



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104507387 B

(45)授权公告日 2017.03.08

(21)申请号 201380040328.X

(22)申请日 2013.08.28

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 104507387 A

(43)申请公布日 2015.04.08

(30)优先权数据
2012-196068 2012.09.06 JP

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2015.01.29

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/JP2013/072966 2013.08.28

(87)PCT国际申请的公布数据
W02014/038441 JA 2014.03.13

(73)专利权人 株式会社日立制作所
地址 日本东京都

(72)发明人 村濑毅伦

(74)专利代理机构 中科专利商标代理有限责任
公司 11021

代理人 张莉

(51)Int.Cl.
A61B 5/055(2006.01)

(56)对比文件
US 2009/0096454 A1,2009.04.16,
CN 101055307 A,2007.10.17,
JP 特开第3041688号 B2,2000.05.15,
US 2010/0244823 A1,2010.09.30,
CN 1732847 A,2006.02.15,
US 6885885 B1,2005.04.26,
WO 2011/144958 A1,2011.11.24,

审查员 王静

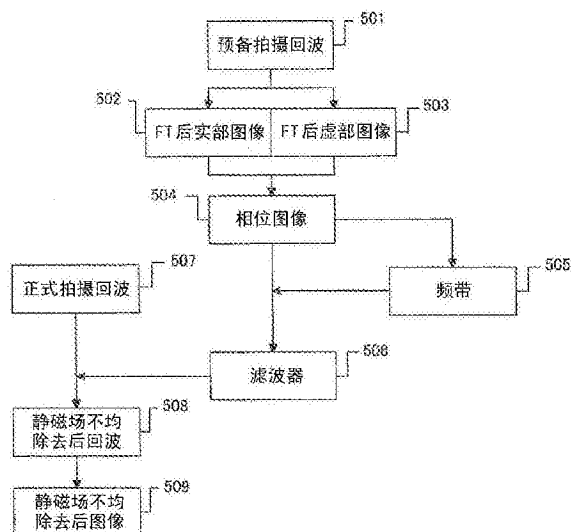
权利要求书2页 说明书11页 附图11页

(54)发明名称

磁共振成像装置以及磁共振成像方法

(57)摘要

本发明提供一种磁共振成像装置,其除去包含在核磁共振信号中的由静磁场不均引起的大范围相位变化。为此,着眼于由静磁场不均引起并在核磁共振信号中产生的相位分量是规定的频带(低频带),将由静磁场不均引起的频带的相位分量从根据正式拍摄的核磁共振信号而生成的图像中除去。由静磁场不均引起的相位分量的规定的频带是根据通过预备拍摄而获取到的核磁共振信号求出的。



1. 一种磁共振成像装置,具备:

拍摄部,其向已被放置在静磁场中的被检测对象施加高频磁场以及梯度磁场,来对从所述被检测对象产生的核磁共振信号进行检测;

控制部,其控制所述拍摄部的动作;和

图像处理部,其对所述核磁共振信号进行运算,生成图像,

所述控制部使所述拍摄部执行规定的预备拍摄和正式拍摄,

所述图像处理部包含:

频带计算部,其根据通过所述预备拍摄而获取到的核磁共振信号,求出由所述静磁场的静磁场不均引起的相位分量的频带;和

静磁场不均除去部,其从通过所述正式拍摄来获取到的核磁共振信号、以及根据通过所述正式拍摄来获取到的核磁共振信号来重构的图像中的任一者除去所述频带的相位分量。

2. 根据权利要求1所述的磁共振成像装置,其特征在于,

所述预备拍摄是将回波时间偏移,来获取2组用于将规定部位图像化的核磁共振信号,

所述频带计算部包含:

相位图像生成部,该相位图像生成部根据通过所述预备拍摄而获取到的2组核磁共振信号,生成表示所述规定部位的所述2组核磁共振信号的相位差的分布的相位图像;和

阈值频率计算部,该阈值频率计算部求出对所述相位图像进行傅立叶变换后得到的相位数据的频率分布,求出基于所述频率分布而将所述相位数据分离为高频相位数据和低频相位数据的阈值频率,并将所述阈值频率以下的范围设为所述频带。

3. 根据权利要求2所述的磁共振成像装置,其特征在于,

所述阈值频率计算部针对所述相位差的频率分布,使用判断分析法、加权平均、加法平均以及P分位数法中的至少一个处理,求出所述阈值频率。

4. 根据权利要求1所述的磁共振成像装置,其特征在于,

所述静磁场不均除去部生成除去所述频带的相位分量的滤波器,对通过所述正式拍摄而得到的核磁共振信号或者根据通过所述正式拍摄而得到的核磁共振信号来生成的图像应用所述滤波器,由此除去所述频带的相位分量。

5. 根据权利要求2所述的磁共振成像装置,其特征在于,

所述静磁场不均除去部对所述阈值频率以下的所述低频相位数据进行逆傅立叶变换来生成低频相位图像,根据所述低频相位图像来生成滤波器,通过将所述滤波器应用于通过所述正式拍摄而得到的核磁共振信号或者根据通过所述正式拍摄而得到的核磁共振信号来生成的图像,从而除去所述频带的相位分量。

6. 根据权利要求5所述的磁共振成像装置,其特征在于,

所述静磁场不均除去部将对所述低频相位图像的像素值求取了倒数的图像进行了傅立叶变换后的数据用作为所述滤波器,通过将所述滤波器乘以通过所述正式拍摄而得到的核磁共振信号,从而除去所述频带的相位分量。

7. 根据权利要求5所述的磁共振成像装置,其特征在于,

所述静磁场不均除去部将所述低频相位图像作为所述滤波器,通过用所述低频相位图像的像素值除根据通过所述正式拍摄而得到的核磁共振信号来生成的图像的像素值,从而

除去所述频带的相位分量。

8. 根据权利要求2所述的磁共振成像装置,其特征在于,

所述静磁场不均除去部生成透过比所述阈值频率大的频带的高频透过滤器,通过应用于通过所述正式拍摄而得到的核磁共振信号,从而除去所述频带的相位分量。

9. 根据权利要求8所述的磁共振成像装置,其特征在于,

所述静磁场不均除去部通过对所述高频透过滤器进行了傅立叶变换后的低频相位除去滤波器乘以通过所述正式拍摄而得到的核磁共振信号,从而除去所述频带的相位分量。

10. 根据权利要求2所述的磁共振成像装置,其特征在于,

所述静磁场不均除去部生成透过比所述阈值频率小的频带的低频透过滤器,通过应用于通过所述正式拍摄而得到的核磁共振信号,从而得到所述频带的核磁共振信号,将比所述阈值频率小的频带的核磁共振信号从通过所述正式拍摄而得到的核磁共振信号除去,由此得到除去了所述频带的相位分量的信号。

11. 根据权利要求10所述的磁共振成像装置,其特征在于,

所述静磁场不均除去部通过对所述低频透过滤器进行了傅立叶变换后的高频相位除去滤波器乘以通过所述正式拍摄而得到的核磁共振信号,从而得到所述频带的核磁共振信号。

12. 一种磁共振成像方法,其特征在于,

根据向已被放置在静磁场中的被检测对象实施规定的预备拍摄来得到的核磁共振信号,求出由所述静磁场的不均引起的相位分量的频带,

根据生成的图像,除去所述频带的相位分量,其中,该生成的图像是根据向已被放置在所述静磁场中的所述被检测对象实施规定的正式拍摄而得到的核磁共振信号来生成的。

磁共振成像装置以及磁共振成像方法

技术领域

[0001] 本发明涉及磁共振成像(以下称为MRI)装置,特别涉及具备对由静磁场不均引起的伪影(artifact)进行修正的手段的MRI装置。

背景技术

[0002] MRI装置是一种向被放置在静磁场中的被检测对象施加高频磁场、梯度磁场,对通过核磁共振而从被检测对象产生的信号进行测量,并图像化的医用图像诊断装置。关于MRI装置,一般来讲,在施加对摄像面进行特定的层梯度磁场的同时,提供使其面内的磁化激发的激发脉冲(高频磁场脉冲),并得到在由此激发出的磁化收敛的阶段中产生的核磁共振信号(回波)。此时,为了向磁化赋予位置信息,则从激发开始到得到回波为止之间,施加在摄像面上相互垂直的方向的相位编码(encode)梯度磁场以及读出(read-out)梯度磁场。测量出的回波被配置在横轴为 k_x 、纵轴为 k_y 的 k 空间,并通过对 k 空间的回波实施逆傅立叶变换来进行图像重构。

[0003] 重构图像的像素值是包含绝对值信息与相位信息的复数。该绝对值与相位由拍摄序列的种类、像素尺寸、反复时间等构成的拍摄参数、被检测对象内的磁化的密度、缓和时间、共振频率的空间分布等决定。虽然作为通常的重构图像,较多使用将绝对值作为像素值的浓淡图像,但也已知结合绝对值与相位来生成一个图像的手法。

[0004] 例如,在专利文献1中,公开了将重构图像的各像素的相位变换为将域值设为 $[-\pi, \pi]$ 的值并生成相位图像,进一步地,生成将相位图像的域值变换为 $[0, 1]$ 的相位掩码,求出对相位掩码的各像素的相位进行了 q 次幂($q \geq 1$)的值与同像素的绝对值的积,生成将求出的积设为像素值的图像。 q 的值按照对比度-噪声比为最大的方式而被决定。通过这种处理能够得到高对比度的图像。

[0005] 另一方面,专利文献2公开了利用静磁场强度的信息被反映在回波的相位值,根据将回波时间偏移了 Δt 后的2个相位分布图像来求出静磁场强度分布。使用该静磁场强度分布来进行调整(shimming)。

[0006] 此外,在非专利文献1中,公开了使用通过零编码而获取到的回波信号来进行 k 空间的回波信号的相位修正。此外,也已知通过对 k 空间上的回波实施高通滤波处理、低通滤波处理,来除去由静磁场不均引起的相位信息的处理。

[0007] 在先技术文献

[0008] 专利文献

[0009] 专利文献1:美国专利第6658280号说明书

[0010] 专利文献2:日本特开2001-238866号公报

[0011] 非专利文献

[0012] 非专利文献1:E.MARK HAACKE, JURGEN R. REICHENBACH 著,“SUSCEPTIBILITY WEIGHTED IMAGING IN MRI Basic Concepts and Clinical Applications”WILEY-BLACKWELL出版,p.622-626

发明内容

[0013] -发明要解决的课题-

[0014] 在MRI的静磁场产生装置产生的静磁场存在不均的情况下,受到被检测对象的磁化本应受到的相位旋转以上的旋转,在图像上表现为伪影。因此,虽然具有如专利文献2那样使用匀场线圈等来修正静磁场不均的方法,但难以完全修正静磁场不均。

[0015] 此外,非专利文献1中公开的使用零编码的回波来进行k空间的回波的相位修正的方法不能仅修正由静磁场不均引起的相位信息。

[0016] 此外,虽然也已知通过对k空间上的回波实施高通滤波处理、低通滤波处理,从而除去由静磁场不均引起的相位信息的处理,但可能在图像上残留伪影、或者除去了由静磁场不均引起的相位信息以外的重要的相位信息。

[0017] 本发明鉴于上述课题而作出,其目的在于,提供一种除去包含在核磁共振信号中的、由静磁场不均引起的大范围相位变化的技术。

[0018] -解决课题的手段-

[0019] 本发明着眼于由静磁场不均引起并在核磁共振信号中产生的相位分量是规定的频带,将由静磁场不均引起的频带的相位分量从根据正式拍摄的核磁共振信号而生成的图像中除去。由静磁场不均引起的相位分量的规定的频带是根据通过预备拍摄而获取到的核磁共振信号求出的。

[0020] -发明效果-

[0021] 根据本发明,由于根据通过预备拍摄而得到的核磁共振信号能够求出由静磁场不均引起的相位分量的频率范围,因此通过针对通过正式拍摄而获取到的核磁共振信号的信号处理,能够除去由静磁场不均引起的相位分量。因此,能够与静磁场强度、拍摄序列、拍摄参数、被检测对象内的磁化密度、缓和时间等重要因素、正式拍摄的拍摄方法无关地,减少由静磁场不均引起的伪影。

附图说明

[0022] 图1是表示本发明的实施方式的MRI装置的示意结构的框图

[0023] 图2是表示图像处理部的详细结构的框图

[0024] 图3是表示本发明的实施方式的拍摄以及图像生成的动作的流程图

[0025] 图4是表示图3的步骤S302的详细动作的流程图

[0026] 图5是表示通过图3的流程处理而得到的图像以及信号的说明图

[0027] 图6是表示实施例1的处理顺序的流程图

[0028] 图7是表示在实施例1中相位数据的频率分布的直方图与阈值频率的图表

[0029] 图8是在不应用本发明的情况下得到的相位图像的例子

[0030] 图9是通过实施例1而得到的相位图像的例子

[0031] 图10是表示实施例2的处理顺序的流程图

[0032] 图11是表示实施例3的处理顺序的流程图

[0033] 图12是表示实施例3的高频带透过滤波器的图表

[0034] 图13是表示实施例4的处理顺序的流程图

[0035] 图14是表示实施例4的低频带透过滤波器的图表

具体实施方式

[0036] 本发明着眼于包含在核磁共振信号中的、由静磁场不均引起的磁化的相位旋转所带来的信号分量(相位分量)表现为规定的频带(具体来讲为低频带),将由静磁场不均引起的相位分量从由通过正式拍摄而获取到的核磁共振信号以及通过正式拍摄而获取到的核磁共振信号重构而成的图像的至少一个除去。从通过预备拍摄而获取到的核磁共振信号获取由于静磁场不均而产生的相位信息,推断由静磁场不均引起的规定的频带(低频带)的范围。由此,在通过所希望的正式拍摄而得到的图像中,实现由静磁场不均引起的相位分量所导致的伪影的减少。下面,对本发明的实施方式进行具体说明。

[0037] 使用图1以及图2来对本实施方式的MRI装置的结构进行说明。如图1所示,MRI装置具备:向被放置在静磁场中的被检测对象103施加高频磁场以及梯度磁场,对从被检测对象103产生的核磁共振信号进行检测的拍摄部10;对拍摄部10的动作进行控制的控制部11;和对核磁共振信号进行运算,生成图像的图像处理部12。控制部11使拍摄部10执行规定的预备拍摄和正式拍摄。如图2所示,图像处理部12包含:频带计算部202,其根据通过预备拍摄而获取到的核磁共振信号,求出由静磁场的不均引起的相位分量的频带;和静磁场不均除去部203,其用于从由通过正式拍摄而获取到的核磁共振信号生成的图像,除去低频带的相位分量。下面,进一步进行说明。

[0038] 如图1所示,拍摄部10具备:在被检测对象103被配置的拍摄空间产生均匀的静磁场的磁体(magnet)101;在拍摄空间产生梯度磁场的梯度磁场线圈102;向拍摄空间照射高频磁场并检测核磁共振信号(以下称为回波)的探头107;向梯度磁场线圈102提供电流的梯度磁场电源105;向探头107提供高频电压的高频产生装置106;对探头107检测到的回波进行检波的接收器108;和时序器(sequencer)104。被检测对象(例如生物体)103被放置在床上(桌子)等,被配置在拍摄空间中。

[0039] 时序器104通过控制部11来控制其动作,执行基于规定的拍摄方法以及拍摄条件的拍摄。具体来讲,时序器104在实现规定的拍摄方法的定时分别向梯度磁场电源105与高频产生装置106发送命令,使电流/电压信号产生,并分别提供给梯度磁场线圈102以及探头107。梯度磁场线圈102产生梯度磁场,探头107产生高频磁场,并施加给被检测对象103。从被检测对象103产生的回波被探头107接收,并通过接收器108检波。作为接收器108的检波基准的核磁共振频率(检波基准频率 f_0)由时序器104设置。被检波后的信号被发送到计算机109。

[0040] 时序器104根据预先被程序化了的定时、强度来进行控制以使得各部进行动作。在程序中,特别是对高频磁场、梯度磁场以及信号接收的定时、强度进行表述的部分被称为脉冲序列。根据拍摄的目的不同,已知脉冲序列有各种种类。控制部11对时序器104进行脉冲序列的类型的选择的指示、上述定时、强度的设定。由此,按照以规定的拍摄方法来执行拍摄的方式进行控制。

[0041] 控制部11以及图像处理部12被配置在计算机109内。计算机109内的CPU通过读取并执行保存在被内置的未图示的存储器中的程序,来分别实现控制部11以及图像处理部12的功能。

[0042] 此外,如图2所示,在图像处理部12内,除了频带计算部202以及静磁场不均除去部203,还具备:将接收器108检波的回波配置在k空间的回波测量部201;根据被配置在k空间的数据来重构图像的图像重构部204;和将得到的图像显示在显示装置110的图像显示部205。对于这些各部,也通过计算机109内的CPU读取并执行预先保存的程序来分别实现。

[0043] 计算机109与显示装置110和存储介质111连接,通过图像处理而得到的图像等被显示。也可以根据需要来使存储介质111存储被检波了的信号、测量条件。

[0044] 接下来,使用图3的流程图来说明本实施方式的拍摄处理的流程。

[0045] 控制部11使拍摄部10执行预定的预备拍摄的序列(S301)。预备拍摄序列是将回波时间(TE)偏移规定时间(Δt),来获取2组用于将规定部位图像化的核磁共振信号(回波)的序列。例如,进行预备拍摄序列,该预备拍摄序列进行将回波时间设定为T0来变更相位编码量,并且获取图像生成所需要的规定量的回波的测量、和将回波时间设定为T0+ Δt ($\Delta t \neq 0$)并同样地获取规定数的回波的测量。优选除了回波时间以外,2次测量的拍摄条件是同一条件。此外,优选在将被检测对象103配置到拍摄空间的状态下进行预备拍摄。

[0046] 除了将回波时间偏移 Δt ,预备拍摄序列与通常的拍摄序列(自旋回波序列、梯度回波序列等)同样地进行。此外,也能够使用公知的用于计算静磁场强度分布的拍摄序列(例如,专利文献2(图1)中公开的序列)。

[0047] 预备拍摄序列的2次测量中接收器108检波并得到的2组回波在图像处理部12的回波测量部201中,被配置在k空间,并且在k空间上的相同位置彼此求出信号值的差分。由于2组回波被付与了与已感受到静磁场强度的不均的时间成比例的相位信息和基于其他条件的相位信息,因此通过求出两回波的差分,能够得到减少了基于静磁场不均以外的要素的相位信息的回波。以下将通过差分而得到的回波称为预备拍摄回波501。

[0048] 预备拍摄回波是复数。

[0049] 图像处理部12的频带计算部202根据预备拍摄回波501,求出由静磁场的不均引起的相位分量的频带(图3的S302)。使用表示图4的流程以及图5的数据流向的说明图来对S302的处理进行详细说明。频带计算部202内的相位图像生成部21对被配置在了k空间的预备拍摄回波501进行逆傅立叶变换(FT)(图4的S401)。由此,如图5所示,根据预备拍摄回波501得到实部图像502以及虚部图像503。相位图像生成部21根据实部图像502和虚部图像503来计算各像素的相位值,并生成相位图像504(S402)。该相位图像将通过预备拍摄而得到的2组回波的相位差的分布表示在实空间,反映静磁场强度的不均。

[0050] 频带计算部202的阈值频率计算部22根据相位图像504来求出由静磁场的不均引起的相位分量的频带505(图5)。首先,阈值频率计算部22对相位图像504进行傅立叶变换,得到傅立叶变换后的数据(相位数据)(图4的S403)。利用由静磁场不均引起的相位分量表现为低频,根据该相位数据的频率分布,来计算由静磁场不均引起的相位数据的频带。具体来讲,基于相位数据的频率分布,求出分离为高频相位数据和低频相位数据的阈值频率。将相位数据的阈值频率以下的频带设为由静磁场不均引起的相位分量的频带(S404、405)。作为基于频率分布来求出阈值频率的处理,能够使用各种方法。作为一个例子,通过对相位数据的频率分布的直方图,实施判断分析法、加权平均、加法平均以及p-tile(P分位数)法等中至少一个处理,能够求出直方图的中心,并将此设为阈值频率。

[0051] 接下来,控制部11使拍摄部10执行操作者设定的所希望的正式拍摄序列,并获取

基于正式拍摄的核磁共振信号(正式拍摄回波507)(图3的S303)。另外,正式拍摄序列的执行也可以不在该定时,也可以在此之前的定时进行正式拍摄,将获取到的正式拍摄回波507保存在存储介质111,从存储介质111进行读取并使用。

[0052] 静磁场不均除去部203以及图像重构部204使用通过S302而求出的由静磁场的的不均引起的相位分量的频带和通过S303而得到的正式拍摄回波507,生成除去了由静磁场不均引起的相位分量的重构图像(S304)。作为除去的手法,具有从正式拍摄回波507,除去由静磁场不均引起的相位分量的频带,得到静磁场不均除去后回波508,根据该回波508来重构静磁场不均除去后图像509的手法(k空间上的处理)。

[0053] 此外,也可以使用通过根据正式拍摄回波507来重构图像,根据重构图像来除去由静磁场不均引起的相位分量,从而得到静磁场不均除去后图像509的手法(图像空间上的处理)。在哪个情况下都能够使用以下手法:生成除去上述频带的相位分量的滤波器506,通过应用滤波器,从回波、重构图像除去上述频带的相位分量。后面的实施例中对具体的处理的例子进行说明。

[0054] 被除去了由静磁场不均引起的相位分量的重构图像通过图像处理部12的图像显示部205,被显示在显示装置110(图3的S305)。

[0055] 如以上所说明的那样,根据本实施方式,由于通过预备拍摄能够求出由静磁场不均引起的相位分量的频率范围,因此能够求出进行正式拍摄的拍摄空间的静磁场不均的频带。由此,由于通过针对利用正式拍摄而获取到的核磁共振处理的信号处理,能够除去由静磁场不均引起的相位分量,因此能够从图像诊断中重要的相位信息表示的局部高频的相位分量,分离由静磁场不均引起的低频相位分量。

[0056] 此外,通过利用预备拍摄来求出由静磁场不均引起的相位分量的频带,从而能够在不取决于静磁场强度、拍摄序列、拍摄参数、被检测对象内的磁化密度、缓和时间等重要因素、正式拍摄的拍摄方法的影响的情况下,除去由静磁场不均导致的伪影。因此,与通过固定频带的滤波处理来除去由静磁场不均引起的相位分量的情况相比,难以残留低频的相位,在图像上更能够减少伪影。

[0057] [实施例1]

[0058] 下面,使用图6来说明基于上述的图2的频带计算部202的频带运算处理(S302)以及基于静磁场不均除去部203与图像重构部204的静磁场不均除去后图像的生成处理(S304)的具体例。在本实施例中,从正式拍摄回波除去k空间上由静磁场不均引起的相位分量。

[0059] 也就是说,静磁场不均除去部203对阈值频率以下的低频相位数据进行逆傅立叶变换来生成低频相位图像,根据低频相位图像来生成滤波器。通过将该滤波器应用于通过正式拍摄而得到的核磁共振信号,从而除去频带的相位分量。例如,静磁场不均除去部203将对倒数了低频相位图像的像素值的图像进行傅立叶变换的数据用作为滤波器。通过将该滤波器乘以通过正式拍摄而得到的核磁共振信号,从而除去频带的相位分量。

[0060] [步骤S601]

[0061] 频带计算部202的相位图像生成部21分别对通过图3的S301而得到的复数的预备拍摄回波501的实部 E_{pr} 、虚部 E_{pi} ,实施逆傅立叶变换 $IFT(x)$,计算实部图像(S_{pr})502以及虚部图像(S_{pi})503(式(1)、式(2))(图6 S601(相当于S401))。

[0062] 【式1】

[0063] $Spr = IFT(Epr)$ 式(1)

[0064] 【式2】

[0065] $Spi = IFT(Epi)$ 式(2)

[0066] [步骤S602]

[0067] 将实部图像(Spr)502以及虚部图像(Spi)503的像素值视为每个像素的复数,根据下式(3)来计算该像素的相位值 Sp_p ,生成将该相位值 Sp_p 设为像素值的相位图像(Sp_p)504(S602(相当于S402))。

[0068] 【式3】

[0069] $Sp_p = \arctan\left(\frac{Spi}{Spr}\right)$ 式(3)

[0070] [步骤S603]

[0071] 这里,也可以对运算出的相位图像(Sp_p)504实施相位展开(unwrap)处理(S603)。相位展开处理是以下处理:例如,在像素(x,y)的相位值为 π ,相邻的像素(x+1,y)的相位值为 $-\pi$ 这种情况下,也就是说,在相邻的像素的相位值具有陡峭的变化的情况下,对像素(x+1,y)以后的像素的相位值进行修正,按照整体上具有缓慢的变化(连续的相位值)的方式进行修正。相位展开处理的详细的处理内容中具有各种公知的处理方法,具有变换为(0,2 π)的范围的方法、变换为($-\pi$, π)的范围的方法,但并不限于这些。若将相位展开处理像函数那样表现为Unwrap(A),则使用相位展开处理前的相位图像 Sp_p ,将变换为($-\pi$, π)的范围的相位展开后的相位图像 Sp_{pu} 表示为式(4)那样。

[0072] 【式4】

[0073] $Sp_{pu} = \text{Unwrap}(Sp_p)$ 式(4)

[0074] [步骤S604]

[0075] 接下来,阈值频率计算部22将排列了相位展开处理后的相位图像 Sp_{pu} 的像素值的数据以1行的有限长,处理为周期性的数据,并实施傅立叶变换FT(x)(S604(相当于S403))。傅立叶变换后的数据为相位数据 Dp_p (式5)。

[0076] 【式5】

[0077] $Dp_p = FT(Sp_{pu})$ 式(5)

[0078] [步骤S605]

[0079] 根据该相位数据 Dp_p 的频率分布,能够得知哪个频率分量被包含大约多少。由于由静磁场不均引起的相位数据的频率分量是低频,因此阈值频率计算部22求出对低频相位数据与高频相位数据进行分离的阈值频率(S605(相当于S404))。例如,如图7所示,能够使用以下方法:求出相位数据 Dp_p 的频率分布的直方图,使用加权平均、加法平均来求出直方图的中心,将其中心设为阈值频率。此外,也能够通过判断分析法、p-tile法等方法来进行分离。具体来讲,在通过判断分析法来进行分离的情况下,通过以下的顺序,求出将高频与低频分离的阈值频率。

[0080] (1)求出相位数据 Dp_p 的能谱,生成如图7所示那样的横轴为频率,纵轴为度数的直方图。

[0081] (2)对于直方图应用判断分析法,计算图7中虚线所示的阈值频率threshold。

[0082] [步骤S606]

[0083] 阈值频率计算部22求出根据相位数据 D_{p_p} 而计算出的相位阈值threshold以下的频率的相位数据(低频相位数据 D_{p_l})的频带,并从比相位阈值threshold大的频率的相位数据(高频相位数据 D_{p_h})分离(S606(相当于S405))。该低频相位数据 D_{p_l} 是由静磁场不均引起的相位数据的频带。比相位阈值threshold大的频率的相位数据(高频相位数据 D_{p_h})是由静磁场不均以外的条件引起的相位数据。

[0084] [步骤S607]

[0085] 接下来,静磁场不均除去部203为了从正式拍摄回波507除去通过S405而求出的频带的相位分量,生成滤波器。为了生成滤波器,在本实施例1中,静磁场不均除去部203对通过S606而求出的低频相位数据 D_{p_l} 进行逆傅立叶变换,并计算低频相位图像 Sp_l (式(6))。

[0086] 【式6】

[0087] $Sp_l = IFT(D_{p_l})$ 式(6)

[0088] [步骤S608]

[0089] 使用计算出的低频相位图像 Sp_l ,静磁场不均除去部203生成低频相位除去滤波器 Fp_l 。在本实施例中,作为最简单的方法,对排列了低频相位图像 Sp_l 的各像素值的倒数的数据进行傅立叶变换,生成低频相位除去滤波器 Fp_l (式(7))。

[0090] 【式7】

[0091] $Fp_l = FT\left(\frac{1}{Sp_l}\right)$ 式(7)

[0092] [步骤S609]

[0093] 静磁场不均除去部203将该低频相位除去滤波器 Fp_l 分别乘以正式拍摄回波507的实部 Emr 以及虚部 Emi ,计算滤波器应用回波(静磁场不均除去后回波508)的实部 Fmr 以及虚部 Fmi (式(8)、式(9))。

[0094] 【式8】

[0095] $Fmr = Emr \times Ep_l$ 式(8)

[0096] 【式9】

[0097] $Fmi = Emi \times Fp_l$ 式(9)

[0098] [步骤S610]

[0099] 分别对该静磁场不均除去后回波508的实部 Fmr 以及虚部 Fmi 进行逆傅立叶变换,来计算实部图像 Smr 、虚部图像 Smi (式(10)、式(11))。

[0100] 在最终希望生成振幅图像 Sm_m 的情况下,根据实部图像 Smr 以及虚部图像 Smi 的像素值,通过式(12),生成振幅图像。此外,当然也可以通过求出 $\arctan(Smr/Smi)$,来生成相位图像。

[0101] 【式10】

[0102] $Smr = IFT(Fmr)$ 式(10)

[0103] 【式11】

[0104] $Smi = IFT(Fmi)$ 式(11)

[0105] 【式12】

[0106]
$$Sm_r = \sqrt{Smi^2 + Smr^2} \quad \text{式(12)}$$

[0107] 如上所述,由于通过应用本实施例,能够从正式拍摄回波507仅除去由静磁场不均引起的低频的相位分量,因此在最终显示图像中,能够得到减少了基于由静磁场不均引起的大范围相位的伪影的图像。

[0108] 作为一个例子,图8中表示根据正式拍摄回波507而生成的在不应用本实施例的情况下生成的相位图像,图9中表示应用本实施例1的图6的处理来生成的相位图像。与图8相比,应用了本实施例的图9的相位图像为没有相位的不连续,此外,也没有由静磁场不均引起的大范围伪影的图像。

[0109] 【实施例2】

[0110] 虽然在上述的实施例1中,对正式拍摄回波507应用滤波器从而在k空间上除去了由静磁场不均引起的频带的相位分量,但在实施例2中,针对正式拍摄回波507的重构图像应用滤波器,从而得到在图像空间上除去了由静磁场不均引起的相位分量的图像。使用图10来对该处理进行说明。

[0111] 也就是说,静磁场不均除去部203对阈值频率以下的所述低频相位数据进行逆傅立叶变换从而生成低频相位图像,根据低频相位图像来生成滤波器,通过将该滤波器应用于根据通过正式拍摄而得到的核磁共振信号来生成的图像,从而除去频带的相位分量。例如,静磁场不均除去部203通过将低频相位图像设为滤波器,并将根据通过正式拍摄而得到的核磁共振信号来生成的图像的像素值除以低频相位图像的像素值,从而除去频带的相位分量。

[0112] [步骤S601~S607]

[0113] 由于S601至S606的各步骤与实施例1相同因此省略说明。在S607中,与实施例1同样地,对通过S606而求出的低频相位数据Dp1进行逆傅立叶变换,计算低频相位图像Sp1(式(6))。

[0114] [步骤S608']

[0115] 接下来,使用低频相位图像Sp1的像素值(相位值),生成偏角为相位值Sp1、大小为1的复数Cp,并分别生成将其实部分量设为像素值的低频实部图像Cpr,将其虚部分量设为像素值的低频虚部图像Cpi。在实施例2中,将该低频实部图像Cpr、低频虚部图像Cpi用作为用于除去由静磁场不均引起的相位分量的滤波器。

[0116] [步骤S609']

[0117] 接下来,对根据正式拍摄回波507来重构的图像应用通过步骤S608'而生成的滤波器,生成除去了由静磁场不均引起的频带的相位分量的图像。

[0118] 首先,对正式拍摄回波507的实部Emr、虚部Emi进行逆傅立叶变换,计算FT后实部图像Smr、FT后虚部图像Smi(式(13)、式(14))。

[0119] 【式13】

[0120]
$$Smr = \text{IFT}(Emr) \quad \text{式(13)}$$

[0121] 【式14】

[0122]
$$Smi = \text{IFT}(Emi) \quad \text{式(14)}$$

[0123] 如式(15)、式(16)那样,用作为滤波器的低频图像实部Cpr、低频图像虚部Cpi的各

像素值除求出的FT后实部图像Smr、FT后虚部图像Smi的各像素值,分别生成将得到的值Fmr、Fmi分别设为像素值的滤波器应用实部图像Fmr、滤波器应用虚部图像Fmi。

[0124] 【式15】

$$Fmr = \frac{Smr \times Cpr + Smi \times Cpi}{\sqrt{Cpr^2 + Cpi^2}} \quad \text{式(15)}$$

[0126] 【式16】

$$Fmr = \frac{Smi \times Cpr - Smr \times Cpi}{\sqrt{Cpr^2 + Cpi^2}} \quad \text{式(16)}$$

[0128] [步骤S610']

[0129] 在最终希望生成振幅图像Sm_m的情况下,根据滤波器应用实部图像Fmr、滤波器应用虚部图像Fmi的像素值,通过式(17)来计算振幅图像Sm_m的像素值,生成振幅图像Sm_m。此外,当然也可以通过求出arctan(Fmr/Fmi),来生成相位图像。

[0130] 【式17】

$$Sm_m = \sqrt{Fmi^2 + Fmr^2} \quad \text{式(17)}$$

[0132] 【实施例3】

[0133] 作为实施例3,使用图11对根据通过实施例1的步骤S605而求出的阈值频率来生成低频相位除去滤波器并使用该滤波器从正式拍摄回波507除去由静磁场不均引起的频带的相位分量的处理进行说明。

[0134] 也就是说,在实施例3中,静磁场不均除去部203通过生成透过比阈值频率大的频带的高频透过滤波器,并应用于通过正式拍摄而得到的核磁共振信号,从而除去由静磁场不均引起的频带的相位分量。例如,静磁场不均除去部203通过将高频透过滤波器进行傅立叶变换而得到的低频相位除去滤波器乘以通过正式拍摄而得到的核磁共振信号,从而除去上述频带的相位分量。

[0135] [步骤S601~S605]

[0136] S601至S605的各步骤与实施例1相同,通过步骤S605来求出阈值频率。另外,在实施例3中,不进行实施例1的步骤S606、S607的频带的计算、低频相位数据的逆傅立叶变换。

[0137] [步骤S608"]

[0138] 接下来,如图12那样,生成高频带透过滤波器DF_{hp}。生成高频带透过滤波器DF_{hp}的截止(cut-off)频率为阈值频率threshold且将阈值频率以上的高频频带设为透过频带、将比阈值频率低低频带设为截止频带的高频带透过滤波器DF_{hp}。此时,图12的图表的纵轴为系数,横轴为频率。对该高频带透过滤波器DF_{hp}进行傅立叶变换,生成低频相位除去滤波器SF_{hp}(式(18))。

[0139] 【式18】

$$SF_{hp} = FT(DF_{hp}) \quad \text{式(18)}$$

[0141] [步骤S609"]

[0142] 将低频相位除去滤波器SF_{hp}分别乘以正式拍摄回波507的实部Emr、虚部Emi,计算滤波器应用回波(静磁场不均除去后回波508)的实部Fmr、虚部Fmi(式(19)、式(20))。

[0143] 【式19】

[0144] $Emr = Fmr \times SF_{hp}$ 式(19)

[0145] 【式20】

[0146] $Fmi = Emi \times SF_{hp}$ 式(20)

[0147] [步骤S610]

[0148] 与实施例1的步骤S610同样地,根据该静磁场不均除去后回波508的实部Fmr、虚部Fmi,使用式10、式11、式12等,生成所希望的振幅图像Smm、相位图像。

[0149] 【实施例4】

[0150] 在实施例4中,防止正式拍摄回波507的高频相位分量的信号强度的降低,并且除去由静磁场不均引起的频带的相位分量(低频相位分量)。首先,对正式拍摄回波507应用高频相位除去滤波器,除去比阈值频率高频的相位分量,使用仅剩下低频相位分量的回波,仅将低频相位分量从正式拍摄回波507除去。由此,由于正式拍摄回波507的高频相位分量不经受滤波器应用,因此能够在不降低信号强度的情况下,获取高频相位分量。使用图13来对该处理步骤进行说明。

[0151] 具体来讲,静磁场不均除去部203通过生成透过比阈值频率小的频带的低频透过滤波器,并应用于通过正式拍摄而得到的核磁共振信号,从而得到所述频带的核磁共振信号,通过将其从通过正式拍摄而得到的核磁共振信号减去,从而得到除去了由静磁场不均引起的频带的相位分量的信号。例如,静磁场不均除去部203通过对低频透过滤波器进行了傅立叶变换的高频相位除去滤波器乘以通过正式拍摄而得到的核磁共振信号,从而得到上述频带的核磁共振信号。

[0152] [步骤S601~S605]

[0153] S601至S605的各步骤与实施例1相同,通过步骤S605来求出阈值频率。另外,在实施例4中,不进行实施例1的步骤S606、S607的频带的计算、低频相位数据的逆傅立叶变换。

[0154] [步骤S620]

[0155] 接下来,如图14那样,生成截止频率为阈值频率threshold、将阈值频率以下设为透过频带、将比阈值频率大的频率设为截止频带的低频带透过滤波器DF_{lp}。对该低频带透过滤波器DF_{lp}进行傅立叶变换,生成高频相位除去滤波器SF_{lp}(式(21))。

[0156] 【式21】

[0157] $SF_{lp} = FT(DF_{lp})$ 式(21)

[0158] [步骤S621]

[0159] 将该高频相位除去滤波器SF_{lp}应用于正式拍摄回波的实部Emr、虚部Emi,计算滤波器应用回波Fmr_{lp}、Fmi_{lp}(式(22)、式(23))。

[0160] 【式22】

[0161] $Fmr_{lp} = Emr \times SF_{lp}$ 式(22)

[0162] 【式23】

[0163] $Fmi_{lp} = Emi \times SF_{lp}$ 式(23)

[0164] [步骤S622]

[0165] 通过S621来求出的高频相位除去滤波器应用回波Fmr_{lp}、Fmi_{lp}是仅剩下相位阈值threshold以下的低频分量的回波。也就是说,通过用高频相位除去滤波器应用回波的实部Fmr_{lp}、虚部Fmi_{lp}除正式拍摄回波的实部Emr、虚部Emi,从而能够计算静磁场不均除去后回

波508的实部 F_{mr} 、虚部 F_{mi} (式(24)、式(25))。

[0166] 【式24】

$$[0167] \quad F_{mr} = \frac{F_{mr} \times F_{mr}_{lp} + F_{mi} \times F_{mi}_{lp}}{\sqrt{F_{mr}_{lp}^2 + F_{mi}_{lp}^2}} \quad \text{式(24)}$$

[0168] 【式25】

$$[0169] \quad F_{mr} = \frac{F_{mi} \times F_{mr}_{lp} - F_{mr} \times F_{mi}_{lp}}{\sqrt{F_{mr}_{lp}^2 + F_{mi}_{lp}^2}} \quad \text{式(25)}$$

[0170] [步骤S610]

[0171] 与实施例1的步骤S610同样地,使用式10、式11、式12等,根据该静磁场不均除去后回波508的实部 F_{mr} 、虚部 F_{mi} ,来生成所希望的振幅图像 S_{mm} 、相位图像。

[0172] 在本实施例4中,由于作为低频相位除去滤波器应用回波(静磁场不均除去后回波508)的高频相位分量是不经受滤波器的应用的分量,因此信号强度大。因此,作为S610中生成的振幅图像 S_{mm} 、相位图像,得到对比度大的鲜明的图像。

[0173] -符号说明-

[0174] 10拍摄部,11控制部,12图像处理部,21相位图像生成部,22阈值频率计算部,101磁体,102梯度磁场线圈,103被检测对象,104时序器,105梯度磁场电源,106高频产生装置,107探头,108接收器,109计算机,110显示装置,111存储介质,201回波测量部,202频带计算部,203静磁场不均除去部,204图像重构部,205图像显示部。

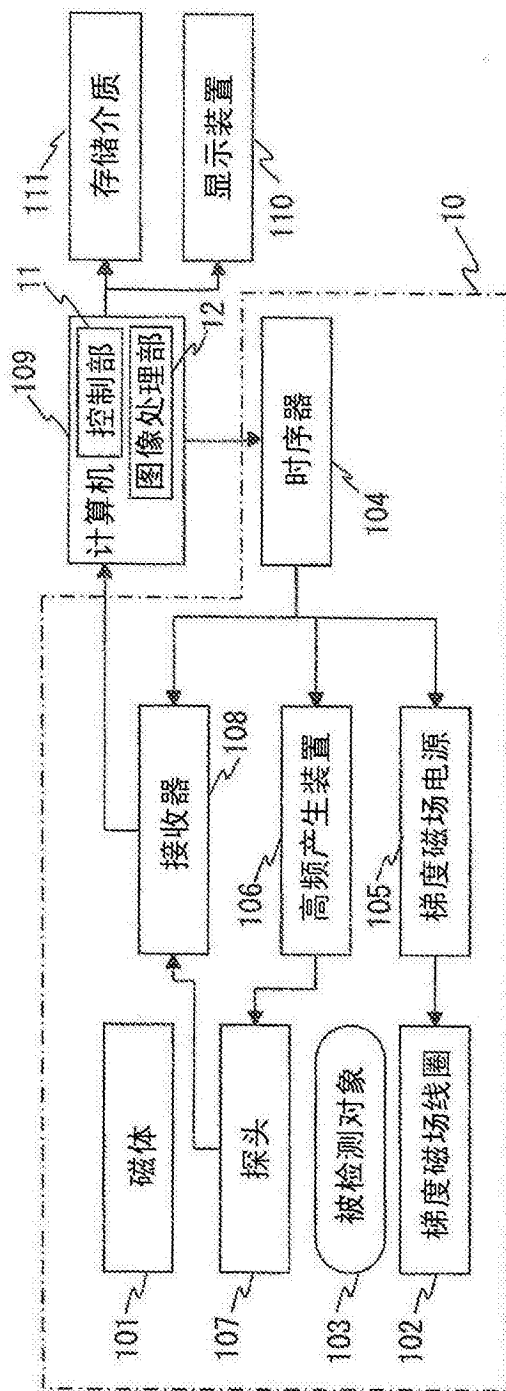


图1

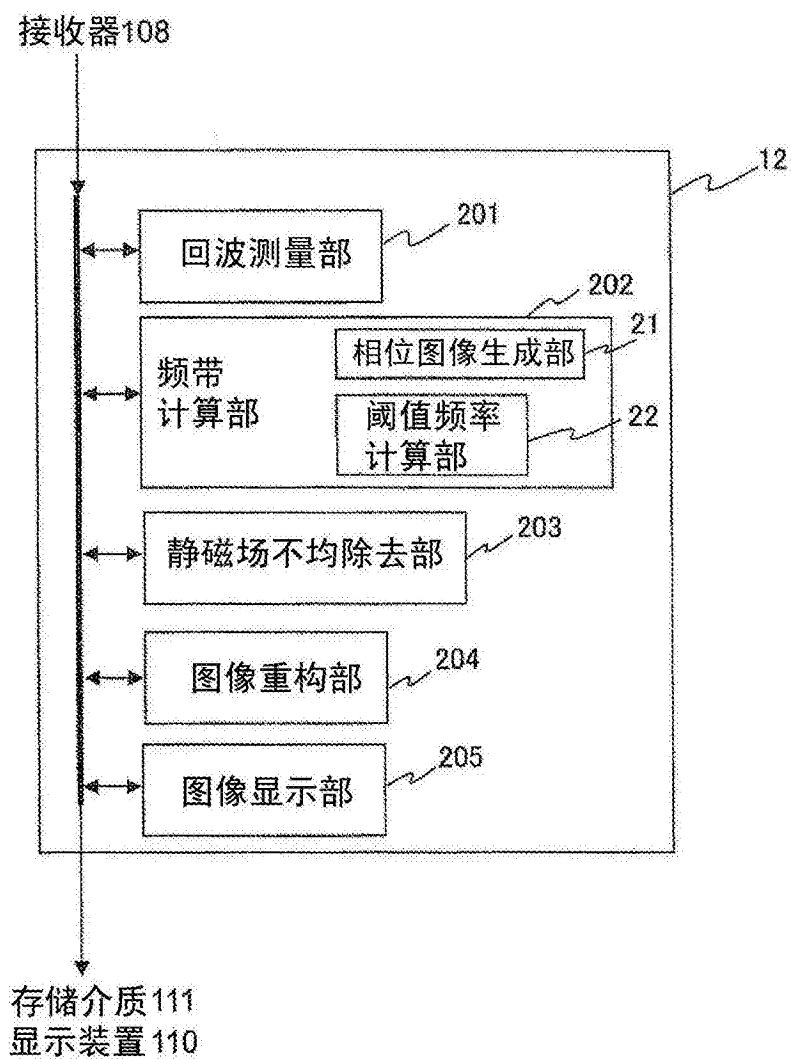


图2

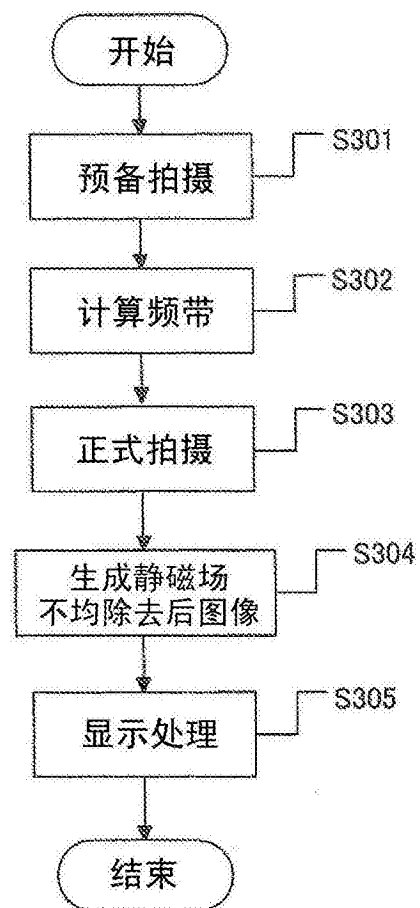


图3

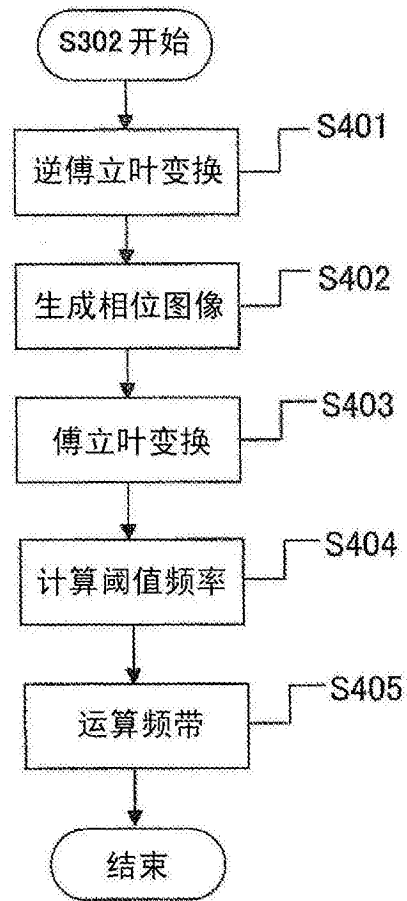


图4

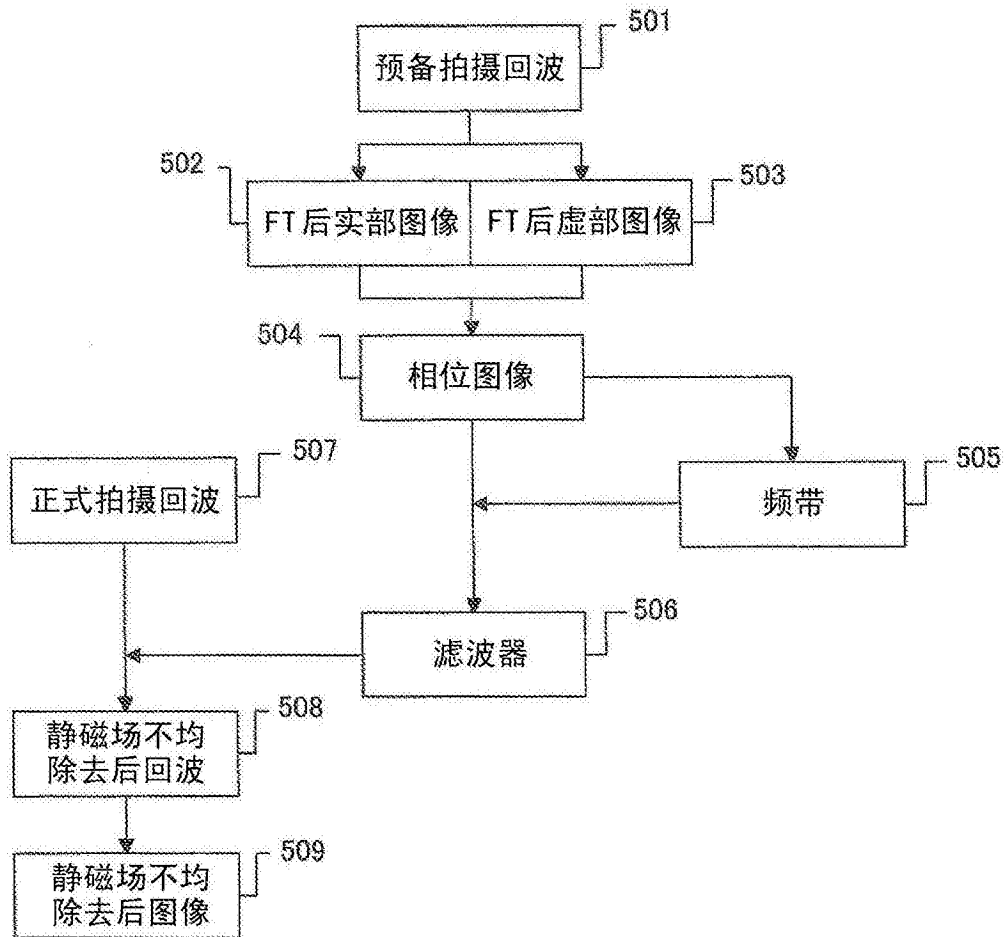


图5

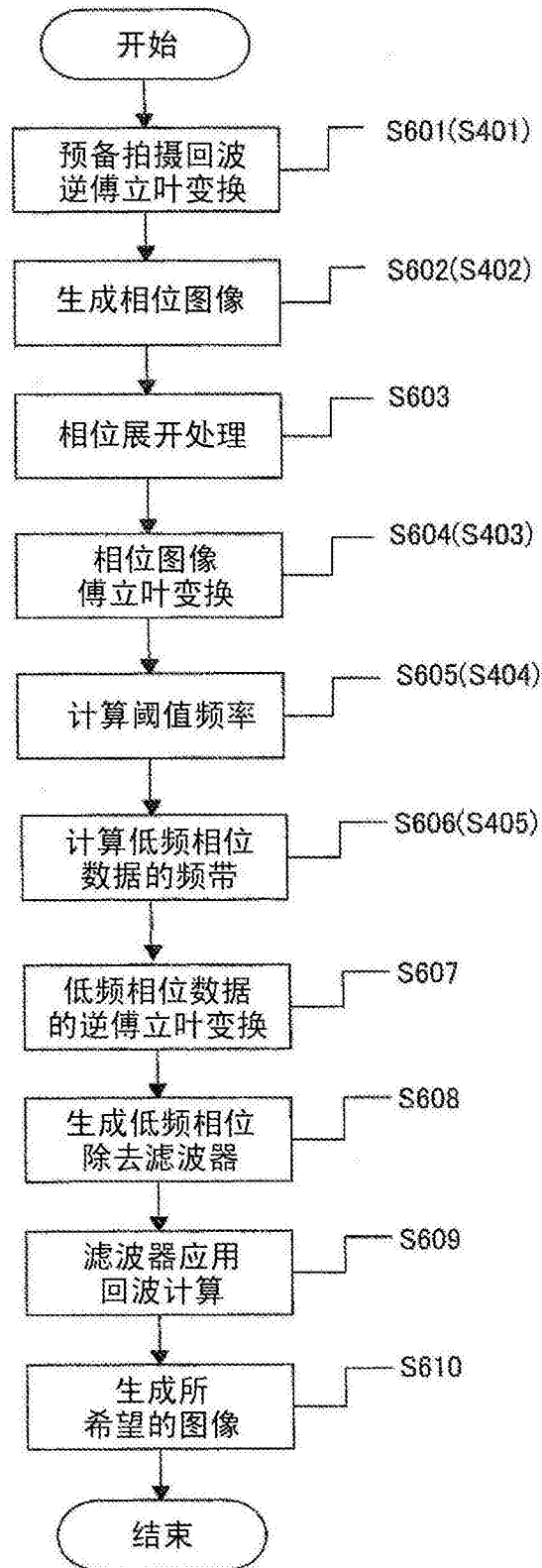


图6

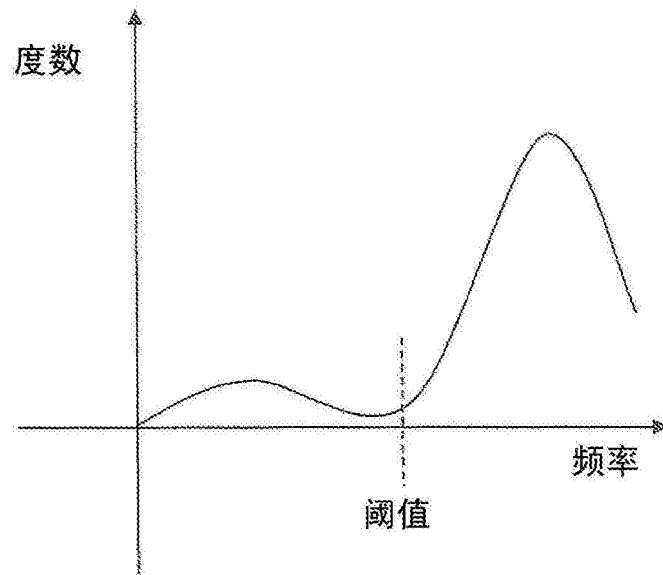


图7

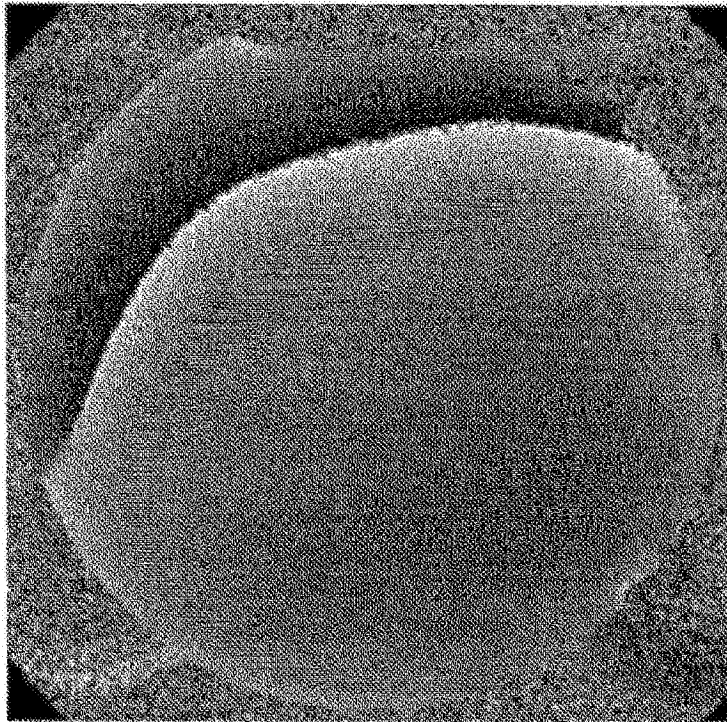


图8

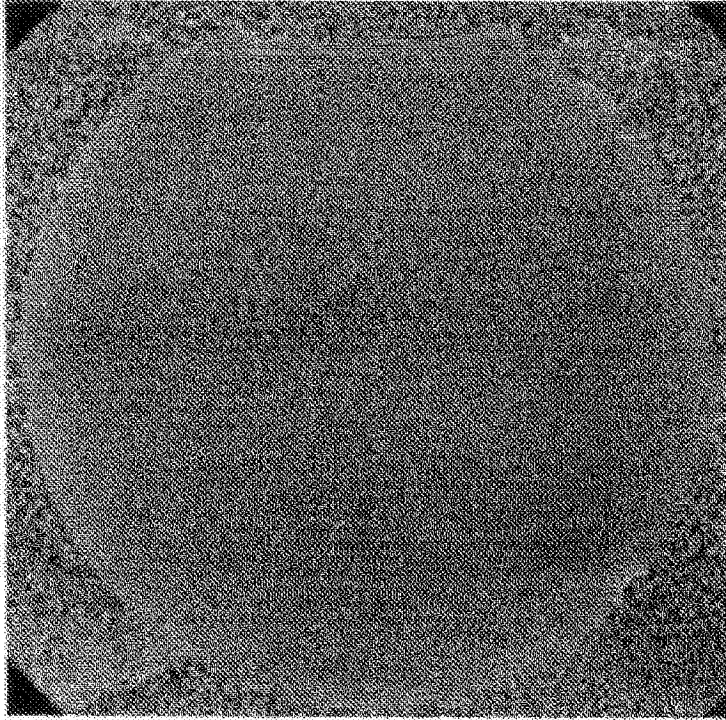


图9

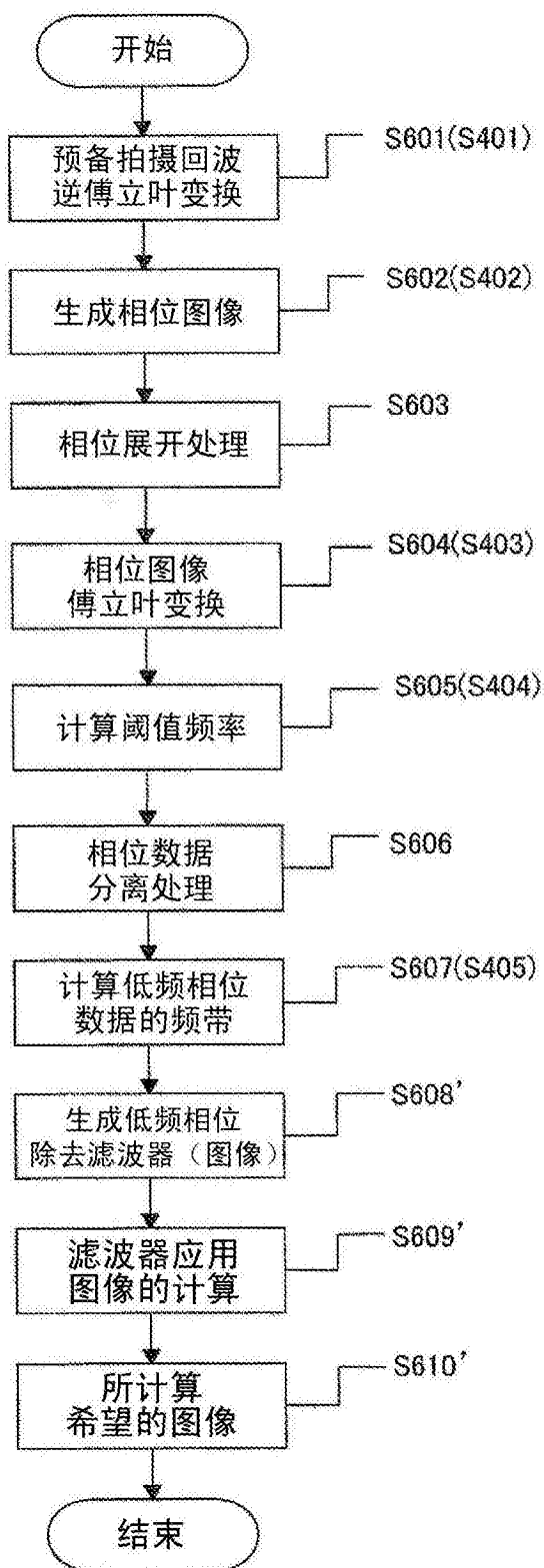


图10

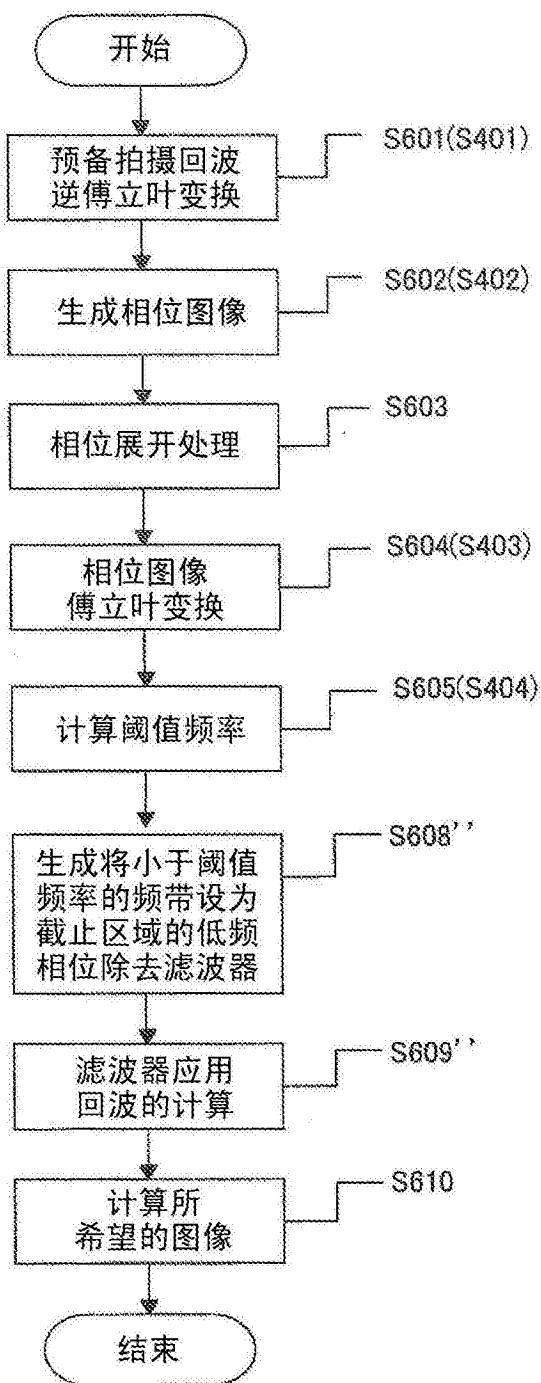


图11

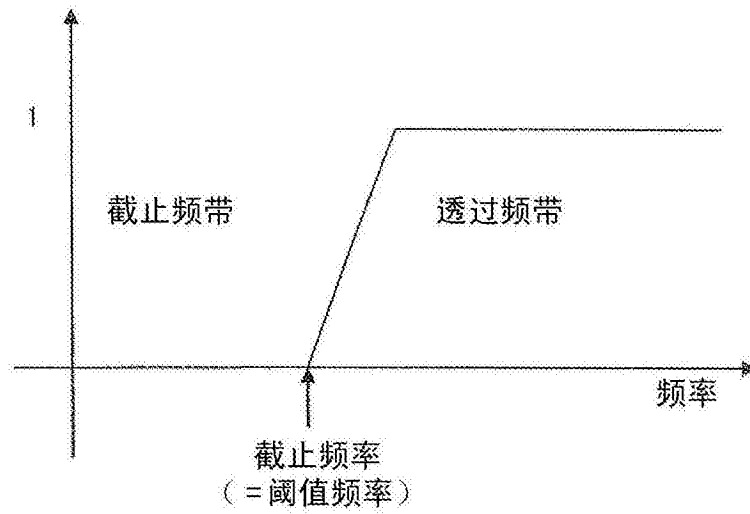


图12

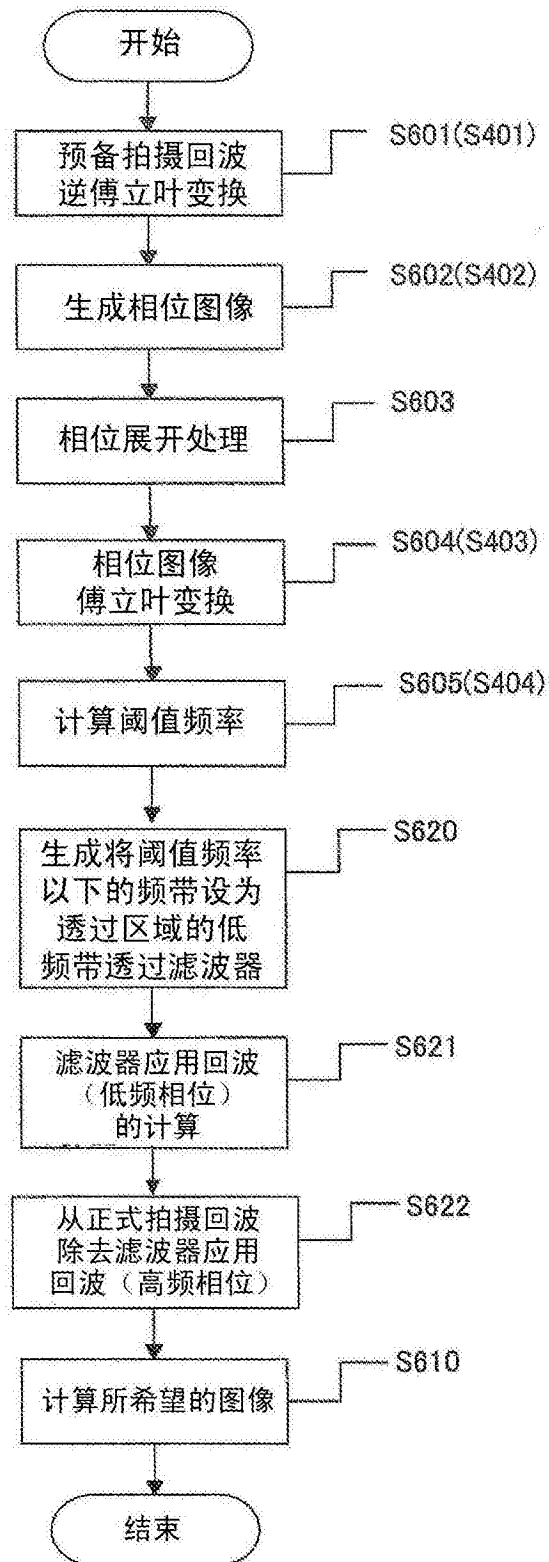


图13

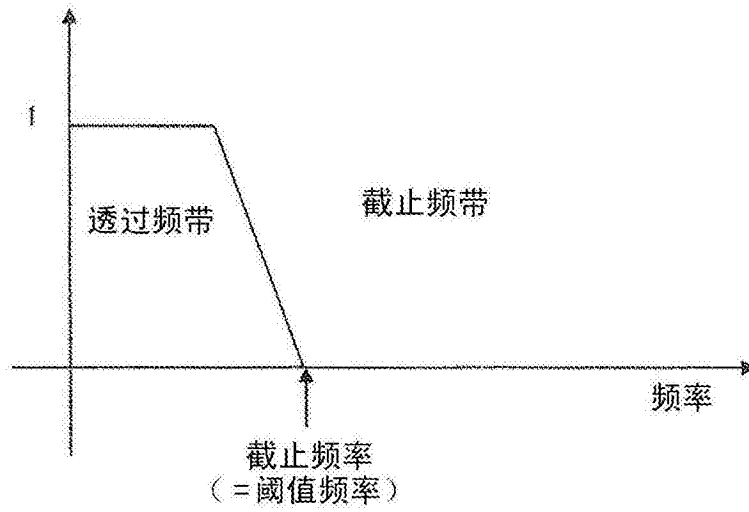


图14