



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110573897 B

(45) 授权公告日 2022.04.08

(21) 申请号 201880028381.0

(22) 申请日 2018.03.30

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 110573897 A

(43) 申请公布日 2019.12.13

(30) 优先权数据

17163880.2 2017.03.30 EP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2019.10.29

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2018/058308 2018.03.30

(87) PCT国际申请的公布数据

W02018/178343 EN 2018.10.04

(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 T·E·阿姆托尔 M·I·多内瓦

K·佐默 P·柯肯

(74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司
72002

代理人 刘兆君

(51) Int.Cl.

G01R 33/56 (2006.01)

G01R 33/561 (2006.01)

G01R 33/483 (2006.01)

G01R 33/54 (2006.01)

G01R 33/24 (2006.01)

G01R 33/44 (2006.01)

A61B 5/055 (2006.01)

G01R 33/485 (2006.01)

G01R 33/565 (2006.01)

(56) 对比文件

US 2015362575 A1, 2015.12.17

US 2017011255 A1, 2017.01.12

CN 101400306 A, 2009.04.01

CN 104780839 A, 2015.07.15 (续)

审查员 宋婉甜

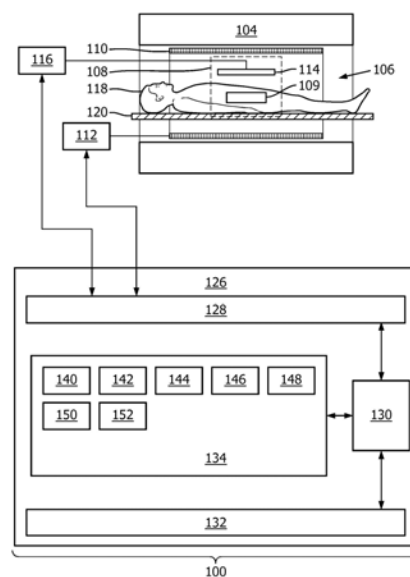
权利要求书3页 说明书13页 附图4页

(54) 发明名称

亚体素分辨率磁共振指纹成像

(57) 摘要

本发明提供了一种磁共振成像系统,所述系统包括用于存储机器可执行指令和磁共振指纹脉冲序列命令的存储器。所述机器可执行指令的运行使所述处理器:通过利用所述磁共振指纹脉冲序列命令控制所述磁共振成像系统来采集所述磁共振指纹磁共振数据;使用所述磁共振指纹磁共振数据来构建针对所述二维切片的每个体素的至少一个磁共振参数值的系列;并且使用针对所述二维切片的每个体素的两个或更多个亚体素中的每个亚体素的亚体素磁共振指纹词典以及所述至少一个磁共振参数值的所述系列来计算所述两个或更多个亚体素内的预定物质的集合中的每种预定物质的组成,其中,亚体素在所述切片选择方向上分割每个体素。



[接上页]

(56) 对比文件

CN 104854446 A, 2015.08.19

CN 106537168 A, 2017.03.22

US 2015297101 A1, 2015.10.22

WO 2007064980 A3, 2009.03.26

US 2014292328 A1, 2014.10.02

US 9508256 B2, 2016.11.29

WO 2015138941 A1, 2015.09.17

H.Greenspan 等. MRI inter-slice
reconstruction using super-resolution.
《Magnetic Resonance Imaging》. 2002, 第20卷
(第5期), 第437-446页.

1. 一种磁共振成像系统(100), 其中, 所述磁共振成像系统包括:

存储器(134), 其用于存储机器可执行指令(140)和磁共振指纹脉冲序列命令(142), 其中, 所述磁共振指纹脉冲序列命令使所述磁共振成像系统根据磁共振指纹协议来采集磁共振指纹磁共振数据(144), 其中, 所述磁共振指纹脉冲序列命令被配置用于以二维切片(410、412、414、416、418、420)采集所述磁共振指纹磁共振数据, 其中, 所述二维切片具有切片选择方向, 其中, 所述磁共振指纹脉冲序列命令包括一连串脉冲序列重复, 其中, 所述一连串脉冲序列重复包括对所述磁共振指纹磁共振数据进行重复采样的采样事件;

处理器, 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运行使所述处理器:

通过利用所述磁共振指纹脉冲序列命令控制所述磁共振成像系统来采集(200)所述磁共振指纹磁共振数据; 并且

使用所述磁共振指纹磁共振数据来构建(202)针对所述二维切片的每个体素的至少一个磁共振参数值的系列(148), 其中, 所述系列中的每个对应于每个脉冲序列重复的所述采样事件; 并且

使用针对所述二维切片的每个体素的两个或更多个亚体素(306、308)中的每个亚体素的亚体素磁共振指纹词典(150)以及所述至少一个磁共振参数值的所述系列来计算(204)所述两个或更多个亚体素内的预定物质的集合中的每种预定物质的组成(502、504、506、508), 其中, 亚体素在所述切片选择方向上分割每个体素, 其中, 所述亚体素磁共振指纹词典包括通过对针对所述两个或更多个亚体素中的每个亚体素的激励脉冲轮廓的不同部分进行积分而计算的单独的指纹, 其中, 所述激励脉冲轮廓是翻转角分布和相位角分布, 其中, 所述两个或更多个亚体素内的所述组成是通过使用线性优化确定来自所述两个或更多个亚体素中的每个亚体素的贡献来计算的, 其中, 发生以下各项中的任一项:

所述激励脉冲轮廓具有对称的翻转角分布并且具有反对称的相位分布; 所述磁共振指纹脉冲序列命令指定射频脉冲, 其中, 所述射频脉冲是不对称的; 以及

以上两项的组合。

2. 根据权利要求1所述的磁共振成像系统, 其中, 所述一连串脉冲序列重复中的每个脉冲序列重复包括从射频脉冲的预定分布中选择的射频脉冲, 其中, 射频脉冲的所述预定分布被配置为使磁自旋旋转到翻转角的分布, 其中, 针对所述两个或更多个亚体素中的每个亚体素的所述亚体素磁共振指纹词典取决于翻转角的所述预定分布。

3. 根据权利要求2所述的磁共振成像系统, 其中, 翻转角的所述分布在以下范围中的任一种范围内变化: 在30度的范围内、在70度的范围内、在110度的范围内、在150度的范围内, 以及在180度的范围内。

4. 根据权利要求1-3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运行使所述处理器使用全局磁共振指纹词典来计算全局组成图像(402、404、406、408), 所述全局组成图像描述所述二维切片的每个体素内的预定物质的全局集合中的每种预定物质的组成。

5. 根据权利要求4所述的磁共振成像系统, 其中, 所述机器可执行指令的运行还使所述处理器:

使用所述全局组成图像和预定标准来识别所述二维切片内的感兴趣体素, 其中, 对两

个或更多个亚体素内的预定物质的所述集合中的每种预定物质的组成的计算限于所述感兴趣体素;并且

使用所述感兴趣体素的所述两个或更多个亚体素来细化所述全局组成图像。

6. 根据权利要求5所述的磁共振成像系统,其中,所述预定标准被配置为识别以下各项中的任一项:边界区域、异常组织及其组合。

7. 根据权利要求5或6所述的磁共振成像系统,其中,所述机器可执行指令的运行还使所述处理器使用全局映射来选择针对所述两个或更多个亚体素中的每个亚体素的所述亚体素磁共振指纹词典。

8. 根据权利要求1-3以及5-6中的任一项所述的磁共振成像系统,其中,所述二维切片描述感兴趣区域,其中,所述机器可执行指令的运行还使所述处理器接收所述感兴趣区域的B0图,其中,所述机器可执行指令的运行还使所述处理器使用所述B0图来校正至少一个磁共振参数值的所述系列。

9. 根据权利要求8所述的磁共振成像系统,其中,所述存储器还包含B0映射脉冲序列命令,其中,所述机器可执行指令的运行还使所述处理器通过以下操作来接收所述B0图:

通过利用所述B0映射脉冲序列命令控制所述磁共振成像系统来采集B0映射磁共振数据;并且

重建所述B0图。

10. 根据权利要求8所述的磁共振成像系统,其中,所述机器可执行指令的运行还使所述处理器接收所述感兴趣区域的B1图,其中,所述机器可执行指令的运行还使所述处理器使用所述B1图来校正至少一个磁共振参数值的所述系列。

11. 根据权利要求1-3以及5-6中的任一项所述的磁共振成像系统,其中,所述至少一个磁共振参数值是以下各项中的任一项:相位、幅度及其组合。

12. 一种存储有计算机程序的计算机可读介质,所述计算机程序包括机器可执行指令(140),所述机器可执行指令用于由控制磁共振成像系统(100)的处理器运行,其中,所述机器可执行指令的运行使所述处理器:

通过利用磁共振指纹脉冲序列命令(142)控制所述磁共振成像系统来采集(200)磁共振指纹磁共振数据(144),其中,所述磁共振指纹脉冲序列命令使所述磁共振成像系统根据磁共振指纹协议来采集所述磁共振指纹磁共振数据,其中,所述磁共振指纹脉冲序列命令被配置用于以二维切片(410、412、414、416、418、420)采集所述磁共振指纹磁共振数据,其中,所述二维切片具有切片选择方向,其中,所述磁共振指纹脉冲序列命令包括一连串脉冲序列重复,其中,所述一连串脉冲序列重复包括对所述磁共振指纹磁共振数据进行重复采样的采样事件;并且

使用所述磁共振指纹磁共振数据来构建(202)针对所述二维切片的每个体素的至少一个磁共振参数值的系列(148),其中,所述系列中的每个对应于每个脉冲序列重复的所述采样事件;并且

使用针对所述二维切片的每个体素的两个或更多个亚体素(306、308)中的每个亚体素的亚体素磁共振指纹词典(150)以及所述至少一个磁共振参数值的所述系列来计算(204)所述两个或更多个亚体素内的预定物质的集合中的每种预定物质的组成(502、504、506、508),其中,亚体素在所述切片选择方向上分割每个体素,其中,所述亚体素磁共振指纹词

典包括通过对针对所述两个或更多个亚体素中的每个亚体素的激励脉冲轮廓的不同部分进行积分而计算的单独的指纹,其中,所述两个或更多个亚体素内的所述组成是通过使用线性优化确定来自所述两个或更多个亚体素中的每个亚体素的贡献来计算的,其中,发生以下各项中的任一项:

所述激励脉冲轮廓具有对称的翻转角分布并且具有反对称的相位分布;

所述磁共振指纹脉冲序列命令指定射频脉冲,其中,所述射频脉冲是不对称的;以及
以上两项的组合。

13. 一种操作磁共振成像系统(100)的方法,其中,所述方法包括:

通过利用磁共振指纹脉冲序列命令(142)控制所述磁共振成像系统来采集(200)磁共振指纹磁共振数据(144),其中,所述磁共振指纹脉冲序列命令使所述磁共振成像系统根据磁共振指纹协议来采集所述磁共振指纹磁共振数据,其中,所述磁共振指纹脉冲序列命令被配置用于以二维切片(410、412、414、416、418、420)采集所述磁共振指纹磁共振数据,其中,所述二维切片具有切片选择方向,其中,所述磁共振指纹脉冲序列命令包括一连串脉冲序列重复,其中,所述一连串脉冲序列重复包括对所述磁共振指纹磁共振数据进行重复采样的采样事件;并且

使用所述磁共振指纹磁共振数据来构建(202)针对所述二维切片的每个体素的至少一个磁共振参数值的系列,其中,所述系列中的每个对应于每个脉冲序列重复的所述采样事件;并且

使用针对所述二维切片的每个体素的两个或更多个亚体素(306、308)中的每个亚体素的亚体素磁共振指纹词典(150)以及所述至少一个磁共振参数值的所述系列来计算(204)所述两个或更多个亚体素内的预定物质的集合中的每种预定物质的组成,其中,亚体素在所述切片选择方向上分割每个体素,其中,所述亚体素磁共振指纹词典包括通过对针对所述两个或更多个亚体素中的每个亚体素的激励脉冲轮廓的不同部分进行积分而计算的单独的指纹,其中,所述两个或更多个亚体素内的所述组成是通过使用线性优化确定来自所述两个或更多个亚体素中的每个亚体素的贡献来计算的,其中,发生以下各项中的任一项:

所述激励脉冲轮廓具有对称的翻转角分布并且具有反对称的相位分布;

所述磁共振指纹脉冲序列命令指定射频脉冲,其中,所述射频脉冲是不对称的;以及
以上两项的其组合。

亚体素分辨率磁共振指纹成像

技术领域

[0001] 本发明涉及磁共振成像,尤其涉及磁共振指纹法。

背景技术

[0002] 磁共振指纹法(MRF)是一种技术,其中施加了一些随时间分布的RF脉冲,从而使来自不同材料或组织的信号对测量的磁共振(MR)信号具有独特的贡献。将来自一组或固定数量的物质的预计算的信号贡献的有限词典与测量的MR信号进行比较,并且能够在单个体素内确定组成。例如,如果已知体素仅包含水、脂肪和肌肉组织,则仅需考虑这三种材料的贡献,并且仅需要几个RF脉冲就可以准确确定体素的组成。

[0003] 在Ma等人的期刊文章“Magnetic Resonance Fingerprinting”(自然,第495卷,第187至193页,doi:10.1038/自然11971)中已经介绍了磁共振指纹技术。在美国专利申请US 2013/0271132 A1和US 2013/0265047 A1中也描述了磁性指纹技术。

[0004] 美国专利申请公开物US 2017/011255 A1公开了一种确定生物样品的不变磁共振(MR)签名的系统。在操作期间,该系统基于与多次扫描中与体素相关联的MR信号与模拟MR信号之间的差异来确定生物样品中的体素的磁共振(MR)模型。在多次MR扫描期间,通过系统中的MR扫描器并且基于扫描指令来测量或捕获MR信号,并且使用MR模型和扫描指令来生成针对生物样品的模拟MR信号。此外,该系统基于差异来迭代地修改MR扫描中的扫描指令(包括磁场强度和/或脉冲序列),直到达到收敛标准为止。然后,该系统在存储器中存储生物样品的标识符以及与MR模型相关联的生物样品的磁场强度不变MR签名。

[0005] 在Pauly等人的期刊文章“Parameter relations for the Shinnar-Le Roux selective excitation pulse design algorithm[NMR imaging]”(IEEE Transactions on Medical Imaging,第10卷,第1期,第53-65页,1991年3月,doi:10.1109/42.75611)公开了对计算跨切片的翻转角和相位分布的Shinnar-Le Roux方法的综述。该文章介绍了如何设计产生指定切片轮廓的脉冲。

发明内容

[0006] 本发明在独立权利要求中提供了磁共振成像系统、计算机程序产品和方法。在从属权利要求中给出了实施例。

[0007] 磁共振指纹法具有快速准确地确定对象体内的组织类型、材料物质的浓度和/或空间分布的能力。本文描述的示例和实施例可以具有能够将通过磁共振指纹法产生的磁共振图像的分辨率提高到亚体素水平的益处。这可以通过注意到二维切片内的翻转角和/或相位分布在切片选择方向上不均匀来实现。因此,体素能够被分割成亚体素。假定针对特定体素的磁共振指纹(MRF)信号是针对该特定体素的亚体素中的每个亚体素的磁共振指纹信号的组合。这使得能够在亚体素水平上执行磁共振指纹法。

[0008] 当产生具有亚体素分辨率的磁共振图像时,没有必要沿着切片方向测量每个切片内的翻转角和/或相位分布。该信息已经被包括或编码在磁共振指纹词典中。在执行常规的

磁共振指纹法时,将指定脉冲序列并且通常使用布洛赫方程来计算磁共振指纹词典。能够凭经验测量针对词典的指纹。然而,实际上,使用布洛赫方程的方法可以很好地工作并产生良好的结果。实施例通过将体素分割成两个或更多个亚体素并且然后使用具有为这两个或更多个亚体素中的每个计算出的条目的指纹词典来在切片选择方向上扩展分辨率。

[0009] 实施例针对这两个或更多个亚体素中的每个使用单独的词典条目,其不假定体素内具有均匀激励脉冲轮廓。对于两个或更多个亚体素中的每个,激励脉冲轮廓被分割成表示这两个或更多个亚体素中的每个的不同部分。激励脉冲轮廓是体素内的翻转角分布和相位分布。直接计算这两个或更多个亚体素中每个内的激发脉冲轮廓。例如,能够使用 Shinnar-Le Roux 方法来完成该操作。Shinnar-Le Roux 方法能够应用于脉冲序列指令中指定的脉冲序列。实际上,能够选择 RF 波形以增加在切片选择方向上的翻转角分布和/或相位分布的不对称性。

[0010] 针对体素的测量的磁共振指纹(在本文中被称为针对每个体素的至少一个磁共振参数值的系列)是来自两个或更多个亚体素中的每个亚体素的信号的组合。然后,通过求解优化问题来获得亚体素的组成。这种优化提供了组合来自所有的两个或更多个亚体素的可能的磁共振指纹以匹配针对整个体素的测量的磁共振指纹的手段。其结果是优化问题的解得出针对两个或更多个亚体素的每个亚体素的组成。

[0011] 在一个方面中,本发明提供了一种磁共振成像系统。所述磁共振成像系统包括用于存储机器可执行指令和磁共振指纹脉冲序列命令的存储器。本文中使用的磁共振指纹是针对磁共振指纹的缩写。所述磁共振指纹脉冲序列命令使所述磁共振成像系统根据磁共振指纹协议来采集磁共振指纹磁共振数据。所述磁共振指纹脉冲序列命令被配置用于以二维切片采集所述磁共振指纹磁共振数据。所述二维切片具有切片选择方向。所述切片选择方向垂直于所述二维切片。所述磁共振指纹脉冲序列命令包括被配置用于引起一连串脉冲序列重复的指令。所述一连串脉冲序列重复包括对所述磁共振指纹磁共振数据进行重复采样的采样事件。

[0012] 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运行使所述处理器通过利用所述磁共振指纹脉冲序列命令控制所述磁共振成像系统来采集所述磁共振指纹磁共振数据。所述机器可执行指令的运行还使所述处理器使用所述磁共振指纹磁共振数据来构建针对所述二维切片的每个体素的至少一个磁共振参数值的系列。所述系列中的每个对应于每个脉冲序列重复的所述采样事件。磁共振参数值可以是通常使用磁共振成像系统测量和成像的任何值。在磁共振成像指纹法中,磁共振指纹磁共振数据并不直接用于根据在傅立叶空间中采集的数据来重建图像。取而代之,所采集的磁共振数据用于构建磁共振参数中的每个磁共振参数的一系列中间图像。例如,质子密度加权图像具有表示单位体积或体素内的质子数的幅度。然而,重建图像也具有复杂的部分。为了构建 MR 指纹,能够使用幅度和/或相位来构建指纹。

[0013] 由于这些图像通常是欠采样的,因此图像质量很差,以至于图像本身可能无法使用。然而,针对这些图像查看针对每个体素的值,能够构建针对该特定体素的数据或向量的系列。针对每个体素的数据的这种系列在本文中也可以被称为“信号”、“信号向量”或“MRF 信号”。

[0014] 通过使用至少一个磁共振参数值的系列,能够通过将磁共振参数的系列与磁共振

指纹词典进行比较来确定每个体素的组成。磁共振指纹词典可以具有针对特定物质或组织的凭经验模拟或测量的值。能够将词典与针对体素中的每个体素的至少一个磁共振参数值的系列进行比较,并且能够将词典与磁共振指纹词典进行比较,以推断出预定物质的集合中的哪种物质在该体素内。

[0015] 所述机器可执行指令的运行还使所述处理器使用针对所述二维切片的每个体素的两个或更多个亚体素中的每个亚体素的亚体素磁共振指纹词典以及所述至少一个磁共振参数值的所述系列来计算所述两个或更多个亚体素内的预定物质的集合中的每种预定物质的组成。可以通过在所述切片选择方向上分割体素来构建所述亚体素。该实施例可以是有益的,因为磁共振指纹法能够用于识别被分割成亚体素的体素的内容。这可以提供提高常规的磁共振指纹图像的分辨率的手段。

[0016] 本文中使用的预定物质可以涵盖诸如水或脂肪之类的材料。物质也可以被认为是患病或也具有病理学性质的类型的组织或者识别出患病或也具有病理学性质的类型的组织。

[0017] 在另一实施例中,所述一连串脉冲序列重复中的每个脉冲序列重复包括从射频脉冲的预定分布中选择的射频脉冲。射频脉冲的所述预定分布被配置为使磁自旋旋转到翻转角的分布。针对所述两个或更多个亚体素中的每个亚体素的所述亚体素磁共振指纹词典取决于翻转角的所述预定分布。该实施例可以是有益的,因为在磁共振指纹法期间改变翻转角可以提供区分体素的不同亚体素内的材料的手段。

[0018] 在另一实施例中,翻转角的所述分布在 30° 的范围内变化。

[0019] 在另一实施例中,翻转角的所述分布在 70° 的范围内变化。

[0020] 在另一实施例中,翻转角的所述分布在 110° 的范围内变化。

[0021] 在另一实施例中,翻转角的所述分布在 150° 的范围内变化。

[0022] 在另一实施例中,翻转角的所述分布在 180° 的范围内变化。

[0023] 在另一实施例中,所述机器可执行指令的运行还使所述处理器计算所述亚体素磁共振指纹词典。可以使用计算稳态磁共振指纹词典的标准方法中的任一种标准方法来计算亚体素磁共振指纹词典。例如,可以通过求解布洛赫方程或通过执行扩展相位图计算来计算词典。

[0024] 在另一实施例中,针对所述二维切片的每个体素的所述两个或更多个亚体素内的预定物质的所述集合中的每种预定物质的组成是通过进行以下操作来计算的:使用线性优化来确定来自所述两个或更多个亚体素中的每个亚体素的贡献。该实施例可以是有益的,因为它可以提供计算来自两个或更多个亚体素中的每个亚体素的贡献的直接手段。

[0025] 在另一实施例中,针对所述二维切片的每个体素的所述两个或更多个亚体素内的预定物质的所述集合中的每种预定物质的组成是通过进行以下操作来计算的:找到所述至少一个磁共振参数值的所述系列与预计算的信号的词典的最大内积。所述亚体素磁共振指纹词典包括预计算的信号的词典。预计算的信号可以是针对相同脉冲序列计算或测量的不同物质的值,该相同脉冲序列用于采集磁共振指纹磁共振数据并且然后构建至少一个磁共振参数值的系列。

[0026] 预计算的信号可以表示具有不同的物质选择、权重和/或相对相位因子的亚体素信号的线性组合。

[0027] 在另一实施例中,所述机器可执行指令的运行使所述处理器使用全局磁共振指纹词典来计算全局组成图像,所述全局组成图像描述所述二维切片的每个体素内的预定物质的全局集合中的每种预定物质的组成。在该实施例中,磁共振指纹磁共振数据用于计算常规的磁共振指纹成像或图。

[0028] 在另一实施例中,所述机器可执行指令的运行还使所述处理器使用所述全局组成图像和预定标准来识别所述二维切片内的感兴趣体素。对两个或更多个亚体素内的预定物质的所述集合中的每种预定物质的组成的计算限于所述感兴趣体素。所述机器可执行指令的运行还使所述处理器使用所述感兴趣体素的所述两个或更多个亚体素来细化所述全局组成图像。这可以被认为是使用来自所计算的亚体素的信息对全局组成图像内的一些体素的替换。这可以具有用于提高分辨率甚至有助于识别不同结构中的病理组织的益处。

[0029] 在另一实施例中,所述预定标准被配置为识别以下各项中的任一项:边界区域、异常组织及其组合。

[0030] 在另一实施例中,感兴趣区域描述大脑。异常组织是组织病变类型。

[0031] 在另一实施例中,所述机器可执行指令的运行还使所述处理器使用全局映射来选择针对所述两个或更多个亚体素中的每个亚体素的所述亚体素磁共振指纹词典。例如,由机器可执行指令运行的算法可以查看邻域体素或邻接体素并且使用邻域体素或邻接体素来确定选择哪个磁共振指纹词典。例如,如果体素被识别为两种不同组织类型之间的边界,则选择与这两种彼此邻接的组织类型相对应的磁共振指纹词典将是最有意义的操作。

[0032] 在另一实施例中,所述二维切片描述感兴趣区域。所述机器可执行指令的运行还使所述处理器接收所述感兴趣区域的B0图。所述机器可执行指令的运行还使所述处理器使用所述B0图来校正至少一个磁共振参数值的所述系列。这例如可以通过将B0值包括在亚体素磁共振指纹词典中或通过校正用于制作磁共振指纹信号的中间图像来完成。例如,B0值可以用于选择特定的磁共振指纹词典。

[0033] 在另一实施例中,所述存储器还包含B0映射脉冲序列命令。所述机器可执行指令的运行还使所述处理器通过以下操作来接收所述B0图:通过利用所述B0映射脉冲序列命令控制所述磁共振成像系统来采集B0映射磁共振数据;并且随后重建所述B0图。可以根据能够测量并随后计算B0图的任何磁共振成像技术来构建分析中的B0映射脉冲序列命令。这例如可以通过测量两个(回波时间不同的)不同扫描之间的相位差来完成。

[0034] 在另一实施例中,所述机器可执行指令的运行还使所述处理器接收所述感兴趣区域的B1图。所述机器可执行指令的运行还使所述处理器使用所述B1图来校正至少一个磁共振参数值的所述系列。这例如可以通过提供依赖于B1值的亚体素磁共振指纹词典或者通过使用B1图来校正用于构建磁共振指纹信号的任何中间图像来执行。

[0035] 在另一实施例中,所述存储器还包含可以用于映射B1值的B1映射脉冲序列命令。所述机器可执行指令的运行还使所述处理器通过以下操作来接收B1图:通过利用所述B1映射脉冲序列命令控制所述磁共振成像系统来采集B1映射磁共振数据,并且随后重建所述B1图。B1映射可以根据能够映射B1或激励场的任何磁共振成像技术来执行。例如,可以使用双重TR方法、饱和双重角度方法(SDAM)或相位敏感方法来测量B1图。

[0036] 在另一实施例中,所述亚体素磁共振指纹词典包括针对不同的B1值的单独条目。例如,B1图能够用于选择与特定的B1或激励场的值相对应的条目。

[0037] 在另一实施例中,所述B1图是使用B1图编码的磁共振指纹词典来确定的。这可以被认为是编码B1值的常规的磁共振指纹词典。例如,B1图编码的磁共振指纹词典使用磁共振指纹磁共振数据首先在每个体素的基础上确定B1图。然后可以将该B1图用作针对亚体素磁共振磁共振指纹词典的输入,该亚体素磁共振指纹词典包括用于不同B1值的单独条目。

[0038] 在另一实施例中,所述两个或更多个亚体素是两个亚体素。

[0039] 在另一实施例中,所述两个或更多个亚体素是三个亚体素。

[0040] 在另一实施例中,所述两个或更多个亚体素是四个亚体素。

[0041] 在另一实施例中,所述至少一个磁共振参数值是以下各项中的任一项:相位、幅度及其组合。

[0042] 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供由控制磁共振成像系统的处理器运行。所述机器可执行指令的运行使所述处理器通过利用磁共振指纹脉冲序列命令控制所述磁共振成像系统来采集磁共振指纹磁共振数据。所述磁共振指纹脉冲序列命令使所述磁共振成像系统根据磁共振指纹协议来采集所述磁共振指纹磁共振数据。所述磁共振指纹脉冲序列命令被配置用于以二维切片采集所述磁共振指纹磁共振数据。所述二维切片具有切片选择方向。所述磁共振指纹脉冲序列命令包括一连串脉冲序列重复。所述一连串脉冲序列重复包括对所述磁共振指纹磁共振数据进行重复采样的采样事件。所述机器可执行指令的运行还使所述处理器使用所述磁共振指纹磁共振数据来构建针对所述二维切片的每个体素的至少一个磁共振参数值的系列。所述系列中的每个对应于每个脉冲序列重复的所述采样事件。

[0043] 所述机器可执行指令的运行还使所述处理器使用针对所述二维切片的每个体素的两个或更多个亚体素中的每个亚体素的亚体素磁共振指纹词典以及所述至少一个磁共振参数值的所述系列来计算所述两个或更多个亚体素内的预定物质的集合中的每种预定物质的组成。

[0044] 在另一方面中,本发明提供了一种操作磁共振成像系统的方法。所述方法包括通过利用磁共振指纹脉冲序列命令控制所述磁共振成像系统来采集磁共振指纹磁共振数据。所述磁共振指纹脉冲序列命令使所述磁共振成像系统根据磁共振指纹协议来采集所述磁共振指纹磁共振数据。所述磁共振指纹脉冲序列命令被配置用于以二维切片采集所述磁共振指纹磁共振数据。所述二维切片具有切片选择方向。所述磁共振指纹脉冲序列命令包括一连串脉冲序列重复。所述一连串脉冲序列重复包括对所述磁共振指纹磁共振数据进行重复采样的采样事件。所述方法还包括使用所述磁共振指纹磁共振数据来构建针对所述二维切片的每个体素的至少一个磁共振参数值的系列。所述系列中的每个对应于每个脉冲序列重复的所述采样事件。所述方法还包括使用针对所述二维切片的每个体素的两个或更多个亚体素中的每个亚体素的亚体素磁共振指纹词典以及所述至少一个磁共振参数值的所述系列来计算所述两个或更多个亚体素内的预定物质的集合中的每种预定物质的组成。

[0045] 应当理解,本发明的前述实施例中的一个或多个实施例可以被组合,只要所组合的实施例不相互排斥即可。

[0046] 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。

[0047] 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、磁盘驱动器、固态硬盘、闪存存储器、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上检索数据。可以使用任何适当的介质来传输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。

[0048] 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。

[0049] “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。计算机存储设备是任何易失性或非易失性计算机可读存储介质。

[0050] 本文使用的“处理器”涵盖能够运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计算设备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。

[0051] 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,并且可以与解释器联合使用,所述解释器在运行中生成机器可执行指令。

[0052] 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。

[0053] 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。

[0054] 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。

[0055] 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。

[0056] 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、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。

[0057] 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。

[0058] 本文使用的“显示器”或“显示设备”涵盖适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。

[0059] 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通过使用磁共振装置的天线记录的对通过原子自旋发射的射频信号的测量结果。初步磁共振数据是医学成像数据的示例。磁共振(MR)图像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

[0060] 在下文中,将仅通过举例的方式并参考附图来描述本发明的优选实施例,在附图中:

[0061] 图1图示了磁共振成像系统的示例;

[0062] 图2示出了图示操作图1的磁共振成像系统的方法的示例的流程图;

[0063] 图3示出了针对60度RF脉冲的切片内的翻转角和相位分布的标绘图;

[0064] 图4示出了使用常规的磁共振指纹法的四种物质的浓度映射图;并且

[0065] 图5示出了使用具有亚体素分辨率的磁共振指纹法的四种物质的浓度映射图。

[0066] 附图标记列表

[0067] 100 磁共振成像系统

[0068] 104 磁体

[0069] 106 磁体的膛

[0070] 108 成像区

[0071] 109 感兴趣区域

[0072] 110 磁场梯度线圈

[0073] 112 磁场梯度线圈电源

[0074] 114 射频线圈

[0075] 116 收发器

[0076] 118 对象

[0077] 120 对象支撑物

[0078] 126 计算机系统

[0079] 128 硬件接口

[0080] 130 处理器

[0081] 132 用户接口

[0082] 134 计算机存储器

[0083] 140 机器可执行指令

[0084] 142 磁共振指纹脉冲序列命令

[0085] 144 磁共振指纹磁共振数据

[0086] 146 中间图像数据

[0087] 148 包含针对单个体素的测量的磁共振参数的系列或向量

[0088] 150 亚体素磁共振指纹词典的集合

[0089] 152 表示亚体素的组成的值

[0090] 200 通过利用磁共振指纹脉冲序列命令控制磁共振成像系统来采集磁共振指纹磁共振数据

- [0091] 202 使用磁共振指纹磁共振数据来构建针对二维切片的每个体素的至少一个磁共振参数值的系列
- [0092] 204 使用针对二维切片的每个体素的两个或更多个亚体素中的每个亚体素的亚体素磁共振指纹词典以及至少一个磁共振参数值的系列来计算这两个或更多个亚体素内的预定物质的集合中的每种预定物质的组成
- [0093] 300 切片选择方向上的距离
- [0094] 302 翻转角[度]
- [0095] 304 相位[弧度]
- [0096] 306 第一亚体素的区域
- [0097] 308 第二亚体素的区域
- [0098] 402 物质1的磁共振指纹图像
- [0099] 404 物质2的磁共振指纹图像
- [0100] 406 物质3的磁共振指纹图像
- [0101] 408 物质4的磁共振指纹图像
- [0102] 410 切片0
- [0103] 412 切片1
- [0104] 414 切片2
- [0105] 416 切片3
- [0106] 418 切片4
- [0107] 420 切片5
- [0108] 502 物质1的亚体素磁共振指纹图像
- [0109] 504 物质2的磁共振指纹图像
- [0110] 506 物质3的磁共振指纹图像
- [0111] 508 物质4的磁共振指纹图像

具体实施方式

[0112] 在这些附图中,相同附图标记的元件要么是等效元件,要么执行相同的功能。如果功能等效,则先前讨论过的元件不必在后面的附图中再进行讨论。

[0113] 图1示出了具有磁体104的磁共振成像系统100的示例。磁体104是超导圆柱型磁体,其具有穿过其的膛106。也可以使用不同类型的磁体。例如,也可以使用剖分式圆柱形磁体和所谓的开放式磁体。剖分式圆柱形磁体与标准圆柱形磁体相似,不同之处在于低温恒温器已被分成两部分,以允许进入磁体的等平面,这种磁体例如可以与带电粒子束治疗结合使用。开放式磁体具有两个磁体部分,一个在另一个上方,两个磁体之间有一个足以容纳对象的空间:这两个部分区的布置类似于亥姆霍兹线圈。开放式磁体之所以受欢迎,是因为它对对象的约束较小。在圆柱形磁体的低温恒温器内部具有超导线圈的集合。在圆柱形磁体104的膛106内存在成像区108,在成像区108中磁场足够强且均匀以执行磁共振成像。感兴趣区域109被示为处于成像区108内。对象118被示为由对象支撑物120支撑,使得对象118的至少部分在成像区108和感兴趣区域109内。

[0114] 在磁体的膛106内还存在磁场梯度线圈110的集合,其用于采集初步磁共振数据以

对磁体104的成像区108内的磁自旋进行空间编码。磁场梯度线圈110被连接到磁场梯度线圈电源112。磁场梯度线圈110旨在是代表性的。通常,磁场梯度线圈110包含三个单独的线圈集合,它们用于在三个正交的空间方向上进行空间编码。磁场梯度电源将电流提供给磁场梯度线圈。根据时间来控制被供给到磁场梯度线圈110的电流,并且可以使该电流斜坡变化或脉冲变化。

[0115] 与成像区108相邻的是射频线圈114,其用于操纵成像区108内的磁自旋的取向,并且还用于接收来自成像区108内的自旋的无线电传输。射频天线可以包含多个线圈元件。射频天线也可以被称为通道或天线。射频线圈114被连接到射频收发器116。射频线圈114和射频收发器116可以由单独的发射线圈和接收线圈以及单独的发射器和接收器来代替。应当理解,射频线圈114和射频收发器116是代表性的。射频线圈114还旨在表示专用的发射天线和专用的接收天线。同样,收发器116也可以表示单独的发射器和接收器。射频线圈114也可以具有多个接收元件/发射元件,并且射频收发器116也可以具有多个接收通道/发射通道。例如,如果执行诸如SENSE的并行成像技术,则射频线圈114将具有多个线圈元件。

[0116] 收发器116和梯度控制器112被示为被连接到计算机系统126的硬件接口128。该计算机系统还包括与硬件系统128、存储器134和用户接口132通信的处理器130。存储器134可以是处理器130能访问的存储器的任何组合。这可以包括例如主存储器、高速缓冲存储器,以及诸如闪存RAM、硬盘驱动器或其他存储设备等的非易失性存储器。在一些示例中,存储器130可以被认为非瞬态计算机可读介质。

[0117] 存储器134被示为包含机器可执行指令140,机器可执行指令140使得处理器130能够发送和接收命令以控制磁共振成像系统100的操作和功能。存储器134还被示为包含磁共振指纹脉冲序列命令142。磁共振指纹脉冲序列命令是被配置用于控制磁共振成像系统100以使用磁共振指纹协议来采集或采样磁共振数据的脉冲序列命令。存储器134还被示为包含磁共振指纹磁共振数据144。磁共振指纹磁共振数据是通过利用磁共振指纹脉冲序列命令控制磁共振成像系统100而采集的磁共振数据。存储器134还被示为包含中间图像数据146。中间图像数据146例如可以是根据磁共振指纹磁共振数据的个体样品重建的相位图像或幅度图像。来自这些中间图像数据146的系列的数据可以用于构建包含针对单个体素的测量的磁共振参数的系列或向量148。148本质上是使用磁共振指纹脉冲序列命令142的针对特定体素的磁共振指纹。

[0118] 存储器134还被示为包含亚体素磁共振指纹词典150的集合。能够将磁共振指纹148与亚体素磁共振指纹词典150进行比较,以在亚体素水平上确定在切片选择方向上的体素的含量。存储器152还被示为包含表示使用系列148和若干亚体素磁共振指纹词典而计算的亚体素的组成的值。例如,这可以应用于整个磁共振指纹法,并且能够以较高的分辨率计算在切片选择方向上的磁共振指纹图像的分辨率。否则,磁共振指纹磁共振数据144能够用于计算常规的磁共振指纹图像,并且能够用值152来代替从该图像中选择的一些亚体素的值。

[0119] 图2示出了图示操作图1的磁共振成像系统100的方法的流程图。首先,在步骤200中,利用磁共振指纹脉冲序列命令142来控制磁共振成像系统100。这使得磁共振成像系统100采集磁共振指纹磁共振数据144。接下来,在步骤202中,控制处理器130以使其使用磁共振指纹磁共振数据来构建针对二维切片的每个体素的至少一个磁共振参数值148的系列。

系列中的每个对应于每个脉冲序列重复的采样事件。最后,在步骤204中,使用亚体素磁共振指纹词典150和包含所测量的磁共振参数的系列148来计算针对二维切片的每个体素的两个或更多个亚体素内的预定物质的集合中的每个预定物质的组成。

[0120] 磁共振指纹法(MRF)是磁共振成像(MRI)领域中的一种新的采集和重建技术。磁共振指纹不是采集针对给定的序列参数集合的数据(从而得到具有预定义的对比度的图像),而是收集针对整个范围的不同序列参数的数据。所得到的指纹与根据特性组织参数预计算的信号演变的词典相匹配,从而能够同时估计它们。

[0121] 所有常用的多切片2D MR成像方法在切片选择方向上的空间分辨率都受限于切片宽度。存在超分辨率方法,但是它需要采集额外的重叠切片。

[0122] 所提出的方法通过以下操作来克服这种限制:利用激励脉冲轮廓的形状并且使用MR指纹法来识别切片宽度的不同空间部分的组成成分。这种方法使得能够以切片内空间分辨率来重建图像,而无需切片重叠或额外测量。

[0123] 该方法能够回顾性地应用于标准磁共振指纹测量。

[0124] 实施例具有以下特征中的一个特征:

[0125] 1、一种修改的磁共振指纹词典计算方法:通过对激励脉冲轮廓的不同部分进行积分来计算词典条目。

[0126] 2、一种修改的磁共振指纹重建方法:对于每个体素,通过求解优化问题来确定属于切片轮廓的不同部分的指纹的贡献。

[0127] 在一个示例中,一种用于创建子切片指纹的方法包括以下步骤中的一个或多个步骤:

[0128] 1、计算针对指纹串中使用的每个激励脉冲的RF翻转角和RF相位切片轮廓。图1示出了针对60度脉冲的示例。

[0129] 2、将切片轮廓分割成N个子切片。在图1中,由着色区域指示 $N=2$ 个子切片的集合。

[0130] 3、对于要在指纹词典中包含的每种物质,通过对子切片内的所有翻转角和相位组合的信号响应进行求和来计算针对每个子切片的单独的指纹。在图1的示例中,这能够通过每个着色区域内采样若干点并将子切片指纹计算为属于该区域的所有指纹的总和来实现。

[0131] 翻转角和相位切片轮廓的确切形状取决于RF脉冲强度。对于低翻转角,轮廓几乎为矩形,而对于高翻转角,轮廓是扭曲的。由于确切形状被包括在该计算中,因此在指纹串中包括小翻转角和大翻转角两者可以是有益的,它可以提高对来自不同空间区域的信号响应的可分辨性。

[0132] 图3图示了一种构建具有亚体素分辨率的磁共振指纹的方法。有两个图表。这两个图表中的X轴都在切片选择方向300上。图3示出了通过针对60°RF脉冲的切片的翻转角302和相位角分布304。该翻转角分布是对称的,而相位分布是反对称的。这使得 $Z<0$ 的子切片的信号响应与 $Z>0$ 的子切片的信号响应不同。标示为306的区对应于第一亚体素306的区域,并且区域308对应于第二亚体素的区域。能够看出,在两个亚体素区域内,相位明显不同。这使得能够为每个区域306和308构建单独的磁共振指纹词典,这样实现了亚体素分辨率。通常,射频脉冲被选择为使其具有正方形或对称形状。例如,可以改变射频脉冲而使其不再具有对称的外观,如在标绘300对302的图表中那样。这能够实现将体素分割成两个以上的区域。

对于图3所示的特定示例,可以使用相位在子像素分辨率下区分体素。然而,这取决于相位304。B0场中的错误可以例如导致不准确。

[0133] 在(如图3所示的)N=2个子切片的情况下,相同物质的两个指纹仅在相位上不同,而不是在幅度上不同。如果使用两个以上的子切片,则子切片指纹的幅度分布也会不同。

[0134] 下面讨论了子切片重建的方法。在该示例中,假定测量的信号是来自不同空间区域的指纹的线性组合。

[0135] 可以以不同的方法求解匹配问题。一种方法是在线性优化问题方面来写出求解方案,

[0136] 使 $\|D^T x - s\|_2$ 最小化

[0137] 服从 $x_i > 0$

[0138] 其中,D是复数值词典,其包含所有子切片的所有指纹,s是测量的复数值信号,并且x是组成部分丰度的向量, x_i 是向量x的第i个分量。如果需要考虑个体相位因素(对于在成像体积中具有B0变化的基于SSFP的磁共振指纹序列就是这种情况),则将必须调整最小化问题。可以使用已知的B0图来消除匹配之前指纹信号s中的恒定相位因子。如果对于不同的子切片期望不同的相位因子,则可以将相对相位包括为额外的优化参数。在这种情况下,下面的方法可能更适合。

[0139] 针对两个子切片的情况来说明第二种方法,其中,每个亚体素仅仅包含一种物质,但是可以轻松扩展到更多子切片和组成部分。由于这种方法允许限制为固定数量的组成成分,因此通常应当允许更稳定的解。

[0140] 针对每个体素,测试了针对固定数量的密度比和相对相位的亚体素组成成分的所有可能组合,并且通过将内积与测量的信号进行比较来寻找最佳组合。

[0141] 令n为词典中考虑的物质数量。然后,针对每个子切片,我们有n个指纹。对于这两个子切片,我们可以创建两个包含各自指纹的子词典 $D^{(1)}$ 和 $D^{(2)}$ 。

[0142] 针对物质a和b、比率 ϵ 和相对相位因子 φ 的每种组合,预期信号能够被表示为:

$$[0143] \quad S(a, b, \epsilon, \varphi) = \epsilon D_a^{(1)} + (1 - \epsilon) e^{i\varphi} D_b^{(2)}$$

[0144] 通过选择使经标准化的信号向量的内积最大的参数集合,能够找到针对测量的信号s的最佳匹配:

$$[0145] \quad (a^{\text{opt}}, b^{\text{opt}}, \epsilon^{\text{opt}}, \varphi^{\text{opt}}) = \underset{(a, b, \epsilon, \varphi)}{\operatorname{argmax}} \frac{\langle S(a, b, \epsilon, \varphi), s \rangle}{\|S(a, b, \epsilon, \varphi)\| \|s\|}$$

[0146] 然后,将经优化的指纹索引 a^{opt} 和 b^{opt} 用于在切片选择方向上创建具有双倍分辨率的映射图。两个亚体素中的组成成分的相对质子密度为:

$$[0147] \quad PD_a \propto \epsilon^{\text{opt}} \frac{\|s\|}{\|S(a^{\text{opt}}, b^{\text{opt}}, \epsilon^{\text{opt}}, \varphi^{\text{opt}})\|}, \text{ 以及}$$

$$[0148] \quad PD_b \propto (1 - \epsilon^{\text{opt}}) \frac{\|s\|}{\|S(a^{\text{opt}}, b^{\text{opt}}, \epsilon^{\text{opt}}, \varphi^{\text{opt}})\|}$$

[0149] 图4示出了被重建的常规的磁共振指纹图像。为了构建这些图像,将四个包含不同物质的已知凝胶样品相对于被分成平行切片的感兴趣区域倾斜。图像402对物质1进行成

像,图像404对物质2进行成像,图像406对物质3进行成像,并且图像408对物质4进行成像。每幅图像都来自六个不同切片内的体素。切片0被指示为410,切片1被标示为412,切片2被标示为414,切片3被标示为416,切片4被标示为418,切片5被标示为520。在这四幅图像402、404、406、408中,使用了相同的数据。

[0150] 图5示出了使用相同的磁共振指纹词典但是使用亚体素磁共振指纹词典重建的四幅额外图像。使用磁共振指纹词典执行匹配,该磁共振指纹词典包含针对四种物质的八个指纹,其中,每种物质具有两个子切片指纹。使用上述算法,其中, ϵ 有21个可能值,并且 ϕ 有30个可能值。

[0151] 图像502对应于图像402,图像504对应于图像404,图像506对应于图像406,图像508对应于图像408。通过比较图4和图5能够看出,在两幅图像中均等效地识别出每种物质的位置。在图5中,以更高的分辨率对凝胶样品进行成像。

[0152] 在图5中,能够看到存在一些变化,其中,切片一侧的体素始终比另一侧的体素更亮或更浓。这可能是由于B1+效应或甚至是B0效应。当跨体素存在这些场的梯度时,对亚体素信号产生的效果可以看起来类似于物质的密度分布不均匀。图5所示的示例未考虑对B1场或B0场的校正。该图像中示出的效果可以通过使用例如较低的磁场强度来最小化。在图5所示的示例中,使用了3T的场强。如果使用1.5T或更小的场强,则这种影响可以被最小化。通过在该计算中更准确地考虑场梯度效应,使用完全不对称的切片轮廓,或者测量B0图和B1图并在亚体素信号计算中考虑这些效应,也可以将该效应最小化。

[0153] 作为示例,已经通过使用多切片采集技术对四个已知的凝胶样品的集合进行了成像,其中,四个切片的宽度为8mm。所使用的MR指纹序列是我们的标准磁共振指纹序列,其使用了受到破坏的SSFP的实施方式。将装在薄壁玻璃管中的样品彼此相邻放置并且相对于切片选择方向旋转,以便能够在样品之间的边缘处观察到空间分辨率。图5示出了从子切片分析得出的个体物质的部分体积丰度(密度)。各个管的边缘均得到良好地分辨。

[0154] 在另一示例中,首先执行标准磁共振指纹匹配以创建标准分辨率参数映射图。根据这些映射图,能够确定感兴趣区域(例如,脑中的病变)内和周围的组成成分。然后能够在感兴趣区域中局部地执行所描述的提高空间分辨率的方法。能够将用于空间优化的词典限制到该区域的已知组成成分,从而实现快速稳定的计算。

[0155] 在另一示例中,以这种方式设计RF脉冲,使得RF和相位轮廓是不对称的,以便提高子切片信号的可分辨性。

[0156] 虽然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。

[0157] 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例的其他变型。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。虽然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/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。

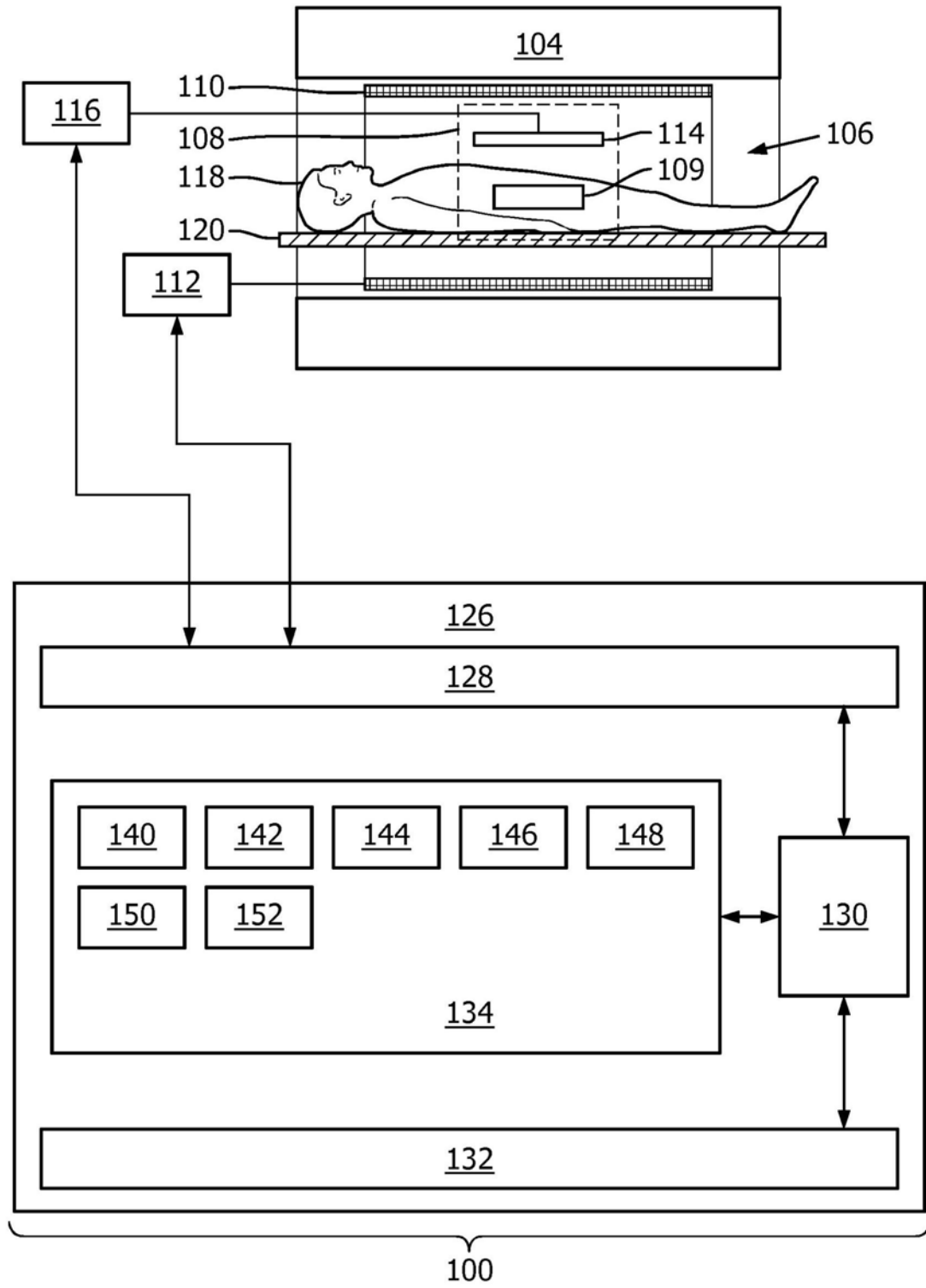


图1

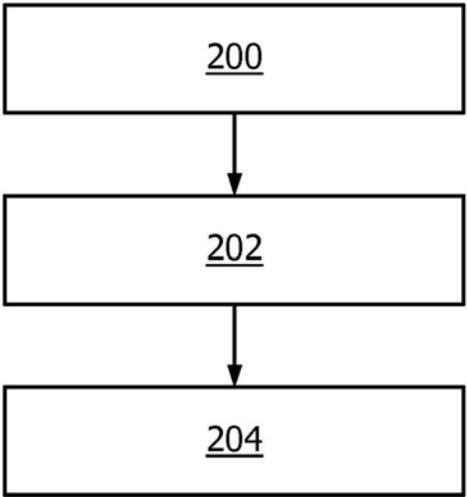


图2

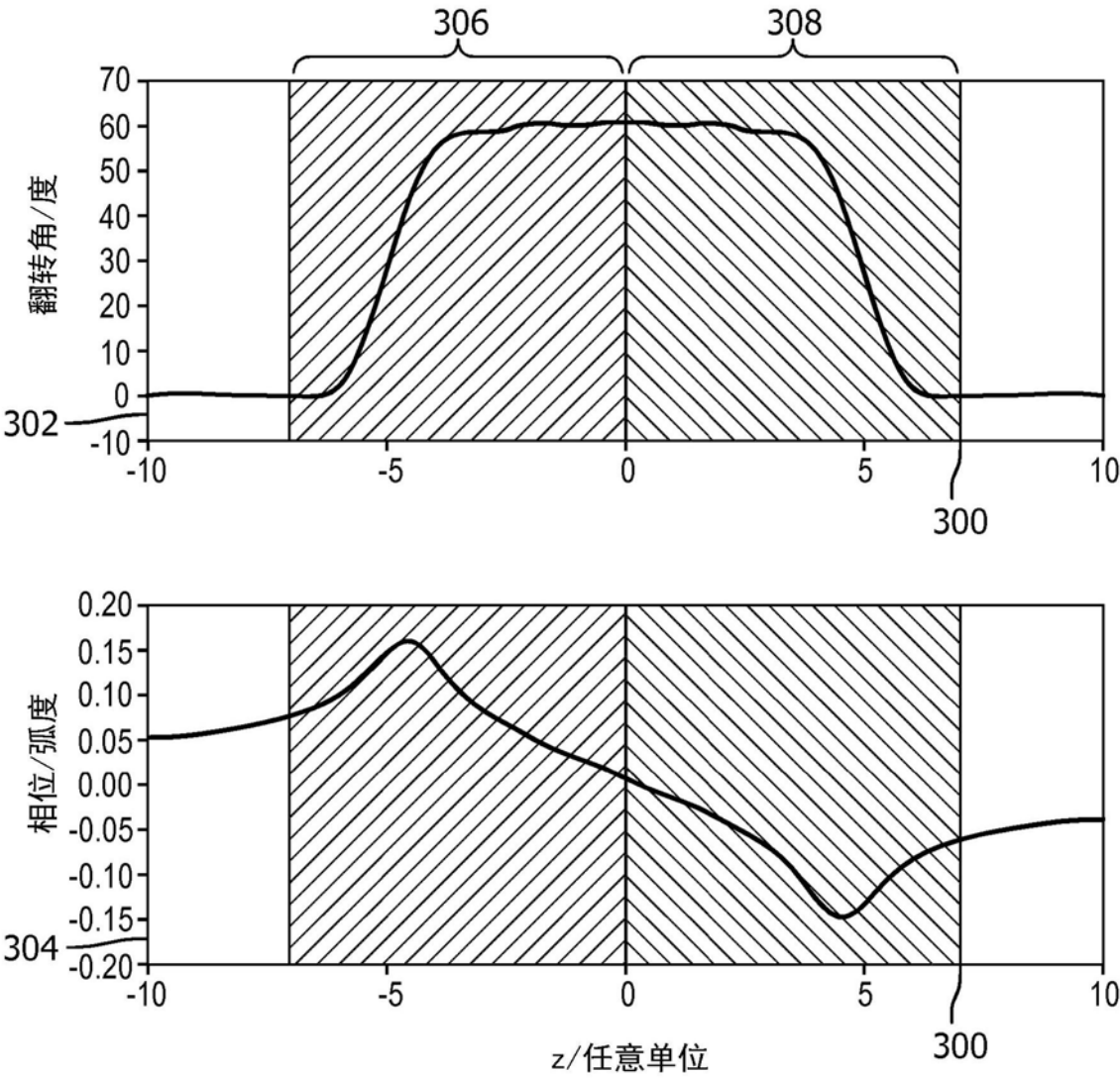


图3

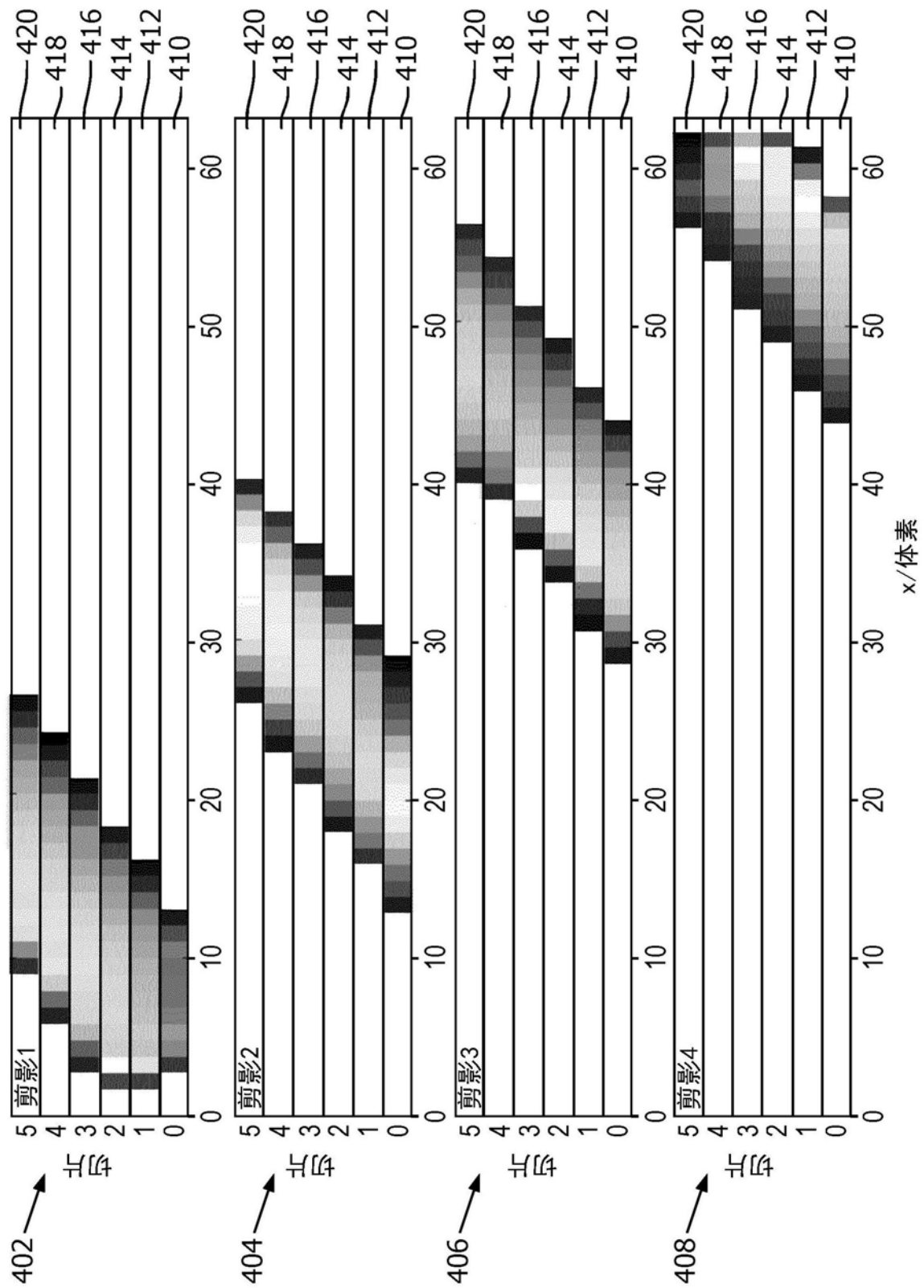


图4

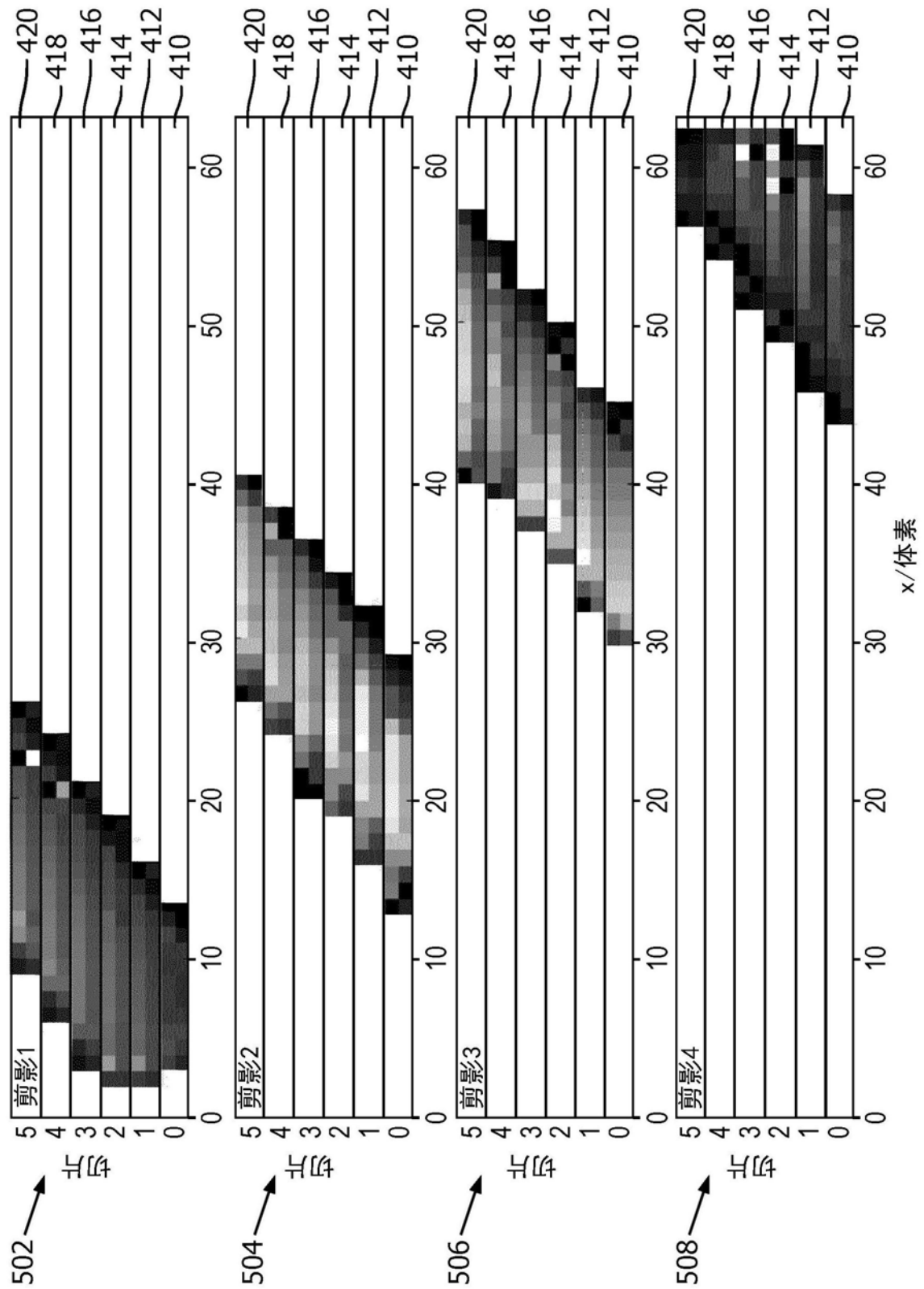


图5