



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 115656904 B

(45) 授权公告日 2023. 04. 07

(21) 申请号 202211592694.3

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2022.12.13

G01R 33/54 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 115656904 A

审查员 甘泉

(43) 申请公布日 2023.01.31

(73) 专利权人 中国科学技术大学先进技术研究院

地址 230031 安徽省合肥市高新区望江西路5089号

(72) 发明人 张华彬 周建太 周阳 郭明豪  
王长亮 罗鹏辉 邱本胜

(74) 专利代理机构 深圳市世纪恒程知识产权代  
理事务所 44287

专利代理师 丁志新

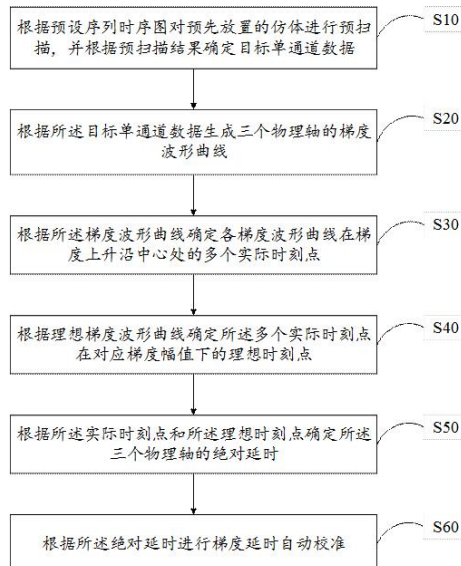
权利要求书3页 说明书11页 附图8页

(54) 发明名称

磁共振梯度延时自动校正方法、装置、设备及存储介质

(57) 摘要

本发明公开了一种磁共振梯度延时自动校正方法、装置、设备及存储介质，该方法包括：根据预设序列时序图对预先放置的仿体进行预扫描，并根据预扫描结果确定目标单通道数据，然后生成三个物理轴的梯度波形曲线；根据梯度波形曲线确定各梯度波形曲线在梯度上升沿中心处的多个实际时刻点；根据理想梯度波形曲线确定多个实际时刻点对应梯度幅值下的理想时刻点；根据实际时刻点和理想时刻点确定三个物理轴的绝对延时；根据绝对延时进行梯度延时自动校准。由于本发明是通过预扫描技术测量梯度波形进而计算延时，并自动计算上升沿处的延时，校准梯度系统物理轴的绝对延时。相比于现有技术，本发明不需要手动操作，实现自动化的较高精度延时校正效果。



1. 一种磁共振梯度延时自动校正方法,其特征在于,所述方法包括以下步骤:

根据预设序列时序图对预先放置的仿体进行预扫描,并根据预扫描结果确定目标单通道数据;

根据所述目标单通道数据生成三个物理轴的梯度波形曲线,所述梯度波形曲线为实际梯度波形曲线;

根据所述梯度波形曲线确定各梯度波形曲线在梯度上升沿中心处的多个实际时刻点;

根据理想梯度波形曲线确定所述多个实际时刻点在对应梯度幅值下的理想时刻点;

根据所述实际时刻点和所述理想时刻点确定所述三个物理轴的绝对延时;

根据所述绝对延时进行梯度延时自动校准;

其中,所述根据所述目标单通道数据生成三个物理轴的梯度波形曲线的步骤,包括:

依次从所述目标单通道数据中选取一个物理轴的梯度数据;

根据每次选取的物理轴的所述梯度数据,通过预设公式确定中间变量,其中所述梯度数据包括:不施加待测梯度波形时的数据、施加正向的待测梯度波形时的数据和施加反向的待测梯度波形时的数据;

根据所述中间变量,通过预设线性拟合计算公式进行线性拟合;

根据所述线性拟合遍历所有时刻点,获得拟合曲线;

根据所述拟合曲线,获得三个物理轴的实际梯度波形曲线;

其中,所述根据所述拟合曲线,获得三个物理轴的实际梯度波形曲线的步骤,包括:

依次选取三个物理轴对应的所述拟合曲线;

根据所述拟合曲线,通过预设差分公式依次计算获得三个物理轴的实际梯度波形曲线;

其中,所述根据所述梯度波形曲线确定各梯度波形曲线在梯度上升沿中心处的多个实际时刻点的步骤,包括:

选取各梯度波形曲线的预设范围内数据点,通过预设求中心点公式计算获得各梯度波形在上升过程的中心点;

根据所述中心点,确定各梯度波形曲线在梯度上升沿中心处的多个实际时刻点。

2. 如权利要求1所述的方法,其特征在于,所述预设公式为:

$$M(r, t) = \frac{\text{angle}\left(iFT_{k_{pe}}\{S_+(k_{pe}, t)\}\right) - \text{angle}\left(iFT_{k_{pe}}\{S_-(k_{pe}, t)\}\right)}{2}$$

式中, $M(r, t)$ 为中间变量, $S_+(k_{pe}, t)$ 为施加正向待测波形时的数据, $S_-(k_{pe}, t)$ 为施加反向待测波形时的数据, $iFT_{k_{pe}}\{\cdot\}$ 表示对输入变量沿相位编码的 $k_{pe}$ 方向做一维逆傅里叶变换操作, $\text{angle}(\cdot)$ 表示计算复数的相位角操作, $r$ 表示物理空间的坐标变量;

所述预设线性拟合计算公式为:

$$M(r, t_i) = k(t_i)r + b$$

式中,  $M(\mathbf{r}, t_i)$  为某一时刻点  $t_i$  的中间变量,  $\mathbf{r}$  表示物理空间的坐标变量,  $k(t_i)$  为线性拟合得到的斜率,  $b$  为线性拟合得到的截距。

3. 如权利要求1所述的方法, 其特征在于, 所述根据所述中间变量, 通过预设线性拟合计算公式进行线性拟合的步骤, 包括:

通过预设参考图像计算公式, 获得参考图像;

其中, 所述预设参考图像计算公式为:

$$I_{\text{ref}}(\mathbf{r}, t) = \text{iFT}_{k_{\text{pe}}} \{S_{\text{ref}}(k_{\text{pe}}, t)\}$$

式中,  $I_{\text{ref}}(\mathbf{r}, t)$  为参考图像,  $S_{\text{ref}}(k_{\text{pe}}, t)$  为不施加待测梯度波形时的数据,  $\text{iFT}_{k_{\text{pe}}}\{\cdot\}$  表示对输入变量沿相位编码的  $k_{\text{pe}}$  方向做一维逆傅里叶变换操作;

选取所述参考图像中的有效物理空间的坐标变量;

根据所述坐标变量进行线性拟合。

4. 如权利要求1所述的方法, 其特征在于, 所述预设差分公式为:

$$G(t) = \text{diff}\{k(t)\}$$

式中,  $G(t)$  为实际梯度波形曲线,  $k(t)$  为拟合曲线,  $\text{diff}\{\cdot\}$  表示一维差分操作。

5. 如权利要求1所述的方法, 其特征在于, 所述预设求中心点公式为:

$$i_m = \min_i |G(i) - G/2|$$

式中,  $i_m$  为所述中心点序号,  $G(\cdot)$  为梯度波形曲线,  $i$  为预设范围内数据点,  $G$  为施加的梯度波形的幅值。

6. 如权利要求1所述的方法, 其特征在于, 所述根据所述实际时刻点和所述理想时刻点确定所述三个物理轴的绝对延时的步骤, 包括:

将所述实际时刻点与所述理想时刻点对应相减, 得到所述实际时刻点与所述理想时刻点对应的差值;

对所述差值取平均值, 获得三个物理轴的绝对延时。

7. 如权利要求1至6任一项所述的方法, 其特征在于, 所述根据所述绝对延时进行梯度延时自动校准的步骤, 具体包括:

将所述绝对延时按照预设谱仪格式写入谱仪系统配置文件;

根据所述谱仪系统配置文件进行梯度延时自动校准。

8. 一种磁共振梯度延时自动校正装置, 其特征在于, 所述装置包括:

预扫描测量模块, 用于根据预设序列时序图对预先放置的仿体进行预扫描, 并根据预扫描结果确定目标单通道数据;

梯度波形计算模块, 用于根据所述目标单通道数据生成三个物理轴的梯度波形曲线,

所述梯度波形曲线为实际梯度波形曲线；

实际时刻点确认模块，用于确定各梯度波形曲线在梯度上升沿中心处的多个实际时刻点；

理想时刻点确认模块，用于根据理想梯度波形曲线确定所述多个实际时刻点在对应梯度幅值下的理想时刻点；

梯度延时计算模块，用于根据所述实际时刻点和所述理想时刻点确定所述三个物理轴的绝对延时；

结果输出模块，用于根据所述绝对延时进行梯度延时自动校准；

梯度波形计算模块，还用于依次从所述目标单通道数据中选取一个物理轴的梯度数据；根据每次选取的物理轴的所述梯度数据，通过预设公式确定中间变量，其中所述梯度数据包括：不施加待测梯度波形时的数据、施加正向的待测梯度波形时的数据和施加反向的待测梯度波形时的数据；根据所述中间变量，通过预设线性拟合计算公式进行线性拟合；根据所述线性拟合遍历所有时刻点，获得拟合曲线；根据所述拟合曲线，获得三个物理轴的实际梯度波形曲线；

梯度波形计算模块，还用于依次选取三个物理轴对应的所述拟合曲线；根据所述拟合曲线，通过预设差分公式依次计算获得三个物理轴的实际梯度波形曲线；

实际时刻点确认模块，还用于选取各梯度波形曲线的预设范围内数据点，通过预设求中心点公式计算获得各梯度波形在上升过程的中心点；根据所述中心点，确定各梯度波形曲线在梯度上升沿中心处的多个实际时刻点。

9. 一种磁共振梯度延时自动校正设备，其特征在于，所述设备包括：存储器、处理器及存储在所述存储器上并可在所述处理器上运行的磁共振梯度延时自动校正程序，所述磁共振梯度延时自动校正程序配置为实现如权利要求1至7中任一项所述的磁共振梯度延时自动校正方法的步骤。

10. 一种存储介质，其特征在于，所述存储介质上存储有磁共振梯度延时自动校正程序，所述磁共振梯度延时自动校正程序被处理器执行时实现如权利要求1至7任一项所述的磁共振梯度延时自动校正方法的步骤。

## 磁共振梯度延时自动校正方法、装置、设备及存储介质

### 技术领域

[0001] 本发明涉及数据处理领域,尤其涉及一种磁共振梯度延时自动校正方法、装置、设备及存储介质。

### 背景技术

[0002] 在磁共振扫描过程中,磁共振扫描设备通过发生具有梯度波形的磁共振扫描序列,对待扫描样品施加梯度场。为了获得准确的扫描结果,需要对梯度场进行精确的控制。但是,由于磁共振扫描设备固有的特性,如来自电缆或者梯度部件的自感应等,磁共振扫描序列的发生会出现梯度延时的情况,即该磁共振扫描序列的实际梯度波形的发生时刻与该磁共振扫描序列的设计理想梯度波形的发生时刻存在时间差。因此,需要对磁共振扫描序列进行延时校正。

[0003] 现有的梯度延时校正技术中,主要包括了基于示波器的粗调以及基于预扫描的细调两个步骤。对于基于示波器的粗调步骤,最主要的缺点是步骤繁琐,一般需要约30分钟的人工操作,无法自动化。此外,由于示波器无法记录信号采集窗口的开启时间,因此无法获取梯度波形的理想开启时刻点,只能校正三个物理轴之间的相对延时,无法校正绝对延时。对于基于预扫描的细调步骤,主要缺点是需要每次扫描时单独使用,一定程度地增加了序列代码以及数据后处理代码的复杂性。故目前只有对梯度延时要求高的高级序列才会使用,对于基本序列则只采用基于示波器的粗调结果。

### 发明内容

[0004] 本发明的主要目的在于提供了一种磁共振梯度延时自动校正方法、装置、设备及存储介质,旨在解决现有技术中无法有效实现自动化的较高精度延时校正效果的技术问题。

[0005] 为实现上述目的,本发明提供了一种磁共振梯度延时自动校正方法,所述方法包括以下步骤:

[0006] 根据预设序列时序图对预先放置的仿体进行预扫描,并根据预扫描结果确定目标单通道数据;

[0007] 根据所述目标单通道数据生成三个物理轴的梯度波形曲线;

[0008] 根据所述梯度波形曲线确定各梯度波形曲线在梯度上升沿中心处的多个实际时刻点;

[0009] 根据理想梯度波形曲线确定所述多个实际时刻点在对应梯度幅值下的理想时刻点;

[0010] 根据所述实际时刻点和所述理想时刻点确定所述三个物理轴的绝对延时;

[0011] 根据所述绝对延时进行梯度延时自动校准。

[0012] 可选地,所述根据所述目标单通道数据生成三个物理轴的梯度波形曲线的步骤,包括:

[0013] 依次从所述目标单通道数据中选取一个物理轴的梯度数据；

[0014] 根据每次选取的物理轴的所述梯度数据,通过预设公式确定中间变量,其中所述梯度数据包括:不施加待测梯度波形时的数据、施加正向的待测梯度波形时的数据和施加反向的待测梯度波形时的数据；

[0015] 其中,所述预设公式为:

$$[0016] \quad M(r, t) = \frac{\text{angle}\left(iFT_{k_{pe}}\{S_+(k_{pe}, t)\}\right) - \text{angle}\left(iFT_{k_{pe}}\{S_-(k_{pe}, t)\}\right)}{2}$$

[0017] 式中, $M(r, t)$ 为中间变量, $S_+(k_{pe}, t)$ 为施加正向待测波形时的数据, $S_-(k_{pe}, t)$ 为施加反向待测波形时的数据, $iFT_{k_{pe}}\{\cdot\}$ 表示对输入变量沿相位编码的 $k_{pe}$ 方向做一维逆傅里叶变换操作, $\text{angle}(\cdot)$ 表示计算复数的相位角操作, $r$ 表示物理空间的坐标变量；

[0018] 根据所述中间变量,通过预设线性拟合计算公式进行线性拟合；

[0019] 其中,所述预设线性拟合计算公式为:

$$[0020] \quad M(r, t_i) = k(t_i)r + b$$

[0021] 式中, $M(r, t_i)$ 为某一时刻点 $t_i$ 的中间变量, $r$ 表示物理空间的坐标变量, $k(t_i)$ 为线性拟合得到的斜率, $b$ 为线性拟合得到的截距；

[0022] 根据所述线性拟合遍历所有时刻点,获得拟合曲线；

[0023] 根据所述拟合曲线,获得三个物理轴的实际梯度波形曲线。

[0024] 可选地,所述根据所述中间变量,通过预设线性拟合计算公式进行线性拟合的步骤,包括:

[0025] 通过预设参考图像计算公式,获得参考图像；

[0026] 其中,所述预设参考图像计算公式为:

$$[0027] \quad I_{\text{ref}}(r, t) = iFT_{k_{pe}}\{S_{\text{ref}}(k_{pe}, t)\}$$

[0028] 式中, $I_{\text{ref}}(r, t)$ 为参考图像, $S_{\text{ref}}(k_{pe}, t)$ 为不施加待测梯度波形时的数据, $iFT_{k_{pe}}\{\cdot\}$ 表示对输入变量沿相位编码的 $k_{pe}$ 方向做一维逆傅里叶变换操作；

[0029] 选取所述参考图像中的有效物理空间的坐标变量；

[0030] 根据所述坐标变量进行线性拟合。

[0031] 可选地,所述根据所述拟合曲线,获得三个物理轴的实际梯度波形曲线的步骤,包括:

[0032] 依次选取三个物理轴对应的所述拟合曲线；

[0033] 根据所述拟合曲线,通过预设差分公式依次计算获得三个物理轴的实际梯度波形曲线；

[0034] 其中,所述预设差分公式为:

$$[0035] \quad G(t) = \text{diff}\{k(t)\}$$

[0036] 式中,  $G(t)$  为实际梯度波形曲线,  $k(t)$  为拟合曲线,  $\text{diff}\{\cdot\}$  表示一维差分操作。

[0037] 可选地, 所述根据所述梯度波形曲线确定各梯度波形曲线在梯度上升沿中心处的多个实际时刻点的步骤, 包括:

[0038] 选取各梯度波形曲线的预设范围内数据点, 通过预设求中心点公式计算获得各梯度波形在上升过程的中心点;

[0039] 其中, 所述预设求中心点公式为:

$$[0040] \quad i_m = \min_i |G(i) - G/2|$$

[0041] 式中,  $i_m$  为所述中心点序号,  $G(\cdot)$  为梯度波形曲线,  $i$  为预设范围内数据点,  $G$  为施加的梯度波形的幅值;

[0042] 根据所述中心点, 确定各梯度波形曲线在梯度上升沿中心处的多个实际时刻点。

[0043] 可选地, 所述根据所述实际时刻点和所述理想时刻点确定所述三个物理轴的绝对延时的步骤, 包括:

[0044] 将所述实际时刻点与所述理想时刻点对应相减, 得到所述实际时刻点与所述理想时刻点对应的差值;

[0045] 对所述差值取平均值, 获得三个物理轴的绝对延时。

[0046] 可选地, 所述根据所述绝对延时进行梯度延时自动校准的步骤, 具体包括:

[0047] 将所述绝对延时按照预设谱仪格式写入谱仪系统配置文件;

[0048] 根据所述谱仪系统配置文件进行梯度延时自动校准。

[0049] 此外, 为实现上述目的, 本发明还提出一种磁共振梯度延时自动校正装置, 所述装置包括:

[0050] 预扫描测量模块, 用于根据预设序列时序图对预先放置的仿体进行预扫描, 并根据预扫描结果确定目标单通道数据;

[0051] 梯度波形计算模块, 用于根据所述目标单通道数据生成三个物理轴的梯度波形曲线;

[0052] 实际时刻点确认模块, 用于确定各梯度波形曲线在梯度上升沿中心处的多个实际时刻点;

[0053] 理想时刻点确认模块, 用于根据理想梯度波形曲线确定所述多个实际时刻点在对应梯度幅值下的理想时刻点;

[0054] 梯度延时计算模块, 用于根据所述实际时刻点和所述理想时刻点确定所述三个物理轴的绝对延时;

[0055] 结果输出模块, 用于根据所述绝对延时进行梯度延时自动校准。

[0056] 此外, 为实现上述目的, 本发明还提出一种磁共振梯度延时自动校正设备, 所述设备包括: 存储器、处理器及存储在所述存储器上并可在所述处理器上运行的磁共振梯度延时自动校正程序, 所述磁共振梯度延时自动校正程序配置为实现如上文所述的磁共振梯度延时自动校正方法的步骤。

[0057] 此外, 为实现上述目的, 本发明还提出一种存储介质, 所述存储介质上存储有磁共振梯度延时自动校正程序, 所述磁共振梯度延时自动校正程序被处理器执行时实现如上文

所述的磁共振梯度延时自动校正方法的步骤。

[0058] 本发明公开了一种磁共振梯度延时自动校正方法、装置、设备及存储介质,该方法包括:根据预设序列时序图对预先放置的仿体进行预扫描,并根据预扫描结果确定目标单通道数据;根据所述目标单通道数据生成三个物理轴的梯度波形曲线;根据所述梯度波形曲线确定各梯度波形曲线在梯度上升沿中心处的多个实际时刻点;根据理想梯度波形曲线确定所述多个实际时刻点在对应梯度幅值下的理想时刻点;根据所述实际时刻点和所述理想时刻点确定所述三个物理轴的绝对延时;根据所述绝对延时进行梯度延时自动校准。由于本发明是通过预扫描技术直接测量梯度波形进而计算延时,并自动计算上升沿处的延时,一次性校准梯度系统三个物理轴的梯度相对延时与绝对延时。相比于现有技术,本发明不需要用户的手动操作,实现自动化的较高精度延时校正效果,减轻了磁共振系统维护的工作量。

## 附图说明

[0059] 图1是本发明实施例方案涉及的硬件运行环境的磁共振梯度延时自动校正设备的结构示意图;

[0060] 图2为本发明磁共振梯度延时自动校正方法第一实施例的流程示意图;

[0061] 图3为本发明磁共振梯度延时自动校正方法中梯度波形失真示意图;

[0062] 图4为本发明磁共振梯度延时自动校正方法中梯度延时校正示意图;

[0063] 图5为本发明磁共振梯度延时自动校正方法第二实施例的流程示意图;

[0064] 图6为本发明磁共振梯度延时自动校正方法第三实施例的流程示意图;

[0065] 图7为本发明磁共振梯度延时自动校正方法各模块间的关系与工作流程示意图;

[0066] 图8为本发明磁共振梯度延时自动校正方法预扫描序列时序图;

[0067] 图9为本发明磁共振梯度延时自动校正装置第一实施例的结构框图。

[0068] 本发明目的的实现、功能特点及优点将结合实施例,参照附图做进一步说明。

## 具体实施方式

[0069] 应当理解,此处所描述的具体实施例仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。

[0070] 参照图1,图1为本发明实施例方案涉及的硬件运行环境的磁共振梯度延时自动校正设备结构示意图。

[0071] 如图1所示,该磁共振梯度延时自动校正设备可以包括:处理器1001,例如中央处理器(Central Processing Unit,CPU),通信总线1002、用户接口1003,网络接口1004,存储器1005。其中,通信总线1002用于实现这些组件之间的连接通信。用户接口1003可以包括显示屏(Display)、输入单元比如键盘(Keyboard),可选用户接口1003还可以包括标准的有线接口、无线接口。网络接口1004可选的可以包括标准的有线接口、无线接口(如无线保真(Wireless-Fidelity,WI-FI)接口)。存储器1005可以是高速的随机存取存储器(Random Access Memory,RAM),也可以是稳定的非易失性存储器(Non-Volatile Memory,NVM),例如磁盘存储器。存储器1005可选的还可以是独立于前述处理器1001的存储装置。

[0072] 本领域技术人员可以理解,图1中示出的结构并不构成对磁共振梯度延时自动校正设备的限定,可以包括比图示更多或更少的部件,或者组合某些部件,或者不同的部件布



置。

[0073] 如图1所示,作为一种存储介质的存储器1005中可以包括操作系统、网络通信模块、用户接口模块以及磁共振梯度延时自动校正程序。

[0074] 在图1所示的磁共振梯度延时自动校正设备中,网络接口1004主要用于与网络服务器进行数据通信;用户接口1003主要用于与用户进行数据交互;本发明磁共振梯度延时自动校正设备中的处理器1001、存储器1005可以设置在磁共振梯度延时自动校正设备中,所述磁共振梯度延时自动校正设备通过处理器1001调用存储器1005中存储的磁共振梯度延时自动校正程序,并执行本发明实施例提供的磁共振梯度延时自动校正方法。

[0075] 本发明实施例提供了一种磁共振梯度延时自动校正方法,参照图2,图2为本发明磁共振梯度延时自动校正方法第一实施例的流程示意图。

[0076] 本实施例中,所述磁共振梯度延时自动校正方法包括以下步骤:

[0077] 步骤S10:根据预设序列时序图对预先放置的仿体进行预扫描,并根据预扫描结果确定目标单通道数据;

[0078] 需要说明的是,本实施例的执行主体可以是一种具有数据处理以及程序运行功能的计算服务设备,例如平板电脑、个人电脑等,或者是一种能够实现相同或相似功能的电子设备,例如上述图1所示的磁共振梯度延时自动校正设备等。以下以磁共振梯度延时自动校正设备为例,对本实施例及下述各实施例进行举例说明。

[0079] 可理解的是,仿体就是待扫描的样品,预设序列时序图可以根据实际需求进行更改,本实施例及以下实施例以图8所示的预扫描序列时序图作为本实施例的预设序列时序图。

[0080] 应理解的是,在预扫描前需要先放置仿体,且应该尽量放置在磁体中心,且仿体尺寸不能过大。

[0081] 需要说明的是,上述目标单通道数据是在放置仿体之后,使用预设序列时序图扫描并存储测量数据,筛选通道信号最强的数据作为目标单通道数据。

[0082] 在具体实现中,图8为本发明磁共振梯度延时自动校正方法预扫描序列时序图,本实施例使用图8所示的序列时序图进行扫描,首先施加硬脉冲,然后在待测物理轴上施加幅值与相位编码序号线性变化的相位编码梯度,之后再施加幅值为1.2mT/m、上升时间250us、持续时间2ms的梯度波形作为待测的梯度波形,并同时进行了4ms的数据采集。为了测量梯度延时误差较大情况下的数据,这里要保证待测波形前后的数据都能被采集到,在本实施例中采集窗口的理想开启时刻与梯度波形理想开启时刻之间有400us的间隔。最后施加反向的相位编码梯度以及扰相梯度。以上时序重复N次,其中N为相位编码数,每次改变相位编码梯度的幅值,在本实施例中采用N=120,采样点数800,采样周期5us,TR=100ms的序列参数。之后将待测梯度波形反向后再重复N次,在不施加待测梯度波形的情况下重复N次,一共重复3N=360次即可完成一个轴的校正数据采集。在其他轴上也进行类似的操作,故整个扫描一共需要 $3 \times 3N \times TR = 108$ 秒。数据扫描结束后,取信号最强的单通道数据进行后续处理。

[0083] 需要强调的是,本实施例中的序列参数、待测的梯度波形以及时间间隔等数值可以根据实际情况进行修改。

[0084] 步骤S20:根据所述目标单通道数据生成三个物理轴的梯度波形曲线;

[0085] 需要说明的是,为了实现对梯度波形曲线的准确获取,本实施例中所述的步骤S20的步骤,包括:

[0086] 步骤S201:依次从所述目标单通道数据中选取一个物理轴的梯度数据;

[0087] 步骤S202:根据每次选取的物理轴的所述梯度数据,通过预设公式确定中间变量,其中所述梯度数据包括:不施加待测梯度波形时的数据、施加正向的待测梯度波形时的数据和施加反向的待测梯度波形时的数据;

[0088] 其中,所述预设公式为:

$$[0089] \quad M(r, t) = \frac{\text{angle}\left(iFT_{k_{pe}}\{S_+(k_{pe}, t)\}\right) - \text{angle}\left(iFT_{k_{pe}}\{S_-(k_{pe}, t)\}\right)}{2}$$

[0090] 式中, $M(r, t)$ 为中间变量, $S_+(k_{pe}, t)$ 为施加正向待测波形时的数据, $S_-(k_{pe}, t)$ 为施加反向待测波形时的数据, $iFT_{k_{pe}}\{\cdot\}$ 表示对输入变量沿相位编码的 $k_{pe}$ 方向做一维逆傅里叶变换操作, $t$ 表示采集时间的序号, $\text{angle}(\cdot)$ 表示计算复数的相位角操作, $r$ 表示物理空间的坐标变量。

[0091] 步骤S203:根据所述中间变量,通过预设线性拟合计算公式进行线性拟合;

[0092] 其中,所述预设线性拟合计算公式为:

$$[0093] \quad M(r, t_i) = k(t_i)r + b$$

[0094] 式中, $M(r, t_i)$ 为某一时刻点 $t_i$ 的中间变量, $r$ 表示物理空间的坐标变量, $k(t_i)$ 为线性拟合得到的斜率, $b$ 为线性拟合得到的截距;

[0095] 应理解的是,斜率 $k(t_i)$ 和截距 $b$ 是按照预设线性拟合计算公式,直接通过软件拟合得出线性系数斜率 $k(t_i)$ 和截距 $b$ 。

[0096] 需要说明的是,为了提高线性拟合的效率和线性拟合的准确率,步骤S203的步骤,包括:

[0097] 步骤S2031:通过预设参考图像计算公式,获得参考图像;

[0098] 其中,所述预设参考图像计算公式为:

$$[0099] \quad I_{ref}(r, t) = iFT_{k_{pe}}\{S_{ref}(k_{pe}, t)\}$$

[0100] 式中, $I_{ref}(r, t)$ 为参考图像, $S_{ref}(k_{pe}, t)$ 为不施加待测梯度波形时的数据, $iFT_{k_{pe}}\{\cdot\}$ 表示对输入变量沿相位编码的 $k_{pe}$ 方向做一维逆傅里叶变换操作。

[0101] 需要说明的是,若扫描的时候无仿体或仿体偏离中心太远,则不存在有效区域,此时无法计算出梯度波形曲线;若扫描的仿体尺寸过大,根据磁共振原理则会产生信号卷绕现象,此时预设线性拟合计算公式会导致非线性,最终导致计算的梯度波形失真,无法准确计算延时。

[0102] 例如,参考图3,图3为本发明磁共振梯度延时自动校正方法中梯度波形失真示意图,测量x轴的梯度波形,要校正的延时为-1.6us(微秒);测量y轴的梯度波形,要校正的延

时为-0.4us (微秒);测量z轴的梯度波形,要校正的延时为170us (微秒),显然测量的z轴梯度波形失真,无法计算出准确的延时。

[0103] 步骤S2032:选取所述参考图像中的有效物理空间的坐标变量;

[0104] 可理解的是,因为扫描仿体的尺寸有限,仅在一段物理空间区域内才有信号值,其余为背景噪声,因此不能对所有的r进行线性拟合,只能对一部分有效 $r_{\text{eff}}$ 进行拟合, $r_{\text{eff}}$ 为有效物理空间的坐标变量。在实施例中, $r_{\text{eff}}$ 为 $I_{\text{ref}}(r, t)$ 中幅值超过最大幅值的20%的r。

[0105] 需要强调的是,本实施例中的 $r_{\text{eff}}$ 可根据实际情况进行选择,并不限定 $r_{\text{eff}}$ 一定为 $I_{\text{ref}}(r, t)$ 中幅值超过最大幅值的20%的r,也可以是10%、30%等。

[0106] 步骤S2033:根据所述坐标变量进行线性拟合。

[0107] 需要说明的是,上述坐标变量为有效物理空间的坐标变量,通过线性拟合得到所有时刻点下的线性系数斜率 $k(t_i)$ 。例如:在第一个时刻点下,一共有40个r和40个 $M(r, 1)$ 值,然后经过线性拟合得到这个时刻下的斜率 $k(1)$ 。之后在选用第二个时刻点,进行相同的操作,以此类推,得到所有时刻点下的斜率。

[0108] 步骤S204:根据所述线性拟合遍历所有时刻点,获得拟合曲线;

[0109] 需要说明的是,根据上述线性拟合遍历所有时刻点对应的斜率,获得线性拟合曲线 $k(t)$ 。

[0110] 步骤S205:根据所述拟合曲线,获得三个物理轴的实际梯度波形曲线。

[0111] 需要说明的是,为了根据各物理轴的拟合曲线 $k(t)$ ,实现准确的获得对应各物理轴的实际梯度波形曲线,步骤S205的步骤,包括:

[0112] 步骤S2051:依次选取三个物理轴对应的所述拟合曲线;

[0113] 步骤S2052:根据所述拟合曲线,通过预设差分公式依次计算获得三个物理轴的实际梯度波形曲线;

[0114] 其中,所述预设差分公式为:

$$[0115] \quad G(t) = \text{diff}\{k(t)\}$$

[0116] 式中, $G(t)$ 为实际梯度波形曲线, $k(t)$ 为拟合曲线, $\text{diff}\{\cdot\}$ 表示一维差分操作。

[0117] 步骤S30:根据所述梯度波形曲线确定各梯度波形曲线在梯度上升沿中心处的多个实际时刻点;

[0118] 需要说明的是,因为梯度波形曲线在上升过程的中心处是最稳定的,所以可以通过上升沿中心附近的数据来计算时刻点。

[0119] 在具体实现中,根据梯度波形曲线在上升过程的中心处是最稳定的特性,获得中心点,在根据实际情况选择多个上升沿中心处的实际时刻点。

[0120] 步骤S40:根据理想梯度波形曲线确定所述多个实际时刻点在对应梯度幅值下的理想时刻点;

[0121] 在具体实现中,得到多个实际时刻点后,再根据理想梯度波形的相关参数计算得到与多个实际时刻点的对应梯度幅值下的多个理想时刻点。例如:上述得到15个实际时刻点,在得到15个实际时刻点后,再根据理想梯度波形的相关参数计算得到15个实际时刻点

对应梯度幅值下的15个理想时刻点。

[0122] 步骤S50:根据所述实际时刻点和所述理想时刻点确定所述三个物理轴的绝对延时;

[0123] 需要说明的是,梯度绝对延时是梯度信号与理想开启时刻之间的延时,实际中一般以信号采集窗口的开启时刻作为参考,来计算其他信号的理想开启时刻。

[0124] 在具体实现中,将实际时刻点与理想时刻点对应相减并取平均,就能得到该轴下相对于采集窗口的绝对延时,单位us(微秒)。对其他轴的梯度波形曲线做类似操作,就可以得到三个物理轴的绝对延时。

[0125] 步骤S60:根据所述绝对延时进行梯度延时自动校准。

[0126] 需要说明的是,为了高效的实现梯度延时自动校准,步骤S60的步骤,具体包括:

[0127] 步骤S601:将所述绝对延时按照预设谱仪格式写入谱仪系统配置文件;

[0128] 步骤S602:根据所述谱仪系统配置文件进行梯度延时自动校准。

[0129] 为了完成自动梯度延时校正的步骤后给用户提供相关提示,提高用户的交互体验,步骤S60的步骤之后,还包括:

[0130] 步骤S70:将所述实际梯度波形曲线及理想梯度波形曲线展示给用户,并弹出延时校正结束提示框。

[0131] 例如,参考图4,图4为本发明磁共振梯度延时自动校正方法中梯度延时校正示意图,根据所述谱仪系统配置文件进行梯度延时自动校准后,将梯度延时校正前的实际波形曲线、理想波形曲线以及实际波形曲线要校正的延时值和梯度延时校正后的实际波形曲线、理想波形曲线以及实际波形曲线要校正的延时值展示给用户。

[0132] 本实施例通过根据预设序列时序图对预先放置的仿体进行预扫描,并根据预扫描结果确定目标单通道数据;依次从所述目标单通道数据中选取一个物理轴的梯度数据,根据每次选取的物理轴的所述梯度数据,通过预设公式确定中间变量,根据所述中间变量,通过预设线性拟合计算公式进行线性拟合,根据所述线性拟合遍历所有时刻点,获得拟合曲线,根据所述拟合曲线,获得三个物理轴的实际梯度波形曲线;根据所述梯度波形曲线确定各梯度波形曲线在梯度上升沿中心处的多个实际时刻点;根据理想梯度波形曲线确定所述多个实际时刻点在对应梯度幅值下的理想时刻点;根据所述实际时刻点和所述理想时刻点确定所述三个物理轴的绝对延时;将所述绝对延时按照预设谱仪格式写入谱仪系统配置文件后进行梯度延时自动校准。由于本发明是通过预扫描技术直接测量梯度波形进而计算延时,并自动计算上升沿处的延时,一次性校准梯度系统三个物理轴的梯度相对延时与绝对延时。相比于现有技术,本发明不需要用户的手动操作,实现自动化的较高精度延时校正效果并提高用户的交互体验,减轻了磁共振系统维护的工作量。

[0133] 参考图5,图5为本发明磁共振梯度延时自动校正方法第二实施例的流程示意图。

[0134] 基于上述第一实施例,本实施例中,所述步骤S30包括:

[0135] 步骤S301:选取各梯度波形曲线的预设范围内数据点,通过预设求中心点公式计算获得各梯度波形在上升过程的中心点;

[0136] 其中,所述预设求中心点公式为:

$$[0137] \quad i_m = \min_i |G(i) - G/2|$$

[0138] 式中,  $i_m$  为所述中心点序号,  $G(\cdot)$  为梯度波形曲线,  $i$  为预设范围内数据点,  $G$  为施加的梯度波形的幅值;

[0139] 需要说明的是, 预设范围内的数据点为某个轴的梯度波形曲线前半部分的点, 例如: 本实施例中采样点数为800, 则选取前400个点进行计算, 这样可以保证选取范围内只有梯度波形的上升沿数据。

[0140] 步骤S302: 根据所述中心点, 确定各梯度波形曲线在梯度上升沿中心处的多个实际时刻点。

[0141] 需要说明的是, 因为梯度波形曲线在上升过程的中心处是最稳定的, 在获得中心点, 可根据实际情况选择多个上升沿中心处的实际时刻点。例如: 选择15个实际时刻点, 通过设定的采样周期计算中心点相邻的一共15个序号点对应的实际时刻点。本实施例中采样周期为5us, 故给定某个序号点  $i$  对应的时刻点为  $5i$ , 单位us (微秒)。

[0142] 本实施例通过根据预设序列时序图对预先放置的仿体进行预扫描, 并根据预扫描结果确定目标单通道数据; 根据所述目标单通道数据生成三个物理轴的梯度波形曲线; 选取各梯度波形曲线的预设范围内数据点, 通过预设求中心点公式计算获得各梯度波形在上升过程的中心点, 然后根据所述中心点, 确定各梯度波形曲线在梯度上升沿中心处的多个实际时刻点; 根据理想梯度波形曲线确定所述多个实际时刻点在对应梯度幅值下的理想时刻点; 根据所述实际时刻点和所述理想时刻点确定所述三个物理轴的绝对延时; 根据所述绝对延时进行梯度延时自动校准。由于本发明是通过预扫描技术直接测量梯度波形进而计算延时, 并自动计算上升沿处的延时, 一次性校准梯度系统三个物理轴的梯度相对延时与绝对延时。相比于现有技术, 本发明不需要用户的手动操作, 梯度波形计算方法以及基于上升沿中心的梯度延时都较为简单, 后处理不需要迭代计算, 在目前常用计算机中可在短时间内完成计算, 实现自动化的较高精度延时校正效果, 提高了磁共振系统的效率, 减轻了磁共振系统维护的工作量。

[0143] 参考图6, 图6为本发明磁共振梯度延时自动校正方法第三实施例的流程示意图。

[0144] 基于上述第二实施例, 本实施例中, 所述步骤S50包括:

[0145] 步骤S501: 将所述实际时刻点与所述理想时刻点对应相减, 得到所述实际时刻点与所述理想时刻点对应的差值;

[0146] 在具体实现中, 确定各梯度波形曲线在梯度上升沿中心处的多个实际时刻点后, 根据理想梯度波形曲线确定所述多个实际时刻点在对应梯度幅值下的理想时刻点, 最后将实际时刻点和对应的理想时刻点相减, 得到对应的差值。例如: 得到15个实际时刻点和对应的15个理想时刻点对应相减后, 得到15个差值。

[0147] 步骤S502: 对所述差值取平均值, 获得三个物理轴的绝对延时。

[0148] 可理解的是, 将上述物理轴得到的差值求平均, 得到的平均值, 就是对应物理轴的平均值。对其他轴的实际时刻点和理想时刻点对应的差值做类似操作, 就可以得到三个物理轴的绝对延时。

[0149] 本实施例通过根据预设序列时序图对预先放置的仿体进行预扫描, 并根据预扫描结果确定目标单通道数据; 根据所述目标单通道数据生成三个物理轴的梯度波形曲线; 根据所述梯度波形曲线确定各梯度波形曲线在梯度上升沿中心处的多个实际时刻点; 根据理想梯度波形曲线确定所述多个实际时刻点在对应梯度幅值下的理想时刻点; 将所述实际时

刻点与所述理想时刻点对应相减,得到所述实际时刻点与所述理想时刻点对应的差值;对所述差值取平均值,获得三个物理轴的绝对延时;根据所述绝对延时进行梯度延时自动校准。由于本实施例是通过将所述实际时刻点与所述理想时刻点对应相减,得到所述实际时刻点与所述理想时刻点对应的差值;对所述差值取平均值,获得三个物理轴的绝对延时。相比于现有技术,本发明不需要用户的手动操作,提高了绝对延时的精度,实现自动化的较高精度延时校正效果,减轻了磁共振系统维护的工作量。

[0150] 例如,参考图7,图7为本发明磁共振梯度延时自动校正方法各模块间的关系与工作流程示意图,预扫描测量模块对放置的仿体通过预设序列时序图进行预扫描之后,选取通道最强的单通道数据并传递给梯度波形计算模块;梯度波形计算模块获取由预扫描测量模块传递的单通道数据,根据预设公式依次计算每个物理轴的梯度波形曲线,并将三个物理轴的梯度波形曲线传递给实际时刻点确认模块;实际时刻点确认模块依次根据每个物理轴的梯度波形曲线确认梯度波形上升沿附近的多个实际时刻点,并传递给理想时刻点确认模块;理想时刻点确认模块根据理想梯度波形曲线确定所述多个实际时刻点在对应梯度幅值下的理想时刻点,并将多个实际时刻点和对应的多个理想时刻点传递给梯度延时计算模块;梯度延时计算模块,将三个物理轴的多个实际时刻点与多个理想时刻点对应相减,得到所述实际时刻点与所述理想时刻点对应的差值,再对差值取平均值,依次获得三个物理轴的绝对延时,并将三个物理轴的绝对延时的值传递到结果输出模块;结果输出模块将绝对延时的值按照预设谱仪格式写入谱仪系统配置文件,根据谱仪系统配置文件进行梯度延时自动校准,并将实际梯度波形曲线及理想梯度波形曲线展示给用户,并弹出延时校正结束提示框。

[0151] 此外,本发明实施例还提出一种存储介质,所述存储介质上存储有磁共振梯度延时自动校正程序,所述磁共振梯度延时自动校正程序被处理器执行时实现如上文所述的磁共振梯度延时自动校正方法的步骤。

[0152] 参考图9,图9为本发明磁共振梯度延时自动校正装置第一实施例的结构框图。

[0153] 如图9所示,本发明实施例提出的磁共振梯度延时自动校正装置包括:预扫描模块701、梯度波形计算模块702、实际时刻点确认模块703、理想时刻点确认模块704、梯度延时计算模块705、结果输出模块706。

[0154] 预扫描测量模块701,用于根据预设序列时序图对预先放置的仿体进行预扫描,并根据预扫描结果确定目标单通道数据;

[0155] 梯度波形计算模块702,用于根据所述目标单通道数据生成三个物理轴的梯度波形曲线;

[0156] 实际时刻点确认模块703,用于确定各梯度波形曲线在梯度上升沿中心处的多个实际时刻点;

[0157] 理想时刻点确认模块704,用于根据理想梯度波形曲线确定所述多个实际时刻点在对应梯度幅值下的理想时刻点;

[0158] 梯度延时计算模块705,用于根据所述实际时刻点和所述理想时刻点确定所述三个物理轴的绝对延时;

[0159] 结果输出模块706,用于根据所述绝对延时进行梯度延时自动校准。

[0160] 本实施例通过根据预设序列时序图对预先放置的仿体进行预扫描,并根据预扫描

结果确定目标单通道数据;根据所述目标单通道数据生成三个物理轴的梯度波形曲线;根据所述梯度波形曲线确定各梯度波形曲线在梯度上升沿中心处的多个实际时刻点;根据理想梯度波形曲线确定所述多个实际时刻点在对应梯度幅值下的理想时刻点;根据所述实际时刻点和所述理想时刻点确定所述三个物理轴的绝对延时;根据所述绝对延时进行梯度延时自动校准。由于本发明是通过预扫描技术直接测量梯度波形进而计算延时,并自动计算上升沿处的延时,一次性校准梯度系统三个物理轴的梯度相对延时与绝对延时。相比于现有技术,本发明不需要用户的手动操作,实现自动化的较高精度延时校正效果,减轻了磁共振系统维护的工作量。

[0161] 本发明磁共振梯度延时自动校正装置的其他实施例或具体实现方式可参照上述各方法实施例,此处不再赘述。

[0162] 需要说明的是,在本文中,术语“包括”、“包含”或者其任何其他变体意在涵盖非排他性的包含,从而使得包括一系列要素的过程、方法、物品或者系统不仅包括那些要素,而且还包括没有明确列出的其他要素,或者是还包括为这种过程、方法、物品或者系统所固有的要素。在没有更多限制的情况下,由语句“包括一个……”限定的要素,并不排除在包括该要素的过程、方法、物品或者系统中还存在另外的相同要素。

[0163] 上述本发明实施例序号仅仅为了描述,不代表实施例的优劣。

[0164] 通过以上的实施方式的描述,本领域的技术人员可以清楚地了解到上述实施例方法可借助软件加必需的通用硬件平台的方式来实现,当然也可以通过硬件,但很多情况下前者是更佳的实施方式。基于这样的理解,本发明的技术方案本质上或者说对现有技术做出贡献的部分可以以软件产品的形式体现出来,该计算机软件产品存储在一个存储介质(如只读存储器/随机存取存储器、磁碟、光盘)中,包括若干指令用以使得一台终端设备(可以是手机,计算机,服务器,空调器,或者网络设备等)执行本发明各个实施例所述的方法。

[0165] 以上仅为本发明的优选实施例,并非因此限制本发明的专利范围,凡是利用本发明说明书及附图内容所作的等效结构或等效流程变换,或直接或间接运用在其他相关的技术领域,均同理包括在本发明的专利保护范围内。

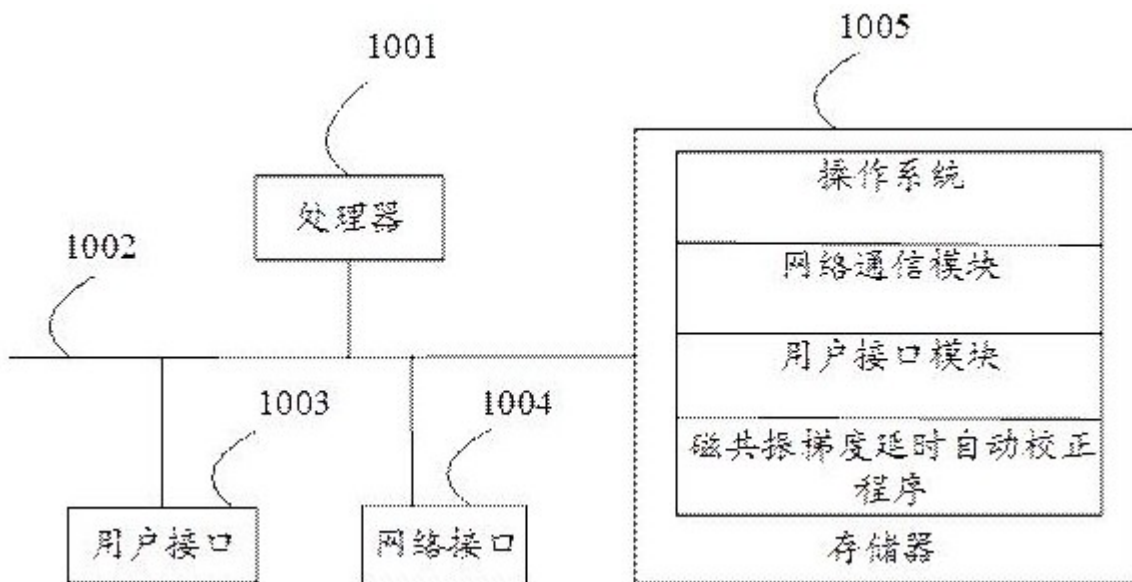


图1



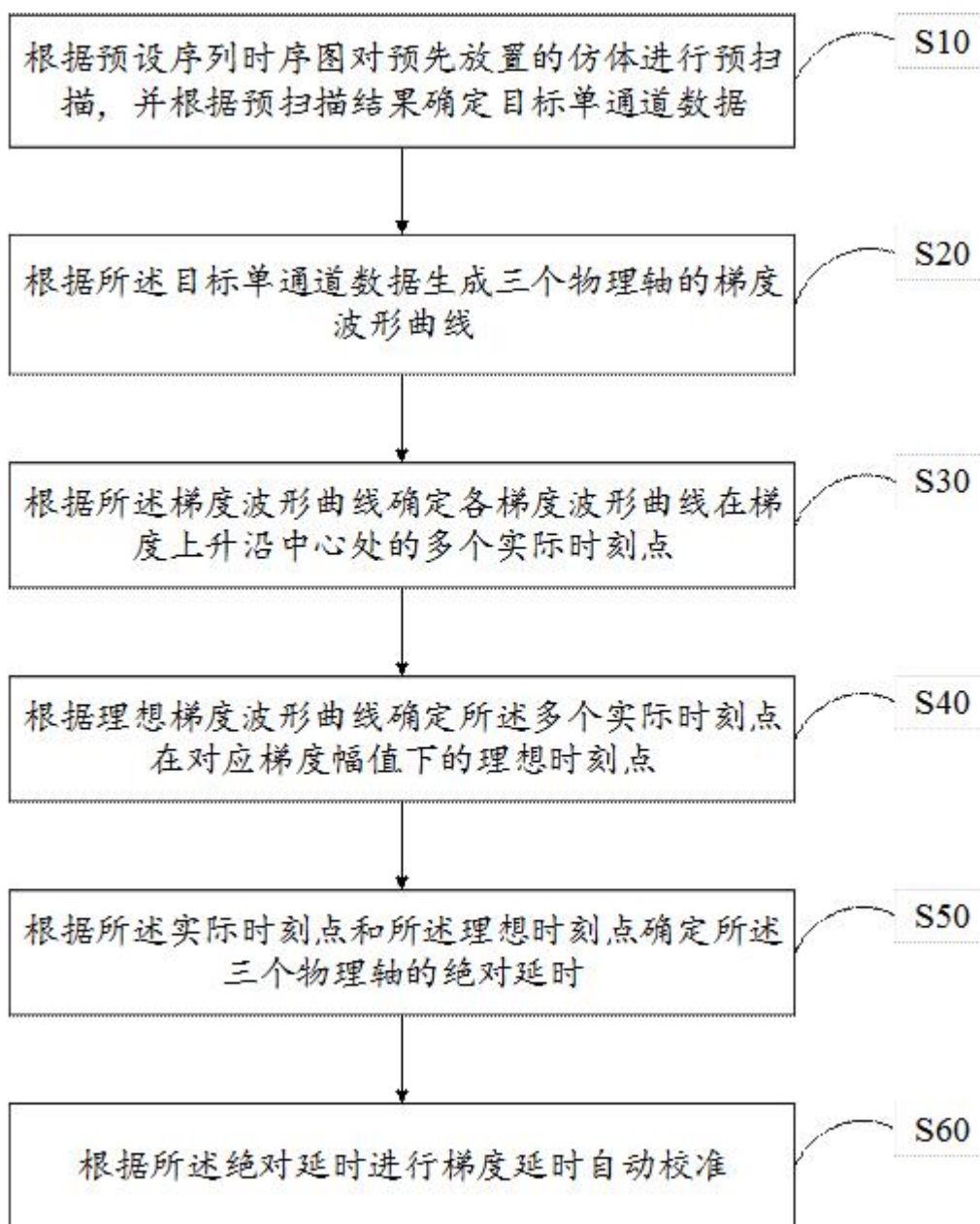


图2

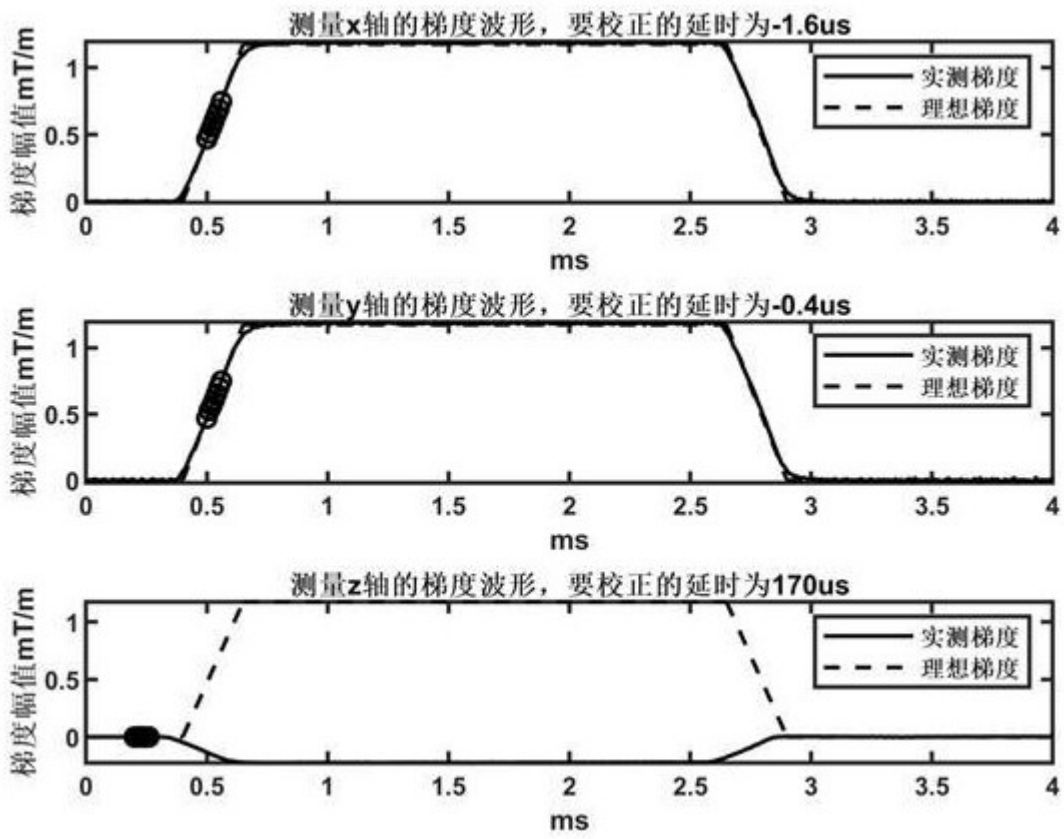
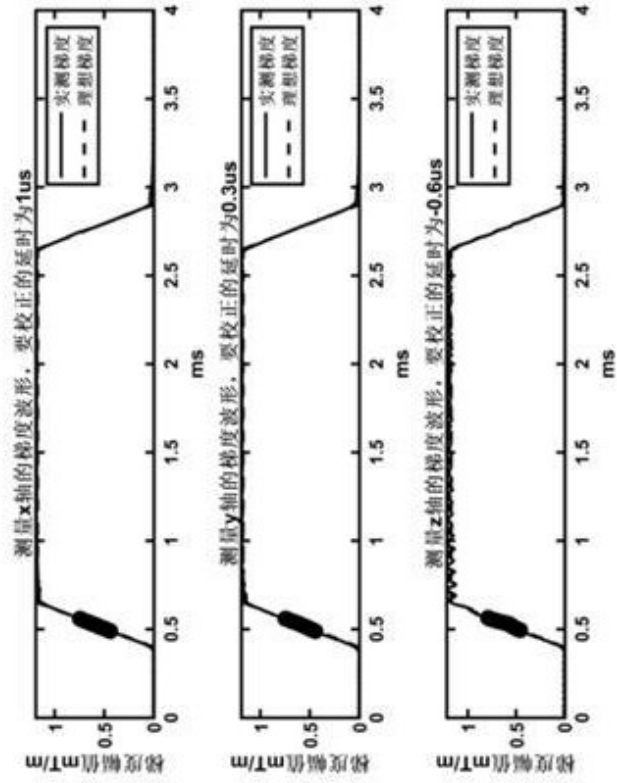


图3

梯度延时校正后



梯度延时校正前

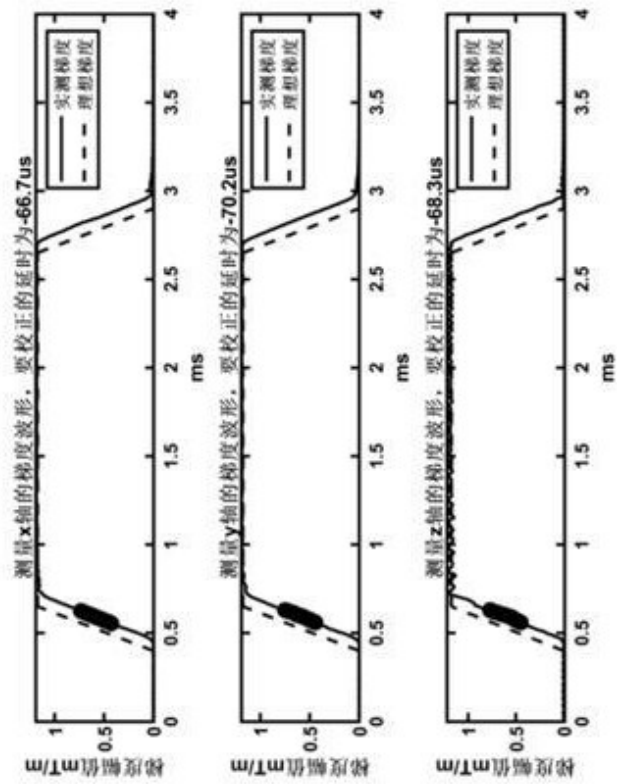


图4

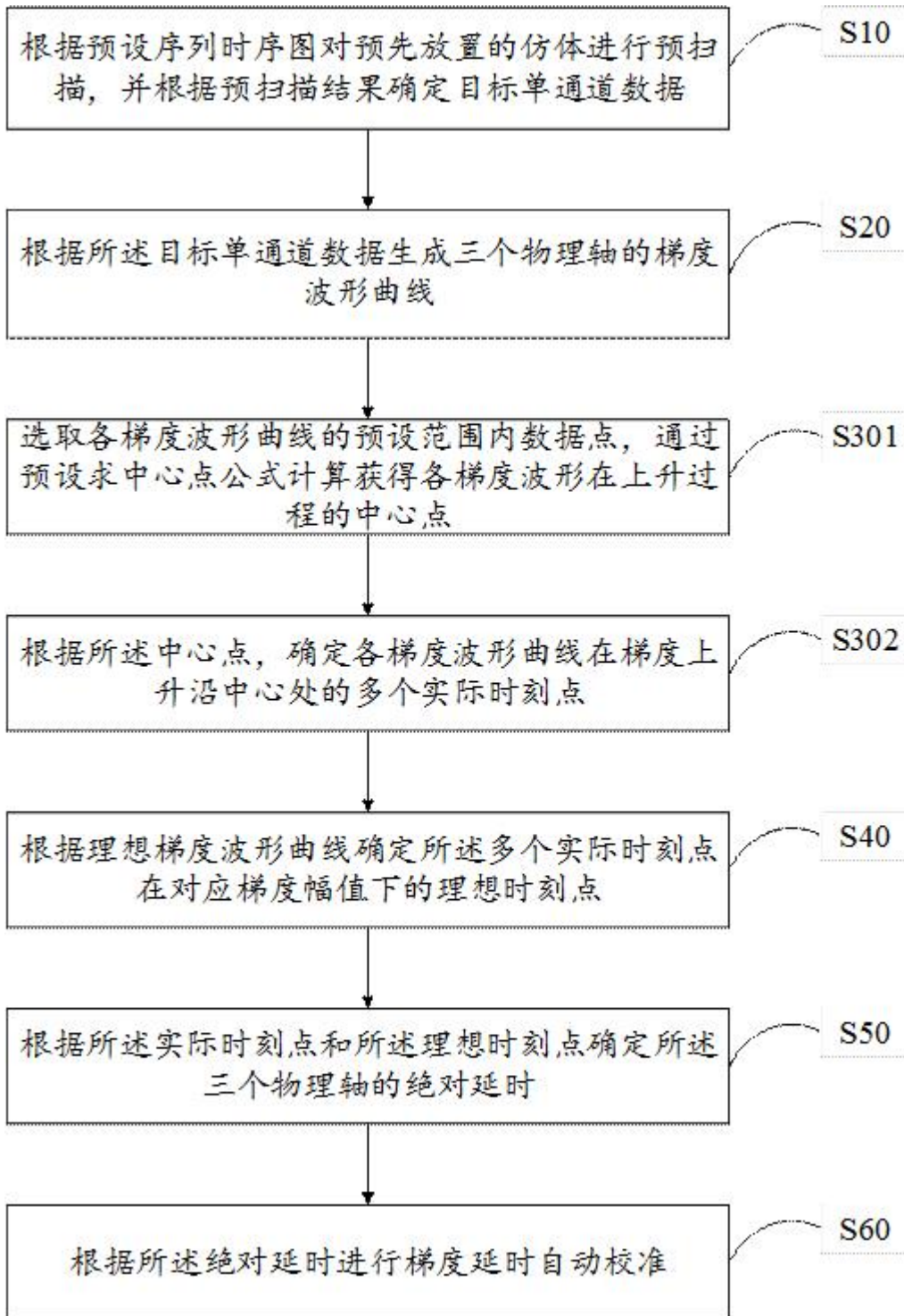


图5

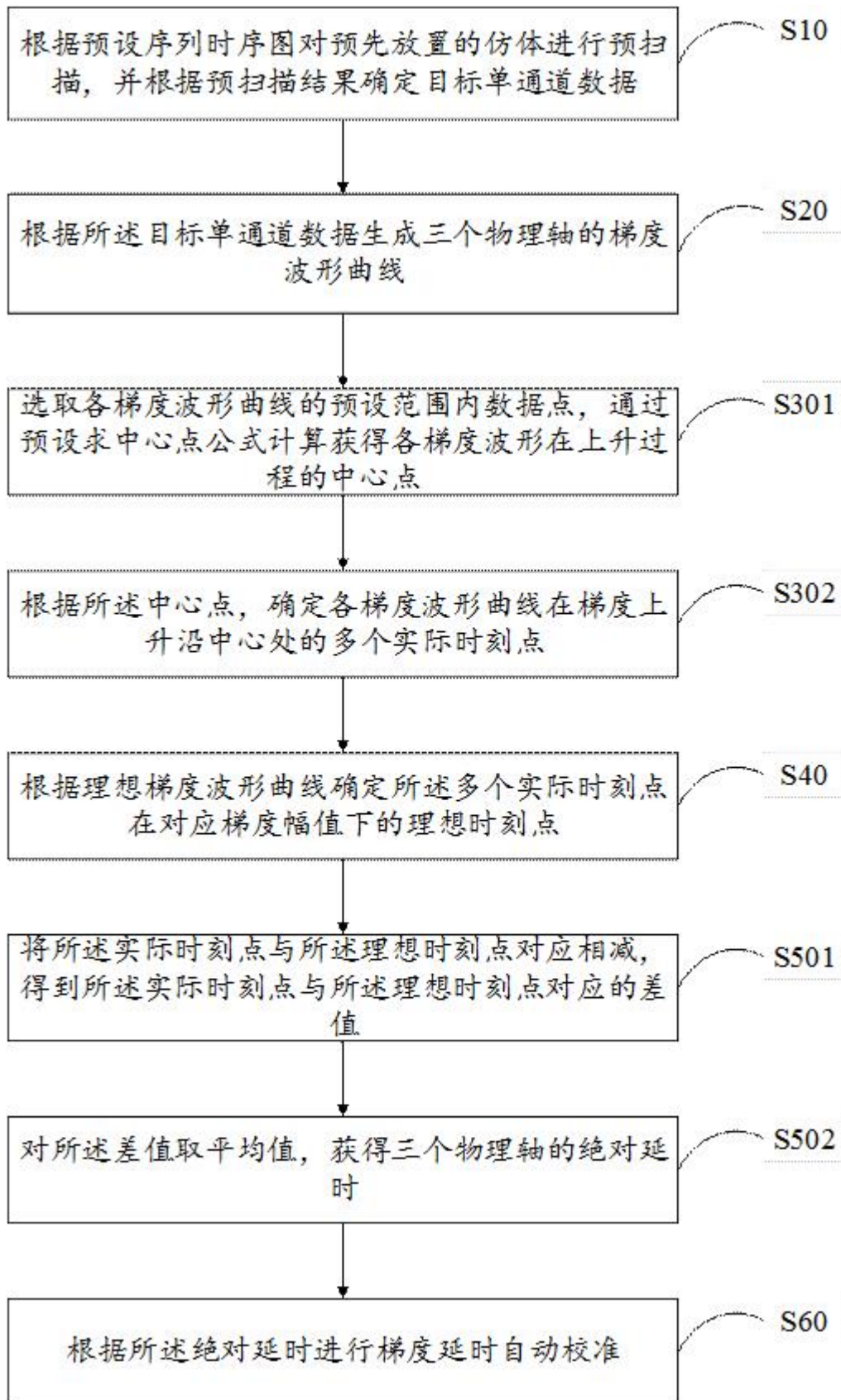


图6

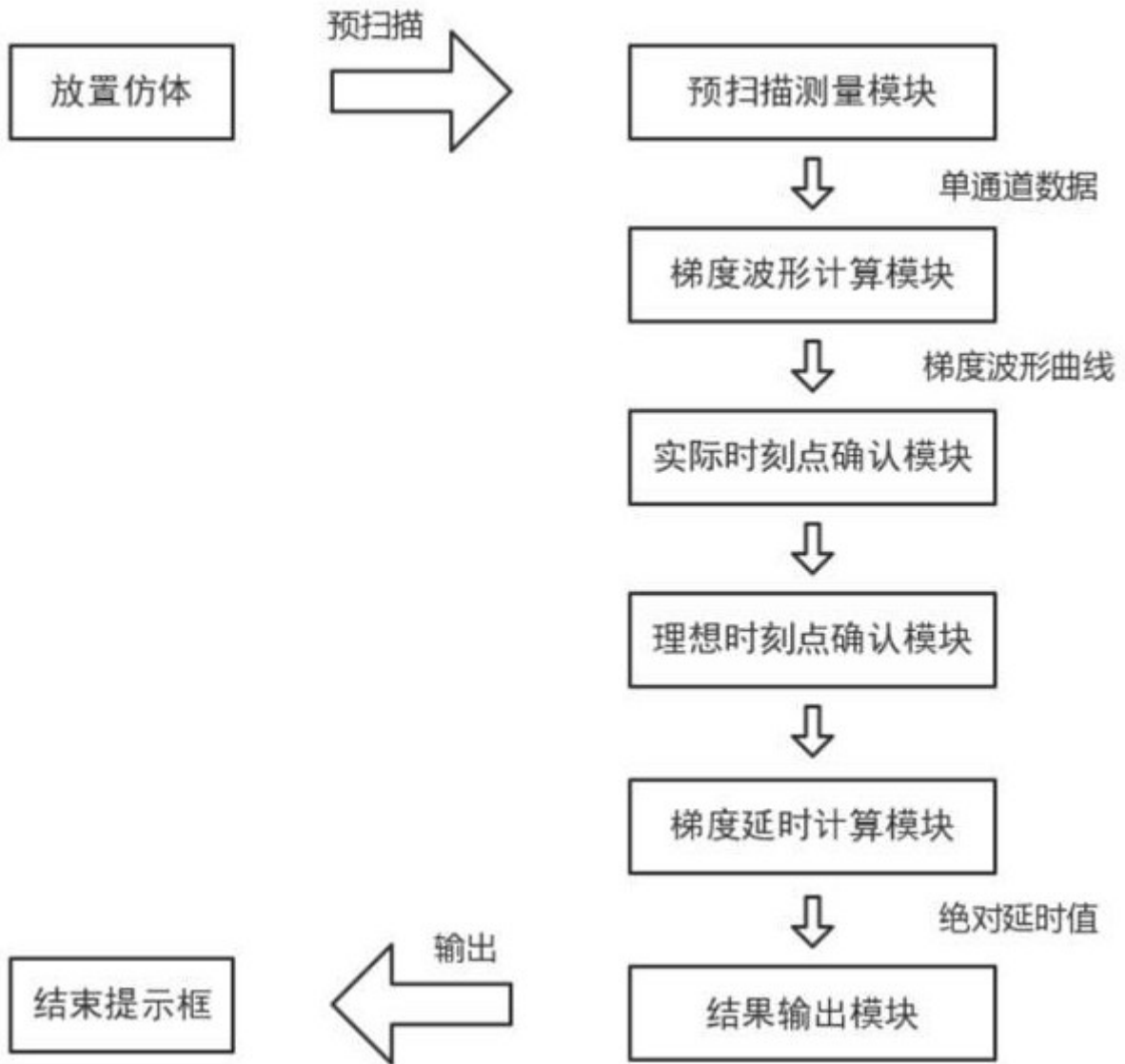


图7

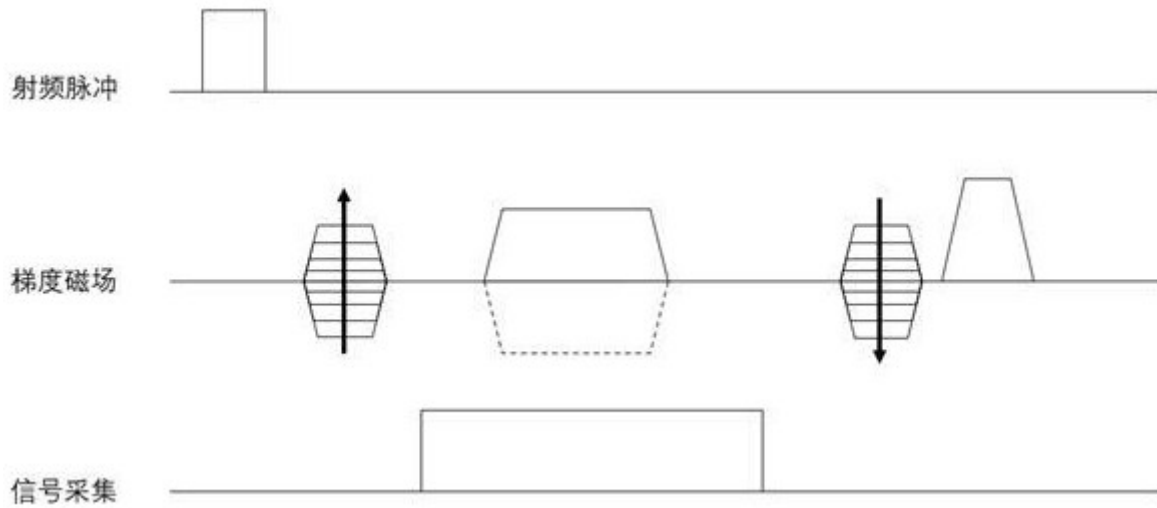


图8

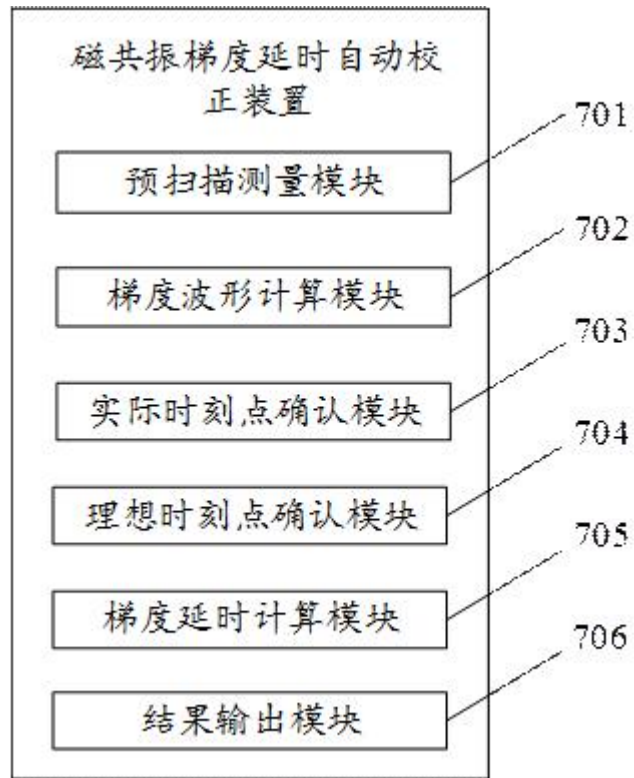


图9