



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103154761 B

(45) 授权公告日 2015. 11. 25

(21) 申请号 201180050351. 8

(22) 申请日 2011. 08. 15

(30) 优先权数据

10173556. 1 2010. 08. 20 EP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2013. 04. 18

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/IB2011/053611 2011. 08. 15

(87) PCT国际申请的公布数据

W02012/023098 EN 2012. 02. 23

(73) 专利权人 皇家飞利浦电子股份有限公司

地址 荷兰艾恩德霍芬

(72) 发明人 K·内尔克 P·博尔纳特

(74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

72002

代理人 王英 刘炳胜

(51) Int. Cl.

G01R 33/561(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 101529268 A, 2009. 09. 09,

CN 1555492 A, 2004. 12. 15,

CN 1809759 A, 2006. 07. 26,

CN 1910470 A, 2007. 02. 07,

US 2003/0214294 A1, 2003. 11. 20,

WO 2008026174 A2, 2008. 03. 06,

WO 2009/128013 A1, 2009. 10. 22,

WO 2009112987 A1, 2009. 09. 17,

A. C. ZELINSKI et al.. Sparsity-Enforced Coil Array Mode Compression for Parallel Transmission. 《International Society For Magnetic Resonance in medicine》. 2008, 第 16 卷

J. Nistler et al.. B1 homogenisation using a multichannel transmit array. 《International Society For Magnetic Resonance in medicine》. 2006, 第 14 卷

K. Nehrke et al.. Improved B1-Mapping for multi RF Transmit Systems. 《International Society For Magnetic Resonance in medicine》. 2008, 第 16 卷

审查员 王蒙

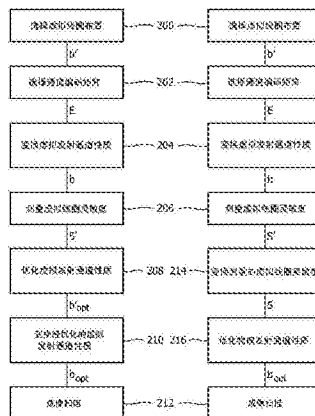
权利要求书5页 说明书11页 附图4页

(54) 发明名称

在并行发射 MRI 中的虚拟线圈仿真

(57) 摘要

本发明涉及一种用于磁共振成像扫描中以采集对象(10)的磁共振图像的虚拟线圈仿真方法,其中,由MR系统(1)利用包括个体发射线圈组的物理线圈布置(9、11、12、13)执行扫描,线圈适于向对象(10)发射期望的RF发射场,用于对象(10)的磁共振自旋激励,其中,每个线圈与一物理发射通道相关联,其中,RF发射场对应于两个或更多个所述线圈的虚拟布置,其中,虚拟发射通道性质包括分配给RF发射场的虚拟发射通道权重,所述虚拟发射通道权重描述为了生成RF发射场而需要施加到物理线圈(9、11、12、13)的关于虚拟线圈布置的每个个体线圈的虚拟复RF场幅度。



CN 103154761 B

1. 一种执行磁共振成像扫描以采集对象 (10) 的磁共振图像的方法, 其中, 利用包括个体发射线圈组的物理线圈布置 (9、11、12、13) 执行所述扫描, 所述线圈适于向所述对象 (10) 发射 RF 发射场用于所述对象 (10) 的磁共振自旋激励, 其中, 每个线圈与一物理发射通道相关联, 所述方法包括:

a) 选择要由所述线圈生成的期望的 RF 发射场, 所述 RF 发射场对应于所述线圈中的两个或更多的虚拟布置, 其中, 向所述 RF 发射场分配包括虚拟发射通道权重的虚拟发射通道性质, 所述虚拟发射通道权重描述为了生成所述 RF 发射场而需要施加到所述物理线圈布置 (9、11、12、13) 的关于所述虚拟线圈布置中的每个个体线圈的虚拟复 RF 场幅度,

b) 利用通道编码矩阵变换所述虚拟发射通道性质, 所述通道编码矩阵描述所述虚拟线圈布置的所述虚拟发射通道性质到所述物理线圈布置 (9、11、12、13) 的物理发射通道性质的变换,

c) 利用针对每个虚拟线圈的相应变换的个体虚拟发射通道性质测量两个或更多个虚拟线圈的个体虚拟线圈灵敏度, 其中, 由对应虚拟发射通道性质和对应虚拟线圈灵敏度的组合给出每个个体虚拟线圈的 RF 发射场,

d) 利用测量的虚拟线圈灵敏度针对每个虚拟线圈优化所述个体虚拟发射通道性质, 以便以更高的精确度获得所述期望的 RF 发射场,

e) 利用所述通道编码矩阵变换经优化的虚拟发射通道性质, 所述变换获得包括物理发射通道权重的物理发射通道性质, 所述物理发射通道权重描述关于所述物理线圈布置 (9、11、12、13) 中的每个个体线圈的物理复 RF 场幅度,

f) 利用所述物理发射通道性质执行所述磁共振成像扫描。

2. 根据权利要求 1 所述的方法, 其中, 所述物理发射通道性质和所述虚拟发射通道性质还包括针对每个虚拟线圈的时间相关的 RF 脉冲波形, 其中, 所述虚拟发射通道性质和所述经优化的虚拟发射通道性质的变换考虑了所述 RF 脉冲波形的时间相关性。

3. 根据权利要求 2 所述的方法, 其中, 在不同时间点针对 MR 成像序列的不同的期望的 RF 发射场重复步骤 a) 到 f), 其中, 在步骤 f) 中, 利用与在所述不同时间点的所述不同的期望的 RF 发射场对应的所述物理发射通道性质执行所述磁共振成像扫描。

4. 根据权利要求 1 所述的方法, 其中, 利用测量的虚拟线圈灵敏度针对每个虚拟线圈优化所述个体虚拟发射通道性质, 以便在待成像的所述对象 (10) 处在以更高的空间均匀性获得所述期望的 RF 发射场。

5. 根据权利要求 1 所述的方法, 还包括确定发射通道编码矩阵, 其中, 通过如下方式进行所述确定:

- 考虑待成像的所述对象 (10) 的存在, 对所述期望的 RF 发射场进行数学模拟, 和 / 或
- 指导所述线圈的物理发射线圈灵敏度的先验测量, 和 / 或
- 确定所述线圈的 RF 接收性质, 并从所述接收性质计算所述线圈的所述物理发射线圈灵敏度。

6. 根据权利要求 1 所述的方法, 其中, 由磁共振成像系统的控制器执行所述方法, 其中, 所述控制器包括方法部件 (300)、虚拟线圈仿真部件 (302) 和驱动器部件 (304), 其中,

- 所述方法部件 (300) 控制执行步骤 a)、c)、d) 和 f), 并且
- 所述虚拟线圈仿真部件 (302) 控制执行步骤 b) 和 e),

其中,所述方法部件(300)经由所述虚拟线圈仿真部件(302)控制所述驱动器部件(304)以驱动所述线圈,其中,所述虚拟线圈仿真部件(302)对所述方法部件(300)仿真仅存在所述虚拟线圈布置。

7. 根据权利要求6所述的方法,其中,对所述方法部件仿真的所述虚拟线圈布置包括若干虚拟线圈。

8. 根据权利要求7所述的方法,其中,虚拟线圈的数量取决于:

- 所述对象(10),和/或
- 用于执行所述磁共振成像扫描的期望的成像序列,和/或
- 用于执行所述磁共振成像扫描的期望的线圈类型,和/或
- 所述控制器的用户的身份验证。

9. 根据权利要求8所述的方法,其中,所述对象(10)是待成像的目标解剖结构。

10. 根据权利要求7所述的方法,其中,虚拟线圈的数量取决于要暴露至所述对象(10)的最大比吸收率水平。

11. 一种适于执行磁共振成像扫描以采集对象(10)的磁共振图像的磁共振成像系统(1),其中,所述系统包括适于执行所述扫描的物理线圈布置(9、11、12、13),其包括个体发射线圈组,所述线圈适于向所述对象(10)发射RF发射场用于所述对象(10)的磁共振自旋激励,其中,每个线圈与一物理发射通道相关联,所述系统适于执行如下操作:

a) 选择要由所述线圈生成的期望的RF发射场,所述RF发射场对应于所述线圈中的两个或更多个的虚拟布置,其中,向所述RF发射场分配包括虚拟发射通道权重的虚拟发射通道性质,所述虚拟发射通道权重描述为了生成所述RF发射场而需要施加到所述物理线圈布置(9、11、12、13)的关于所述虚拟线圈布置中的每个个体线圈的虚拟复RF场幅度,

b) 利用通道编码矩阵变换所述虚拟发射通道性质,所述通道编码矩阵描述所述虚拟线圈布置的所述虚拟发射通道性质到所述物理线圈布置(9、11、12、13)的物理发射通道性质的变换,

c) 利用针对每个虚拟线圈的相应变换的个体虚拟发射通道性质测量两个或更多个虚拟线圈的个体虚拟线圈灵敏度,其中,由对应虚拟发射通道性质和对应虚拟线圈灵敏度的组合给出每个个体虚拟线圈的RF发射场,

d) 利用测量的虚拟线圈灵敏度针对每个虚拟线圈优化所述个体虚拟发射通道性质,以便以更高的精确度获得所述期望的RF发射场,

e) 利用所述通道编码矩阵变换经优化的虚拟发射通道性质,所述变换获得包括物理发射通道权重的物理发射通道性质,所述物理发射通道权重描述关于所述物理线圈布置(9、11、12、13)中的每个个体线圈的物理复RF场幅度,

f) 利用所述物理发射通道性质执行所述磁共振成像扫描。

12. 根据权利要求11所述的系统(1),还包括控制器,其用于控制步骤a)到f),其中,所述控制器包括方法部件(300)、虚拟线圈仿真部件(302)和驱动器部件(304),其中,

- 所述方法部件(300)适于控制步骤a)、c)、d)和f),并且
- 所述虚拟线圈仿真部件(302)适于控制执行步骤b)和e),

其中,所述方法部件(300)适于经由所述虚拟线圈仿真部件(302)控制所述驱动器部件(304)以驱动所述线圈,其中,所述虚拟线圈仿真部件(302)适于对所述方法部件(300)

仿真仅存在所述虚拟线圈布置。

13. 一种执行磁共振成像扫描以采集对象 (10) 的磁共振图像的装置, 其中, 利用包括个体发射线圈组的物理线圈布置 (9、11、12、13) 执行所述扫描, 所述线圈适于向所述对象 (10) 发射 RF 发射场用于所述对象 (10) 的磁共振自旋激励, 其中, 每个线圈与一物理发射通道相关联, 所述装置包括:

a) 用于选择要由所述线圈生成的期望的 RF 发射场的模块, 所述 RF 发射场对应于所述线圈中的两个或更多个的虚拟布置, 其中, 向所述 RF 发射场分配包括虚拟发射通道权重的虚拟发射通道性质, 所述虚拟发射通道权重描述为了生成所述 RF 发射场而需要施加到所述物理线圈布置 (9、11、12、13) 的关于所述虚拟线圈布置中的每个个体线圈的虚拟复 RF 场幅度,

b) 用于利用通道编码矩阵变换所述虚拟发射通道性质的模块, 所述通道编码矩阵描述所述虚拟线圈布置的所述虚拟发射通道性质到所述物理线圈布置 (9、11、12、13) 的物理发射通道性质的变换,

c) 用于利用针对每个虚拟线圈的相应变换的个体虚拟发射通道性质测量两个或更多个虚拟线圈的个体虚拟线圈灵敏度的模块, 其中, 由对应虚拟发射通道性质和对应虚拟线圈灵敏度的组合给出每个个体虚拟线圈的 RF 发射场,

d) 用于利用测量的虚拟线圈灵敏度针对每个虚拟线圈优化所述个体虚拟发射通道性质, 以便以更高的精确度获得所述期望的 RF 发射场的模块,

e) 用于利用所述通道编码矩阵变换经优化的虚拟发射通道性质的模块, 所述变换获得包括物理发射通道权重的物理发射通道性质, 所述物理发射通道权重描述关于所述物理线圈布置 (9、11、12、13) 中的每个个体线圈的物理复 RF 场幅度,

f) 用于利用所述物理发射通道性质执行所述磁共振成像扫描的模块。

14. 根据权利要求 13 所述的装置, 其中, 所述物理发射通道性质和所述虚拟发射通道性质还包括针对每个虚拟线圈的时间相关的 RF 脉冲波形, 其中, 所述虚拟发射通道性质和所述经优化的虚拟发射通道性质的变换考虑了所述 RF 脉冲波形的时间相关性。

15. 根据权利要求 14 所述的装置, 其中, 在不同时间点针对 MR 成像序列的不同的期望的 RF 发射场重复步骤 a) 到 f), 其中, 在步骤 f) 中, 利用与在所述不同时间点的所述不同的期望的 RF 发射场对应的所述物理发射通道性质执行所述磁共振成像扫描。

16. 根据权利要求 13 所述的装置, 还包括用于利用测量的虚拟线圈灵敏度针对每个虚拟线圈优化所述个体虚拟发射通道性质, 以便在待成像的所述对象 (10) 处在以更高的空间均匀性获得所述期望的 RF 发射场的模块。

17. 根据权利要求 13 所述的装置, 还包括用于确定发射通道编码矩阵的模块, 其中, 通过如下方式进行所述确定:

- 考虑待成像的所述对象 (10) 的存在, 对所述期望的 RF 发射场进行数学模拟, 和 / 或
- 指导所述线圈的所述物理发射线圈灵敏度的先验测量, 和 / 或
- 确定所述线圈的 RF 接收性质, 并从所述接收性质计算所述线圈的所述物理发射线圈灵敏度。

18. 根据权利要求 13 所述的装置, 其中, 虚拟线圈的数量取决于:

- 所述对象 (10), 和 / 或

- 用于执行所述磁共振成像扫描的期望的成像序列, 和 / 或
- 用于执行所述磁共振成像扫描的期望的线圈类型, 和 / 或
- 控制器的用户的身份验证。

19. 根据权利要求 18 所述的装置, 其中, 所述对象 (10) 是待成像的目标解剖结构。

20. 根据权利要求 13 所述的装置, 其中, 虚拟线圈的数量取决于要暴露至所述对象 (10) 的最大比吸收率水平。

21. 一种用于磁共振成像扫描中以采集对象 (10) 的磁共振图像的虚拟线圈仿真方法, 其中, 由 MR 系统 (1) 利用包括个体发射线圈组的物理线圈布置 (9、11、12、13) 执行所述扫描, 所述线圈适于向所述对象 (10) 发射期望的 RF 发射场以用于所述对象 (10) 的磁共振自旋激励, 其中, 每个线圈与一物理发射通道相关联, 其中, 所述 RF 发射场对应于所述线圈中的两个或更多个的虚拟布置, 其中, 向所述 RF 发射场分配包括虚拟发射通道权重的虚拟发射通道性质, 所述虚拟发射通道权重描述为了生成所述 RF 发射场而需要施加到所述物理线圈布置 (9、11、12、13) 的关于所述虚拟线圈布置中的每个个体线圈的虚拟复 RF 场幅度, 所述方法包括:

a) 从所述 MR 系统接收所述虚拟发射通道性质,

b) 利用通道编码矩阵变换所述虚拟发射通道性质, 所述通道编码矩阵描述所述虚拟线圈布置的所述虚拟发射通道性质到所述物理线圈布置 (9、11、12、13) 的物理发射通道性质的变换,

c) 接收经优化的虚拟发射通道性质, 所述经优化的虚拟发射通道性质是从所述 MR 系统接收的并从如下操作获得:

i. 由所述 MR 系统利用针对每个虚拟线圈的相应变换的个体虚拟发射通道性质测量两个或更多个虚拟线圈的个体虚拟线圈灵敏度, 其中, 由对应虚拟发射通道性质和对应虚拟线圈灵敏度的组合给出每个个体虚拟线圈的 RF 发射场,

ii. 由所述 MR 系统利用测量的虚拟线圈灵敏度针对每个虚拟线圈优化所述个体虚拟发射通道性质, 以更高的精确度获得所述期望的 RF 发射场,

d) 利用所述通道编码矩阵变换所述经优化的虚拟发射通道性质, 所述变换获得包括物理发射通道权重的物理发射通道性质, 所述物理发射通道权重描述关于所述物理线圈布置 (9、11、12、13) 中的每个个体线圈的物理复 RF 场幅度,

e) 向所述 MR 系统提供所述物理发射通道性质以利用所述物理发射通道性质执行所述磁共振成像扫描。

22. 一种适于用于磁共振成像扫描中以采集对象 (10) 的磁共振图像的虚拟线圈仿真系统, 其中, 由 MR 系统 (1) 利用包括个体发射线圈组的物理线圈布置 (9、11、12、13) 执行所述扫描, 所述线圈适于向所述对象 (10) 发射期望的 RF 发射场用于所述对象 (10) 的磁共振自旋激励, 其中, 每个线圈与一物理发射通道相关联, 其中, 所述 RF 发射场对应于所述线圈中的两个或更多个的虚拟布置, 其中, 向所述 RF 发射场分配包括虚拟发射通道权重的虚拟发射通道性质, 所述虚拟发射通道权重描述为了生成所述 RF 发射场而需要施加到所述物理线圈布置 (9、11、12、13) 的关于所述虚拟线圈布置中的每个个体线圈的虚拟复 RF 场幅度, 所述仿真系统适于执行如下操作:

a) 从所述 MR 系统接收所述虚拟发射通道性质,

b) 利用通道编码矩阵变换所述虚拟发射通道性质,所述通道编码矩阵描述所述虚拟线圈布置的所述虚拟发射通道性质到所述物理线圈布置(9、11、12、13)的物理发射通道性质的变换,

c) 接收经优化的虚拟发射通道性质,所述经优化的虚拟发射通道性质是从所述MR系统接收的并从如下操作获得:

i. 由所述MR系统利用针对每个虚拟线圈的相应变换的个体虚拟发射通道性质测量两个或更多个虚拟线圈的个体虚拟线圈灵敏度,其中,由对应虚拟发射通道性质和对应虚拟线圈灵敏度的组合给出每个个体虚拟线圈的RF发射场,

ii. 由所述MR系统利用测量的虚拟线圈灵敏度针对每个虚拟线圈优化所述个体虚拟发射通道性质,以更高的精确度获得所述期望的RF发射场,

d) 利用所述通道编码矩阵变换所述经优化的虚拟发射通道性质,所述变换获得包括物理发射通道权重的物理发射通道性质,所述物理发射通道权重描述关于所述物理线圈布置(9、11、12、13)中的每个个体线圈的物理复RF场幅度,

e) 向所述MR系统提供所述物理发射通道性质以利用所述物理发射通道性质执行所述磁共振成像扫描。

23. 一种用于磁共振成像扫描中以采集对象(10)的磁共振图像的虚拟线圈仿真装置,其中,由MR系统(1)利用包括个体发射线圈组的物理线圈布置(9、11、12、13)执行所述扫描,所述线圈适于向所述对象(10)发射期望的RF发射场以用于所述对象(10)的磁共振自旋激励,其中,每个线圈与一物理发射通道相关联,其中,所述RF发射场对应于所述线圈中的两个或更多个的虚拟布置,其中,向所述RF发射场分配包括虚拟发射通道权重的虚拟发射通道性质,所述虚拟发射通道权重描述为了生成所述RF发射场而需要施加到所述物理线圈布置(9、11、12、13)的关于所述虚拟线圈布置中的每个个体线圈的虚拟复RF场幅度,所述装置包括:

a) 用于从所述MR系统接收所述虚拟发射通道性质的模块,

b) 用于利用通道编码矩阵变换所述虚拟发射通道性质的模块,所述通道编码矩阵描述所述虚拟线圈布置的所述虚拟发射通道性质到所述物理线圈布置(9、11、12、13)的物理发射通道性质的变换,

c) 用于接收经优化的虚拟发射通道性质的模块,所述经优化的虚拟发射通道性质是从所述MR系统接收的并从如下操作获得:

i. 由所述MR系统利用针对每个虚拟线圈的相应变换的个体虚拟发射通道性质测量两个或更多个虚拟线圈的个体虚拟线圈灵敏度,其中,由对应虚拟发射通道性质和对应虚拟线圈灵敏度的组合给出每个个体虚拟线圈的RF发射场,

ii. 由所述MR系统利用测量的虚拟线圈灵敏度针对每个虚拟线圈优化所述个体虚拟发射通道性质,以更高的精确度获得所述期望的RF发射场,

d) 用于利用所述通道编码矩阵变换所述经优化的虚拟发射通道性质的模块,所述变换获得包括物理发射通道权重的物理发射通道性质,所述物理发射通道权重描述关于所述物理线圈布置(9、11、12、13)中的每个个体线圈的物理复RF场幅度,

e) 用于向所述MR系统提供所述物理发射通道性质以利用所述物理发射通道性质执行所述磁共振成像扫描的模块。

在并行发射 MRI 中的虚拟线圈仿真

技术领域

[0001] 本发明涉及一种执行磁共振成像扫描以采集对象的磁共振图像的方法、一种适于执行磁共振成像扫描以采集对象的磁共振图像的磁共振成像(MRI)系统、一种在用于采集对象的磁共振图像的磁共振成像扫描中使用的虚拟线圈仿真方法、一种虚拟线圈仿真系统和计算机程序产品。

[0002] 当前,尤其是在医学诊断领域中,广泛使用了磁共振(MR)成像方法,该方法利用磁场和核自旋之间的交互,以便形成二维或三维图像,因为对于软组织的成像而言,它们在很多方面优于其他成像方法,不需要电离辐射,并且通常不是侵入性的。

[0003] 根据一般的MR方法,患者的身体或者待检查的一般对象被布置在强的均匀磁场 B_0 中,磁场的方向同时定义测量所依据的坐标系的轴,通常为 z 轴。

[0004] 磁场根据所施加的磁场强度针对个体核自旋产生不同的能级,能够通过施加具有定义频率(所谓的拉莫尔频率或MR频率)的交变电磁射频场(RF场)来激励个体核自旋(自旋共振)。从宏观角度讲,个体核自旋的分布产生总体磁化,通过施加具有适当频率的电磁脉冲(RF脉冲)能够使总体磁化偏离平衡状态,同时磁场垂直于 z 轴延伸,使得磁化绕 z 轴执行进动。

[0005] 能够利用接收RF天线检测磁化的变化,在MR装置的检查体积之内布置并定向所述接收RF天线,从而在垂直于 z 轴的方向上测量磁化的变化。

[0006] 为了在身体中实现空间分辨率,在均匀磁场上叠加沿三个主轴延伸的磁场梯度,导致自旋共振频率的线性空间相关性。那么接收天线中拾取的信号包含可能与身体中不同位置相关联的不同频率分量。

[0007] 经由接收天线获得的信号数据对应于空间频率域,并且被称为 k 空间数据。 k 空间数据通常包括利用不同相位编码采集的多条线。通过收集若干样本对每条线进行数字化。例如利用傅里叶变换将一组 k 空间数据的样本转换成MR图像。

[0008] 于是可以总结出,线圈在磁共振成像中起到重要作用,相对于用于向自旋系统施加RF激励脉冲的传输线圈以及相对于从被激励自旋系统接收RF响应的接收线圈两者都是这样的。

背景技术

[0009] 在MRI中利用包括一组线圈(例如8、16、32个线圈)的发射线圈阵列进行并行发射代表了一种新兴技术,实现了各种令人感兴趣的应用,诸如RF匀场和发送SENSE,以改善MR的性能,尤其是在高场强下(Katscher U等人, Magn Reson Med. 2003 ;49 (1):144-5 ; Zhu Y. Magn Reson Med. 2004 ;51 (4):775-84)。在当前语境中,发射线圈的配置对于目标并行发射应用而言至关重要,已经提出了具有不同通道数量或线圈拓扑结构的线圈设置(Vernickel P等人, Magn Reson Med. 2007 ;58 :381-9 ;Alagappan V等人, Magn Reson Med. 2007 ;57 :1148-1158 ;Adriany G等人, Magn Reson Med. 2008 ;59 :590-597)。

[0010] 然而,最优的线圈概念表示各种重要约束之间的不同折衷关系,例如RF功效、比

吸收率(SAR)属性、相对于目标应用和解剖结构的 B1 绘图和匀场的时间和性能约束。

[0011] 在整个本说明书中,B1 绘图被理解为确定发射线圈的发射线圈灵敏度的方法。此外,匀场被理解为考虑所采集的 B1 图来调节这些线圈的发射性质的流程,以便在检查体积中的特定空间 MR 激励区之内获得期望的、例如均匀的发射分布图。

[0012] 需要良好的发射线圈匀场,同时确保暴露至待成像对象的 SAR 水平在小水平,这给出了各种约束之间的上述折衷关系的一个范例:高质量的线圈匀场需要采集用于每个个体线圈的 B1 图,在发射线圈的数量很大时,这需要大量的时间,并且导致待成像对象暴露于不希望的高 SAR 水平。

[0013] 在实践中,基于很多发射通道(例如 N=8)的临床并行发射应用面临各种问题,例如工作流程繁琐、SAR 控制困难以及 RF 功率约束的限制。例如,基于很多发射通道的 RF 匀场困难能够导致对一些发射通道的高 RF 功率需求的匀场设置,并且因此,提高了 SAR 值。这是由于如下事实:一些线圈本征模(eigenmode)对匀场结果几乎没有影响。因此,仅可以利用低 B1 播放经匀场的 RF 脉冲,限制了很多应用的临床使用。然而,规则化技术能够抑制这些线圈模式,这通常表示匀场结果与 RF 功率/SAR 之间的仔细折衷,在自动样式中不能始终这样做。此外,不同线圈模式的性能可能在目标应用和解剖结构方面不同。

[0014] 为了提供这种冲突的解决方案,Nehrke K. 和 Bömer, P. 在“Eigenmode Analysis of Transmit Coil Array for Tailored B1mapping”,MRM63:754-764 (2010) 中建议使用虚拟发射线圈阵列,因为发送链路的线性允许经由适当的变换矩阵相对于源自实际线圈元件的叠加的任何虚拟线圈阵列测量发送灵敏度矩阵。于是,MR 发送链路的线性性质能够实现虚拟发射线圈的概念。在虚拟线圈的数量被选择为小于物理发射线圈的数量时,这种虚拟发射线圈的概念允许执行加速的 B1 绘图扫描,因为需要从更少数量的虚拟线圈元件采集 B1 图。

发明内容

[0015] 本发明提供了一种执行磁共振成像扫描以采集对象的磁共振图像的改进方法、一种适于执行磁共振成像扫描以采集对象的磁共振图像的改进磁共振成像(MRI)系统、一种在用于采集对象的磁共振图像的磁共振成像扫描中使用的改进虚拟线圈仿真方法、一种虚拟线圈仿真系统和计算机程序产品。

[0016] 根据本发明,提供了一种执行磁共振成像扫描以采集对象的磁共振图像的方法,其中,利用包括个体发射线圈组的物理线圈布置执行扫描,所述线圈适于向对象发射期望的 RF 发射场,用于对象的磁共振自旋激励,其中,每个线圈与一物理发射通道相关联,所述方法包括:

[0017] a) 选择要由所述线圈生成的期望的 RF 发射场,所述 RF 发射场对应于两个或更多个所述线圈的虚拟布置,其中,向 RF 发射场分配包括虚拟发射通道权重的虚拟发射通道性质,所述虚拟发射通道权重描述为了生成 RF 发射场而需要施加到物理线圈的关于虚拟线圈布置的每个个体线圈的虚拟复 RF 场幅度,

[0018] b) 利用通道编码矩阵变换所述虚拟发射通道性质,所述发射通道编码矩阵描述所述虚拟线圈布置的虚拟发射通道性质到物理线圈布置的物理发射通道性质的变换,

[0019] c) 利用针对每个虚拟线圈的相应变换的个体虚拟发射通道性质测量两个或更多

个虚拟线圈的个体虚拟线圈灵敏度,其中,由对应虚拟发射通道性质和对应虚拟线圈灵敏度的组合给出每个个体虚拟线圈的 RF 发射场,

[0020] d) 利用测量的虚拟线圈灵敏度针对每个虚拟线圈优化个体虚拟发射通道性质,以便以更高的精确度获得期望的 RF 发射场,

[0021] e) 利用所述通道编码矩阵变换优化的虚拟发射通道性质,所述变换获得包括物理发射通道权重的物理发射通道性质,所述物理发射通道权重描述关于物理线圈布置的每个个体线圈的物理复 RF 场幅度,

[0022] f) 利用所述无线发射通道性质执行磁共振成像扫描。

[0023] 根据本发明的实施例具有如下优点:可以在现有 MR 系统中实施该方法,其适于并行 RF 场发射,而无需修改一般的系统布置。这是由于如下事实:现有的 MR 系统能够保持其设置,包括其 B1 绘图和匀场特征,同时可以由独立模块实现虚拟线圈概念。现有的 MR 系统于是能够执行已经实施的操作,像 B1 绘图和匀场,而升级这种系统以采用虚拟线圈概念所需的任何的额外特征能够排他地限于所述额外的独立模块。因此,这可以用于提高 B1 绘图的鲁棒性和速度,以改善 RF 功率和 SAR 控制,并简化并行发射应用的工作流程。

[0024] 详细地讲,在现有技术中,经由虚拟线圈灵敏度变换到物理线圈灵敏度并为匀场过程考虑物理线圈灵敏度来执行匀场。相反,本发明仅利用虚拟线圈灵敏度执行匀场。为此目的,不需要虚拟线圈灵敏度的变换。即使这“仅仅”实现了优化的个体虚拟发射通道性质,同时允许现有技术获得优化的真实的物理发射通道性质,本发明确保了能够在现有 MR 系统中实施该方法,这不需要区分虚拟和物理线圈布置。于是,尽管在现有技术中,必须修改现有的 MR 系统以在虚拟线圈与物理线圈之间进行区分,但根据本发明,可以提供独立的模块,其允许实施虚拟线圈概念而无需显著修改现有 MR 系统。

[0025] 根据本发明的实施例,物理和虚拟发射通道性质此外或备选地包括针对每个虚拟线圈与时间有关的 RF 脉冲波形,其中,所述虚拟发射通道性质和优化的虚拟发射通道性质的变换考虑了所述 RF 脉冲波形的时间相关性。

[0026] 例如,在这一实施例中,在不同时间点针对 MR 成像序列的不同的期望的 RF 发射场重复步骤 a) 到 e),其中,在步骤 f) 中,利用与不同时间点的不同的期望的 RF 发射场对应的物理发射通道性质执行磁共振成像扫描。因此,这允许优化提供针对个体脉冲序列的设计精确定制的 RF 功率和 SAR 控制:例如,根据用于成像扫描的脉冲序列的个体 RF 脉冲的目的,能够改变物理发射通道性质。在实施例中,RF 脉冲的“目的”可以包括反转恢复、饱和、区域或全局抑制化学物类,例如脂肪或 T2 准备。

[0027] 根据本发明的实施例,执行利用测量的虚拟线圈灵敏度针对每个虚拟线圈对个体虚拟发射通道性质的优化,以便在被成像对象处以更高的空间均匀性获得期望的 RF 发射场。

[0028] 根据本发明的另一实施例,所述方法还包括确定发射通道编码矩阵,其中,通过如下方式进行所述确定:

[0029] - 考虑被成像对象的存在,对期望的 RF 发射场进行数学模拟(例如,采用描述被成像对象中的电磁场分布的对象图集,或者一般的,被成像人体的身体图集),和 / 或

[0030] - 指导线圈的物理发射线圈灵敏度的先验测量,和 / 或

[0031] - 从所述接收性质确定所述线圈的 RF 接收性质并计算所述线圈的物理发射线圈

灵敏度。

[0032] 这样允许以更快速方式执行 MR 成像, 因为即使在存在被成像对象时, 也可以根据 MR 扫描器检查体积体内的实际“成像条件”来选择虚拟线圈布置。通常, 检查体积中发射的 RF 场强烈取决于目标应用和被成像对象的解剖结构。通过选择如上所述的适当发射通道编码矩阵, 能够适应关于目标对象(例如人体)处关于期望的 RF 发射场分布的实际需要, 从而改善相应的匀场流程。

[0033] 根据本发明的另一实施例, 由磁共振成像系统的控制器执行所述方法, 其中, 所述控制器包括方法部件、虚拟线圈仿真部件和驱动器部件, 其中, - 方法部件控制执行步骤 a)、c)、d) 和 f), 以及

[0034] - 虚拟线圈仿真部件控制执行步骤 b) 和 e),

[0035] 其中, 所述方法部件经由虚拟线圈仿真部件控制所述驱动器部件以驱动线圈, 其中, 所述虚拟线圈仿真部件仿真仅存在虚拟线圈部件给所述方法部件。

[0036] 换言之, 提出了向 MRI 系统中插入仿真层以充当方法软件与基本硬件相关软件之间的接口。这允许从方法软件看到的自由选择的虚拟线圈阵列的 N' 个虚拟通道映射到实际线圈阵列的 N 个物理通道 b, 实现给定系统平台的灵活实施。

[0037] 优选地, 仿真给所述方法部件的虚拟线圈布置包括若干虚拟线圈。例如, 虚拟线圈的数量可以取决于:

[0038] - 所述对象, 尤其是被成像的目标解剖结构, 和 / 或

[0039] - 用于执行磁共振成像扫描的期望成像序列, 和 / 或

[0040] - 用于执行磁共振成像扫描的期望线圈类型, 和 / 或

[0041] - 控制器的用户的身份验证。

[0042] 在实践中, 对于对应的编码矩阵, 可以在系统上存储针对不同应用(例如 RF 匀场, 发射 SENSE)、不同解剖结构(例如身体、头部、四肢)、硬件平台(通道数量和发射线圈拓扑)和用户(研究用户, 临床用户)的预定义矩阵。另外, 可以经由产品 / 研究安全装置控制 / 限制不同虚拟线圈阵列的使用。此外, 可以通过针对特定应用锁定特定线圈布置来简化 SAR 的控制, 即, 虚拟线圈的数量可以取决于要暴露至对象的最大比吸收率水平。

[0043] 另一应用可以是逐步对虚拟线圈解锁。例如, 用户可以获得包括 8 个物理线圈的 MR 系统, 但仅具有用于同时使用最多 5 个线圈的许可。于是, 将向用户仿真最多 5 个虚拟线圈。在另一范例中, 对于一个通道有缺陷的 8 发射通道系统, 仍然可以利用剩余 7 个物理通道的适当叠加来仿真 8 个虚拟通道。

[0044] 在另一方面中, 本发明涉及一种适于执行磁共振成像扫描以采集对象的磁共振图像的磁共振成像系统, 其中, 所述系统包括物理线圈布置, 其包括适于执行扫描的个体发射线圈组, 所述线圈适于向所述对象发射 RF 发射场用于所述对象的磁共振自旋激励, 其中, 每个线圈与一物理发射通道相关联, 所述系统适于:

[0045] a) 选择要由所述线圈生成的期望的 RF 发射场, 所述 RF 发射场对应于两个或更多个所述线圈的虚拟布置, 其中, 向 RF 发射场分配包括虚拟发射通道权重的虚拟发射通道性质, 所述虚拟发射通道权重描述为了生成 RF 发射场而需要施加到物理线圈的关于虚拟线圈布置的每个个体线圈的虚拟复 RF 场幅度,

[0046] b) 利用通道编码矩阵变换所述虚拟发射通道性质, 所述发射通道编码矩阵描述所

述虚拟线圈布置的虚拟发射通道性质到物理线圈布置的物理发射通道性质的变换，

[0047] c) 利用针对每个虚拟线圈的相应变换的个体虚拟发射通道性质测量两个或更多个虚拟线圈的个体虚拟线圈灵敏度，其中，由对应虚拟发射通道性质和对应虚拟线圈灵敏度的组合给出每个个体虚拟线圈的 RF 发射场，

[0048] d) 利用测量的虚拟线圈灵敏度针对每个虚拟线圈优化个体虚拟发射通道性质，以便以更高的精确度获得期望的 RF 发射场，

[0049] e) 利用所述通道编码矩阵变换优化的虚拟发射通道性质，所述变换获得包括物理发射通道权重的物理发射通道性质，所述物理发射通道权重描述关于物理线圈布置的每个个体线圈的物理复 RF 场幅度，

[0050] f) 利用所述无线发射通道性质执行磁共振成像扫描。

[0051] 根据本发明的实施例，该系统还包括控制器，用于控制步骤 a) 到 f)，其中，所述控制器包括方法部件、虚拟线圈仿真部件和驱动器部件，其中，

[0052] - 所述方法部件适于控制步骤 a)、c)、d) 和 f)，并且

[0053] - 所述虚拟线圈仿真部件适于控制执行步骤 b) 和 e)，

[0054] 其中，所述方法部件适于经由虚拟线圈仿真部件控制所述驱动器部件以驱动线圈，其中，所述虚拟线圈仿真部件适于仿真仅存在虚拟线圈部件给所述方法部件。

[0055] 在另一方面中，本发明涉及一种计算机程序产品，其包括计算机可执行指令，以执行上述方法步骤。

[0056] 在另一方面中，本发明涉及一种在用于采集对象的磁共振图像的磁共振成像扫描中使用的虚拟线圈仿真方法，其中，由 MR 系统利用包括个体发射线圈组的物理线圈布置执行扫描，所述线圈适于向所述对象发射期望的 RF 发射场用于所述对象的磁共振自旋激励，其中，每个线圈与一物理发射通道相关联，其中，所述 RF 发射场对应于两个或更多个所述线圈的虚拟布置，其中，向 RF 发射场分配包括虚拟发射通道权重的虚拟发射通道性质，所述虚拟发射通道权重描述为了生成 RF 发射场而需要施加到物理线圈的关于虚拟线圈布置的每个个体线圈的虚拟复 RF 场幅度，所述方法包括：

[0057] a) 从 MR 系统接收虚拟发射通道性质，

[0058] b) 利用通道编码矩阵变换所述虚拟发射通道性质，所述发射通道编码矩阵描述所述虚拟线圈布置的虚拟发射通道性质到物理线圈布置的物理发射通道性质的变换，

[0059] c) 接收优化的虚拟发射通道性质，所述优化的虚拟发射通道性质是从所述 MR 系统接收的，从如下操作获得：

[0060] i. 由所述 MR 系统利用针对每个虚拟线圈的相应变换的个体虚拟发射通道性质来测量两个或更多个虚拟线圈的个体虚拟线圈灵敏度，其中，由对应虚拟发射通道性质和对应虚拟线圈灵敏度的组合给出每个个体虚拟线圈的 RF 发射场，

[0061] ii. 由所述 MR 系统利用测量的虚拟线圈灵敏度针对每个虚拟线圈优化个体虚拟发射通道性质，以更高的精确度获得期望的 RF 发射场，

[0062] d) 利用所述通道编码矩阵变换优化的虚拟发射通道性质，所述变换获得包括物理发射通道权重的物理发射通道性质，所述物理发射通道权重描述关于物理线圈布置的每个个体线圈的物理复 RF 场幅度，

[0063] e) 向所述 MR 系统提供物理发射通道性质以利用所述无线发射通道性质执行磁共

振成像扫描。

[0064] 在另一方面中,本发明涉及一种适于在用于采集对象的磁共振图像的磁共振成像扫描中使用的虚拟线圈仿真系统,其中,由 MR 系统利用包括个体发射线圈组的物理线圈布置执行扫描,所述线圈适于向所述对象发射期望的 RF 发射场用于所述对象的磁共振自旋激励,其中,每个线圈与一物理发射通道相关联,其中,所述 RF 发射场对应于两个或更多个所述线圈的虚拟布置,其中,向 RF 发射场分配包括虚拟发射通道权重的虚拟发射通道性质,所述虚拟发射通道权重描述为了生成 RF 发射场而需要施加到物理线圈的关于虚拟线圈布置的每个个体线圈的虚拟复 RF 场幅度,所述仿真系统适于:

[0065] f) 从 MR 系统接收虚拟发射通道性质,

[0066] g) 利用通道编码矩阵变换所述虚拟发射通道性质,所述发射通道编码矩阵描述所述虚拟线圈布置的虚拟发射通道性质到物理线圈布置的物理发射通道性质的变换,

[0067] h) 接收优化的虚拟发射通道性质,所述优化的虚拟发射通道性质是从所述 MR 系统接收的,从如下操作获得:

[0068] i. 由所述 MR 系统利用针对每个虚拟线圈的相应变换的个体虚拟发射通道性质来测量两个或更多个虚拟线圈的个体虚拟线圈灵敏度,其中,由对应虚拟发射通道性质和对应虚拟线圈灵敏度的组合给出每个个体虚拟线圈的 RF 发射场,

[0069] ii. 由所述 MR 系统利用测量的虚拟线圈灵敏度针对每个虚拟线圈优化个体虚拟发射通道性质,以更高的精确度获得期望的 RF 发射场,

[0070] i) 利用所述通道编码矩阵变换优化的虚拟发射通道性质,所述变换获得包括物理发射通道权重的物理发射通道性质,所述物理发射通道权重描述关于物理线圈布置的每个个体线圈的物理复 RF 场幅度,

[0071] j) 向所述 MR 系统提供物理发射通道性质以利用所述无线发射通道性质执行磁共振成像扫描。

[0072] 在另一方面中,本发明涉及一种计算机程序产品,其包括计算机可执行指令,以执行虚拟线圈仿真方法的方法步骤。

附图说明

[0073] 在下文中,仅通过举例的方式更详细地描述本发明的优选实施例。于是,仅仅出于例示的目的设计如下附图,并非用作限制本发明的定义。在附图中:

[0074] 图 1 示出了根据本发明的用于实施线圈布置的 MR 系统的示意图;

[0075] 图 2 示出了根据本发明的方法的流程图;

[0076] 图 3 示出了软件模拟层的用法;

[0077] 图 4 示出了不同虚拟线圈配置的模拟;

[0078] 图 5 示出了各种 B1 图。

具体实施方式

[0079] 参考图 1,示出了 MR 成像系统 1 的示意图。

[0080] 该系统包括超导或电阻主磁体线圈 2,从而沿着通过检查体积的 z 轴生成基本均匀的、时间上恒定的主磁场 B0。

[0081] 磁共振生成和操纵系统施加一系列 RF 脉冲和切变的磁场梯度,以反转或激励核磁自旋、诱发磁共振、对磁共振重新聚焦、操纵磁共振、对磁共振进行空间或其他编码、使自旋饱和等,以执行 MR 成像。

[0082] 更具体而言,梯度脉冲放大器 3 施加电流脉冲以沿着检查体积的 x、y 和 z 轴选择全身梯度线圈 4、5 和 6 中的一些。RF 发射器 7 经由发送 / 接收开关 8 向 RF 天线 9 发射 RF 脉冲或脉冲群,以向检查体积中发射 RF 脉冲。典型的 MR 成像序列包括一组短持续时间的 RF 脉冲序列,它们彼此结合在一起,并且任何施加的磁场梯度实现对核磁共振的选定操纵。RF 脉冲用于饱和、激励共振、反转磁化、对共振重新聚焦或操纵共振并选择定位于检查体积中的身体 10 的部分。MR 信号也可以由 RF 天线 9 拾取。

[0083] 为了利用例如并行成像来生成身体或一般对象 10 限制区域的 MR 图像,毗邻选定成像的区域放置一组本地阵列 RF 线圈 11、12 和 13。阵列线圈 11、12 和 13 能够用于接收经由 RF 天线实现的 RF 发射诱发的 MR 信号。然而,也可以使用阵列线圈 11、12 和 13 向检查体积发射 RF 信号。

[0084] 即使在上文中仅有单个 RF 发射器 7、发送 / 接收开关 8 和天线 9,根据本发明,这必须要被理解为多个 RF 发射器 7、对应开关 8 和对应天线 9 的布置,即包括一组个体发射线圈和关联的发射通道的物理线圈布置。

[0085] 所得的 MR 信号被 RF 天线 9 和 / 或 RF 线圈 11、12 和 13 的阵列拾取并被接收器 14 解调,接收器 14 优选包括前置放大器(未示出)。接收器 14 经由发送 / 接收开关 8 连接到 RF 线圈 9、11、12 和 13。

[0086] 主计算机 15 控制梯度脉冲放大器 3 和发射器 7 以生成多种成像序列中的任一种,诸如回波平面成像(EPI)、回波体积成像、梯度和自旋回波成像、快速自旋回波成像等。

[0087] 对于选定的序列,接收器 14 接收每个 RF 激励脉冲之后迅速相继的单个或多个 MR 数据线。数据采集系统 16 执行对接收的信号的模式到数字转换,并将每个 MR 数据线转换成适于进一步处理的数字格式。在现代 MR 装置中,数据采集系统 16 是专用于采集原始图像数据的独立计算机。

[0088] 最后,通过重建处理器 17 将数字原始图像数据重建成图像表示,重建处理器采用傅里叶变换或其他适当的重建算法。MR 图像可以表示通过患者的平面切片、平行平面切片的阵列、三维体积等。然后在图像存储器中存储图像,可以经由例如视频监视器 18 访问图像存储器,以将图像表示的切片或其他部分转换成用于可视化的适当格式,视频监视器 18 提供了所得 MR 图像的人可读显示。

[0089] 图 2 是比较利用虚拟线圈布置执行 MR 成像(图 2a)的上述方法与现有技术方法(图 2b)的流程图。为了更深入地理解该概念,必须要考虑如下基本问题:

[0090] 在并行发射应用中,使用线圈阵列生成 B1 发射场。于是,总有效 B1 发射场表示阵列的 N 个个体线圈生成的场的叠加,

[0091]

$$B_1(\mathbf{r}, t) = \sum_{n=1}^N S_n(\mathbf{r}) b_n(t) \quad [1]$$

[0092] 其中, $S_n(\mathbf{r})$ 表示第 n 个发射线圈的实际空间发射灵敏度, $b_n(t)$ 表示对应的驱动波形。高级并行发射应用,像发射 SENSE (Katscher U 等人, Magn Reson Med. 2003 ;49

(1):144-5 ;Zhu Y. Magn Reson Med. 2004 ;51 (4):775-84),采用每个通道独立的波形实现 RF 脉冲的加速或改进的脉冲性能。一种更简单但当前在临床上更相关的发射应用是 RF 匀场,其中,采用固定的复合通道权重 b_n 实现空间均匀的 B1,

$$[0093] \quad B_1(\mathbf{r}, t) = w(t) \sum_{n=1}^N S_n(\mathbf{r}) b_n \quad [2]$$

[0094] 其中, $w(t)$ 表示用于例如切片选择的公共 RF 脉冲波形。通过这种方式,可以补偿更高场强 ($\geq 3T$) 下 MRI 的典型的电介质阴影伪影。

[0095] 由于发射灵敏度取决于患者,所以必须要在并行发射应用之前执行 B1 绘图,以确定每个个体线圈元件的发射灵敏度。利用布洛赫方程的非线性,可以从针对不同翻转角、回波或重复时间采集的两个或更多个 MR 图像导出 B1 图(参见 Nehrke K. Magn Reson Med 2009 ;61 :84-92 中的参考文献),这是一个耗时的流程。此外,线圈灵敏度通常大的动态范围挑战着基于 MR 的 B1 绘图,其固有地会在小翻转角产生不利的错误传播。

[0096] MR 发送链路的线性性质能够实现虚拟线圈阵列的概念。因此,可以使用通道编码矩阵 E 从 N' 个虚拟发射通道到物理线圈阵列的 N 个实际发射通道进行映射:

$$[0097] \quad \mathbf{b} = \mathbf{E} \cdot \mathbf{b}' \quad , \quad \mathbf{E} = (e_{ij})_{N' \times N} \quad [3]$$

[0098] 其中, \mathbf{b} 表示写为列矢量的发射通道权重。因此,所得的虚拟发射通道对应于虚拟线圈灵敏度 S' :

$$[0099] \quad S' = S \cdot E \quad [4]$$

[0100] 其中, S 表示写为矩阵(行:体素,列:通道)的物理线圈阵列的线圈灵敏度。为了改善 B1 绘图的性能,能够定制编码矩阵以优化个体虚拟线圈灵敏度的动态范围和互补性。为了加快 B1 绘图,能够选择 $N' < N$ 的编码矩阵以挑选出对匀场结果(7)几乎没有影响的线圈模式。这通常还导致 B1 效率增大,并且因此,减小了 SAR。此外,通常基于数值巨大的幅度最小二乘拟合的 RF 匀场流程,由于自由度减少而变得更快且更鲁棒。能够基于先验知识(即目标应用和解剖结构)选择编码矩阵并利用来自例如调查扫描的信息通过患者特异性校准加以细化。

[0101] 在图 2a 的流程图中,示出了利用虚拟线圈布置执行 MR 成像的上述方法。该方法开始于步骤 200a),选择要由线圈生成的期望的 RF 发射场,所述 RF 发射场对应于两个或更多个所述线圈的虚拟布置,其中,向 RF 发射场分配虚拟发射通道权重 \mathbf{b}' 。必须要指出,尽管图 2 仅考虑了虚拟发射通道权重,但该概念意在也能够一般化扩展到虚拟发射通道性质,包括虚拟发射通道权重和与时间有关的 RF 脉冲波形 $w(t)$ 。

[0102] 在步骤 202 中,选择适当的通道编码矩阵 E ,继之以步骤 204,其中,利用通道编码矩阵 E 变换虚拟发射通道权重 \mathbf{b}' ,获得 \mathbf{b} 。

[0103] 在后续步骤 206 中,利用针对每个虚拟线圈的相应变换的个体虚拟发射通道性质 \mathbf{b} 测量两个或更多个虚拟线圈的个体虚拟线圈灵敏度 S' 。

[0104] 在下一步骤 208 中,利用测量的虚拟线圈灵敏度针对每个虚拟线圈优化个体虚拟发射通道权重,以便以更高的精确度获得期望的 RF 发射场。这导致优化的虚拟发射通道权重 \mathbf{b}' 。

[0105] 接下来,在步骤 210 中,利用通道编码矩阵 E 变换优化的虚拟发射通道权重 \mathbf{b}' ,所

述变换获得物理发射通道权重 b 。

[0106] 最后,在步骤 212 中,利用物理发射通道权重执行期望的磁共振成像扫描。

[0107] 相反,在现有技术的方法中(图 2b),仅有步骤 200-206 和 212 与根据本发明的方法相同。关于步骤 208 和 210 存在显著差异,在现有技术中由相应步骤 214 和 216 取代步骤 208 和 210:在步骤 106 中已测量虚拟线圈灵敏度 S' 之后,在图 2b 中,利用矩阵 E 变换虚拟线圈灵敏度 S' ,获得物理线圈灵敏度 S 。然后,在步骤 216 中,利用测量的物理线圈灵敏度 S 针对每个虚拟线圈优化个体物理发射通道权重 b ,以便以更高的精确度获得期望的 RF 发射场。这导致优化的物理发射通道权重 b 。

[0108] 对于已经能够执行多通道 RF 发射的给定 MR 系统平台中现有技术方法的实际实现,它具有如下结果:该平台通常仅利用物理线圈布置执行步骤 200、206、216 和 212。即,在步骤 200 中,选择相应的物理线圈布置。

[0109] 当向系统平台提供虚拟线圈布置能力时,系统平台必须在步骤 206 中额外识别测量的线圈灵敏度是虚拟线圈灵敏度,并指示相应的软件附件提供虚拟线圈设置以执行步骤 214。因此,必须相应地在硬件或软件中修改系统平台,以执行这一步骤。

[0110] 相反,遵循图 2a 中的方法,可以提供软件(或硬件)仿真层,其允许系统平台保持不变。作为执行步骤 214 的替代,系统平台执行步骤 208,无需在虚拟线圈布置与物理线圈布置之间进行区分。

[0111] 当考虑关于图 3 论述的层方法时,这将变得更加清楚。

[0112] 为了在临床扫描器上实现虚拟线圈概念,向 MRI 系统中插入仿真层 302,以充当方法软件 300 和用于控制物理线圈阵列 306 的基本硬件 304 相关的软件之间的接口。这样允许从方法软件看到的自由选择虚拟线圈阵列的 N' 个虚拟通道 b' 映射到实际线圈阵列(参考方程 3)的 N 个物理通道 b ,实现给定系统平台(图 3)的灵活实施。如附图标记 308 所示,对于对应的编码矩阵 E ,在系统上存储用于不同应用(例如 RF 匀场,发射 SENSE)、不同解剖结构(例如身体、头部、四肢)、硬件平台(通道数量和发射线圈拓扑)和用户(研究用户,临床用户)的预定义矩阵。另外,能够经由产品/研究安全装置控制/限制不同虚拟线圈阵列的使用。此外,能够通过针对特定应用锁定特定线圈模式来简化 SAR 的控制。

[0113] 图 4 图示了不同线圈配置的模拟:针对 8-通道 TEM 线圈(a)示出了真空 B1 灵敏度,其用于仿真不同的线圈配置(b:2-端口鸟笼, c:4-端口鸟笼, d:7-通道线圈, e:旋转 $360^\circ/16$ 的 8-通道线圈, f:由 Butler 矩阵驱动的 8-通道线圈)。中心(a-e)中所示的平面图对应于所有虚拟通道之和,展示了纯正交激励。针对选定的一组几何参数(线圈半径 $R=0.3\text{m}$,屏蔽半径 $R_S=0.32\text{m}$,视场半径 $R_{FOV}=0.2\text{m}$)模拟 8-通道 TEM 线圈的图。

[0114] 详细地,已经采用了装备有八个发射通道(Grässlin I 等人, ISMRM2006, p. 129)和 8-元件 TX/RX TEM 身体线圈(Vernickel p 等人, Magn Reson Med. 2007 ;58 :381-9)的 3T MRI 系统(荷兰, Best, Philips Healthcare)。图 4a 中示出了对应的线圈灵敏度。向系统中插入了软件模拟层作为方法软件与基本硬件相关的软件之间的接口。这样允许将扫描软件看到的 N' 个自由选择的虚拟 TX/RX 通道映射到经由可调节的编码矩阵 E 的 N 个物理 TX/RX 通道(参考方程 3)。因此,可以通过线性叠加从物理线圈导出虚拟线圈。作为范例,已经采用具有如下结构的编码矩阵仿真了 2-端口鸟笼线圈:

$$[0115] \quad \mathbf{E} = \mathbf{F}_1^{-1} \cdot \mathbf{\Gamma} \cdot \mathbf{F}_2 \quad [5]$$

[0116] 其中, $\mathbf{\Gamma} = (\gamma_{kl})_{N \times N}$ 代表用于选择和加权不同本征模的对角矩阵。对于 2- 端口鸟笼而言, 仅通过设置 $\gamma_{11} = \gamma_{77} = 1$ 以及使 $\mathbf{\Gamma}$ 的其余条目无效来选择正交和反正交模式。此外, \mathbf{F}_1 和 \mathbf{F}_2 分别是 $N=8$ 个实际和 $N'=2$ 个虚拟发射通道到线圈本征模的傅里叶矩阵变换:

[0117]

$$\mathbf{F}_1 = (f_{1kl})_{N \times N}, \text{ 其中, } f_{1kl} = e^{2\pi(k-1)(l-1)/N}, \text{ 并且}$$

$$\mathbf{F}_2 = (f_{2kl})_{N \times N'}, \text{ 其中, } f_{2kl} = e^{2\pi(k-1)(l-1)S/N} \quad [6]$$

[0118] 其中, S 表示相继虚拟线圈元件之间 $S \cdot 45^\circ$ 项的几何偏移。通过模式的对称性确定几何偏移, 并且针对 2- 端口鸟笼线圈是 $S=2$ 。所得的编码矩阵为:

$$[0119] \quad \mathbf{E}_{2\text{-port}}^T = \begin{pmatrix} 2 & 1-i & 0 & 1+i & 2 & 1-i & 0 & 1+i \\ 0 & 1+i & 2 & 1-i & 0 & 1+i & 2 & 1-i \end{pmatrix} \quad [7]$$

[0120] 采用所得的两个线性极化线圈模式(图 4b)进行 B1 绘图和身体体模的 RF 匀场(冠状取向中具有 400mm 的水盘, 图 5 左侧)和志愿者(腹部, 图 5 右)。

[0121] 详细地, 在图 5 中, 示出了针对仿真 2- 端口鸟笼的 RF 匀场。针对正交匀场设置(顶部)和调整的匀场设置(底部)示出了在体模(左)和活体内(右)上测量的 B1 图。调整的匀场设置是从针对两个线性偏振模(中心)测量的 B1 图导出的, 针对所采用的 8- 通道 TEM 线圈仿真。注意在调整的 RF 匀场设置的情况下得到强烈改善的均匀性。

[0122] 使用 AFI(实际倒倾角成像)技术(Yarnykh VL. Magn Reson Med 2007 ;57 :192-200)进行虚拟线圈模式的 B1 绘图 ($450 \times 270 \times 75 \text{mm}^3 \text{FOV}$, $64 \times 38 \times 5$ 矩阵, 角度 $=60^\circ$, $\text{TR}_1=20\text{ms}$, $\text{TR}_2=100\text{ms}$, $\text{TE}=2.3\text{ms}$, 横向扫描取向, 改进型扰相方案(Nehrke K. Magn Reson Med 2009 ; 61 :84-92), 实现每个 3D B1 图 18 秒扫描时间)。对于 RF 匀场, 利用局部变量交换方法的专用的 Java 实施进行图的幅度最小二乘拟合(Seftsonpop K 等, MRM 2008 ;59:908-15)。

[0123] 为了评估调整的匀场设置, 采集匀场的 B1 图并与利用默认正交设置采集的图比较。使用系统的默认正交匀场设置, B1 图呈现出 RF 场的强不均匀性, 导致活体内图中的阴影区域和人模图中的信号孔洞(图 5)。使用调整的 RF 匀场设置, 针对人模和活体内 B1 图强烈改善了均匀性。注意, 调整的调节设置仅基于针对仿真线圈的两个线性偏振模测量的两个 B1 图, 这与系统中存在的八个物理线圈元件相反。

[0124] 2- 端口鸟笼的仿真可能对预计省略的线圈本征模对 RF 匀场结果几乎没有影响的应用有益, 例如在 3T 下的腹部 RF 匀场。于是, 可以加快 B1 绘图, 将减少 RF 功率/SAR。

[0125] 非常类似于结合图 4b 所述的实施例, 通过选择四个线圈本征模仿真了 4- 端口鸟笼线圈(图 4c): $\gamma_{11} = \gamma_{22} = \gamma_{66} = \gamma_{77} = 1$ 。那么, 虚拟线圈元件的数量 $N'=4$, 偏移 $S=2$ (图 4c)。

[0126] 所得的编码矩阵为:

[0127]

$$\mathbf{E}_{4\text{-port}}^T = \begin{pmatrix} 4 & 1-i & 2i & 1+i & 0 & 1-i & -2i & 1+i \\ -2i & 1+i & 4 & 1-i & 2i & 1+i & 0 & 1-i \\ 0 & 1-i & -2i & 1+i & 4 & 1-i & 2i & 1+i \\ 2i & 1+i & 0 & 1-i & -2i & 1+i & 4 & 1-i \end{pmatrix} \quad [8]$$

[0128] 对于预计省略线圈本征模对 RF 匀场结果几乎没有影响的应用,4- 端口的仿真可能是有益的。于是,可以加快 B1 绘图,将减少 RF 功率 /SAR。

[0129] 类似于结合图 4b 所述的实施例,通过选择 8- 通道 TEM 线圈的七个本征模仿真(图 4d)了 7- 通道线圈:($\gamma_{11}=\gamma_{22}=\gamma_{33}=\gamma_{44}=\gamma_{55}=\gamma_{66}=\gamma_{77}=1$)。那么,虚拟线圈元件的数量 $N'=7$, 偏移 $S=8/7$ 。在这种特定配置中,省略了共模(γ_{77}),其仅对 RF 匀场结果仅有很小影响,但显著增大了 RF 功率和 SAR。

[0130] 通过应用线圈本征模的线性相位仿真了旋转的 8- 通道线圈(旋转角)($\gamma_{kk}=\exp(2\pi i(k-1)\phi)$)。能够使用这将线圈阵列的对称轴对准到身体的对称轴(例如,左右或前后)以实现接收与发射调节之间的简单对称性质。

[0131] 通过用身份矩阵取代方程 5 中的 F_1 和 Γ , 实现了从环形排序的物理线圈元件到线圈本征模的变换(图 4a, f),这是相当于所谓的 Butler 矩阵的软件(Alagappan V. MRM2007 ; 57 :1148-58)。可以利用任意但适当的变换矩阵 E 对这进行更加的一般化。

[0132] 形式上,也可以使用比通过线圈模式之间内插可用的物理发射通道更多的虚拟发射通道($N'>N$)。例如,可以通过简单置换方程 7 中给出的编码矩阵在 2- 端口鸟笼上仿真 8- 通道线圈。能够将这用于改善 B1 绘图,这代表了利用 NSA=4 求平均值的智能方式。此外,可以在物理 2- 通道系统上测试用于 8- 发射通道的工作流程。

[0133] 可以使用提出的方法将线圈阵列切换到反正交模式中。例如,对于利用感应耦合的 RF 接收线圈进行跟踪的装置,这可能是有用的(Celik H 等人, Magn Reson Med. 2007 ; 58 :1224-31)。

[0134] 能够利用适当的编码矩阵将提出的方法用于其他线圈拓扑(例如矩形发射阵列)。例如,可以将基于傅里叶的模式分解(参考方程 5)一般化成奇异值分解(SVD),以在一般情况下导出线圈“本征模”。

[0135] 也可以将提出的方法用于接收线圈阵列,例如用于改善的并行成像(例如,数据简化)。

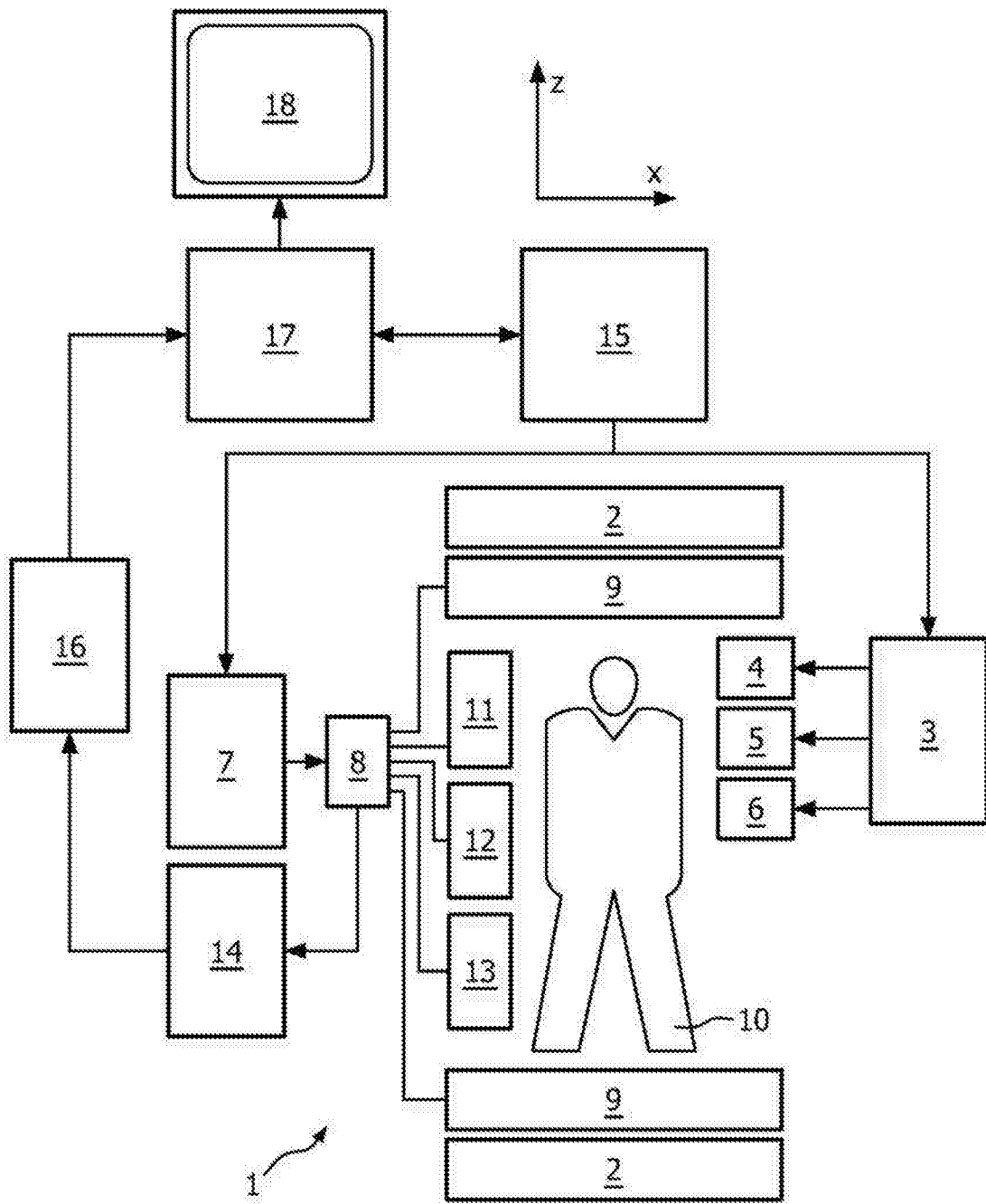
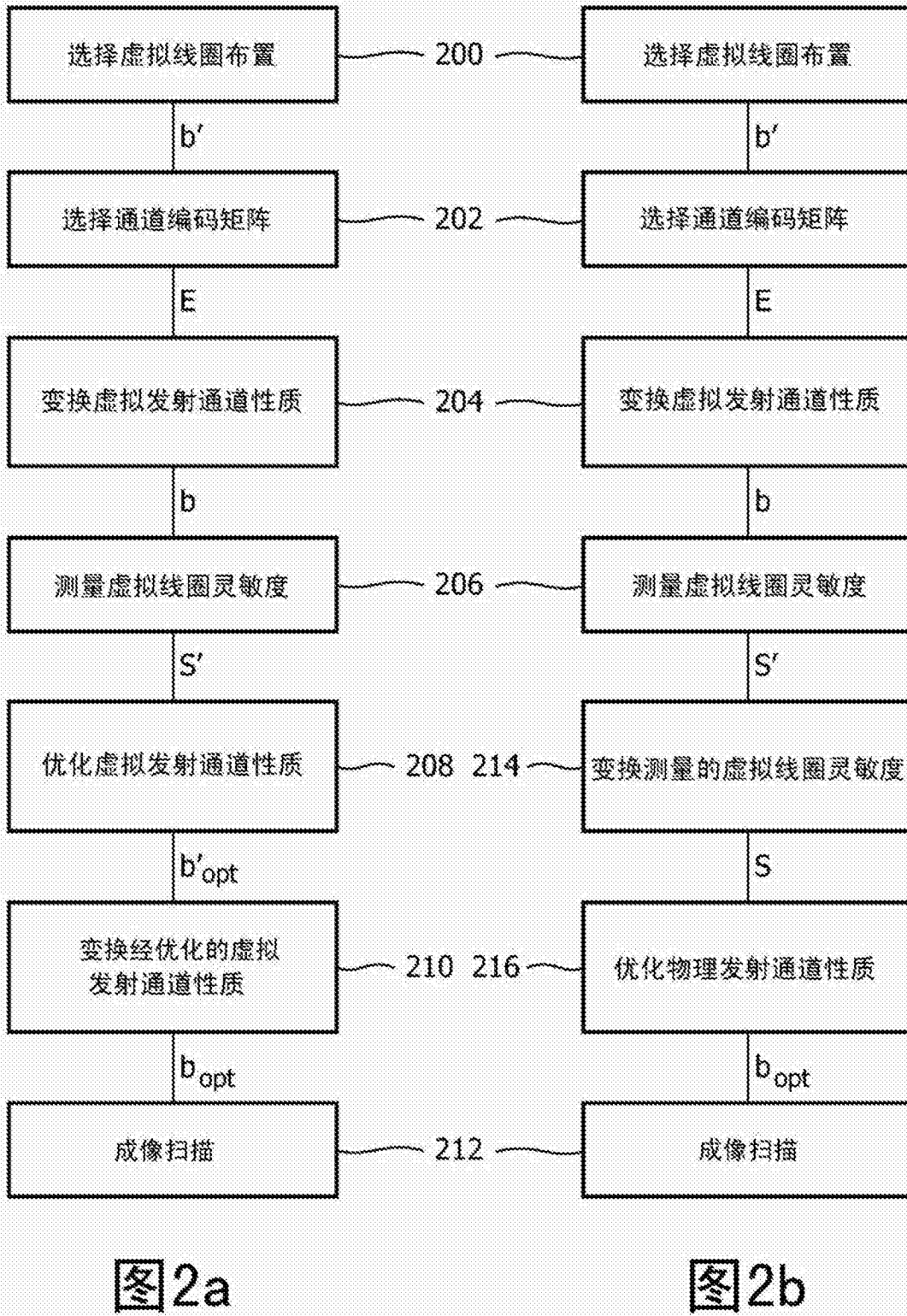


图 1



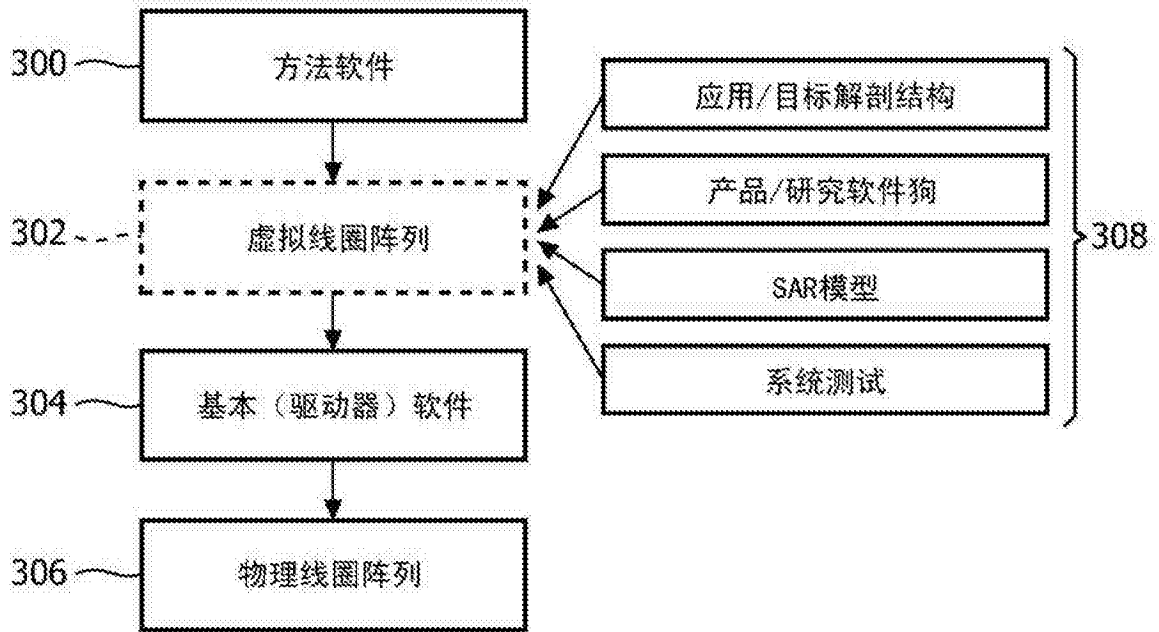


图 3

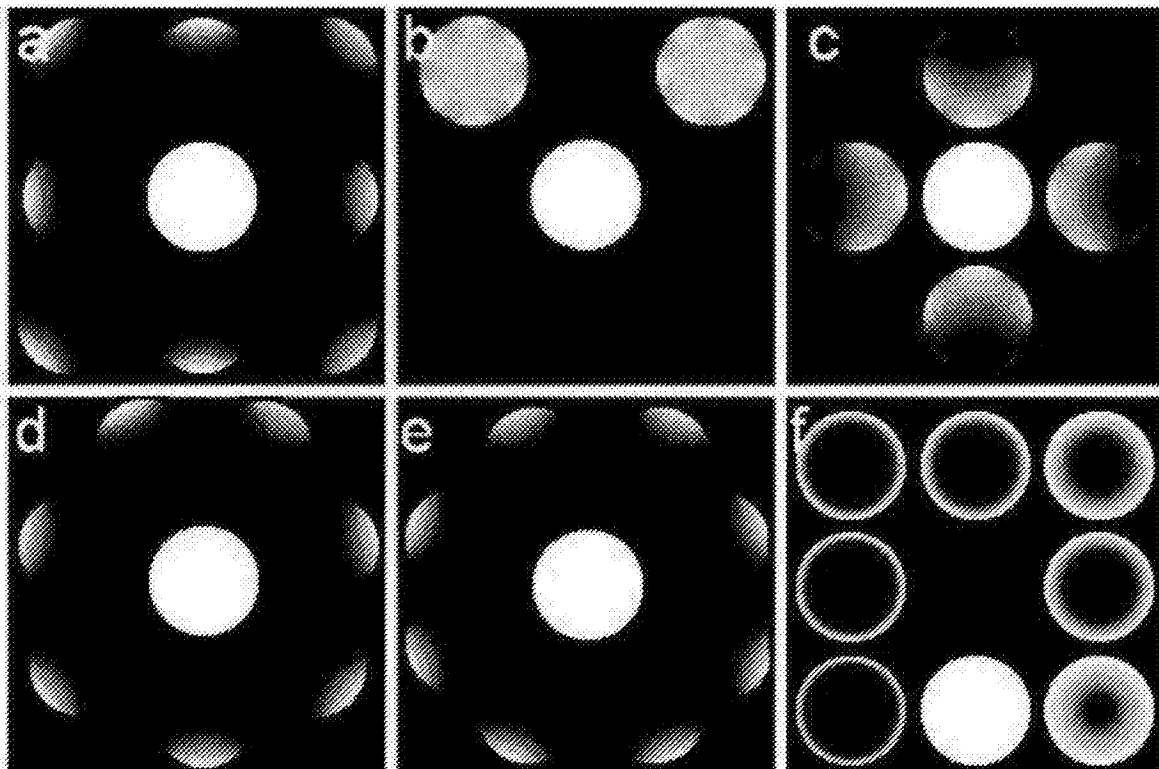


图 4

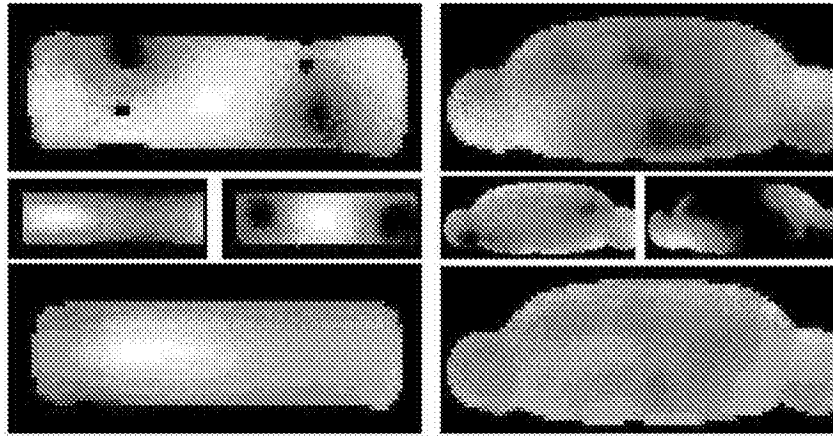


图 5