



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104101852 B

(45)授权公告日 2017.01.18

(21)申请号 201410128849.7

(22)申请日 2014.04.01

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104101852 A

(43)申请公布日 2014.10.15

(30)优先权数据

102013206026.2 2013.04.05 DE

(73)专利权人 西门子公司

地址 德国慕尼黑

(72)发明人 A.施泰默尔

(74)专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

11105

代理人 熊雪梅

(51)Int.Cl.

G01R 33/561(2006.01)

A61B 5/055(2006.01)

G01R 33/54(2006.01)

(56)对比文件

CN 102680926 A, 2012.09.19,

US 2012013336 A1, 2012.01.19,

CN 1214622 A, 1999.04.21,

审查员 徐红

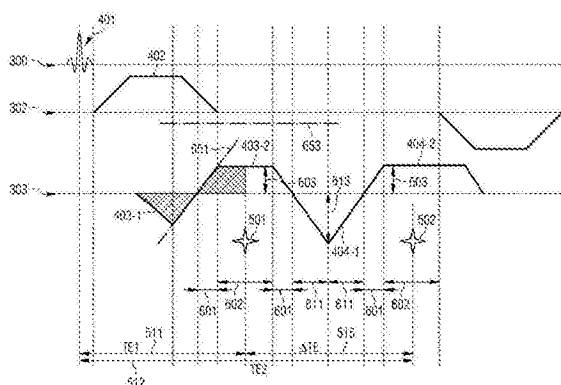
权利要求书3页 说明书9页 附图4页

(54)发明名称

用于执行多回波测量序列的方法和磁共振设备

(57)摘要

本发明讨论了一种用于执行多回波测量序列的技术,目的是在相继的梯度回波之间预先给定的时间差(515; ΔTE)的情况下优化空间分辨率。梯度脉冲参数(601, 603, 611, 613)是根据在如下两方面之间确定的比例来选择的,一方面是回波时间(511, 512)间的预先给定的时间差(515),另一方面是预先给定的最大梯度脉冲幅值(653)和预先给定的最大梯度脉冲变化率(651)的商。



1. 一种用于以提高的空间分辨率执行多回波测量序列的方法, 其中, 以在相继的梯度回波之间预先给定的时间差(515; ΔTE)顺序地形成至少两个梯度回波, 并且其中, 不超过预先给定的最大梯度脉冲幅值(653)和预先给定的最大梯度脉冲变化率(651),

所述方法包括:

- 确定在

a) 所述预先给定的时间差(515; ΔTE), 以及

b) 由所述预先给定的最大梯度脉冲幅值(653)和所述预先给定的最大梯度脉冲变化率(651)形成的商,

之间的比例,

- 应用预散相梯度脉冲(403-1),

- 应用第一读取梯度脉冲(403-2), 其具有包括平顶时间(602)和幅值(603)的第一读取梯度脉冲参数,

其中, 所述读取梯度脉冲参数是根据所确定的比例来选择的,

- 应用第二读取梯度脉冲(404-2), 其具有包括平顶时间(602)和幅值(603)的第二读取梯度脉冲参数,

其中, 所述第二读取梯度脉冲参数是根据所确定的比例来选择的。

2. 根据权利要求1所述的方法,

其中, 所述多回波测量序列是单极性的梯度回波测量序列,

其中, 所述方法还包括:

- 在第一和第二读取梯度脉冲(403-2, 404-2)之间, 应用回扫梯度脉冲(404-1), 其具有包括回扫平顶时间和回扫幅值(613)的回扫梯度脉冲参数(613),

其中, 所述回扫梯度脉冲参数(613)是根据所确定的比例来选择的。

3. 根据权利要求1所述的方法, 其中, 所述第一读取梯度脉冲参数与所述第二读取梯度脉冲参数相同。

4. 根据权利要求2所述的方法, 其中, 如果在所确定的比例中所述商小于所述时间差(515; ΔTE)的预先限定的分数A, 则将所述幅值(603)和所述回扫幅值(613)选择为与所述最大梯度脉冲幅值(653)相同。

5. 根据权利要求4所述的方法, 其中, 所述分数A为1/12。

6. 根据权利要求2所述的方法, 其中, 如果在所确定的比例中所述商大于所述时间差(515; ΔTE)的预先限定的分数B, 则将所述幅值(603)和所述回扫幅值(613)选择为小于所述最大梯度脉冲幅值(653)。

7. 根据权利要求6所述的方法,

其中, 所述分数B为2/9,

其中, 将所述幅值(603)选择为等于最大变化率(651)与时间差(515; ΔTE)的乘积的系数C,

并且其中, 将所述回扫幅值(613)选择为是所述幅值(603)的两倍。

8. 根据权利要求4和6所述的方法, 其中, 如果在所确定的比例中所述商小于所述分数B而大于所述分数A, 则将所述幅值(603)选择为小于所述最大梯度脉冲幅值(653), 并且将所述回扫幅值(613)选择为等于所述最大梯度脉冲幅值(653)。

9. 根据权利要求8所述的方法，

其中，将所述幅值(603)选择为等于所述最大梯度脉冲幅值(563)的分数E，

其中，E为 $(x+1)/2$ ，

其中，x是等式 $(x+2)(x+3)^2 = 4 \frac{S_{\max} \Delta TE}{G_{\max}}$ 的解，

其中， $S_{\max}$ 是所述最大梯度脉冲变化率(651)，

其中， $G_{\max}$ 是所述最大梯度脉冲幅值(653)。

10. 根据权利要求1所述的方法，

其中，在考虑所述最大梯度脉冲变化率(651)的条件下最小地选择所述第一读取梯度脉冲(403-2)和/或所述第二读取梯度脉冲(404-2)的斜坡时间(601)。

11. 一种磁共振设备(100)，其构建为以提高的空间分辨率执行多回波测量序列，其中，以在相继的梯度回波之间预先给定的时间差(515; ΔTE)顺序地形成至少两个梯度回波，并且其中，不超过预先给定的最大梯度脉冲幅值(653)和预先给定的最大梯度脉冲变化率(651)，

其中，所述磁共振设备(100)包括计算单元(160)，该计算单元构建为确定在

a)所述预先给定的时间差(515; ΔTE)，以及

b)由所述预先给定的最大梯度脉冲幅值(653)和所述预先给定的最大梯度脉冲变化率(651)形成的商，

之间的比例，

其中，所述磁共振设备(100)还包括梯度系统(140)，其具有：

-用于应用预散相梯度脉冲的部件，

-用于应用第一读取梯度脉冲(403-2)的部件，第一读取梯度脉冲具有包括平顶时间(602)和幅值(603)的第一读取梯度脉冲参数，

其中，所述读取梯度脉冲参数是根据所确定的比例来选择的，

-用于应用第二读取梯度脉冲(403-2)的部件，第二读取梯度脉冲具有包括平顶时间(602)和幅值(603)的第二读取梯度脉冲参数，

其中，所述第二读取梯度脉冲参数是根据所确定的比例来选择的。

12. 根据权利要求11所述的磁共振设备(100)，

其中，所述多回波测量序列是单极性的梯度回波测量序列，

其中，所述磁共振设备还包括：

-用于在第一和第二读取梯度脉冲(403-2, 404-2)之间应用回扫梯度脉冲(404-1)的部件，所述回扫梯度脉冲具有包括回扫平顶时间和回扫幅值(613)的回扫梯度脉冲参数(613)，

其中，所述回扫梯度脉冲参数(613)是根据所确定的比例来选择的。

13. 根据权利要求11所述的磁共振设备，其中，所述第一读取梯度脉冲参数与所述第二读取梯度脉冲参数相同。

14. 根据权利要求12所述的磁共振设备，其中，如果在所确定的比例中所述商小于所述时间差(515; ΔTE)的预先限定的分数A，则将所述幅值(603)和所述回扫幅值(613)选择为与所述最大梯度脉冲幅值(653)相同。

15. 根据权利要求14所述的磁共振设备, 其中, 所述分数A为1/12。

16. 根据权利要求12所述的磁共振设备, 其中, 如果在所确定的比例中所述商大于所述时间差(515; ΔTE)的预先得定的分数B, 则将所述幅值(603)和所述回扫幅值(613)选择为小于所述最大梯度脉冲幅值(653)。

17. 根据权利要求16所述的磁共振设备,

其中, 所述分数B为2/9,

其中, 将所述幅值(603)选择为等于最大变化率(651)与时间差(515; ΔTE)的乘积的系数C,

并且其中, 将所述回扫幅值(613)选择为是所述幅值(603)的两倍。

18. 根据权利要求14和16所述的磁共振设备, 其中, 如果在所确定的比例中所述商小于所述分数B而大于所述分数A, 则将所述幅值(603)选择为小于所述最大梯度脉冲幅值(653), 并且将所述回扫幅值(613)选择为等于所述最大梯度脉冲幅值(653)。

19. 根据权利要求18所述的磁共振设备,

其中, 将所述幅值(603)选择为等于所述最大梯度脉冲幅值(653)的分数E,

其中, E为 $(x+1)/2$,

其中, x是等式 $(x+2)(x+3)^2 = 4 \frac{S_{\max} \Delta TE}{G_{\max}}$ 的解,

其中, $S_{\max}$ 是所述最大梯度脉冲变化率(651),

其中, $G_{\max}$ 是所述最大梯度脉冲幅值(653)。

20. 根据权利要求11所述的磁共振设备,

其中, 在考虑所述最大梯度脉冲变化率(651)的条件下最小地选择所述第一读取梯度脉冲(403-2)和/或所述第二读取梯度脉冲(404-2)的斜坡时间(601)。

用于执行多回波测量序列的方法和磁共振设备

技术领域

[0001] 本发明的不同实施方式涉及一种用于执行多回波测量序列的方法和一种磁共振设备。尤其，不同的实施方式涉及这样的技术，所述技术能够在相继的梯度回波之间预先给定的时间差条件下实现提高的空间分辨率，其中，并未超过预先给定的最大梯度脉冲幅值和预先给定的最大梯度脉冲变化率。

背景技术

[0002] 已知磁共振(MR)成像的多回波测量序列，其中，从受检者的不同的解剖层分别以不同的回波时间采集多个MR图像。由于不同的回波时间，该多个MR图像典型地具有不同的对比度。具有不同对比度的MR图像可以应用在所谓的化学位移技术中，在所述技术中进行不同的自旋种类的分离。

[0003] 多回波测量序列通常执行为使得在完全确定和明确限定的回波时间获取MR图像。回波时间的具体选择例如可以取决于MR图像的所希望的应用。典型应用的一个示例是脂肪-水分离。典型地，所追求的回波时间与主磁场的强度有关(场强相关的)；并且更确切而言，第一MR图像的回波时间(TE₁)以及相继采集的MR图像的回波时间之间的时间间隔或时间差(ΔTE)与MR设备的主磁场的强度成反比地减小。

[0004] 典型的主磁场强度例如是1.5特斯拉或3特斯拉或5特斯拉或7特斯拉。

[0005] 已知不同类型的多回波测量序列。在一个常规的多回波测量序列中，采集所有所采集的MR回波，即在不同的回波时间采集的，这些回波时间分别作为在用于激励横向磁化的自身的高频(HF)脉冲(HF激励脉冲)之后的时段。换言之，分别在HF激励脉冲之后的独立的重复间隔(TR间隔)中采集n个MR回波。因此，这种技术对于本领域技术人员还已知为n个TR n个回波方法。n个TR n个回波技术例如结合梯度回波的采集而己知。

[0006] MR图像在读取方向(频率编码方向)上的分辨率典型地通过傅里叶像素大小 Δx 来确定。该傅里叶像素大小是视野(英语为“field of view”)在读取方向上除以读取点的数目 N_x 得到的大小。视野表示检查对象的通过MR图像成像的区域。傅里叶像素大小 Δx 越小，则分辨率越高。傅里叶像素大小与读取梯度的0阶矩成反比：

[0007] $\Delta x = 2\pi / (\gamma M0_x)$

[0008] 在此， γ 是旋磁比(英语为“Gyromagnetic ratio”)。对于水质子，旋磁比为 $\gamma / (2\pi) = 42.576 \text{ MHz/T}$ 。读取梯度的0阶矩是读取梯度的幅值在读取时间中的时间积分，通常也称作读取梯度的“面积”。如果读取梯度在整个读取时间中恒定，则0阶矩 $M0_x$ 是读取梯度的幅值与读取时间的乘积。

[0009] 在梯度回波成像中，通常在激励和读取梯度之间在读取方向上接通预散相梯度脉冲(Vorphasier-Gradientenpuls)，其0阶矩在绝对值上等于读取梯度在读取梯度的开始与回波时刻之间的距。预散相梯度脉冲的方向典型地与读取梯度的方向相反，从而在回波时刻的总矩恰好消失。回波时间通常是在激励脉冲的中心与回波时刻之间的时间。例如，回波时间也可以是在自旋回波与回波时刻之间的时间。

[0010] 梯度脉冲的最大幅值和最短上升时间典型地会在技术上和/或生理上受限制,由此通常在基于梯度回波的 n 个TR n 个回波技术中的最大分辨率通过所需的最短梯度回波时间 TE_1 而受限制,然而并不附加地通过相继的梯度回波的最短时间差 ΔTE 而受限制。然而,用于执行多回波MR测量序列所需的总持续时间(测量持续时间)比较长。此外,这种技术通常延长在采集不同的梯度回波之间的时间间隔。这尤其在为了避免呼吸伪影而受检者屏住呼吸时执行的测量中会引起负面效果。此外,主磁场的时间相关的漂移(例如由于在测量期间的生理过程或发热)会引起在具有不同的回波时刻的各个MR图像之间的附加的相位差。MR图像随后的评估由此只能受限地是可能的并且可能的量化分析受累于较大的误差。

[0011] 已知与上面描述的基于 n 个TR n 个回波的测量序列不同的多回波MR测量序列。例如还已知这样的多回波MR测量序列,其在单个HF激励脉冲之后分别在不同的回波时刻或回波时间采集多个MR回波。跟随一个HF脉冲采集多个MR回波对于专业人员来说还已知为每个TR n 个回波技术。每个TR n 个回波技术具有测量持续时间减小的优点。由于预先给定的不同的回波时刻,在这种多回波MR测量序列中,典型地最大可实现的空间分辨率通过第一回波时间 TE_1 和附加地通过在相继的回波之间的时间差 ΔTE 而受限制。尤其注意到的是,对于采集MR回波来说可用的时段也通过如下受限,即,在时段 ΔTE 之后已经应该形成和采集下一回波。

[0012] MR设备的梯度场的最大梯度脉冲幅值和/或最大上升时间和下降时间或变化率通常在技术上和/或生理上受限制。例如,通常对于采集梯度回波需要的是,首先接通预散相梯度脉冲并且接下来在读取梯度回波期间接通读取梯度场。因为为此可用的时段典型地通过预定的不同的回波时刻或在相继的回波时刻之间的时间差受限,所以通常读取梯度的最大0阶矩 M_0x 和由此可实现的空间分辨率相应地受限。

发明内容

[0013] 因此,需要改进的多回波测量序列。尤其需要这样的技术,其在相继的梯度回波之间预先给定的时间差条件下提供所获得的MR图像的较高空间分辨率。附加地需要这样的技术,其不超过预先给定的最大梯度脉冲幅值和最大梯度脉冲变化率,并且具有尽可能小的测量时间。

[0014] 根据一个方面,本发明涉及一种用于以提高的空间分辨率执行多回波测量序列的方法。在多回波测量序列中,顺序地以在相继的梯度回波之间预先给定的时间差形成至少两个梯度回波。在多回波测量序列中,不超过预先给定的最大梯度脉冲幅值和最大梯度脉冲变化率。该方法包括确定在预先给定的时间差与由预先给定的最大梯度脉冲幅值和预先给定的最大梯度脉冲变化率形成的商之间的比例。此外,该方法包括应用预散相梯度脉冲。此外,该方法包括应用第一读取梯度脉冲,其具有包括平顶时间(Niveauzeit)和幅值的第一读取梯度脉冲参数。该读取梯度脉冲参数是根据所确定的比例选择的。此外,该方法包括应用第二读取梯度脉冲,其具有包括平顶时间和幅值的第二读取梯度脉冲参数。该第二读取梯度脉冲参数是根据所确定的比例选择的。

[0015] 读取梯度脉冲典型地是梯形的。平顶时间典型地表示梯度脉冲的平顶(英语为flat top),即其中梯度脉冲幅值的变化小或为0的区域。该区域也可以称作梯度脉冲的平台。

[0016] 在读取方向上可以将预相位梯度脉冲的矩选择为使得其在第一梯度回波的所希望的回波时刻尽可能精确地补偿从第一读取梯度脉冲获得的矩。

[0017] 典型地,仅在乎顶时间中采集MR数据。因为所读取的MR信号或所采集的MR数据通常以恒定的停留时间(其在此表示在相继的读取点之间的时间)数字化,所以在这种情况下在kx坐标(在k空间中的kx方向)和读取点的读取时间之间存在线性关联。由此,可以将所读取的MR信号通常直接地、即没有其它插值(所谓的Regidding(再格栅化))地以快速傅里叶变换从k空间变换到图像空间或混合空间中。在所谓的斜坡扫描(英语为“ramp sampling”)中,附加地在读取梯度脉冲的斜坡期间采集MR数据。为了在有或没有斜坡扫描的情况下实现相同的分辨率,应该典型地在读取期间扫过k空间中相同的路径。如果例如在读取梯度脉冲的整个斜坡期间采集MR数据,则值得追求的可以是,整个读取梯度脉冲的0阶矩仅等于平顶的0阶矩,而并未选择斜坡扫描,在梯度系统的所给定的技术效率条件下,于是可以以斜坡扫描与在没有斜坡扫描的实施方式中相比在更短时间中实现所希望的分辨率。相应地可以在给定的时间差条件下实现更高的分辨率。

[0018] 斜坡扫描对于本领域技术人员例如从K-P.Hwang等所著的“Ramp sampling strategies for high resolution single-pass Dixon imaging at 3T”, in Proc. Intl. Soc. Mag. Reson. Med. 15(2010)1044中关于双回波3D梯度回波序列已知。

[0019] 借助斜坡扫描可以实现在读取方向上提高的分辨率。然而仍存在原理上的问题,即,在读取方向上的分辨率通过在相继的回波时间之间的时间差而受限制。

[0020] 在相继的回波时间之间的时间差典型地通过回波时间来预先给定。回波时间典型地又通过MR成像的所希望的应用、例如脂肪-水分离而预先给定。在此,最大梯度脉冲幅值通常是相应的MR设备的梯度系统的关键数并且可能例如在技术上受限。预先给定的最大梯度脉冲幅值通常小于梯度系统的技术上最大可能的变化率,以便避免对受检者的外围神经刺激。

[0021] 首先可以确定在预先给定的时间差与从预先给定的最大梯度脉冲幅值和预先给定的最大梯度脉冲变化率得出的商之间的比例。通过确定该比例可以分别将梯度脉冲的梯度形状选择为使得读取方向上的分辨率优选在所给定的边界条件下被最大化。读取梯度在读取时间中的0阶矩直接与在k空间中遍历的路径成比例。

[0022] 所述比例可以对于如下状况是特征性的,在该状况中,梯度形状将在读取梯度的平顶下面的面积在不同的边界条件下最大化,并且由此实现最大分辨率。由于预先给出的时间差和有限的梯度脉冲变化率,不必在最大梯度幅值条件下,而是根据确定的比例还在其它值的条件下,即可获得最大面积。

[0023] 这种考虑原则上可以在不同的多回波测量序列条件下应用,例如在双极性多回波测量序列条件下,其中,相继的读取梯度脉冲具有梯度脉冲幅值的相反符号。

[0024] 在所谓的单极性多回波测量序列情况下相继的读取梯度具有相同符号。该方法还在第一和第二读取梯度脉冲之间包括:应用回扫梯度脉冲,其具有包括回扫平顶时间和回扫幅值的回扫梯度脉冲参数。回扫梯度脉冲参数可以根据所确定的比例来选择。

[0025] 回扫梯度脉冲于是可以合适地操纵横向磁化的相位,从而在使用第二读取梯度脉冲期间形成梯度回波之一。回扫梯度脉冲于是可以具有这样的任务,即,尽可能精确地补偿相位,该相位是自旋在第一梯度回波之后和在第二梯度回波之前由于两个读取梯度脉冲而

获得的。回扫梯度脉冲于是典型地具有与预散相梯度脉冲相同的符号以及与两个读取梯度脉冲相反的符号。

[0026] 双极性读取方案的使用典型地比单极性读取方案的使用更为时间有效。然而单极性读取方案可以具有其它优点。例如,具有不同谐振频率的自旋种类在相继的对比度中沿相同方向推移。而在双极性读取方案中,推移方向却是彼此相反的,这会导致在后处理方法、如Dixon中的困难。

[0027] 可能的是,将第一读取梯度脉冲参数与第二读取梯度脉冲参数相同地选择。于是,幅值和平顶时间或者读取时间间隔可以等大或等长。还可能的是,第一读取梯度脉冲关于第一梯度回波对称,并且第二读取梯度脉冲关于第二梯度回波对称。

[0028] 换言之,于是第一和第二读取梯度脉冲的梯度形状可以是相当的。这可以实现也比较有效的、特别简单的多回波处理序列。

[0029] 如果在所确定的比例中,所述商小于时间差的预定的分数A,则可以将幅值和回扫幅值选择为等于最大梯度脉冲幅值。例如,在不同的实施方式中该分数A可以为1/12。

[0030] 这样于是可以限定所确定的比例的状况,其特征在于,不仅将读取梯度脉冲的幅值,而且将回扫幅值选择为等于最大梯度脉冲幅值。

[0031] 如果在所确定的比例中,所述商小于时间差的预定的分数B,则可以将幅值和回扫幅值选择为小于最大梯度脉冲幅值。

[0032] 例如,该分数B可以为2/9。幅值可以选择为等于最大变化率与时间差的乘积的系数C。回扫幅值可以选择为是幅值的两倍大。例如,系数C可以为1/9。

[0033] 这样于是可以限定所确定的比例的另一状况,其特征在于,不仅将读取梯度脉冲的幅值,而且将回扫幅值选择为小于最大梯度脉冲幅值。

[0034] 如果在所确定的比例中,所述商小于分数B并且大于分数A,则可以将幅值选择为小于最大梯度脉冲幅值,并且将回扫幅值选择为等于最大梯度脉冲幅值。例如,可以将幅值选择为等于最大梯度脉冲幅值的分数E,其中,E为 $(x+1)/2$,其中,x是等式

$$[0035] \quad (x+2)(x+3)^2 = 4 \frac{S_{\max} \Delta TE}{G_{\max}}$$

[0036] 的解,其中, $S_{\max}$ 是最大梯度脉冲变化率(651),其中, $G_{\max}$ 是最大梯度脉冲幅值(653)。

[0037] 这样于是可以限定所确定的比例的另一状况,其特征在于,将读取梯度脉冲的幅值选择为小于最大幅值,而将回扫幅值选择为等于最大梯度脉冲幅值。

[0038] 可能的是,在考虑最大梯度脉冲变化率的情况下将第一和/或第二梯度脉冲的斜坡时间选择为最小。这样可以实现特别高的空间分辨率。

[0039] 于是,根据上面的技术可以根据所确定的比例分别将梯度脉冲的幅值选择为,使得在预先给定的边界条件即时间差和最大梯度脉冲幅值以及最大梯度脉冲变化率的条件下,所获得的MR图像的分辨率最大化。这些技术基于如下认识,即,在最大分辨率方面,将幅值或回扫幅值选择为最大不一定最优。根据特定的多回波测量序列,可以形成不同的状况边界:然而与所确定的比例的基本相关性典型地保持存在。

[0040] 根据另一方面,本发明涉及一种磁共振设备,其构建为用于以提高的空间分辨率执行多回波测量序列,其中,以在相继的梯度回波之间预先给定的时间差顺序地形成至少

两个梯度回波,并且其中,不超过预先给定的最大梯度脉冲幅值和预先给定的最大梯度脉冲变化率。磁共振设备包括计算单元,其构建为确定在以下两方面之间的比例,即a)预先给定的时间差和b)由预先给定的最大梯度脉冲幅值和预先给定的最大梯度脉冲变化率形成的商。磁共振设备还包括梯度系统,其构建为执行如下步骤:应用预散相梯度脉冲;和应用第一读取梯度脉冲,其具有包括平顶时间和幅值的第一读取梯度脉冲参数,其中,该读取梯度脉冲参数是根据所确定的比例来选择的;以及应用第二读取梯度脉冲,其具有包括平顶时间和幅值的第二读取梯度脉冲参数,其中,该第二读取梯度脉冲参数是根据所确定的比例来选择的。

[0041] MR设备还构建为实施根据本发明的另一方面的、用于执行多回波序列的方法。

[0042] 对于这种MR设备可以实现与对于根据本发明的另一方面的、用于执行多回波序列的方法可以实现的效果相当的效果。

[0043] 上面描述的特征和下面描述的特征可以不仅在相应明确示出的组合中使用,而且还可以按其它组合或者独立地使用,而不偏离本发明的保护范围。

附图说明

[0044] 上面描述的本发明的特性、特征和优点以及如何实现其的方式和方法将接合下面对于实施例的描述而可以更为清楚及明确地理解,这些实施例结合附图来详细阐述,其中,

[0045] 图1示出了MR设备的示意图;

[0046] 图2示出了根据不同实施方式的多回波测量序列的序列图;

[0047] 图3示出了状况,参考其选择图2的多回波测量序列中的梯度脉冲参数;

[0048] 图4示出了梯度脉冲参数对于来自图3的不同状况优化过的值;

[0049] 图5示出了根据不同实施方式的、用于执行多回波测量序列的方法的流程图。

[0050] 下面在参考附图的情况下借助优选实施方式详细阐述本发明。在附图中,相同的附图标记用于标记相同或相似的元件。

具体实施方式

[0051] 在图1中示出了MR设备100,其构建为执行相应的根据本发明的技术、方法和步骤。MR设备100具有磁体110,其限定管111。磁体110可以产生平行于其纵轴线的主磁场。检查对象、在此为受检者101可以在卧榻102上被推移到磁体110中。MR设备100还具有用于产生梯度脉冲的梯度系统140,这些梯度脉冲被用于MR成像和用于对所采集的MR数据进行空间编码。典型地,梯度系统140包括至少三个可独立激励和相对于彼此明确限定地定位的梯度线圈141。梯度线圈141能够实现沿着确定的空间方向(梯度轴线)应用和接通梯度场。相应的梯度线圈141也称作梯度系统140的通道。通过梯度线圈141的绕组可以限定MR设备100的机器坐标系。梯度场例如可以用于选层、频率编码(在读取方向上)和相位编码。由此,可以实现MR数据的空间编码。分别平行于选层梯度场、相位编码梯度场和读取梯度场的空间方向不必与机器坐标系重合。其而是可以例如关于k空间轨迹来限定,该k空间轨迹又是可以基于各个MR测量序列的确定的要求来规定的,和/或是可以根据受检者101的解剖特性来规定的。

[0052] 为了激励在主磁场中形成的偏振或对齐在纵向上的磁化而设有HF线圈装置121,

其可以将幅值调制的HF激励脉冲入射到受检者101中。由此可以产生横向磁化。为了产生这种HF激励脉冲, HF发送单元131通过HF开关130与HF线圈装置121连接。HF发送单元131可以包括HF发生器和HF幅值调制单元。HF激励脉冲可以使横向磁化1d按选层方式或2D/3D空间选择地或全局地从静止位置中倾斜。

[0053] 此外, HF接收单元132通过HF开关130与HF线圈装置121耦合。通过HF接收单元132, 弛豫的横向磁化的MR信号可以例如通过电感性地耦合到HF线圈装置121中而被作为MR数据采集。

[0054] 通常可能的是, 对于借助HF发送单元131入射HF激励脉冲并且对于借助HF接收单元132采集MR数据使用分离的HF线圈装置121。例如, 对于入射HF脉冲可以使用体积线圈121并且对于采集MR数据使用由HF线圈的阵列构成的表面线圈(未示出)。例如, 用于采集MR数据的表面线圈可以由32个单个的HF线圈构成并且由此对于部分平行成像(ppa成像, 英语为partial parallel acquisition)是特别合适的。相应的技术对于本领域技术人员而言已知, 从而在此无需阐述其他细节。

[0055] MR设备100还具有操作单元150, 其例如可以包括屏幕、键盘、鼠标等。借助操作单元150可以采集用户输入和实现至用户的输出。例如可以借助操作单元150通过用户和/或自动地和/或远程控制地调节MR设备的各个运行模式或运行参数。此外, MR设备100具有计算单元160。计算单元160可以构建为用于在多回波MR测量序列的范围中控制MR数据的采集。

[0056] 在图2中示出了根据不同实施方式的多回波测量序列的序列图。高频300在图2上方示出。首先, 进行HF脉冲401-1的入射。出于纵览性原因, 未示出图2中的选层梯度场的应用。HF脉冲401激励横向磁化(HF激励脉冲), 即, 将纵向磁化至少部分地从静止位置偏转。

[0057] 接下来, 应用沿着相位编码方向302的相位编码梯度脉冲402。在图2中, 两次扫描一个k空间行(双回波梯度回波序列)。为此, 沿着读取方向303首先接通预散相梯度脉冲403-1。预散相梯度脉冲403-1(英语为“readout prephasing gradient”)的任务是, 将自旋由于读取梯度脉冲403-2而获得的相位在第一梯度回波的所希望的第一回波时刻501(对应于第一回波时间TE1, 511)尽可能精确地补偿(这在图2中通过梯度脉冲403-1、403-2下等大的、划线的面积来示出)。接下来, 为了横向磁化的频率编码而接通第一读取梯度脉冲403-2。第二读取梯度脉冲404-2在第二回波时刻502(对应于第二回波时间TE2, 512)形成第二梯度回波。因为在示出示例中, 两个读取梯度脉冲403-2、404-2具有相同的符号(单极性读取方案), 所以在读取梯度脉冲403-2、404-2之间接通回扫梯度脉冲404-1, 其矩选择为使得其补偿自旋由于第一读取梯度脉冲403-2在第一回波时间TE1之后和在第二回波时间TE2前由于第二读取梯度脉冲404-2而获得的相位。

[0058] 梯度回波总是在这样的时间t形成, 在这些时间的情况下, 对于总的所累积的零阶的梯度矩成立:

$$[0059] \quad m_0(t) = \int_{t_0}^t G_1(\tilde{t}) d\tilde{t} = 0; i = R, S \quad (1)$$

[0060] 其中, R、S分别表示读取方向303和选层方向301。积分开始t₀是HF脉冲401-1的所谓的等延迟时刻(Isodelayzeitpunkt), 其在对称的、正弦形HF脉冲情况下以良好近似与HF脉冲401-1的时间中点一致。

[0061] 在两个回波时刻501、502之间的时间差 ΔTE , 515限制了分辨率。分辨率在没有斜坡扫描的情况下通过在读取梯度脉冲403-2、404-2的平顶下方的面积给出。该面积通过平顶时间602(读取间隔)和幅值603给出。斜坡时间601通过最大梯度脉冲变化率而向下受限。

[0062] 在图2的示例中, 第一对比度的回波时间 TE_1 等于在两个回波时间 TE_2 和 TE_1 之间的时间差 $\Delta TE = TE_2 - TE_1$ 。这例如在之前描述的两点Dixon技术和在反相-同相成像中成立。

[0063] 读取梯度脉冲403-2、404-2是梯形的。从图2中可见, 在此在考虑最大梯度脉冲变化率651的条件下将斜坡时间601选择为最小。从图2中还可见, 幅值603被选择得小于最大梯度脉冲幅值653。这基于如下认识, 即, 最大分辨率不必在最大幅值603处实现。这是成立的, 因为用于到达幅值603的有限时间也应根据有限的最大梯度脉冲变化率651来应用。

[0064] 从图2中还可见的是, 回扫梯度脉冲404-1是三角形的, 即, 其平顶时间选择为等于0。斜坡时间611又在考虑最大梯度脉冲变化率651的条件下被选择为尽可能短。回扫梯度脉冲404-1的回扫幅值613也选择得小于最大梯度脉冲幅值653。

[0065] 读取梯度脉冲403-2、404-2或回扫梯度脉冲404-1的梯度脉冲参数的具体选择, 根据在一方面是由预先给定的最大梯度脉冲幅值653 G_{max} 与最大梯度脉冲变化率651 S_{max} 形成的商, 和另一方面是时间差515 ΔTE 之间的比例来进行。在此可以根据多回波测量序列的不同参数限定例如三个状况, 参见图3。根据具体的多回波测量序列位于何种状况中, 可以不同地选择梯度脉冲参数。

[0066] 这在下面对于图2的实施方式的多回波测量序列来阐述。所寻找的是在考虑时间差515 ΔTE 以及最大梯度脉冲参数651、653的边界条件的情况下将读取方向上的分辨率最大化的梯度形状。读取梯度脉冲403-2、404-2在平顶时间或读取间隔602中的0阶矩直接与在k空间中遍历的路径成比例。在没有斜坡扫描和在确定的对称假设(读取梯度脉冲403-2、404-2的相同幅值603, 以及尽可能最短的斜坡时间601, 以及读取梯度脉冲403-2、404-2在回波时刻501、502的对称性)的情况下, 于是以将读取梯度脉冲403-2、404-2的平顶下方的面积最大化的梯度形状来实现最大分辨率。由于预先给定的时间差515 ΔTE 和有限的斜坡时间601, 不必在最大幅值603处获得最大面积。

[0067] 借助提供在读取梯度脉冲403-2、404-2的平顶下方的最大面积的计算(例如通过将该面积表达为与不同参数相关的函数和接下来的极值寻找), 获得如下的结果。对于通过 $(2/9) \Delta TE \leq (G_{max}/S_{max})$ 给出的第一状况(参见图3), 以选为 $(1/9) S_{max} \Delta TE$ 的幅值603G获得最大分辨率。将读取梯度脉冲403-2、404-2的斜坡时间601 RT 设为 $RT = (1/9) \Delta TE$, 将平顶时间602 FT 选为 $FT = (3/9) \Delta TE$ 。回扫梯度脉冲404-1是三角形的, 其具有斜坡时间611 $RT_{FB} = (2/9) \Delta TE$ 和幅值613 $G_{FB} = -2G = -(2/9) S_{max} \Delta TE$ 。为此还参见图4, 最上面的行。

[0068] 对于通过 $(1/12) \Delta TE < (G_{max}/S_{max}) < (2/9) \Delta TE$ 给出的第二状况(参见图3), 以位于 $G_{max}/2$ 和 G_{max} 之间的幅值603G获得最大分辨率。幅值603G的精确值通过在 $0 < x < 1$ 的范围中求解 $(x+2)(x+3)^2 = 4(S_{max} \Delta TE)/G_{max}$ 而获得。在该范围中存在该三次幂等式的例如可以数字地或图形地找到的唯一解。然后, 从x获得所寻找的幅值603G, 其中 $G = (G_{max}/2)(x+1)$ 并且从中又获得所寻找的601 $RT = G/S_{max}$ 。读取梯度脉冲403-2、404-2的平顶时间602 FT 通过将之前算出的参量用在下式中而获得:

[0069] $FT = (G_{max} \Delta TE) / (G + G_{max}) - (G + G_{max}) / S_{max}$

[0070] 回扫梯度脉冲404-1在该状况中是梯形的, 具有最大回扫幅值613 $G_{FB} = -G_{max}$ 和最小

斜坡时间 $611 RT_{FB} = G_{max} / S_{max}$ 。回扫梯度脉冲404-1的平顶时间 FT_{FB} 借助之前计算的幅值603G而得到为

[0071] $FT_{FB} = (G \Delta TE) / (G + G_{max}) - 3(G + G_{max}) / S_{max}$ 。

[0072] 为此还参见图4,中部的行。

[0073] 对于通过 $(1/12) \Delta TE \geq (G_{max} / S_{max})$ 给出的第三状况(参见图3),获得带有最大幅值603的最大分辨率。回扫梯度脉冲404-1又是梯形的,具有最大回扫幅值613。由于问题的对称性,可以在该范围中说明解析解:

[0074] $G = G_{max}; G_{FB} = -G_{max}; RT = RT_{FB} = G_{max} / S_{max};$

[0075] $FT = FT_{FB} = \Delta TE / 2 - 2G_{max} / S_{max}$

[0076] 因为第一梯度回波在第一回波时刻501例如在第一读取梯度脉冲403-2的平顶时间602中间应该被集中,所以将预散相梯度脉冲403-1的0阶矩选择为等于第一读取梯度脉冲403-2的0阶矩的一半(参见图2中划线的面积)。

[0077] 在第一状况中,即, $(2/9) \Delta TE \leq (G_{max} / S_{max})$, 预散相梯度脉冲403-1的0阶矩例如为 $A_{GRP} = G * (FT + RT) / 2 = (2/81) S_{max} \Delta TE^2$ 。在第一状况中最有效的是三角形的预散相梯度脉冲403-1,其具有斜坡时间 $RT_{GRP} = (A_{GRP} / S_{max}) 1/2 = (\sqrt{2}/9) \Delta TE$ 和最大幅值 $G_{GRP} = -(\sqrt{2}/9) S_{max} \Delta TE$ 。预散相梯度脉冲403-1可以在HF脉冲401的结束与第一读取间隔的开始(其例如与第一读取梯度脉冲403-2的平顶的开始重合)之间接通。于是可用的时间是 $TE1 - TS - (3/18) \Delta TE$, 其中,TS是在HF脉冲401的等延迟点与HF脉冲401的结束之间的时间。HF脉冲401的结束应该例如与选层梯度402的平顶的结束重合。该时间TS通常相对于第一回波时间511TE1是短的。在不同的参考实现中,其例如在 $40\mu s$ 与 $80\mu s$ 之间。对于预散相可用的时间 $T_{available} = TE1 - TS - (3/18) \Delta TE \geq 1.15ms - 0.08ms - (3/18) 1.15ms \sim 0.89ms$ 于是相对于对于预散相所需的时间 $T_{needed} = (\sqrt{2}/9) \Delta TE = (\sqrt{2}/9) 1.15ms \sim 0.18ms$ 是大的。相应地适用于其他状况(参见图4)。

[0078] 在HF脉冲401的结束与第一读取间隔602的开始之间的时间间隔中还接通选层相位重聚梯度脉冲(在图2中未示出)和相位编码表(在图2中的相位编码梯度脉冲402)。这三个梯度在此可以在时间上并行接通。在笛卡尔成像中,通常将相位编码方向上的分辨率选择为小于或等于读取方向上的分辨率。在近似二次的图像域(英语为“field of view”)中,相位编码梯度的最大0阶矩的绝对值 $A_{PE, max} = \pi(N_{PE} - 1) / (\gamma FoV_{PE})$ 通常并不超过或并不显著超过预散相梯度脉冲403-1的最大矩 $A_{GRP} \sim A_{GR0} / 2 = 0.5 * (2\pi N_{R0} / (\gamma FoV_{R0}))$ 。在此, N_{PE} 是相位编码步骤的数目, N_{R0} 是读取方向上的扫描点的数目, FoV_{PE} 是相位编码方向上的图像域, FoV_{R0} 是读取方向上的图像域,并且 $\gamma / (2\pi)$ 是旋磁比。因此,对于相位编码表所需的时间也不超过对于读取预散相所需的时间。因此,例如无法有效利用在HF脉冲401的结束与第一读取间隔602的开始之间可用的时间。由于相当的预先给定的回波时间,对于多回波序列的其它实践中相关的应用也类似地成立。在读取方向303上的分辨率于是通过在第一和第二回波时间511, 512TE1, TE2之间的时间差515 ΔTE 受限,并且通常并不通过第一回波时间511TE1受限。

[0079] 在图5中示出了用于执行多回波测量序列的方法的流程图。该方法在步骤S1开始。首先在步骤S2中确定在如下两方面之间的比例,一方面是时间差515,而另一方面是由最大梯度脉冲幅值653和最大梯度脉冲变化率651形成的商。根据该比例,然后在步骤S3中选择

读取梯度脉冲403-2、404-2的参数。可选地,还选择回扫梯度脉冲404-1的参数。为此例如可以划分为状况(参见图3)。在步骤S4中应用读取梯度脉冲403-2、404-2。该方法在步骤S5结束。

[0080] 当然,可以将上面描述的本发明的实施方式和方面彼此组合。尤其可以将特征不仅按所描述的组合,而且按其它组合或就起本身而言来使用,而不偏离本发明的范围。

[0081] 例如,可能技术上决定地不能或者仅受限地能够的是,任意选择不同的值,例如梯度脉冲幅值或者上升时间。更确切而言会必要的是,考虑确定的离散化或格栅化,例如基于模数转换或者其它技术限制。因此,实际上的值可以在这种的容限范围内围绕上面讨论过的值波动。换言之,在真实系统中,能够以不同的值实现的分辨率是受限制的,从而会固有地存在一定的波动。

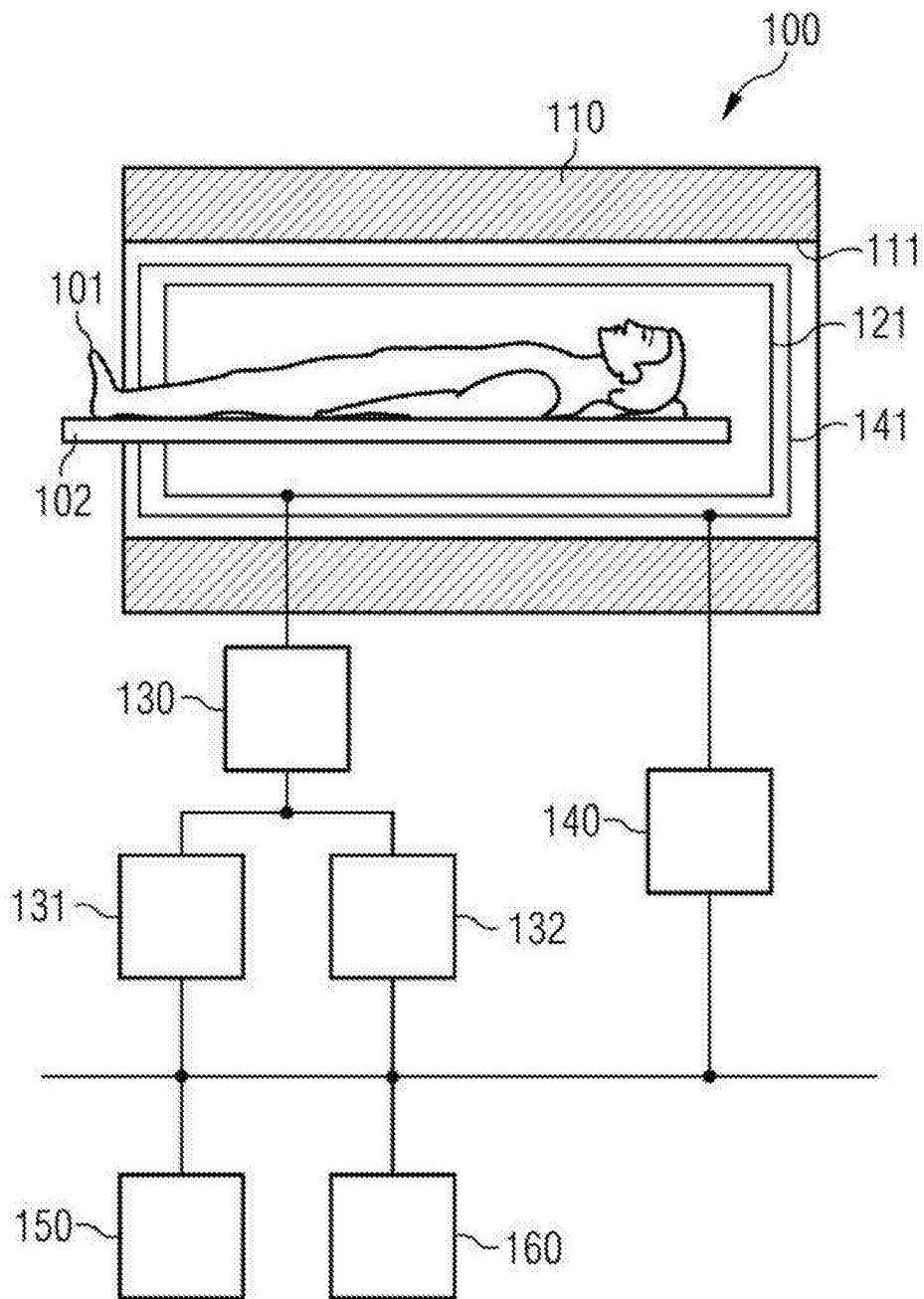


图1

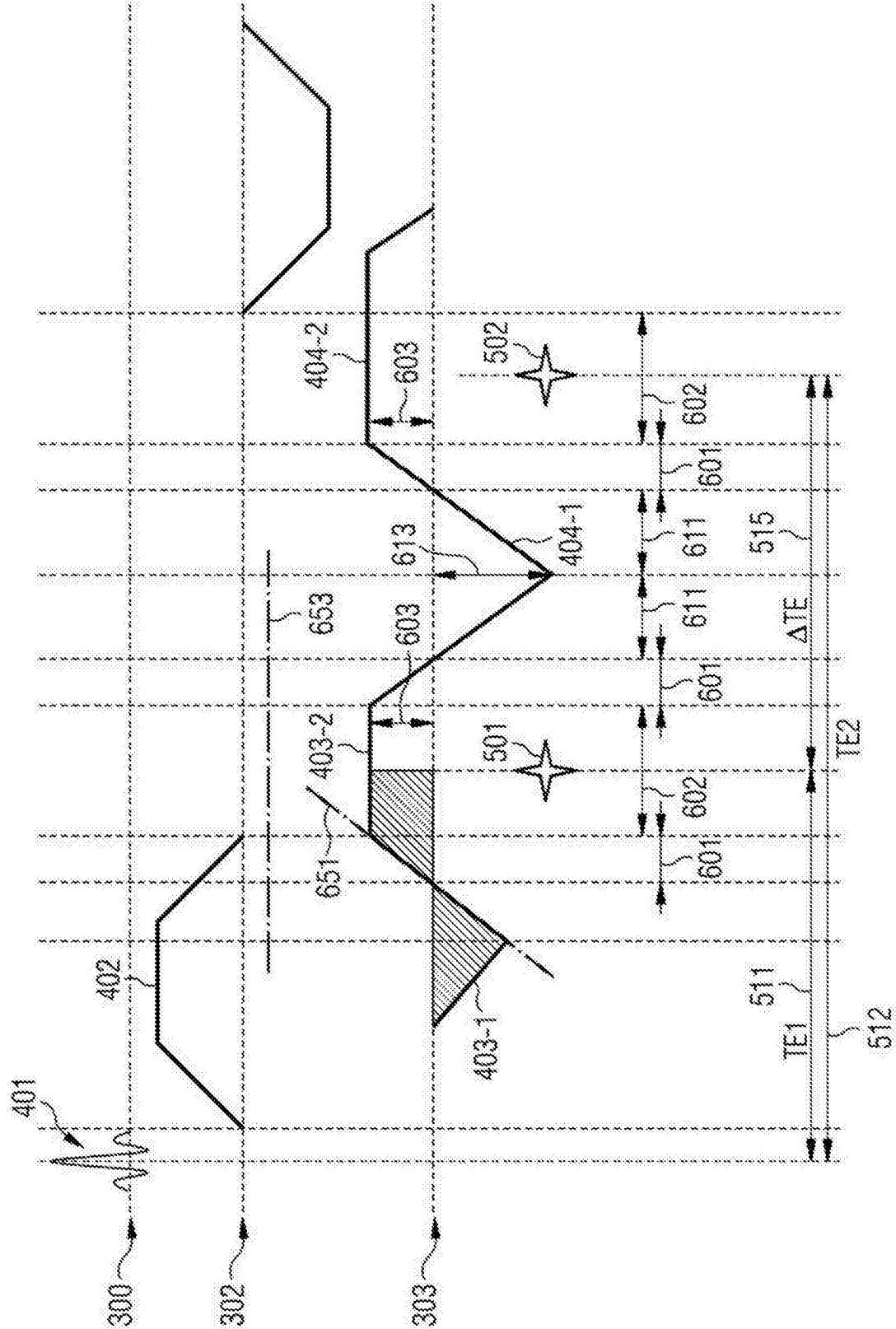


图2

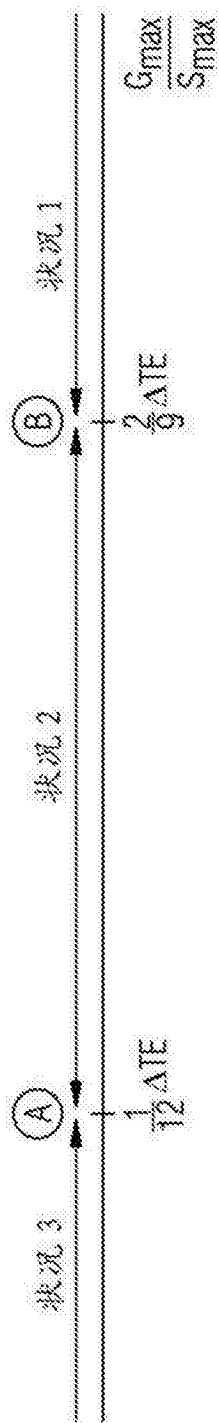


图3

状况 1	状况 2	状况 3
状况 1 B $\frac{2}{9} \Delta TE \leq \frac{G_{\max}}{S_{\max}}$	状况 2 A $\frac{1}{12} \Delta TE < \frac{G_{\max}}{S_{\max}} < \frac{2}{9} \Delta TE$	状况 3 A $\frac{1}{12} \Delta TE \geq \frac{G_{\max}}{S_{\max}}$
G $G = \frac{1}{9} S_{\max} \Delta TE$ $G = \frac{G_{\max}}{2} (x+1)$ wo x lost: $(x+2)/(x+3)^2 = \frac{S_{\max} \Delta TE}{4 G_{\max}}$	RT $\frac{G}{S_{\max}} = \frac{1}{9} \Delta TE$ $\frac{G}{S_{\max}} = \frac{G_{\max}}{2 S_{\max}} (x+1)$	RT $\frac{G}{S_{\max}} = \frac{1}{9} \Delta TE$
FT $\frac{3}{9} \Delta TE$	FT $\frac{G_{\max} \Delta TE}{G + G_{\max}} - \frac{G + G_{\max}}{S_{\max}}$	FT $\frac{3}{9} \Delta TE$
G_{FB} $-\frac{2}{9} S_{\max} \Delta TE$	G_{FB} $-G_{\max}$	G_{FB} $-\frac{2}{9} S_{\max} \Delta TE$
RT_{FB} $\frac{G_{FB}}{S_{\max}} = \frac{2}{9} \Delta TE$	RT_{FB} $\frac{G_{\max}}{S_{\max}}$	RT_{FB} $\frac{G_{\max}}{S_{\max}}$
FT_{FB} 0	FT_{FB} $\frac{G_{\max} \Delta TE}{G + G_{\max}} - \frac{G + G_{\max}}{S_{\max}}$	FT_{FB} 0
$\frac{G_{\max}}{S_{\max}}$	$\frac{G_{\max}}{S_{\max}}$	$\frac{G_{\max}}{S_{\max}}$

图4

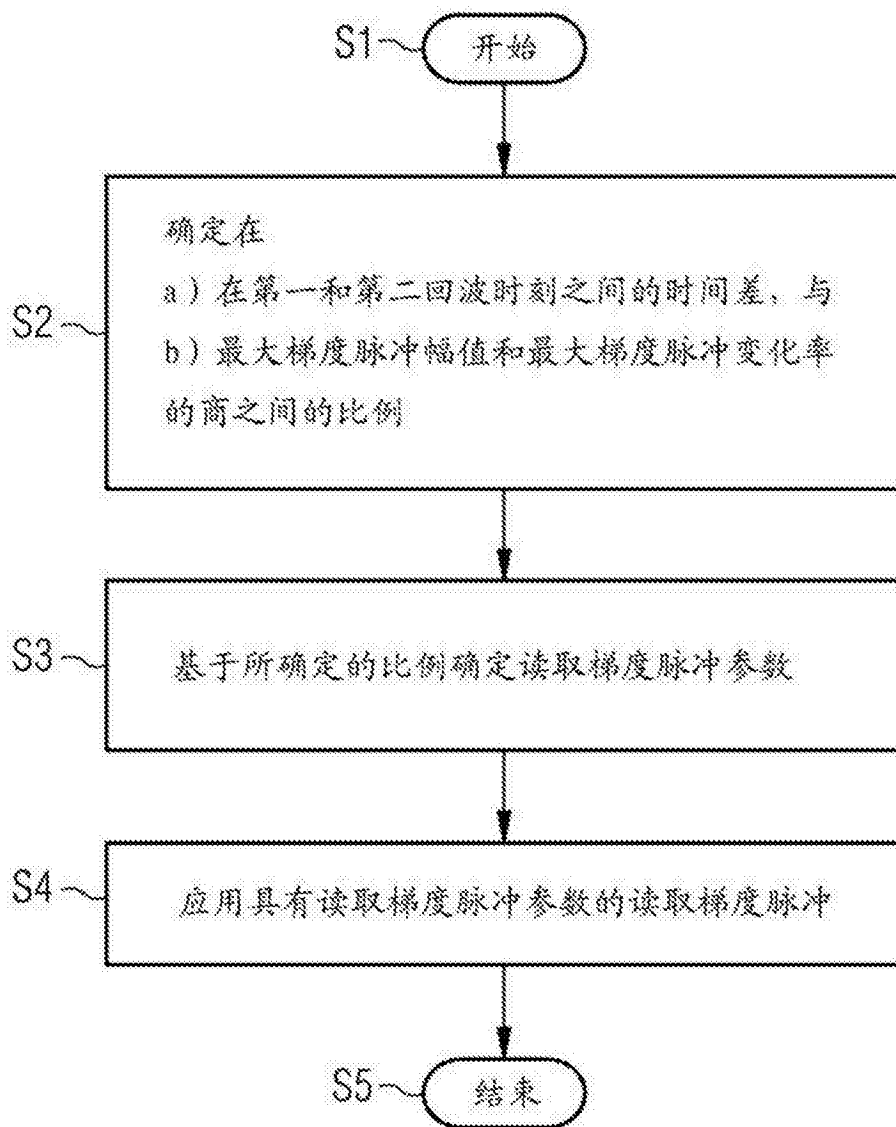


图5