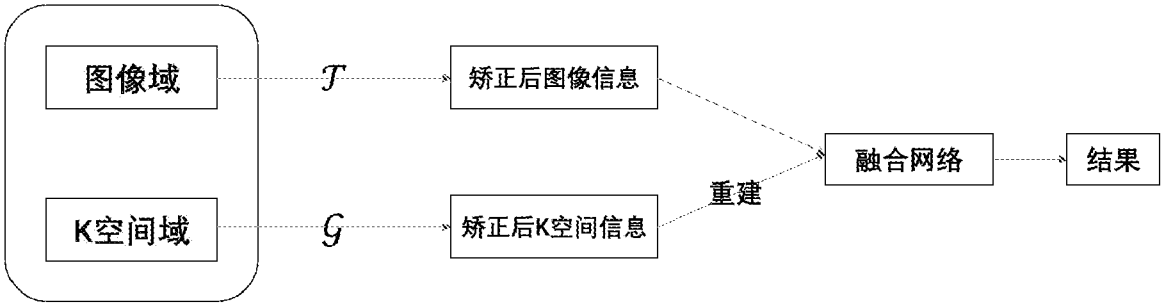


图 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2022/088186

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06T 11/00(2006.01)i; G06K 9/62(2022.01)i; G06V 10/774(2022.01)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;G06K;G06V

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)

CNPAT, CNKI, WPI, EPODOC: 中国科学院深圳先进技术研究院, 苏鉴东, 商琨, 梁栋, 刘新, 郑海荣, 核磁共振, 标准化流, 模型, 对抗网络, 变分自编码器, 伪影, 对偶域, 图像域, K空间, 双射, 概率分布, 超分重建, normalizing, flow, MRI, GAN, VAE, magnetic, resonance, imaging, SRFlow, model, artifact, image, field, K-space, probability, distribution

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2022051454 A1 (SIEMENS HEALTHCARE G.M.B.H.) 17 February 2022 (2022-02-17) description, paragraphs [0026]-[0109], and figures 1-8	1-10
A	CN 108814603 A (SHANGHAI NEUSOFT MEDICAL TECHNOLOGY CO., LTD.) 16 November 2018 (2018-11-16) entire document	1-10
A	CN 105654527 A (SHENZHEN INSTITUTES OF ADVANCED TECHNOLOGY, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) 08 June 2016 (2016-06-08) entire document	1-10
A	CN 109557489 A (SHANGHAI NEUSOFT MEDICAL TECHNOLOGY, LTD.) 02 April 2019 (2019-04-02) entire document	1-10
A	CN 114299185 A (TSINGHUA UNIVERSITY) 08 April 2022 (2022-04-08) entire document	1-10
A	WO 2015164825 A1 (YUAN, Chun et al.) 29 October 2015 (2015-10-29) 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

“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

13 December 2022

Date of mailing of the international search report

21 December 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/CN2022/088186

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	2022051454	A1	17 February 2022	DE	102020210136	A1	17 February 2022
CN	108814603	A	16 November 2018	CN	108814603	B	09 November 2021
CN	105654527	A	08 June 2016	None			
CN	109557489	A	02 April 2019	US	2020217914	A1	09 July 2020
				CN	109557489	B	18 June 2021
				US	11294011	B2	05 April 2022
CN	114299185	A	08 April 2022	None			
WO	2015164825	A1	29 October 2015	None			

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2022/088186

A. 主题的分类

G06T 11/00 (2006.01) i; G06K 9/62 (2022.01) i; G06V 10/774 (2022.01) 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; G06K; G06V

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))

CNPAT, CNKI, WPI, EP0D0C: 中国科学院深圳先进技术研究院, 苏鉴东, 商琨, 梁栋, 刘新, 郑海荣, 核磁共振, 标准化流, 模型, 对抗网络, 变分自编码器, 伪影, 对偶域, 图像域, K空间, 双射, 概率分布, 超分重建, normalizing, flow, MRI, GAN, VAE, magnetic, resonance, imaging, SRFlow, model, artifact, image, field, K-space, probability, distribution

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	US 2022051454 A1 (SIEMENS HEALTHCARE G.M.B.H.) 2022年2月17日 (2022 - 02 - 17) 说明书第[0026]-[0109]段, 图1-8	1-10
A	CN 108814603 A (上海东软医疗科技有限公司) 2018年11月16日 (2018 - 11 - 16) 全文	1-10
A	CN 105654527 A (中国科学院深圳先进技术研究院) 2016年6月8日 (2016 - 06 - 08) 全文	1-10
A	CN 109557489 A (上海东软医疗科技有限公司) 2019年4月2日 (2019 - 04 - 02) 全文	1-10
A	CN 114299185 A (清华大学) 2022年4月8日 (2022 - 04 - 08) 全文	1-10
A	WO 2015164825 A1 (YUAN, Chun 等) 2015年10月29日 (2015 - 10 - 29) 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

“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

2022年12月13日

国际检索报告邮寄日期

2022年12月21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

李慧

电话号码 86-(10)-53962556

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2022/088186

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)
US	2022051454	A1	2022年2月17日	DE	102020210136	A1	2022年2月17日
CN	108814603	A	2018年11月16日	CN	108814603	B	2021年11月9日
CN	105654527	A	2016年6月8日	无			
CN	109557489	A	2019年4月2日	US	2020217914	A1	2020年7月9日
				CN	109557489	B	2021年6月18日
				US	11294011	B2	2022年4月5日
CN	114299185	A	2022年4月8日	无			
WO	2015164825	A1	2015年10月29日	无			