



## (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110051382 A

(43)申请公布日 2019.07.26

(21)申请号 201910217671.6

(22)申请日 2019.03.21

(71)申请人 深圳开立生物医疗科技股份有限公司

地址 518057 广东省深圳市南山区粤海街道麻岭社区高新中区科技中2路1号深圳软件园(2期)12栋201、202

(72)发明人 叶宗英

(74)专利代理机构 深圳市深佳知识产权代理事务所(普通合伙) 44285

代理人 王仲凯

(51)Int.Cl.

A61B 8/00(2006.01)

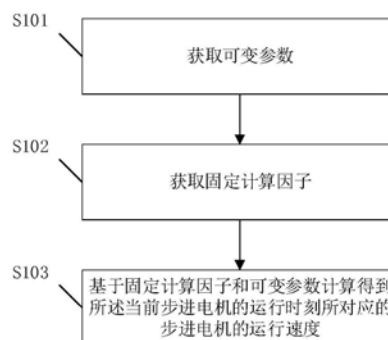
权利要求书2页 说明书11页 附图1页

### (54)发明名称

超声探头的步进电机控制方法、存储介质以及超声探头

### (57)摘要

超声探头的步进电机控制方法、存储介质以及超声探头,方法应用于步进电机的马达控制器中,包括:获取可变参数,其中,步进电机的运行速度计算公式由第一子公式和第二子公式组合得到,其中,第一子公式的计算结果随超声探头的扫描参数变化而变化,第一子公式的计算结果作为可变参数,第二子公式的计算结果与超声探头的运行时刻之间一一对应;从马达控制器存储的预设映射数据中调取与当前步进电机的运行时刻相匹配的固定计算因子,第二子公式的计算结果作为所述固定计算因子;将固定计算因子和可变参数代入预设计算公式中,计算得到当前步进电机的运行时刻所对应的步进电机的运行速度。降低了超声主机与步进电机的马达控制器之间的数据传输量。



1. 一种超声探头的步进电机控制方法,其特征在于,应用于步进电机的马达控制器中,方法包括:

获取可变参数,其中,所述步进电机的运行速度计算公式由第一子公式和第二子公式组合得到,其中,所述第一子公式的计算结果随超声探头的扫描参数变化而变化,所述第一子公式的计算结果作为所述可变参数,所述第二子公式的计算结果与所述超声探头的运行时刻之间一一对应;

从马达控制器存储的预设映射数据中调取与当前步进电机的运行时刻相匹配的固定计算因子,所述预设映射数据中存储有与所述当前步进电机的运行时刻相匹配的固定计算因子,所述第二子公式的计算结果作为所述固定计算因子;

将所述固定计算因子和可变参数代入预设计算公式中,计算得到所述当前步进电机的运行时刻所对应的步进电机的运行速度。

2. 根据权利要求1所述的超声探头的步进电机控制方法,其特征在于,所述超声探头为线性传动结构。

3. 根据权利要求2所述的超声探头的步进电机控制方法,其特征在于,所述步进电机的运行速度计算公式为:

$$\Delta t_{n+1} = \sqrt{\frac{2k}{a_{\omega}}} (\sqrt{n+1} - \sqrt{n}) * \text{Freq};$$

其中,所述 $\Delta t_{n+1}$ 为步进电机相邻两微步的间隔时间,表示线性传动结构的超声探头的步进电机的运行速度,所述n表示所述步进电机运行的脉冲个数,所述Freq为所述马达控制器的时钟频率,所述 $a_{\omega}$ 为步进电机加速和减速过程中的加速度,所述k为步进电机每运行一微步对应的电机传动杆的步距角。

4. 根据权利要求3所述的超声探头的步进电机控制方法,其特征在于,所述可变参数为:

$$\kappa_a = \sqrt{\frac{2k}{a_{\omega}}} \times \text{Freq};$$

所述固定计算因子为:

$$\Delta \tau_{n+1} = \sqrt{n+1} - \sqrt{n};$$

所述将所述固定计算因子和可变参数代入预设计算公式中,计算得到所述当前步进电机的运行时刻所对应的步进电机的运行速度,包括:

将所述固定计算因子和可变参数之积作为当前步进电机的运行时刻所对应的步进电机的运行速度。

5. 根据权利要求1所述的超声探头的步进电机控制方法,其特征在于,所述超声探头为非线性传动结构。

6. 根据权利要求5所述的超声探头的步进电机控制方法,其特征在于,所述步进电机的运行速度计算公式为:

$$\Delta t = \frac{k * \text{Freq}}{\text{Ang} * \text{Frm}} * \sqrt{\frac{(\sin \alpha)^2 + (\cos \alpha - d/R)^2}{\cos \gamma}};$$

其中,  $\Delta t$  为步进电机相邻两微步的间隔时间, 表示非线性传动结构的超声探头的步进电机的运行速度, 所述  $k$  为步进电机每运行一微步对应的电机传动杆的步距角, 所述  $Ang$  为探头芯部单向摆动一次的角度, 所述  $F_{rm}$  为探头芯部的摆动频率, 所述  $\alpha$  为探头的偏转角, 所述  $d$  和  $R$  为预设数值, 所述  $\gamma = \beta - \alpha$ , 所述  $\beta = \arctan(R \sin \alpha / (R \cos \alpha - d))$ 。

7. 根据权利要求6所述的超声探头的步进电机控制方法, 其特征在于, 所述可变参数为:

$$fac1 = \frac{k * Freq}{Ang * F_{rm}};$$

所述固定计算因子为:

$$fac2 = \sqrt{\frac{(\sin \alpha)^2 + (\cos \alpha - d/R)^2}{\cos \gamma}};$$

所述将所述固定计算因子和可变参数代入预设计算公式中, 计算得到所述当前步进电机的运行时刻所对应的步进电机的运行速度, 包括:

将所述固定计算因子和可变参数之积作为当前步进电机的运行时刻所对应的步进电机的运行速度。

8. 一种存储介质, 其特征在于, 所述存储介质上存储有计算机程序, 所述计算机程序被处理器执行时, 实现如权利要求1至7中任一权利要求所述的超声探头的步进电机控制方法。

9. 一种超声探头, 其特征在于, 包括步进电机、步进电机控制器、超声换能器和传动装置, 所述传动装置连接所述步进电机和所述超声换能器, 所述步进电机控制器内存储有计算机程序, 所述计算机程序被所述步进电机控制器执行时, 实现权利要求1至7任意一项权利要求所述的超声探头的步进电机控制方法。

## 超声探头的步进电机控制方法、存储介质以及超声探头

### 技术领域

[0001] 本发明涉及电机控制系统技术领域，具体涉及一种超声探头的步进电机控制方法、存储介质以及超声探头。

### 背景技术

[0002] 4D超声技术就是采用3D超声图像加上时间维度参数，能够实时获取三维超声图像，因此也被称作实时三维技术。同其他超声诊断技术相比，4D超声可以实时观察和获取被测组织的实时活动图像，为临床超声诊断提供了更丰富的影像信息和诊断依据。

[0003] 4D超声技术的实现离不开4D超声探头，主流的4D超声探头主要包括步进电机、超声换能器和传动装置。3D/4D超声扫描，需要通过马达控制器控制步进电机来回匀速运动，带动超声换能器连续均匀的对被测部位进行切片扫描，然后进行三维重建得到3D/4D超声图像。为了准确获取3D/4D超声图像，在4D超声探头进行超声扫描时，必须精准地控制换能器的运动速度和摆动角度。

[0004] 现有的4D超声探头马达控制器（简称4D马达控制器）通常采用梯形控制曲线对探头内部的步进电机进行驱动控制。控制曲线是一组能够控制步进电机速度的控制参数，控制器根据控制曲线来实现4D探头正向加速、正向匀速、正向减速、反向加速、反向匀速和反向减速的往复控制过程。步进电机控制曲线的计算和生成，通常采用以下两种方案：①在超声主机CPU中进行步进电机控制曲线的计算和生成，然后通过UART、SPI或其他通讯接口将控制曲线下载到4D马达控制器；②在4D马达控制器中完成控制曲线的计算过程，这种方法需要4D马达控制器的微处理器能够支持乘法、开方等复杂运算，应用较少。

[0005] 在现有技术方案中，在使用超声探头时，在超声主机CPU中进行步进电机控制曲线的计算和生成，然后通过UART、SPI或其他通讯接口将控制曲线下载到4D马达控制器。由于控制曲线数据量比较大，下载需要很长时间，且每次切换参数都需要重新下载，影响用户体验。

### 发明内容

[0006] 有鉴于此，本发明实施例提供一种超声探头的步进电机控制方法、存储介质以及超声探头，以解决现有技术中超声探头的步进电机控制曲线在超声主机CPU中进行计算和生成，将其下载到马达控制器中需要很长时间的问题。

[0007] 为实现上述目的，本发明实施例提供如下技术方案：

[0008] 一种超声探头的步进电机控制方法，应用于步进电机的马达控制器中，方法包括：

[0009] 获取可变参数，其中，所述步进电机的运行速度计算公式中由第一子公式和第二子公式组合得到，其中，所述第一子公式的计算结果随超声探头的扫描参数变化而变化，所述第一子公式的计算结果作为所述可变参数，所述第二子公式的计算结果与所述超声探头的运行时刻之间一一对应；

[0010] 从马达控制器存储的预设映射数据中调取与当前步进电机的运行时刻相匹配的固定计算因子,所述预设映射数据中存储有与当前步进电机的运行时刻相匹配的固定计算因子,所述第二子公式的计算结果作为所述固定计算因子;

[0011] 将所述固定计算因子和可变参数代入预设计算公式中,计算得到当前步进电机的运行时刻所对应的步进电机的运行速度。

[0012] 优选的,上述超声探头的步进电机控制方法中,所述超声探头为线性传动结构。

[0013] 优选的,上述超声探头的步进电机控制方法中,

[0014] 所述步进电机的运行速度计算公式为:

$$[0015] \quad \Delta t_{n+1} = \sqrt{\frac{2k}{a_{\omega}}} (\sqrt{n+1} - \sqrt{n}) * \text{Freq};$$

[0016] 其中,所述 $\Delta t_{n+1}$ 为步进电机相邻两微步的间隔时间,表示线性传动结构的超声探头的步进电机的运行速度,所述n表示所述步进电机运行的脉冲个数,所述Freq为所述马达控制器的时钟频率,所述 $a_{\omega}$ 为步进电机加速和减速过程中的加速度,所述k为步进电机每运行一微步对应的电机传动杆的步距角。

[0017] 优选的,上述超声探头的步进电机控制方法中,所述可变参数为:

$$[0018] \quad \kappa_a = \sqrt{\frac{2k}{a_{\omega}}} \times \text{Freq};$$

[0019] 所述固定计算因子为:

$$[0020] \quad \Delta \tau_{n+1} = \sqrt{n+1} - \sqrt{n};$$

[0021] 所述将所述固定计算因子和可变参数代入预设计算公式中,计算得到当前步进电机的运行时刻所对应的步进电机的运行速度,包括:

[0022] 将所述固定计算因子和可变参数之积作为当前步进电机的运行时刻所对应的步进电机的运行速度。

[0023] 优选的,上述超声探头的步进电机控制方法中,所述超声探头为非线性传动结构。

[0024] 优选的,上述超声探头的步进电机控制方法中,所述步进电机的运行速度计算公式为:

$$[0025] \quad \Delta t = \frac{k * \text{Freq}}{\text{Ang} * \text{Frm}} * \sqrt{\frac{(\sin \alpha)^2 + (\cos \alpha - d/R)^2}{\cos \gamma}};$$

[0026] 其中, $\Delta t$ 为步进电机相邻两微步的间隔时间,表示非线性传动结构的超声探头的步进电机的运行速度,所述k为步进电机每运行一微步对应的电机传动杆的步距角,所述Ang为探头芯部单向摆动一次的角度,所述Frm为探头芯部的摆动频率,所述 $\alpha$ 为探头的偏转角,所述d和R为预设数值,所述 $\gamma = \beta - \alpha$ ,所述 $\beta = \arctan(R * \sin \alpha / (R * \cos \alpha - d))$ 。

[0027] 优选的,上述超声探头的步进电机控制方法中,所述可变参数为:

$$[0028] \quad \text{fac1} = \frac{k * \text{Freq}}{\text{Ang} * \text{Frm}};$$

[0029] 所述固定计算因子为:

$$[0030] \quad \text{fac2} = \sqrt{\frac{(\sin \alpha)^2 + (\cos \alpha - d/R)^2}{\cos \gamma}};$$

[0031] 所述将所述固定计算因子和可变参数代入预设计算公式中, 计算得到所述当前步进电机的运行时刻所对应的步进电机的运行速度, 包括:

[0032] 将所述固定计算因子和可变参数之积作为当前步进电机的运行时刻所对应的步进电机的运行速度。

[0033] 一种存储介质, 所述存储介质上存储有计算机程序, 所述计算机程序被处理器执行时, 实现如权利要求1至7中任一权利要求所述的超声探头的步进电机控制方法。

[0034] 一种超声探头, 包括步进电机、步进电机控制器、超声换能器和传动装置, 所述传动装置连接所述步进电机和所述超声换能器, 所述步进电机控制器内存储有计算机程序, 所述计算机程序被所述步进电机控制器执行时, 实现权利要求1至7任意一项权利要求所述的超声探头的步进电机控制方法。

[0035] 基于上述技术方案, 由于部分计算过程在步进电机的马达控制器端进行, 因此可以达到本发明实施例提供的降低超声主机与步进电机控制器之间数据传输量的目的。

## 附图说明

[0036] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案, 下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍, 显而易见地, 下面描述中的附图仅仅是本发明的实施例, 对于本领域普通技术人员来讲, 在不付出创造性劳动的前提下, 还可以根据提供的附图获得其他的附图。

[0037] 图1为非线性探头传动结构示意图;

[0038] 图2为乘法运算定点化处理方案;

[0039] 图3为本申请实施例提供的超声探头的步进电机控制方法的流程示意图。

## 具体实施方式

[0040] 下面将结合本发明实施例中的附图, 对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述, 显然, 所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例, 而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例, 本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例, 都属于本发明保护的范围。

[0041] 对于线性传动的4D超声探头而言, 探头换能器的摆动与步进电机转动速度呈线性关系。本方案使用梯形控制曲线完成4D探头正向匀加速、正向匀速、正向匀减速、反向匀加速、反向匀速和反向匀减速的往复控制过程。对于线性传动的探头, 加速过程较匀速过程的控制复杂, 假设加速和减速过程的加速度为 $a_{\omega}$ , 换能器转过角位移为 $\varphi$ , 则从静止开始加速的过程中, 换能器的角位移满足:

$$[0042] \quad \varphi = \frac{1}{2} a_{\omega} t^2 \quad (1)$$

[0043] 其中, 所述 $t$ 指的是进入加速阶段的时长;

[0044] 由于超声换能器的角位移与步进电机运动的微步数一一对应, 因而上述公式(1)

可写成:

$$[0045] \quad kn = \varphi_n = \frac{1}{2} a_{\omega} t_n^2 \quad n = 1, 2, \dots, N \quad (2)$$

[0046] 式中,  $\varphi_n$  表示换能器在步进电机运行第n个微步后转过的总角度;  $t_n$  表示 电机运行第n个脉冲的时刻;  $k$  表示换能器步距角, 所述  $k$  为固定值, 指的是 步进电机每运行一微步对应的电机传动杆的步距角。因而, 第  $n+1$  个与第  $n$  个 微步的时间间隔满足:

$$[0047] \quad \Delta t_{n+1} = t_{n+1} - t_n = \sqrt{\frac{2\varphi_{n+1}}{a_{\omega}}} - \sqrt{\frac{2\varphi_n}{a_{\omega}}} = \sqrt{\frac{2k}{a_{\omega}}} (\sqrt{n+1} - \sqrt{n}) \quad (3)$$

[0048] 步进电机相邻两微步的时间间隔  $\Delta t_{n+1}$  即线性传动结构的超声探头的步进 电机的运行速度, 对应着4D超声换能器的控制速度。因此4D马达控制器的控 制曲线实际上就是步进电机的微步时间控制曲线。在马达控制FPGA中,  $\Delta t_{n+1}$  需 要量化成时钟周期的个数, 即乘以FPGA工作的时钟频率Freq:

$$[0049] \quad \Delta t_{n+1} = (t_{n+1} - t_n) \times \text{Freq} = \sqrt{\frac{2k}{a_{\omega}}} (\sqrt{n+1} - \sqrt{n}) \times \text{Freq} \quad (4)$$

[0050] 传统的4D超声探头控制方案通常将式 (4) 的运算放在超声主机CPU中完 成, 然后根据步进电机的微步数产生n个数据的控制曲线下载到4D马达控制 器。上述公式 (4) 中包含开根号、除法和乘法等复杂运算, 而且当电机微步数  $n$  很大时, 控制曲线的计算和下载需要 耗费很长时间。另外一种做法是将公式 (4) 直接放到马达控制FPGA中实现, 但FPGA需要 耗费很多的逻辑资源去实现根 号运算和除法运算, 会明显增加硬件成本和逻辑设计复杂度。

[0051] 申请人经过研究发现, 对于所有线性传动的4D超声探头来说, 公式 (4) 中  $(\sqrt{n+1} - \sqrt{n})$  的运算是一样的, 而且不受4D超声扫描用户参数的影响。因此本 发明将公式 (4) 的结果分为加速度系数  $\kappa_a$  和微步间隔系数  $\Delta \tau_{n+1}$  两部分:

$$[0052] \quad \kappa_a = \sqrt{\frac{2k}{a_{\omega}}} \times \text{Freq} \quad (5)$$

$$[0053] \quad \Delta \tau_{n+1} = \sqrt{n+1} - \sqrt{n} \quad (6)$$

[0054] 其中, 加速度系数  $\kappa_a$  随4D扫描参数变化而变化, 作为可变参数放在超声 主机CPU中实时计算, 并将其量化为32bit的无符号整数 (u32), 然后下载到 马达控制FPGA。可有效 减少参数计算次数和下载数量。

[0055] 所述微步间隔系数  $\Delta \tau_{n+1}$  作为固定计算因子, 可离线计算得到, 将计算结 果量化为16bit的无符号小数 (u0.16), 作为查找表初始化存储在FPGA内部 RAM中, 其中, 所述公式 (6) 中的  $n$  可以大于预设值, 只要  $n$  的值满足所有探 头中的最大加速步数即可。

[0056] 可见, 上述公式中, 可变参数为32bit的无符号整数 (u32), 固定计算因 子为大于0 而小于1的无符号小数 (u0.16), 可极大的简化马达FPGA的运算量, 当所述加速度系数  $\kappa_a$  和 微步间隔系数  $\Delta \tau_{n+1}$  加载到马达FPGA后, 马达FPGA只 使用一个乘法器即可生成步进电机速

度控制曲线。

[0057] 对于非线性传动的4D超声探头而言,非线性传动的4D超声探头的驱动示意图如图1所示,图1中DF为半径为R的弧线的切线,DE为以AD为半径的圆的切线,CD与AB垂直,实线圆弧1为换能器的运动轨迹,0为运动轨迹的圆心(虚拟),A为传动杆转轴位置,AD表示超声换能器传动杆。换能器圆弧轨迹半径为固定值R,OA之间的距离为固定值d。由于运动轨迹和马达转轴位置固定,AD杆的长度在探头芯部摆动过程中是可变的,这就导致了探头芯部运动速度与马达转动速度之间呈非线性关系。

[0058] 非线性探头在实际应用中,要求探头芯部摆动是匀速的,对应步进电机的转动速度就是非匀速的,因此电机控制曲线的计算会比较复杂。

[0059] 假设 $v_{DF}$ 为探头芯部匀速摆动的线速度,则马达转动(圆心A)的角速度为

$$[0060] \quad \omega = v_{DE}/AD = v_{DF} \cdot \cos \gamma / AD \quad (7)$$

[0061] 由于AD的长度和 $\cos \gamma$ 的值是随 $\alpha$ 角度变化而不断变化的,AD的长度和 $\cos \gamma$ 的值与偏转角度 $\alpha$ 之间存在预设的映射关系,由公式(7)可知马达转动角速度 $\omega$ 的值取决于探头运动速度 $v_{DF}$ 和偏转角度 $\alpha$ 。

[0062] 所述探头运动速度 $v_{DF}$ 由探头(圆心0)摆动角度Ang(探头芯部单向摆动一次的角度)和探头摆动帧频Frm(探头芯部每秒钟来回摆动的次数,每秒钟来回摆动Ang的次数)决定,即

$$[0063] \quad v_{DF} = \omega_0 \cdot R = \text{Ang} \cdot \text{Frm} \cdot R \quad (8)$$

[0064] 又由于

$$[0065] \quad CD = OD \cdot \sin \angle COD = R \sin \alpha \quad (9)$$

$$[0066] \quad AC = OD \cdot \cos \angle COD - OA = R \cos \alpha - d \quad (10)$$

$$[0067] \quad AD = \sqrt{CD^2 + AC^2} = \sqrt{(R \sin \alpha)^2 + (R \cos \alpha - d)^2} \quad (11)$$

$$[0068] \quad \beta = \arctan(CD/AC) = \arctan(R \sin \alpha / (R \cos \alpha - d)) \quad (12)$$

$$[0069] \quad \gamma = \angle EDF = \angle ADO = \angle CAD - \angle COD = \beta - \alpha \quad (13)$$

[0070] 由(6)~(11)式可得,马达转动角速度(圆心A)为

[0071]

$$\omega = v_{DF} \cdot \cos \gamma / AD = \frac{\text{Ang} \cdot \text{Frm} \cdot R \cdot \cos \gamma}{\sqrt{(R \sin \alpha)^2 + (R \cos \alpha - d)^2}} = \frac{\text{Ang} \cdot \text{Frm} \cdot \cos \gamma}{\sqrt{(\sin \alpha)^2 + (\cos \alpha - d/R)^2}} \quad (14)$$

[0072] 由公式(12)、(13)、(14)可知,对于同一型号的非线性传动的4D超声探头(R和d固定不变),马达转动角速度 $\omega$ 的值与摆动角度Ang、探头摆动帧频Frm和换能器偏转角度 $\alpha$ 有关。

[0073] 假设电机传动杆AD的步距角为k(步进电机每运行一微步对应的电机传动杆的步距角),马达控制器时钟频率为Freq,则步进电机相邻两微步的间隔时间为

$$[0074] \quad \Delta t = k / \omega \cdot F = \frac{k \cdot F}{\text{Ang} \cdot \text{Frm}} \times \frac{\sqrt{(\sin \alpha)^2 + (\cos \alpha - d/R)^2}}{\cos \gamma} \quad (15)$$

[0075] 在公式(15)给出的公式中,所述F指代的是马达控制器时钟频率为Freq,由(15)式可知,在摆动角度Ang和探头摆动帧频Frm设定(探头匀速摆动速度确定)的情况下,微步

间隔时间只与偏转角度 $\alpha$  (圆心O) 有关。

$$[0076] \quad \text{令 } fac1 = \frac{k * \text{Freq}}{\text{Ang} * \text{Frm}}, \quad fac2 = \frac{\sqrt{(\sin \alpha)^2 + (\cos \alpha - d/R)^2}}{\cos \gamma} = \frac{AD}{R * \cos \gamma}, \quad \text{则}$$

$$[0077] \quad \Delta t = fac1 * fac2 \quad (16)$$

[0078] 由于k和Freq为常量,参数fac1的值取决于摆动角度Ang和探头摆动帧频 Frm;由于R和d固定不变,参数fac2的值便只与偏转角度 $\alpha$ 有关。

[0079] 对于同一型号的非线性传动的4D超声探头而言,偏转角度 $\alpha$ 的取值范围 是确定的,由(12)式可知传动杆AD的摆动范围为 $(-\beta_{\max}, \beta_{\max})$ ,在此范 围内步进电机可运行的总步数N也是确定的:

$$[0080] \quad N = 2 * \text{floor}(\beta_{\max}/k) \quad (17)$$

[0081] 上述公式中,所述floor()是向下取整函数,表示向下取整,当摆动角度Ang 的值设到最大时( $\text{Ang}_{\max} = 2 * \alpha_{\max}$ ),步进电机步数达到最大值N,即传动杆 AD的摆动范围 $(-\beta_{\max}, \beta_{\max})$  步进电机需要运行N个微步。根据(12)式,可计算得到步进电机在 $(-\beta_{\max}, \beta_{\max})$  内的每一微步对应 $(-\alpha_{\max}, \alpha_{\max})$ 范围 内的 $\alpha$ 角度值,从而可确定每一微步对应的fac2参数值。由此可得到一个深度 为N的fac2参数表,且对于同一探头fac2参数表是固定不变的。

[0082] 当 $\alpha = 0$ 时, $\beta = 0$ , $\gamma = \beta - \alpha = 0$ ,参数fac2具有最小值 $fac2 = 1 - d/R > 0$ ; 又

$$fac2 = \frac{\sqrt{(\sin \alpha)^2 + (\cos \alpha - d/R)^2}}{\cos \gamma} = \frac{\sqrt{(R \sin \alpha)^2 + (R \cos \alpha - d)^2}}{R * \cos \gamma} = \frac{AD}{OD * \cos \angle ADO} < 1 \quad \text{所}$$

以参数fac2的取值恒为(0,1)范围内的小数。

[0083] 马达控制FPGA对非线性传动的4D超声探头的驱动控制主要通过步进电 机的微步间隔时间表来实现。根据以上原理分析,非线性传动的4D超声探头 的微步间隔时间与摆动角度Ang、探头摆动帧频Frm和换能器偏转角度 $\alpha$ 有关。按照(16)式将微步间隔时间参数分解为两部分,fac1使用32bit无符号整数 (u32)表示,作为可变参数由超声主机CPU根据用户设定的摆动角度Ang和 探头摆动Frm(4D帧频)进行实时计算,得到fac1,并将其量化为32bit无符号 整数(u32),然后下载到马达控制FPGA。fac2作为固定计算因子可离线计 算(使用Matlab离线计算)得到,将计算结果量化为16bit的无符号小数(u0.16),生成fac2参数表fac2。

[0084] 对于同一型号的非线性传动的4D超声探头,fac2参数表是固定不变的。因此可根据探头型号差别,将超声主机所支持的所有非线性传动的4D超声探 头的fac2参数表做成查找表初始化到马达控制FPGA内部RAM中,在使用时,可查表得到fac2的值;也可以选择非线性传动的4D超声探头接入主机识别后,将对应的fac2参数表下载到马达控制FPGA(每次选择探头型号后,只需要下 载一次,切换4D参数不需要重新下载)。

[0085] 由上述方案可见,对于4D马达控制FPGA来说,非线性4D超声探头的控 制曲线计算方法与线性4D探头一样,只使用一个乘法器即可计算出步进电机 的微步间隔时间,如图2所示。

[0086] 通过CPU下载的可变参数和FPGA固定计算因子查找表,经过简单计算即 可得到步进电机执行下一微步的时间间隔,再结合4D马达控制器的方向控制 和角位移控制(微步步数),就能实现步进电机的往复运动控制,从而完成 超声3D/4D扫描成像过程。

[0087] 基于上述原理,本申请公开了一种超声探头的步进电机控制方法,参见图3,所述超声探头的步进电机控制方法应用于步进电机的马达控制器中,方法包括:

[0088] 步骤S101:获取可变参数;

[0089] 在本申请实施例公开的技术方案中,对所述步进电机的运行速度计算公式进行拆分,将其拆分为两部分,其中一部分记为第一子公式,另一部分记为第二子公式,其中,所述第一子公式中包含有步进电机的扫描参数,所述扫描参数包括:所述马达控制器的时钟频率Freq,步进电机加速和减速过程中的加速度 $a_{\omega}$ ,步进电机每运行一微步对应的电机传动杆的步距角 $k$ 等,所述第一子公式中的计算结果作为所述可变参数,所述可变参数跟随所述扫描参数的变化而变化。在本步骤中,所述第一子公式可以在所述超声主机CPU端进行执行,所述超声主机CPU基于所述扫描参数计算得到第一子公式的计算结果,将所述第一子公式的计算结果下发至所述步进电机的马达控制器。

[0090] 本步骤中,所述超声主机CPU并不对所述步进电机的运行速度计算公式进行全部运算,其只计算步进电机的运行速度计算公式中的第一子公式即可,降低了超声主机CPU的计算量,降低了超声主机CPU与步进电机的马达控制器之间的数据传输量,提高了数据传输速度。

[0091] 进一步的,该可变参数可以以32bit的无符号整数(u32)的形式下发给马达控制器;

[0092] 步骤S102:获取固定计算因子;

[0093] 本步骤中,所述第二子公式的计算结果作为所述固定计算因子。在本申请实施例公开的方法中,执行本方法之前,在所述马达控制器中预先建立预设映射数据,所述预设映射数据包括第二子公式的计算结果,所述计算结果可以量化为16bit的无符号小数(u0.16),在建立所述预设映射数据时,获取所述第二子公式中的变量数据的变量范围,计算得到所述第二子公式中的变量数据为所述变量范围内的任意一个数值时,将第二子公式的计算结果作为固定计算因子导入所述预设映射数据,并在所述预设映射数据中建立这些结果与所述变量数据的取值之间的映射关系。其中,所述预设映射数据可以为数据列表的形式或者是曲线图的形式,在本申请实施例公开的技术方案中,所述第二子公式中的变量数据指的是用于表征所述超声探头运行时刻的数据,所述变量数据和所述超声探头运行时刻之间存在一一对应的映射关系,因此,也就是说所述第二子公式的计算结果与所述超声探头运行时刻之间存在一一对应的映射关系,本步骤中,在获取所述固定计算因子时,马达控制器首先需要调取所述步进电机的当前运行时刻所对应的变量数据,然后再基于所述变量数据由所述预设映射数据中调取与所述变量数据所对应的固定计算因子。

[0094] 在本步骤中,所述预设映射数据是已经配置好的,无需马达控制器进行计算,所述马达控制器直接依据所述当前步进电机的运行时刻调取固定计算因子即可,因此,其能够快速得到所述固定计算因子。

[0095] 步骤S103:基于固定计算因子和可变参数计算得到所述当前步进电机的运行时刻所对应的步进电机的运行速度;

[0096] 在本步骤中,所述马达控制器在获取到所述可变参数和固定计算因子以后,将所述可变参数和固定计算因子代替所述步进电机的运行速度计算公式中的第一子公式和第二子公式,即可计算得到所述当前步进电机的运行时刻所对应的步进电机的运行速度。

[0097] 具体的,在本步骤中,所述马达控制器不需要存储完整的步进电机的运行速度计算公式,只需预存一个简单的预设计算公式即可,所述可变参数和固定计算因子作为所述预设计算公式中的变量,将所述可变参数和固定计算因子带入该预设计算公式,即可得到当前步进电机的运行时刻所对应的步进电机的运行速度。

[0098] 其中,所述预设计算公式满足条件:

[0099] 将所述固定计算因子和可变参数代入预设计算公式后得到的计算结果,与采用步进电机的运行速度计算公式计算得到的当前步进电机的运行时刻所对应的步进电机的运行速度相同。

[0100] 参见本申请上述实施例公开的技术方案,当所述超声主机CPU并不对所述步进电机的运行速度计算公式进行全部运算时,其只计算第一子公式即可,降低了超声主机CPU的计算量,降低了超声主机CPU与步进电机的马达控制器之间的数据传输量,提高了数据传输速度。

[0101] 在本申请上述实施例公开的技术方案中,所述超声探头的步进电机控制方法既可以应用于线性传动结构的超声探头,此时该方法应用于线性传动结构超声探头的马达控制器中,也可以应用于非线性传动结构的超声探头,此时该方法应用于非线性传动结构超声探头的马达控制器中,因此,仅需要向所述马达控制器写入相关的参数,所述马达控制器可以直接控制所述线性传动结构的超声探头和非线性传动结构的超声探头,从而提高了马达控制器的通用性。

[0102] 当所述超声探头为线性传动结构,本申请可以采用公式(4)作为所述步进电机的运行速度计算公式,此时,所述当前步进电机的运行时刻为电机运行第n个脉冲的时刻;

[0103] 即,所述步进电机的运行速度计算公式为:

$$[0104] \quad \Delta t_{n+1} = \sqrt{\frac{2k}{a_{\omega}}} (\sqrt{n+1} - \sqrt{n}) * \text{Freq};$$

[0105] 其中,所述n表示所述步进电机运行的脉冲个数,所述Freq为所述马达控制器的时钟频率,所述 $a_{\omega}$ 为步进电机加速和减速过程中的加速度,所述为步进电机每运行一微步对应的电机传动杆的步距角。

[0106] 用户可以依据自身需求对  $\Delta t_{n+1} = \sqrt{\frac{2k}{a_{\omega}}} (\sqrt{n+1} - \sqrt{n}) * \text{Freq}$  进行拆分,得到用户所需的第一子公式和第二子公式,例如,在本申请实施例公开的技术方案中,所述第一子公式可以为  $\sqrt{\frac{2k}{a_{\omega}}} * \text{Freq}$ ,所述第二子公式为  $\sqrt{n+1} - \sqrt{n}$ ,当然,所述第一子公式也可以为  $\sqrt{\frac{k}{a_{\omega}}} * \text{Freq}$ ,所述第二子公式也可以为  $\sqrt{2n+2} - \sqrt{2n}$ ,当然,所采用的步进电机的运行速度

计算公式不同,得到的所述第一子公式和第二子公式也就不同,基于其他的步进电机的运行速度计算公式所得到的上述方法也在本申请的保护范围之内。在本申请实施例公开的

技术方案中,当将  $\sqrt{\frac{2k}{a_{\omega}}} * \text{Freq}$  作为第一子公式,将所述  $\sqrt{n+1}-\sqrt{n}$  作为第二子公式时,所述可变参数  $\kappa_a$  为:  $\kappa_a = \sqrt{\frac{2k}{a_{\omega}}} * \text{Freq}$ ; 所述固定计算因子  $\Delta\tau_{n+1}$  为:  $\Delta\tau_{n+1} = \sqrt{n+1}-\sqrt{n}$ ;

[0107] 所述将所述固定计算因子和可变参数代入预设计算公式中,计算得到所述当前步进电机的运行时刻所对应的步进电机的运行速度,包括:

[0108] 将所述固定计算因子和可变参数之积作为当前步进电机的运行时刻所对应的步进电机的运行速度(参见图2所示),即,此时所述预设公式为一个简单的求积公式,将所述固定计算因子和可变参数带入所述求积公式后得到的计算结果即为当前步进电机的运行时刻所对应的步进电机的运行速度。

[0109] 当所述超声探头为非线性传动结构时,本申请可以采用公式(15)作为所述步进电机的运行速度计算公式,即,所述步进电机的运行速度计算公式为:

$$\Delta t = \frac{k * \text{Freq}}{\text{Ang} * \text{Frm}} * \sqrt{\frac{(\sin \alpha)^2 + (\cos \alpha - d/R)^2}{\cos \gamma}};$$

[0110] 其中,所述k为步进电机每运行一微步对应换能器摆动的角度,所述Ang为探头芯部单向摆动一次的角度,所述Frm为探头芯部的摆动频率,所述 $\alpha$ 为探头的偏转角,所述d和R为预设数值,所述  $\gamma = \beta - \alpha$ ,所述  $\beta = \arctan(R * \sin \alpha / (R * \cos \alpha - d))$ 。

[0111] 用户可以依据自身需求对  $\Delta t = \frac{k * \text{Freq}}{\text{Ang} * \text{Frm}} * \sqrt{\frac{(\sin \alpha)^2 + (\cos \alpha - d/R)^2}{\cos \gamma}}$  进行拆分,得到用户所需的第一子公式和第二子公式,例如,在本申请实施例公开的技术方案中,所述第一子公式可以为  $\frac{k * \text{Freq}}{\text{Ang} * \text{Frm}}$ , 所述第二子公式为  $\sqrt{\frac{(\sin \alpha)^2 + (\cos \alpha - d/R)^2}{\cos \gamma}}$ , 在本步

骤中,所述  $\sqrt{\frac{(\sin \alpha)^2 + (\cos \alpha - d/R)^2}{\cos \gamma}}$  的结果仅仅与偏转角度 $\alpha$ 有关,因此所述

$\sqrt{\frac{(\sin \alpha)^2 + (\cos \alpha - d/R)^2}{\cos \gamma}}$  的计算结果(固定计算因子)与所述偏转角度 $\alpha$ 之间存在一一对应的映射关系,又由于所述偏转角度跟随超声探头运行时刻变化而变化,因此,使得所述

$\sqrt{\frac{(\sin \alpha)^2 + (\cos \alpha - d/R)^2}{\cos \gamma}}$  的计算结果(固定计算因子)与所述超声探头运行时刻之间存在一一对应的映射关系,因此,可以通过所述超声探头运行时刻查找所述预设映射数据,得到与所述超声探头运行时刻所对应的固定计算因子。

[0112] 在本申请实施例公开的技术方案中,当将  $\frac{k * \text{Freq}}{\text{Ang} * \text{Frm}}$  作为第一子公式,将所述

$\sqrt{\frac{(\sin \alpha)^2 + (\cos \alpha - d/R)^2}{\cos \gamma}}$  作为第二子公式时,所述可变参数为:  $fac1 = \frac{k * Freq}{Ang * Frm}$ ; 所述

固定计算因子为:  $fac2 = \sqrt{\frac{(\sin \alpha)^2 + (\cos \alpha - d/R)^2}{\cos \gamma}}$ ;

[0113] 所述将所述固定计算因子和可变参数代入预设计算公式中,计算得到所述当前步进电机的运行时刻所对应的步进电机的运行速度,包括:

[0114] 将所述固定计算因子和可变参数之积作为当前步进电机的运行时刻所对应的步进电机的运行速度,即,此时所述预设公式为一个简单的求积公式,将所述固定计算因子和可变参数带入所述求积公式后得到的计算结果即为当前步进电机的运行时刻所对应的步进电机的运行速度。

[0115] 本实施例中,对应于上述方法,本申请还公开了一种存储介质,所述存储介质上存储有计算机程序,所述计算机程序被处理器执行时,用于实现本申请上述任意一项实施例所述的超声探头的步进电机控制方法。

[0116] 此外,本申请还公开了一种超声探头,所述超声探头可以为4D超声探头,该探头包括步进电机、步进电机控制器、超声换能器和传动装置,所述传动装置连接所述步进电机和所述超声换能器,所述步进电机控制器内存储有计算机程序,所述计算机程序被所述步进电机控制器执行时,实现本申请上述任意一项实施例所述的超声探头的步进电机控制方法。

[0117] 在本申请实施例公开的超声探头中,超声换能器的超声主机CPU可以通过UART、SPI、I2C或PCIe等物理通讯接口与所述步进电机的马达控制器进行数据通讯,通过这些物理通讯接口下发数据。

[0118] 在本申请实施例公开的超声探头中,所述预设映射数据可以存储在马达控制器的内部RAM、寄存器、Flash、DDR或其他片内存储器中,当然也可以存储于外部存储器中。

[0119] 为了描述的方便,描述以上系统时以功能分为各种模块分别描述。当然,在实施本申请时可以把各模块的功能在同一个或多个软件和/或硬件中实现。

[0120] 本说明书中的各个实施例均采用递进的方式描述,各个实施例之间相同相似的部分互相参见即可,每个实施例重点说明的都是与其他实施例的不同之处。尤其,对于系统或系统实施例而言,由于其基本相似于方法实施例,所以描述得比较简单,相关之处参见方法实施例的部分说明即可。以上所描述的系统及系统实施例仅仅是示意性的,其中所述作为分离部件说明的单元可以是或者也可以不是物理上分开的,作为单元显示的部件可以是或者也可以不是物理单元,即可以位于一个地方,或者也可以分布到多个网络单元上。可以根据实际的需要选择其中的部分或者全部模块来实现本实施例方案的目的。本领域普通技术人员在不付出创造性劳动的情况下,即可以理解并实施。

[0121] 专业人员还可以进一步意识到,结合本文中所公开的实施例描述的各示例的单元及算法步骤,能够以电子硬件、计算机软件或者二者的结合来实现,为了清楚地说明硬件和软件的可互换性,在上述说明中已经按照功能一般性地描述了各示例的组成及步骤。这些功能究竟以硬件还是软件方式来执行,取决于技术方案的特定应用和设计约束条件。专业技术人员可以对每个特定的应用来使用不同方法来实现所描述的功能,但是这种实

现不应认为超出本 发明的范围。

[0122] 结合本文中所公开的实施例描述的方法或算法的步骤可以直接用硬件、处理器执行的软件模块,或者二者的结合来实施。软件模块可以置于随机存储器(RAM)、内存、只读存储器(ROM)、电可编程ROM、电可擦除可编程ROM、寄存器、硬盘、可移动磁盘、CD-ROM、或技术领域内所公知的任意其它形式的存储介质中。

[0123] 还需要说明的是,在本文中,诸如第一和第二等之类的关系术语仅仅用来将一个实体或者操作与另一个实体或操作区分开来,而不一定要求或者暗示这些实体或操作之间存在任何这种实际的关系或者顺序。而且,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、物品或者设备不仅包括那些要素,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、物品或者设备所固有的要素。在没有更多限制的情况下,由语句“包括一个……”限定的要素,并不排除在包括所述要素的过程、方法、物品或者设备中还存在另外 的相同要素。

[0124] 对所公开的实施例的上述说明,使本领域专业技术人员能够实现或使用 本发明。对这些实施例的多种修改对本领域的专业技术人员来说将是显而易见的,本文中所定义的一般原理可以在不脱离本发明的精神或范围的情况下,在其它实施例中实现。因此,本发明将不会被限制于本文所示的这些实施例,而是要符合与本文所公开的原理和新颖特点相一致的最宽的范围。

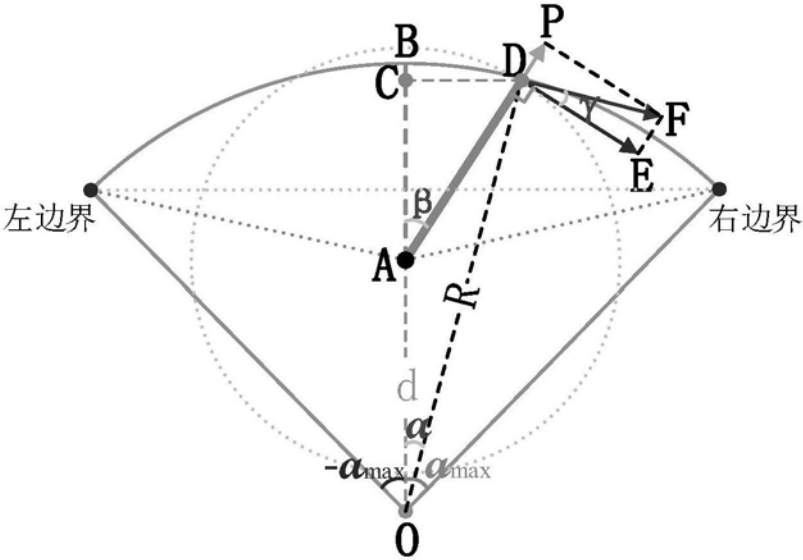


图1

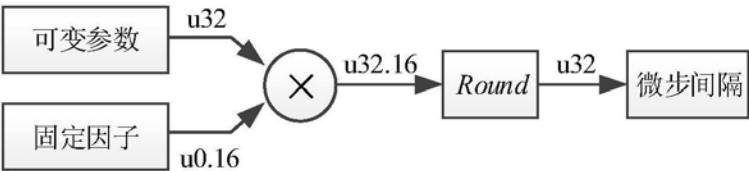


图2

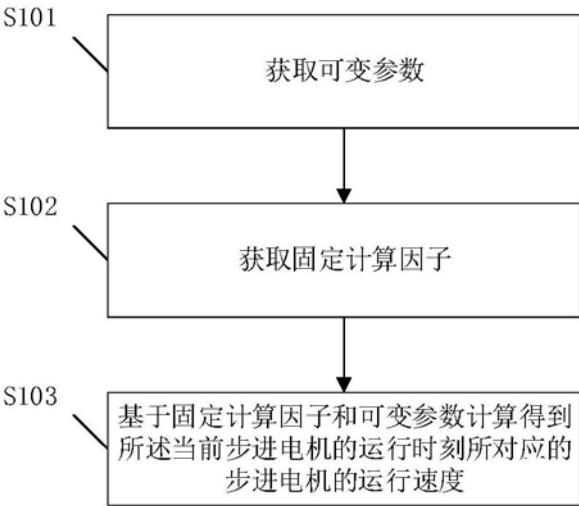


图3

|                |                                                  |         |            |
|----------------|--------------------------------------------------|---------|------------|
| 专利名称(译)        | 超声探头的步进电机控制方法、存储介质以及超声探头                         |         |            |
| 公开(公告)号        | <a href="#">CN110051382A</a>                     | 公开(公告)日 | 2019-07-26 |
| 申请号            | CN201910217671.6                                 | 申请日     | 2019-03-21 |
| [标]申请(专利权)人(译) | 深圳开立生物医疗科技股份有限公司                                 |         |            |
| 申请(专利权)人(译)    | 深圳开立生物医疗科技股份有限公司                                 |         |            |
| 当前申请(专利权)人(译)  | 深圳开立生物医疗科技股份有限公司                                 |         |            |
| [标]发明人         | 叶宗英                                              |         |            |
| 发明人            | 叶宗英                                              |         |            |
| IPC分类号         | A61B8/00                                         |         |            |
| CPC分类号         | A61B8/4444 A61B8/461 A61B8/483 A61B8/52 A61B8/54 |         |            |
| 代理人(译)         | 王仲凯                                              |         |            |
| 外部链接           | <a href="#">Espacenet</a> <a href="#">SIPO</a>   |         |            |

#### 摘要(译)

超声探头的步进电机控制方法、存储介质以及超声探头，方法应用于步进电机的马达控制器中，包括：获取可变参数，其中，步进电机的运行速度计算公式由第一子公式和第二子公式组合得到，其中，第一子公式的计算结果随超声探头的扫描参数变化而变化，第一子公式的计算结果作为可变参数，第二子公式的计算结果与超声探头的运行时刻之间一一对应；从马达控制器存储的预设映射数据中调取与当前步进电机的运行时刻相匹配的固定计算因子，第二子公式的计算结果作为所述固定计算因子；将固定计算因子和可变参数代入预设计算公式中，计算得到当前步进电机的运行时刻所对应的步进电机的运行速度。降低了超声主机与步进电机的马达控制器之间的数据传输量。

