



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 109791187 B

(45) 授权公告日 2022. 03. 29

(21) 申请号 201780058887.1

(22) 申请日 2017.08.22

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 109791187 A

(43) 申请公布日 2019.05.21

(30) 优先权数据
16185766.9 2016.08.25 EP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2019.03.25

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/EP2017/071075 2017.08.22

(87) PCT国际申请的公布数据
W02018/036986 EN 2018.03.01

(73) 专利权人 皇家飞利浦有限公司
地址 荷兰艾恩德霍芬

(72) 发明人 M·富德勒 E·德维尔特
J-P·F·A·M·埃尔梅斯

(74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司
72002

代理人 孟杰雄 王英

(51) Int.Cl.

G01R 33/561 (2006.01)

G01R 33/565 (2006.01)

(56) 对比文件

WO 2014/195384 A1, 2014.12.11

CN 103038660 A, 2013.04.10

CN 102959426 A, 2013.03.06

CN 105793721 B, 2020.03.03

CN 103543421 A, 2014.01.29

CN 105793721 A, 2016.07.20

CN 102959426 A, 2013.03.06

M. Fuderer等. SENSE reconstruction using feed forward regularization.《Proc. Intl. Soc. Mag. Reson. Med. 11》.2004, (续)

审查员 张烨

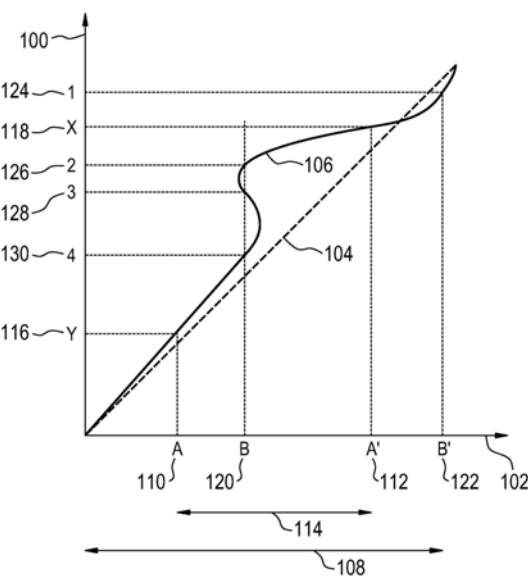
权利要求书3页 说明书15页 附图7页

(54) 发明名称

用于B0校正灵敏度编码磁共振成像的系统和方法

(57) 摘要

本发明提供了一种磁共振成像系统 (200、300、400), 包括射频系统 (216、214), 所述射频系统包括用于采集磁共振数据 (264) 的多个线圈元件 (214)。所述磁共振成像系统还包括用于存储机器可执行指令 (260) 和脉冲序列命令 (262) 的存储器 (250)。所述脉冲序列命令被配置用于控制所述磁共振成像系统以根据SENSE成像协议来采集所述磁共振数据。至少一个修改的展开矩阵是至少部分地使用线圈灵敏度矩阵和体素变形图来计算的。



[转续页]

[接上页]

(56) 对比文件

C. Barmet等.Sensitivity encoding and B0 inhomogeneity - A simultaneous reconstruction approach.《Proc. Intl. Soc. Mag. Reson. Med.》.2005,

Antonios Matakos等.JOINT ESTIMATION OF IMAGE AND FIELDMAP IN PARALLEL MRI USING SINGLE-SHOT ACQUISITIONS.《2020 IEEE International Symposium on Biomedical Imaging:From Nano to Macro》.2010,

1. 一种磁共振成像系统(200、300、400),包括:
 - 射频系统,其包括用于采集磁共振数据(264)的多个线圈元件(214);
 - 存储器(250),其用于存储机器可执行指令(260)和脉冲序列命令(262),其中,所述脉冲序列命令被配置用于控制所述磁共振成像系统以根据SENSE成像协议来采集所述磁共振数据,所述SENSE成像协议与因在所述磁共振数据的k空间中进行欠采样引起的折叠效应相关联,
 - 处理器(244),其用于控制所述磁共振成像系统,其中,所述机器可执行指令的执行令所述处理器:
 - 使用所述脉冲序列命令来控制(500)所述磁共振成像系统以采集所述磁共振数据;
 - 根据所述磁共振数据来重建(502)折叠磁共振图像集合(266);
 - 根据磁场不均匀性图来计算(504)体素变形图(270);
 - 至少部分地使用针对所述多个线圈元件的线圈灵敏度矩阵(272)来计算(506)展开矩阵集合(274),其中,所述展开矩阵集合包括至少一个修改的展开矩阵,其中,所述至少一个修改的展开矩阵是至少部分地使用所述线圈灵敏度矩阵和所述体素变形图来计算的;所述至少一个修改的展开矩阵能够实现对因磁场中的不均匀性引起的额外的折叠状伪影进行校正,并且
 - 使用所述折叠磁共振图像集合和所述展开矩阵集合来计算(508)未失真的磁共振图像数据(276)。
2. 根据权利要求1所述的磁共振成像系统,其中,所述机器可执行指令的执行还令所述处理器通过利用所述体素变形图变换所述未失真的磁共振图像数据来计算(510)修改的磁共振图像数据(278)。
3. 根据权利要求1或2所述的磁共振成像系统,其中,所述修改的展开矩阵是至少部分地通过利用所述体素变形图变换所述线圈灵敏度矩阵来计算的。
4. 根据权利要求1-2中的任一项所述的磁共振成像系统,其中,所述SENSE成像协议是回波平面成像协议,其中,所述回波平面成像协议被配置用于利用至少一个相位编码方向(222、322)上的相位编码来采集磁共振数据,其中,所述体素变形图描述所述至少一个相位编码方向上的局部磁场失真。
5. 根据权利要求4所述的磁共振成像系统,其中,所述至少一个相位编码方向是两个相位编码方向,其中,所述SENSE成像协议是三维SENSE成像协议,其中,正交的所述两个相位编码方向中的一个相位编码方向(322)被配置用于切片选择。
6. 根据权利要求1至2中的任一项所述的磁共振成像系统,其中,所述SENSE成像协议是同时多切片采集成像协议。
7. 根据权利要求1-2中的任一项所述的磁共振成像系统,其中,所述修改的展开矩阵被构造为前馈格式。
8. 根据权利要求7所述的磁共振成像系统,其中,所述修改的展开矩阵是至少部分地使用正则化项来计算的。
9. 根据权利要求8所述的磁共振成像系统,其中,所述正则化项是通过所述体素变形图修改的组织存在的估计结果。
10. 根据权利要求1-2中的任一项所述的磁共振成像系统,其中,所述SENSE成像协议是

多次击发SENSE成像协议。

11. 根据权利要求1-2中的任一项所述的磁共振成像系统, 其中, 所述体素变形图是使用所述脉冲序列命令和所述磁场不均匀性图来计算的。

12. 根据权利要求1-2中的任一项所述的磁共振成像系统, 其中, 所述机器可执行指令的执行还令所述处理器:

- 使用线圈灵敏度测量磁共振成像协议来采集初步磁共振数据; 并且
- 使用所述初步磁共振数据来计算所述线圈灵敏度矩阵。

13. 根据权利要求1-2中的任一项所述的磁共振成像系统, 其中, 所述机器可执行指令的执行还令所述处理器:

- 使用磁场测量磁共振成像协议来采集磁场磁共振数据; 并且
- 使用所述磁场磁共振数据来计算所述磁场不均匀性图。

14. 一种包括机器可执行指令 (260) 的计算机可读介质, 所述机器可执行指令用于由处理器 (244) 执行以控制磁共振成像系统 (200、300、400) 执行以下操作, 其中, 所述磁共振成像系统包括射频系统, 所述射频系统包括采集磁共振数据 (264) 的多个线圈元件 (214), 其中, 射频天线包括多个线圈元件:

- 使用脉冲序列命令 (262) 来控制 (500) 所述磁共振成像系统以采集所述磁共振数据, 其中, 所述脉冲序列命令被配置用于控制所述磁共振成像系统以根据SENSE成像协议来采集所述磁共振数据, 所述SENSE成像协议与因在所述磁共振数据的k空间中进行欠采样引起的折叠效应相关联;

- 根据所述磁共振数据来重建 (502) 折叠磁共振图像集合 (266);
- 根据磁场不均匀性图 (268) 来计算 (504) 体素变形图 (270);

- 至少部分地使用针对所述多个线圈元件的线圈灵敏度矩阵 (272) 来计算 (506) 展开矩阵集合 (274), 其中, 所述展开矩阵集合包括至少一个修改的展开矩阵, 其中, 所述至少一个修改的展开矩阵是至少部分地使用所述线圈灵敏度矩阵和所述体素变形图来计算的; 所述至少一个修改的展开矩阵能够实现对因磁场中的不均匀性引起的额外的折叠状伪影进行校正, 并且

- 使用所述折叠磁共振图像集合和所述展开矩阵集合来计算 (508) 未失真的磁共振图像数据 (276)。

15. 一种使用磁共振成像系统 (200、300、400) 进行磁共振成像的方法, 其中, 所述磁共振成像系统包括射频系统, 所述射频系统包括用于采集磁共振数据 (264) 的多个线圈元件 (214), 所述方法包括:

- 使用脉冲序列命令 (262) 来控制 (500) 所述磁共振成像系统以采集所述磁共振数据, 其中, 所述脉冲序列命令被配置用于控制所述磁共振成像系统以根据SENSE成像协议来采集所述磁共振数据, 所述SENSE成像协议与因在所述磁共振数据的k空间中进行欠采样引起的折叠效应相关联;

- 根据所述磁共振数据来重建 (502) 折叠磁共振图像集合 (266);
- 根据磁场不均匀性图 (268) 来计算 (504) 体素变形图 (270);

- 至少部分地使用针对所述多个线圈元件的线圈灵敏度矩阵 (272) 来计算 (506) 展开矩阵集合 (274), 其中, 所述展开矩阵集合包括至少一个修改的展开矩阵, 其中, 所述至少一个

修改的展开矩阵是至少部分地使用所述线圈灵敏度矩阵和所述体素变形图来计算的;所述至少一个修改的展开矩阵能够实现对校正因磁场中的不均匀性引起的额外的折叠状伪影进行校正,并且

-使用所述折叠磁共振图像集合和所述展开矩阵集合来计算(508)未失真的磁共振图像数据(276)。

用于B0校正灵敏度编码磁共振成像的系统和方法

技术领域

[0001] 本发明涉及磁共振成像,特别涉及灵敏度编码 (SENSE) 磁共振成像技术。

背景技术

[0002] 磁共振成像 (MRI) 扫描器使用大的静态磁场使原子的核自旋对齐,作为在患者体内产生图像的流程的一部分。这种大的静态磁场被称为B0场或主磁场。

[0003] 一种空间编码方法使用了磁场梯度线圈。通常,存在三个线圈,它们用于在三个不同的正交方向上生成三个不同的梯度磁场。

[0004] 在MRI扫描期间,由一个或多个发射器线圈生成的射频 (RF) 脉冲引起所谓的B1场。另外,应用的梯度场和B1场确实对有效的局部磁场造成扰动。然后由核自旋发射RF信号并由一个或多个接收器线圈检测该信号。数据能够由各个接收器线圈单独采集。能够使用灵敏度编码 (SENSE) 磁共振成像技术将根据各个接收器线圈中的每个接收器线圈的数据重建的图像组合成单幅图像或图像数据。在Pruessmann等人的期刊文章“SENSE:Sensitivity encoding for fast MRI” (Magn.Reson.Med.,第42卷,第952-962页,doi:10.1002/(SICI)1522-2594(199911)42:5<952::AID-MRM16>3.0.CO;2-S) 中对SENSE磁共振成像技术进行了综述。

[0005] Fuderere等人的会议摘要“SENSE Reconstruction using Feed Forward Regularization” (Proc.ISMRM 11,2004年,第2130页) 公开了一种求解SENSE方程的方法,该方法提供了在MRI扫描发生之前能够计算出的SENSE重建的“前馈”构造形式。这种构造形式的SENSE方程包括正则化项R。

[0006] 美国专利申请US 2016/0097831 A1公开了一种MRI系统,该系统包括MRI序列控制器和MRI系统控制器。MRI序列控制器用作预扫描单元,执行预扫描以采集线圈的灵敏度分布。MRI序列控制器用作主扫描单元,执行主扫描以采集磁共振图像的信号。MRI系统控制器用作校正器,根据磁共振图像中包含的且是因执行主扫描产生的失真来校正灵敏度分布。MRI系统控制器用作生成器,使用经校正的灵敏度分布来生成输出磁共振图像。

[0007] C.Barmet和K.P.Pruessmann的ISMRM-2005摘要“Sensitivity encoding and B0-inhomogeneity-A simultaneous reconstruction approach”解决了并行成像中B0伪影的问题并考虑了B0引起的频率偏移。

[0008] 国际申请W0 2014/195384关注一种用于Dixon水-脂肪分离和B0失真校正的平行成像技术。该技术对(线圈)灵敏度图的几何失真应用校正。

发明内容

[0009] 本发明提供了磁共振成像系统、计算机程序产品和方法。在下文中给出了实施例。

[0010] 在SENSE MRI成像期间,使用多个线圈元件来采集磁共振数据(其也可以被称为磁共振成像数据)。磁共振数据用于为多个线圈元件中的每个创建图像。如Pruessmann等人的上述综述文章中所述,与最终的重建图像相比,使用减小的视场来采集图像。使用减少的视

场会加速采集,但也会导致所谓的图像折叠。因此,用于多个线圈元件中的每个的图像被称为折叠图像集合。

[0011] 通过使用多个线圈元件的空间灵敏度,能够组合折叠图像集合而没有折叠伪影。线圈灵敏度用于计算展开矩阵,该展开矩阵正确地组合来自多个线圈元件的图像。难点在于展开过程仅处理因减小视场引起的折叠伪影。

[0012] 主磁场(也被称为B₀场或B₀磁场)的不均匀性能够导致体素的真实位置与其在磁共振图像中的表示之间产生偏移。在使用灵敏度编码的方向上尤其如此。B₀场中的不均匀性导致在脉冲重复的持续时间内累积的相位误差。当重建图像时,这种相位误差会导致产生MR信号的自旋位置的误差。对于较低的B₀场失真,这会导致图像中的偏移或失真。如果磁场中的不均匀性足够大,则能够将若干位置映射到图像中的相同位置,并且这会导致因SENSE MRI成像中的视场减小引起的类似于折叠伪影的伪影。对于较大的B₀场失真和较小的B₀场失真,标准SENSE重建都将得到不正确地重建的SENSE MRI图像。

[0013] 本发明的实施例可以通过使用修改的SENSE成像技术来减少或消除磁场不均匀性对SENSE重建的影响,所述修改的SENSE成像技术利用体素变形图来修改展开矩阵集合中的至少一个。体素变形图是至少部分地根据磁场不均匀性图计算的。使用这种校正不仅校正了图像中的失真,而且还具有校正也是因B₀磁场中的不均匀性引起的线圈灵敏度误差的副作用。

[0014] 在一个方面中,本发明提供了一种磁共振成像系统,其包括射频系统,所述射频系统包括用于采集磁共振数据的多个线圈元件。所述多个线圈元件可以被配置用于单独采集磁共振数据。换句话说,多个线圈元件可以被配置为使得它们被配置用于独立地接收射频信号。所述磁共振成像系统还包括用于存储机器可执行指令和脉冲序列命令的存储器。本文使用的“脉冲序列命令”包括用于控制磁共振成像系统以采集磁共振数据的命令。

[0015] 脉冲序列命令可以是指令的形式,它们可以由磁共振成像系统的部分直接执行,或者它们可以是数据的形式,例如,可以被编译或转换成用于直接控制磁共振成像系统的部件的指令的定时序列。脉冲序列命令被配置用于控制磁共振成像系统以根据SENSE成像协议来采集磁共振数据。SENSE是灵敏度编码的首字母缩写,其描述了一种磁共振成像技术,其中,磁共振数据由多个接收器线圈或元件的阵列来采集。

[0016] 所述磁共振成像系统还包括用于控制所述磁共振成像系统的处理器。所述机器可执行指令的执行令所述处理器使用所述脉冲序列命令来控制所述磁共振成像系统以采集所述磁共振数据。所述机器可执行指令的执行还令所述处理器根据所述磁共振数据来重建折叠磁共振图像集合。磁共振数据可以被采集为针对各个线圈元件中的每个线圈元件采集的部分。可以针对采集磁共振数据的多个线圈元件中的每个线圈元件构建折叠磁共振图像。在SENSE成像协议中,该折叠磁共振图像集合然后被组合成单个磁共振图像或磁共振数据。

[0017] 所述机器可执行指令的执行还令所述处理器根据磁场不均匀性图来计算体素变形图。磁场不均匀性图可以例如描述磁共振成像系统的磁场不均匀性。磁场不均匀性图也可以特定于特定对象处于磁共振成像系统的主磁场内时的情况。例如,对象可能具有引起磁共振成像系统内的磁场变形的组织或植入物。磁共振成像系统内的磁场的这种变形会引起体素的位置从真实几何位置失真。体素变形图是直接根据磁场不均匀性图计算的,并且

可以用于表示由磁场不均匀性引起的变形。

[0018] 所述机器可执行指令的执行还令所述处理器至少部分地使用针对所述多个线圈元件的线圈灵敏度矩阵来计算展开矩阵集合。在Pruessmann等人的文章中也描述了线圈灵敏度矩阵。线圈灵敏度矩阵描述了如何将来自折叠磁共振图像集合的各种图像的体素或体素组组合成单幅图像或磁共振数据集。所述展开矩阵集合包括至少一个修改的展开矩阵。所述至少一个修改的展开矩阵是至少部分地使用所述线圈灵敏度矩阵和所述体素变形图来计算的。当执行SENSE成像协议时,可以限制针对多个线圈元件中的每个线圈元件的视场。这会导致所谓的折叠伪影。磁场的不均匀性还会导致表示体素的位置和体素的真实位置相对于其他体素所基于的位置的失真或偏移。在极端情况下,这还会导致由磁场引起的折叠状伪影。使用体素变形图计算修改的展开矩阵可以使得能够校正因磁共振成像系统的磁场中的不均匀性引起的这些额外伪影。

[0019] 所述机器可执行指令的执行还令所述处理器使用所述折叠磁共振图像集合和所述展开矩阵集合来计算未失真的磁共振图像数据。因此,未失真的磁共振图像数据是已经去除了来自SENSE成像协议的折叠伪影以及因磁场不均匀性引起的图像失真或折叠的磁共振图像数据。该实施例可以具有以下益处:提供了其中图像因磁场失真以及因使用SENSE成像协议引起的折叠伪影而失真的磁共振数据。使用体素变形图可以是有益的,因为展开矩阵将不能自行考虑这些校正。

[0020] 未失真的磁共振图像数据可以在不同示例中采用不同形式。在一些情况下,未失真的磁共振图像数据可以是二维体素的切片并且可以表示常规图像。在其他情况下,未失真的磁共振图像数据可以是二维切片的集合或者甚至是三维图像数据,然后可以在用户接口或显示器上以不同的方式呈现或显示所述未失真的磁共振图像数据。

[0021] 在另一实施例中,所述机器可执行指令的执行还令所述处理器通过利用所述体素变形图变换所述未失真的磁共振图像数据来计算修改的磁共振图像数据。在该步骤中,使用体素变形图使未失真的磁共振图像数据重新失真。未失真的磁共振图像数据可以例如是二维切片、二维切片的集合,或者甚至是三维磁共振图像数据。在若干情况下,计算修改的磁共振图像数据可以是有益的。

[0022] 在一种情况下,如果存在因磁场失真引起的严重的折叠状伪影,则可以将表示不同的真实几何位置的若干点压缩或映射到折叠磁共振图像集合内的相同或相似或非常接近的位置上。当这些点再次分开时,在未失真的磁共振图像数据的区域中可能存在大量噪声。通过计算修改的磁共振图像数据,再次组合这些点。然后,位置中噪声相对于信号得到减小。当磁共振图像位于可能引起磁场失真的植入物或其他物体附近时,这也可以具有益处。有益的原因在于磁共振成像系统的医生或其他操作者可能习惯于看到特定的图像伪影。在任何情况下,当磁场不均匀性引起足够的失真时,修改的磁共振图像数据可以向应用了常规SENSE成像协议的磁共振图像提供优越的图像。

[0023] 磁场失真也会在计算线圈灵敏度时引起误差。体素变形图可以有助于纠正这些误差。因此,当存在磁场不均匀性时,所计算的修改的磁共振图像数据可以优于使用SENSE成像协议计算的磁共振图像数据。

[0024] 在另一实施例中,所述修改的展开矩阵是至少部分地通过利用所述体素变形图变换所述线圈灵敏度矩阵来计算的。这可以是有益的,因为体素变形图可以直接用于修改线

圈灵敏度矩阵。

[0025] 在另一实施例中,在重建折叠磁共振图像之前计算修改的展开矩阵。一旦采集磁共振数据,就可以获得更快的图像重建的益处。

[0026] 在另一实施例中,所述SENSE成像协议是回波平面成像协议。所述回波平面成像协议被配置用于利用至少一个相位编码方向上的相位编码来采集磁共振数据。例如,如果仅针对单个切片采集磁共振数据,则切片内可能仅存在一个相位编码方向。在其他示例中,第二相位编码方向可以用于在三维SENSE成像协议内编码不同的切片。体素变形图描述至少一个相位编码方向上的局部磁场失真。这可以是有益的,因为相位编码对磁场中的不均匀性特别敏感。该实施例可以提供对使用回波平面成像方法的SENSE成像协议的图像的有效校正手段。

[0027] 在另一实施例中,所述至少一个相位编码方向是两个相位编码方向。在一些实施例中,两个相位编码方向可以是正交的。所述SENSE成像协议是三维SENSE成像协议。正交的所述两个相位编码方向中的一个相位编码方向被配置用于切片选择。该实施例可以是有益的,因为它可以提供对散开在多个切片中的折叠伪影的校正手段。

[0028] 在另一实施例中,所述SENSE成像协议是同时多切片采集成像协议。在同时多切片采集成像协议中,同时采集多个切片。使用体素变形图来校正展开矩阵可以提供用于正确分离各个切片之间的数据的改进手段。

[0029] 在另一实施例中,所述修改的展开矩阵被构造为前馈格式。这可以提供用于执行对未失真的磁共振图像数据的构建的更加快速的手段。

[0030] 在另一实施例中,所述修改的展开矩阵是至少部分地使用正则化项来计算的。例如,Fuderer等人的ISMRM摘要描述了使用对角矩阵R的SENSE重建的公式。对角矩阵R可以被认为正则化项。在若干改进的磁共振成像方案中,可以用表示组织存在估计结果的替代矩阵来代替Fuderer等人的对角矩阵R。

[0031] 在另一实施例中,所述正则化项是通过所述体素变形图修改的组织存在的估计结果。通过体素变形图修改正则化项可以提供更准确的SENSE重建。

[0032] 在另一实施例中,所述机器可执行指令的执行还令所述处理器通过使用所述体素变形图来识别所述未失真磁共振图像中的一个或多个高噪声区域,从而将所述高噪声区域定位在因磁场不均匀性引起的图像折叠的预定距离内。在该图像内,高噪声区域可以例如被突出显示或变黑,以便不使观看未失真的磁共振数据的医生或其他人产生混淆。

[0033] 在另一实施例中,所述SENSE成像协议是多次击发SENSE成像协议。SENSE成像协议可以分为所谓的单次击发SENSE成像协议和多次击发SENSE成像协议。在单次击发SENSE成像协议中,整个切片的数据是在单次击发或脉冲重复中采集的。当存在磁场不均匀性时,使用多次击发SENSE成像协议可以是有益的。例如,如果在SENSE成像协议中使用相位编码,则图像的失真与脉冲重复的时间长度直接相关。这是因为相位误差与不均匀性场乘以时间场相关。通过减少时间,能够减小磁场不均匀性的影响。将其与修改的展开矩阵结合使用可以使由磁场不均匀性引起的伪影或误差大大减少。

[0034] 在另一实施例中,所述体素变形图是使用所述脉冲序列命令和所述磁场不均匀性图来计算的。例如,可以提取脉冲序列命令内的各种持续时间或参数并将其用于计算预期的体素变形图。如上所述,当使用相位编码时,能够通过注意磁场不均匀性以及脉冲重复的

持续时间来直接计算针对特定体素的预期相位误差。脉冲重复是脉冲序列命令内的参数。

[0035] 在另一实施例中,所述机器可执行指令的执行还令所述处理器使用线圈灵敏度测量磁共振成像协议来采集初步磁共振数据。所述机器可执行指令的执行还令所述处理器使用所述初步磁共振数据来计算所述线圈灵敏度矩阵。线圈灵敏度测量磁共振成像协议可以是用于确定各种线圈元件的线圈灵敏度的各种不同成像协议之一。在一些系统中,除了多个线圈元件之外,还可以使用全身线圈来采集粗略或低分辨率的图像。这可以允许直接计算线圈灵敏度。在其他示例中,使用算法对来自各种多个线圈元件的图像进行组合,然后将其与来自各种线圈元件的图像进行比较以计算线圈灵敏度。

[0036] 在另一实施例中,所述机器可执行指令的执行还令所述处理器使用磁场测量磁共振成像协议来采集磁场磁共振数据。所述机器可执行指令的执行还令所述处理器使用所述磁场磁共振数据来计算所述磁场不均匀性图。这可以是有益的,因为被放置在磁共振成像系统内的各种对象可能具有与它们相关联的不同的磁场不均匀性图。直接针对特定对象进行测量可以是有益的。

[0037] 可以存在计算磁场测量磁共振成像协议的不同方法。可以起作用的协议的示例例如是所谓的Dixon磁共振成像协议。在Dixon磁共振成像中,通过采集各个相位的数据来分离水图像与脂肪图像。该技术的结果是能够计算磁场不均匀性。另一示例可以是所谓的组织存在映射协议。组织存在映射协议可以用于估计磁共振成像系统的成像区内的组织的位置。可以起作用的技术的示例也可以用于测量线圈灵敏度。

[0038] 测量磁场的方法的另一示例是所谓的场回波磁共振成像协议。这些方法是相位敏感磁共振成像方案,并且也可用于估计磁场不均匀性。

[0039] 在另一方面中,本发明提供了一种包括机器可执行指令的计算机程序产品,所述机器可执行指令用于由处理器执行以控制磁共振成像系统。所述磁共振成像系统包括射频系统,所述射频系统包括用于采集磁共振数据的多个线圈元件。所述机器可执行指令的执行令所述处理器使用脉冲序列命令来控制所述磁共振成像系统以采集所述磁共振数据。所述脉冲序列命令被配置用于控制所述磁共振成像系统以根据SENSE成像协议来采集所述磁共振数据。

[0040] 所述机器可执行指令的执行还令所述处理器根据所述磁共振数据来重建折叠磁共振图像集合。所述机器可执行指令的执行还令所述处理器根据磁场不均匀性图来计算体素变形图。所述机器可执行指令的执行还令所述处理器至少部分地使用针对所述多个线圈元件的线圈灵敏度矩阵来计算展开矩阵集合。所述展开矩阵集合包括至少一个修改的展开矩阵。所述至少一个修改的展开矩阵是至少部分地使用所述线圈灵敏度矩阵和所述体素变形图来计算的。

[0041] 所述机器可执行指令的执行还令所述处理器使用所述折叠磁共振图像集合和所述展开矩阵集合来计算未失真的磁共振图像数据。先前已经讨论过该计算机程序产品的益处。

[0042] 在另一方面中,本发明提供了一种使用磁共振成像系统进行成像的方法。所述磁共振成像系统包括射频系统,所述射频系统包括用于采集磁共振数据的多个线圈元件。所述方法包括使用脉冲序列命令来控制所述磁共振成像系统以采集所述磁共振数据。所述脉冲序列命令被配置用于控制所述磁共振成像系统以根据SENSE成像协议来采集所述磁共振

数据。所述方法还包括根据所述磁共振数据来重建折叠磁共振图像集合。所述方法还包括根据磁场不均匀性图来计算体素变形图。所述方法还包括至少部分地使用针对所述多个线圈元件的线圈灵敏度矩阵来计算展开矩阵集合。所述展开矩阵集合包括至少一个修改的展开矩阵。所述至少一个修改的展开矩阵是至少部分地使用所述线圈灵敏度矩阵和所述体素变形图来计算的。所述方法还包括使用折叠磁共振图像集合和展开矩阵集合来计算未失真的磁共振图像数据。

[0043] 应当理解,只要本发明的一个或多个前述实施例不相互排斥,就可以组合这些实施例。

[0044] 本领域的技术人员将意识到,本发明的各方面可以被实施为装置、方法或计算机程序产品。因此,本发明的各方面可以采用以下形式:完全硬件实施例、完全软件实施例(包括固件、驻留软件、微代码等)或在本文中全部被通称为“电路”、“模块”或“系统”的组合了软件方面和硬件方面的实施例。此外,本发明的各方面可以采用被实施在一个或多个计算机可读介质中的计算机程序产品的形式,所述一个或多个计算机可读介质具有被实施在其上的计算机可执行代码。

[0045] 可以利用一个或多个计算机可读介质的任何组合。计算机可读介质可以是计算机可读信号介质或计算机可读存储介质。本文中使用的“计算机可读存储介质”涵盖可以存储能由计算设备的处理器执行的指令的任何有形存储介质。计算机可读存储介质可以被称为计算机可读非瞬态存储介质。计算机可读存储介质还可以被称为有形计算机可读介质。在一些实施例中,计算机可读存储介质还能够存储能够由计算设备的处理器访问的数据。计算机可读存储媒介的示例包括但不限于:软盘、磁硬盘驱动器、固态硬盘、闪速存储器、USB 拇指驱动器、随机存取存储器(RAM)、只读存储器(ROM)、光盘、磁光盘以及处理器的寄存器文件。光盘的示例包括压缩盘(CD)和数字多用盘(DVD),例如,CD-ROM、CD-RW、CD-R、DVD-ROM、DVD-RW或DVD-R盘。术语“计算机可读存储介质”还指能够由计算机设备经由网络或通信链路进行存取的各种类型的记录媒介。例如,可以在调制解调器上、在互联网上或在局域网网上检索数据。可以使用任何适当的介质来发射在计算机可读介质上实施的计算机可执行代码,所述任何适当的介质包括但不限于:无线、有线、光纤缆线、RF等,或前项的任何合适的组合。

[0046] 计算机可读信号介质可以包括例如在基带中或作为载波的部分的、在其中实施计算机可执行代码的传播的数据信号。这样的经传播的信号可以采用各种形式中的任何形式,包括但不限于:电磁、光学或其任何合适的组合。计算机可读信号介质可以是这样的任何计算机可读介质:所述计算机可读介质不是计算机可读存储介质并且能够传递、传播或传输用于由指令执行系统、装置或设备使用的程序或与指令执行系统、装置或设备结合使用的程序。

[0047] “计算机存储器”或“存储器”是计算机可读存储介质的示例。计算机存储器是能由处理器直接访问的任何存储器。“计算机存储设备”或“存储设备”是计算机可读存储介质的另外的示例。计算机存储设备可以是任何易失性或非易失性计算机可读存储介质。

[0048] 本文使用的“处理器”涵盖能够执行程序或机器可执行指令或计算机可执行代码的电子部件。对包括“处理器”的计算设备的引用应被解读为可能包含多于一个处理器或处理核。处理器例如可以是多核处理器。处理器也可以指在单个计算机系统之内的或被分布

在多个计算机系统之间的处理器的集合。术语“计算设备”也应被解读为可能指多个计算设备的集合或网络,所述多个计算设备中的每个均包括一个或多个处理器。计算机可执行代码可以由可以在相同的计算设备之内或者甚至可以被分布在多个计算设备上的多个处理器来执行。

[0049] 计算机可执行代码可以包括令处理器执行本发明的一方面的机器可执行指令或程序。用于执行针对本发明的各方面的操作的计算机可执行代码可以被写成一种或多种编程语言的任何组合,包括面向对象的编程语言(例如,Java、Smalltalk、C++等)和常规程序编程语言(例如,“C”编程语言或类似的编程语言),并且被编译成机器可执行指令。在一些实例中,计算机可执行代码可以是高级语言的形式或是预编译的形式,并且可以与解读器联合使用,所述解读器在运行中生成机器可执行指令。

[0050] 计算机可执行代码可以完全在用户的计算机上、部分在用户的计算机上、作为独立软件包、部分在用户的计算机上并且部分在远程计算机上,或者完全在远程计算机或服务服务器上执行。在后一种场景中,远程计算机可以通过任何类型的网络连接到用户的计算机,所述网络包括局域网(LAN)或广域网(WAN),或者可以连接到外部计算机(例如,通过使用互联网服务提供商的互联网)的连接。

[0051] 参考根据本发明的实施例的流程图图示和/或方法、装置(系统)以及计算机程序产品的框图描述了本发明的各方面。应当理解,在适当时能够由计算机可执行代码形式的计算机程序指令来实施流程图、图示和/或框图的框的每个框或部分。还应当理解,当互不排斥时,可以对不同的流程图、图示和/或框图中的框进行组合。可以将这些计算机程序指令提供给通用计算机、专用计算机或其它可编程数据处理装置的处理器以产生机器,使得经由计算机或其它可编程数据处理装置的处理器执行的指令创建用于实施流程图和/或框图的一个或多个框中指定的功能/动作的单元。

[0052] 这些计算机程序指令也可以被存储在计算机可读介质中,所述计算机可读介质能够指导计算机、其他可编程数据处理装置或其他设备来以特定方式起作用,使得被存储在计算机可读介质中的指令产生制造品,所述制造品包括实施在流程图和/或一个或多个框图框中指定的功能/动作的指令。

[0053] 计算机程序指令也可以被加载到计算机、其他可编程数据处理装置或其他设备上,以引起要在计算机、其他可编程装置或其他设备上执行的一系列操作步骤,从而产生计算机实施的过程,使得在计算机或其他可编程装置上运行的指令提供用于实施在流程图和/或一个或多个框图框中指定的功能/动作的过程。

[0054] 本文使用的“用户接口”是允许用户或操作者与计算机或计算机系统交互的接口。“用户接口”还可以被称为“人机接口设备”。用户接口可以向操作者提供信息或数据和/或从操作者接收信息或数据。用户接口可以使得来自操作者的输入能够被所述计算机接收,并且可以从计算机向用户提供输出。换言之,用户接口可以允许操作者控制或操纵计算机,并且接口可以允许计算机指示操作者的控制或操纵的效果。显示器或图形用户接口上对数据或信息的显示是向操作者提供信息的示例。通过键盘、鼠标、跟踪球、触控板、指点杆、图形输入板、操纵杆、游戏手柄、网络摄像头、头戴式设备、脚踏板、有线手套、遥控器以及加速度计来接收数据是使得能够从操作者接收信息或数据的用户接口部件的全部示例。

[0055] 本文使用的“硬件接口”涵盖使得计算机系统的处理器能够与外部计算设备和/或

装置交互和/或控制外部计算设备和/或装置的接口。硬件接口可以允许处理器向外部计算设备和/或装置发送控制信号或指令。硬件接口还可以使得处理器能够与外部计算设备和/或装置交换数据。硬件接口的示例包括但不限于：通用串行总线、IEEE 1394端口、并行端口、IEEE 1284端口、串行端口、RS-232端口、IEEE-488端口、蓝牙连接、无线局域网连接、TCP/IP连接、以太网连接、控制电压接口、MIDI接口、模拟输入接口以及数字输入接口。

[0056] 本文使用的“显示器”或“显示设备”涵盖适用于显示图像或数据的输出设备或用户接口。显示器可以输出视觉、听觉和/或触觉的数据。显示器的示例包括，但不限于：计算机监视器、电视屏幕、触摸屏、触觉电子显示器、盲文屏幕、阴极射线管 (CRT)、存储管、双稳显示器、电子纸、向量显示器、平板显示器、真空荧光显示器 (VF)、发光二极管 (LED) 显示器、电致发光显示器 (ELD)、等离子显示面板 (PDP)、液晶显示器 (LCD)、有机发光二极管显示器 (OLED)、投影仪以及头戴式显示器。

[0057] 磁共振 (MR) 数据在本文中被定义为是在磁共振成像扫描期间由磁共振装置的天线所记录的对通过原子自旋发射的射频信号的测量结果。磁共振数据是医学图像数据的示例。磁共振成像 (MRI) 图像或磁共振图像数据在本文中被定义为是对在磁共振成像数据之内包含的解剖数据所重建的二维可视化或三维可视化。

附图说明

[0058] 在下文中将仅通过示例并参考附图来描述本发明的优选实施例，在附图中：

[0059] 图1图示了因磁场不均匀性引起的体素位置的偏移；

[0060] 图2图示了磁共振成像系统的示例；

[0061] 图3图示了磁共振成像系统的另外的示例；

[0062] 图4图示了磁共振成像系统的另外的示例；

[0063] 图5图示了使用图2、图3或图4的磁共振成像系统的方法；

[0064] 图6示出了磁共振成像系统中B0磁场的映射标绘图；并且

[0065] 图7示出了使用图6的B0磁场的映射图计算的体素变形图的示例。

[0066] 附图标记列表

[0067] 100 真实几何位置

[0068] 102 失真 (标称) 位置

[0069] 104 对角线

[0070] 106 作为失真位置的函数的几何位置

[0071] 108 视场

[0072] 110 点A

[0073] 112 点A'

[0074] 114 折叠距离

[0075] 116 点Y

[0076] 118 点X

[0077] 120 点B

[0078] 122 点B'

[0079] 124 点一

- [0080] 126 点二
- [0081] 128 点三
- [0082] 130 点四
- [0083] 200 磁共振系统
- [0084] 204 主磁体
- [0085] 206 磁体的膛
- [0086] 208 成像区
- [0087] 209 切片
- [0088] 210 磁场梯度线圈
- [0089] 212 梯度线圈电源
- [0090] 214 线圈元件
- [0091] 216 收发器
- [0092] 218 对象
- [0093] 220 对象支撑物
- [0094] 224 相位编码方向
- [0095] 240 计算机系统
- [0096] 242 硬件接口
- [0097] 244 处理器
- [0098] 246 用户接口
- [0099] 250 计算机存储器
- [0100] 260 机器可执行指令
- [0101] 262 脉冲序列命令
- [0102] 264 磁共振数据
- [0103] 266 折叠磁共振图像集合
- [0104] 268 磁场不均匀性图
- [0105] 270 体素变形图
- [0106] 272 线圈灵敏度集合或线圈灵敏度矩阵
- [0107] 274 展开矩阵集合
- [0108] 276 未失真的磁共振图像数据
- [0109] 278 修改的磁共振图像数据
- [0110] 300 磁共振成像系统
- [0111] 322 相位编码方向
- [0112] 400 磁共振成像系统
- [0113] 500 使用脉冲序列命令来控制磁共振成像系统以采集磁共振数据
- [0114] 502 根据磁共振数据来重建折叠磁共振图像集合
- [0115] 504 根据磁场不均匀性图来计算体素变形图
- [0116] 506 至少部分地使用针对多个线圈元件的线圈灵敏度矩阵来计算展开矩阵集合，并且展开矩阵集合包括至少一个修改的展开矩阵
- [0117] 508 使用折叠磁共振图像集合和展开矩阵集合来计算未失真的磁共振图像数据

[0118] 510 通过利用体素变形图变换未失真的磁共振图像数据来计算修改的磁共振图像数据

[0119] 600 线

具体实施方式

[0120] 在这些附图中,具有相同附图标记的元件是等效元件或者执行相同的功能。如果元件的功能是等效的,则在后面的附图中不必讨论先前已经讨论过的元件。

[0121] 在MRI中,特别是当使用回波平面成像(EPI)序列时,可能发生因磁场的局部偏离引起的显著的几何失真。在靠近金属植入物或者靠近腔体(例如,耳腔或鼻腔)(或者更一般地为所有组织-空气界面)尤其可见这种情况。在许多情况下,失真本身在临床上不是太相关也不会造成干扰。

[0122] 但是,当使用SENSE时,可能会出现失真的间接后果。在相对于失真区域的“折叠位置”(例如在SENSE因子=2时视场的一半的距离处),即使该折叠位置没有失真,也可能出现失真区域的伪影。这可能例如导致在其他未失真和临床相关的区域中产生伪影。示例可以具有减少或消除SENSE图像中的伪影的效果,所述伪影源自因磁场不均匀性引起的几何失真的区域。

[0123] 示例可以具有以下特征中的一个或多个特征:

[0124] 1.当应用SENSE时,线圈灵敏度取自对“折叠点”产生贡献的真实几何位置,而不是取自标称(“失真”)位置。

[0125] 2.由于失真,我们可能得到比标称SENSE因子更多数量的对折叠点产生贡献的位置:在这种情况下,对(局部)扩展的SENSE方程组进行求解。

[0126] 3.在执行了SENSE重建之后,可以使用体素变形图使图像重新失真以帮助医生解读图像。

[0127] 图1示出了体素相对于失真或标称位置102的真实几何位置的标绘图。图1用于说明当执行SENSE型磁共振成像协议时因磁场不均匀性引起的折叠影响。在图1中,假设SENSE因子为2。如果没有因磁场失真引起的影响,则对角线104示出了真实几何位置102与失真标称位置102之间的关系。曲线106示出了作为失真或标称位置102的函数的实际几何位置100。这能够被看作是在y或真实几何位置100中重叠自身的曲线。这会导致伪折叠效应。在SENSE因子为2的情况下,一些点在视场内被多次成像。

[0128] 点a 110和点A' 112对应于折叠点。距离114是折叠距离。点A 110和A' 112被投影到曲线106上。这给出了真实几何位置100。点A 110被投影到点y 116上并且点A' 112被投影到点X 118上。对于A 110和A' 112,分别只有一个对应点116和118。视场由线108表示。在视场108内,存在被映射到点130、128和126上的第二点B 120。对应的折叠点B' 122被映射到单个点124上。被映射到三个不同点的点B不能使用正常的SENSE重建来得到校正。然而,点B能够使用体素变形图来得到校正。如果曲线106被离散化,则曲线106可以被解读为体素变形图。

[0129] 折叠像素A 110(其(在折叠图像中)与A' 112相同)由真实几何位置X 118和Y 116贡献。对于该位置集合,必须对两个“常规”SENSE方程组进行求解。然而,当考虑到折叠像素B 120(其与折叠图像中的B' 122相同)时,在真实世界中实际上存在四个贡献位置:点一124、点二126、点三128和点四130。这是通过“扩展SENSE方程”组求解得到的,即,必须根据

与我们具有的线圈元件一样多的方程来求解四个未知数而不是两个未知数。然而,由于这些点中的一些点(例如,点二126和点三128)彼此非常接近,因此这两个点之间的SENSE展开将表现出非常高的水平的噪声放大,因为它们的线圈灵敏度非常相似。然而,这两个结果的总和将是“正常”噪音水平。

[0130] 因此,为了防止某些图像区的噪声过度,可能会根据原始采集中存在的失真(通过使用体素变形图)使结果失真。例如,将位置点二126、点三128和点四130的结果相加并将其映射到位置B,同时将点一的结果映射到位置B'。以这种方式,最终得到的图像仍然是几何失真的,但是重建的像素B'现在可以包含更少的源自点二126、点三128、点四130的SENSE伪影。

[0131] 图2图示了磁共振成像系统200的示例。磁共振成像系统200包括主磁体204(其可以被称为磁体)。磁体204是超导圆柱形磁体,其具有穿过它的膛206。也可以使用不同类型的磁体。在圆柱形磁体的低温恒温器内部,存在超导线圈的集合。在圆柱形磁体204的膛206内,存在成像区208,在成像区208中,磁场足够强且均匀以执行磁共振成像。

[0132] 在磁体的膛206内,还存在磁场梯度线圈210的集合,磁场梯度线圈210的集合用于采集磁共振数据以对磁体204的成像区208内的磁自旋进行空间编码。磁场梯度线圈210被连接到磁场梯度线圈电源212。磁场梯度线圈210旨在是代表性的。通常,磁场梯度线圈210包含三个单独的线圈集合,以用于在三个正交空间方向上进行空间编码。磁场梯度电源向磁场梯度线圈提供电流。提供给磁场梯度线圈210的电流受控而作为时间的函数并且可以是斜坡变化或脉冲变化的。

[0133] 与成像区208相邻的是多个线圈元件214,每个线圈元件214均用作射频天线,以用于操纵成像区208内的磁自旋的取向并用于接收来自成像区208内的自旋的射频发射。射频线圈也可以被称为射频天线或天线。多个线圈元件也可以被称为天线元件。射频天线也可以被称为信道。多个线圈元件被连接到射频收发器。多个线圈元件和射频收发器可以针对多个线圈元件214中的每个具有单独的发射器和接收器。

[0134] 线圈元件214可以用于单独采集磁共振数据。因此,线圈元件214可以用于并行成像磁共振技术。尽管在该附图中未图示,但是磁共振成像系统200还可以包括体线圈。体线圈在并行成像技术中是有用的,因为它可以与各个线圈元件214同时获取所采集的数据并且可以用于计算线圈集合的灵敏度。

[0135] 可以从成像区208内采集磁共振数据。切片209的位置在成像区208内是可见的。在一些示例中,可以利用在相位编码方向222上的相位编码来完成用于采集磁共振数据的脉冲序列命令。箭头222指示与切片209平行或共面的一个可能的方向。如果使用方向222上的相位编码,则所得图像可能易受由磁体204产生的主磁场中的失真的影响。

[0136] 能够看出,不同的线圈元件214距切片209的不同区域的距离不同。因此,不同的线圈元件214将对切片209的各个部分或多或少地敏感。

[0137] 在磁体204的膛206内,存在支撑成像区208中的对象的对象支撑物220。

[0138] 收发器216和梯度控制器被示为连接到计算机系统240的硬件接口242。该计算机系统还包括处理器244,处理器244与硬件系统242、存储器250和用户接口246通信。存储器250可以是处理器244可访问的存储器的任何组合。这可以例如包括主存储器、高速缓冲存储器,并且也可以包括非易失性存储器(例如,闪存RAM、硬盘驱动器)或其他存储设备。在一

些示例中,存储器250可以被认为非瞬态计算机可读介质。

[0139] 计算机存储器250被示为包含机器可执行指令260,机器可执行指令260使得处理器244能够控制磁共振成像系统200的操作和功能。计算机存储器250还被示为包含脉冲序列命令262,脉冲序列命令262被配置用于根据SENSE成像协议来采集磁共振数据。计算机存储器250还被示为包含通过利用脉冲序列命令262控制磁共振成像系统200而采集的磁共振数据264。磁共振数据264包含分别从线圈元件215中的每个线圈元件采集的数据。计算机存储器250还被示为包含折叠磁共振图像集合266。折叠磁共振图像中的每幅折叠磁共振图像对应于线圈元件215中的一个线圈元件。根据针对线圈元件215中的每个线圈元件采集的磁共振数据264的各个部分来重建折叠磁共振图像266中的每幅折叠磁共振图像。

[0140] 计算机存储器250还被示为包含磁场不均匀性图268。磁场不均匀性图268可以预先存在于存储器250中,或者可以在采集磁共振数据264之前进行采集和计算。计算机存储器250还被示为包含根据磁场不均匀性图268计算的体素变形图270。在许多情况下,将使用磁场不均匀性图268和从脉冲序列命令262提取的数据来计算体素变形映射270。例如,如果脉冲序列命令262用于回波平面成像协议,其中,存在相位编码方向222上的相位编码,那么所采集的磁共振数据中的相位误差量与脉冲重复时间和局部磁场不均匀性直接相关。

[0141] 计算机存储器250还被示为包含针对线圈元件215的线圈灵敏度集合272。例如可以预先存储线圈灵敏度集合272或者可以在采集磁共振数据264之前的预先采集期间采集线圈灵敏度集合272。计算机存储器250还被示为包含展开矩阵集合274,展开矩阵集合274是根据从线圈灵敏度集合272和体素变形图270来计算的。展开矩阵集合274用于将折叠磁共振图像集合268组合成未失真的磁共振图像数据276。在该特定示例中,针对单个切片209采集磁共振数据。在这种情况下,未失真的磁共振图像数据276可以表示二维图像。计算机存储器250被示为任选地包含修改的磁共振图像数据278,磁共振图像数据278是通过将体素变形图270应用于未失真的磁共振图像数据276来计算的。这创建了重新失真但展开的磁共振图像或数据集。

[0142] 图3示出了磁共振成像系统300的示例。磁共振成像系统300类似于图2中图示的磁共振成像系统200。然而,在这种情况下,脉冲序列命令262是不同的。在该示例中,磁共振数据被采集为三维采集。代替单个切片,存在体素集合209,体素集合209可以被分成多个切片209。除了相位编码方向222之外,还存在与方向222正交的另一方向322。这个额外的相位编码方向322用于区分不同切片209。相位编码方向222和322都易受因磁场不均匀性引起的失真的影响。在该示例中,体素变形图270用于校正所采集的三维数据集的体素位置。

[0143] 图4图示了磁共振成像系统400的另外的示例。图4中所示的示例类似于图2和图3中图示的示例。在图4示出的示例中,脉冲序列命令262用于SENSE成像协议,该协议是同时多切片采集成像协议。如图3中执行的那样同时采集各个切片209,但不利用相位编码来采集各个切片209。SENSE成像协议方法用于将同时采集的数据分离成不同的切片。使用体素变形图270计算的线圈灵敏度集合272对于将数据正确分离到适当的切片209中是有用的。

[0144] 图5示出了图示操作磁共振成像系统200、300或400的方法的流程图。首先,在步骤500中,使用脉冲序列命令262来控制磁共振成像系统200、300、400以采集磁共振数据264。接下来,在步骤502中,针对线圈元件215中的每个线圈元件,根据所采集的磁共振数据264来计算折叠磁共振图像集合266。接下来,在步骤504中,根据磁场不均匀性图268来计算体

素变形图270。然后,在步骤506中,使用线圈灵敏度集合272来计算展开矩阵集合274,并且对于一些展开矩阵,还使用体素变形图270。接下来,在步骤508中,使用折叠磁共振图像集合266和展开矩阵集合274来计算508未失真的磁共振图像数据276。步骤510是任选步骤,其中,通过利用体素变形图270变换未失真的磁共振图像数据276来计算修改的磁共振图像数据278。

[0145] 示例可以考虑在各个线圈元件的展开期间因局部B0变化引起的变形。在下面的示例中,讨论了EPI扫描,但是该技术也可以适用于其他类型的SENSE图像重建。

[0146] 在一个示例中,B0图可以被采集为针对EPI扫描的预扫描。根据下式,(重建像素中的)像素p处的偏移 Δ_p 与p处的B0的变化 ΔB_{0p} (以赫兹为单位)直接相关:

$$[0147] \quad \Delta_p = \frac{\Delta B_{0p} \cdot N_{pe}}{BW_{pe} \cdot R_{pe}}$$

[0148] 其中,(相位编码方向上的) BW_{pe} 是每个折叠视场的采集带宽(以赫兹为单位), N_{pe} 是展开的网格尺寸,并且 R_{pe} 是平面内感测因子。

[0149] 这里讨论的B0变形是因梯度非线性引起的变形顶部的变形。假设CSM和临床扫描都在相同程度上受到梯度缺陷的影响。

[0150] 对于相位编码线,能够导出变形矩阵(其也被称为体素变形图),所述变形矩阵将未变形的坐标映射到变形的坐标,或者反之亦然。变形矩阵将每一个未变形点映射到变形点。变形矩阵是(以展开的网格尺寸的)离散表示,其中,每一个未变形点映射到一个或多个变形点。对两个连续点之间的变形进行线性插值,以便创建对非零矩阵元素的连续跟踪。

[0151] 为了确保每一个变形点都存在从变形到未变形的映射,每条Y线的开始和结束处的变形被设置为0,即,没有变形。在实践中,如果解剖结构被完全包括在视场中并且/或者如果应用足够的固有折叠抑制,则每条Y线的开始和结束处的变形已经为零。

[0152] 在存在B0图未完全覆盖展开的视场的区域的情况下,在一些示例中,假定变形在这些区域中为零。

[0153] 图6图示了磁场不均匀性图268的示例。在该示例中,磁场不均匀性图是主磁场(其也被称为B0场)的空间依赖性映射。线600指示这样的位置:在该位置处提取该数据的部分并将其用于计算体素变形图270。线600来自于B0图(268),能够根据B0图(268)来导出(下面的)变形矩阵。

[0154] 图7图示了针对沿着图6中的线600提取的数据计算的体素变形图270(其在本文中也称为变形矩阵)。图7中的标绘图类似于图1中的标绘图,然而,在图7中,映射270用于离散的体素。

[0155] 在SENSE采集中,测得的磁共振数据的现实模型能够被写为:

$$m_i(\vec{x}) = \sum_j \sum_{y_u} w(y(\vec{x}_j(\vec{x})), y_u; x(\vec{x}_j(\vec{x})), z(\vec{x}_j(\vec{x}))) s_i(\vec{x}_{u,j}) p(\vec{x}_{u,j})$$

[0156] 关于如何阅读该公式的术语表:

[0157] \vec{x} 是折叠和变形体素的坐标向量。

[0158] $m_i(\vec{x})$ 是线圈元素i在位置 \vec{x} 上“看到”的值。

[0159] j 是被折叠到体素 \vec{x} 上的点的索引; $j=1 \dots N$, 其中, N 是总 SENSE 因子。

[0160] $\vec{x}_j(\vec{x})$ 是被折叠到折叠位置 \vec{x} 上的第 j 个点的坐标。

[0161] $y(\vec{x}_j(\vec{x}))$ 是向量 \vec{x}_j 的 y 坐标, 类似地, $x(\vec{x}_j(\vec{x}))$ 和 $z(\vec{x}_j(\vec{x}))$ 是向量 \vec{x}_j 的 x 坐标和 z 坐标。

[0162] y_u 是未变形坐标 y 。

[0163] \sum_{y_u} 是对可能对变形点有贡献的所有未变形点的求和。

[0164] $w(y, y_u; x, z)$: 针对 x 和 z 的给定值, $w(y, y_u)$ 是变形图, 在后续内容中对其进行解释。

[0165] $\vec{x}_{u,j}$ 是“未变形的折叠点”: $x(\vec{x}_j(\vec{x})), y_u, z(\vec{x}_j(\vec{x}))$ 的简写, 即, (通过权重 w) 对变形点 $\vec{x}_j(\vec{x})$ 做出贡献的位置。

[0166] $s_i(\vec{x}_{u,j})$ 是线圈 i 对未变形点的灵敏度, 其对变形点 (即, 折叠到位置 \vec{x} 上的第 j 个点) 做出贡献。

[0167] $p(\vec{x}_{u,j})$ 是在该未变形点处的磁化密度的实际值。

[0168] 在稍微缩短的形式中, 针对每个 \vec{x} , 这被写为:

$$[0169] \quad m_i = \sum_j \sum_{y_u} w(y_j, y_u) s_i(y_u) p(y_u)$$

[0170] 因此, 按展开点, 在未变形点上对 y_u 进行求和。未变形点对变形点 y 的贡献是变形图, 用 $w(y, y_u; x, z)$ 或简写 $w(y, y_u)$ 来表示。

[0171] 注意, 测量结果 $m_i(\vec{x})$ 发生变形, 而灵敏度 s_i 和未知像素值 p 未发生变形。

[0172] 从变形变换中检索贡献 $w(y, y_u)$ 。单个变形点将可能映射到有限数量的未变形点, 即, 大多数贡献将为零。如果 B0 图在任何地方都是 0, 则变形矩阵变为单位变换, 并且修改的 SENSE 方程减少到正常的 SENSE 方程。

[0173] 这种稀疏性允许定义“未变形的灵敏度矩阵” SU (并且类似地允许定义 RU)。为此, 我们定义, 针对 \vec{x} 的每个值, 范围 $k=1, \dots, M$, 其中, M 是 (经由变形和折叠) 对 \vec{x} 做出实质贡献的点的总数。 M 可能 (稍微) 大于 SENSE 因子 N 。

[0174] 矩阵 SU 的元素 (以简写表示) 被写为:

$$[0175] \quad s_{ik}^U = \sum_j w(y_j, y_k) s_i(y_k)$$

[0176] 并且, 等效地,

$$[0177] \quad r_{kk}^U = \left\| \sum_j w(y_j, y_k) r(y_k) \right\|^2$$

[0178] 以矩阵表示法对类似于前一段6.1中讨论的SENSE方程进行求解,得到:

$$[0179] \quad p = (S^U S^U + (R^U)^{-1})^{-1} S^U m = C m$$

[0180] 这里,向量 p 以未变形坐标表示。它包含 M 个元素。在完整的表示法中,我们应该写作 $p(\vec{x})$,即,与折叠位置 \vec{x} 相对应的(未变形和展开的)位置集合。

[0181] 从理论上讲,我们现在遇到的问题是 $p(\vec{x})$ 的一些元素可能与属于另一折叠点的向量 p 的元素处于(一个或多个)相同的位置。然而,利用下面解释的操作可以解决这个问题。

[0182] 针对每个折叠位置 \vec{x} ,将未变形的点变换回变形的像素:

$$[0183] \quad p_{d,j} = \sum_k w(y_j, y_k) p_k$$

[0184] 在语句中:“属于变形位置 y_j 的“正常的”(即,变形的)向量的第 j 个元素是使用变形图的权重根据未变形向量 p 的元素组合而成的(其中,第 k 个元素具有值 p_k 并且属于未变形位置 y_k)”。

[0185] 理由:在信号堆积的情况下,单个高强度测量将展开到若干未变形点。由于这些点彼此接近,因此CSM值之间几乎没有区别,从而导致 p 的元素中的低SNR。该步骤允许从该SNR损失中恢复。

[0186] 在B0图中可能存在缺陷,B0预扫描与EPI扫描之间可能存在运动,并且EPI扫描本身也存在额外的失真(例如由于涡电流)。通过在变形矩阵的对角线上对变形矩阵进行移位并对原始变形矩阵和经移位的变形矩阵应用逐像素的MAX操作,可以提高抵抗源于这些缺陷的伪影的鲁棒性。这能够在正向和负向移位时重复多次。

[0187] 尽管已经在附图和前面的描述中详细图示和描述了本发明,但是这样的图示和描述应当被认为是图示性或示例性的,而非限制性的;本发明不限于所公开的实施例。

[0188] 本领域技术人员通过研究附图、公开内容以及权利要求,在实践请求保护的发明时能够理解并实现对所公开的实施的其他变型。在权利要求中,“包括”一词不排除其他元件或步骤,并且词语“一”或“一个”不排除多个。单个处理器或其他单元可以实现在权利要求中记载的若干项的功能。尽管某些措施被记载在互不相同的从属权利要求中,但是这并不指示不能有利地使用这些措施的组合。计算机程序可以被存储和/或被分布在合适的介质上,例如,与其他硬件一起或作为其他硬件的部分供应的光学存储介质或固态介质,但是也可以以其他形式分布,例如,经由互联网或其他有线或无线的电信系统分布。权利要求中的任何附图标记都不应被解释为对范围的限制。

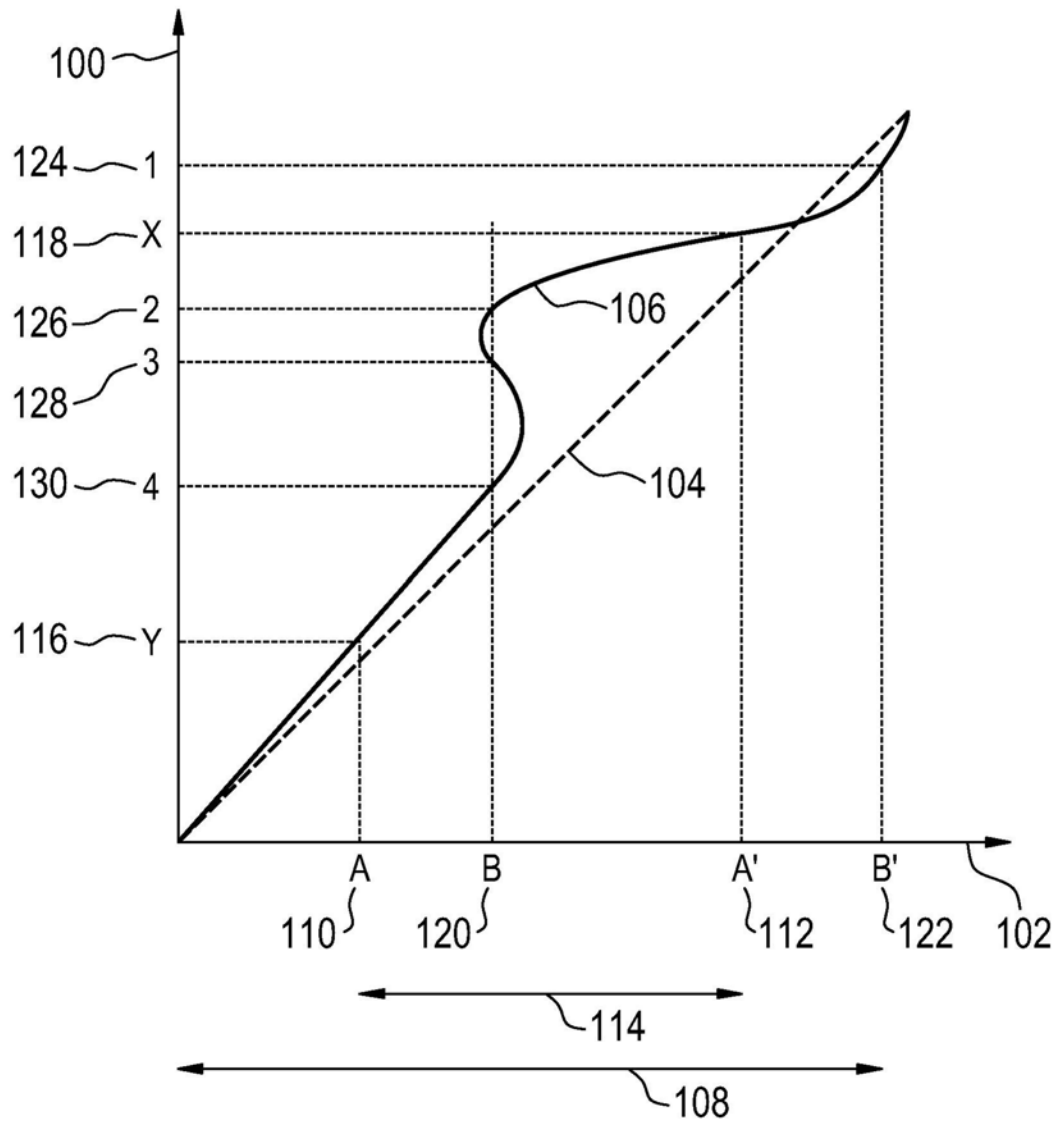


图1

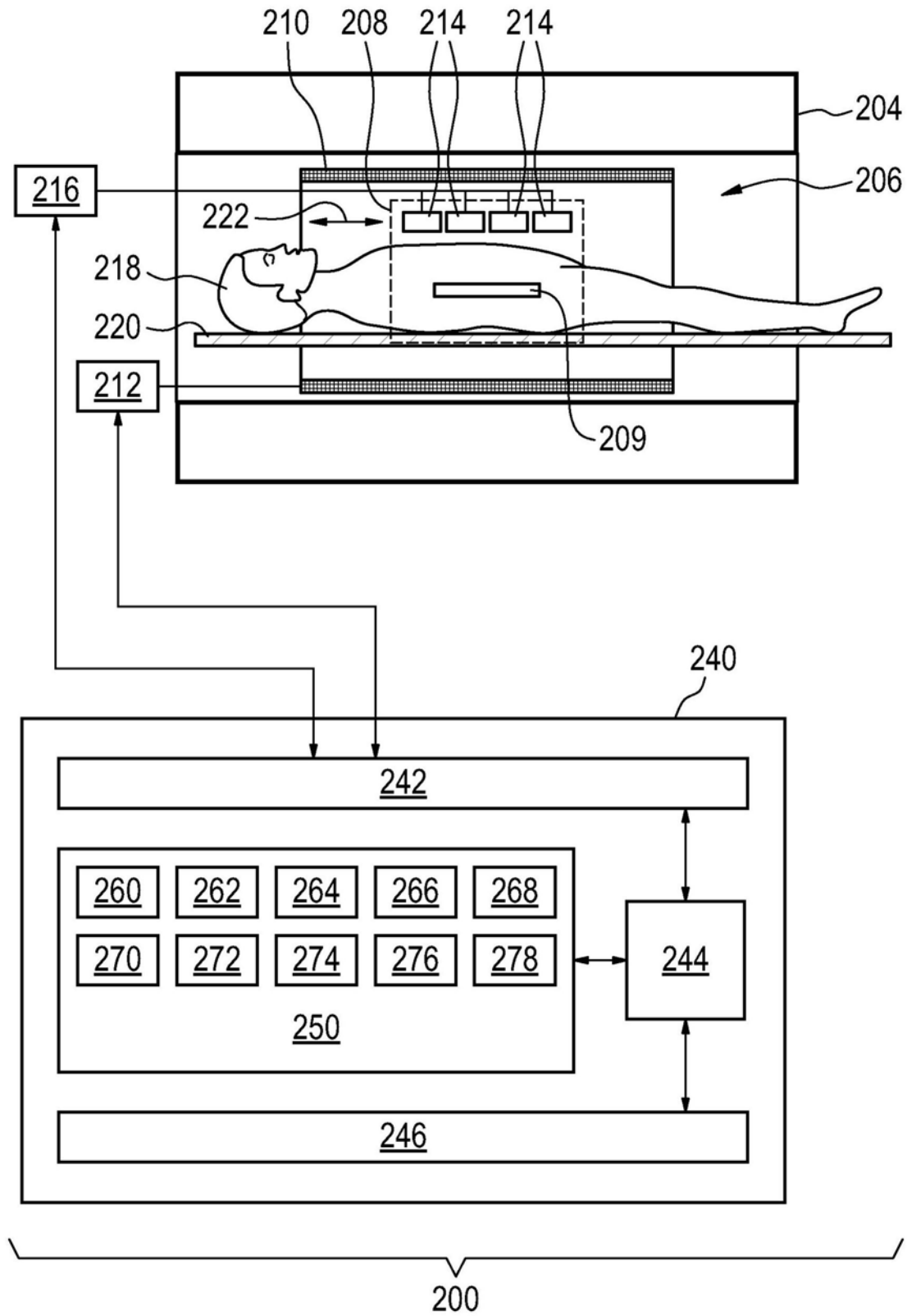


图2

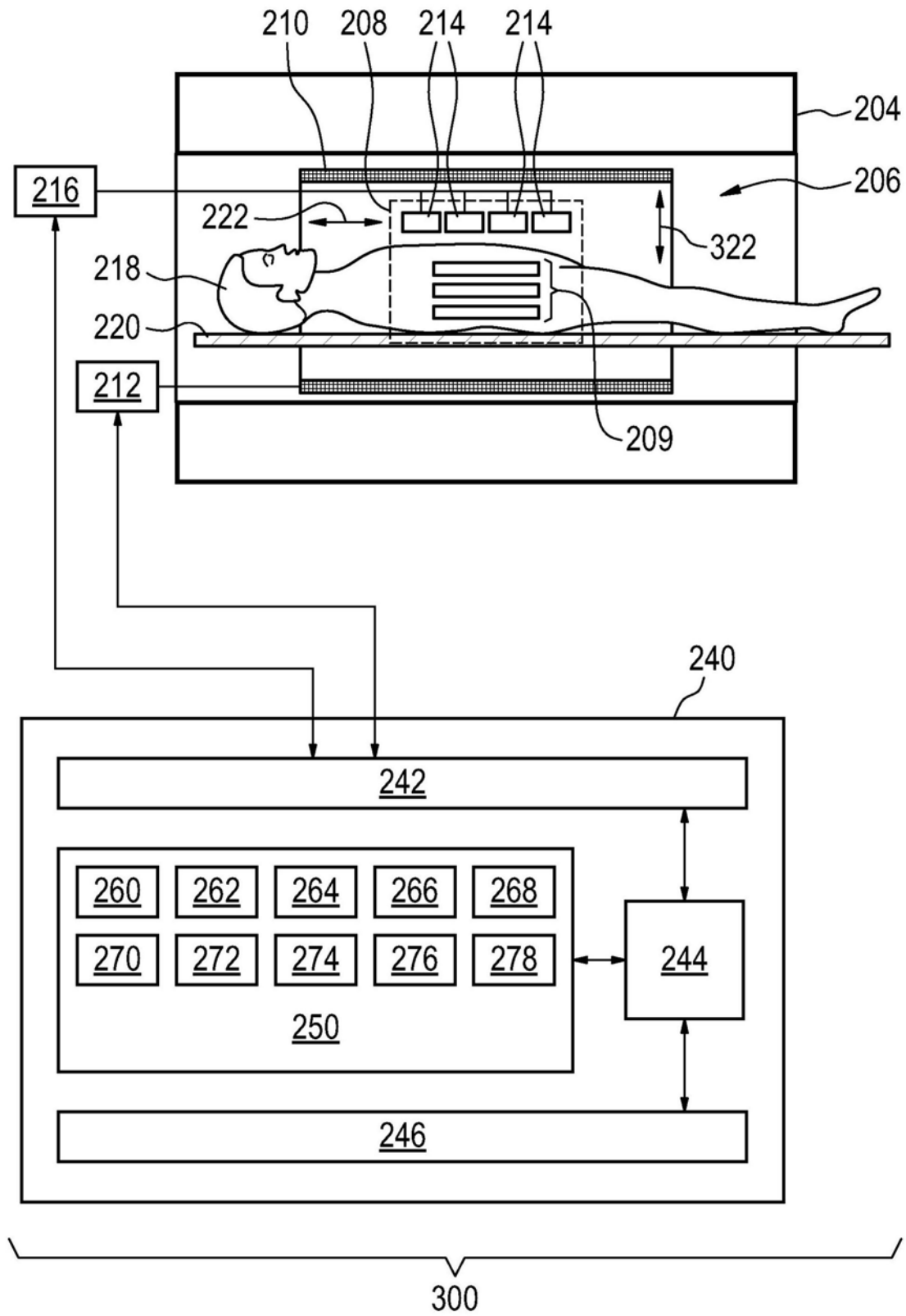


图3

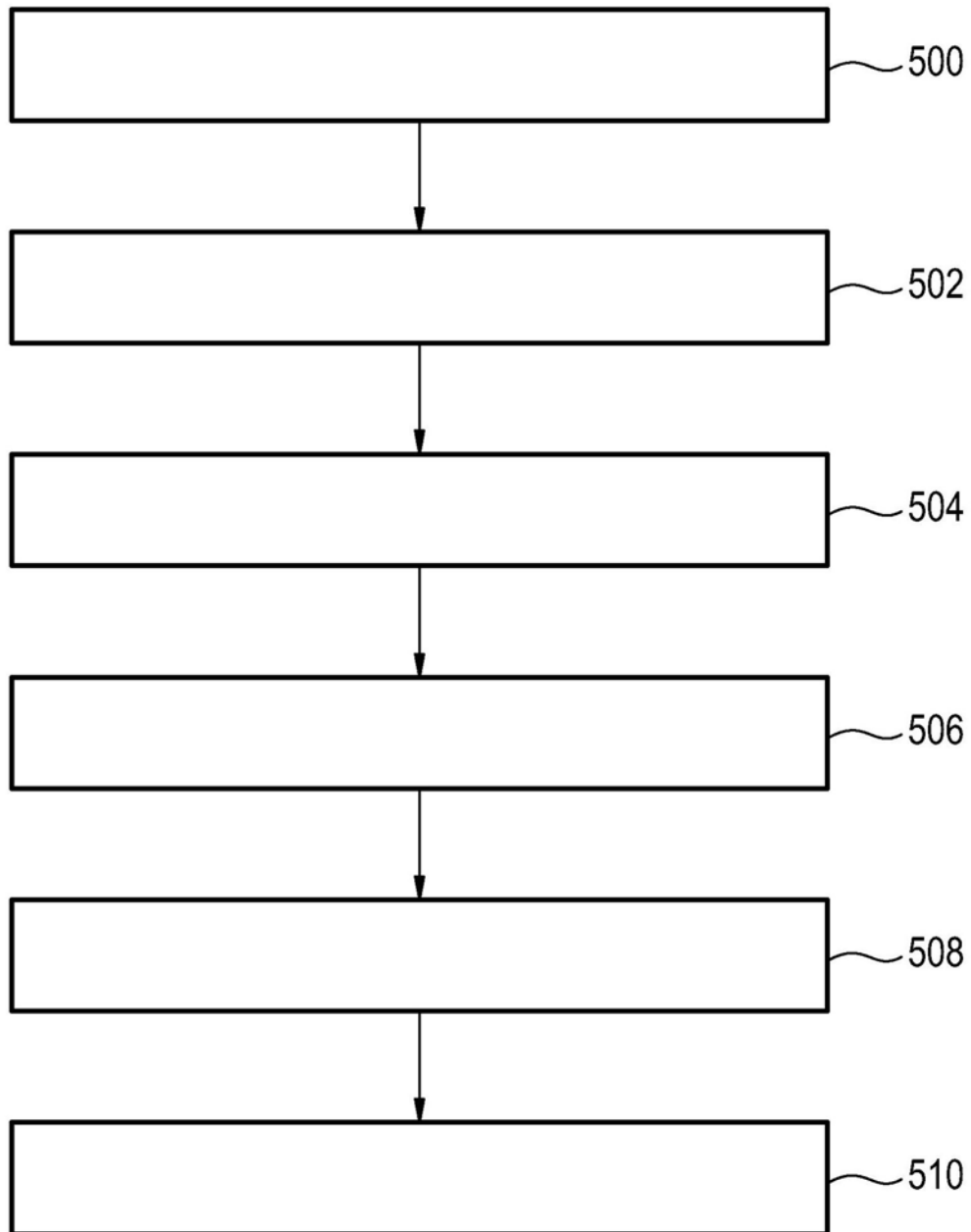


图5

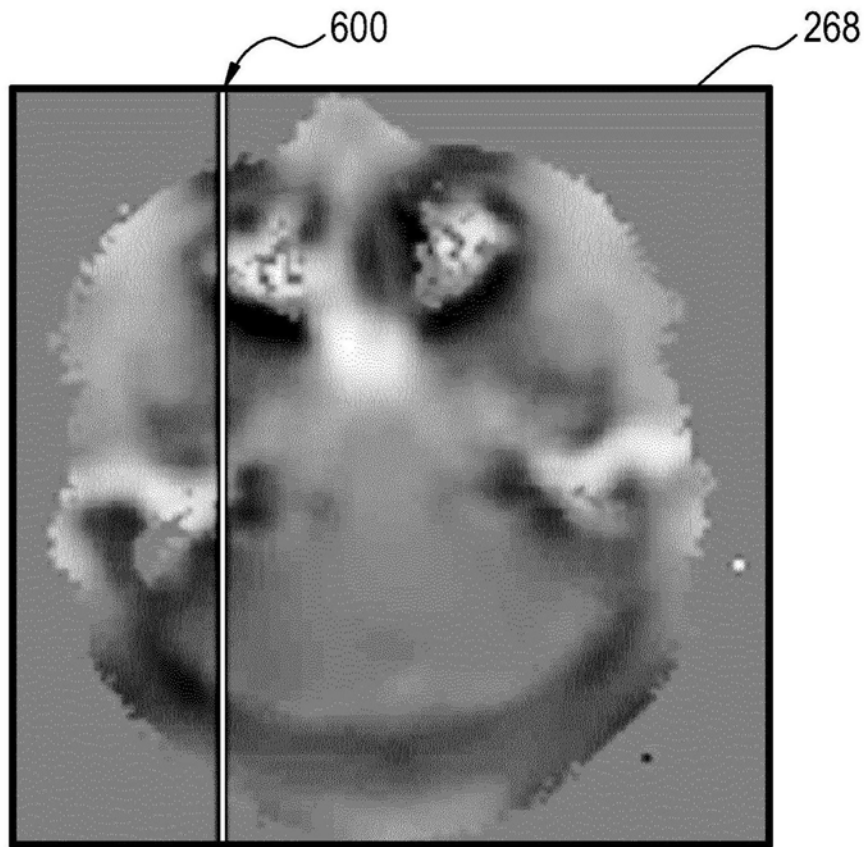


图6

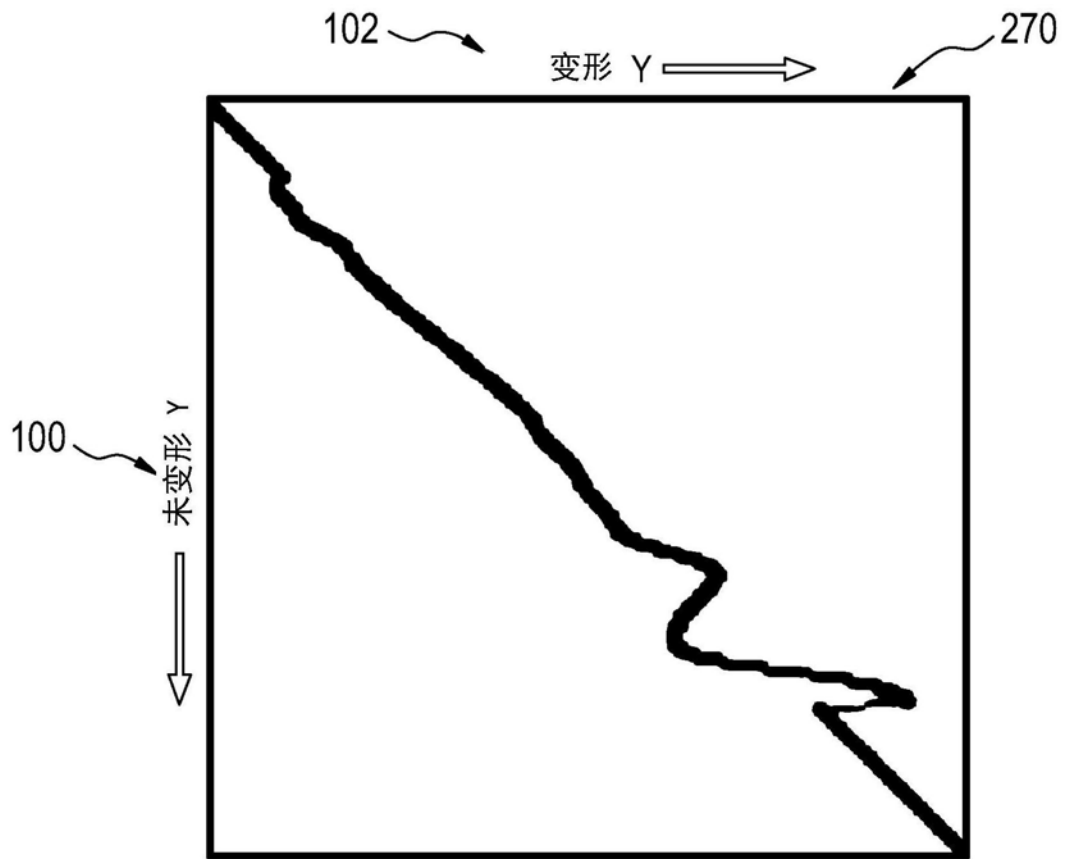


图7