

(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
2017 年 7 月 6 日 (06.07.2017)



(10) 国际公布号
WO 2017/113205 A1

- (51) 国际专利分类号:
G06N 3/08 (2006.01) A61B 5/055 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2015/099918
- (22) 国际申请日: 2015 年 12 月 30 日 (30.12.2015)
- (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)。谭莎 (TAN, Sha); 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)。苏正航 (SU, Zhenghang); 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)。彭玺 (PENG, Xi);

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: 北京三友知识产权代理有限公司 (BEIJING SANYOU INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY LTD.); 中国北京市金融街 35 号国际企业大厦 A 座 16 层, Beijing 100033 (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, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, 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, 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,

[见续页]

(54) Title: RAPID MAGNETIC RESONANCE IMAGING METHOD AND APPARATUS BASED ON DEEP CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK

(54) 发明名称: 一种基于深度卷积神经网络的快速磁共振成像方法及装置

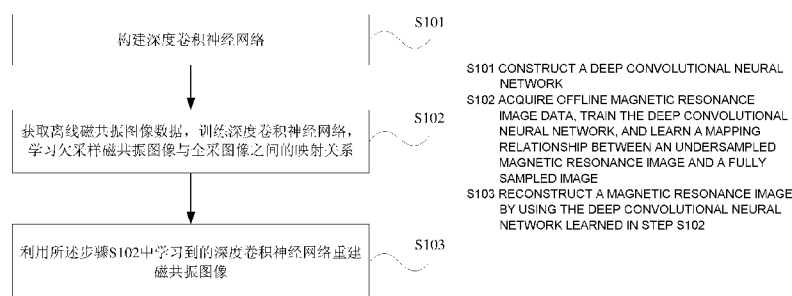


图1

(57) Abstract: A rapid magnetic resonance imaging method and apparatus based on a deep convolutional neural network. The method comprises: step S1 (S101), constructing a deep convolutional neural network; step S2 (S102), acquiring offline magnetic resonance image data, training the deep convolutional neural network, and learning a mapping relationship between an undersampled magnetic resonance image and a fully sampled image; and step S3 (S103), reconstructing a magnetic resonance image by using the deep convolutional neural network learned in step S2 (S102). In the rapid magnetic resonance imaging method and apparatus based on a deep convolutional neural network, a large amount of collected magnetic resonance data is used to train an offline deep convolutional neural network and learn a mapping relationship between an undersampled magnetic resonance image and a fully sampled image, so as to fully use a large quantity of offline magnetic resonance images and develop prior information thereof, such that the offline deep convolutional neural network may restore more fine structures and image features from undersampled magnetic resonance data, and an undersampling factor and imaging precision of magnetic resonance imaging are improved.

(57) 摘要:

[见续页]



WO 2017/113205 A1



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))。

一种基于深度卷积神经网络的快速磁共振成像方法及装置。所述方法包括：步骤 S1(S101)，构建深度卷积神经网络；步骤 S2(S102)，获取离线磁共振图像数据，训练所述深度卷积神经网络，学习欠采样磁共振图像与全采样图像之间的映射关系；步骤 S3(S103)，利用所述步骤 S2(S102)中学习到的深度卷积神经网络重建磁共振图像。所述基于深度卷积神经网络的快速磁共振成像方法及装置，通过使用大量采集到的磁共振数据训练一个离线的深度卷积神经网络，学习欠采样磁共振图像与全采样图像之间的映射关系，从而充分利用线下大量的磁共振图像，开发其先验信息，使所述离线的深度卷积神经网络可从欠采样磁共振数据里恢复更多的精细结构和图像特征，并使磁共振欠采样倍数和成像精度有所提高。

一种基于深度卷积神经网络的快速磁共振成像方法及装置

技术领域

本发明涉及磁共振成像技术领域，尤其涉及一种基于深度卷积神经网络的快速磁共振成像方法及装置。

5 背景技术

压缩感知理论的成功应用，必须满足下述三个条件：①信号具有稀疏性，②有欠采样造成的伪影在变换域中具有非相干性，③重建结果与采样数据具有良好的一致性。而在磁共振图像中，能很好地满足这三个条件。其在经典的基于压缩感知的快速磁共振成像模型里，通常有两个成份：数据拟合项和稀疏正则项。假设重建后的 MRI 图像为 m ， ψ 表示从像素域变换到稀疏域的稀疏变换， F_u 表示 K 空间的欠采样算子， y 是扫描中测量到 K 空间数据，则图像 m 的重建可以通过解下面约束性优化问题：

$$\min \|\psi m\|_1 \quad s.t. \|F_u m - y\|_2 < \varepsilon \quad (1)$$

在式 (1) 中， $\|F_u m - y\|_2 < \varepsilon$ 为数据拟合项，保证数据一致性，而 $\|\psi m\|_1$ 是稀疏约束项，为最小 1-范数时可以得到最稀疏解，又称正则项，其先验信息仅局限于少量线上数据或少数参考图像。

但是，传统的这种快速磁共振重建方法多数是基于压缩感知框架，其仅仅利用采到的部分 K 空间数据和开发图像稀疏性来约束成像模型进行磁共振图像重建，而线下大量的磁共振数据未得到利用，先验信息的开发仍有局限性。

发明内容

为了克服传统的压缩感知技术的缺点，本发明实施例提出一种基于深度卷积神经网络的磁共振重建方法及装置，以提高线上磁共振欠采倍数，并且改善磁共振成像精度。

为了达到上述目的，本发明实施例提供一种基于深度卷积神经网络的快速磁共振成像方法，包括：步骤 S1，构建深度卷积神经网络；步骤 S2，获取离线磁共振图像数据，训练所述深度卷积神经网络，学习欠采样磁共振图像与全采图像之间的映射关系；

步骤 S3，利用所述步骤 S2 中学习到的深度卷积神经网络重建磁共振图像。

为了达到上述目的，本发明实施例还提供一种基于深度卷积神经网络的快速磁共振成像装置，包括：卷积神经网络构建单元，用于构建深度卷积神经网络；网络模型训练单元，用于获取离线磁共振图像数据，训练所述深度卷积神经网络，学习欠采样磁共振图像与全采图像之间的映射关系；磁共振图像重建单元，用于利用学习到的深度卷积神经网络重建磁共振图像。

本发明实施例的基于深度卷积神经网络的快速磁共振成像方法及装置，通过使用大量采集到的磁共振数据学习一个离线的深度卷积神经网络，学习欠采样磁共振图像与全采图像之间的映射关系，从而充分利用线下大量的磁共振图像，开发其先验信息，使其离线网络可从欠采磁共振数据里恢复更多的精细结构和图像特征，并使磁共振欠采倍数和成像精度有所提高。

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一些实施例，对于本领域技术人员来讲，在不付出创造性劳动性的前提下，还可以根据这些附图获得其他的附图。

图 1 为本发明实施例的基于深度卷积神经网络的快速磁共振成像方法的处理流程图；

图 2 为本发明实施例的基于深度卷积神经网络的快速磁共振成像装置的结构示意图。

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。

本发明的深度卷积神经网络的磁共振成像方法是基于传统压缩感知的快速磁共振成像方法的一些局限性，如线下大量磁共振图像没有得到充分利用等问题而提出的。本发明中，首先设计一个离线的卷积神经网络，再使用大量现有的高质量图像作为该离线网络的训练数据集，从而确定图像之间的映射关系，最后重建线上的磁共振图像。

图 1 为本发明实施例的基于深度卷积神经网络的快速磁共振成像方法的处理流程图。如图 1 所示, 本实施例的基于深度卷积神经网络的快速磁共振成像方法包括: 步骤 S101, 构建深度卷积神经网络; 步骤 S102, 获取离线磁共振图像数据, 训练所述深度卷积神经网络, 学习欠采样磁共振图像与全采图像之间的映射关系; 步骤 S103, 利用所述

5 步骤 S102 中学习到的深度卷积神经网络重建磁共振图像。

在本发明实施例中, 定义欠采样的 K 空间为:

$$f = PFu \quad (2)$$

式 (2) 中, P 代表欠采模型的对角矩阵, F 是通过 $F^H F = I$ 归一化后的全采傅里叶编码矩阵, u 是原始图像或线下图像, 则 Fu 表示全采的 K 空间数据; H 代表

10 Hermitian 变换, 其零填充磁共振图像 z 可通过已观察到的数据直接逆变换得到, 其表达式如下所示:

$$z = F^H PFu \quad (3)$$

根据线性代数可知, 一个信号 u 加一个突变信号 p 的循环卷积可以表示为 $F^H PFu$, 式中 P 是傅里叶变换 p 的对角项, 其是非零项。

15 本发明的目的是尽量从欠采的傅里叶数据中学习一个全局的卷积神经网络来重建磁共振图像。但考虑事先获得的磁共振图像的数据有线下真实的和破损的, 故通过以下目标函数来最小化误差。

$$\arg \min_{\Theta} \left\{ \frac{1}{2T} \sum_{t=1}^T \|C(z_t; \Theta) - u_t\|_2^2 \right\} \quad (4)$$

式 (4) 中, C 是用隐层参数 $\Theta = \{(W_1, b_1), \dots, (W_L, b_L)\}$ 来估计的端对端的映射

20 关系, T 是训练样本的全部数量。

为了增加网络的鲁棒性, 通过分离整个成对图像的重叠成对的子图像 $x_{t,n}$ 和 $y_{t,n}$ 来获得更多训练样本, 得到

$$\arg \min_{\Theta} \left\{ \frac{1}{2TN} \sum_{t=1}^T \sum_{n=1}^N \|C(x_{t,n}; \Theta) - y_{t,n}\|_2^2 \right\} \quad (5)$$

在以下的叙述中, 为了表达方便, 只采用一对 x , y 。

25 在步骤 S101 中, 离线构建一个 L 层的卷积神经网络来学习映射关系。首先考虑特征产生的问题, 每个提取的图像块是基于先前训练的模型大约近似得到的。使用等效的卷积运算和转换来优化来网络学习过程。因此, 第一层网络定义为:

$$C_1 = \sigma(W_1 * x + b_1) \quad (6)$$

式(6)中, W_1 是大小为 $c \times M_1 \times M_1 \times n_1$ 的卷积算子, b_1 是与元素相关的 n_1 维偏置。 c 是图像通道的数量, M_1 是滤波器的大小, n_1 是滤波器的数量。

对于非线性响应, 为了更有效地计算, 采用整流线性单元。

- 5 接着考虑非线性映射的问题。进一步进行非线性映射, 从 n_{l-1} 维映射到 n_l , 可通过下式定义图像特征和结构来代表全部数据重建的图像:

$$C_l = \sigma(W_l * C_{l-1} + b_l) \quad (7)$$

式(7)中, W_l 的大小为 $n_{l-1} \times M_l \times M_l \times n_l$ 。

- 10 最后需考虑最后一层的卷积问题。为了从卷积神经网络重建最终预测的图像, 需构建另一层卷积, 期待通过学习一系列可以从系数投射到图像域的线性滤波器 M_L 。

$$C_L = \sigma(W_L * C_{L-1} + b_L) \quad (8)$$

式(8)中, M_L 的大小为 $n_{L-1} \times M_L \times M_L \times c$ 。

最后, 设计了一个 L 层的卷积神经网络来学习映射关系, 即:

$$\begin{cases} C_0 = x \\ C_l = \sigma(W_l * C_{l-1} + b_l), l \in 1, 2, \dots, L-1; \text{其中, } x \text{ 为第一层的输入样本; } C \text{ 是用隐} \\ C_L = \sigma(W_L * C_{L-1} + b_L) \end{cases}$$

- 15 层参数 $\Theta = \{(W_1, b_1), \dots, (W_l, b_l), \dots, (W_L, b_L)\}$ 来估计的端对端的映射关系; σ 表示非线性激励函数。

在本发明的步骤 S102 中, 获取离线磁共振图像数据, 训练所述深度卷积神经网络, 学习欠采样磁共振图像与全采图像之间的映射关系, 包括: 采用反向传播法训练所述深度卷积神经网络, 通过反向传播计算相应梯度, 具体包括:

- 20 考虑到成对的训练 (x, y) , 其反向传播通过式(5) - (8) 计算激励和输出值。为了更新网络参数, 通过反向传播来计算相应梯度。先考虑单一的成对的目标, 式(4)可以转换为下式表示:

$$J(\Theta) = \arg \min_{\Theta} \left\{ \frac{1}{2} \|C(x; \Theta) - y\|_2^2 \right\} \quad (10)$$

式中 $D_l = W_l * C_{l-1} + b_l$ 和 δ^l 为反向传播“误差项”。

- 25 首先, 计算最后一层的梯度:

$$\delta^L = \frac{\partial J}{\partial b_L} = \frac{\partial J}{\partial D_L} \frac{\partial D_L}{\partial b_L} = C_L - y \quad (11)$$

由于 $\frac{\partial D_l}{\partial b_l} = 1$ 和 $C_l = \sigma(D_l)$ ，故 δ^l 的非线性映射层能通过下式更新：

$$\delta^l = \frac{\partial J}{\partial b_l} = \frac{\partial J}{\partial D_{l+1}} \frac{\partial D_{l+1}}{\partial C_l} \frac{\partial C_l}{\partial D_l} = (\delta^{l+1} * W^{l+1}) \circ \frac{\partial(D^l)}{\partial D^l} \quad (12)$$

式 (12) 中，* 代表不同的前馈传递卷积层的互相关操作， $\circ$ 表示数组元素依次相乘。

因此，可以得知每层的梯度为：

$$\begin{cases} \frac{\partial J}{\partial W_l} = \frac{\partial J}{\partial D^l} \frac{\partial D^l}{\partial W_l} = \delta^l * D^{l-1} \\ \frac{\partial J}{\partial b_l} = \frac{\partial J}{\partial D^l} \frac{\partial D^l}{\partial b_l} = \frac{\partial J}{\partial D^l} = \delta^l \end{cases} \quad (13)$$

式 (13) 在训练网络过程中习惯于计算随机梯度 $\frac{\partial J(\Theta)}{\partial \Theta}$ 。

在所述步骤 S103 中，一旦从事先获得的数据中学到隐层参数 $\hat{\Theta}$ ，可以用如下式约束优化的问题来重建磁共振图像：

$$\arg \min_u \left\{ \left\| C(F^H f; \hat{\Theta}) - u \right\|_2^2 + \lambda \|f - F_M u\|_2^2 \right\} \quad (14)$$

其中， u 为线上的磁共振图像数据， C 为所述步骤 S102 中学习到的深度卷积神经网络， λ 为权重参数， f 为采样到的 K 空间数据， H 代表共轭装置， F_M 代表欠采傅立叶变换， M 代表欠采掩膜， F^H 代表傅立叶变换的共轭装置， $\hat{\Theta}$ 为学习到的深度卷积神经网络中的隐层参数。

这是一个最小二乘法确认一个解析解的问题，其最小二乘法满足如下标准方程：

$$(1 + \lambda F_M^H)u = C(F^H f; \hat{\Theta}) + \lambda F_M^H f \quad (15)$$

该方程 (15) 再通过图像域到傅里叶空间的转换，可得到：

$$(1 + \lambda F F_M^H F_M F^H)Fu = F(F^H f; \hat{\Theta}) + \lambda F F_M^H f \quad (16)$$

式 (16) 中， $F F_M^H F_M F^H$ 是只包含 0 和 1 的对角矩阵，1 全是对角线上的元素代表 K 空间采样的数据， $F F_M^H f$ 表示零填充的傅里叶测量。因此，有：

$$Fu(k_x, k_y) = \begin{cases} S(k_x, k_y), & \text{if } (k_x, k_y) \notin \Omega \\ \frac{S(k_x, k_y) + \lambda S_0(k_x, k_y)}{1 + \lambda}, & \text{if } (k_x, k_y) \in \Omega \end{cases} \quad (17)$$

式 (17) 中, Ω 代表采样位置集。

基于同样的发明构思, 如图 2 所示, 为本发明实施例的基于深度卷积神经网络的快速磁共振成像装置的结构示意图。如图 2 所示, 包括: 卷积神经网络构建单元 101, 用于构建深度卷积神经网络; 网络模型训练单元 102, 用于获取离线磁共振图像数据, 训练所述深度卷积神经网络, 学习欠采样磁共振图像与全采图像之间的映射关系; 磁共振图像重建单元 103, 用于利用学习到的深度卷积神经网络重建磁共振图像。

在本实施例中, 所述卷积神经网络构建单元 101 具体用于:

离线构建一个 L 层的卷积神经网络来学习映射关系:

$$\begin{cases} C_0 = x \\ C_l = \sigma(W_l * C_{l-1} + b_l), l \in 1, 2, \dots, L-1; \\ C_L = \sigma(W_L * C_{L-1} + b_L) \end{cases} \quad \text{其中, } x \text{ 为第一层的输入样本; } C \text{ 是用隐层}$$

参数 $\Theta = \{(W_1, b_1), \dots, (W_l, b_l), \dots, (W_L, b_L)\}$ 来估计的端对端的映射关系; σ 表示非线性激励函数。

在本实施例中, 所述网络模型训练单元 102 具体用于: 采用反向传播法训练所述深度卷积神经网络, 通过反向传播计算相应梯度。

在本实施例中, 所述磁共振图像重建单元 103 用于重建磁共振图像, 包括: 利用学习到的深度卷积神经网络, 并根据 $\arg \min_u \left\{ \left\| C(F^H f; \hat{\Theta}) - u \right\|_2^2 + \lambda \|f - F_M u\|_2^2 \right\}$, 利用最小

二乘法重建磁共振图像; 其中, u 为线上的磁共振图像数据, C 为学习到的深度卷积神经网络, λ 为权重参数, f 为采样到的 K 空间数据, H 代表共轭装置, F_M 代表欠采傅立叶变换, M 代表欠采掩膜, F^H 代表傅立叶变换的共轭装置, $\hat{\Theta}$ 为学习到的深度卷积神经网络中的隐层参数。

本发明实施例的基于深度卷积神经网络的快速磁共振成像方法及装置, 通过使用大量采集到的磁共振数据学习一个离线的深度卷积神经网络, 学习欠采样磁共振图像与全采图像之间的映射关系, 从而充分利用线下大量的磁共振图像, 开发其先验信息, 使其离线网络可从欠采磁共振数据里恢复更多的精细结构和图像特征, 有助于减少磁共振扫描时间, 并使磁共振欠采倍数和成像精度有所提高。

本领域内的技术人员应明白，本发明的实施例可提供为方法、系统、或计算机程序产品。因此，本发明可采用完全硬件实施例、完全软件实施例、或结合软件和硬件方面的实施例的形式。而且，本发明可采用在一个或多个其中包含有计算机可用程序代码的计算机可用存储介质（包括但不限于磁盘存储器、CD-ROM、光学存储器等）上实施的计算机程序产品的形式。

本发明是参照根据本发明实施例的方法、设备（系统）、和计算机程序产品的流程图和/或方框图来描述的。应理解可由计算机程序指令实现流程图和/或方框图中的每一流程和/或方框、以及流程图和/或方框图中的流程和/或方框的结合。可提供这些计算机程序指令到通用计算机、专用计算机、嵌入式处理机或其他可编程数据处理设备的处理器以产生一个机器，使得通过计算机或其他可编程数据处理设备的处理器执行的指令产生用于实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的装置。

这些计算机程序指令也可存储在能引导计算机或其他可编程数据处理设备以特定方式工作的计算机可读存储器中，使得存储在该计算机可读存储器中的指令产生包括指令装置的制造品，该指令装置实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能。

这些计算机程序指令也可装载到计算机或其他可编程数据处理设备上，使得在计算机或其他可编程设备上执行一系列操作步骤以产生计算机实现的处理，从而在计算机或其他可编程设备上执行的指令提供用于实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的步骤。

本发明中应用了具体实施例对本发明的原理及实施方式进行了阐述，以上实施例的说明只是用于帮助理解本发明的方法及其核心思想；同时，对于本领域的一般技术人员，依据本发明的思想，在具体实施方式及应用范围上均会有改变之处，综上所述，本说明书内容不应理解为对本发明的限制。

权利要求书

1、一种基于深度卷积神经网络的快速磁共振成像方法，其特征在于，包括：

步骤 S1，构建深度卷积神经网络；

步骤 S2，获取离线磁共振图像数据，训练所述深度卷积神经网络，学习欠采样磁共

5 振图像与全采图像之间的映射关系；

步骤 S3，利用所述步骤 S2 中学习到的深度卷积神经网络重建磁共振图像。

2、根据权利要求 1 所述的基于深度卷积神经网络的快速磁共振成像方法，其特征在于，在所述步骤 S1 中，构建深度卷积神经网络模型，包括：

离线构建一个 L 层的卷积神经网络来学习映射关系：

$$10 \quad \begin{cases} C_0 = x \\ C_l = \sigma(W_l * C_{l-1} + b_l), l \in 1, 2, \dots, L-1; \text{ 其中,} \\ C_L = \sigma(W_L * C_{L-1} + b_L) \end{cases}$$

x 为第一层的输入样本； C 是用隐层参数 $\Theta = \{(W_1, b_1), \dots, (W_L, b_L)\}$ 来估计的端对端的映射关系； σ 表示非线性激励函数。

3、根据权利要求 2 所述的基于深度卷积神经网络的快速磁共振成像方法，其特征在于，在所述步骤 S2 中，获取离线磁共振图像数据，训练所述深度卷积神经网络，学习欠

15 采样磁共振图像与全采图像之间的映射关系，包括：

采用反向传播法训练所述深度卷积神经网络，通过反向传播计算相应梯度。

4、根据权利要求 3 所述的基于深度卷积神经网络的快速磁共振成像方法，其特征在于，在所述步骤 S3 中，利用所述步骤 S2 中学习到的深度卷积神经网络重建磁共振图像，包括：

20 利用步骤 S2 中学习到的深度卷积神经网络，并根据

$$\arg \min_u \left\{ \left\| C(F^H f; \hat{\Theta}) - u \right\|_2^2 + \lambda \left\| f - F_M u \right\|_2^2 \right\}, \text{ 利用最小二乘法重建磁共振图像；}$$

其中， u 为线上的磁共振图像数据， C 为所述步骤 S2 中学习到的深度卷积神经网络， λ 为权重参数， f 为采样到的 K 空间数据， H 代表共轭装置， F_M 代表欠采傅立叶

变换， M 代表欠采掩膜， F^H 代表傅立叶变换的共轭装置， $\hat{\Theta}$ 为所述步骤 S2 中学习到的

25 深度卷积神经网络中的隐层参数。

5、一种基于深度卷积神经网络的快速磁共振成像装置，其特征在于，包括：

卷积神经网络构建单元，用于构建深度卷积神经网络；

网络模型训练单元，用于获取离线磁共振图像数据，训练所述深度卷积神经网络，学习欠采样磁共振图像与全采图像之间的映射关系；

磁共振图像重建单元，用于利用学习到的深度卷积神经网络重建磁共振图像。

- 5 6、根据权利要求 5 所述的基于深度卷积神经网络的快速磁共振成像装置，其特征在于，所述卷积神经网络构建单元具体用于：

离线构建一个 L 层的卷积神经网络来学习映射关系：

$$\begin{cases} C_0 = x \\ C_l = \sigma(W_l * C_{l-1} + b_l), l \in 1, 2, \dots, L-1; \text{ 其中,} \\ C_L = \sigma(W_L * C_{L-1} + b_L) \end{cases}$$

x 为第一层的输入样本； C 是用隐层参数 $\Theta = \{(W_1, b_1), \dots, (W_L, b_L)\}$ 来估计的端

- 10 对端的映射关系； σ 表示非线性激励函数。

7、根据权利要求 6 所述的基于深度卷积神经网络的快速磁共振成像装置，其特征在于，所述网络模型训练单元具体用于：

采用反向传播法训练所述深度卷积神经网络，通过反向传播计算相应梯度。

- 15 8、根据权利要求 7 所述的基于深度卷积神经网络的快速磁共振成像装置，其特征在于，所述磁共振图像重建单元用于重建磁共振图像，包括：

利用学习到的深度卷积神经网络，并根据

$$\arg \min_u \left\{ \left\| C(F^H f; \hat{\Theta}) - u \right\|_2^2 + \lambda \|f - F_M u\|_2^2 \right\}, \text{ 利用最小二乘法重建磁共振图像;}$$

其中， u 为线上的磁共振图像数据， C 为学习到的深度卷积神经网络， λ 为权重参数， f 为采样到的 K 空间数据， H 代表共轭装置， F_M 代表欠采傅立叶变换， M 代表欠

- 20 采掩膜， F^H 代表傅立叶变换的共轭装置， $\hat{\Theta}$ 为学习到的深度卷积神经网络中的隐层参数。

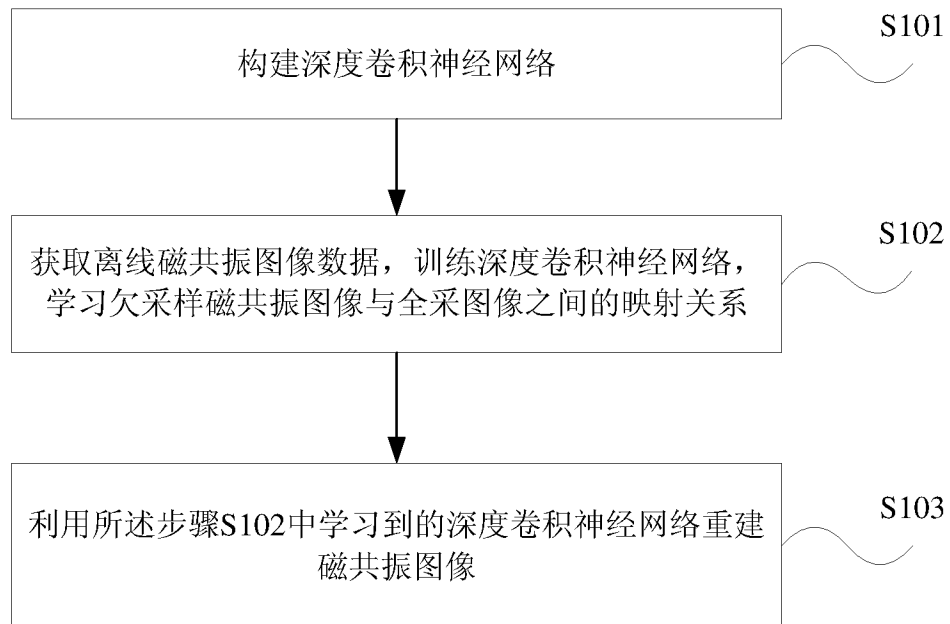


图1

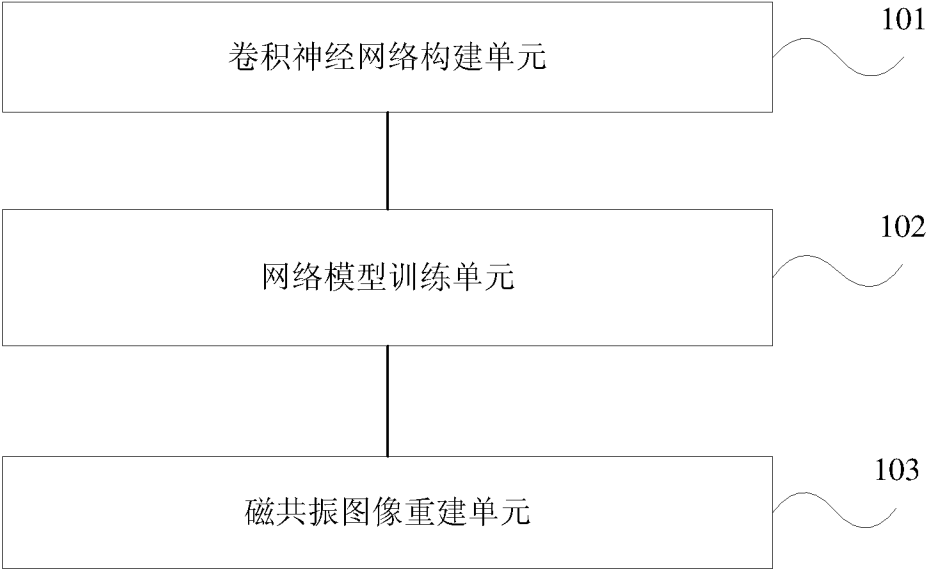


图2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2015/099918

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

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)

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)

CNPAT, CNKI, WPI, EPODOC: convolutional neural network, least square method, layer, deep learning, depth, down-sampling, magnetic resonance; INSTITUTES OF ADVANCED TECHNOLOGY; DL, CNN, network?, sampl+, magnetic, neural w network?, imag+, train+, MR, convotional, argmin, convolutional, MRI, undersampl+, resonance

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	CN 103679654 A (SHENZHEN INSTITUTES OF ADVANCED TECHNOLOGY), 26 March 2014 (26.03.2014), description, paragraphs [0030], [0034], [0057] and [0102], and figures 7 and 8	1-3, 5-7
Y	CN 104732243 A (XIDIAN UNIVERSITY), 24 June 2015 (24.06.2015), description, paragraphs [0003] and [0037]-[0039]	1-3, 5-7
A	CN 103646410 A (SHENZHEN INSTITUTES OF ADVANCED TECHNOLOGY, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES), 19 March 2014 (19.03.2014), the whole document	1-8
A	CN 101253493 A (MICROSOFT CORP.), 27 August 2008 (27.08.2008), the whole document	1-8
A	WO 2015083199 A1 (J. TECH. SOLUTIONS, INC.), 11 June 2015 (11.06.2015), the whole document	1-8
A	JP 2015095215 A (DENSO IT LAB INC. et al.), 18 May 2015 (18.05.2015), the whole document	1-8

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	“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
“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	“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
“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date	“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
“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)	“&” document member of the same patent family
“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	

Date of the actual completion of the international search 03 August 2016 (03.08.2016)	Date of mailing of the international search report 26 August 2016 (26.08.2016)
Name and mailing address of the ISA/CN: State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No.: (86-10) 62019451	Authorized officer CHEN, Fei Telephone No.: (86-10) 53311147

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2015/099918

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 103679654 A	26 March 2014	None	
CN 104732243 A	24 June 2015	None	
CN 103646410 A	19 March 2014	CN 103646410 B	08 June 2016
CN 101253493 A	27 August 2008	BR PI0615219 A2	10 May 2011
		US 7747070 B2	29 June 2010
		AU 2006285161 A1	08 March 2007
		EP 1922637 A1	21 May 2008
		WO 2007027452 A1	08 March 2007
		KR 101298393 B1	20 August 2013
		CN 101253493 B	25 April 2012
		KR 20080042083 A	14 May 2008
		RU 2424561 C2	20 July 2011
		RU 2008107746 A	10 September 2009
		US 2007047802 A1	01 March 2007
		CA 2619973 A1	08 March 2007
		IL 189124 A	29 November 2012
WO 2015083199 A1	11 June 2015	None	
JP 2015095215 A	18 May 2015	US 2015134583 A1	14 May 2015
		DE 102014223220 A1	21 May 2015

A. 主题的分类 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) 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)) CNPAT, CNKI, WPI, EPDOC: 卷积神经网络, 最小二乘法, 神经网络, 训练, 层, 深度学习, 采样, 深度, 卷积, 降采样, 磁共振, 欠采样, 卷积神经网络, 先进技术研究院, DL, CNN, network?, sampl+, magnetic, neural w network?, imag+, train+, MR, convotional, argmin, convolutional, MRI, undersampl+, resonance																							
C. 相关文件 <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Y</td> <td>CN 103679654 A (深圳先进技术研究院) 2014年 3月 26日 (2014 - 03 - 26) 说明书第30, 34, 57, 102段、图7-8</td> <td>1-3, 5-7</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 104732243 A (西安电子科技大学) 2015年 6月 24日 (2015 - 06 - 24) 说明书第3, 37-39段</td> <td>1-3, 5-7</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) 全文</td> <td>1-8</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 101253493 A (微软公司) 2008年 8月 27日 (2008 - 08 - 27) 全文</td> <td>1-8</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>WO 2015083199 A1 (J. TECH. SOLUTIONS, INC.) 2015年 6月 11日 (2015 - 06 - 11) 全文</td> <td>1-8</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>JP 2015095215 A (DENSO IT LAB INC. 等) 2015年 5月 18日 (2015 - 05 - 18) 全文</td> <td>1-8</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	Y	CN 103679654 A (深圳先进技术研究院) 2014年 3月 26日 (2014 - 03 - 26) 说明书第30, 34, 57, 102段、图7-8	1-3, 5-7	Y	CN 104732243 A (西安电子科技大学) 2015年 6月 24日 (2015 - 06 - 24) 说明书第3, 37-39段	1-3, 5-7	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) 全文	1-8	A	CN 101253493 A (微软公司) 2008年 8月 27日 (2008 - 08 - 27) 全文	1-8	A	WO 2015083199 A1 (J. TECH. SOLUTIONS, INC.) 2015年 6月 11日 (2015 - 06 - 11) 全文	1-8	A	JP 2015095215 A (DENSO IT LAB INC. 等) 2015年 5月 18日 (2015 - 05 - 18) 全文	1-8
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																					
Y	CN 103679654 A (深圳先进技术研究院) 2014年 3月 26日 (2014 - 03 - 26) 说明书第30, 34, 57, 102段、图7-8	1-3, 5-7																					
Y	CN 104732243 A (西安电子科技大学) 2015年 6月 24日 (2015 - 06 - 24) 说明书第3, 37-39段	1-3, 5-7																					
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) 全文	1-8																					
A	CN 101253493 A (微软公司) 2008年 8月 27日 (2008 - 08 - 27) 全文	1-8																					
A	WO 2015083199 A1 (J. TECH. SOLUTIONS, INC.) 2015年 6月 11日 (2015 - 06 - 11) 全文	1-8																					
A	JP 2015095215 A (DENSO IT LAB INC. 等) 2015年 5月 18日 (2015 - 05 - 18) 全文	1-8																					
☐ 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 2016年 8月 3日		国际检索报告邮寄日期 2016年 8月 26日																					
ISA/CN的名称和邮寄地址 中华人民共和国国家知识产权局(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 陈飞 电话号码 (86-10)53311147																					

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2015/099918

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	103679654	A	2014年 3月 26日	无			
CN	104732243	A	2015年 6月 24日	无			
CN	103646410	A	2014年 3月 19日	CN	103646410	B	2016年 6月 8日
CN	101253493	A	2008年 8月 27日	BR	PI0615219	A2	2011年 5月 10日
				US	7747070	B2	2010年 6月 29日
				AU	2006285161	A1	2007年 3月 8日
				EP	1922637	A1	2008年 5月 21日
				WO	2007027452	A1	2007年 3月 8日
				KR	101298393	B1	2013年 8月 20日
				CN	101253493	B	2012年 4月 25日
				KR	20080042083	A	2008年 5月 14日
				RU	2424561	C2	2011年 7月 20日
				RU	2008107746	A	2009年 9月 10日
				US	2007047802	A1	2007年 3月 1日
				CA	2619973	A1	2007年 3月 8日
				IL	189124	A	2012年 11月 29日
WO	2015083199	A1	2015年 6月 11日	无			
JP	2015095215	A	2015年 5月 18日	US	2015134583	A1	2015年 5月 14日
				DE	102014223220	A1	2015年 5月 21日

表 PCT/ISA/210 (同族专利附件) (2009年7月)