



(45) 授权公告日 2021.08.10

权利要求书3页 说明书11页 附图4页

1. 一种用于从处在测量区(108)内的对象(118)采集磁共振数据(142)的磁共振成像系统(100),其中,所述磁共振成像系统包括:

-处理器(130),其用于控制所述磁共振成像系统;

-存储器(136),其用于存储机器可执行指令(150、152、154)和脉冲序列命令(140),其中,所述脉冲序列命令用于控制所述磁共振成像系统以根据磁共振指纹协议来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生成RF脉冲序列(300),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采集所述磁共振数据作为多个k空间轨迹,其中,所述脉冲序列命令被配置用于控制所述RF脉冲序列被重复用于对所述多个k空间轨迹中的每个的所述采集,其中,所述机器可执行指令使所述处理器:

-通过利用脉冲序列命令控制所述磁共振成像系统来顺序地采集(200)磁共振数据的所述多个k空间轨迹;并且

-仅仅在已经执行了初始采集的预定数量的k空间轨迹之后将所述k空间轨迹与稳态磁共振指纹字典进行比较,并且在已经采集了所述预定数量的k空间轨迹之后,磁化已经达到平衡状态,

-计算(202)在已经采集了所述多个k空间轨迹中的预定数量的k空间轨迹之后采集的k空间轨迹的预定物质集中的每个的丰度,其中,通过将所述磁共振数据与稳态磁共振指纹字典(144)进行比较来确定预定物质集中的每个的丰度,其中,所述稳态磁共振指纹字典包含响应于针对预定物质集的所述RF脉冲序列的计算的磁共振信号的列表,并且

-将k空间轨迹的所述预定数量动态地适应于要确定的各个字典条目的 $T_1$ 和 $T_2$ 值。

2. 根据权利要求1所述的磁共振成像系统,其中,对所述机器可执行指令的执行使得所述处理器丢弃所述预定数量的k空间轨迹。

3. 根据权利要求1所述的磁共振成像系统,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在每个RF脉冲序列之间利用最大延迟来重复所述RF脉冲序列,其中,所述最大延迟是以下项中的任何一个:小于5秒、小于1秒、小于0.5秒、小于0.1秒、小于0.05秒、以及0.00秒。

4. 根据权利要求1所述的磁共振成像系统,其中,所述磁共振成像系统包括具有主磁场的磁体(104),其中,所述主磁场在所述测量区内具有平均磁场大小,其中,对所述机器可执行指令的执行使所述处理器比所述平均磁场大小中的所述预定物质集的最大 $T_1$ 时间快以下项中的任何一个来重复每个RF脉冲序列:5倍、1倍、0.5倍、以及0.1倍。

5. 根据权利要求1所述的磁共振成像系统,其中,对所述机器可执行指令的执行还使所述处理器计算所述稳态磁共振指纹字典。

6. 根据权利要求5所述的磁共振成像系统,其中,对所述机器可执行指令的执行还使所述处理器通过对所述RF脉冲序列到所述预定物质集中的每个的重复应用进行建模来计算所述稳态磁共振指纹字典。

7. 根据权利要求6所述的磁共振成像系统,其中,对所述机器可执行指令的执行还使所述处理器在所述稳态磁共振指纹字典的计算期间确定所述预定数量,其中,所述预定数量使用收敛标准以确定在所述稳态磁共振指纹字典的所述计算期间生成的模拟磁共振数据的收敛来确定。

8. 根据权利要求1-7中的任一项所述的磁共振成像系统,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执行以下项中的任何一个:在k空间中旋转所述多个k空间轨迹、使用径向采样采集所述多个k空间轨迹、使用笛卡尔采样采集所述多个k空间轨迹、以及使用非笛卡尔采样采集所述多个k空间轨迹。

9. 根据权利要求1至7中的任一项所述的磁共振成像系统,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PROPELLER磁共振成像协议来采集所述磁共振数据。

10. 根据权利要求1至7中的任一项所述的磁共振成像系统,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采集所述多个k空间轨迹作为k空间中的螺旋。

11. 根据权利要求1至7中的任一项所述的磁共振成像系统,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采集所述多个k空间轨迹作为笛卡尔k空间中的线。

12. 根据权利要求11所述的磁共振成像系统,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以下项中的任何一个来采集所述磁共振数据:并行成像磁共振成像协议、SENSE磁共振成像协议、以及GRAPPA磁共振成像协议。

13. 一种计算机可读介质,包括用于由控制磁共振成像系统(100)的处理器(130)执行以从处在测量区内的对象(118)采集磁共振数据(142)的机器可执行指令(150、152、154),其中,所述机器可执行指令使所述处理器:

- 通过利用脉冲序列命令(140)控制所述磁共振成像系统来顺序地采集(200)磁共振数据的多个k空间轨迹,所述脉冲序列命令用于控制所述磁共振成像系统以根据磁共振指纹协议来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生成RF脉冲序列(300),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采集所述磁共振数据作为多个k空间轨迹,其中,所述脉冲序列命令被配置用于控制所述RF脉冲序列被重复用于对所述多个k空间轨迹中的每个的所述采集;

- 仅仅在已经执行了初始采集的预定数量的k空间轨迹之后将所述k空间轨迹与稳态磁共振指纹字典进行比较,并且在已经采集了所述预定数量的k空间轨迹之后,磁化已经达到平衡状态,并且

- 计算(202)在已经采集了所述多个k空间轨迹中的预定数量的k空间轨迹之后采集的k空间轨迹的预定物质集中的每个的丰度,其中,通过将所述磁共振数据与稳态磁共振指纹字典(144)进行比较来确定预定物质集中的每个的丰度,其中,所述稳态磁共振指纹字典包含响应于针对预定物质集的所述RF脉冲序列的计算的磁共振信号的列表,并且

- 将k空间轨迹的所述预定数量动态地适应于要确定的各个字典条目的 $T_1$ 和 $T_2$ 值。

14. 一种操作磁共振成像系统(100)以从处在测量区内的对象采集磁共振数据的方法,其中,所述方法包括:

- 通过利用脉冲序列命令控制所述磁共振成像系统来顺序地采集(200)磁共振数据的多个k空间轨迹,所述脉冲序列命令用于控制所述磁共振成像系统以根据磁共振指纹协议来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生成RF脉冲序列(300),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采集所述磁共振数据作为多个k空间轨迹,其中,所述脉冲序列命令被配置用于控制所述RF脉冲序列被重复用于对所述多个k空间轨迹中的每个的所述采集;

- 仅仅在已经执行了初始采集的预定数量的k空间轨迹之后将所述k空间轨迹与稳态磁共振指纹字典进行比较,并且在已经采集了所述预定数量的k空间轨迹之后,磁化已经达到平衡状态,并且

- 计算 (202) 在已经采集了所述多个k空间轨迹中的预定数量的k空间轨迹之后采集的k空间轨迹的预定物质集中的每个的丰度,其中,通过将所述磁共振数据与稳态磁共振指纹字典进行比较来确定预定物质集中的每个的丰度,其中,所述稳态磁共振指纹字典包含响应于针对预定物质集的所述RF脉冲序列的计算的磁共振信号的列表,并且

- 将k空间轨迹的所述预定数量动态地适应于要确定的各个字典条目的 $T_1$ 和 $T_2$ 值。

## 稳态磁共振指纹

### 技术领域

[0001] 本发明涉及磁共振成像,尤其涉及磁共振指纹。

### 背景技术

[0002] 磁共振指纹(MRF)是一种新技术,其中许多按时间分布的RF脉冲被施加,使得它们使来自不同材料或组织的信号对测量的磁共振(MR)信号具有独特贡献。将来自物质集或固定数量的物质的预先计算的信号贡献的有限字典与测量的MR信号进行比较,并且在单个体素内能够确定成分。例如,如果已知一体素仅包括水、脂肪和肌肉组织,则仅需要考虑来自这三种材料的贡献,并且仅需要几个RF脉冲来准确地确定该体素的成分。

[0003] 在Ma等人的期刊文章“Magnetic Resonance Fingerprinting”(Nature,第495卷,第187至193页,doi:10.1038/Nature11971)中介绍了磁共振指纹技术。磁指纹技术还被描述于美国专利申请US 2013/0271132 A1和US 2013/0265047 A1中。美国专利申请US2015/0346300公开了一种磁指纹(MRF)方法,其与同时多体积采集一起应用。

### 发明内容

[0004] 本发明在独立权利要求中提供了一种磁共振成像系统、计算机程序产品和方法。在从属权利要求中给出了实施例。

[0005] Ma等人的Nature文章介绍了磁共振指纹的基本思想和用于描述这种技术的术语,例如字典,在本文中称为“稳态磁共振指纹字典”或“瞬态磁共振指纹字典”。单单术语“字典”应理解为是指磁共振指纹字典。

[0006] 磁共振(MR)数据在本文中被定义为在磁共振成像扫描期间使用磁共振装置的天线记录的由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)图像在本文中被定义为包含在磁共振成像数据内的解剖数据的重建的二维或三维可视化。能够使用计算机执行该可视化。

[0007] 在一个方面,本发明提供了一种用于从处在测量区内的对象采集磁共振数据的磁共振成像系统。所述磁共振成像系统包括用于控制所述磁共振成像系统的处理器。所述磁共振成像系统还包括用于存储机器可执行指令的存储器。存储器用于进一步存储脉冲序列命令。所述脉冲序列命令适用于控制所述磁共振成像系统以根据磁共振指纹协议来采集所述磁共振数据。本文使用的脉冲序列命令包括指令或数据,其可以被转换成用于根据磁共振成像协议来控制磁共振成像系统的指令或命令。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生成射频脉冲序列。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采集所述磁共振数据作为多个k空间轨迹。

[0008] 在磁共振成像中,所述数据在所谓的k空间中被采样。k空间轨迹是通过被采样的k空间的路径。当在笛卡尔空间中采样时,k空间轨迹可以指代被采样的k空间的所谓的线。所述脉冲序列命令被配置用于控制所述射频脉冲序列被重复用于对所述多个k空间轨迹中的每个的所述采集。

[0009] 对所述机器可执行指令的执行使所述处理器通过利用所述脉冲序列命令控制所述磁共振成像系统来顺序地采集磁共振数据的所述多个k空间轨迹。对所述机器可执行指令的执行还使所述处理器计算在已经采集了所述多个k空间轨迹中的初始采集的预定成员的k空间轨迹之后采集的k空间轨迹的预定物质集中的每个的丰度。通过将所述磁共振数据与稳态磁共振指纹字典进行比较来确定预定物质集中的每个的丰度。所述稳态磁共振指纹字典包括响应于针对预定物质集的所述RF脉冲序列的计算的磁共振信号的列表。

[0010] 在该实施例中,在已经执行了初始采集的预定数量的k空间轨迹之后将k空间轨迹与稳态磁共振指纹字典进行比较使得能够更快速地执行对多个k空间轨迹的采集。在RF脉冲序列已经被执行了一次之后,在测量区内的分箱中可能存在残余磁化。在已经采集了预定数量的k空间轨迹之后,磁化最终将达到平衡点。在此之后,可以使用稳态磁共振指纹字典。这例如可以使得能够连续地采集磁共振数据。这还可以使得能够使用磁共振指纹来实现更复杂的磁共振技术。

[0011] 作为示例,在诸如SENSE的并行成像技术中,可以使用用于磁共振指纹的RF脉冲序列。这样做的一个困难是残余磁化可能需要很长的延迟才能够采集更多的数据。通过使用仅在已经执行了一定数量的RF脉冲序列之后使用的稳态磁共振指纹字典,使得磁共振数据能够用于准确地计算稳态磁共振指纹字典中的预定物质的丰度。

[0012] 在另一实施例中,对所述机器可执行指令的执行使所述处理器丢弃初始采集的预定数量的k空间轨迹。例如,为了使自旋置于稳态磁化中,脉冲序列可以被初始地执行预定次数。这可以具有如下技术效果:仅需要单个磁共振指纹字典并且使用该单个磁共振指纹字典,可以加速磁共振数据的采集。在一个示例中,丢弃第一预定数量的采集,并且在执行该采集之后,采集要使用的真实或实际数据。

[0013] 在另一实施例中,所述脉冲序列指令被配置用于控制所述RF脉冲序列被连续地重复。这可以具有尽可能快地采集磁共振数据的技术效果。

[0014] 在另一实施例中,所述脉冲序列指令被配置用于控制所述磁共振成像系统以在每个RF脉冲序列之间利用最大延迟来重复所述RF脉冲序列。最大延迟是以下项中的任何一个:小于5秒、小于1秒、小于0.5秒、小于0.1秒、小于0.05秒以及0.00秒。该实施例可以具有最小化采集之间的延迟的技术效果。

[0015] 在另一实施例中,所述磁共振成像系统包括具有主磁场的磁体。所述主磁场通常被称为所谓的B<sub>0</sub>场。主磁场在测量区内具有平均磁场大小。对所述机器可执行指令的执行使所述处理器比平均磁场大小中的预定物质集的最大T<sub>1</sub>时间快以下项中的任何一个来重复每个RF脉冲序列:5倍、1倍、0.5倍以及0.1倍。稳态磁共振指纹字典中的预定物质集中的每个将具有特定T<sub>1</sub>弛豫时间。所有这些物质的最大T<sub>1</sub>值也取决于主磁场的平均强度。与在不使用稳态磁共振指纹字典的情况相比,以上指出的倍数中的每个使得能够更快地采集磁共振数据。

[0016] 在另一实施例中,对所述机器可执行指令的执行还使所述处理器计算所述稳态磁共振指纹字典。可以使用计算所述稳态磁共振指纹字典的标准方法中的任何一种来计算所述稳态磁共振指纹字典。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所述字典。

[0017] 例如,可以通过重复RF脉冲序列来计算稳态磁共振指纹字典,计算收敛到稳态结

果。在磁共振指纹中,针对特定RF脉冲计算字典。能够使用相同的技术来计算稳态字典。单个RF脉冲被重复多次,并使用相同的计算来计算自旋的响应。在计算已经被重复预定次数之后,对RF脉冲序列的响应达到稳态。以这种方式计算稳态磁共振指纹字典的过程也可以用于确定预定数量。

[0018] 在另一实施例中,对所述机器可执行指令的执行还使所述处理器通过利用针对离散体素中的每个的布洛赫方程将预定物质中的每个建模为单个自旋来计算稳态磁共振指纹字典。例如,在离散体素中的每个中,能够使用布洛赫方程和使用脉冲序列指令的磁共振系统的模拟来对假设自旋进行建模。然后,在采样时间中的每个处计算的磁共振数据是用于被建模的特定自旋类型的磁共振指纹字典。对于仅将测量区划分为单个体素的情况,这将特别有效。它也适用于没有用于空间编码的梯度磁场的情况。例如,磁共振系统可以是用于对样品进行化学分析的所谓的NMR系统。

[0019] 在另一实施例中,对所述机器可执行指令的执行还使所述处理器通过对所述RF脉冲序列到所述预定物质集中的每个的重复应用进行建模来计算所述稳态磁共振指纹字典。

[0020] 在另一实施例中,对所述机器可执行指令的执行还使所述处理器在所述稳态磁共振指纹字典的计算期间确定所述预定数量。使用收敛标准以确定在稳态磁共振指纹字典的计算期间生成的模拟磁共振数据的收敛来确定预定数量。例如,收敛标准可以是最小平方的例程或用于测量多个数据块的距离并计算拟合的其他算法。

[0021] 在另一实施例中,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执行以下项中的任何一个:在k空间中旋转所述多个k空间轨迹、使用径向采样采集所述多个k空间轨迹、使用笛卡尔采样采集所述多个k空间轨迹、以及使用非笛卡尔采样采集所述多个k空间轨迹。

[0022] 在另一实施例中,所述脉冲序列指令被配置用于控制所述磁共振成像系统以根据PROPELLER磁共振成像协议来采集所述磁共振数据。所述PROPELLER磁共振成像协议通过旋转它们来采集k空间线或空间中的轨迹。使用稳态磁共振指纹字典使得能够更快地采集磁共振数据,从而减小对象的运动的影响。PROPELLER磁共振成像协议的使用也可以用于校正对象的运动。这两者的组合可以得到更快地采集的数据,其在采集磁共振数据时不易受到对象的运动的影响。

[0023] 在另一实施例中,所述脉冲序列指令被配置用于控制所述磁共振成像系统以采集所述多个k空间轨迹作为k空间中的螺旋。

[0024] 在另一实施例中,所述脉冲序列指令被配置用于控制所述磁共振成像系统以采集所述多个k空间轨迹作为笛卡尔k空间中的线。

[0025] 在另一实施例中,所述脉冲序列指令被配置用于控制所述磁共振成像系统以根据以下项中的任何一种来采集所述磁共振数据:并行成像磁共振成像协议、SENSE磁共振成像协议、以及GRAPPA磁共振成像协议。

[0026] 在另一实施例中,所述脉冲序列指令被配置用于控制所述磁共振成像系统以根据SENSE磁共振成像协议来采集所述磁共振数据。

[0027] 在另一方面,本发明提供了一种计算机程序产品,包括用于由控制磁共振成像系统的处理器来执行以从处在测量区内的对象采集磁共振数据的机器可执行指令。所述可执

行指令使所述处理器通过利用脉冲序列命令控制所述磁共振成像系统来顺序地采集磁共振数据的多个k空间轨迹,所述脉冲序列命令用于控制所述磁共振成像系统以根据磁共振指纹协议来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生成RF脉冲序列。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采集所述磁共振数据作为多个k空间轨迹。所述脉冲序列命令被配置用于控制所述RF脉冲序列被重复用于对所述多个k空间轨迹中的每个的采集。对所述机器可执行指令的执行还使所述处理器计算在已经采集了所述多个k空间轨迹中的初始采集的预定数量的k空间轨迹之后采集的k空间轨迹的预定物质集中的每个的丰度。通过将所述磁共振数据与稳态磁共振指纹字典进行比较来确定预定物质集中的每个的丰度。所述稳态磁共振指纹字典包括响应于针对预定物质集的所述RF脉冲序列的计算的磁共振信号的列表。

[0028] 在另一方面,本发明还提供了一种操作磁共振成像系统以从处在测量区内的对象采集磁共振数据的方法。所述方法包括通过利用脉冲序列命令控制所述磁共振成像系统来顺序地采集磁共振数据的多个k空间轨迹,所述脉冲序列命令用于控制所述磁共振成像系统以根据磁共振指纹协议来采集所述磁共振数据。所述脉冲序列命令还被配置用于控制所述磁共振成像系统以生成RF脉冲序列。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采集所述磁共振数据作为多个k空间轨迹。所述脉冲序列命令被配置用于控制所述RF脉冲序列被重复用于对所述多个k空间轨迹中的每个的所述采集。所述方法还包括计算在已经采集了所述多个k空间轨迹的初始采集的预定数量的k空间轨迹之后采集的k空间轨迹的预定物质集中的每个的丰度。通过将所述磁共振数据与稳态磁共振指纹字典进行比较来确定预定物质集中的每个的丰度。所述稳态磁共振指纹字典包括响应于针对预定物质集的所述RF脉冲序列的计算的磁共振信号的列表。

[0029] 应当理解,只要组合的实施例不是相互排斥的,就可以组合本发明的前述实施例中的一个或多个。

[0030] 如本领域技术人员将理解的,本发明的各方面可以被体现为装置、方法或计算机程序产品。因此,本发明的各方面可以采取完全硬件实施例、完全软件实施例(包括固件、常驻软件、微代码等)的形式或者组合软件和硬件方面的实施例,其全部可以在本文中被通称为“电路”、“模块”或“系统”。此外,本发明的各方面可以采取体现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,该一个或多个计算机可读介质具有体现在其上的计算机可执行代码。

[0031] 可以使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’包括可以存储可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称为计算机可读非暂时性存储介质。计算机可读存储介质还可以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。计算机可读存储介质的示例包括但不限于:软盘、磁性硬盘驱动器、固态硬盘、闪存、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)和数字通用盘(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访问的各种类型的记录介质。例如,可以通过调制解调器、通过因特网或通过局域网检索数据。体现



在计算机可读介质上的计算机可执行代码可以使用任何适当的介质传输,包括但不限于无线、有线、光纤电缆、RF等,或者前述的任何合适的组合。

[0032] 计算机可读信号介质可以包括传播的数据信号,其中包括计算机可执行代码,例如,在基带中或作为载波的一部分。这样的传播信号可以采用多种形式中的任何一种,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任何计算机可读介质,其不是计算机可读存储介质并且能够通信、传播或传输程序以供指令执行系统、装置或设备使用或与之结合使用。

[0033] ‘计算机存储器’或‘存储器’是计算机可读存储介质的示例。计算机存储器是处理器可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一示例。计算机存储设备是任何非易失性计算机可读存储介质。在一些实施例中,计算机存储设备也可以是计算机存储器。

[0034] 本文使用的‘处理器’包括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该被解释为可能包括多于一个处理器或处理核心。处理器可以例如是多核处理器。处理器还可以指单个计算机系统内的处理器集合或分布在多个计算机系统中。术语计算设备还应该被解释为可能指代每个包括一个或多个处理器的计算设备的集合或网络。计算机可执行代码可以由多个处理器执行,这些处理器可以在同一计算设备内或者甚至可以分布在多个计算设备上。

[0035] 计算机可执行代码可以包括机器可执行指令或使得处理器执行本发明的一个方面的程序。用于执行本发明的各方面的操作的计算机可执行代码可以以一种或多种编程语言的任何组合来编写,包括诸如Java、Smalltalk、C++等的面向对象的编程语言和诸如传统的过程编程语言,诸如“C”编程语言或类似的编程语言并编译成机器可执行指令。在某些情况下,计算机可执行代码可以是高级语言的形式或者是预编译的形式,并且可以与在运行中生成机器可执行指令的解释器结合使用。

[0036] 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,作为独立的软件包,部分在用户的计算机上、部分在远程计算机上或完全在远程计算机或服务器上执行。在后一种情况下,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,包括局域网(LAN)或广域网(WAN),或者可以连接到外部计算机(用于例如,通过互联网使用互联网服务提供商)。

[0037] 参考根据本发明实施例的方法、装置(系统)和计算机程序产品的流程图和/或框图来描述本发明的各方面。应当理解,流程图、图示和/或框图的每个框或框的一部分能够在适用时以计算机可执行代码的形式由计算机程序指令实现。进一步理解的是,当不相互排斥时,可以组合不同流程图、图示和/或框图中的框的组合。这些计算机程序指令可以被提供给通用计算机、专用计算机或其他可编程数据处理装置的处理器以产生机器,使得经由计算机的处理器或其他可编程数据处理装置执行的指令创建用于实现流程图和/或框图框中指定的功能/动作的方法。

[0038] 这些计算机程序指令还可以存储在计算机可读介质中,该计算机可读介质能够指示计算机、其他可编程数据处理装置或其他设备以特定方式起作用,使得存储在计算机可读介质中的指令产生制品,该制品包括实现流程图和/或框图框中指定的功能/动作的指令。

[0039] 计算机程序指令还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,以使得在计算机、其他可编程装置或其他设备上执行一系列操作步骤,以产生计算机实现的过程,使得在计算机或其他可编程装置上执行的指令提供用于实现在流程图和/或框图框中指定的功能/动作的过程。

[0040] 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’也可以称为‘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计算机接收,并且可以从计算机向用户提供输出。换句话说,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。在显示器或图形用户接口上显示数据或信息是向操作员提供信息的示例。通过键盘、鼠标、轨迹球、触摸板、指点杆、图形输入板、操纵杆、游戏手柄、网络摄像头、耳机、踏板、有线手套、遥控器以及加速度计接收数据都是用户接口元件的示例,它们能够接收来自操作者的信息或数据。

[0041] 本文使用的‘硬件接口’包括使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将控制信号或指令发送到外部计算设备和/或装置。硬件接口还可以使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。

[0042] 本文使用的‘显示器’或‘显示设备’包括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、音频和/或触觉数据。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、双稳态显示器、电子纸、矢量显示器、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)、等离子显示器面板(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。

## 附图说明

[0043] 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:

[0044] 图1图示了磁共振成像系统的示例;

[0045] 图2示出了图示使用图1的磁共振成像系统的方法的流程图;

[0046] 图3示出了磁共振信号达到稳态的概念;以及

[0047] 图4示出了具有多个已知样本的体模的三个磁共振指纹图像。

[0048] 附图标记列表

[0049] 1 凝胶样品 1

[0050] 2 凝胶样品 2

[0051] 3 凝胶样品 3

[0052] 4 凝胶样品 4

[0053] 6 凝胶样品 6

[0054] 7 凝胶样品 7

[0055] 8 凝胶样品 8

- [0056] 9 凝胶样品 9
- [0057] 10 凝胶样品 10
- [0058] 11 凝胶样品 11
- [0059] 12 凝胶样品 12
- [0060] 13 凝胶样品 13
- [0061] 14 凝胶样品 14
- [0062] 100 磁共振成像系统
- [0063] 104 磁体
- [0064] 106 磁体的膛
- [0065] 108 测量区或成像区
- [0066] 110 磁场梯度线圈
- [0067] 112 磁场梯度线圈电源
- [0068] 114 射频线圈
- [0069] 116 收发器
- [0070] 118 对象
- [0071] 120 对象支撑物
- [0072] 122 致动器
- [0073] 124 预定方向
- [0074] 125 切片
- [0075] 126 计算机系统
- [0076] 128 硬件接口
- [0077] 130 处理器
- [0078] 132 用户接口
- [0079] 134 计算机存储设备
- [0080] 136 计算机存储器
- [0081] 140 脉冲序列命令
- [0082] 142 磁共振数据
- [0083] 144 稳态磁共振指纹字典
- [0084] 148 磁共振图像
- [0085] 150 控制指令
- [0086] 152 磁共振指纹字典生成指令
- [0087] 154 图像重建指令
- [0088] 200 通过利用脉冲序列命令控制磁共振成像系统来顺序地采集磁共振数据的多个k空间轨迹
- [0089] 202 计算在已经采集了多个k空间轨迹中的预定数量的k空间轨迹之后采集的k空间轨迹的预定物质集中的每个的丰度
- [0090] 300 RF脉冲
- [0091] 302 MR信号
- [0092] 304 MR信号

[0093] 306 第一MR信号

### 具体实施方式

[0094] 这些图中相似编号的元件是等效元件或执行相同功能。在功能相同时,先前讨论过的元件不必在后面的图中讨论。

[0095] 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是超导圆柱形磁体,具有穿过它的膛106。也可以使用不同类型的磁体;例如,也可以使用分裂圆柱形磁体和所谓的开放磁体。分裂圆柱形磁体类似于标准圆柱形磁体,除了低温恒温器已经被分裂成两个部分以允许进入磁体的等平面,这样的磁体可以例如与带电粒子束疗法结合使用。开放磁体具有两个磁体部分,一个在另一个之上,其间具有足够大的空间以接收对象:两个部分面积的布置类似于亥姆霍兹线圈的布置。开放磁体很受欢迎,因为对象受限制较少。在圆柱形磁体的低温恒温器内部有一组超导线圈。在圆柱形磁体104的膛106内,存在成像区108,其中磁场强且足够均匀以执行磁共振成像。

[0096] 在磁体的膛106内,还存在一组磁场梯度线圈110,其用于采集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包括三个单独的线圈集,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110的电流根据时间而被控制,并且可以是斜变的或脉冲的。

[0097] 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用于接收来自也在成像区108内的自旋的无线电传输。射频天线可以包括多个线圈元件。射频天线也可以称为通道或天线。射频线圈114连接到射频收发器116。射频线圈114和射频收发器116可以由单独的发射和接收线圈以及单独的发射器和接收器代替。可以理解,射频线圈114和射频收发器116是代表性的。射频线圈114还旨在表示专用发射天线和专用接收天线。同样地,收发器116还可以表示单独的发射器和接收器。射频线圈114还可以具有多个接收/发射元件,并且射频收发器116可以具有多个接收/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可以具有多个线圈元件。

[0098] 收发器116和磁场梯度线圈电源112都连接到计算机系统126的硬件接口128。

[0099] 计算机存储设备134被示为包括脉冲序列命令140。脉冲序列命令控制磁共振成像系统100以根据磁共振指纹协议来采集磁共振数据142。磁共振数据142被示为存储在计算机存储设备134中。计算机存储设备134还被示为包括稳态磁共振指纹字典144。计算机存储设备134还被进一步示为包括磁共振图像148,该磁共振图像148根据磁共振指纹协议从磁共振数据142重建。磁共振图像148可以例如是预定物质集中的各种物质的浓度的二维或三维图。

[0100] 计算机存储器136被示为包括控制指令150。控制指令150包括使处理器130能够控制磁共振成像系统100的操作和功能的指令。例如,控制指令150可以包括使处理器130能够使用脉冲序列命令140来控制磁共振成像系统的命令。计算机存储器136还被示为包括磁共振指纹字典生成指令152。磁共振指纹字典生成指令152是可选的。它们例如可以包括用于生成稳态磁共振指纹字典144的模型。计算机存储器136还被示为包括图像重建指令154。图像重建指令154包括使得处理器130能够从磁共振数据142重建磁共振图像148的指令。例

如,磁共振图像148可以是对象118内的预定物质中的一个或多个的空间分布的绘制。

[0101] 计算机存储设备134和计算机存储器136的内容可以彼此重复,或者可以交换任一个的内容。

[0102] 可以修改图1的示例,使得磁共振成像系统或装置100等同于核磁共振(NMR)光谱仪。在没有梯度线圈110和梯度线圈电源112的情况下,装置100将在成像区域108中执行0维测量。

[0103] 图2示出了图示操作图1的磁共振成像系统100的方法的示例的流程图。首先,在步骤200中,通过利用脉冲序列命令140控制磁共振成像系统100来顺序地采集多个k空间轨迹的磁共振数据142。脉冲序列命令140控制磁共振成像系统以根据磁共振指纹协议来采集磁共振数据。脉冲序列命令140被配置用于控制磁共振成像系统100以生成RF脉冲序列。脉冲序列命令140被配置用于控制磁共振成像系统以采集磁共振数据142作为多个k空间轨迹。脉冲序列命令140被配置用于控制RF脉冲序列被重复用于对多个k空间轨迹中的每个的采集。

[0104] 该方法还包括计算202在已经采集了多个k空间轨迹中的初始采集的预定数量的k空间轨迹之后采集的k空间轨迹的预定物质集中的每个的丰度。通过将磁共振数据与稳态磁共振指纹字典144进行比较来确定预定物质集中的每个的丰度。稳态磁共振指纹字典144包括响应于针对预定物质集的RF脉冲序列的计算的磁共振信号的列表。在一些示例中,丢弃初始采集的预定数量的k空间轨迹。

[0105] 磁共振指纹(MRF)是一种用于定量多参数测量和组织表征的有前景的技术。一系列RF脉冲产生MR信号,其用作特定组织类型的指纹。稍后能够将该指纹与已知信号的字典进行比较。

[0106] 许多先前报道的方法将长指纹序列与螺旋采样结合以便快速采集。然而,缩短MRF序列并将笛卡尔采样与SENSE结合使用以加速采集在技术上也是有益的。在这种情况下,必须对要被采样的k空间中的每个轨迹应用一次脉冲序列。对于高分辨率径向或螺旋采样也是如此,其中随后测量多个k空间轨迹。本发明关注于在单独的部分中对k空间进行采样的这种情况。

[0107] 随后以交错方式在k空间中采样多个轨迹或段(如在笛卡尔采样技术中)通常需要等待自旋系统在指纹采集之间放松,使得典型的采集时间非常长。

[0108] 可以通过以下方式克服这个缺点:不是等待自旋系统完全放松,而是缩短延迟并且在字典的计算中考虑指纹序列之间的自旋系统的时间发展。我们证明,能够找到指纹信号的稳定解用于此目的。

[0109] 通过这种方式,能够显著加速笛卡尔或其他密集采样的MRF扫描,而不会影响匹配准确度。

[0110] 示例可以包括以下特征中的一个或多个:

[0111] 一种采集MR信号的MR成像系统。

[0112] 一种根据伪随机MR指纹序列采集数据的程序。

[0113] 一种基于稳态MRF信号计算MRF字典的软件,如下所述。

[0114] 一种将测量信号与字典进行匹配的方法。

[0115] 计算字典条目的一种方式如下:

[0116] 1、组成一个序列,该序列包括具有序列间延迟 $t_d$ 的基本MRF序列的多个重复。

[0117] 2、计算完整组成序列的组织参数集的预期信号,考虑延迟期间自旋系统的时间发展。计算类型取决于所使用的MR序列的类型。它能够是单个自旋的布洛赫模拟、自旋集合的布洛赫模拟、扩展相图计算、或者充分地描述系统的任何其他自旋模型计算。

[0118] 3、根据计算出的信号,剪出与最后一次指纹重复对应的部分,并将该指纹信号用作字典条目。

[0119] 然后必须使用与计算中假设的相同的序列间延迟 $t_d$ 来执行MRF测量。

[0120] 示例

[0121] 在该示例中使用的磁共振指纹序列是基于损坏的梯度回波序列的。它包括一系列200个翻转角,前面有一个反转脉冲,200个步骤的总时间为3秒。序列被重复若干次,并使用扩展相位图形式计算完整脉冲序列的预期信号。使用配备有已知凝胶样品的体模进行测量。MRF字典包括用于不同的样本的18个条目( $227\text{ms} \leq T1 \leq 1646\text{ms}$ ;  $48\text{ms} \leq T2 \leq 369\text{ms}$ ),其中的12个存在于体模中,并且一个条目用于背景。

[0122] 图3用于说明磁共振信号达到稳态的概念。有三个曲线图。曲线图300示出了在磁共振指纹序列中使用的四个射频脉冲。下面的曲线图302和304示出了响应于曲线图300的RF脉冲的测量的磁共振信号。在曲线图302中,与曲线图300中的RF脉冲中的每个的总长度相比, $T1$ 弛豫时间和 $T2$ 弛豫时间短。能够看出,在曲线图302中的测量信号之间仅存在微小差异。在下面的曲线图304中,与曲线图300中的RF脉冲相比, $T1$ 时间长。能够看出,第一MR信号306与随后的磁共振信号完全不同。能够看出,如果第一MR信号306被丢弃或者适合于不同的磁共振指纹字典,则被测量的后续磁共振信号可以适合于稳态磁共振指纹字典。

[0123] 图4示出了具有多个已知样本的体模的三个磁共振指纹图像400、402、404。对于这三个图像,将配备有已知凝胶样本的体模与具有18个不同条目的磁共振指纹字典进行比较。在该示例中,体模包括18个不同样本中的12个。当采集图像400的磁共振数据时,在RF脉冲序列中的射频脉冲中的每个之间存在5秒的延迟。在图像400中,正确识别12个样品中的每个。在图像402中,在RF脉冲中的每个之间的延迟仅为0.5秒。在对在402至404中识别的样本进行比较时,能够看出,图像402的左上方中仅标记为1、2和3的样本中的三个被正确识别。其他样本被错误识别,并用穿过其的对角线标记以指示它是不正确的。

[0124] 在图像404中,使用稳态磁共振指纹字典,并且能够看出,所有样本与它们在图像400中如何被识别的方式相同地被识别。在图像404中,延迟也仅为0.5秒。图像400的采集花费了8分33秒,并且图像404的采集仅花费了3分45秒。这说明了如何使用稳态磁共振指纹字典来从根本上加速磁共振指纹协议的磁共振数据的采集。

[0125] 当重复之间的延迟很短时,自旋系统在下一个反转脉冲之前不会完全放松。虽然短 $T1$ 系统(图3,图像302)的信号响应对于每次重复几乎相同,但长 $T1$ 系统(图3,图像304)表现出不同的信号响应。然而,在三次重复之后,甚至该系统也达到稳定指纹。在第一次测量中,MRF序列重复之间的延迟很大(5s),使得每次都能够假设完全放松的自旋系统。使用利用该假设计算的字典,所有12个样本数被正确地匹配(图4,图像400)。当延迟减小到0.5秒时,相同的字典导致错误匹配,因为放松自旋系统的假设不再有效(图4,图像402)。当计算三个序列重复的序列并使用稳态指纹信号用于字典时,所有样本再次被正确地匹配(图4,404)。第一次测量需要8:33分钟,第二次测量仅需3:45分钟。

[0126] 在另一示例中,在k空间的最不重要部分中执行第一次采集,使得初始(瞬态)MRF信号不会使所得到的图像失真太多。

[0127] 在另一示例中,在数据采集开始之前,将MRF序列的几个“哑”重复应用于系统。以这种方式,系统在第一次采集时已经处于稳态。

[0128] 在另一示例中,用于计算的重复的数量被动态地适应于要确定的各个字典条目的T1和T2值。选择重复的数量,使得系统在最后一次重复中已经达到稳态。由于具有较小弛豫常数的系统较早地接近稳态,因此能够节省一些计算时间。

[0129] 在另一示例中,以具有序列间延迟 $t_d=0$ 的接收方式执行具有一对辐条的径向采样或具有多个交错的螺旋采样。

[0130] 虽然已经在附图和前面的描述中详细说明和描述了本发明,但是这样的说明和描述应被认为是说明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。

[0131] 通过研究附图、说明书和所附权利要求书,本领域技术人员在实践所要求保护的发明时能够理解和实现所公开实施例的其他变型。在权利要求中,词语“包括”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权利要求中记载的若干项的功能。在相互不同的从属权利要求中记载了某些措施的仅有事实并不表示不能有利地使用这些措施的组合。计算机程序可以存储/分布在合适的介质上,例如与其他硬件一起提供或作为其他硬件的一部分提供的光学存储介质或固态介质,但也可以以其他形式分布,例如经由因特网或其他有线或无线电信系统。权利要求中的任何附图标记不应被解释为限制范围。

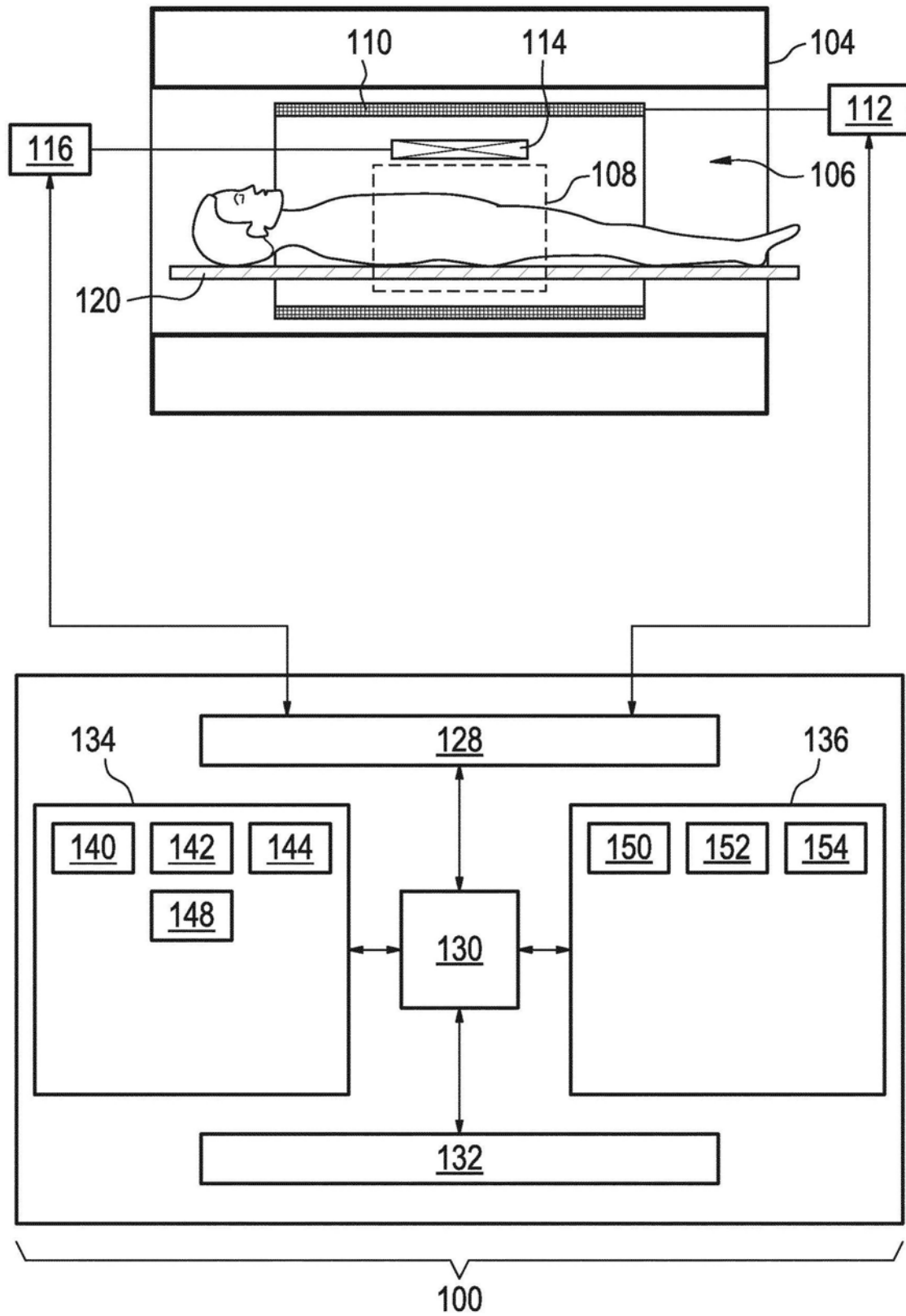


图1



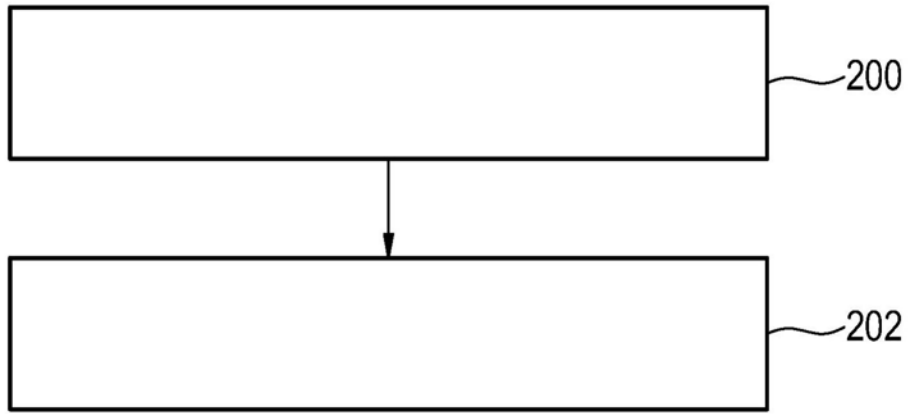


图2

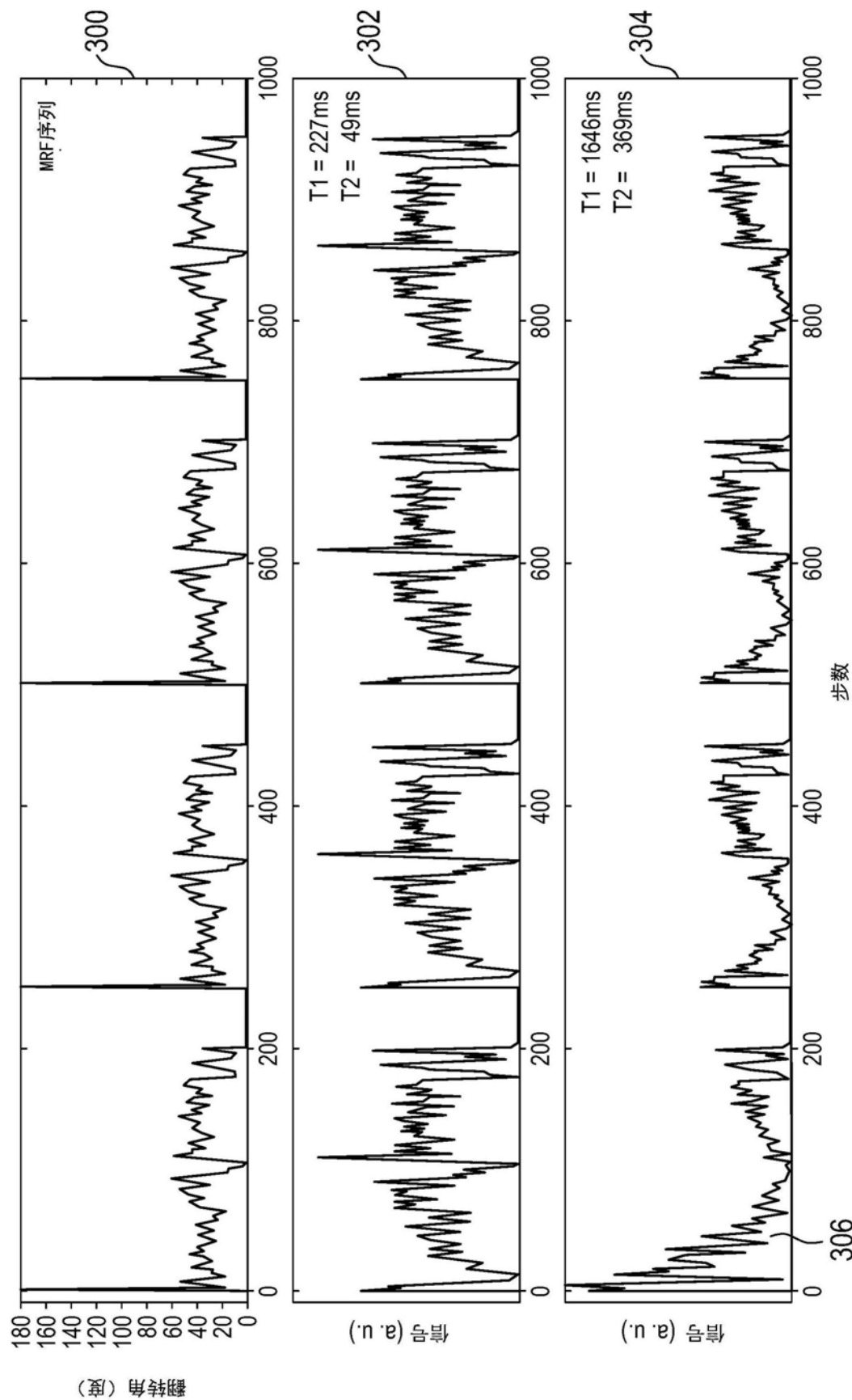


图3

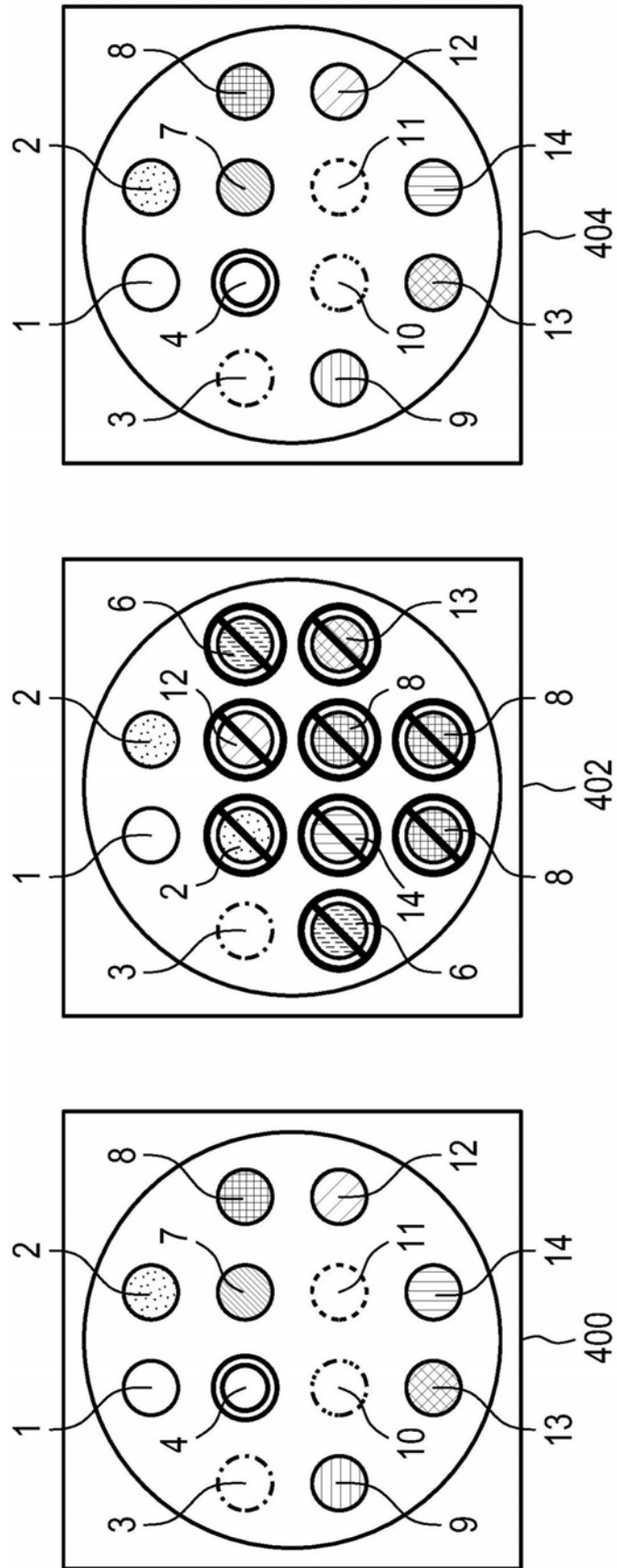


图4