



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 106918794 B

(45) 授权公告日 2021.01.08

(21) 申请号 201510992357.7

(22) 申请日 2015.12.25

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 106918794 A

(43) 申请公布日 2017.07.04

(73) 专利权人 上海联影医疗科技股份有限公司
地址 201807 上海市嘉定区嘉定工业区域
北路2258号

(72) 发明人 蒋瑞瑞

(74) 专利代理机构 北京华进京联知识产权代理
有限公司 11606

代理人 樊春燕

(51) Int. Cl.

G01R 33/387 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 103597370 A, 2014.02.19

CN 101327123 A, 2008.12.24

CN 104062611 A, 2014.09.24

CN 85103819 A, 1986.11.05

CN 102159966 A, 2011.08.17

CN 104520728 A, 2015.04.15

CN 103814303 A, 2014.05.21

US 2011012593 A1, 2011.01.20

DE 69431894 D1, 2003.01.30

戴捷等. 磁共振快速自旋回波技术及临床应用. 《实用医技杂志》. 2004, 第11卷(第8期), 第1492-1493页.

审查员 李佳

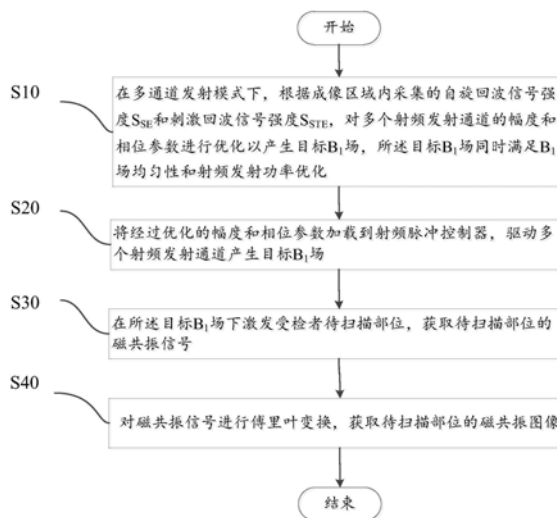
权利要求书2页 说明书8页 附图4页

(54) 发明名称

磁共振系统及成像的方法

(57) 摘要

本发明公开了一种磁共振系统成像的方法, 具体包括: 在多通道发射模式下, 根据成像区域内采集的自旋回波信号强度 S_{SE} 和刺激回波信号强度 S_{STE} , 对多个射频发射通道的幅度和相位参数进行优化以产生目标 B_1 场, 所述目标 B_1 场同时满足 B_1 场均匀性和射频发射功率优化; 将经过优化的幅度和相位参数加载到射频脉冲控制器, 驱动多个射频发射通道产生目标 B_1 场; 在所述目标 B_1 场下激发受检者待扫描部位, 获取待扫描部位的磁共振信号; 对所述磁共振信号进行傅里叶变换, 获取待扫描部位的磁共振图像。本发明通过采集自旋回波信号和刺激回波信号强度反映 B_1 场的分布, 可快速校正得到均匀 B_1 场并可对射频发射功率校准。此外, 本发明还提出一种磁共振系统。



1. 一种磁共振系统成像的方法,所述磁共振系统包括若干个射频发射通道,具体包括以下步骤:

在多通道发射模式下,采用包含三个射频脉冲的刺激回波序列获取自旋回波信号强度 S_{SE} 和刺激回波信号强度 S_{STE} ;

根据成像区域内采集的自旋回波信号强度 S_{SE} 和刺激回波信号强度 S_{STE} ,对多个射频发射通道的幅度和相位参数进行优化以产生目标 B_1 场,所述目标 B_1 场同时满足 B_1 场均匀性和射频发射功率优化;

将经过优化的幅度和相位参数加载到射频脉冲控制器,驱动多个射频发射通道产生目标 B_1 场;

在所述目标 B_1 场下激发受检者待扫描部位,获取待扫描部位的磁共振信号;

对所述磁共振信号进行傅里叶变换,获取待扫描部位的磁共振图像;

在对多个射频发射通道的幅度和相位参数进行优化以产生目标 B_1 场之后,还包括:对目标 B_1 场对应的射频发射功率 P_{Tar} 进行归一化,获取参考射频发射功率 P_{Ref} , $P_{ref}=K \times P_{Tar}$,其

中比例因子 $K = \left(\frac{\theta_{Ref}}{\theta_m} \right)^2$,其中 θ_m 表示目标 B_1 场对应的目标翻转角, θ_{ref} 表示参考 B_1 场对应的参考翻转角。

2. 根据权利要求1所述的磁共振系统成像的方法,其特征在于,所述根据成像区域内采集的自旋回波信号强度 S_{SE} 和刺激回波信号强度 S_{STE} ,对多个射频发射通道的幅度和相位参数进行优化的具体过程为:

(a) 在磁共振系统空载状态下,将初始校正得到的若干个射频发射通道的幅度、相位参数和射频发射功率初始值加载到射频脉冲控制器;

(b) 驱动所述多个射频发射通道并采用刺激回波序列获取成像区域内自旋回波信号强度 S_{SE} 和刺激回波信号强度 S_{STE} ;

(c) 根据自旋回波信号强度 S_{SE} 和刺激回波信号强度 S_{STE} 判断当前 B_1 场是否为目标 B_1 场,如果否,则调整所述若干个射频发射通道的幅度、相位参数,并返回步骤(b);否则,结束优化过程。

3. 根据权利要求2所述的磁共振系统成像的方法,其特征在于,所述根据自旋回波信号强度 S_{SE} 和刺激回波信号强度 S_{STE} 判断当前 B_1 场是否为目标 B_1 场的具体过程为:

根据自旋回波信号强度 S_{SE} 和刺激回波信号强度 S_{STE} 获取当前翻转角 θ ;

获取目标 B_1 场所对应的目标翻转角 θ_m ,计算所述当前翻转角 θ 与所述目标翻转角 θ_m 的差值是否在设定范围内,如果是,则判定当前 B_1 场为目标 B_1 场;如果否,则判定当前 B_1 场不是目标 B_1 场。

4. 根据权利要求3所述的磁共振系统成像的方法,其特征在于,所述目标翻转角 $\theta_m=90^\circ$ 。

5. 根据权利要求3所述的磁共振系统成像的方法,其特征在于,所述刺激回波的三个射频脉冲对应翻转角分别为 θ_1 、 θ_2 、 θ_3 ,且 $\theta_1 = \theta_2 = \theta_3 = \theta$, $0 \leq \theta \leq 180^\circ$,则

$\theta = 2 \arccos \left(\sqrt{\frac{S_{STE}}{2S_{SE}}} \right)$,其中 θ 表示当前翻转角。

6. 根据权利要求3所述的磁共振系统成像的方法,其特征在于,所述刺激回波的三个射频脉冲对应翻转角分别为 θ_1 、 θ_2 、 θ_3 ,且 $\theta_1 = \theta_3 = \theta$, $\theta_2 = 2\theta$, $0 \leq \theta \leq 90^\circ$,则 $\theta = \arccos\left(\frac{S_{STE}}{S_{SE}}\right)$,

其中 θ 表示当前翻转角。

7. 根据权利要求2所述的磁共振系统成像的方法,其特征在于,所述根据自旋回波信号强度 S_{SE} 和刺激回波信号强度 S_{STE} 判断当前 B_1 场是否为目标 B_1 场的具体过程为:

获取当前 B_1 场下采集的刺激回波信号强度 S_{STE} 与自旋回波信号强度 S_{SE} 的比值 i ,

$$i = \frac{S_{STE}}{S_{SE}}, 0 \leq i \leq 2;$$

获取目标 B_1 场对应的刺激回波信号强度 S_{STE} 与自旋回波信号强度 S_{SE} 的参考比值 j , $0 \leq j \leq 2$;

如果 i 与 j 的差值在设定范围内,则判定当前 B_1 场为目标 B_1 场;否则,则判定当前 B_1 场不是目标 B_1 场。

8. 一种磁共振系统,包括:

体发射线圈模块,包含多个射频线圈发射通道;

优化模块,用于根据成像区域内采集的自旋回波信号强度 S_{SE} 和刺激回波信号强度 S_{STE} ,对多个射频发射通道的幅度和相位参数进行优化,所述自旋回波信号强度 S_{SE} 和刺激回波信号强度 S_{STE} 通过采用包含三个射频脉冲的刺激回波序列获得;

驱动模块,用于根据多个射频发射通道优化后的幅度和相位参数驱动所述多个射频发射通道产生目标 B_1 场,所述目标 B_1 场同时满足 B_1 场均匀性和射频发射功率优化;

信号采集模块,用于在所述目标 B_1 场下采集待扫描部位的磁共振信号;

重建模块,用于对所述磁共振信号进行傅里叶变换,获取待扫描区域的磁共振图像;

在对多个射频发射通道的幅度和相位参数进行优化以产生目标 B_1 场之后,所述驱动模块还用于对目标 B_1 场对应的射频发射功率 P_{Tar} 进行归一化,获取参考射频发射功率 P_{Ref} , P_{Ref}

$$= K \times P_{Tar}, \text{其中比例因子 } K = \left(\frac{\theta_{Ref}}{\theta_m}\right)^2, \text{其中 } \theta_m \text{ 表示目标 } B_1 \text{ 场对应的目标翻转角, } \theta_{Ref} \text{ 表示参}$$

考 B_1 场对应的参考翻转角。

9. 根据权利要求8所述的磁共振系统,其特征在于,所述优化模块根据待成像区域内采集的自旋回波信号强度 S_{SE} 和刺激回波信号强度 S_{STE} 获取当前 B_1 场对应的当前翻转角 θ ,根据当前翻转角 θ 与目标 B_1 场对应的目标翻转角 θ_m 的差值确定是否对多个射频发射通道的幅度和相位参数进行优化;

或所述优化模块获取当前 B_1 场下采集的刺激回波信号强度 S_{STE} 与自旋回波信号强度 S_{SE} 的比值 i ,根据 i 和目标 B_1 场对应的刺激回波信号强度与自旋回波信号强度的参考比值 j ,确定是否对射频发射通道的幅度和相位参数进行优化,其中, $0 \leq i \leq 2$, $0 \leq j \leq 2$ 。

磁共振系统及成像的方法

【技术领域】

[0001] 本发明涉及磁共振成像技术领域,尤其涉及射频场优化相关的技术。

【背景技术】

[0002] 磁共振成像(Magnetic Resonance Imaging, MRI)技术是一种随着计算机技术、电子电路技术、超导体技术的发展而产生的一种非介入式探测技术,在当今的临床诊断和医学研究中有着极其重要的意义。磁共振成像的基本过程是:发射单元产生垂直于扫描设备主磁场的射频场,射频脉冲能量使人体内共振的原子核自旋,此时的人体相当于接收机,被准确地调谐在共振频率上,射频脉冲停止后,人体被照射部分的质子经过弛豫过程逐渐回到原来的平衡位置,同时发射出与刺激脉冲波频率相同的射频信号,这一过程称为自由感应衰减振荡。病灶内的氢原子具有不同于正常组织内的氢原子的“弛豫”时间常数,这样可以获得人体内各处质子密度和质子周围的化学环境的图像,医生可通过图像准确诊断组织的早期病变。自磁共振成像技术应用以来,为满足人们对成像高分辨率、高信噪比的需求,扫描设备的主磁场场强不断提升,对应的射频脉冲载波频率也随之提高。然而,上述操作的结果是短波长的射频场与负载的耦合效应增强,导致射频能量在空间上的不均匀传递以及对空间内质子的不均匀激发,成像结果不够准确反映真实信息,从而无法提供用于临床诊断和研究的可靠参照。因此,射频(B_1)场的均匀性是决定磁共振性能的重要指标。

[0003] 在扫描区内均匀的射频线圈发射磁场,才能使线圈在共振频率处获得高增益Q值,从而获得清晰的图像。 B_1 场的不均匀可以造成不同空间位置处的翻转角差异,而无论是自旋回波或者梯度回波序列,实际的翻转角常常低于理论数值,通常会造成特定范围内的信号减小;或者在损毁梯度回波序列中,由于序列的T1对比主要取决于翻转角,可能造成图像对比特征的改变。此外,180°或90°饱和脉冲的翻转角差异,也会造成所抑制组织的不完全。因此,高场MRI中 B_1 场的均匀性是一个关键性技术问题,直接影响到图像的均匀性以及对比度。现有技术中, B_1 场均匀性的获取方法主要包括:扩大线圈的几何尺寸和多通道并行发射技术。其中,扩大线圈的几何尺寸在提高 B_1 场均匀性的同时,会加大线圈损耗、减小填充因数,而且由于线圈内所包含的组织量增多,还会形成额外的噪声来源,虽然 B_1 场均匀性增强却伴随信噪比(Signal Noise Ratio, S/N)降低;多通道并行发射技术主要根据所有单个发射通道的 B_1 场调节各个通道的幅值以及相位优化 B_1 场的均匀性,然而其调节过程比较耗时,难以满足临床序列扫描前进行预扫描系统校正的要求。此外, MRI系统中为了使发射的射频脉冲达到需要的翻转角,还需要再在扫描前对体线圈的射频发射功率进行校准,高场射频激发场的不均匀使得传统的校准方法得出的电压值只能代表激发区域的平均水平,无法对高场下的 B_1 场的均匀性问题提供帮助。鉴于此,有必要对现有 B_1 场校准方法进行改进。

【发明内容】

[0004] 本发明所要解决的技术问题是提供一种可快速、准确实现 B_1 场均匀性优化的方法。

[0005] 本发明解决上述技术问题所采用的技术方案为一种磁共振系统成像的方法,所述磁共振系统包括若干个射频发射通道,具体包括以下步骤:

[0006] 在多通道发射模式下,根据成像区域内采集的自旋回波信号强度 S_{SE} 和刺激回波信号强度 S_{STE} ,对多个射频发射通道的幅度和相位参数进行优化以产生目标 B_1 场,所述目标 B_1 场同时满足 B_1 场均匀性和射频发射功率优化;

[0007] 将经过优化的幅度和相位参数加载到射频脉冲控制器,驱动多个射频发射通道产生目标 B_1 场;

[0008] 在所述目标 B_1 场下激发受检者待扫描部位,获取待扫描部位的磁共振信号;

[0009] 对所述磁共振信号进行傅里叶变换,获取待扫描部位的磁共振图像。

[0010] 进一步地,所述根据成像区域内采集的自旋回波信号强度 S_{SE} 和刺激回波信号强度 S_{STE} ,对多个射频发射通道的幅度和相位参数进行优化的具体过程为:

[0011] (a) 在磁共振系统空载状态下,将初始校正得到的若干个射频发射通道的幅度、相位参数和射频发射功率初始值加载到射频脉冲控制器;

[0012] (b) 驱动所述多个射频发射通道并采用刺激回波序列获取成像区域内自旋回波信号强度 S_{SE} 和刺激回波信号强度 S_{STE} ;

[0013] (c) 根据自旋回波信号强度 S_{SE} 和刺激回波信号强度 S_{STE} 判断当前 B_1 场是否为目标 B_1 场,如果否,则调整所述若干个射频发射通道的幅度、相位参数,并返回步骤(b);否则,结束优化过程。

[0014] 进一步地,所述根据自旋回波信号强度 S_{SE} 和刺激回波信号强度 S_{STE} 判断当前 B_1 场是否为目标 B_1 场的具体过程为:

[0015] 根据自旋回波信号强度 S_{SE} 和刺激回波信号强度 S_{STE} 获取当前翻转角 θ ;

[0016] 获取目标 B_1 场所对应的目标翻转角 θ_m ,计算所述当前翻转角 θ 与所述目标翻转角 θ_m 的差值是否在设定范围内,如果是,则判定当前 B_1 场为目标 B_1 场;如果否,则判定当前 B_1 场不是目标 B_1 场。

[0017] 进一步地,所述目标翻转角 $\theta_m=90^\circ$ 。

[0018] 进一步地,所述刺激回波含有三个射频脉冲,对应翻转角分别为 θ_1 、 θ_2 、 θ_3 ,且 $\theta_1=\theta_2$

$=\theta_3=\theta$, $0\leq\theta\leq 180^\circ$,则 $\theta = 2 \arccos\left(\sqrt{\frac{S_{STE}}{2S_{SE}}}\right)$,其中 θ 表示当前翻转角。

[0019] 进一步地,所述刺激回波含有三个射频脉冲,对应翻转角分别为 θ_1 、 θ_2 、 θ_3 ,且 $\theta_1=\theta_3$

$=\theta$, $\theta_2=2\theta$, $0\leq\theta\leq 90^\circ$,则 $\theta = \arccos\left(\frac{S_{STE}}{S_{SE}}\right)$,其中 θ 表示当前翻转角。

[0020] 进一步地,所述根据自旋回波信号强度 S_{SE} 和刺激回波信号强度 S_{STE} 判断当前 B_1 场是否为目标 B_1 场的具体过程为:

[0021] 获取当前 B_1 场下采集的刺激回波信号强度 S_{STE} 与自旋回波信号强度 S_{SE} 的比值 i ,

$$i = \frac{S_{STE}}{S_{SE}}, 0 \leq i \leq 2;$$

[0022] 获取目标 B_1 场对应的刺激回波信号强度 S_{STE} 与自旋回波信号强度 S_{SE} 的参考比值 j , $0\leq j\leq 2$;

[0023] 如果*i*与*j*的差值在设定范围内,则判定当前 B_1 场为目标 B_1 场;否则,则判定当前 B_1 场不是目标 B_1 场。

[0024] 进一步地,还包括对目标 B_1 场对应的射频发射功率 P_{Tar} 进行归一化,获取参考射频

发射功率 P_{Ref} , $P_{Ref}=K \times P_{Tar}$,其中比例因子 $K = \left(\frac{B_{1Ref}}{B_{1Tar}}\right)^2$ 或 $K = \left(\frac{\theta_{Ref}}{\theta_m}\right)^2$,其中 B_{1Tar} 表示目

标 B_1 场的幅度值, B_{1Ref} 表示参考 B_1 场的幅度值, θ_m 表示目标 B_1 场对应的目标翻转角, θ_{ref} 表示参考 B_1 场对应的参考翻转角。

[0025] 本发明还提供一种磁共振系统,包括:

[0026] 体发射线圈模块,包含多个射频线圈发射通道;

[0027] 优化模块,用于根据成像区域内采集的自旋回波信号强度 S_{SE} 和刺激回波信号强度 S_{STE} ,对多个射频发射通道的幅度和相位参数进行优化;

[0028] 驱动模块,用于根据多个射频发射通道优化后的幅度和相位参数驱动所述多个射频发射通道产生目标 B_1 场,所述目标 B_1 场同时满足 B_1 场均匀性和射频发射功率优化;

[0029] 信号采集模块,用于在所述目标 B_1 场下采集待扫描部位的磁共振信号;

[0030] 重建模块,用于对所述磁共振信号进行傅里叶变换,获取待扫描区域的磁共振图像。

[0031] 进一步地,所述优化模块根据待成像区域内采集的自旋回波信号强度 S_{SE} 和刺激回波信号强度 S_{STE} 获取当前 B_1 场对应的当前翻转角 θ ,根据当前翻转角 θ 与目标 B_1 场对应的目标翻转角 θ_m 的差值确定是否对多个射频发射通道的幅度和相位参数进行优化;

[0032] 或所述优化模块获取当前 B_1 场下采集的刺激回波信号强度 S_{STE} 与自旋回波信号强度 S_{SE} 的比值*i*,根据*i*和目标 B_1 场对应的刺激回波信号强度与自旋回波信号强度的参考比值*j*,确定是否对射频发射通道的幅度和相位参数进行优化,其中, $0 \leq i \leq 2, 0 \leq j \leq 2$ 。

[0033] 与现有技术相比,本发明的优点在于:通过采用刺激回波获取成像区域内的自旋回波和刺激回波信号,进而获得翻转角,而翻转角与 B_1 场存在线性对应关系,因此通过采集自旋回波信号和刺激回波信号的强度可反映 B_1 场的情况;调节多个射频通道的幅度和相位参数可获得与之对应的自旋回波信号和刺激回波信号,通过检测上述两种信号可快速校正得到均匀 B_1 场,提高图像的均匀性和对比度;采用迭代优化方法实现 B_1 场均匀性校准的同时也可对射频发射功率校准,保证了校准值的一致性和准确性,在一定程度上避免局部高场射频能量吸收率过高。

【附图说明】

[0034] 图1为本发明磁共振系统成像的方法流程图;

[0035] 图2为射频发射通道的幅度和相位参数优化流程图;

[0036] 图3为在成像区域内采集自旋回波和刺激回波信号示意图;

[0037] 图4a为射频发射通道幅相参数优化前得到的 B_1 场分布图;

[0038] 图4b为采用本发明方法优化的射频发射通道幅相参数得到的 B_1 场分布图;

[0039] 图5为射频线圈发射通道结构示意图。

【具体实施方式】

[0040] 为使本发明的上述目的、特征和优点能够更为明显易懂,下面结合附图和实施例对本发明的具体实施方式做详细的说明。

[0041] 磁共振系统主要包括扫描控制系统、梯度系统、射频系统和超导磁体,其中,超导磁体、梯度系统、射频系统设置在扫描腔的周围,超导磁体在超导开关控制下产生均匀稳定的静磁场 B_0 的主磁场,主磁场的强度均匀性、扫描腔的大小等都会影响磁共振信号的信噪比和图像分辨率;梯度系统由梯度线圈、梯度控制器、数模转换器、梯度放大器和梯度冷却系统等组成,提供系统线性度满足要求的、可快速开关的梯度场,根据需要动态地在主磁场附加一个X、Y、Z正交的三维空间线性变化的梯度磁场,一个方向的梯度用于射频脉冲选择性的激发一个层面内质子的自旋,第二个梯度对沿层面内一个方向的MR信号进行频率编码,第三个梯度对沿层面内另一个方向的MR信号进行相位空间编码,使受检者在不同位置具有不同的共振频率,实现成像体素的选层和空间编码的功能,上述三个梯度场分别由三个正交的梯度交流线圈产生,每一组线圈要求有一个独立的电流驱动放大器供电,每组线圈由两个电流方向相反的同轴线圈组成,以产生其轴向的最大梯度磁场;射频系统由射频线圈、发射接收系统、射频功率系统等组成,是磁共振系统中实施射频激励并接收和处理射频信号的功能单元,其不仅要根据扫描序列的要求发射各种翻转角的射频波,还要接收成像区域内氢质子的共振信号,射频系统中的射频线圈主要在射频控制器的作用下,提供扫描序列所需要的各种射频脉冲,为了保证图像空间的均匀性,产生的 B_1 场在整个成像区域内要尽可能均匀。

[0042] 通常情况下,射频激发后,线圈中感应出的信号正比于磁化矢量的横向分量,横向分量与翻转角直接相关,而翻转角又与 B_1 场成比例,因此,通过计算成像区域内翻转角的大小可获得当前 B_1 场的分布情况。为实现 B_1 场均匀性,本发明一种磁共振系统成像的方法,其中磁共振系统包括若干个射频发射通道,具体包括以下步骤:

[0043] S10、在多通道发射模式下,根据成像区域内采集的自旋回波信号强度 S_{SE} 和刺激回波信号强度 S_{STE} ,对多个射频发射通道的幅度和相位参数进行优化以产生目标 B_1 场,该目标 B_1 场既可满足 B_1 场均匀性也可对射频发射功率优化;

[0044] S20、将经过优化的幅度和相位参数加载到射频脉冲控制器中,驱动多个射频发射通道,其中射频通道与射频发射线圈一一对应,从而产生目标 B_1 场;

[0045] S30、在目标 B_1 场下激发受检者待扫描部位,获取待扫描部位的磁共振信号;

[0046] S40、对获取的磁共振信号进行傅里叶变换,获取待扫描部位的磁共振图像。

[0047] 在本发明方法中,根据成像区域内采集的自旋回波信号强度 S_{SE} 和刺激回波信号强度 S_{STE} ,对多个射频发射通道的幅度和相位参数进行优化具体过程如下:

[0048] (a) 在磁共振系统空载状态下,将初始校正得到的若干个射频发射通道的幅度、相位参数和射频发射功率初始值 P_{Ini} 加载到射频脉冲控制器。磁共振系统包括若干个射频发射通道(通道数大于等于2),每个射频发射通道都可单独发射射频场,多个射频发射通道形成合成矢量 B_1 场,合成场与各通道发射场之间满足矢量合成关系,即各通道独立 B_1 场通过矢量叠加形成了合成的系统 B_1 场。在此具体实施例中,以双通道发射为例,记射频通道A产生的独立 B_1 场为 B_1^A ,射频通道B产生的独立 B_1 场为 B_1^B ,则 B_1 场与单通道 B_1^A 、 B_1^B 之间的合成关

系满足： $B_1 = \alpha_A B_1^A + \alpha_B B_1^B$ ，其中 α_A 、 α_B 为复数，且 $\alpha_A = a_A e^{j\beta_A}$ ， $\alpha_B = a_B e^{j\beta_B}$ ， a_0 、 a_1 分别为通道A和通道B产生的射频脉冲的幅值比例因子， β_A 、 β_B 分别表示通道A和通道B产生的射频脉冲的相位因子。

[0049] (b) 驱动多个射频发射通道并采用刺激回波序列获取激发区域内自旋回波信号强度 S_{SE} 和刺激回波信号强度 S_{STE} 。本具体实施例中，根据步骤(a)中每个通道的幅度和相位参数，如图3所示， G_{SS} 为选层梯度，在选层梯度时间范围内，采用包含三个射频脉冲的刺激回波(STEAM)序列，三个射频脉冲对应的翻转角分别为 θ_1 、 θ_2 、 θ_3 ，且满足 $\theta_1 = \theta_2 = \theta_3 = \theta$ ， θ 表示当前翻转角， $0 \leq \theta \leq 180^\circ$ ， τ_1 和 τ_2 是射频脉冲到采集窗的时间间隔，通过数据采集窗口ADC获取的成像区域内自旋回波和刺激回波信号的强度是成像区域内每一点信号值的总和，且成像区域内任一点的坐标用 (x, y) 表示，待成像区域内自旋回波以及刺激回波信号强度可表示如下：

$$[0050] \quad S_{SE} = \rho_0 \sum_{(x,y)} \sin(\theta_1) \left(\sin\left(\frac{\theta_2}{2}\right)\right)^2 e^{-\frac{2\tau_1}{T_2}}$$

$$[0051] \quad S_{STE} = \frac{1}{2} \rho_0 \sum_{(x,y)} \sin(\theta_1) \sin(\theta_2) \sin(\theta_3) e^{-\frac{2\tau_1}{T_2}} e^{-\frac{\tau_2}{T_1}}$$

[0052] 其中， ρ_0 表示纵向磁化， T_1 为氢质子纵向弛豫时间， T_2 为氢质子横向弛豫时间。

[0053] (c) 根据自旋回波信号强度 S_{SE} 和刺激回波信号强度 S_{STE} 判断当前 B_1 场是否为目标 B_1 场，如果否，则调整若干个射频发射通道的幅度、相位参数，并返回步骤(b)；否则，结束优化过程。翻转角与 B_1 场的分布满足线性关系式，以双射频通道为例翻转角 $\theta = \gamma |B_1(a_0, a_1, \beta_1, \beta_2)| \int_0^{T_p} A(t) dt$ ，其中， T_p 表示脉冲持续的时间， $A(t)$ 为 t 时刻施加的脉冲波形， γ 为旋磁比，由上述公式可知在脉冲波形恒定的情况下，翻转角与 B_1 成线性关系，因此，翻转角与 B_1 场存在对应关系，通过翻转角可间接反映 B_1 场的分布情况。本实施例中获取自旋回波和刺激回波信号强度的比值，并忽略弛豫项，可得

$$\frac{S_{SE}}{S_{STE}} = \frac{\rho_0 \sum_{(x,y)} \sin(\theta_1) \left(\sin\left(\frac{\theta_2}{2}\right)\right)^2 e^{-\frac{2\tau_1}{T_2}}}{\frac{1}{2} \rho_0 \sum_{(x,y)} \sin(\theta_1) \sin(\theta_2) \sin(\theta_3) e^{-\frac{2\tau_1}{T_2}} e^{-\frac{\tau_2}{T_1}}} = \frac{2 \left(\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)\right)^2}{\left(\sin(\theta)\right)^2} = \frac{1}{2 \left(\cos\left(\frac{\theta}{2}\right)\right)^2}，因此，可$$

计算得到当前翻转角 $\theta = 2 \arccos\left(\sqrt{\frac{S_{STE}}{2S_{SE}}}\right)$ 。

[0054] 利用 B_1 场与翻转角的线性对应关系，获取目标 B_1 场所对应的目标翻转角为 θ_m ， $0 \leq \theta_m \leq 180^\circ$ ，计算当前翻转角 θ 与目标翻转角 θ_m 的差值是否在设定范围内，具体为：根据优化需求选定收敛域值 ε_1 （ ε_1 为设定的阈值），计算当前翻转角 θ 与目标翻转角 θ_m 的差值是否小于 ε_1 ，如果满足该条件，则判定此时的翻转角 θ 达到目标翻转角 θ_m ；否则，判定当前 B_1 场不是目标 B_1 场，此时需调整射频发射通道A、B的幅度、相位参数（调整射频通道的幅度和相位参数可改变翻转角），并返回步骤(b)，直至判定当前翻转角 θ 与目标翻转角 θ_m 的差值位于设定范围内（最理想的情况为调整为当前翻转角 θ 与目标翻转角相等），并结束优化过程。

[0055] 如图4a所示为射频发射通道幅相参数优化前得到的B₁场分布图,如图4b所示为采用本发明方法对射频发射通道幅相参数优化后得到的B₁场分布图,两图都以翻转角表示。在未优化之前,由于受双通道相位相互抵消的影响,B₁场分布不均匀,具体表现为部分边缘区域信号强,另一部分边缘区域信号较弱,整体分布不均匀;而采用优化后的参数得到的B₁场均匀性明显改善,可避免出现边缘区域相位相互抵消的情况。

[0056] 需要说明的是,刺激回波选择序列的不同,通过计算得到的当前翻转角公式也会不同。在实施例二中,刺激回波含有三个射频脉冲,对应翻转角分别为 θ_1 、 θ_2 、 θ_3 ,且 $\theta_1 = \theta_3 = \theta$, $\theta_2 = 2\theta$, $0 \leq \theta \leq 90^\circ$, θ 表示当前射频发射功率翻转角。如实施例一中所述,自旋回波以及刺激回波信号强度可如下表示:

$$[0057] \quad S_{SE} = \rho_0 \sum_{(x,y)} \sin(\theta_1) \left(\sin\left(\frac{\theta_2}{2}\right)\right)^2 e^{-\frac{2r_1}{T_2}}$$

$$[0058] \quad S_{STE} = \frac{1}{2} \rho_0 \sum_{(x,y)} \sin(\theta_1) \sin(\theta_2) \sin(\theta_3) e^{-\frac{2r_1}{T_2}} e^{-\frac{r_2}{T_1}}$$

[0059] 在忽略弛豫项的情况下,自旋回波和刺激回波信号强度的比值为:

$$[0060] \quad \frac{S_{SE}}{S_{STE}} = \frac{\rho_0 \sum_{(x,y)} \sin(\theta_1) \left(\sin\left(\frac{\theta_2}{2}\right)\right)^2 e^{-\frac{2r_1}{T_2}}}{\frac{1}{2} \rho_0 \sum_{(x,y)} \sin(\theta_1) \sin(\theta_2) \sin(\theta_3) e^{-\frac{2r_1}{T_2}} e^{-\frac{r_2}{T_1}}} = \frac{2 \left(\sin\left(\frac{\theta_2}{2}\right)\right)^2}{\sin(\theta_2) \sin(\theta_3)} = \frac{1}{\cos \theta}$$

[0061] 根据自旋回波信号强度 S_{SE} 和刺激回波信号强度 S_{STE} 获得的当前翻转角 θ 表达式为:

$$\theta = \arccos\left(\frac{S_{STE}}{S_{SE}}\right)。目标B_1场所对应的目标翻转角为 θ_m , $0 \leq \theta_m \leq 90^\circ$ 。计算当前翻转角 θ 与$$

目标翻转角 θ_m 的差值是否在设定范围内,具体为:根据优化需求选定收敛域值 ε_2 (设定的阈值),计算当前翻转角 θ 与目标翻转角 θ_m 的差值是否小于 ε_2 ,如果满足该条件,则判定此时的翻转角 θ 达到目标翻转角 θ_m ;否则,判定当前B₁场不是目标B₁场,此时需调整射频发射通道A、B的幅度、相位参数(调整射频通道的幅度和相位参数可改变翻转角),并返回步骤(b),直至判定当前翻转角 θ 与目标翻转角 θ_m 的差值位于设定范围内(最理想的情况为调整为当前翻转角 θ 与目标翻转角 θ_m 相等),并结束优化迭代过程。

[0062] 在上述两个实施例中,调整各个射频发射通道的幅度、相位参数可改变B₁场的分布,B₁场分布的变化通过计算当前发射功率对应的翻转角 θ 体现,而计算检测得到的自旋回波信号强度 S_{SE} 和刺激回波信号强度 S_{STE} 可得到当前发射功率达到的翻转角 θ ,因此,也可直接通过计算自旋回波信号强度 S_{SE} 和刺激回波信号强度 S_{STE} 的比值判断当前射频场是否达到目标场。在实施例三中,根据初始校正分配得到的每个通道的幅度和相位参数,采用包含三个射频脉冲的刺激回波(STEAM)序列,三个射频脉冲对应的翻转角分别为 θ_1 、 θ_2 、 θ_3 ,且满足 $\theta_1 = \theta_2 = \theta_3 = \theta$, θ 表示当前翻转角, $0 \leq \theta \leq 180^\circ$,如实施例一所述,自旋回波信号强度 S_{SE} 和刺

激回波信号强度 S_{STE} 与当前射频发射功率翻转角 θ 的关系满足: $\theta = 2 \arccos\left(\sqrt{\frac{S_{STE}}{2S_{SE}}}\right)$ 。若

当前射频B₁场调整为目标场,即当前翻转角 $\theta = \theta_m$, $0 \leq \theta_m \leq 180^\circ$,则此时应满足关系

$\frac{S_{STE}}{S_{SE}} = 2 * (\cos(\frac{\theta_m}{2}))^2$ 。因此,根据自旋回波信号强度 S_{SE} 和刺激回波信号强度 S_{STE} 判断当前

B_1 场是否为目标 B_1 场的也可按照如下过程实现过程:

[0063] 获取当前 B_1 场下采集的刺激回波信号强度 S_{STE} 与自旋回波信号强度 S_{SE} 的比值 i ,

$$i = \frac{S_{STE}}{S_{SE}}, 0 \leq i \leq 2;$$

[0064] 获取目标 B_1 场对应的刺激回波信号强度与自旋回波信号强度的参考比值 j , j 根据

$$具体情况设定,本实施例中 $j = 2 * (\cos(\frac{\theta_m}{2}))^2, 0 \leq j \leq 2;$$$

[0065] 如果 i 与 j 的差值在设定范围 ϵ_3 内,则判定当前 B_1 场为目标 B_1 场;否则,则判定当前 B_1 场不是目标 B_1 场,本实施例中设定目标函数 $Cost = |i - j|$,判定目标函数是否为 ϵ_3 (达到设定范围),如果目标函数为 ϵ_3 (处于设定范围)结束优化过程;如果目标函数不为 ϵ_3 (处于设定范围),则调整各个射频通道的幅度和相位参数,根据调整后的参数重新获取一组自旋回波信号强度 S_{SE} 和刺激回波信号强度 S_{STE} ,并重新判断目标函数的值,直至判定目标函数为 ϵ_3 (处于设定范围),获取此时射频发射功率的翻转角,并根据翻转角与射频发射功率的线性关系,获取目标发射场中各个射频通道经过调整后的最优幅值和相位参数。

[0066] 在实施例四中,根据初始校正分配得到的每个通道的幅度和相位参数,含有三个射频脉冲的刺激回波序列,三个射频脉冲对应翻转角分别为 θ_1 、 θ_2 、 θ_3 ,且 $\theta_1 = \theta_3 = \theta$, $\theta_2 = 2\theta$, $0 \leq \theta \leq 90^\circ$, θ 表示当前射频发射功率翻转角,如实施例二所述,自旋回波信号强度 S_{SE} 和刺激

回波信号强度 S_{STE} 与当前射频发射功率翻转角 θ 的关系满足: $\theta = \arccos(\frac{S_{STE}}{S_{SE}})$ 。若当前射

频 B_1 场调整为目标场,当前射频发射功率翻转角 $\theta = \theta_m$, $0 \leq \theta_m \leq 90^\circ$,则此时应满足关系

$$\frac{S_{STE}}{S_{SE}} = \cos \theta_m, 直接判断刺激回波信号强度S_{STE}与自旋回波信号强度S_{SE}两者的比值即可判$$

定当前射频场是否调整到目标场,具体为:获取当前 B_1 场下采集的刺激回波信号强度 S_{STE} 与

自旋回波信号强度 S_{SE} 的比值 i , $i = \frac{S_{STE}}{S_{SE}}, 0 \leq i \leq 1$;获取目标 B_1 场对应的刺激回波信号强

度与自旋回波信号强度的参考比值 j , j 根据具体情况设定,本实施例中 $j = \cos \theta_m, 0 \leq j \leq 1$;

[0067] 如果 i 与 j 的差值在设定范围 ϵ_4 内,则判定当前 B_1 场为目标 B_1 场;否则,则判定当前 B_1 场不是目标 B_1 场,本实施例汇总设定目标函数 $Cost = |i - j|$,判定目标函数是否为 ϵ_4 (或达到设定范围),如果目标函数为 ϵ_4 (或处于设定范围)结束优化过程;如果目标函数不为 ϵ_4 (或处于设定范围),则调整各个射频通道的幅度和相位参数,根据调整后的参数重新获取一组自旋回波信号强度 S_{SE} 和刺激回波信号强度 S_{STE} ,并重新判断目标函数的值,直至判定目标函数为 ϵ_4 (或处于设定范围),获取此时射频发射功率的翻转角,并根据翻转角与射频发射功率的线性关系,获取目标发射场中各个射频通道经过调整后的最优幅值和相位参数。

[0068] 本发明的磁共振成像方法,在通过调整各通道相位、幅度参数获得目标 B_1 场后,还包括,对目标 B_1 场对应的射频发射功率 P_{Tar} 进行归一化获取参考射频发射功率 P_{Ref} , $P_{Ref} = K$

$\times P_{Tar}$, 其中比例因子 $K = \left(\frac{B_{1Ref}}{B_{1Tar}}\right)^2$ 或 $K = \left(\frac{\theta_{Ref}}{\theta_m}\right)^2$, B_{1Tar} 表示目标 B_1 场的幅度值, B_{1Ref} 表示

参考 B_1 场的幅度值, θ_m 目标 B_1 场对应的目标翻转角, θ_{Ref} 是参考 B_1 场对应的参考翻转角。在上述成像方法基础上, 本发明还提供一种磁共振系统, 包括磁体、梯度线圈、射频线圈和控制系统, 其中, 磁体在其工作孔径内产生匀强磁场, 即主磁场或静磁场 B_0 (static magnetic field); 磁体的空间内还设置有梯度线圈、匀场线圈、射频线圈从而形成容纳受检者的有效孔径, 梯度线圈为磁共振系统提供线性度要求的、可快速开关的梯度场; 射频线圈, 实施射频激励并接收和处理射频信号。

[0069] 本发明的磁共振系统中的体发射线圈模块, 包含多个射频线圈发射通道, 如图5所示, 包含有射频振荡器、频率合成器、滤波放大器、波形调制器、脉冲功率放大器、终端匹配网络及RF发射线圈等, 作用是在射频脉冲控制器的作用下, 控制序列发生器、脉冲发生器通过射频线圈发射通道提供扫描序列所需的各种射频脉冲, 其产生的射频 B_1 场垂直于主磁场 B_0 , 使得RF脉冲能够将其能量耦合给共振的原子核而引起质子进动。需要指出的是, 不同的射频发射功率以及不同的射频发射通道加权矢量合成会形成不同的射频 B_1 场, 从而导致空间翻转角分布不同, 序列的实现效果也不一样。

[0070] 在扫描成像前, 为保证获取 B_1 场的均匀性, 本发明的磁共振系统设置有优化模块, 用于根据成像区域内采集的自旋回波信号强度 S_{SE} 和刺激回波信号强度 S_{STE} , 对多个射频发射通道的幅度和相位参数进行优化, 具体为: 根据待成像区域内采集的自旋回波信号强度 S_{SE} 和刺激回波信号强度 S_{STE} 获取当前 B_1 场对应的当前翻转角, 根据当前翻转角与目标 B_1 场对应的目标翻转角的差值确定是否对多个射频发射通道的幅度和相位参数进行优化; 或优化模块获取当前 B_1 场下采集的刺激回波信号强度 S_{STE} 与自旋回波信号强度 S_{SE} 的比值 i , $0 \leq i \leq 2$, 根据 i 和目标 B_1 场对应的刺激回波信号强度与自旋回波信号强度的参考比值 j , $0 \leq j \leq 2$, 确定是否对射频发射通道的幅度和相位参数进行优化或调整; 驱动模块, 即射频脉冲控制器, 用于根据多个射频发射通道优化后的幅度和相位参数驱动射频发射通道产生目标 B_1 场, 目标 B_1 场同时满足 B_1 场均匀性和射频发射功率均匀性。

[0071] 射频接收单元接收人体产生的磁共振信号, 并经适当放大后供信号采集模块使用。从接收线圈中感应出的信号只有微瓦 (μW) 数量级的功率, 这就要求它既要有很高的放大倍数, 又要有很小的噪声, 因此射频接收单元中还包括前置放大器, 前置放大器可对 $1\mu V$ 以下的信号发生反应, 同时在工作频率附近要求有较为平坦的频率响应, 并在很大范围内有足够的线性放大特性。此外, 从安全性能考虑, 该前置放大器设置为可接受 $1V$ 左右的过载, 且过载后可在小于 $1\mu s$ 的时间内迅速恢复。信号经前置放大器放大后分别经过混频器、低通滤波器和A/D转换器后, 可滤除其中混杂的交流成分, 并可使模拟信号成为离散数字信号, 这些数字信号被信号采集模块接收, 获得待扫描部位的磁共振信号。重建模块, 用于对上述磁共振信号进行傅里叶变换, 获取待扫描区域的磁共振图像。利用本磁共振成像系统, 可在短时间内完成对射频场的校正, 且获得的图像可有效减小由于 B_1 场不均匀带来的图像伪影, 提高获取临床图像的均匀性和对比度。此外由于对 B_1 场分布进行了优化, 则在一定程度上避免局部高场射频能量吸收率SAR过高的情况存在。

[0072] 以上所述仅为本发明的较佳实施例而已, 并不用以限制本发明, 凡在本发明的精神和原则之内, 所做的任何修改、等同替换、改进等, 均应包含在本发明的保护范围之内。

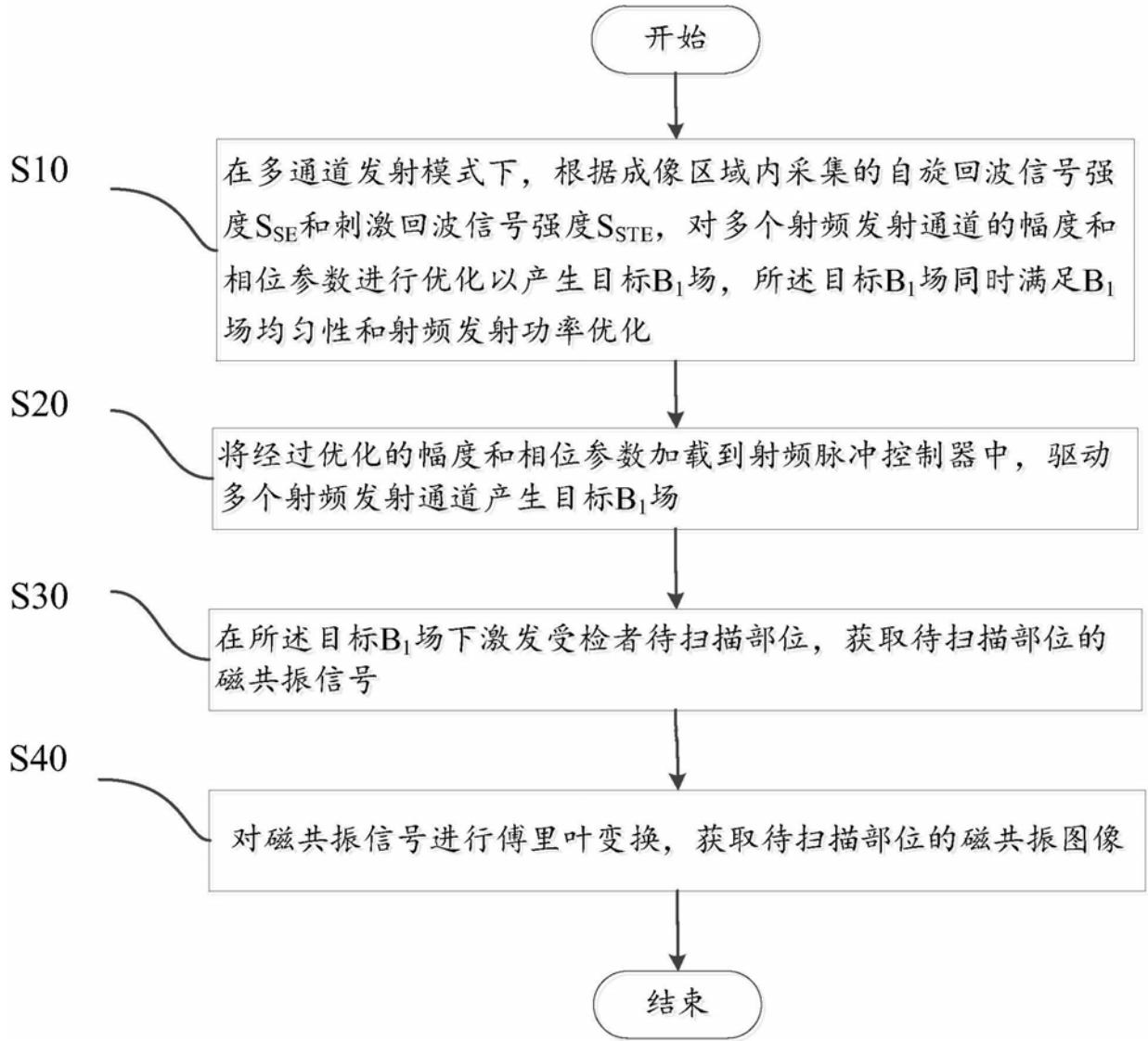


图1

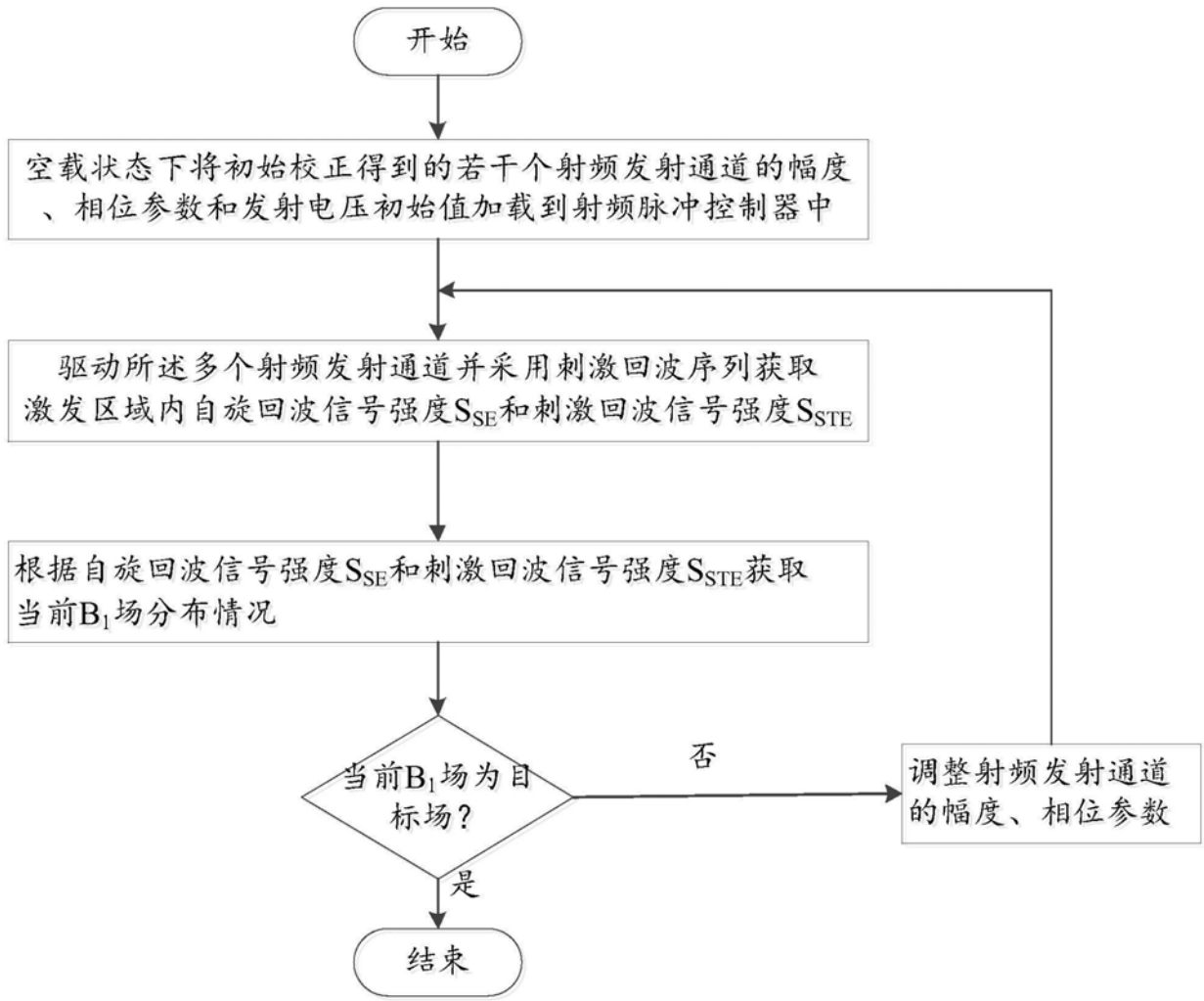


图2

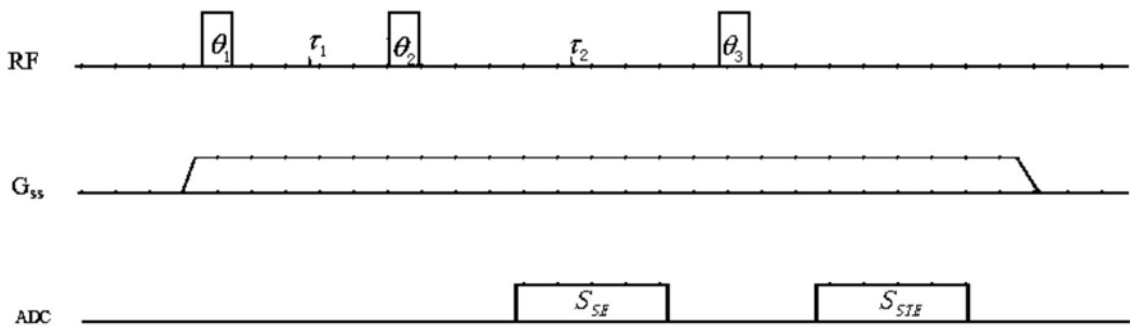


图3

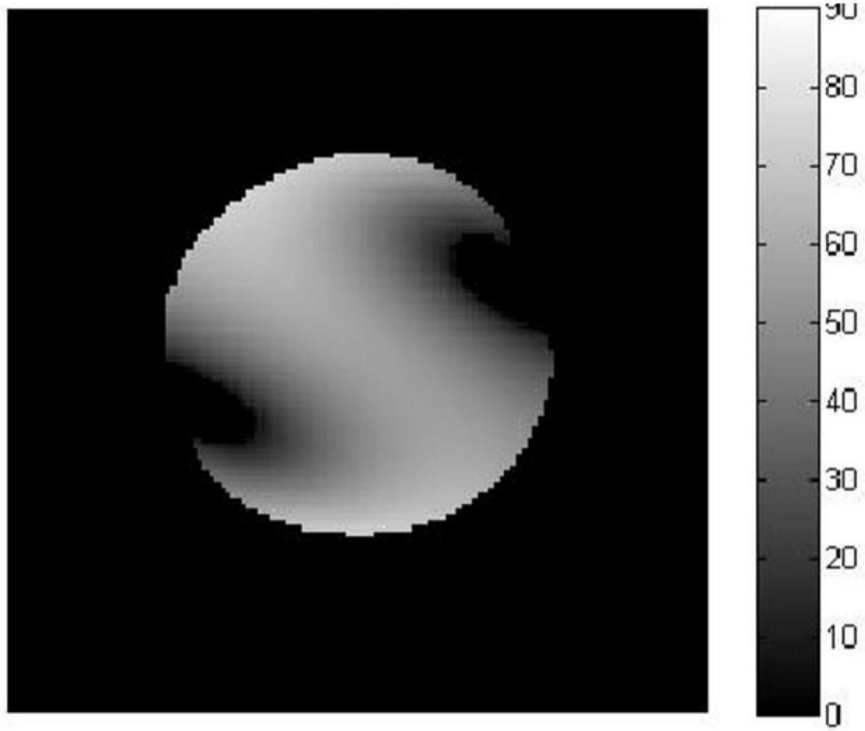


图4a

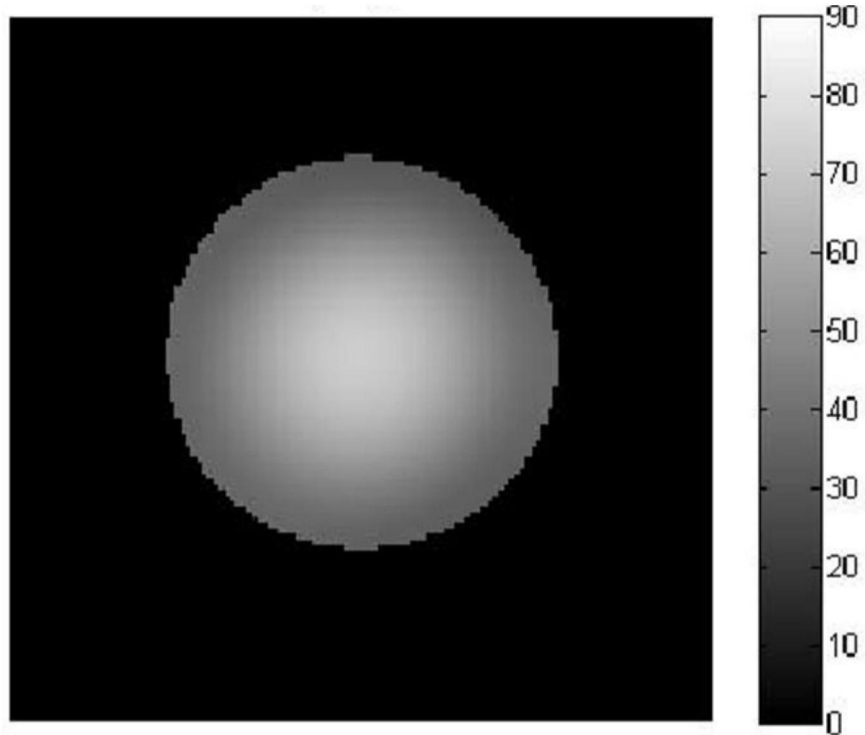


图4b

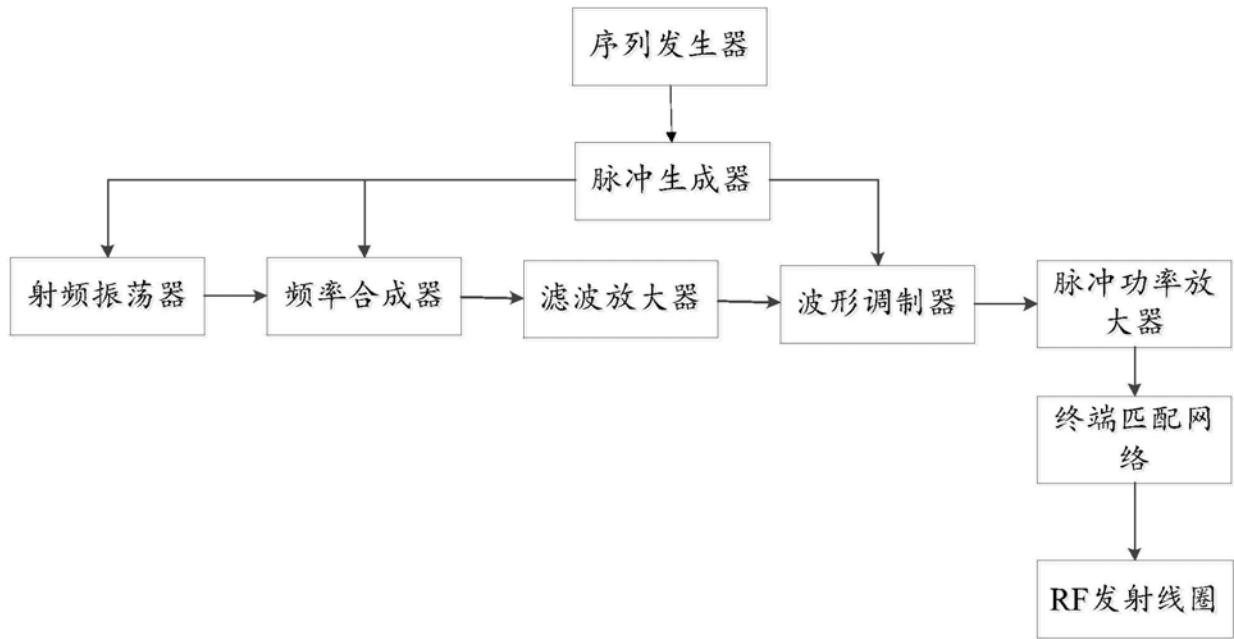


图5