



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104776865 B

(45)授权公告日 2017.07.07

(21)申请号 201510123915.6

(22)申请日 2015.03.21

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 104776865 A

(43)申请公布日 2015.07.15

(73)专利权人 复旦大学
地址 200433 上海市杨浦区邯郸路220号

(72)发明人 郭小玫 沙敏 王一枫 丁宁

(74)专利代理机构 上海正旦专利代理有限公司
31200
代理人 陆飞 盛志范

(51)Int.Cl.
G01D 5/12(2006.01)
G01B 7/004(2006.01)
G01B 7/30(2006.01)

(56)对比文件

CN 102426392 A,2012.04.25,
CN 103412337 A,2013.11.27,
US 4054881 A,1977.10.18,
US 4849692 A,1989.07.18,
CN 103575271 A,2014.02.12,
Xin Ge et al..A Novel Non-model-based
6-DOF Electromagnetic Tracking Method
Using Non-iterative Algorithm.《31st
Annual International Conference of the
IEEE EMBS》.2009,
葛鑫 等.用于微创手术导航的六自由度电
磁跟踪方法.《航天医学与医学工程》.2011,第24
卷(第3期),

审查员 刘文婷

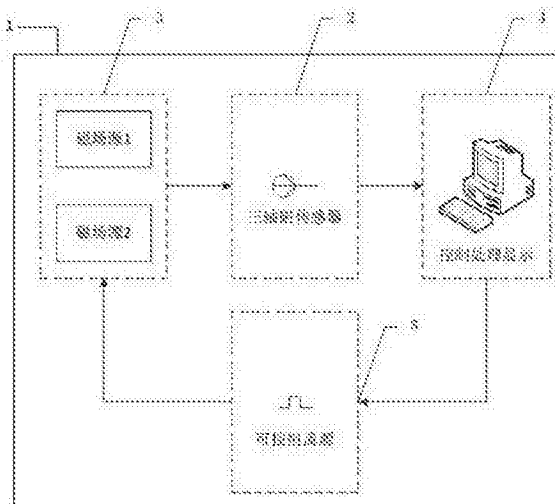
权利要求书2页 说明书8页 附图4页

(54)发明名称

基于最大磁感应强度矢量旋转角快速测定的
电磁跟踪系统及方法

(57)摘要

本发明属于电磁跟踪技术领域,具体为一种
基于最大磁感应强度矢量旋转角快速测定的电
磁跟踪系统及方法。本发明系统由三轴磁场传
感器装置、磁场源装置、可控恒流源装置和控
制处理显示装置组成;用可控恒流源装置分别
激励三个缠绕在由软磁铁氧体材料做成的磁芯
上的、中心点重合且相互正交的线圈组成磁场
源装置,三轴磁场传感器装置检测磁场源装置
产生的磁感应强度,控制处理显示装置控制可
控恒流源装置对线圈的激励,并根据三轴磁
场传感器装置检测的磁感应强度进行定位计
算。本发明只需要分别对三轴线圈激励一次
就可以实现定位,避免搜索过程,显著提高了
系统的实时性,且稳定性高,计算复杂度低,
可应用于微创手术的导航,亦可运用于虚拟
(增强)现实、三维超声成像等领域。



1. 一种基于最大磁感应强度矢量旋转角快速测定的电磁跟踪系统,其特征在于由如下四部分构成:一个三轴磁场传感器装置、由两组三轴正交线圈组成的磁场源装置、一个可控恒流源装置、一个控制处理显示装置;其中:

所述三轴磁场传感器装置附着于跟踪目标,用于测量跟踪目标所在位置处三个正交方向的磁场;三轴磁场传感器装置包括一个三轴分量磁场传感器和一个信号调理/模拟-数字转换模块;三轴分量传感器分别用来检测所在位置三个正交方向的磁感应强度,其输出经后续信号调理/模拟-数字转换模块送入控制处理显示装置;

所述磁场源装置包括两个相对位置和姿态已知的磁场源,即磁场源1和磁场源2,其组成和结构完全相同,分别由缠绕在软磁性铁氧体磁芯上的三个中心点重合且相互正交的线圈组成;这样,在与磁场源中心点等距离的球面上,单轴线圈的磁感应强度最大值为该线圈的轴线位置,方向沿轴线方向,三轴线圈合成的总磁感应强度最大值由单轴最大值合成;两个磁场源装置中心点之间的距离为 d ,且三组对应线圈相互平行;

所述恒流源装置由恒流源及相关控制电路组成,为构成磁场源的线圈提供激励电流,即恒流源输出直流电流,控制处理显示装置通过控制电路使得恒流源输出的电流交替激励磁场源装置的各线圈;

所述控制处理显示装置由控制单元、算法单元、显示输出单元组成;控制单元包括两个部分:采样处理模块和激励电流控制模块,采样处理模块用于采样处理来自三轴磁场传感器装置的信号,激励电流控制模块控制可控恒流源装置交替激励磁场源装置的各线圈;算法单元一方面根据采样处理模块的输出数据计算当前三轴磁场传感器装置检测到的磁感应强度值,进而根据最大磁感应强度矢量旋转角快速测定算法计算最大磁感应强度矢量对应的一组旋转角;另一方面,当计算得到磁场源装置中的两个磁场源的最大磁感应强度矢量对应的旋转角时,根据位置算法计算磁场传感器的空间位置坐标;显示输出单元将磁场传感器的定位信息显示/输出;

定义如下三个坐标系:

坐标系1:为磁场源1的坐标系;组成磁场源1的线圈I、线圈II和线圈III的轴线分别沿该坐标系的X1轴、Y1轴和Z1轴,磁场源1的中心点即该坐标系原点O,坐标为(0,0,0);该坐标系也是系统坐标系XYZ;

坐标系2:为磁场源2的坐标系;组成磁场源2的线圈I、线圈II和线圈III的轴线分别沿该坐标系的X2轴、Y2轴和Z2轴,磁场源2的中心点即该坐标系原点O',在系统坐标系中的坐标为(d ,0,0);该坐标系各坐标轴与系统坐标系中的相应坐标轴相互平行,X2轴与X轴方向相反,Y2轴、Z2轴与Y轴、Z轴方向相同;

坐标系3:为三轴磁场传感器的坐标系;该坐标系的X3轴、Y3轴和Z3轴方向分别与三轴磁场传感器相应检测轴方向一致,原点与三轴磁场传感器的中心点重合;

磁场源产生的最大磁感应强度矢量的旋转角定义如下:

水平旋转角:指从坐标系1的原点到三轴磁场传感器中心点之间的连线在X1Y1平面的投影与X1轴之间的夹角 α_1 ;或指坐标系2的原点到三轴磁场传感器中心点之间的连线在X2Y2平面的投影与X2轴之间的夹角 α_2 ;

垂直旋转角:指从坐标系1的原点到三轴磁场传感器中心点之间的连线与该连线在X1Y1平面的投影之间的夹角 β_1 ;或指从坐标系2的原点到三轴磁场传感器中心点之间的连线

与该连线在X2Y2平面的投影之间的夹角 β_2 ;

所述算法单元中,根据最大磁感应强度矢量旋转角快速测定算法计算最大磁感应强度矢量对应的一组旋转角的算式为:

对于磁场源1,最大磁感应强度矢量旋转角 (α_1, β_1) 的算式如下:

$$\alpha_1 = \arctan \left(\frac{1}{2} \left(\tan \angle 1 + \frac{1}{\tan \angle 2 \tan \angle 3} \right) \right)$$

$$\beta_1 = \arctan \left(\frac{1}{3} \left(\frac{\tan \angle 1 \tan \angle 2}{\sqrt{\tan^2 \angle 1 + 1}} + \frac{\tan \angle 2}{\sqrt{\tan^2 \angle 2 \tan^2 \angle 3 + 1}} + \frac{1}{\sqrt{\tan^2 \angle 3 + \tan^2 \angle 1 \tan^2 \angle 3}} \right) \right)$$

其中, $\angle 1$ 是传感器在X1OY1平面上的投影与X1轴的夹角, $\angle 2$ 是传感器在Y1OZ1平面上的投影与Y1轴的夹角, $\angle 3$ 是传感器在Z1OX1平面上的投影与Z1轴的夹角;

对磁场源2,最大磁感应强度矢量的旋转角 (α_2, β_2) 的算式如下:

$$\alpha_2 = \arctan \left(\frac{1}{2} \left(\tan \angle 1' + \frac{1}{\tan \angle 2' \tan \angle 3'} \right) \right)$$

$$\beta_2 = \arctan \left(\frac{1}{3} \left(\frac{\tan \angle 1' \tan \angle 2'}{\sqrt{\tan^2 \angle 1' + 1}} + \frac{\tan \angle 2'}{\sqrt{\tan^2 \angle 2' \tan^2 \angle 3' + 1}} + \frac{1}{\sqrt{\tan^2 \angle 3' + \tan^2 \angle 1' \tan^2 \angle 3'}} \right) \right)$$

其中, $\angle 1'$ 是传感器在X2O' Y2平面上的投影与X2轴的夹角, $\angle 2'$ 是传感器在Y2O' Z2平面上的投影与Y2轴的夹角, $\angle 3'$ 是传感器在Z2O' X2平面上的投影与Z2轴的夹角。

2.根据权利要求1所述的电磁跟踪系统,其特征在于所述算法单元中,根据磁场源1和磁场源2的最大磁感应强度矢量对应的旋转角 (α_1, β_1) 、 (α_2, β_2) ,以及两磁场源中心点之间的距离 d ,传感器在系统坐标系中的位置坐标 (x, y, z) 算式如下:

$$x = \frac{d \tan \alpha_2}{\tan \alpha_1 + \tan \alpha_2}$$

$$y = \frac{d \tan \alpha_1 \tan \alpha_2}{\tan \alpha_1 + \tan \alpha_2}$$

$$z = \begin{cases} \frac{d \tan \alpha_2 \tan \beta_1}{\cos \alpha_1 \tan \alpha_2 + \sin \alpha_1} \\ \frac{d \tan \alpha_1 \tan \beta_2}{\sin \alpha_2 + \cos \alpha_2 \tan \alpha_1} \end{cases}$$

3.基于权利要求1或2所述的电磁跟踪系统的电磁跟踪方法,其特征在于具体步骤为:

(1)由控制处理显示装置控制可控恒流源装置对磁场源装置中磁场源的三轴线圈分别进行相同电流强度的直流激励;

(2)由三轴磁场传感器装置测量其所在位置的三个正交方向上的磁感应强度值,送至控制处理显示装置;

(3)控制处理显示装置根据最大磁感应强度矢量旋转角快速测定算法,计算磁场源1和磁场源2的最大磁感应强度矢量对应的两组旋转角 (α_1, β_1) 和 (α_2, β_2) ;根据所获得的两组旋转角信息,结合磁场源装置中磁场源1和磁场源2中心点之间的距离 d ,计算求得磁场传感器装置的空间位置。

基于最大磁感应强度矢量旋转角快速测定的电磁跟踪系统及方法

技术领域

[0001] 本发明属于电磁跟踪技术领域,具体涉及一种通过单次激励磁场源线圈快速测定最大磁感应强度矢量旋转角,进而对作为跟踪目标的磁场传感器进行定位的电磁跟踪系统及方法。

背景技术

[0002] 电磁跟踪是一种利用磁场源与磁场传感器之间的磁场耦合关系,获得跟踪目标空间位置的方法,在微创手术导航中具有广泛的应用前景,成为目标跟踪领域的研究热点。相较于其他跟踪方式,电磁跟踪具有无损伤、无辐射、无遮挡问题、操作简便、定位准确、等优点;但同时存在依赖理论磁场模型、迭代算法复杂、易受干扰等问题。针对传统磁跟踪方法存在的问题,本研究组提出了一种基于最大磁感应强度矢量旋转角检测的电磁跟踪方法(发明专利号:ZL 2010 1 0179332.2),该方法不依赖于磁场理论模型、采用非迭代的几何算法实现定位。与传统磁跟踪方法相比,该方法的算法简洁有效、运算速度快。

[0003] 这种电磁跟踪方法可以通过搜索最大磁感应强度实现。在搜索的过程中,根据通电螺线管产生的磁感应强度最大值沿轴线方向的原理,通过步进电机控制处于不同位置的两个螺线管旋转,当两个通电螺线管轴线指向传感器时,传感器可以分别检测到最大磁感应强度,然后根据两个螺线管之间的距离(已知)及螺线管由初始位置到指向传感器的旋转角,通过几何方法可以计算出传感器的空间位置。

[0004] 这种通过搜索最大磁感应强度实现的电磁跟踪方法可以实现高精度的定位和跟踪。但其定位速度受到步进电机带动螺线管旋转速度的限制,系统的实时性较差;并且搜索过程只能在步进电机有限的旋转平面中进行,搜索灵活性较差。

发明内容

[0005] 本发明的目的在于提出一种跟踪实时性高、灵活性强的电磁跟踪方法和系统。

[0006] 本发明提出的电磁跟踪方法,是一种通过快速测定最大磁感应强度矢量旋转角实现的电磁跟踪方法。本发明设计了一种由三个缠绕在软磁铁氧体磁芯上的、中心点重合且相互正交的线圈组成的磁场源模型,根据单线圈磁感应强度最大值方向为其轴线方向、三轴合成的总磁感应强度最大值由单轴最大值合成以及线圈激励电流强度和线圈所产生的磁感应强度之间存在线性关系的特性,采用相同强度电流激励的线圈所产生的磁感应强度乘以不同的电流系数来代替不同强度电流激励的线圈所产生的磁感应强度,快速求解最大磁感应强度矢量旋转角,即合成的总磁感应强度指向磁场传感器时的旋转角,从而对跟踪目标(磁场传感器)进行定位。

[0007] 本发明的特点之一在于不依赖于某种假定的磁场模型建立磁场源与磁场传感器之间的耦合关系,避免了由于磁场源实际分布与理想磁场源不一致而产生的定位误差;本发明的特点之二在于采用非迭代的几何算法,计算复杂度低,不仅可大幅度提高定位速度,

还避免了迭代算法可能收敛到局部最优解或发散等问题造成的系统不稳定。本发明的特点之三在于通过分别单次激励每个磁场源的线圈,根据磁场传感器所测得的磁感应强度就可以快速求解最大磁感应强度矢量的旋转角,有效提高跟踪系统的实时性和灵活性。

[0008] 为了便于说明,先定义如下三个坐标系:

[0009] 坐标系1:为磁场源1的坐标系。组成磁场源1的线圈I、线圈II和线圈III的轴线分别沿该坐标系的X1轴、Y1轴和Z1轴。磁场源1的中心点即该坐标系原点O,坐标为(0,0,0)。该坐标系也是系统坐标系XYZ。

[0010] 坐标系2:为磁场源2的坐标系。组成磁场源2的线圈I、线圈II和线圈III的轴线分别沿该坐标系的X2轴、Y2轴和Z2轴。磁场源2的中心点即该坐标系原点O',在系统坐标系中的坐标为(a,0,0)。该坐标系各坐标轴与系统坐标系中的相应坐标轴相互平行,X2轴与X轴方向相反,Y2轴、Z2轴与Y轴、Z轴方向相同。

[0011] 坐标系3:为三轴磁场传感器的坐标系。该坐标系的X3轴、Y3轴和Z3轴方向分别与三轴磁场传感器相应检测轴方向一致,原点与三轴磁场传感器的中心点重合。

[0012] 磁场源产生的最大磁感应强度矢量的旋转角定义如下:

[0013] 水平旋转角:指从坐标系1(或坐标系2)的原点到三轴磁场传感器中心点之间的连线在X1Y1平面(或X2Y2平面)的投影与X1轴(或X2轴)之间的夹角 α_1 (或 α_2)。

[0014] 垂直旋转角:指从坐标系1(或坐标系2)的原点到三轴磁场传感器中心点之间的连线与该连线在X1Y1平面(或X2Y2平面)的投影之间的夹角 β_1 (或 β_2)。

[0015] 本发明提出的电磁跟踪系统,由四部分构成:一个三轴磁场传感器装置、由两组三轴正交线圈组成的磁场源装置、一个可控恒流源装置、一个控制处理显示装置;系统结构如图2所示。其中:

[0016] 所述三轴磁场传感器装置附着于跟踪目标,用于测量跟踪目标所在位置处三个正交方向的磁场;三轴磁场传感器装置包括一个三轴分量磁场传感器和一个信号调理/模拟-数字(AD)转换模块;三轴分量传感器分别用来检测所在位置三个正交方向X3、Y3和Z3的磁感应强度,其输出经后续信号调理/模拟-数字(AD)转换模块送入控制处理显示装置。传感器装置的选择依据测量范围和精度的要求,可以采用磁阻传感器、霍尔效应传感器或磁通门传感器等。

[0017] 所述磁场源装置包括两个相对位置和姿态已知的磁场源(即磁场源1和磁场源2),其组成和结构完全相同,分别由缠绕在软磁性铁氧体磁芯上的三个中心点重合且相互正交的线圈组成。这样,在与磁场源中心点等距离的球面上,单轴线圈的磁感应强度最大值为该线圈的轴线位置,方向沿轴线方向,三轴线圈合成的总磁感应强度最大值由单轴最大值合成。两个磁场源装置中心点之间的距离为a,且三组对应线圈相互平行。线圈需要保证很好的正交性和对称性,其中线圈的截面形状可采用方形或者圆形等。分别对三个线圈通以相同强度的直流电,可分别在每个线圈的轴线方向产生单轴磁感应强度最大值,并且三轴合成磁感应强度最大值由三个单轴最大值合成;由于线圈激励电流强度和其产生的磁感应强度之间存在线性关系,可以采用相同强度电流激励的线圈所产生的磁感应强度乘以不同的电流系数来代替不同强度电流激励的线圈所产生的磁感应强度。因此,可以得到关于磁场传感器检测到的总磁感应强度和电流系数的表达式,根据这个表达式的单调性,可以求解总磁感应强度最大时的电流系数。利用这个电流系数,同样可以计算出一组最大磁感应强

度矢量的旋转角(此时合成最大磁感应强度矢量指向磁场传感器)信息,利用两个磁场源的两组旋转角信息和两个磁场源的相对位置,可以通过几何方法计算出传感器的位置,从而实现定位和跟踪。

[0018] 所述恒流源装置由恒流源及相关控制电路组成,为构成磁场源的线圈提供激励电流,即恒流源输出直流电流,控制处理显示装置通过控制电路使得恒流源输出的电流交替激励磁场源装置的各线圈。

[0019] 所述控制处理显示装置由控制单元、算法单元、显示输出单元组成。控制单元包括两个部分:采样处理模块和激励电流控制模块。采样处理模块用于采样处理来自三轴磁场传感器装置的信号;激励电流控制模块控制可控恒流源装置交替激励磁场源装置的各线圈。算法单元一方面根据采样处理模块的输出数据计算当前三轴磁场传感器装置检测到的磁感应强度值,进而根据下文所述的最大磁感应强度矢量旋转角快速测定算法计算最大磁感应强度矢量对应的一组旋转角;另一方面,当计算得到磁场源装置中的两个磁场源的最大磁感应强度矢量对应的旋转角时,根据下文所述的位置算法计算磁场传感器的空间位置坐标。显示输出单元将磁场传感器的定位信息显示/输出。其中,控制单元、算法单元由微处理器实现,显示输出单元由显示器实现。

[0020] 本发明提出的基于上述系统的电磁跟踪方法,其步骤为(以磁场源1的最大磁感应强度矢量旋转角快速测定为例):

[0021] (1)由控制处理显示装置控制可控恒流源装置对磁场源装置中磁场源1的三轴线圈分别进行相同电流强度的直流激励;

[0022] (2)由三轴磁场传感器装置测量其所在位置的三个正交方向上的磁感应强度值,送至控制处理显示装置;

[0023] (3)控制处理显示装置根据下文所述的最大磁感应强度矢量旋转角快速测定算法,计算磁场源1的最大磁感应强度矢量对应的一组旋转角。磁场源装置中,磁场源2通过与磁场源1相似的步骤,计算磁场源2的最大磁感应强度矢量对应的一组旋转角。根据所获得的两组旋转角信息,结合磁场源装置中磁场源1和2中心点之间的距离 a ,计算求得磁场传感器装置的空间位置。

[0024] 本发明提出的最大磁感应强度矢量旋转角快速测定算法,只需分别对组成磁场源装置的各个线圈激励一次就可以计算出两组旋转角 (α_1, β_1) 和 (α_2, β_2) ,即磁场源1和磁场源2的最大磁感应强度矢量对应的水平旋转角和垂直旋转角。

[0025] 下面以磁场源1为例具体介绍最大磁感应强度矢量旋转角 (α_1, β_1) 的计算(如图5所示),磁场源1的坐标系为坐标系1,其线圈I、II和III分别沿着X1轴、Y1轴和Z1轴的轴线方向。假设传感器S的坐标为 (x, y, z) ,在X1OY1、Y1OZ1和Z1OX1平面的投影分别为 S_{xy} 、 S_{yz} 和 S_{zx} , S_{xy} 、 S_{yz} 和 S_{zx} 分别与X1轴、Y1轴和Z1轴的夹角是 $\angle 1$ 、 $\angle 2$ 和 $\angle 3$,其中, $\angle 1$ 即磁场源1最大磁感应强度矢量的水平旋转角 α_1 。 B_1 、 B_2 和 B_3 表示当线圈I、II和III分别以电流 I 激励时,三轴磁场传感器测量到的磁感应强度。可以表示为:

$$[0026] \quad \begin{cases} B_1 = [B_{1x} \ B_{1y} \ B_{1z}] = [a_1 \ b_1 \ c_1] \\ B_2 = [B_{2x} \ B_{2y} \ B_{2z}] = [a_2 \ b_2 \ c_2] \\ B_3 = [B_{3x} \ B_{3y} \ B_{3z}] = [a_3 \ b_3 \ c_3] \end{cases} \quad (1)$$

[0027] 如果线圈激励电流为 I 时产生的磁感应强度为 B , 则当激励线圈 I 和线圈 II 的电流分别为 $I \cos \alpha_{12}$ 和 $I \sin \alpha_{12}$, 即电流系数分别为 $\cos \alpha_{12}$ 和 $\sin \alpha_{12}$, 产生的磁感应强度则分别为 $B \cos \alpha_{12}$ 和 $B \sin \alpha_{12}$ 。 α_{12} 是线圈 I 和线圈 II 产生的磁感应强度的合矢量与 X1 轴的夹角, 变化范围是 $[0, 2\pi]$ 。当传感器所测得的磁感应强度合矢量达到最大值时, 该磁感应强度合矢量将指向传感器在 X1OY1 平面内的投影。此时, α_{12} 是传感器在 X1OY1 平面上的投影与 X1 轴的夹角 $\angle 1$, 同时也是磁场源 I 最大磁感应强度矢量的水平旋转角 α_1 。

[0028] 传感器检测的线圈 I 和线圈 II 的磁感应强度合矢量可以表示为:

$$[0029] \quad \begin{cases} B_x = a_1 \cos \alpha_{12} + a_2 \sin \alpha_{12} \\ B_y = b_1 \cos \alpha_{12} + b_2 \sin \alpha_{12} \\ B_z = c_1 \cos \alpha_{12} + c_2 \sin \alpha_{12} \end{cases} \quad (2)$$

[0030] 其中, $0 \leq \alpha_{12} \leq 2\pi$ 。

[0031] 总磁感应强度的模可以写为:

$$[0032] \quad \|B\| = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2} \quad (3)$$

[0033] 即

$$[0034] \quad \|B\| = \sqrt{\frac{C_1 - C_2}{2} \cos 2\alpha_{12} + C_{12} \sin 2\alpha_{12} + \frac{C_1 + C_2}{2}} \quad (4)$$

$$[0035] \quad \text{其中, } \begin{cases} C_1 = a_1^2 + b_1^2 + c_1^2 \\ C_2 = a_2^2 + b_2^2 + c_2^2 \\ C_{12} = a_1 a_2 + b_1 b_2 + c_1 c_2 \end{cases} .$$

[0036] 假设 $\cos \theta_{12} = \frac{C_1 - C_2}{2D_{12}}$, $\sin \theta_{12} = \frac{C_{12}}{D_{12}}$, 其中, $D_{12} = \sqrt{C_{12}^2 + \left(\frac{C_1 - C_2}{2}\right)^2}$, 满

足 $\sin^2 \theta_{12} + \cos^2 \theta_{12} = 1$ 。则

$$[0037] \quad \|B\| = \sqrt{D_{12} \cos(\theta_{12} - 2\alpha_{12}) + \frac{C_1 + C_2}{2}} \quad (5)$$

[0038] 当 $\theta_{12} = 2\alpha_{12}$ 时, $\|B\|$ 达到最大值, 可以表示为:

$$[0039] \quad \|B\|_{\max} = \sqrt{D_{12} + \frac{C_1 + C_2}{2}} \quad (6)$$

[0040] 可得

$$[0041] \quad \alpha_{12} = \frac{1}{2} \arctan\left(\frac{2C_{12}}{C_1 - C_2}\right) \quad (7)$$

[0042] 即磁场源1最大磁感应强度矢量的水平旋转角 α_1 ,也就是传感器在X1OY1平面上的投影与X1轴的夹角 $\angle 1$ 。

[0043] 当线圈III被激励时,与线圈II或者线圈I组合,可以用同样的方法计算传感器在Y1OZ1平面上的投影与Y1轴的夹角 $\angle 2$ 和传感器在Z1OX1平面上的投影与Z1轴的夹角 $\angle 3$ 。

[0044] 由于 $\angle 1$ 、 $\angle 2$ 和 $\angle 3$ 可以表示为:

$$[0045] \quad \begin{cases} \tan \angle 1 = \frac{y}{x} \\ \tan \angle 2 = \frac{z}{y} \\ \tan \angle 3 = \frac{x}{z} \end{cases} \quad (8)$$

[0046] 磁场源1最大磁感应强度矢量的垂直旋转角 β_1 可以表示为:

$$[0047] \quad \tan \beta_1 = \frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2}} \quad (9)$$

[0048] 即

$$[0049] \quad \tan \beta_1 = \frac{\frac{\tan \angle 1 \tan \angle 2}{\sqrt{\tan^2 \angle 1 + 1}}}{\frac{\tan \angle 2}{\sqrt{\tan^2 \angle 2 \tan^2 \angle 3 + 1}} + \frac{1}{\sqrt{\tan^2 \angle 3 + \tan^2 \angle 1 \tan^2 \angle 3}}} \quad (10)$$

[0050] 为提高计算的准确性,磁场源1最大磁感应强度矢量的水平旋转角 α_1 和垂直旋转角 β_1 可以写为:

$$[0051] \quad \tan \alpha_1 = \frac{1}{2} \left(\tan \angle 1 + \frac{1}{\tan \angle 2 \tan \angle 3} \right) \quad (11)$$

$$[0052] \quad \tan \beta_1 = \frac{1}{3} \left(\frac{\tan \angle 1 \tan \angle 2}{\sqrt{\tan^2 \angle 1 + 1}} + \frac{\tan \angle 2}{\sqrt{\tan^2 \angle 2 \tan^2 \angle 3 + 1}} + \frac{1}{\sqrt{\tan^2 \angle 3 + \tan^2 \angle 1 \tan^2 \angle 3}} \right) \quad (12)$$

[0053] 即

$$[0054] \quad \alpha_1 = \arctan \left(\frac{1}{2} \left(\tan \angle 1 + \frac{1}{\tan \angle 2 \tan \angle 3} \right) \right) \quad (13)$$

$$[0055] \quad \beta_1 = \arctan \left(\frac{1}{3} \left(\frac{\tan \angle 1 \tan \angle 2}{\sqrt{\tan^2 \angle 1 + 1}} + \frac{\tan \angle 2}{\sqrt{\tan^2 \angle 2 \tan^2 \angle 3 + 1}} + \frac{1}{\sqrt{\tan^2 \angle 3 + \tan^2 \angle 1 \tan^2 \angle 3}} \right) \right) \quad (14)$$

[0056] 根据上述算法可计算出磁场源1最大磁感应强度矢量的旋转角 (α_1, β_1) 。

[0057] 磁场源2最大磁感应强度矢量的旋转角 (α_2, β_2) 可以在其坐标系2中(如图6所示),按照和磁场源1同样的方法进行计算, (α_2, β_2) 的算式如下:

$$[0058] \quad \alpha_2 = \arctan \left(\frac{1}{2} \left(\tan \angle 1' + \frac{1}{\tan \angle 2' \tan \angle 3'} \right) \right) \quad (15)$$

$$[0059] \quad \beta_2 = \arctan \left(\frac{1}{3} \left(\frac{\tan \angle 1' \tan \angle 2'}{\sqrt{\tan^2 \angle 1' + 1}} + \frac{\tan \angle 2'}{\sqrt{\tan^2 \angle 2' \tan^2 \angle 3' + 1}} + \frac{1}{\sqrt{\tan^2 \angle 3' + \tan^2 \angle 1' \tan^2 \angle 3'}} \right) \right) \quad (16)$$

[0060] 根据图6, $\angle 1'$ 、 $\angle 2'$ 和 $\angle 3'$ 的定义如下: $\angle 1'$ 是传感器在 $X20'$ $Y2$ 平面上的投影与 $X2$ 轴的夹角, $\angle 2'$ 是传感器在 $Y20'$ $Z2$ 平面上的投影与 $Y2$ 轴的夹角, $\angle 3'$ 是传感器在 $Z20'$ $X2$ 平面上的投影与 $Z2$ 轴的夹角。

[0061] 根据磁场源1和磁场源2之间的相对位置和两组旋转角 (α_1, β_1) 和 (α_2, β_2) ,通过几何算法即可获得三轴磁场传感器的空间位置。

[0062] 本发明的位置算法引用专利ZL 2010 1 0179332.2,利用分别激励上述磁场源装置的各个线圈所得的磁感应强度,可计算磁场源1和磁场源2的最大磁感应强度矢量对应的旋转角: (α_1, β_1) 和 (α_2, β_2) ,根据旋转角信息和两磁场源中心点之间的距离 d ,通过式(17)~(19)计算传感器在系统坐标系中的位置坐标 (x, y, z) 如下:

$$[0063] \quad x = \frac{d \tan \alpha_2}{\tan \alpha_1 + \tan \alpha_2} \quad (17)$$

$$[0064] \quad y = \frac{d \tan \alpha_1 \tan \alpha_2}{\tan \alpha_1 + \tan \alpha_2} \quad (18)$$

$$[0065] \quad z = \begin{cases} \frac{d \tan \alpha_2 \tan \beta_1}{\cos \alpha_1 \tan \alpha_2 + \sin \alpha_1} \\ \frac{d \tan \alpha_1 \tan \beta_2}{\sin \alpha_2 + \cos \alpha_2 \tan \alpha_1} \end{cases} \quad (19)$$

[0066] 由于本方法是一种根据相同三轴激励电流下的磁感应强度,理论推导任意激励电流下的磁感应强度,从而快速测定最大磁感应强度矢量旋转角的电磁跟踪方法,只需要分别对三轴线圈激励一次就可以实现定位,避免搜索过程,显著提高了系统的实时性。本发明不依赖于某种假定的磁场模型或迭代算法,快速有效,稳定性高,计算复杂度低,可应用于微创手术的导航,亦可运用于虚拟(增强)现实、三维超声成像等领域。

附图说明

[0067] 图1为按照本发明的实施例的装置部分的视图。

- [0068] 图2为图1中的装置的细节框图。
- [0069] 图3为本发明的实施例的磁场源装置三视图。
- [0070] 图4为本发明的实施例的系统工作流程框图。
- [0071] 图5为本发明的实施例的磁场源1最大磁感应强度矢量旋转角快速测定算法示意图。
- [0072] 图6为本发明的实施例的磁场源2最大磁感应强度矢量旋转角快速测定算法示意图。
- [0073] 图7为本发明的实施例的待测物体位置算法示意图。
- [0074] 图中标号:1为电磁跟踪系统,2为三轴磁场传感器装置,3为磁场源装置,4为控制处理显示装置,5为可控恒流源装置。6、7、8分别为三轴磁场传感器装置的三轴分量传感器,9为信号调理和模数转换模块;10、11分别为两个磁场源装置磁场源1和磁场源2,12、13、14分别为磁场源装置10的三轴线圈,15、16、17分别为磁场源装置11的三轴线圈;18为控制单元,19为算法单元,20为显示输出单元,21为采样处理模块,22为激励电流控制模块;23为恒流源,24为控制电路;25为磁感应强度数据,26为最大磁感应强度矢量旋转角数据;27为初始化过程模块,28为测量过程模块,29为计算过程模块,30为最大磁感应强度矢量旋转角计算过程模块,31为位置计算过程模块,32为显示输出过程模块。

具体实施方式

[0075] 下面结合具体实施例并参照附图,对系统组成及工作过程进行说明。本具体实施例所涉及的坐标系定义同表1,如图7所示;所涉及的水平旋转角和垂直旋转角定义同发明内容。

[0076] 本具体实施例设计了图1所示的电磁跟踪系统1,包括四个部分:三轴磁场传感器装置2、磁场源装置3、控制处理显示装置4、可控恒流源装置5。三轴磁场传感器装置2附着于跟踪目标上。磁场源装置3包括两个磁场源10和11(对应发明内容和权利要求书中所述磁场源1和磁场源2),分别由三个缠绕在由软磁铁氧体材料做成的磁芯上的、中心点重合且相互正交的线圈组成;两个磁场源中心点之间的距离为 a ,且对应的线圈互相平行。控制处理显示装置4控制可控恒流源装置5分别为磁场源装置3的各个线圈提供相同强度的激励电流。另外,控制处理显示装置4还采集三轴磁场传感器装置2的输出,分别计算磁场源10和11的最大磁感应强度矢量对应的旋转角以及三轴磁场传感器装置2的空间位置,并输出或显示定位结果。

[0077] 如图2所示为系统各部分的分解框图。

[0078] 三轴磁场传感器装置2包括三轴分量传感器6、7、8,分别用来检测三个正交方向 X_3 、 Y_3 和 Z_3 的磁感应强度。本实施例中的磁场传感器选用三轴磁阻传感器。传感器的输出经后续的信号调理和模拟-数字(AD)转换模块9送入控制处理显示装置4。

[0079] 磁场源装置3由磁场源装置10和11组成,磁场源装置10由三个缠绕在截面为圆形磁棒上的中心点重合且相互正交的线圈12、13和14组成;磁场源装置11由三个缠绕在截面为圆形磁棒上的中心点重合且相互正交的线圈15、16和17组成。系统中,构成磁场源的磁棒长为10cm,圆形截面直径为1cm,每个线圈匝数均为800匝,三轴激励电流均为1A。磁场源装置10和11的磁芯结构完全一样,其三视图如图3所示。

[0080] 控制处理显示装置4由DSP和PC机组成,包括控制单元18、算法单元19、显示输出单元20三个部分。控制单元18包括采样处理模块21和激励电流控制模块22。控制处理显示装置4实现对其他组件的控制、数据的采集和处理、跟踪结果的显示输出等。

[0081] 可控恒流源装置5由恒流源23和控制电路24组成。控制电路24由控制处理显示装置4的激励电流控制模块22控制,使得恒流源23输出的直流电流为磁场源装置3中的各个线圈提供激励电流,实现对构成两个磁场源装置10和11的两组线圈12、13、14和15、16、17的交替激励。

[0082] 图4所示为系统的工作流程框图。开机后系统首先进行初始化。之后的工作过程可分为测量过程28和计算过程29。其中测量过程是控制处理显示装置4控制可控恒流源装置5对磁场源装置3的各个线圈分别提供相同的激励电流,三轴磁场传感器装置2分别测量磁场源装置3的各个线圈被激励时产生的磁感应强度,然后系统即进入计算过程29。计算过程29包括最大磁感应强度矢量旋转角计算过程30和位置计算过程31,二者依次进行,分别计算磁场源装置10和11的最大磁感应强度矢量旋转角和磁场传感器的位置,其中位置计算算法是依赖于最大磁感应强度矢量旋转角的计算结果。每次计算完成时,执行显示输出过程32,实时更新跟踪结果。

[0083] 图5所示为磁场源1最大磁感应强度矢量旋转角快速测定算法的示意图。利用磁场源1的线圈I和线圈II被激励时的磁感应强度,通过式(1)~(7)可以计算出磁感应强度合矢量达到最大值时,即该磁感应强度合矢量将指向传感器在X1OY1平面内的投影时,该磁感应强度的合矢量与X1轴的夹角 α_1 ,即传感器在X1OY1平面上的投影与X1轴的夹角 $\angle 1$,同时也是磁场源1最大磁感应强度矢量的水平旋转角 β_1 。分别利用线圈II和线圈III、线圈I和线圈III被激励时的磁感应强度,可以用同样的方法计算传感器在Y1OZ1平面上的投影与Y1轴的夹角 $\angle 2$ 和传感器在Z1OX1平面上的投影与Z1轴的夹角 $\angle 3$ 。根据 $\angle 1$ 、 $\angle 2$ 和 $\angle 3$ 的空间位置关系,通过式(8)~(10)可以计算出磁场源1最大磁感应强度矢量的垂直旋转角 β_1 。为提高计算的准确性,磁场源1最大磁感应强度矢量的旋转角 (α_1, β_1) 可通过式(11)~(14)计算。

[0084] 图6所示为磁场源2最大磁感应强度矢量旋转角快速测定算法的示意图。磁场源2最大磁感应强度矢量的旋转角 (α_2, β_2) 可以在其坐标系2中,按照与公式(1)~(7)相同的步骤,在计算出 $\angle 1'$ 、 $\angle 2'$ 和 $\angle 3'$ 的基础上,通过式(15)~(16)进行计算。

[0085] 图7所示为位置算法的示意图。通过最大磁感应强度矢量旋转角快速测定算法可得到两组旋转角 (α_1, β_1) 和 (α_2, β_2) ,两磁场源中心点之间的距离 d 已知,则可通过式(17)~(19)计算传感器在系统坐标系中的位置坐标 (x, y, z) 。

[0086] 以上,仅为本发明的较佳实施例,但本发明的保护范围并不局限于此。任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内,可轻易想到的变化或者替换,都应涵盖在发明的保护范围之内。因此,本发明的保护范围应该以权利要求书要求所界定的保护范围为准。

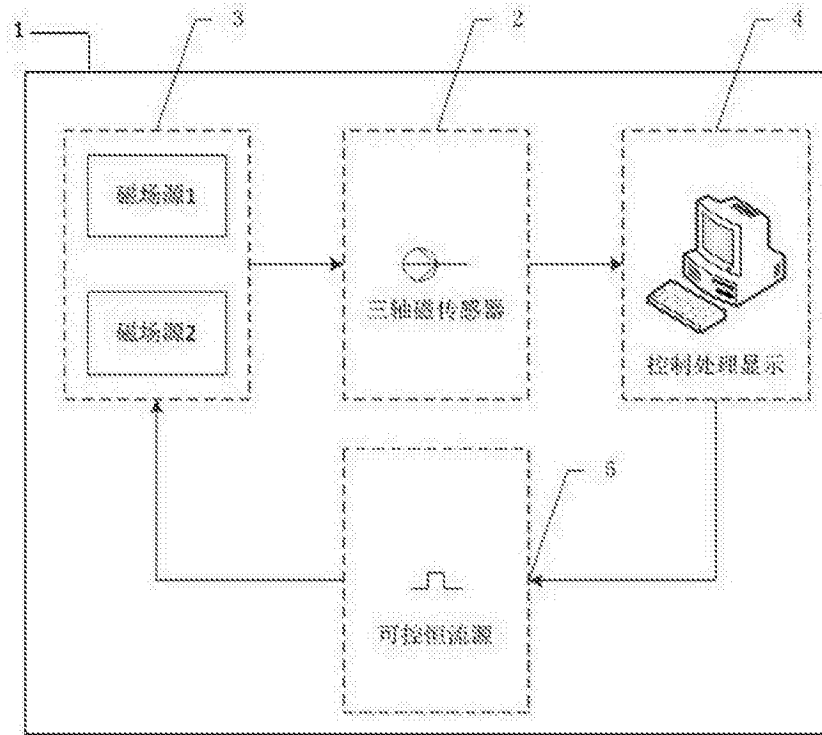


图1

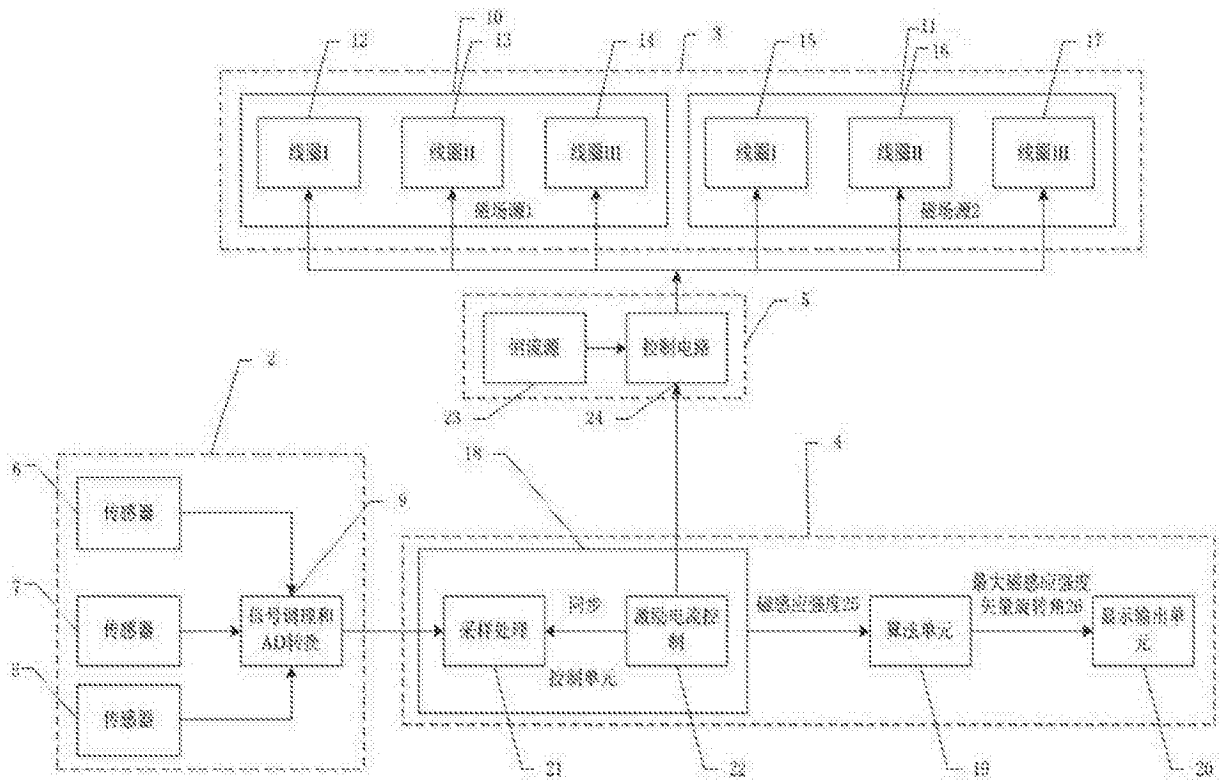


图2

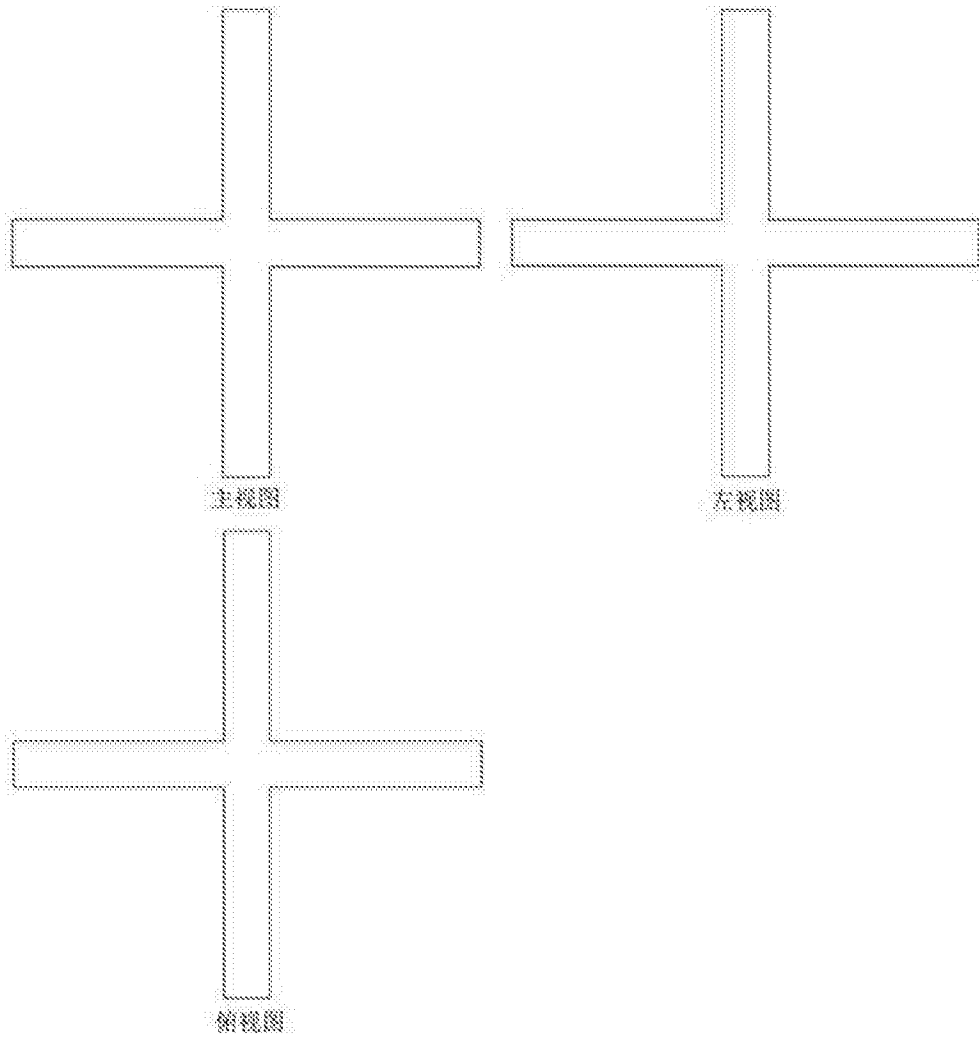


图3

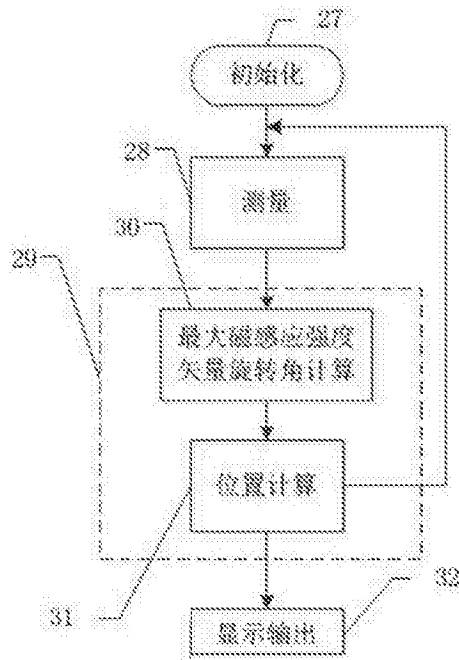


图4

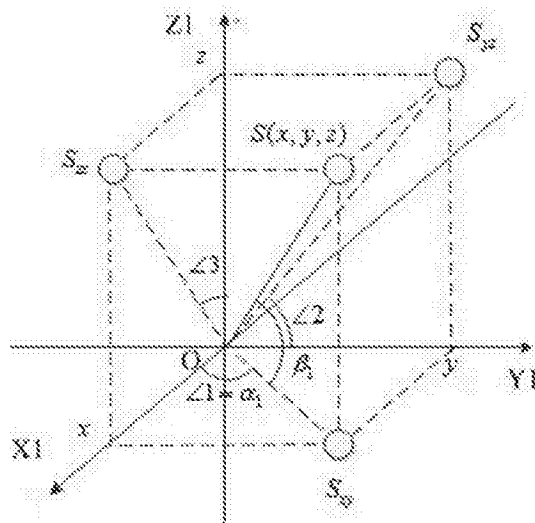


图5

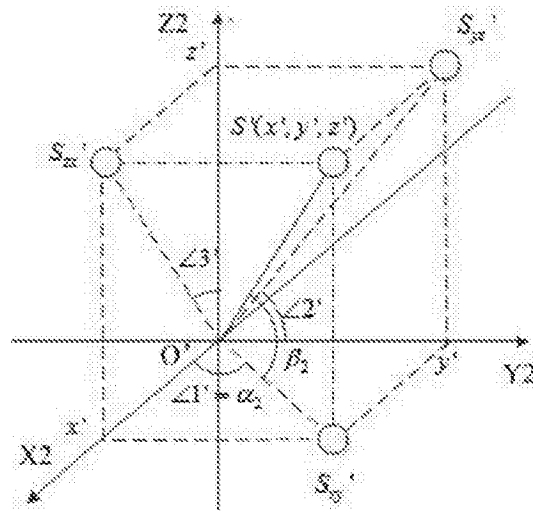


图6

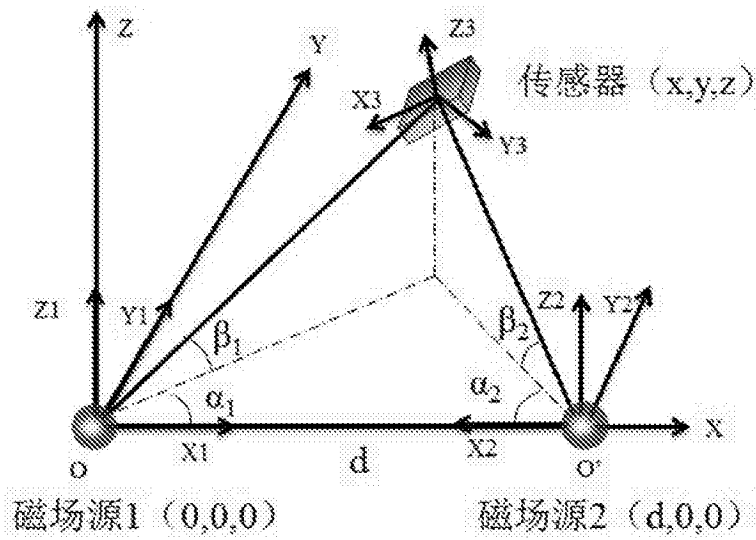


图7