



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104361608 A

(43) 申请公布日 2015. 02. 18

(21) 申请号 201410581509. X

(22) 申请日 2014. 10. 27

(71) 申请人 浙江大学宁波理工学院

地址 315100 浙江省宁波市鄞州区钱湖南路
1 号

(72) 发明人 胡超 冯忠晴 任宇鹏 王永辉
袁小英

(74) 专利代理机构 宁波奥圣专利代理事务所
(普通合伙) 33226

代理人 周珏

(51) Int. Cl.

G06T 7/20(2006. 01)

A61B 1/00(2006. 01)

A61B 19/00(2006. 01)

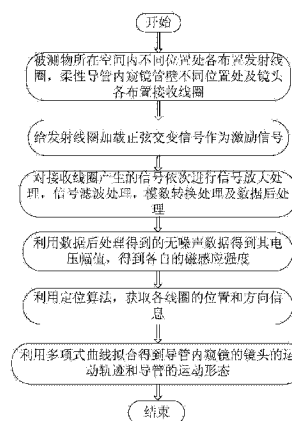
权利要求书4页 说明书10页 附图2页

(54) 发明名称

一种工业用柔性导管内窥镜的定位跟踪方法

(57) 摘要

本发明公开了一种工业用柔性导管内窥镜的定位跟踪方法,其首先在当前工作的发射线圈中的三轴线圈上各加载激励信号,使其周围产生交变电磁场,每个接收线圈在感应到交变电磁场后产生交变电信号;然后对每个接收线圈产生的交变电信号进行处理,得到对应的无噪声数据;再根据无噪声数据的幅值,确定每个接收线圈在被测物内的位置和方向,实现柔性导管内窥镜的定位;最后根据每个接收线圈在被测物体内的位置和方向,得到柔性导管内窥镜的导管的运动变化以及镜头的行进轨迹,实现柔性导管内窥镜的跟踪;优点是能够跟踪检查柔性导管内窥镜的镜头的行进轨迹和导管的运动变化,且能够快速准确地确定柔性导管内窥镜的目标位置,此外对操作者无辐射。



1. 一种工业用柔性导管内窥镜的定位跟踪方法,其特征在于包括以下步骤:

①在被测物体所在空间内的不同位置处各布置一个三轴正交的电磁线圈,并将这些电磁线圈均作为发射线圈;在柔性导管内窥镜的导管的外管壁上的不同位置处及在柔性导管内窥镜的镜头上各布置一个三轴正交的电磁线圈,并将这些电磁线圈均作为接收线圈,假设接收线圈中的三轴线圈的工作电流一致,且半径一致;再将柔性导管内窥镜置于被测物体体内;

②假设当前工作的发射线圈为第 i 个发射线圈,则在第 i 个发射线圈中的三轴线圈上各加载正弦波交变电信号作为激励信号,使第 i 个发射线圈在其周围产生交变电磁场,此时每个接收线圈在感应到交变电磁场后产生交变电信号,其中, $1 \leq i \leq I'$, I' 表示在被测物体所在空间内布置的发射线圈的总个数;

③对每个接收线圈产生的交变电信号依次进行信号放大处理、信号滤波处理、模数转换处理及数据后处理,得到每个接收线圈产生的交变电信号对应的无噪声数据,并获取无噪声数据的幅值;

④根据无噪声数据的幅值,确定每个接收线圈在被测物体内的位置和方向,实现柔性导管内窥镜的定位,具体过程为:

④-1、根据法拉第电磁感应定律,利用无噪声数据的幅值代表的电压值,计算得到每个接收线圈中的三轴线圈各自的磁感应强度;

④-2、根据每个接收线圈中的三轴线圈各自的磁感应强度,确定每个接收线圈在空间直角坐标系中的位置即确定每个接收线圈在被测物体内的位置,将第 j 个接收线圈在空间直角坐标系中的位置记为 P , $P = (x, y, z)$, $x = \frac{\sqrt{(B_1')^2 / B_T^2 - (B')^2 / (6B_T^2)}}{\sqrt{3}[(B')^2 / (6B_T^2)]^{\frac{2}{3}}}$,

$$y = \frac{\sqrt{(B_2')^2 / B_T^2 - (B')^2 / (6B_T^2)}}{\sqrt{3}[(B')^2 / (6B_T^2)]^{\frac{2}{3}}}, \quad z = \frac{\sqrt{(B_3')^2 / B_T^2 - (B')^2 / (6B_T^2)}}{\sqrt{3}[(B')^2 / (6B_T^2)]^{\frac{2}{3}}}, \text{ 其中, } 1 \leq j \leq J, J \text{ 表示}$$

在柔性导管内窥镜的导管的外管壁上的不同位置处及在柔性导管内窥镜的镜头上布置的接收线圈的总个数,空间直角坐标系的原点在被测物体所在空间的地面, B_1' 表示第 i 个发射线圈中的与 X 轴平行的一轴线圈工作时第 j 个接收线圈中的三轴线圈的磁感应强度之和, B_2' 表示第 i 个发射线圈中的与 Y 轴平行的一轴线圈工作时第 j 个接收线圈中的三轴线圈的磁感应强度之和, B_3' 表示第 i 个发射线圈中的与 Z 轴平行的一轴线圈工作时第 j 个接收线圈中的三轴线圈的磁感应强度之和, B_T 为常量, $B_T = \mu_0 I R^2 / 4$, μ_0 为真空磁导率, I 为第 j 个接收线圈中的线圈的工作电流, R 为第 j 个接收线圈中的线圈的半径, $(B')^2 = (B_1')^2 + (B_2')^2 + (B_3')^2$;

④-3、根据每个接收线圈中的三轴线圈各自的磁感应强度,确定每个接收线圈在空间直角坐标系中的方向即确定每个接收线圈在被测物体内的方向,将第 j 个接收线圈在空间直角坐标系中的各个方向组成的向量记为 H , $H = (\alpha, \beta, \gamma)$, 其中, $1 \leq j \leq J$, J 表示在柔性导管内窥镜的导管的外管壁上的不同位置处及在柔性导管内窥镜的镜头上布置的接收线圈的总个数,空间直角坐标系的原点在被测物体所在空间的地面, α 表

示第 j 个接收线圈与空间直角坐标系的 X 轴的夹角, β 表示第 j 个接收线圈与空间直角坐标系的 Y 轴的夹角, γ 表示第 j 个接收线圈与空间直角坐标系的 Z 轴的夹角,

$$R = \text{Rot}(x, \alpha) \text{Rot}(y, \beta) \text{Rot}(z, \gamma) = \begin{pmatrix} B_{x1} & B_{x2} & B_{x3} \\ B_{y1} & B_{y2} & B_{y3} \\ B_{z1} & B_{z2} & B_{z3} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} B'_{x1} & B'_{x2} & B'_{x3} \\ B'_{y2} & B'_{y2} & B'_{y3} \\ B'_{z1} & B'_{z2} & B'_{z3} \end{pmatrix}^{-1}, R \text{ 表示由 } (\alpha, \beta, \gamma)$$

确定的旋转矩阵, 这里, $\text{Rot}(x, \alpha)$ 表示相对于空间直角坐标系的 X 轴的旋转矩阵,

$$\text{Rot}(x, \alpha) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix}, \text{Rot}(y, \beta) \text{ 表示相对于空间直角坐标系的 Y 轴的旋转}$$

$$\text{矩阵, } \text{Rot}(y, \beta) = \begin{pmatrix} \cos \beta & 0 & \sin \beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \beta & 0 & \cos \beta \end{pmatrix}, \text{Rot}(z, \gamma) \text{ 表示相对于空间直角坐标系的 Z 轴的}$$

$$\text{旋转矩阵, } \text{Rot}(z, \gamma) = \begin{pmatrix} \cos \gamma & -\sin \gamma & 0 \\ \sin \gamma & \cos \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} B'_{x1} & B'_{x2} & B'_{x3} \\ B'_{y2} & B'_{y2} & B'_{y3} \\ B'_{z1} & B'_{z2} & B'_{z3} \end{pmatrix}^{-1} \text{ 为 } \begin{pmatrix} B'_{x1} & B'_{x2} & B'_{x3} \\ B'_{y2} & B'_{y2} & B'_{y3} \\ B'_{z1} & B'_{z2} & B'_{z3} \end{pmatrix} \text{ 的逆矩阵,}$$

B_{x1}, B_{y1}, B_{z1} 对应表示第 i 个发射线圈中与 X 轴平行的一轴线圈工作时第 j 个接收线圈中的与 X 轴平行的一轴线圈、与 Y 轴平行的一轴线圈、与 Z 轴平行的一轴线圈感应到的磁感应强度, B_{x2}, B_{y2}, B_{z2} 对应表示第 i 个发射线圈中与 Y 轴平行的一轴线圈工作时第 j 个接收线圈中的与 X 轴平行的一轴线圈、与 Y 轴平行的一轴线圈、与 Z 轴平行的一轴线圈感应到的磁感应强度, B_{x3}, B_{y3}, B_{z3} 对应表示第 i 个发射线圈中与 Z 轴平行的一轴线圈工作时第 j 个接收线圈中的与 X 轴平行的一轴线圈、与 Y 轴平行的一轴线圈、与 Z 轴平行的一轴线圈感应到的磁感应强度, $B'_{x1}, B'_{y1}, B'_{z1}$ 对应表示第 i 个发射线圈中的与 X 轴平行的一轴线圈对第 j 个接收线圈在位置 $P = (x, y, z)$ 处与 X 轴平行的一轴线圈、与 Y 轴平行的一轴线圈、与 Z 轴平行的一轴线圈的理论磁感应强度, $B'_{x2}, B'_{y2}, B'_{z2}$ 对应表示第 i 个发射线圈中的与 Y 轴平行的一轴线圈对第 j 个接收线圈在位置 $P = (x, y, z)$ 处与 X 轴平行的一轴线圈、与 Y 轴平行的一轴线圈、与 Z 轴平行的一轴线圈的理论磁感应强度, $B'_{x3}, B'_{y3}, B'_{z3}$ 对应表示第 i 个发射线圈中的与 Z 轴平行的一轴线圈对第 j 个接收线圈在位置 $P = (x, y, z)$ 处与 X 轴平行的一轴线圈、与 Y 轴平行的一轴线圈、与 Z 轴平行的一轴线圈的理论磁感应强度;

⑤根据步骤④中得到的每个接收线圈在被测物体内的位置和方向, 利用多项式曲线拟合方法拟合得到柔性导管内窥镜的导管的运动变化以及镜头的行进轨迹, 实现柔性导管内窥镜的跟踪。

2. 根据权利要求 1 所述的一种工业用柔性导管内窥镜的定位跟踪方法, 其特征在于所述的步骤①中的发射线圈的第一轴线圈、第二轴线圈和第三轴线圈均采用漆包线绕制, 在被测物体所在空间内放置发射线圈时, 其中一轴线圈平行于被测物体所在空间的地面即平行于 X 轴;

所述的步骤①中的接收线圈的第一轴线圈和第二轴线圈均采用漆包线绕制, 并置于柔

性导管内窥镜的导管的外管壁或柔性导管内窥镜的镜头外壁上,接收线圈的第三轴线圈采用由柔性 PCB 板刻制而成的柔性 PCB 线圈,并粘贴于柔性导管内窥镜的导管的外管壁或柔性导管内窥镜的镜头外壁上,接收线圈的三轴线圈两两垂直。

3. 根据权利要求 2 所述的一种工业用柔性导管内窥镜的定位跟踪方法,其特征在于所述的步骤①中布置在柔性导管内窥镜的导管的外管壁上的多个接收线圈等间距分布。

4. 根据权利要求 1 至 3 中任一项所述的一种工业用柔性导管内窥镜的定位跟踪方法,其特征在于所述的步骤②中在第 i 个发射线圈中的三轴线圈上各加载的正弦波交变电信号的频率均为 2KHZ。

5. 根据权利要求 4 所述的一种工业用柔性导管内窥镜的定位跟踪方法,其特征在于所述的步骤③中数据后处理的具体过程为:

③-1、令 k 表示迭代次数, k 的初始值为 1,并假设经模数转换处理后得到的数据由 N' 个信号值组成,并将经模数转换处理后得到的数据记为 f_1 , 将 f_1 中的第 n' 个信号值记为 $f_1(t_{n'})$, 其中, $N' \geq 3, 1 \leq n' \leq N'$, $t_{n'}$ 表示 $f_1(t_{n'})$ 的采样时刻;

③-2、根据信号放大处理后得到的信号是否发生截止失真确定 f_1 中的有效信号值的个数,如果信号放大处理后得到的信号未发生截止失真,则认为 f_1 中的所有信号值均为有效信号值,并将 f_1 中的有效信号值的个数记为 $N_1, N_1 = N'$, 然后执行步骤③-3;如果信号放大处理后得到的信号发生截止失真,则认为 f_1 中值大于负截止电压且小于正截止电压的所有信号值均为有效信号值,并将 f_1 中的有效信号值的个数记为 $N_1, 1 \leq N_1 < N'$, 然后执行步骤③-3;

③-3、根据 f_1 中的所有有效信号值,获取 f_1 的幅值和相位,对应记为 A_{m1} 和

$$\varphi_1, A_{m1} = \sqrt{a_1^2 + b_1^2},$$

$$\varphi_1 = \tan^{-1}(b_1 / a_1),$$

$$\begin{bmatrix} a_1 \\ b_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{n_1=1}^{N_1} (\sin(\omega t_{n_1}))^2 & \sum_{n_1=1}^{N_1} \sin(\omega t_{n_1}) \cos(\omega t_{n_1}) \\ \sum_{n_1=1}^{N_1} \sin(\omega t_{n_1}) \cos(\omega t_{n_1}) & \sum_{n_1=1}^{N_1} (\cos(\omega t_{n_1}))^2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \sum_{n_1=1}^{N_1} y_{n_1} \sin(\omega t_{n_1}) \\ \sum_{n_1=1}^{N_1} y_{n_1} \cos(\omega t_{n_1}) \end{bmatrix}, \text{其中, } \omega \text{ 表示第 } i$$

个发射线圈上加载的正弦波交变电信号的频率, t_{n_1} 表示 f_1 中的第 n_1 个有效信号值的采样

$$\text{时刻, } y_{n_1} \text{ 表示 } f_1 \text{ 中的第 } n_1 \text{ 个有效信号值, } \begin{bmatrix} \sum_{n_1=1}^{N_1} (\sin(\omega t_{n_1}))^2 & \sum_{n_1=1}^{N_1} \sin(\omega t_{n_1}) \cos(\omega t_{n_1}) \\ \sum_{n_1=1}^{N_1} \sin(\omega t_{n_1}) \cos(\omega t_{n_1}) & \sum_{n_1=1}^{N_1} (\cos(\omega t_{n_1}))^2 \end{bmatrix}^{-1} \text{ 为}$$

$$\begin{bmatrix} \sum_{n_1=1}^{N_1} (\sin(\omega t_{n_1}))^2 & \sum_{n_1=1}^{N_1} \sin(\omega t_{n_1}) \cos(\omega t_{n_1}) \\ \sum_{n_1=1}^{N_1} \sin(\omega t_{n_1}) \cos(\omega t_{n_1}) & \sum_{n_1=1}^{N_1} (\cos(\omega t_{n_1}))^2 \end{bmatrix} \text{ 的逆矩阵;}$$

③-4、根据 A_{m1} 和 φ_1 ，确定 f_1 对应的正弦波信号；再对 f_1 对应的正弦波信号进行离散化处理，将离散化处理后得到的数据记为 $\tilde{f}_1$ ，将 $\tilde{f}_1$ 中的第 n' 个信号值记为 $\tilde{f}_1(\tilde{t}_{n'})$ ， $\tilde{f}_1(\tilde{t}_{n'}) = A_{m1} \sin(\omega \tilde{t}_{n'} + \varphi_1)$ ，其中， $1 \leq n' \leq N'$ ， $\tilde{t}_{n'}$ 表示 $\tilde{f}_1(\tilde{t}_{n'})$ 的采样时刻，且 $\tilde{t}_{n'}$ 与 $t_{n'}$ 相等；

③-5、如果信号放大处理后得到的信号未发生截止失真，则对 $\tilde{f}_1$ 中的信号值不作处理，然后执行步骤③-6；如果信号放大处理后得到的信号发生截止失真，则将 $\tilde{f}_1$ 中值大于或等于正截止电压的所有信号值替换成正截止电压值，并将 $\tilde{f}_1$ 中值小于或等于负截止电压的所有信号值替换成负截止电压值，然后执行步骤③-6；

③-6、根据 f_1 和 $\tilde{f}_1$ 去除 f_1 中的噪声，得到去除噪声后的数据，记为 $\tilde{f}_2$ ，将 $\tilde{f}_2$ 中的第 n' 个信号值记为 $\tilde{f}_2(\tilde{t}_{n'})$ ， $\tilde{f}_2(\tilde{t}_{n'}) = \begin{cases} \tilde{f}_1(\tilde{t}_{n'}) & \text{如果 } |f_1(t_{n'}) - \tilde{f}_1(\tilde{t}_{n'})| \geq Th \\ f_1(t_{n'}) & \text{如果 } |f_1(t_{n'}) - \tilde{f}_1(\tilde{t}_{n'})| < Th \end{cases}$ ，其中， $1 \leq n' \leq N'$ ， Th 表示设定的误差阈值， $Th = 5 \times \frac{\sum_{n'=1}^{N'} |f_1(t_{n'}) - \bar{f}_1|}{N'}$ ， $\bar{f}_1$ 表示 f_1 中的所有有效信号值的平均值，符号“ $||$ ”为取绝对值符号；

③-7、计算第 k 次迭代后的计算结果精度，记为 δ_k ， $\delta_k = \frac{\sum_{n'=1}^{N'} |\tilde{f}_2(\tilde{t}_{n'}) - \tilde{f}_1(\tilde{t}_{n'})|}{N'}$ ，然后判断 δ_k 是否小于 δ_{k-1} ，如果是，则结束迭代过程，并将 $\tilde{f}_2$ 作为数据后处理得到的无噪声数据，然后按照步骤③-3的计算方法获取无噪声数据的幅值和相位；否则，将 $\tilde{f}_2$ 赋值给 f_1 ，然后令 $k = k+1$ ，再返回步骤③-3 继续迭代；其中， δ_{k-1} 表示第 $k-1$ 次迭代后的计算结果精度， $\delta_0 = 0$ ， $k = k+1$ 中的“ $=$ ”为赋值符号。

6. 根据权利要求5所述的一种工业用柔性导管内窥镜的定位跟踪方法，其特征在于所述的步骤③-2和所述的步骤③-4中负截止电压为 $-5V$ ，正截止电压为 $+5V$ 。

一种工业用柔性导管内窥镜的定位跟踪方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种工业用内窥镜技术,尤其是涉及一种工业用柔性导管内窥镜的定位跟踪方法。

背景技术

[0002] 从内窥镜的发展及成像构造上分为硬管式内窥镜和软管式内窥镜。软管式内窥镜即柔性导管内窥镜是一个配备有灯光的管子,可以利用其检测硬管式内窥镜无法检测的地方,因此其在工业以及医学上得到了广泛的使用。在工业上,根据无损检测和孔探技术的特殊要求,一方面,柔性导管内窥镜可用于高温、有毒、核辐射及人眼无法直接观察到的场所的检查和观察,主要用于安防、安检方面,以及汽车、航空发动机、管道、机械零件的检修等,可在不需拆卸或破坏组装及设备停止运行的情况下实现无损检测;另一方面,柔性导管内窥镜还可与照相机、摄像机或电子计算机连接,组成照相、摄像和图像处理系统,从而进行现场目标的监视、记录、贮存和图像分析。在医学上,可以利用柔性导管内窥镜检测器官的病变情况。

[0003] 柔性导管内窥镜使用时,由于其自身具有较柔软、不易控制的特点,因此会给操作者控制柔性导管内窥镜快捷、顺利、平滑自如地到达观测点造成不便。为此,在使用柔性导管内窥镜进行检测时,需要对柔性导管内窥镜在观测物中的位置进行定位与跟踪,操作者根据定位得到的内窥镜的形态信息,通过其操作装置控制和调节柔性导管内窥镜的前端镜头和导管的运动方向,使柔性导管内窥镜以合理的方式前进或伸缩以便到达观测点。

[0004] 目前,对于柔性导管内窥镜的定位跟踪,较为普遍的做法是 X 光影像提供柔性导管内窥镜的位置形态,即在检测时,利用 X 光投射内窥镜检测的相应部位, X 光透视成像设备接收图像,并将其显示在屏幕上供操作者参考。显然,这种方法需要持续间隔地进行 X 光照射,一方面,存在严重的 X 光射线损害问题,而为了减低 X 光射线对工作人员的危害,通常要求工作人员背上笨重的 X 光射线隔离(铅板)装置,然而该装置体积大,对工作人员的行动会造成严重的不便;另一方面,如果限制 X 光照射次数,则会使观测的连续性、实时性受到限制;其次, X 光透视成像设备只能产生二维投影图像,缺乏深度信息,因此工作人员很难在二维投影图像下快速确定目标位置。

发明内容

[0005] 本发明所要解决的技术问题是提供一种无辐射的工业用柔性导管内窥镜的定位跟踪方法,其能够跟踪检查柔性导管内窥镜的镜头的行进轨迹和导管的运动变化,且能够快速准确地确定柔性导管内窥镜的形态信息和目标位置。

[0006] 本发明解决上述技术问题所采用的技术方案为:一种工业用柔性导管内窥镜的定位跟踪方法,其特征在于包括以下步骤:

[0007] ①在被测物体所在空间内的不同位置处各布置一个三轴正交的电磁线圈,并将这些电磁线圈均作为发射线圈;在柔性导管内窥镜的导管的外管壁上的不同位置处及在柔

性导管内窥镜的镜头上各布置一个三轴正交的电磁线圈,并将这些电磁线圈均作为接收线圈,假设接收线圈中的三轴线圈的工作电流一致,且半径一致;再将柔性导管内窥镜置于被测物体体内;

[0008] ②假设当前工作的发射线圈为第 i 个发射线圈,则在第 i 个发射线圈中的三轴线圈上各加载正弦波交变电信号作为激励信号,使第 i 个发射线圈在其周围产生交变电磁场,此时每个接收线圈在感应到交变电磁场后产生交变电信号,其中, $1 \leq i \leq I'$, I' 表示在被测物体所在空间内布置的发射线圈的总个数;

[0009] ③对每个接收线圈产生的交变电信号依次进行信号放大处理、信号滤波处理、模数转换处理及数据后处理,得到每个接收线圈产生的交变电信号对应的无噪声数据,并获取无噪声数据的幅值;

[0010] ④根据无噪声数据的幅值,确定每个接收线圈在被测物体内的位置和方向,实现柔性导管内窥镜的定位,具体过程为:

[0011] ④-1、根据法拉第电磁感应定律,利用无噪声数据的幅值代表的电压值,计算得到每个接收线圈中的三轴线圈各自的磁感应强度;

[0012] ④-2、根据每个接收线圈中的三轴线圈各自的磁感应强度,确定每个接收线圈在空间直角坐标系中的位置即确定每个接收线圈在被测物体内的位置,将第 j 个接收

$$\text{线圈在空间直角坐标系中的位置记为 } P, P = (x, y, z), x = \frac{\sqrt{(B_1')^2 / B_T^2 - (B')^2 / (6B_T^2)}}{\sqrt{3}[(B')^2 / (6B_T^2)]^{\frac{2}{3}}},$$

$$y = \frac{\sqrt{(B_2')^2 / B_T^2 - (B')^2 / (6B_T^2)}}{\sqrt{3}[(B')^2 / (6B_T^2)]^{\frac{2}{3}}}, z = \frac{\sqrt{(B_3')^2 / B_T^2 - (B')^2 / (6B_T^2)}}{\sqrt{3}[(B')^2 / (6B_T^2)]^{\frac{2}{3}}}, \text{其中}, 1 \leq j \leq J, J \text{ 表示}$$

在柔性导管内窥镜的导管的外管壁上的不同位置处及在柔性导管内窥镜的镜头上布置的接收线圈的总个数,空间直角坐标系的原点在被测物体所在空间的地面, B_1' 表示第 i 个发射线圈中的与 X 轴平行的一轴线圈工作时第 j 个接收线圈中的三轴线圈的磁感应强度之和, B_2' 表示第 i 个发射线圈中的与 Y 轴平行的一轴线圈工作时第 j 个接收线圈中的三轴线圈的磁感应强度之和, B_3' 表示第 i 个发射线圈中的与 Z 轴平行的一轴线圈工作时第 j 个接收线圈中的三轴线圈的磁感应强度之和, B_T 为常量, $B_T = \mu_0 I R^2 / 4$, μ_0 为真空磁导率, I 为第 j 个接收线圈中的线圈的工作电流, R 为第 j 个接收线圈中的线圈的半径, $(B')^2 = (B_1')^2 + (B_2')^2 + (B_3')^2$;

[0013] ④-3、根据每个接收线圈中的三轴线圈各自的磁感应强度,确定每个接收线圈在空间直角坐标系中的方向即确定每个接收线圈在被测物体内的方向,将第 j 个接收线圈在空间直角坐标系中的各个方向组成的向量记为 H , $H = (\alpha, \beta, \gamma)$, 其中, $1 \leq j \leq J$, J 表示在柔性导管内窥镜的导管的外管壁上的不同位置处及在柔性导管内窥镜的镜头上布置的接收线圈的总个数,空间直角坐标系的原点在被测物体所在空间的地面, α 表示第 j 个接收线圈与空间直角坐标系的 X 轴的夹角, β 表示第 j 个接收线圈与空间直角坐标系的 Y 轴的夹角, γ 表示第 j 个接收线圈与空间直角坐标系的 Z 轴的夹

$$\text{角, } R = \text{Rot}(x, \alpha) \text{Rot}(y, \beta) \text{Rot}(z, \gamma) = \begin{pmatrix} B_{x1} & B_{x2} & B_{x3} \\ B_{y1} & B_{y2} & B_{y3} \\ B_{z1} & B_{z2} & B_{z3} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} B'_{x1} & B'_{x2} & B'_{x3} \\ B'_{y1} & B'_{y2} & B'_{y3} \\ B'_{z1} & B'_{z2} & B'_{z3} \end{pmatrix}^{-1}, \text{R 表示由 } (\alpha, \beta, \gamma)$$

确定的旋转矩阵, 这里, $\text{Rot}(x, \alpha)$ 表示相对于空间直角坐标系的 X 轴的旋转矩阵,

$$\text{Rot}(x, \alpha) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix}, \text{Rot}(y, \beta) \text{ 表示相对于空间直角坐标系的 Y 轴的旋转}$$

$$\text{矩阵, } \text{Rot}(y, \beta) = \begin{pmatrix} \cos \beta & 0 & \sin \beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \beta & 0 & \cos \beta \end{pmatrix}, \text{Rot}(z, \gamma) \text{ 表示相对于空间直角坐标系的 Z 轴}$$

$$\text{的旋转矩阵, } \text{Rot}(z, \gamma) = \begin{pmatrix} \cos \gamma & -\sin \gamma & 0 \\ \sin \gamma & \cos \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} B'_{x1} & B'_{x2} & B'_{x3} \\ B'_{y1} & B'_{y2} & B'_{y3} \\ B'_{z1} & B'_{z2} & B'_{z3} \end{pmatrix}^{-1} \text{ 为 } \begin{pmatrix} B'_{x1} & B'_{x2} & B'_{x3} \\ B'_{y1} & B'_{y2} & B'_{y3} \\ B'_{z1} & B'_{z2} & B'_{z3} \end{pmatrix} \text{ 的逆矩阵,}$$

B_{x1}, B_{y1}, B_{z1} 对应表示第 i 个发射线圈中与 X 轴平行的一轴线圈工作时第 j 个接收线圈中的与 X 轴平行的一轴线圈、与 Y 轴平行的一轴线圈、与 Z 轴平行的一轴线圈感应到的磁感应强度, B_{x2}, B_{y2}, B_{z2} 对应表示第 i 个发射线圈中与 Y 轴平行的一轴线圈工作时第 j 个接收线圈中的与 X 轴平行的一轴线圈、与 Y 轴平行的一轴线圈、与 Z 轴平行的一轴线圈感应到的磁感应强度, B_{x3}, B_{y3}, B_{z3} 对应表示第 i 个发射线圈中与 Z 轴平行的一轴线圈工作时第 j 个接收线圈中的与 X 轴平行的一轴线圈、与 Y 轴平行的一轴线圈、与 Z 轴平行的一轴线圈感应到的磁感应强度, $B'_{x1}, B'_{y1}, B'_{z1}$ 对应表示第 i 个发射线圈中的与 X 轴平行的一轴线圈对第 j 个接收线圈在位置 $P = (x, y, z)$ 处与 X 轴平行的一轴线圈、与 Y 轴平行的一轴线圈、与 Z 轴平行的一轴线圈的理论磁感应强度, $B'_{x2}, B'_{y2}, B'_{z2}$ 对应表示第 i 个发射线圈中的与 Y 轴平行的一轴线圈对第 j 个接收线圈在位置 $P = (x, y, z)$ 处与 X 轴平行的一轴线圈、与 Y 轴平行的一轴线圈、与 Z 轴平行的一轴线圈的理论磁感应强度, $B'_{x3}, B'_{y3}, B'_{z3}$ 对应表示第 i 个发射线圈中的与 Z 轴平行的一轴线圈对第 j 个接收线圈在位置 $P = (x, y, z)$ 处与 X 轴平行的一轴线圈、与 Y 轴平行的一轴线圈、与 Z 轴平行的一轴线圈的理论磁感应强度;

[0014] ⑤根据步骤④中得到的每个接收线圈在被测物体内的位置和方向, 利用多项式曲线拟合方法拟合得到柔性导管内窥镜的导管的运动变化以及镜头的行进轨迹, 实现柔性导管内窥镜的跟踪。

[0015] 所述的步骤①中的发射线圈的第一轴线圈、第二轴线圈和第三轴线圈均采用漆包线绕制, 在被测物体所在空间内放置发射线圈时, 其中一轴线圈平行于被测物体所在空间的地面即平行于 X 轴; 在此, 使发射线圈的一轴线圈平行于 X 轴, 相当于建立了一个以发射线圈的三轴线圈为参考的坐标系;

[0016] 所述的步骤①中的接收线圈的第一轴线圈和第二轴线圈均采用漆包线绕制, 并置于柔性导管内窥镜的导管的外管壁或柔性导管内窥镜的镜头外壁上, 接收线圈的第三轴线圈采用由柔性 PCB 板刻制而成的柔性 PCB 线圈, 并粘贴于柔性导管内窥镜的导管的外管壁或柔性导管内窥镜的镜头外壁上, 接收线圈的三轴线圈两两垂直; 在此, 设计的接收线圈的

第三轴线圈采用由柔性 PCB 板刻制而成的柔性 PCB 线圈, 并采用粘贴方式进行连接, 这种接收线圈适合在导管上使用。

[0017] 所述的步骤①中布置在柔性导管内窥镜的导管的外管壁上的多个接收线圈等间距分布; 在此, 将多个接收线圈进行等间距分布, 可使后续利用每个接收线圈在被测物体内的位置和方向进行曲线拟合实现柔性导管内窥镜的跟踪更加方便。

[0018] 所述的步骤②中在第 i 个发射线圈中的三轴线圈上各加载的正弦波交变电信号的频率均为 2KHZ; 在此, 限定发射线圈中的三轴线圈上各加载的正弦波交变电信号的频率, 方便了每个接收线圈在感应到发射线圈产生的交变电磁场后产生交变电信号并对其进行后续处理。

[0019] 所述的步骤③中数据后处理的具体过程为:

[0020] ③-1、令 k 表示迭代次数, k 的初始值为 1, 并假设经模数转换处理后得到的数据由 N' 个信号值组成, 并将经模数转换处理后得到的数据记为 f_1 , 将 f_1 中的第 n' 个信号值记为 $f_1(t_{n'})$, 其中, $N' \geq 3, 1 \leq n' \leq N'$, $t_{n'}$ 表示 $f_1(t_{n'})$ 的采样时刻;

[0021] ③-2、根据信号放大处理后得到的信号是否发生截止失真确定 f_1 中的有效信号值的个数, 如果信号放大处理后得到的信号未发生截止失真, 则认为 f_1 中的所有信号值均为有效信号值, 并将 f_1 中的有效信号值的个数记为 $N_1, N_1 = N'$, 然后执行步骤③-3; 如果信号放大处理后得到的信号发生截止失真, 则认为 f_1 中值大于负截止电压且小于正截止电压的所有信号值均为有效信号值, 并将 f_1 中的有效信号值的个数记为 $N_1, 1 \leq N_1 < N'$, 然后执行步骤③-3;

[0022] ③-3、根据 f_1 中的所有有效信号值, 获取 f_1 的幅值和相位, 对应记为 A_{m1} 和 φ_1 ,

$$A_{m1} = \sqrt{a_1^2 + b_1^2},$$

$$\varphi_1 = \tan^{-1}(b_1 / a_1),$$

$$\begin{bmatrix} a_1 \\ b_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{n_1=1}^{N_1} (\sin(\omega t_{n_1}))^2 & \sum_{n_1=1}^{N_1} \sin(\omega t_{n_1}) \cos(\omega t_{n_1}) \\ \sum_{n_1=1}^{N_1} \sin(\omega t_{n_1}) \cos(\omega t_{n_1}) & \sum_{n_1=1}^{N_1} (\cos(\omega t_{n_1}))^2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \sum_{n_1=1}^{N_1} y_{n_1} \sin(\omega t_{n_1}) \\ \sum_{n_1=1}^{N_1} y_{n_1} \cos(\omega t_{n_1}) \end{bmatrix}, \text{ 其中, } \omega \text{ 表示第 } i$$

个发射线圈上加载的正弦波交变电信号的频率, t_{n_1} 表示 f_1 中的第 n_1 个有效信号值的采样时

$$\text{刻, } y_{n_1} \text{ 表示 } f_1 \text{ 中的第 } n_1 \text{ 个有效信号值, } \begin{bmatrix} \sum_{n_1=1}^{N_1} (\sin(\omega t_{n_1}))^2 & \sum_{n_1=1}^{N_1} \sin(\omega t_{n_1}) \cos(\omega t_{n_1}) \\ \sum_{n_1=1}^{N_1} \sin(\omega t_{n_1}) \cos(\omega t_{n_1}) & \sum_{n_1=1}^{N_1} (\cos(\omega t_{n_1}))^2 \end{bmatrix}^{-1} \text{ 为}$$

$$\begin{bmatrix} \sum_{n_1=1}^{N_1} (\sin(\omega t_{n_1}))^2 & \sum_{n_1=1}^{N_1} \sin(\omega t_{n_1}) \cos(\omega t_{n_1}) \\ \sum_{n_1=1}^{N_1} \sin(\omega t_{n_1}) \cos(\omega t_{n_1}) & \sum_{n_1=1}^{N_1} (\cos(\omega t_{n_1}))^2 \end{bmatrix} \text{ 的逆矩阵;}$$

[0023] ③-4、根据 A_{m1} 和 φ_1 ，确定 f_1 对应的正弦波信号；再对 f_1 对应的正弦波信号进行离散化处理，将离散化处理后得到的数据记为 $\tilde{f}_1$ ，将 $\tilde{f}_1$ 中的第 n' 个信号值记为 $\tilde{f}_1(\tilde{t}_{n'})$ ， $\tilde{f}_1(\tilde{t}_{n'}) = A_{m1} \sin(\omega \tilde{t}_{n'} + \varphi_1)$ ，其中， $1 \leq n' \leq N'$ ， $\tilde{t}_{n'}$ 表示 $\tilde{f}_1(\tilde{t}_{n'})$ 的采样时刻，且 $\tilde{t}_{n'}$ 与 $t_{n'}$ 相等；

[0024] ③-5、如果信号放大处理后得到的信号未发生截止失真，则对 $\tilde{f}_1$ 中的信号值不作处理，然后执行步骤③-6；如果信号放大处理后得到的信号发生截止失真，则将 $\tilde{f}_1$ 中值大于或等于正截止电压的所有信号值替换成正截止电压值，并将 $\tilde{f}_1$ 中值小于或等于负截止电压的所有信号值替换成负截止电压值，然后执行步骤③-6；

[0025] ③-6、根据 f_1 和 $\tilde{f}_1$ 去除 f_1 中的噪声，得到去除噪声后的数据，记为 $\tilde{f}_2$ ，将 $\tilde{f}_2$ 中的

的第 n' 个信号值记为 $\tilde{f}_2(\tilde{t}_{n'})$ ， $\tilde{f}_2(\tilde{t}_{n'}) = \begin{cases} \tilde{f}_1(\tilde{t}_{n'}) & \text{如果 } |f_1(t_{n'}) - \tilde{f}_1(\tilde{t}_{n'})| \geq Th \\ f_1(t_{n'}) & \text{如果 } |f_1(t_{n'}) - \tilde{f}_1(\tilde{t}_{n'})| < Th \end{cases}$ ，其中，

$1 \leq n' \leq N'$ ， Th 表示设定的误差阈值， $Th = 5 \times \frac{\sum_{n'=1}^{N'} |f_1(t_{n'}) - \bar{f}_1|}{N'}$ ， $\bar{f}_1$ 表示 f_1 中的所有有效信号值的平均值，符号“ $||$ ”为取绝对值符号；

[0026] ③-7、计算第 k 次迭代后的计算结果精度，记为 δ_k ， $\delta_k = \frac{\sum_{n'=1}^{N'} |\tilde{f}_2(\tilde{t}_{n'}) - \tilde{f}_1(\tilde{t}_{n'})|}{N'}$ ，然后

判断 δ_k 是否小于 δ_{k-1} ，如果是，则结束迭代过程，并将 $\tilde{f}_2$ 作为数据后处理得到的无噪声数据，然后按照步骤③-3的计算方法获取无噪声数据的幅值和相位；否则，将 $\tilde{f}_2$ 赋值给 f_1 ，然后令 $k = k+1$ ，再返回步骤③-3继续迭代；其中， δ_{k-1} 表示第 $k-1$ 次迭代后的计算结果精度， $\delta_0 = 0$ ， $k = k+1$ 中的“=”为赋值符号。

[0027] 所述的步骤③-2和所述的步骤③-4中负截止电压为 $-5V$ ，正截止电压为 $+5V$ 。

[0028] 与现有技术相比，本发明的优点在于：

[0029] 1) 在柔性导管内窥镜的导管和镜头上设置的接收线圈为三轴正交线圈，采用三轴正交线圈相对于单轴线圈或双轴线圈，能够减少布置接收线圈的点数，从而满足了柔性导管内窥镜成像轨迹的平滑性。

[0030] 2) 在柔性导管内窥镜的导管和镜头上设置接收线圈，在被测物体所在空间内设置发射线圈，通过电磁定位的方法获取导管内窥镜上接收线圈的位置和方向，接收线圈的三维位置不受被测物体运动对线圈工作的影响，然后利用多项式曲线拟合的方法得到柔性导管内窥镜的形态，由于用柔性导管内窥镜检查时，导管的运动变化十分重要，因工作环境的复杂性和自身形状不可视等不足，在导管介入过程中会出现导管缠绕、非预期结襻等情况，因此利用本发明方法得到柔性导管内窥镜的形态，再通过显示设备的界面显示出导管的形态，可使操作者能够快速准确的操作柔性导管内窥镜进行检测。

[0031] 3) 使用电磁定位的方法获取接收线圈的位置和方向，从而实现柔性导管内窥镜的

定位,这样利用柔性导管内窥镜进行检测时就不会对操作者产生辐射问题,解决了 X 光射线问题,且能为操作者快速确定操作方案提供可靠的依据。

[0032] 4) 对接收线圈产生的感应信号进行数据处理时,使用软件计算的方法获取磁感应强度值,解决了因硬件电路电源电压的限制造成的信号量程过小造成的定位范围小的不足,且使用软件计算的方法不需要提供额外的硬件来获取大范围的定位,降低了整体电路结构的复杂度,且具有很好的可实施性。

[0033] 5) 在定位与跟踪计算时,使用线性算法获得接收线圈位置和方向信息的解析解,相对于使用非线性算法的定位方法,定位过程快速,进一步对柔性导管内窥镜拟合成完整的导管轨迹时,不但可以利用各点的位置,而且可综合其线圈的轴线方向进行计算,提高了拟合的完整性和精度,定位结果准确。

附图说明

[0034] 图 1 为本发明方法的流程框图;

[0035] 图 2 为本发明方法中设置于柔性导管内窥镜的导管的外管壁上的接收线圈的示意图;

[0036] 图 3 为本发明方法中接收线圈中的第三轴线圈的结构示意图。

具体实施方式

[0037] 以下结合附图实施例对本发明作进一步详细描述。

[0038] 本发明提出的一种工业用柔性导管内窥镜的定位跟踪方法,其流程框图如图 1 所示,其包括以下步骤:

[0039] ①在被测物体所在空间内的不同位置处各布置一个三轴正交的电磁线圈,并将这些电磁线圈均作为发射线圈;在柔性导管内窥镜的导管的外管壁上的不同位置处及在柔性导管内窥镜的镜头上各布置一个三轴正交的电磁线圈,并将这些电磁线圈均作为接收线圈,假设接收线圈中的三轴线圈的工作电流一致,且半径一致;再将柔性导管内窥镜置于被测物体内部。

[0040] 在此,考虑到柔性导管内窥镜成像轨迹的平滑性,因此需在柔性导管内窥镜的导管的外管壁上的不同位置处各布置一个电磁线圈(接收线圈),布置在柔性导管内窥镜的导管的外管壁上的所有电磁线圈能同时独立工作,无相互干扰。在实际设计时,可要求布置在柔性导管内窥镜的导管的外管壁上的多个接收线圈等间距分布。

[0041] 在本实施例中,步骤①中的发射线圈的第一轴线圈、第二轴线圈和第三轴线圈均采用漆包线绕制,发射线圈的第一轴线圈、第二轴线圈和第三轴线圈两两相互垂直,在被测物体所在空间内放置发射线圈时,其中一轴线圈平行于被测物体所在空间的地面即平行于 X 轴;步骤①中的接收线圈的第一轴线圈和第二轴线圈均采用漆包线绕制,并置于柔性导管内窥镜的导管的外管壁或柔性导管内窥镜的镜头外壁上,接收线圈的第三轴线圈采用由柔性 PCB 板刻制而成的柔性 PCB 线圈,并粘贴于柔性导管内窥镜的导管的外管壁或柔性导管内窥镜的镜头外壁上,接收线圈的第一轴线圈和第二轴线圈相互垂直,接收线圈的第三轴线圈分别与第一轴线圈和第二轴线圈相互垂直。三轴正交的电磁线圈由三个独立且相互垂直的线圈组成,图 2 给出了设置于柔性导管内窥镜的导管的外管壁上的接收线圈的示意

图,图 3 给出了接收线圈中的第三轴线圈的结构示意图。

[0042] ②假设当前工作的发射线圈为第 i 个发射线圈,则在第 i 个发射线圈中的三轴线圈上各加载频率为 2KHZ 的正弦波交变电信号作为激励信号,使第 i 个发射线圈在其周围产生交变电磁场,此时每个接收线圈在感应到交变电磁场后产生交变电信号,其中, $1 \leq i \leq I'$, I' 表示在被测物体所在空间内布置的发射线圈的总个数。

[0043] 由于在发射线圈上加载正弦波交变电信号作为激励信号,在周围空间中会产生变化的磁场,因此在变化的磁场中,接收线圈会感应到磁场变化,当穿过由接收线圈构成的闭合回路所限定的曲面的磁通发生变化时,闭合回路中就会产生感应电动势,接收线圈因电磁感应产生交变电信号。

[0044] ③对每个接收线圈产生的交变电信号依次进行信号放大处理、信号滤波处理、模数转换处理及数据后处理,得到每个接收线圈产生的交变电信号对应的无噪声数据,并获取无噪声数据的幅值。

[0045] 在具体实施时,应事先使每个接收线圈的引线紧贴柔性导管内窥镜的导管的外管壁,然后使引线位于被测物体外部的信号放大电路的输入端连接,再连接信号放大电路的输出端与信号滤波电路的输入端、信号滤波电路的输出端与模数转换模块的输入端、模数转换模块的输出端与数据后处理模块的输入端;在此,信号放大电路、信号滤波电路、模数转换模块均采用现有技术。

[0046] 在此具体实施例中,步骤③中数据后处理的具体过程为:

[0047] ③-1、令 k 表示迭代次数, k 的初始值为 1,并假设经模数转换处理后得到的数据由 N' 个信号值组成,并将经模数转换处理后得到的数据记为 f_1 ,将 f_1 中的第 n' 个信号值记为 $f_1(t_{n'})$,其中, $N' \geq 3, 1 \leq n' \leq N'$, $t_{n'}$ 表示 $f_1(t_{n'})$ 的采样时刻。

[0048] ③-2、由于信号放大处理后输出的电信号可能会受信号放大电路的电源电压的影响,因此当信号放大处理后输出的电信号受到信号放大电路的电源电压的影响时,信号放大处理后输出的电信号会出现截止失真的情况。根据信号放大处理后得到的信号是否发生截止失真确定 f_1 中的有效信号值的个数,如果信号放大处理后得到的信号未发生截止失真,则认为 f_1 中的所有信号值均为有效信号值,并将 f_1 中的有效信号值的个数记为 $N_1, N_1 = N'$,然后执行步骤③-3;如果信号放大处理后得到的信号发生截止失真,则认为 f_1 中值大于负截止电压且小于正截止电压的所有信号值均为有效信号值,并将 f_1 中的有效信号值的个数记为 $N_1, 1 \leq N_1 < N'$,然后执行步骤③-3。

[0049] 在此,负截止电压为 -5V,正截止电压为 +5V。

[0050] ③-3、根据 f_1 中的所有有效信号值,获取 f_1 的幅值和相位,对应记为 A_{m1} 和 φ_1 ,

$$A_{m1} = \sqrt{a_1^2 + b_1^2},$$

$$\varphi_1 = \tan^{-1}(b_1 / a_1),$$

$$\begin{bmatrix} a_1 \\ b_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{n_1=1}^{N_1} (\sin(\omega t_{n_1}))^2 & \sum_{n_1=1}^{N_1} \sin(\omega t_{n_1}) \cos(\omega t_{n_1}) \\ \sum_{n_1=1}^{N_1} \sin(\omega t_{n_1}) \cos(\omega t_{n_1}) & \sum_{n_1=1}^{N_1} (\cos(\omega t_{n_1}))^2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \sum_{n_1=1}^{N_1} y_{n_1} \sin(\omega t_{n_1}) \\ \sum_{n_1=1}^{N_1} y_{n_1} \cos(\omega t_{n_1}) \end{bmatrix}, \text{其中, } \omega \text{ 表示第 } i$$

个发射线圈上加载的正弦波交变电信号的频率, t_{n_1} 表示 f_1 中的第 n_1 个有效信号值的采样时

刻, y_{n_1} 表示 f_1 中的第 n_1 个有效信号值,
$$\begin{bmatrix} \sum_{n_1=1}^{N_1} (\sin(\omega t_{n_1}))^2 & \sum_{n_1=1}^{N_1} \sin(\omega t_{n_1}) \cos(\omega t_{n_1}) \\ \sum_{n_1=1}^{N_1} \sin(\omega t_{n_1}) \cos(\omega t_{n_1}) & \sum_{n_1=1}^{N_1} (\cos(\omega t_{n_1}))^2 \end{bmatrix}^{-1}$$
 为
$$\begin{bmatrix} \sum_{n_1=1}^{N_1} (\sin(\omega t_{n_1}))^2 & \sum_{n_1=1}^{N_1} \sin(\omega t_{n_1}) \cos(\omega t_{n_1}) \\ \sum_{n_1=1}^{N_1} \sin(\omega t_{n_1}) \cos(\omega t_{n_1}) & \sum_{n_1=1}^{N_1} (\cos(\omega t_{n_1}))^2 \end{bmatrix}$$
 的逆矩阵。

[0051] ③-4、根据 A_{m1} 和 φ_1 , 确定 f_1 对应的正弦波信号; 再对 f_1 对应的正弦波信号进行离散化处理, 将离散化处理后得到的数据记为 $\tilde{f}_1$, 将 $\tilde{f}_1$ 中的第 n' 个信号值记为 $\tilde{f}_1(\tilde{t}_{n'})$, $\tilde{f}_1(\tilde{t}_{n'}) = A_{m1} \sin(\omega \tilde{t}_{n'} + \varphi_1)$, 其中, $1 \leq n' \leq N'$, $\tilde{t}_{n'}$ 表示 $\tilde{f}_1(\tilde{t}_{n'})$ 的采样时刻, 且 $\tilde{t}_{n'}$ 与 $t_{n'}$ 相等。

[0052] 在此, 负截止电压为 $-5V$, 正截止电压为 $+5V$ 。

[0053] ③-5、如果信号放大处理后得到的信号未发生截止失真, 则对 $\tilde{f}_1$ 中的信号值不作处理, 然后执行步骤③-6; 如果信号放大处理后得到的信号发生截止失真, 则将 $\tilde{f}_1$ 中值大于或等于正截止电压的所有信号值替换成正截止电压值, 并将 $\tilde{f}_1$ 中值小于或等于负截止电压的所有信号值替换成负截止电压值, 然后执行步骤③-6。

[0054] ③-6、根据 f_1 和 $\tilde{f}_1$ 去除 f_1 中的噪声, 得到去除噪声后的数据, 记为 $\tilde{f}_2$, 将 $\tilde{f}_2$ 中的

的第 n' 个信号值记为 $\tilde{f}_2(\tilde{t}_{n'})$, $\tilde{f}_2(\tilde{t}_{n'}) = \begin{cases} \tilde{f}_1(\tilde{t}_{n'}) & \text{如果 } |f_1(t_{n'}) - \tilde{f}_1(\tilde{t}_{n'})| \geq Th \\ f_1(t_{n'}) & \text{如果 } |f_1(t_{n'}) - \tilde{f}_1(\tilde{t}_{n'})| < Th \end{cases}$, 其中,

$1 \leq n' \leq N'$, Th 表示设定的误差阈值, $Th = 5 \times \frac{\sum_{n'=1}^{N'} |f_1(t_{n'}) - \bar{f}_1|}{N'}$, $\bar{f}_1$ 表示 f_1 中的所有有效信号

值的平均值, 符号 “ $||$ ” 为取绝对值符号。

[0055] ③-7、计算第 k 次迭代后的计算结果精度, 记为 δ_k , $\delta_k = \frac{\sum_{n'=1}^{N'} |\tilde{f}_2(\tilde{t}_{n'}) - \tilde{f}_1(\tilde{t}_{n'})|}{N'}$, 然后

判断 δ_k 是否小于 δ_{k-1} , 如果是, 则结束迭代过程, 并将 $\tilde{f}_2$ 作为数据后处理得到的无噪声数据, 然后按照步骤③-3 的计算方法获取无噪声数据的幅值和相位; 否则, 将 $\tilde{f}_2$ 赋值给 f_1 , 然后令 $k = k+1$, 再返回步骤③-3 继续迭代; 其中, δ_{k-1} 表示第 $k-1$ 次迭代后的计算结果精度, $\delta_0 = 0$, $k = k+1$ 中的 “=” 为赋值符号。

[0056] ④根据无噪声数据的幅值, 确定每个接收线圈在被测物体内的位置和方向, 实现

柔性导管内窥镜的定位,具体过程为:

[0057] ④-1、根据法拉第电磁感应定律,利用无噪声数据的幅值代表的电压值,计算得到每个接收线圈中的三轴线圈各自的磁感应强度。

[0058] ④-2、根据每个接收线圈中的三轴线圈各自的磁感应强度,确定每个接收线圈在空间直角坐标系中的位置即确定每个接收线圈在被测物体内的位置,将第 j 个接收

$$\text{线圈在空间直角坐标系中的位置记为 } P, P = (x, y, z), x = \frac{\sqrt{(B_1')^2 / B_T^2 - (B')^2 / (6B_T^2)}}{\sqrt{3}[(B')^2 / (6B_T^2)]^{\frac{2}{3}}},$$

$$y = \frac{\sqrt{(B_2')^2 / B_T^2 - (B')^2 / (6B_T^2)}}{\sqrt{3}[(B')^2 / (6B_T^2)]^{\frac{2}{3}}}, z = \frac{\sqrt{(B_3')^2 / B_T^2 - (B')^2 / (6B_T^2)}}{\sqrt{3}[(B')^2 / (6B_T^2)]^{\frac{2}{3}}}, \text{ 其中, } 1 \leq j \leq J, J \text{ 表示}$$

在柔性导管内窥镜的导管的外管壁上的不同位置处及在柔性导管内窥镜的镜头上布置的接收线圈的总个数,空间直角坐标系的原点在被测物体所在空间的地面, B_1' 表示第 i 个发射线圈中的与 X 轴平行的一轴线圈工作时第 j 个接收线圈中的三轴线圈的磁感应强度之和, B_2' 表示第 i 个发射线圈中的与 Y 轴平行的一轴线圈工作时第 j 个接收线圈中的三轴线圈的磁感应强度之和, B_3' 表示第 i 个发射线圈中的与 Z 轴平行的一轴线圈工作时第 j 个接收线圈中的三轴线圈的磁感应强度之和, B_T 为常量, $B_T = \mu_0 I R^2 / 4$, μ_0 为真空磁导率, I 为第 j 个接收线圈中的线圈的工作电流, R 为第 j 个接收线圈中的线圈的半径, $(B')^2 = (B_1')^2 + (B_2')^2 + (B_3')^2$ 。

[0059] ④-3、根据每个接收线圈中的三轴线圈各自的磁感应强度,确定每个接收线圈在空间直角坐标系中的方向即确定每个接收线圈在被测物体内的方向,将第 j 个接收线圈在空间直角坐标系中的各个方向组成的向量记为 H , $H = (\alpha, \beta, \gamma)$, 其中, $1 \leq j \leq J$, J 表示在柔性导管内窥镜的导管的外管壁上的不同位置处及在柔性导管内窥镜的镜头上布置的接收线圈的总个数,空间直角坐标系的原点在被测物体所在空间的地面, α 表示第 j 个接收线圈与空间直角坐标系的 X 轴的夹角, β 表示第 j 个接收线圈与空间直角坐标系的 Y 轴的夹角, γ 表示第 j 个接收线圈与空间直角坐标系的 Z 轴的夹

$$\text{角, } R = \text{Rot}(x, \alpha) \text{Rot}(y, \beta) \text{Rot}(z, \gamma) = \begin{pmatrix} B_{x1} & B_{x2} & B_{x3} \\ B_{y1} & B_{y2} & B_{y3} \\ B_{z1} & B_{z2} & B_{z3} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} B'_{x1} & B'_{x2} & B'_{x3} \\ B'_{y2} & B'_{y2} & B'_{y3} \\ B'_{z1} & B'_{z2} & B'_{z3} \end{pmatrix}^{-1}, R \text{ 表示由 } (\alpha, \beta, \gamma)$$

确定的旋转矩阵,这里, $\text{Rot}(x, \alpha)$ 表示相对于空间直角坐标系的 X 轴的旋转矩阵,

$$\text{Rot}(x, \alpha) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix}, \text{Rot}(y, \beta) \text{ 表示相对于空间直角坐标系的 } Y \text{ 轴的旋转}$$

$$\text{矩阵, } \text{Rot}(y, \beta) = \begin{pmatrix} \cos \beta & 0 & \sin \beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \beta & 0 & \cos \beta \end{pmatrix}, \text{Rot}(z, \gamma) \text{ 表示相对于空间直角坐标系的 } Z \text{ 轴的}$$

旋转矩阵, $\text{Rot}(z, \gamma) = \begin{pmatrix} \cos \gamma & -\sin \gamma & 0 \\ \sin \gamma & \cos \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$, $\begin{pmatrix} B'_{x1} & B'_{x2} & B'_{x3} \\ B'_{y2} & B'_{y2} & B'_{y3} \\ B'_{z1} & B'_{z2} & B'_{z3} \end{pmatrix}^{-1}$ 为 $\begin{pmatrix} B'_{x1} & B'_{x2} & B'_{x3} \\ B'_{y2} & B'_{y2} & B'_{y3} \\ B'_{z1} & B'_{z2} & B'_{z3} \end{pmatrix}$ 的逆矩阵,

B_{x1}, B_{y1}, B_{z1} 对应表示第 i 个发射线圈中与 X 轴平行的一轴线圈工作时第 j 个接收线圈中的与 X 轴平行的一轴线圈、与 Y 轴平行的一轴线圈、与 Z 轴平行的一轴线圈感应到的磁感应强度, B_{x2}, B_{y2}, B_{z2} 对应表示第 i 个发射线圈中与 Y 轴平行的一轴线圈工作时第 j 个接收线圈中的与 X 轴平行的一轴线圈、与 Y 轴平行的一轴线圈、与 Z 轴平行的一轴线圈感应到的磁感应强度, B_{x3}, B_{y3}, B_{z3} 对应表示第 i 个发射线圈中与 Z 轴平行的一轴线圈工作时第 j 个接收线圈中的与 X 轴平行的一轴线圈、与 Y 轴平行的一轴线圈、与 Z 轴平行的一轴线圈感应到的磁感应强度, $B'_{x1}, B'_{y1}, B'_{z1}$ 对应表示第 i 个发射线圈中的与 X 轴平行的一轴线圈对第 j 个接收线圈在位置 $P = (x, y, z)$ 处与 X 轴平行的一轴线圈、与 Y 轴平行的一轴线圈、与 Z 轴平行的一轴线圈的理论磁感应强度, $B'_{x2}, B'_{y2}, B'_{z2}$ 对应表示第 i 个发射线圈中的与 Y 轴平行的一轴线圈对第 j 个接收线圈在位置 $P = (x, y, z)$ 处与 X 轴平行的一轴线圈、与 Y 轴平行的一轴线圈、与 Z 轴平行的一轴线圈的理论磁感应强度, $B'_{x3}, B'_{y3}, B'_{z3}$ 对应表示第 i 个发射线圈中的与 Z 轴平行的一轴线圈对第 j 个接收线圈在位置 $P = (x, y, z)$ 处与 X 轴平行的一轴线圈、与 Y 轴平行的一轴线圈、与 Z 轴平行的一轴线圈的理论磁感应强度。在此, 理论磁感应强度可通过现有技术获取。

[0060] ⑤根据步骤④中得到的每个接收线圈在被测物体内的位置和方向, 利用多项式曲线拟合方法拟合得到柔性导管内窥镜的导管的运动变化以及镜头的行进轨迹, 实现柔性导管内窥镜的跟踪。

[0061] 利用计算机显示屏, 在显示柔性导管内窥镜图像的同时, 可显示出柔性导管内窥镜的导管的运动变化以及镜头的行进轨迹, 为操作人员对柔性导管内窥镜的控制和调节提供了可靠准确的参考。

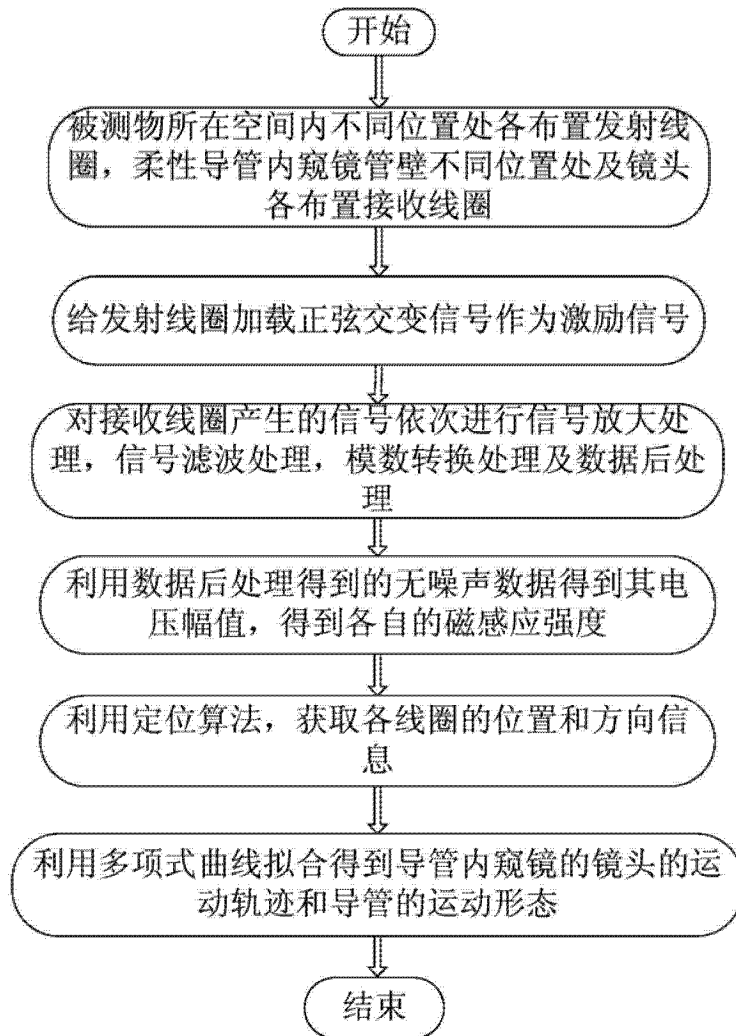


图 1

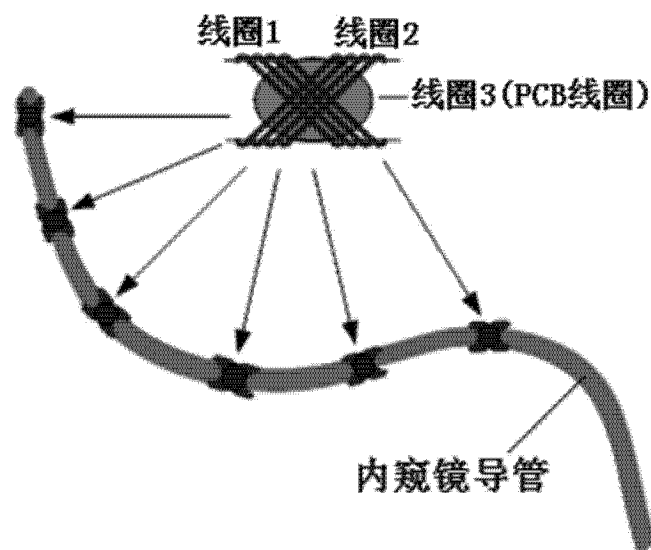


图 2

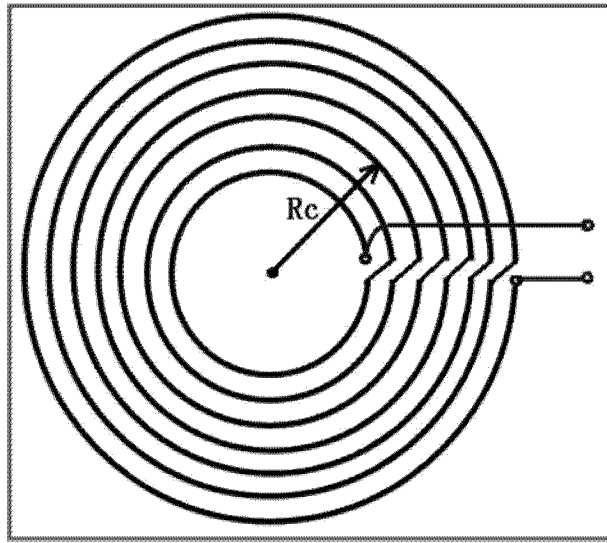


图 3

专利名称(译)	一种工业用柔性导管内窥镜的定位跟踪方法		
公开(公告)号	CN104361608A	公开(公告)日	2015-02-18
申请号	CN201410581509.X	申请日	2014-10-27
[标]申请(专利权)人(译)	浙江大学宁波理工学院		
申请(专利权)人(译)	浙江大学宁波理工学院		
当前申请(专利权)人(译)	浙江大学宁波理工学院		
[标]发明人	胡超 冯忠晴 任宇鹏 王永辉 袁小英		
发明人	胡超 冯忠晴 任宇鹏 王永辉 袁小英		
IPC分类号	G06T7/20 A61B1/00 A61B19/00		
CPC分类号	G01V3/10 G06T7/20 G06T7/70 G06T2207/30172		
代理人(译)	周珏		
其他公开文献	CN104361608B		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

本发明公开了一种工业用柔性导管内窥镜的定位跟踪方法，其首先在当前工作的发射线圈中的三轴线圈上各加载激励信号，使在其周围产生交变电磁场，每个接收线圈在感应到交变电磁场后产生交变电信号；然后对每个接收线圈产生的交变电信号进行处理，得到对应的无噪声数据；再根据无噪声数据的幅值，确定每个接收线圈在被测物内的位置和方向，实现柔性导管内窥镜的定位；最后根据每个接收线圈在被测物体内的位置和方向，得到柔性导管内窥镜的导管的运动变化以及镜头的行进轨迹，实现柔性导管内窥镜的跟踪；优点是能够跟踪检查柔性导管内窥镜的镜头的行进轨迹和导管的运动变化，且能够快速准确地确定柔性导管内窥镜的目标位置，此外对操作者无辐射。

