

# (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  
2020 年 7 月 2 日 (02.07.2020)



(10) 国际公布号  
**WO 2020/134826 A1**

- (51) 国际专利分类号:  
**G01R 33/56** (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2019/121508
- (22) 国际申请日: 2019 年 11 月 28 日 (28.11.2019)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:  
201811581817.7 2018 年 12 月 24 日 (24.12.2018) CN
- (71) 申请人: 深圳先进技术研究院 (SHENZHEN INSTITUTE 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: 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)。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)。程慧涛

(CHENG, Huitao); 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)。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)。

(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, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, 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,

(54) Title: PARALLEL MAGNETIC RESONANCE IMAGING METHOD AND RELATED EQUIPMENT

(54) 发明名称: 磁共振并行成像方法及相关设备

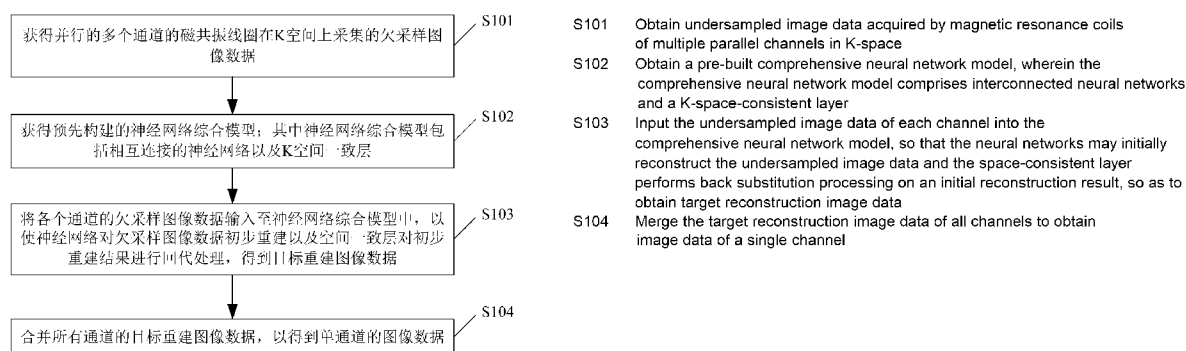


图 1

(57) Abstract: A parallel magnetic resonance imaging method, comprising: obtaining undersampled image data acquired by magnetic resonance coils of multiple parallel channels in K-space (S101); obtaining a pre-built comprehensive neural network model, wherein the comprehensive neural network model comprises interconnected neural networks and a K-space-consistent layer (S102); inputting the undersampled image data of each channel into the comprehensive neural network model, so that the neural networks may initially reconstruct the undersampled image data and the space-consistent layer performs back substitution processing on an initial reconstruction result, so as to obtain target reconstruction image data (S103); and merging the target reconstruction image data of all channels to obtain image data of a single channel (S104). Hence, the present method adds the K-space-consistent layer to the neural network models, and said layer uses the undersampled image data before reconstruction to perform back substitution processing on the reconstructed image data, thereby retaining more image details and improving an image reconstruction effect. Also provided is related equipment for parallel magnetic resonance imaging.

SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,  
US, UZ, VC, VN, 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: 一种磁共振并行成像方法, 该方法获得并行的多个通道的磁共振线圈在K空间上采集的欠采样图像数据(S101), 获得预先构建的神经网络综合模型; 其中神经网络综合模型包括相互连接的神经网络以及K空间一致层(S102), 将各个通道的欠采样图像数据输入至神经网络综合模型中, 以使神经网络对欠采样图像数据初步重建以及空间一致层对初步重建结果进行回代处理, 得到目标重建图像数据(S103), 合并所有通道的目标重建图像数据, 以得到单通道的图像数据(S104)。可见, 该方法在神经网络模型中添加了K空间一致层, 该层使用重建前的欠采样图像数据对重建后的图像数据进行回代处理, 从而保留了更多的图像细节, 提高了图像重建效果。另外还提供了磁共振并行成像相关设备。

## 磁共振并行成像方法及相关设备

### 技术领域

本发明涉及磁共振图像处理技术领域，更具体地，是磁共振并行成像方法及相关设备。

### 背景技术

磁共振成像系统利用静磁场和射频磁场对人体组织成像，它不仅提供了丰富的组织对比度且不会对人体产生副作用危害，因此成为医学临床诊断的一种常用工具。

磁共振成像系统主要包括两个装置：图像采集装置及并行成像装置。图像采集装置包括多个并行的通道，不同的通道对应不同的采集线圈，不同的采集线圈位于不同的采集位置，用于从不同方向上采集人体组织的图像数据。并行成像装置应用的是并行成像(Parallel imaging, PI)算法，即对每个并行通道采集到的图像数据进行重建，以得到展示效果更佳的图像数据。

传统的并行成像算法主要分为两类：一种基于K空间重建，如空间谐波同步采集(SMASH)、广义自动校准部分并行采集(GRAAPA)、自一致性并行成像(SPIRiT)等；另一种基于图像域重建，如敏感度编码 (SENSitivity Encoding, SENSE)等。另外，压缩感知的出现也较大地改善了并形成像的重建，其中典型的重建算法有L1-SPIRiT等。近些年，深度学习在快速磁共振重建中得到了很好地应用，目前深度学习用于并行成像的方法主要有两个，一个是利用多层感知机(MLP)进行并行成像，另一个是将传统迭代算法网络化的变分网络 (Variational Network, VN) 网络。

然而，现有并行成像算法所重建的图像，图像细节处理效果有待进一步提高。

### 发明内容

有鉴于此，本发明提供了一种磁共振并行成像方法，用以进一步提高重建图像的细节处理效果。另外，本发明还提供了磁共振并行成像相关设备，

用以保证所述方法在实际中的应用及实现。

为实现所述目的，本发明提供的技术方案如下：

第一方面，本申请提供了一种磁共振并行成像方法，包括：

获得并行的多个通道的磁共振线圈在 K 空间上采集的欠采样图像数据；

获得预先构建的神经网络综合模型；其中所述神经网络综合模型包括相互连接的神经网络以及 K 空间一致层；

将各个通道的欠采样图像数据输入至所述神经网络综合模型中，以使所述神经网络综合模型执行下述步骤：

神经网络依据各个所述欠采样图像数据之间的相关性，分别对每个所述欠采样图像数据进行重建，得到每个通道对应的初步重建图像数据；

K 空间一致层分别依据每个通道的欠采样图像数据，对每个通道的初步重建图像数据进行回代处理，得到每个通道对应的目标重建图像数据；

合并所有通道的目标重建图像数据，以得到单通道的图像数据。

第二方面，本申请提供了一种磁共振并行成像装置，包括：

图像数据获得模块，用于获得并行的多个通道的磁共振线圈在 K 空间上采集的欠采样图像数据；

综合模型获得模块，用于获得预先构建的神经网络综合模型；其中所述神经网络综合模型包括相互连接的神经网络以及 K 空间一致层；

图像数据重建模块，用于将各个通道的欠采样图像数据输入至所述神经网络综合模型中，以使所述神经网络综合模型执行下述步骤：

神经网络依据各个所述欠采样图像数据之间的相关性，分别对每个所述欠采样图像数据进行重建，得到每个通道对应的初步重建图像数据；

K 空间一致层分别依据每个通道的欠采样图像数据，对每个通道的初步重建图像数据进行回代处理，得到每个通道对应的目标重建图像数据；

图像数据合并模块，用于合并所有通道的目标重建图像数据，以得到单通道的图像数据。

第三方面，本申请提供了一种磁共振并行成像设备，包括：

接收器，用于接收并行的多个通道的磁共振线圈在 K 空间上采集的欠采样图像数据；

处理器，用于获得预先构建的神经网络综合模型；其中所述神经网络综合模型包括相互连接的神经网络以及 K 空间一致层；将各个通道的欠采样图像数据输入至所述神经网络综合模型中，以使所述神经网络综合模型执行下述步骤：神经网络依据各个所述欠采样图像数据之间的相关性，分别对每个所述欠采样图像数据进行重建，得到每个通道对应的初步重建图像数据；K 空间一致层分别依据每个通道的欠采样图像数据，对每个通道的初步重建图像数据进行回代处理，得到每个通道对应的目标重建图像数据；合并所有通道的目标重建图像数据，以得到单通道的图像数据；

显示器，用于显示所述单通道的图像数据。

第四方面，本申请提供了一种可读性存储介质，其上存储有计算机程序，其特征在于，所述计算机程序被处理器执行时，实现上述的磁共振并行成像方法。

由以上技术方案可知，本发明提供了一种磁共振并行成像方法，该方法获得并行的多个通道的线圈在 K 空间上采集的欠采样图像数据，将各通道的欠采样图像数据输入至预构建的神经网络综合模型，该模型中除了包括神经网络之后还包括 K 空间一致层，神经网络可以对欠采样图像数据进行重建，K 空间一致层可以使用欠采样图像数据对神经网络重建的图像数据进行回代处理，从而得到目标重建图像数据，最后将所有通道的目标重建图像数据进行合并便可以得到单通道图像。与现有技术相比，本发明在神经网络模型中添加了 K 空间一致层，该层可以使用重建前的欠采样图像数据对重建后的图像数据进行回代处理，从而保留了更多的图像细节，提高了图像重建效果。

## 附图说明

为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案，下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍，显而易见地，下面描述中的附图仅仅是本发明的实施例，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动的前提下，还可以根据提供的附图获得其他的附图。

图1为本发明提供的磁共振并行成像方法的一个流程示意图；

图2为本发明提供的神经网络综合模块的一种结构示意图；

图3为本发明提供的训练卷积神经网络的一个流程示意图；

图4为本发明提供的磁共振并行成像方法与传统并行成像算法进行重建的成像效果对比图；

图5为本发明提供的磁共振并行成像装置的一个结构示意图；

图6为本发明提供的磁共振并行成像装置的另一结构示意图；

图7为本发明提供的磁共振并行成像设备的一个计算机架构示意图。

## 具体实施方式

下面将结合本发明实施例中的附图，对本发明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发明一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例，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，都属于本发明保护的范围。

磁共振成像是医学领域中常用的一种用于对人体组织成像的系统。该系统主要包括两个装置，图像采集装置及并行成像装置。

图像采集装置包括多个并行的通道，每个通道使用不同位置的磁共振线圈从不同方向采集人体组织的图像数据。成像速度慢一直是制约该系统应用的一大瓶颈，因此如何在成像质量为临床可接受的前提下，提高扫描速度从而减少扫描时间尤为重要。

为了实现这个目的，磁共振成像系统普遍采用并行成像技术，在该项技术中图像采集装置所采集的图像为欠采样图像数据。具体地，图像采集装置在一次扫描过程中，多个线圈同时采集图像数据，每个线圈只采集对象某个局部位置的图像数据，这些图像数据为欠采样图像数据。同时，并行成像装置使用并行成像算法，对每个通道采集到的欠采样图像数据进行重建。可见，并行成像主要利用不同位置的线圈采集的敏感度信息进行图像重建，可以通过一定程度的欠采样达到加速扫描的目的，是快速磁共振成像中的重要方法之一。

本发明提供了一种磁共振并行成像方法，该方法用于并行成像装置，用于提高重建图像的细节处理效果。见图1，其示出了磁共振并行成像方法的一个流程示意，具体包括步骤S101~S104。

S101: 获得并行的多个通道的磁共振线圈在 K 空间上采集的欠采样图像数据。

在实际应用中, 当需要检测人体组织如头部情况时, 首先由图像采集装置采集人体组织的图像数据。前已述及, 图像采集装置包括多个并行的通道, 每个通道的磁共振线圈都会使用欠采样方式采集该人体组织的局部信息, 从而每个通道都会得到一张欠采样图像数据。通道个数与实际应用的图像采集装置有关, 如可以是 6 路、8 路、12 路、32 路等等。

需要说明的是, K 空间是表示图像的一个域, 同时也是图像数据的采集域, 即在 K 空间上采集图像数据。欠采样图像数据是在图像 K 空间上通过欠采样方式采集到的数据。K 空间上的图像数据是经过傅里叶变换得到的, K 空间这个域表示的图像数据并非人肉眼能识别的图像, 需要经过傅里叶逆变换, 才能得到人肉眼可以识别的图像。

S102: 获得预先构建的神经网络综合模型; 其中神经网络综合模型包括相互连接的神经网络以及 K 空间一致层。

其中, 神经网络综合模型是预先构建的, 与现有的神经网络模型不同的是, 本发明所构建的神经网络综合模型包括两部分, 一部分为神经网络, 一部分为 K 空间一致层(Data Consistency, DC)。神经网络需要通过神经网络训练算法预先训练得到, K 空间一致层作用是, 将充分利用图像数据中已采集的 K 空间数据信息, 对神经网络重建的图像进行修正, 从而使重建图像更精确, 保留更多图像细节。

发明人通过研究发现, 传统的并行成像算法, 往往受线圈个数和排列影响较大, 且重建结果对噪声有放大作用, 加速倍数也受到一定限制。基于压缩感知的并行成像算法(CS-PI), 仅对非相干采样的采样模式有较好的重建效果, 对于一维欠采样的混叠伪影重建结果较差, 且目标函数中的权重参数较难调节, 同时迭代求解过程时间略长。

基于深度学习的并行成像方法中, 多层感知机为全连接神经网络, 所需参数量较大, 且该方法需逐行进行重建, 专注于解决一维欠采样导致的混叠伪影, 对采样方式有一定限制。VN 网络是将传统算法网络化的方法之一, 其需要提前计算线圈阵列的敏感度信息, 因此重建结果依赖于线圈敏感度的估计准确度。

因此,可选地,本发明选用的神经网络具体为卷积神经网络(Convolutional Neural Network,CNN)。相较于多层感知机等其他神经网络,卷积神经网络具有局部连接和权值共享的特点,在计算机视觉领域有更独特的优势。更具体地来讲,卷积神经网络 CNN 在图像处理方面具有优势,对于一维和二维欠采样都适用,且不受传统自动校准信号(Auto-calibration signal, ACS)线多少的影响,因此本发明将卷积神经网络 CNN 用于磁共振并行成像,使得本发明对采样方式没有特殊限制,且对 ACS 线不敏感。

神经网络综合模型中,神经网络与 K 空间一致层之间的连接方式可以是多层级联。例如,神经网络综合模型的一种具体结构见图 2。如图 2 所示,神经网络综合模型包括 N 个子模块 Block,该 N 个子模块前后连接,前一个子模块输出的图像重建结果输入至后一个子模块中继续进行重建处理。需要说明的是,N 为预先根据训练经验得到的已知值。另外,子模块可以称为残差模块。

其中每个子模块中均包括相互连接的一个卷积神经网络 CNN 以及一个 K 空间一致层 DC, K 空间一致层连接在卷积神经网络 CNN 之后,用以保证卷积神经网络 CNN 的图像重建结果更为准确。在训练过程中可知,逐个级联的神经网络连接 K 空间一致层这种结构,可以使得重建图像在正向传播过程中越来越接近于标签图像(即全采样图像数据)。

卷积神经网络的一种具体结构中,包括 M 个叠加的复数卷积层, M 为预先根据训练经验得到的已知值。

S103: 将各个通道的欠采样图像数据输入至神经网络综合模型中,以使神经网络对欠采样图像数据初步重建以及空间一致层对初步重建结果进行回代处理,得到目标重建图像数据。

具体地,将各个通道的欠采样图像数据输入至神经网络综合模型中,以使神经网络综合模型执行步骤 A1 及 A2。

A1: 神经网络依据各个欠采样图像数据之间的相关性,分别对每个欠采样图像数据进行重建,得到每个通道对应的初步重建图像数据; A2: K 空间一致层分别依据每个通道的欠采样图像数据,对每个通道的初步重建图像数据进行回代处理,得到每个通道对应的目标重建图像数据。

具体地，神经网络综合模型的输入数据为步骤 S101 获得的多个并行通道的欠采样图像数据。神经网络综合模型的处理分为两部分：步骤 A1 中神经网络首先对欠采样图像数据进行初步重建，重建过程中充分利用多个线圈之间图像数据的相关性，得到的图像称为初步重建图像数据；步骤 A2 中 K 空间一致层使用输入至神经网络综合模型的欠采样图像数据，对初步重建图像数据进行回代处理，为了便于描述，将回代处理后的初步重建图像数据成为目标重建图像数据。

回代处理过程是：经过重建后的初步重建图像数据中，如果某个位置的像素点的像素值在该初步重建图像数据对应的欠采样图像数据中不存在，则保留该像素值；如果某个位置的像素点的像素值在该初步重建图像数据对应的欠采样图像数据中存在，则将欠采样图像数据中的像素值回代至初步重建图像数据中的像素值。

更具体地，一种回代方式是欠采样图像数据中的像素值以及初步重建图像数据中的像素值进行加权处理，并将初步重建图像数据中的像素值替换为处理后的像素值；另一种处理方式是直接将欠采样图像数据中的像素值直接替换初步重建图像数据中的像素值。

通过具体的公式表示第一种回代方式的 K 空间一致层，则 K 空间一致层表示为：

$$f_{l,j}(k) = \begin{cases} f_{l,j}(k) & k \notin S \\ \frac{f_{l,j}(k) + \lambda f_{0,j}(k)}{1 + \lambda} & k \in S \end{cases};$$

其中 S 为第 j 个通道的欠采样图像数据所有采样像素点位置的集合；k 为神经网络综合模型输出的初步重建图像数据中任一像素点的位置； $f_{l,j}(k)$  为第 j 个通道的初步重建图像数据的 K 空间在位置 k 的像素值； $\lambda$  为预设的加权权重； $f_{0,j}(k)$  为第 j 个通道输入的欠采样图像数据的 K 空间在位置 k 的像素值。

通过具体的公式表示第二种回代方式的 K 空间一致层，则 K 空间一致层表示为： $f_{l,j}(k) = \begin{cases} f_{l,j}(k) & k \notin S \\ f_{0,j}(k) & k \in S \end{cases}$ 。

至于为什么需要进行上述回代处理，是因为神经网络对欠采样图像数据的重建效果不够好，效果不够的原因有二：一是由于学习训练的神经网络可

能并非十分精确，二是欠采样图像数据中已经存在的这些像素点被神经网络重建后会失真。使用没有经过重建处理的欠采样图像数据对初步重建图像数据进行上述回代处理之后，可以提高初步重建图像数据的重建效果。

需要说明的是，上述 K 空间一致层所处理的图像数据都是 K 空间上的图像数据。另外，本步骤是分别对每个通道的欠采样图像数据进行处理，分别得到每个通道各自对应的目标重建图像数据。

S104：合并所有通道的目标重建图像数据，以得到单通道的图像数据。

其中，可以通过自适应通道合并或者平方和合并等方法，将所有通道的目标重建图像数据合并，从而得到单通道的图像数据。

由以上技术方案可知，本发明提供了一种磁共振并行成像方法，该方法获得并行的多个通道的线圈在 K 空间上采集的欠采样图像数据，将各通道的欠采样图像数据输入至预构建的神经网络综合模型，该模型中除了包括神经网络之后还包括 K 空间一致层，神经网络可以对欠采样图像数据进行重建，K 空间一致层可以使用欠采样图像数据对神经网络重建的图像数据进行回代处理，从而得到目标重建图像数据，最后将所有通道的目标重建图像数据进行合并便可以得到单通道图像。与现有技术相比，本发明在神经网络模型中添加了 K 空间一致层，该层可以使用重建前的欠采样图像数据对重建后的图像数据进行回代处理，从而保留了更多的图像细节，提高了图像重建效果。

更进一步地，本发明设计了一种新型的基于卷积神经网络(Convolutional Neural Network, CNN)的级联的多通道网络，用于磁共振并行成像。在网络结构中考虑了图像域的学习和已采集 K 空间数据的一致性，能够在级联网络中递进地改善图像质量，且不丢失已采集数据的信息。同时，本发明采用了一种复数卷积操作，用于合理地处理磁共振复数数据的实部和虚部。

以下具体说明神经网络综合模型中的神经网络的训练过程。

其中，神经网络具体为卷积神经网络。见图3，卷积神经网络的一种具体训练过程包括如下步骤 S301~S304。

S301：获得每个通道的全采样图像数据。

其中，训练时使用全采样图像数据来制作欠采样图像数据，因此首先获得全采样图像数据，且全采样数据作为卷积神经网络训练过程中的标签数据。

例如,可以使用 3T 磁共振仪器(SIEMENS MANGETOM Trio Tim)上的 12 通道的头部线圈采集 3000 多张二维磁共振脑部图像,其中可以包含矢状面、冠状面、横断面图像,也可以混合 T1 加权、T2 加权、PD 加权图像。3000 多张二维磁共振脑部图像为全采样图像数据。需要说明的是,一张二维磁共振脑部图像包含 12 个通道各自采集的全采样图像数据,也就是说,获取到了 3000\*12 张全采样图像数据。

需要说明的是,大数据对于深度学习来说至关重要,因此想得到较好的训练结果,必须保证一定的数据量。在原始数据量不够大的情况下,可以通过进行数据增强来扩充数据。本发明中,对于每一张原始图像,通过旋转 90°、180°、270° 和沿 x 轴、y 轴镜像翻转的方法,得到了 8 倍于原始数据的数据量。也就是说,对每个通道的全采样数据分别执行上述扩充数据的操作,以得到 3000\*12\*8 张全采样图像数据,其中每个通道对应应有 3000\*8 张全采样图像数据。当然,数据扩充方式还可以是其他,并不局限于上述方式。

需要说明的是,扩充得到的全采样图像数据同样作为标签数据。

S302: 对每个通道的全采样图像数据进行欠采样处理,得到每个通道的欠采样图像数据样本。

其中本步骤可以称为欠采样图像数据的制作步骤。

具体地,欠采样处理为回顾式欠采样处理,可以表示为:  $X_u = F^H P^H P F X$ ; 其中,  $X_u$  为欠采样图像数据样本,  $F$  表示傅里叶编码矩阵(经过傅里叶编码矩阵变换之后,便可以将欠采样图像数据变换到  $K$  空间),  $P$  表示通道进行采样的欠采样模式的循环对角矩阵,  $F^H$  及  $P^H$  的上角标  $H$  表示厄尔米特转置操作,  $X$  表示标签数据。

欠采样处理即模拟采集欠采样图像数据的过程,每个通道的全采样图像数据都要进行上述欠采样处理,以得到每个全采样图像数据所对应的欠采样图像数据。由于得到的欠采样图像数据作为训练样本用于训练卷积神经网络,因此可以称为欠采样图像数据样本。

需要说明的是,在执行步骤 S303 使用卷积神经网络训练算法,对欠采样图像数据样本进行训练之前,还可以将各个欠采样图像数据按照公式

$$X_k = \frac{I_k}{\max\{abs(X)\}} \text{ 进行模值归一处理。}$$

其中  $X_k$  表示欠采样图像数据归一化处理后位置  $k$  处的像素点的像素值的模值； $I_k$  表示欠采样图像数据在位置  $k$  处的像素点的像素值的模值； $\max\{abs(X)\}$  表示欠采样图像数据所有像素值的最大模值。

具体来讲，磁共振线圈采集到的欠采样图像数据是复数图像，即图像中像素点的像素值是复数类型。对欠采样图像数据中每个像素点都进行模值归一处理，以将欠采样图像数据中每个像素点的模值归一化到(0,1]之间。

各个欠采样图像数据之间，像素点的像素值大小可能差距比较大，模值归一化处理可以使各个欠采样图像数据的像素值的数量级统一。对于深度学习神经网络综合模型来说，模值归一化处理能保证训练的有效性及收敛性，是数据处理中非常重要的步骤。步骤 S303 中是对经过模值归一化处理后的欠采样图像数据进行训练处理。

S303：使用卷积神经网络训练算法，对欠采样图像数据样本进行训练，以得到损失值最小的权重参数。

其中，卷积神经网络训练算法为现有的一种训练算法，本发明并不做具体赘述。卷积神经网络训练过程是计算卷积神经网络中最为合适的权重参数的过程。

具体地，训练过程包括多次前向传播步骤以及多次反向传播(Backpropagation, BP)步骤。可以知道的是，在训练前会需要设置权重参数，前向传播步骤是使用已知的权重参数正向计算卷积神经网络的输出值（输出值即重建数据），如图 2 所示，反向传播步骤使用损失函数对重建数据与标签数据进行比对，通过比对结果更新卷积神经网络中的权重参数。

反向传播通过计算损失函数的梯度来不断更新权重参数，更新的结果是，损失函数所计算的卷积神经网络的输出值与标签数据之间的差值为最小值。可见，反向传播过程需要使用损失函数，损失函数的作用是对卷积神经网络对欠采样图像数据的处理结果与该欠采样图像数据对应的全采样图像数据之间的差值，该差值即本步骤中的损失值。损失值越大，则说明两个图像数据之间的差距越大，也即表示卷积神经网络的重建结果不够好，因此需要将重建结果反馈到卷积神经网络中。如果损失值达到最小值，便可以确定出权重参数的最终值，训练过程结束。

反向传播过程可以表示为： $\hat{\theta} = \arg \min_{\theta} J(x, y)$ 。其中： $\hat{\theta}$ 为训练得到的权重参数， $J(x, y)$ 为损失函数， $x$ 为输入至卷积神经网络的欠采样图像数据， $y$ 为该欠采样图像数据对应的全采样图像数据。需要说明的是，卷积神经网络为多层，每层都有对应的权重参数，因此最后得到的权重参数 $\hat{\theta}$ 包括多组数值。

一个  $L$  层卷积神经网络  $y = C(x, \hat{\theta})$  可以具体表示为如下形式：

$$\begin{cases} C_0 = X_u \\ C_l = \sigma_l(\Omega_l * C_{l-1} + b_l) \quad l = 1, 2, \dots, L-1; \\ C_L = \Omega_L * C_{L-1} + b_L \end{cases}$$

其中， $C_0$ 为第一层卷积神经网络重建的图像数据； $X_u$ 为欠采样图像数据样本；

$C_l$ 为第  $l$  层卷积神经网络重建的图像数据； $\sigma_l$ 为非线性激活函数； $\Omega_l$ 为维度为  $FW_l \times FH_l \times K_{l-1} \times K_l$  的卷积核， $FW_l \times FH_l$ 为第  $l$  层卷积神经网络卷积核的大小， $K_{l-1}$ 为第  $l-1$  层卷积神经网络特征图的数量， $K_l$ 为第  $l$  层卷积神经网络特征图的数量； $C_{l-1}$ 为第  $l-1$  层卷积神经网络重建的图像数据； $b_l$ 为  $K_l$  维的偏置； $L$ 为卷积神经网络的层数；

$C_L$ 为第  $L$  层卷积神经网络重建的图像数据； $\Omega_L$ 为维度为  $FW_L \times FH_L \times K_{L-1} \times K_L$  的卷积核， $FW_L \times FH_L$ 为第  $L$  层卷积神经网络卷积核的大小， $K_{L-1}$ 为第  $L-1$  层卷积神经网络特征图的数量， $K_L$ 为第  $L$  层卷积神经网络特征图的数量； $C_{L-1}$ 为第  $L-1$  层卷积神经网络重建的图像数据； $b_L$ 为  $K_L$  维的偏置。

对卷积神经网络  $y = C(x, \hat{\theta})$  的训练，即训练权重参数  $\hat{\theta}$  的过程。其中  $\hat{\theta}$  包括  $L$  组  $\Omega, b$  的值，即  $\hat{\theta} = \{(\Omega_1, b_1), \dots, (\Omega_l, b_l), \dots, (\Omega_L, b_L)\}$ 。

以下对本发明所使用的具体损失函数进行说明。损失函数会监督网络训练过程，不同的损失函数对网络训练的影响不同。

具体地，损失值通过损失函数计算得到，本发明使用的损失函数为平均绝对值误差函数  $\frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \|C(x_m; \theta) - y_m\|$ ；其中  $M$  为一个批次输入至卷积神经网络中的同一通道的欠采样图像数据的数量； $m$  为一个批次输入至卷积神经网络中

的同一通道的欠采样图像数据的序号； $C(x_m; \theta)$ 为卷积神经网络对序号为 $m$ 的欠采样图像数据重建后的图像数据； $y_m$ 为序号为 $m$ 的欠采样图像数据对应的全采样图像数据。

需要说明的是，在训练过程中，输入训练样本可以按照批次进行，即每次输入的训练样本为每个通道的多张训练样本。例如，通道数量为12个，预先设置一个批次包含一个通道的4张训练样本，则每次输入的训练样本为12\*4张欠采样图像数据。

本发明使用的损失函数 $J(x, y)$ 可以具体为平均绝对值误差函数(Mean Absolution Error, MAE)，相对于均方误差这种损失函数，MAE不仅可以保证训练结果能很好地抑制噪声，而且能略微更好地保持图像细节。

S304：使用权重参数构建卷积神经网络。

其中，将卷积神经网络中的权重参数设置为最终训练得到的 $\hat{\theta}$ ，便可以得到构建完成的卷积神经网络 $y = C(x, \hat{\theta})$ ；其中 $x$ 为待输入的欠采样图像数据， $\hat{\theta}$ 为卷积神经网络的权重参数。训练完成的卷积神经网络便可以在实际应用中对待任意输入的欠采样图像数据进行重建。

为了检测本发明所构建的神经网络综合模型的可行性及有效性，发明人进行了对比实现。具体地，针对一维随机(1D random)3倍欠采样方式得到的相同的实验样本数据，分别使用传统并行成像算法及本发明提供的算法进行重建过程，重现效果见图4。

如图4所示，从左到右来看，上下两幅图依次为：原图和采样模式、SPIRiT重建结果及对应的误差图、L1-SPIRiT重建结果及对应误差图、使用本发明算法得到的重建结果及对应的误差图。

可以很明显地看出，本发明提供的磁共振并行成像方法对于一维欠采样造成的混叠伪影去除较为彻底，且噪声抑制效果也最好，与原图最为接近。可见，与传统并行成像算法相比，本发明提出的磁共振并行成像方法有明显的优势。

见图 5，其示出了本发明提供的磁共振并行成像装置的一种结构。如图 5 所示，磁共振并行成像装置可以包括：图像数据获得模块 501、综合模型获得模块 502、图像数据重建模块 503 及图像数据合并模块 504。

图像数据获得模块 501，用于获得并行的多个通道的磁共振线圈在 K 空间上采集的欠采样图像数据；

综合模型获得模块 502，用于获得预先构建的神经网络综合模型；其中所述神经网络综合模型包括相互连接的神经网络以及 K 空间一致层；

图像数据重建模块 503，用于将各个通道的欠采样图像数据输入至所述神经网络综合模型中，以使所述神经网络综合模型执行下述步骤：

神经网络依据各个所述欠采样图像数据之间的相关性，分别对每个所述欠采样图像数据进行重建，得到每个通道对应的初步重建图像数据；

K 空间一致层分别依据每个通道的欠采样图像数据，对每个通道的初步重建图像数据进行回代处理，得到每个通道对应的目标重建图像数据；

图像数据合并模块 504，用于合并所有通道的目标重建图像数据，以得到单通道的图像数据。

在一种实现方式中，所述神经网络综合模型包括级联的多个残差模块，每个残差模块均包括相互连接的神经网络以及 K 空间一致层。

在一种实现方式中，所述神经网络具体包括卷积神经网络。

见图 6，本发明还提供了磁共振并行成像装置的另一种结构。如图 6 所示，磁共振并行成像装置在图 5 所示的结构基础上，还可以包括神经网络训练模块 505。神经网络训练模块 505 用于训练所述神经网络综合模型中的卷积神经网络。具体地，神经网络训练模块 505 包括：

全采样数据获得子模块，用于获得每个通道的全采样图像数据；

欠采样数据获得子模块，用于对每个通道的全采样图像数据进行欠采样处理，得到每个通道的欠采样图像数据样本；

权重参数训练子模块，用于使用卷积神经网络训练算法，对所述欠采样图像数据样本进行训练，以得到损失值最小的权重参数；

卷积网络确定子模块，用于使用所述权重参数构建卷积神经网络  $y = C(x, \hat{\theta})$ ；其中  $x$  为待输入的欠采样图像数据， $\hat{\theta}$  为卷积神经网络的权重参数。

在一种实现方式中，所述卷积神经网络  $y=C(x,\hat{\theta})$  具体为：

$$\begin{cases} C_0=X_u \\ C_l=\sigma_l(\Omega_l*C_{l-1}+b_l) \quad l=1,2,\dots,L-1; \\ C_L=\Omega_L*C_{L-1}+b_L \end{cases}$$

其中， $C_0$  为第一层卷积神经网络重建的图像数据； $X_u$  为欠采样图像数据样本；

$C_l$  为第  $l$  层卷积神经网络重建的图像数据； $\sigma_l$  为非线性激活函数； $\Omega_l$  为维度为  $FW_l \times FH_l \times K_{l-1} \times K_l$  的卷积核， $FW_l \times FH_l$  为第  $l$  层卷积神经网络卷积核的大小， $K_{l-1}$  为第  $l-1$  层卷积神经网络特征图的数量， $K_l$  为第  $l$  层卷积神经网络特征图的数量； $C_{l-1}$  为第  $l-1$  层卷积神经网络重建的图像数据； $b_l$  为  $K_l$  维的偏置； $L$  为卷积神经网络的层数；

$C_L$  为第  $L$  层卷积神经网络重建的图像数据； $\Omega_L$  为维度为  $FW_L \times FH_L \times K_{L-1} \times K_L$  的卷积核， $FW_L \times FH_L$  为第  $L$  层卷积神经网络卷积核的大小， $K_{L-1}$  为第  $L-1$  层卷积神经网络特征图的数量， $K_L$  为第  $L$  层卷积神经网络特征图的数量； $C_{L-1}$  为第  $L-1$  层卷积神经网络重建的图像数据； $b_L$  为  $K_L$  维的偏置。

在一种实现方式中，所述损失值通过损失函数计算得到，所述损失函数为平均绝对值误差函数  $\frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \|C(x_m;\theta) - y_m\|$ ；其中  $M$  为一个批次输入至卷积神经网络中的同一通道的欠采样图像数据的数量； $m$  为一个批次输入至卷积神经网络中的同一通道的欠采样图像数据的序号； $C(x_m;\theta)$  为卷积神经网络对序号为  $m$  的欠采样图像数据重建后的图像数据； $y_m$  为序号为  $m$  的欠采样图像数据对应的全采样图像数据。

在一种实现方式中，所述  $K$  空间一致层具体为：

$$f_{l,j}(k) = \begin{cases} f_{l,j}(k) & k \notin S \\ \frac{f_{l,j}(k) + \lambda f_{0,j}(k)}{1 + \lambda} & k \in S \end{cases};$$

其中  $S$  为第  $j$  个通道的欠采样图像数据所有采样像素点位置的集合； $k$  为神经网络综合模型输出的初步重建图像数据中任一像素点的位置； $f_{l,j}(k)$  为第  $j$  个通道的初步重建图像数据的  $K$  空间在位置  $k$  的像素值； $\lambda$  为预设的加权重； $f_{0,j}(k)$  为第  $j$  个通道输入的欠采样图像数据的  $K$  空间在位置  $k$  的像素值。

在一种实现方式中，神经网络训练模块 505 还包括：模值归一处理子模块。

模值归一处理子模块，用于在使用卷积神经网络训练算法，对所述欠采样图像数据样本进行训练之前，将各个所述欠采样图像数据按照下述公式进行模值归一处理：

$$X_k = \frac{I_k}{\max\{abs(X)\}};$$

其中所述  $X_k$  表示欠采样图像数据归一化处理后位置  $k$  处的像素点的像素值的模值； $I_k$  表示欠采样图像数据在位置  $k$  处的像素点的像素值的模值； $\max\{abs(X)\}$  表示欠采样图像数据所有像素值的最大模值。

见图 7，其示出了本申请提供的一种磁共振并行成像设备，具体包括：存储器 701、接收器 702、处理器 703、显示器 704 及通信总线 705。

其中，存储器 701、接收器 702、处理器 703、显示器 704 通过通信总线 705 完成相互间的通信。

存储器 701，用于存放程序；存储器 501 可能包含高速 RAM 存储器，也可能还包括非易失性存储器（non-volatile memory），例如至少一个磁盘存储器。

接收器 702，用于与图像采集装置相连，用于接收图像采集装置中并行的多个通道的磁共振线圈在  $K$  空间上采集的欠采样图像数据。

处理器 703，用于执行程序，程序可以包括程序代码，所述程序代码包括处理器的操作指令。其中，程序可具体用于：

获得预先构建的神经网络综合模型；其中所述神经网络综合模型包括相互连接的神经网络以及  $K$  空间一致层；将各个通道的欠采样图像数据输入至所述神经网络综合模型中，以使所述神经网络综合模型执行下述步骤：神经网络依据各个所述欠采样图像数据之间的相关性，分别对每个所述欠采样图像数据进行重建，得到每个通道对应的初步重建图像数据； $K$  空间一致层分

别依据每个通道的欠采样图像数据，对每个通道的初步重建图像数据进行回代处理，得到每个通道对应的目标重建图像数据；合并所有通道的目标重建图像数据，以得到单通道的图像数据。

处理器 703 可能是一个中央处理器 CPU，或者是特定集成电路 ASIC（Application Specific Integrated Circuit），或者是被配置成实施本申请实施例的一个或多个集成电路。

需要说明的是，所述处理器可以执行与上述磁共振并行成像方法相关的各个步骤，此处并不赘述。

显示器 704，用于显示所述单通道的图像数据。

本申请还提供了一种可读存储介质，其上存储有计算机程序，所述计算机程序可以被处理器执行，以实现虚拟资产数据的处理方法中的各个步骤。

需要说明的是，本说明书中的各个实施例均采用递进的方式描述，每个实施例重点说明的都是与其他实施例的不同之处，各个实施例之间相同相似的部分互相参见即可。

还需要说明的是，在本文中，诸如第一和第二等之类的关系术语仅仅用来将一个实体或者操作与另一个实体或操作区分开来，而不一定要求或者暗示这些实体或操作之间存在任何这种实际的关系或者顺序。而且，术语“包括”、“包含”或者其任何其他变体意在涵盖非排他性的包含，从而使得包括一系列要素的过程、方法、物品或者设备不仅包括那些要素，而且还包括没有明确列出的其他要素，或者是还包括为这种过程、方法、物品或者设备所固有的要素。在没有更多限制的情况下，由语句“包括一个……”限定的要素，并不排除在包括上述要素的过程、方法、物品或者设备中还存在另外的相同要素。

对所公开的实施例的上述说明，使本领域专业技术人员能够实现或使用本发明。对这些实施例的多种修改对本领域的专业技术人员来说将是显而易见的，本文中所定义的一般原理可以在不脱离本发明的精神或范围的情况下，在其它实施例中实现。因此，本发明将不会被限制于本文所示的这些实施例，而是要符合与本文所公开的原理和新颖特点相一致的最宽的范围。

## 权 利 要 求 书

1、一种磁共振并行成像方法，其特征在于，包括：

获得并行的多个通道的磁共振线圈在 K 空间上采集的欠采样图像数据；

获得预先构建的神经网络综合模型；其中所述神经网络综合模型包括相互连接的神经网络以及 K 空间一致层；

将各个通道的欠采样图像数据输入至所述神经网络综合模型中，以使所述神经网络综合模型执行下述步骤：

神经网络依据各个所述欠采样图像数据之间的相关性，分别对每个所述欠采样图像数据进行重建，得到每个通道对应的初步重建图像数据；

K 空间一致层分别依据每个通道的欠采样图像数据，对每个通道的初步重建图像数据进行回代处理，得到每个通道对应的目标重建图像数据；

合并所有通道的目标重建图像数据，以得到单通道的图像数据。

2、根据权利要求 1 所述的磁共振并行成像方法，其特征在于，所述神经网络综合模型包括级联的多个残差模块，每个残差模块均包括相互连接的神经网络以及 K 空间一致层。

3、根据权利要求 1 所述的磁共振并行成像方法，其特征在于，所述神经网络具体包括卷积神经网络。

4、根据权利要求 3 所述的磁共振并行成像方法，其特征在于，所述神经网络综合模型中神经网络的训练过程包括：

获得每个通道的全采样图像数据；

对每个通道的全采样图像数据进行欠采样处理，得到每个通道的欠采样图像数据样本；

使用卷积神经网络训练算法，对所述欠采样图像数据样本进行训练，以得到损失值最小的权重参数；

使用所述权重参数构建卷积神经网络  $y = C(x, \hat{\theta})$ ；其中  $x$  为待输入的欠采样图像数据， $\hat{\theta}$  为卷积神经网络的权重参数。

5、根据权利要求 4 所述的磁共振并行成像方法，其特征在于，

所述卷积神经网络  $y = C(x, \hat{\theta})$  具体为：

$$\begin{cases} C_0 = X_u \\ C_l = \sigma_l(\Omega_l * C_{l-1} + b_l) \quad l = 1, 2, \dots, L-1; \\ C_L = \Omega_L * C_{L-1} + b_L \end{cases}$$

其中,  $C_0$  为第一层卷积神经网络重建的图像数据;  $X_0$  为欠采样图像数据样本;

$C_l$  为第  $l$  层卷积神经网络重建的图像数据;  $\sigma_l$  为非线性激活函数;  $\Omega_l$  为维度为  $FW_l \times FH_l \times K_{l-1} \times K_l$  的卷积核,  $FW_l \times FH_l$  为第  $l$  层卷积神经网络卷积核的大小,  $K_{l-1}$  为第  $l-1$  层卷积神经网络特征图的数量,  $K_l$  为第  $l$  层卷积神经网络特征图的数量;  $C_{l-1}$  为第  $l-1$  层卷积神经网络重建的图像数据;  $b_l$  为  $K_l$  维的偏置;  $L$  为卷积神经网络的层数;

$C_L$  为第  $L$  层卷积神经网络重建的图像数据;  $\Omega_L$  为维度为  $FW_L \times FH_L \times K_{L-1} \times K_L$  的卷积核,  $FW_L \times FH_L$  为第  $L$  层卷积神经网络卷积核的大小,  $K_{L-1}$  为第  $L-1$  层卷积神经网络特征图的数量,  $K_L$  为第  $L$  层卷积神经网络特征图的数量;  $C_{L-1}$  为第  $L-1$  层卷积神经网络重建的图像数据;  $b_L$  为  $K_L$  维的偏置。

6、根据权利要求 4 所述的磁共振并行成像方法, 其特征在于,

所述损失值通过损失函数计算得到, 所述损失函数为平均绝对值误差函数  $\frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \|C(x_m; \theta) - y_m\|$ ; 其中  $M$  为一个批次输入至卷积神经网络中的同一通道的欠采样图像数据的数量;  $m$  为一个批次输入至卷积神经网络中的同一通道的欠采样图像数据的序号;  $C(x_m; \theta)$  为卷积神经网络对序号为  $m$  的欠采样图像数据重建后的图像数据;  $y_m$  为序号为  $m$  的欠采样图像数据对应的全采样图像数据。

7、根据权利要求 1 所述的磁共振并行成像方法, 其特征在于, 所述  $K$  空间一致层具体为:

$$f_{l,j}(k) = \begin{cases} f_{l,j}(k) & k \notin S \\ \frac{f_{l,j}(k) + \lambda f_{0,j}(k)}{1 + \lambda} & k \in S \end{cases};$$

其中  $S$  为第  $j$  个通道的欠采样图像数据所有采样像素点位置的集合;  $k$  为神经网络综合模型输出的初步重建图像数据中任一像素点的位置;  $f_{l,j}(k)$  为第

j 个通道的初步重建图像数据的 K 空间在位置 k 的像素值； $\lambda$  为预设的加权重； $f_{0,j}(k)$  为第 j 个通道输入的欠采样图像数据的 K 空间在位置 k 的像素值。

8、根据权利要求 4 所述的磁共振并行成像方法，其特征在于，在使用卷积神经网络训练算法，对所述欠采样图像数据样本进行训练之前，还包括：

将各个所述欠采样图像数据按照下述公式进行模值归一处理：

$$X_k = \frac{I_k}{\max\{abs(X)\}};$$

其中所述  $X_k$  表示欠采样图像数据归一化处理后位置 k 处的像素点的像素值的模值； $I_k$  表示欠采样图像数据在位置 k 处的像素点的像素值的模值； $\max\{abs(X)\}$  表示欠采样图像数据所有像素值的最大模值。

9、一种磁共振并行成像装置，其特征在于，包括：

图像数据获得模块，用于获得并行的多个通道的磁共振线圈在 K 空间上采集的欠采样图像数据；

综合模型获得模块，用于获得预先构建的神经网络综合模型；其中所述神经网络综合模型包括相互连接的神经网络以及 K 空间一致层；

图像数据重建模块，用于将各个通道的欠采样图像数据输入至所述神经网络综合模型中，以使所述神经网络综合模型执行下述步骤：

神经网络依据各个所述欠采样图像数据之间的相关性，分别对每个所述欠采样图像数据进行重建，得到每个通道对应的初步重建图像数据；

K 空间一致层分别依据每个通道的欠采样图像数据，对每个通道的初步重建图像数据进行回代处理，得到每个通道对应的目标重建图像数据；

图像数据合并模块，用于合并所有通道的目标重建图像数据，以得到单通道的图像数据。

10、一种磁共振并行成像设备，其特征在于，包括：

接收器，用于接收并行的多个通道的磁共振线圈在 K 空间上采集的欠采样图像数据；

处理器，用于获得预先构建的神经网络综合模型；其中所述神经网络综合模型包括相互连接的神经网络以及 K 空间一致层；将各个通道的欠采样图像数据输入至所述神经网络综合模型中，以使所述神经网络综合模型执行下

述步骤：神经网络依据各个所述欠采样图像数据之间的相关性，分别对每个所述欠采样图像数据进行重建，得到每个通道对应的初步重建图像数据；K空间一致层分别依据每个通道的欠采样图像数据，对每个通道的初步重建图像数据进行回代处理，得到每个通道对应的目标重建图像数据；合并所有通道的目标重建图像数据，以得到单通道的图像数据；

显示器，用于显示所述单通道的图像数据。

11、一种可读性存储介质，其上存储有计算机程序，其特征在于，所述计算机程序被处理器执行时，实现如权利要求 1-8 任一项所述的磁共振并行成像方法。

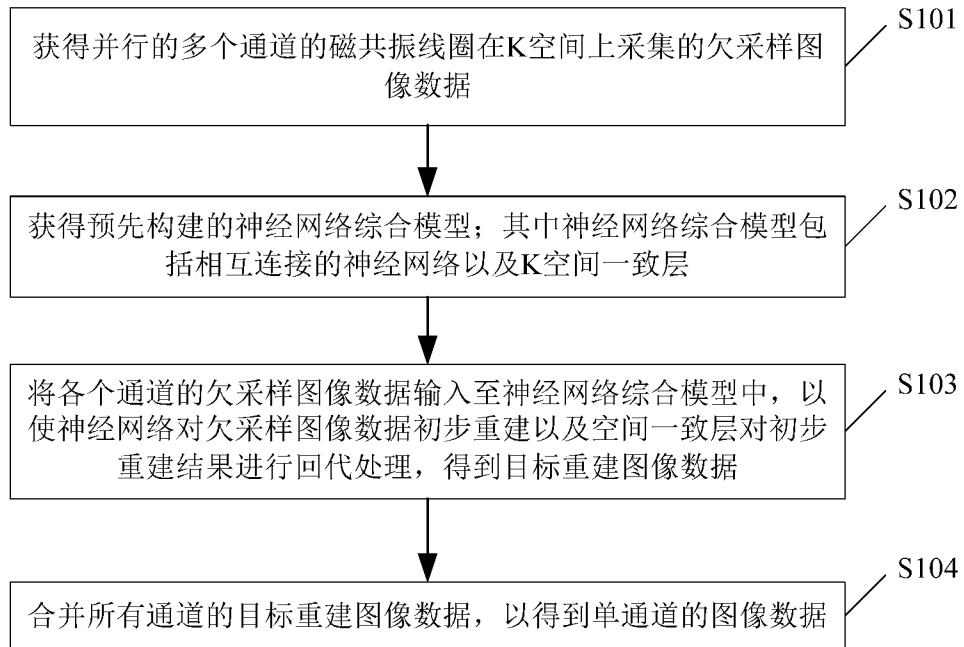


图 1

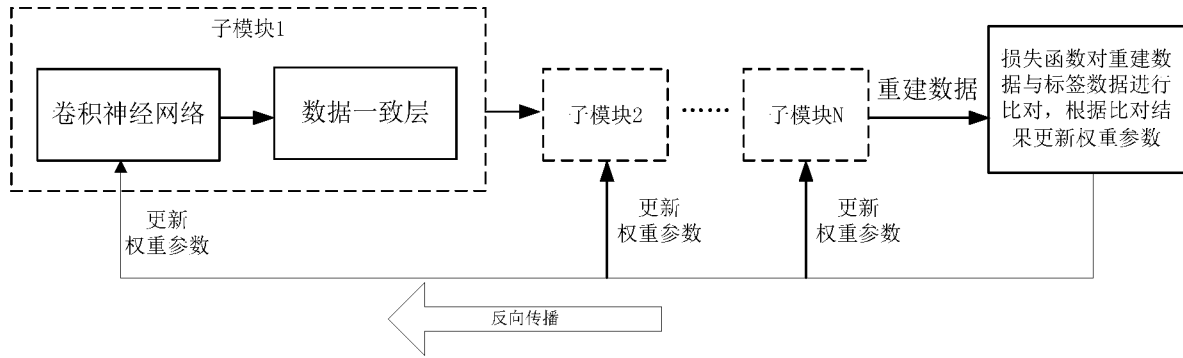


图 2

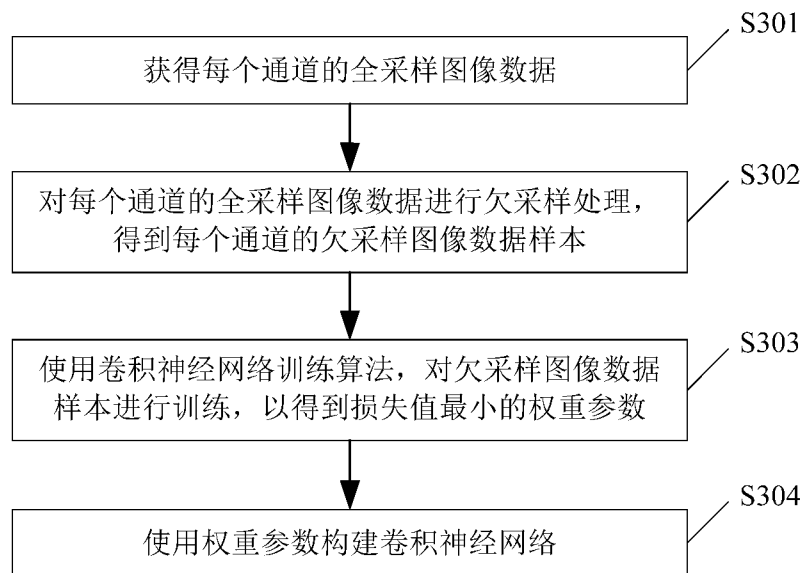


图 3

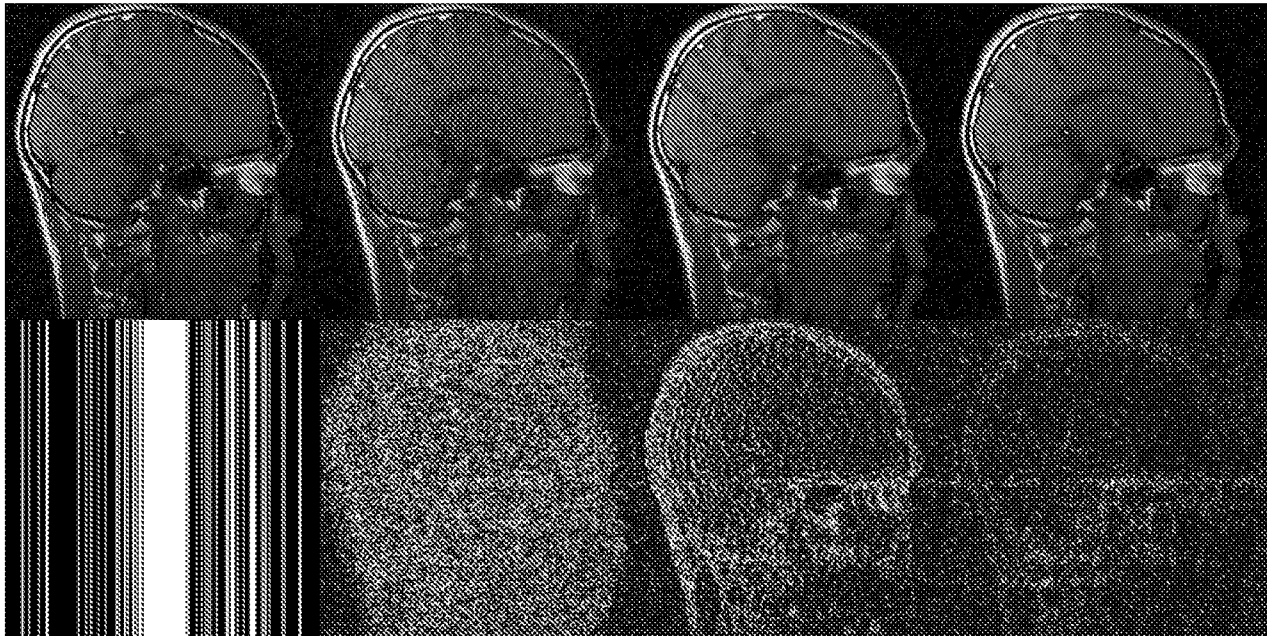


图 4

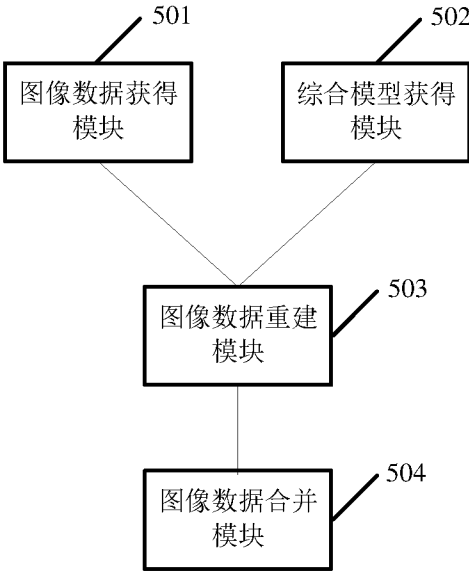


图 5

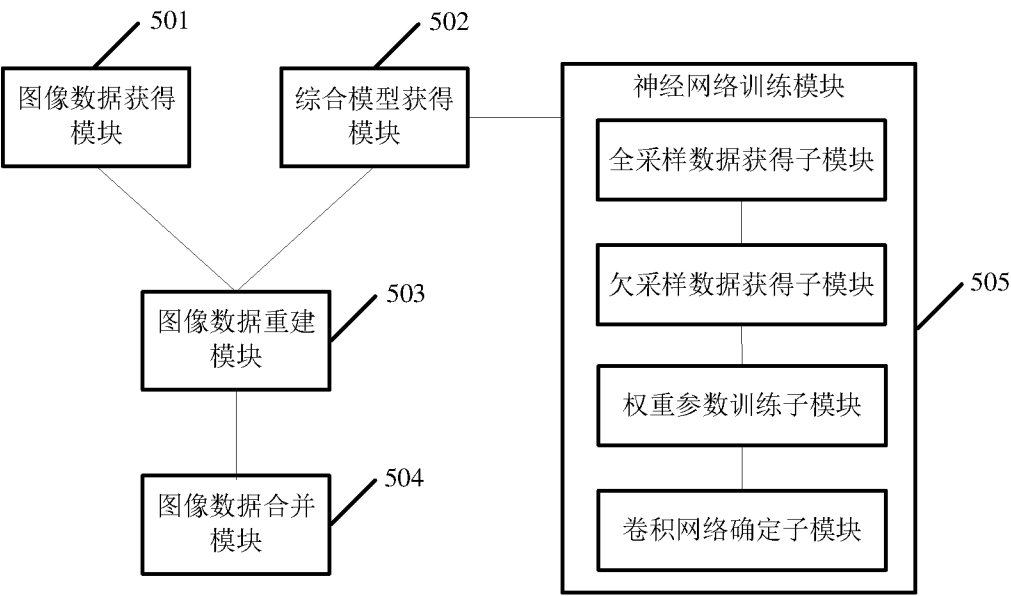


图 6

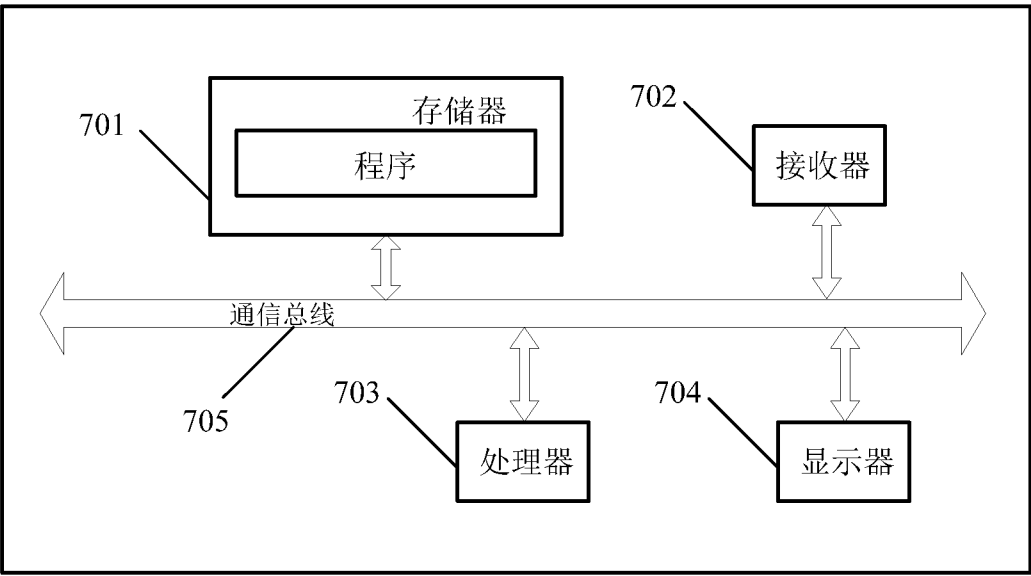


图 7

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2019/121508

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**

G01R 33/56(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)

G01R; G06T; G06N

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)

CNKI, CNPAT, WPI, EPODOC, IEEE: 磁共振, 并行, K空间, 欠采样, 神经网络, 重建, 图像, 一致性, 通道, magnetic, resonance, parallelism, K w space, undersampling, neural, network, reconstruction, rebuild, image, consistency, channel

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                         | Relevant to claim No. |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| X         | CN 108828481 A (ZHU, Gaojie) 16 November 2018 (2018-11-16)<br>description, paragraphs 0061-0091                                            | 1-3, 9-11             |
| A         | CN 108717717 A (SOUTHEAST UNIVERSITY) 30 October 2018 (2018-10-30)<br>entire document                                                      | 1-11                  |
| A         | CN 103646410 A (SHENZHEN INSTITUTES OF ADVANCED TECHNOLOGY, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) 19 March 2014 (2014-03-19)<br>entire document     | 1-11                  |
| A         | CN 107182216 A (SHENZHEN INSTITUTES OF ADVANCED TECHNOLOGY, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) 19 September 2017 (2017-09-19)<br>entire document | 1-11                  |
| A         | EP 3382417 A2 (SIEMENS HEALTHCARE GMBH) 03 October 2018 (2018-10-03)<br>entire document                                                    | 1-11                  |



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

21 February 2020

Date of mailing of the international search report

03 March 2020

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/CN2019/121508**

| Patent document<br>cited in search report |           |    | Publication date<br>(day/month/year) | Patent family member(s) |            |    | Publication date<br>(day/month/year) |
|-------------------------------------------|-----------|----|--------------------------------------|-------------------------|------------|----|--------------------------------------|
| CN                                        | 108828481 | A  | 16 November 2018                     | None                    |            |    |                                      |
| CN                                        | 108717717 | A  | 30 October 2018                      | None                    |            |    |                                      |
| CN                                        | 103646410 | A  | 19 March 2014                        | None                    |            |    |                                      |
| CN                                        | 107182216 | A  | 19 September 2017                    | WO                      | 2017113205 | A1 | 06 July 2017                         |
| EP                                        | 3382417   | A2 | 03 October 2018                      | US                      | 2018285695 | A1 | 04 October 2018                      |

## 国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2019/121508

| <b>A. 主题的分类</b><br>G01R 33/56 (2006.01) i<br><br>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>B. 检索领域</b><br>检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号)<br>G01R; G06T; G06N<br><br>包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献<br><br>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))<br>CNKI, CNPAT, WPI, EP0DOC, IEEE: 磁共振, 并行, K空间, 欠采样, 神经网络, 重建, 图像, 一致性, 通道,<br>magnetic, resonance, parallelism, K w space, undersampling, neural, network, reconstruction, rebuild,<br>image, consistency, channel                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                     |                                      |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                     |         |   |                                                                       |          |   |                                                            |      |   |                                                                     |      |   |                                                                     |      |   |                                                                             |      |
| <b>C. 相关文件</b> <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>X</td> <td>CN 108828481 A (朱高杰) 2018年 11月 16日 (2018 - 11 - 16)<br/>说明书第0061-0091段</td> <td>1-3、9-11</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 108717717 A (东南大学) 2018年 10月 30日 (2018 - 10 - 30)<br/>全文</td> <td>1-11</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 103646410 A (中国科学院深圳先进技术研究院) 2014年 3月 19日 (2014 - 03 - 19)<br/>全文</td> <td>1-11</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 107182216 A (中国科学院深圳先进技术研究院) 2017年 9月 19日 (2017 - 09 - 19)<br/>全文</td> <td>1-11</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>EP 3382417 A2 (SIEMENS HEALTHCARE GMBH) 2018年 10月 3日 (2018 - 10 - 03)<br/>全文</td> <td>1-11</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 | X | CN 108828481 A (朱高杰) 2018年 11月 16日 (2018 - 11 - 16)<br>说明书第0061-0091段 | 1-3、9-11 | A | CN 108717717 A (东南大学) 2018年 10月 30日 (2018 - 10 - 30)<br>全文 | 1-11 | A | CN 103646410 A (中国科学院深圳先进技术研究院) 2014年 3月 19日 (2014 - 03 - 19)<br>全文 | 1-11 | A | CN 107182216 A (中国科学院深圳先进技术研究院) 2017年 9月 19日 (2017 - 09 - 19)<br>全文 | 1-11 | A | EP 3382417 A2 (SIEMENS HEALTHCARE GMBH) 2018年 10月 3日 (2018 - 10 - 03)<br>全文 | 1-11 |
| 类 型*                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 引用文件, 必要时, 指明相关段落                                                                                                                                                                   | 相关的权利要求                              |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                     |         |   |                                                                       |          |   |                                                            |      |   |                                                                     |      |   |                                                                     |      |   |                                                                             |      |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | CN 108828481 A (朱高杰) 2018年 11月 16日 (2018 - 11 - 16)<br>说明书第0061-0091段                                                                                                               | 1-3、9-11                             |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                     |         |   |                                                                       |          |   |                                                            |      |   |                                                                     |      |   |                                                                     |      |   |                                                                             |      |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | CN 108717717 A (东南大学) 2018年 10月 30日 (2018 - 10 - 30)<br>全文                                                                                                                          | 1-11                                 |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                     |         |   |                                                                       |          |   |                                                            |      |   |                                                                     |      |   |                                                                     |      |   |                                                                             |      |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | CN 103646410 A (中国科学院深圳先进技术研究院) 2014年 3月 19日 (2014 - 03 - 19)<br>全文                                                                                                                 | 1-11                                 |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                     |         |   |                                                                       |          |   |                                                            |      |   |                                                                     |      |   |                                                                     |      |   |                                                                             |      |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | CN 107182216 A (中国科学院深圳先进技术研究院) 2017年 9月 19日 (2017 - 09 - 19)<br>全文                                                                                                                 | 1-11                                 |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                     |         |   |                                                                       |          |   |                                                            |      |   |                                                                     |      |   |                                                                     |      |   |                                                                             |      |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | EP 3382417 A2 (SIEMENS HEALTHCARE GMBH) 2018年 10月 3日 (2018 - 10 - 03)<br>全文                                                                                                         | 1-11                                 |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                     |         |   |                                                                       |          |   |                                                            |      |   |                                                                     |      |   |                                                                     |      |   |                                                                             |      |
| <input type="checkbox"/> 其余文件在C栏的续页中列出。 <input checked="" type="checkbox"/> 见同族专利附件。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                     |                                      |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                     |         |   |                                                                       |          |   |                                                            |      |   |                                                                     |      |   |                                                                     |      |   |                                                                             |      |
| <table border="0"> <tr> <td>           * 引用文件的具体类型:<br/>           “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件<br/>           “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利<br/>           “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)<br/>           “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件<br/>           “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<br/>           “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<br/>           “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<br/>           “&amp;” 同族专利的文件         </td> </tr> </table>                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                     |                                      | * 引用文件的具体类型:<br>“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件<br>“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利<br>“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)<br>“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件<br>“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<br>“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<br>“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<br>“&” 同族专利的文件 |         |   |                                                                       |          |   |                                                            |      |   |                                                                     |      |   |                                                                     |      |   |                                                                             |      |
| * 引用文件的具体类型:<br>“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件<br>“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利<br>“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)<br>“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件<br>“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<br>“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<br>“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<br>“&” 同族专利的文件 |                                      |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                     |         |   |                                                                       |          |   |                                                            |      |   |                                                                     |      |   |                                                                     |      |   |                                                                             |      |
| 国际检索实际完成的日期<br>2020年 2月 21日                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                     | 国际检索报告邮寄日期<br>2020年 3月 3日            |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                     |         |   |                                                                       |          |   |                                                            |      |   |                                                                     |      |   |                                                                     |      |   |                                                                             |      |
| ISA/CN的名称和邮寄地址<br>中国国家知识产权局 (ISA/CN)<br>中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088<br>传真号 (86-10)62019451                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                     | 授权官员<br>武守秋<br>电话号码 86-(10)-53961321 |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                     |         |   |                                                                       |          |   |                                                            |      |   |                                                                     |      |   |                                                                     |      |   |                                                                             |      |

国际检索报告  
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2019/121508

| 检索报告引用的专利文件 |           |    | 公布日<br>(年/月/日) | 同族专利          | 公布日<br>(年/月/日)  |
|-------------|-----------|----|----------------|---------------|-----------------|
| CN          | 108828481 | A  | 2018年 11月 16日  | 无             |                 |
| CN          | 108717717 | A  | 2018年 10月 30日  | 无             |                 |
| CN          | 103646410 | A  | 2014年 3月 19日   | 无             |                 |
| CN          | 107182216 | A  | 2017年 9月 19日   | WO 2017113205 | A1 2017年 7月 6日  |
| EP          | 3382417   | A2 | 2018年 10月 3日   | US 2018285695 | A1 2018年 10月 4日 |