



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103697824 A

(43) 申请公布日 2014. 04. 02

(21) 申请号 201310733992. 4

(22) 申请日 2013. 12. 26

(71) 申请人 北京信息科技大学

地址 100085 北京市海淀区清河小营东路  
12 号北京信息科技大学光电学院

(72) 发明人 祝连庆 娄小平 郭阳宽 董明利  
王君 周哲海 燕必希

(74) 专利代理机构 北京律恒立业知识产权代  
理事务所(特殊普通合伙)  
11416

代理人 蔡艳园 严业福

(51) Int. Cl.

G01B 11/03(2006. 01)

G01B 11/00(2006. 01)

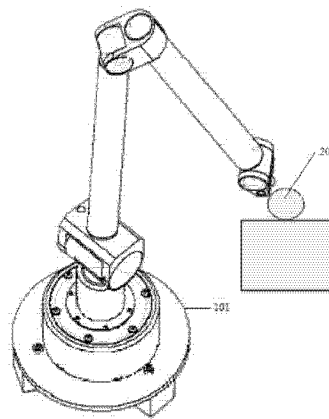
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

用于坐标测量机的测头的系统标定方法

(57) 摘要

本发明提供一种基于标准球的坐标测量机的光学测头的系统标定方法,步骤如下:a)将已知半径R的标准球放在坐标测量机的工作平台上;b)将测头安装在坐标测量机的移动末端,接着控制坐标测量机以合适的运动轨迹移动测头,在其测量范围之内,完成对工作平台上的标准球的点扫描,所述点扫描大致均匀覆盖整个标准球面,得到N组数据,N大于等于200,每一组数据包括测头的测点数值、坐标测量机的三坐标位置读数以及回转体的旋转角度;c)在上一步操作的基础上,选取N组数据中的一部分数据,经过坐标转换后带入球面约束方程,利用改进的非线性最小二乘法求解该超定非线性方程组即可求得待标定参数,完成系统标定。



1. 一种基于标准球的坐标测量机的光学测头的系统标定方法,步骤如下:

a). 将一已知半径 R 的标准球固定放置在坐标测量机的工作平台上;

b). 将测头安装在坐标测量机的移动末端,接着控制坐标测量机以合适的运动轨迹移动测头,在其测量范围之内,完成对工作平台上的标准球的点扫描,所述点扫描大致均匀覆盖整个标准球面,得到 N 组数据, N 大于等于 200,每一组数据包括测头的测点数值、坐标测量机的三坐标位置读数以及坐标测量机回转体的旋转角度;

c). 在上一步操作的基础上,选取 N 组数据中的一部分数据,经过坐标转换后,得到这些数据所对应的多个被测点 P 在坐标测量机的基准坐标系下面的坐标值  $(x_{p0}, y_{p0}, z_{p0})$ ,所述多个被测点 P 满足下面的球面约束方程,

$$(x_{p0}-a)^2+(y_{p0}-b)^2+(z_{p0}-c)^2=R^2 \quad \dots (1)$$

如此得到一个含有 N 个方程的超定非线性方程组,利用改进的非线性最小二乘法求解该超定非线性方程组即可求得待标定参数,完成系统标定。

2. 如权利要求 1 所述的系统标定方法,其中坐标测量机采用光学测头或接触式触头。

3. 如权利要求 1 所述的系统标定方法,其中所述标准球为一陶瓷标准球。

4. 如权利要求 1 所述的系统标定方法,其中所述待标定机为第 1、2 级关节可固定的变臂式坐标测量机。

5. 一种用于如权利要求 1 所述的基于标准球的坐标测量机的光学测头的系统标定方法的系统标定装置,包括一已知半径 R 的标准球。

## 用于坐标测量机的测头的系统标定方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于坐标测量机的测头的系统标定方法。

### 背景技术

[0002] 随着现代工业发展和科技的进步,很多零部件在尺寸上小型化,在型面上自由复杂化。由于需要对自由曲面进行三维测量,实际测量中,触头需要不断变换空间位置来完成采样点的扫描,大大的提高了测量检测的难度和精度要求。

[0003] 在实际应用中,由于三坐标测量机具有可测量空间大,精度高和通用性强等优点,常常利用坐标测量机来获取触头的空间位置,再进一步通过坐标转换得到自由曲面被测点的空间三维坐标信息,进而完成对被测曲面的扫描测量。

[0004] 一种坐标测量机采用接触式触发测头,通过坐标测量机的轴向移动来完成对自由曲面物体的扫描测量。触发测头获取距离信息,三维坐标信息由坐标测量机直接给出。

[0005] 还有一种坐标测量机配备有光学测头。然而,这种专用的光学测头价格昂贵,且测量精度低,而通用的一维光学测头安装调整极其困难,仅靠机械调整,难以达到微米级的精度,限制了光学测头的应用。

[0006] 综上,针对上述标定技术中存在的问题,需要一种高精度的测头标定方法。

### 发明内容

[0007] 本发明提供一种基于标准球的坐标测量机的光学测头的系统标定方法,步骤如下:a). 将一已知半径R的标准球固定放置在坐标测量机的工作平台上;b). 将测头安装在坐标测量机的移动末端,接着控制坐标测量机以合适的运动轨迹移动测头,在其测量范围之内,完成对工作平台上的标准球的点扫描,所述点扫描大致均匀覆盖整个标准球面,得到N组数据,N大于等于200,每一组数据包括测头的测点数值、坐标测量机的三坐标位置读数以及坐标测量机回转体的旋转角度;在上一步操作的基础上,选取N组数据中的一部分数据,经过坐标转换后,得到这些数据所对应的多个被测点P在坐标测量机的基准坐标系下面的坐标值 $(x_{p0}, y_{p0}, z_{p0})$ ,所述多个被测点P满足下面的球面约束方程,

$$[0008] \quad (x_{p0}-a)^2+(y_{p0}-b)^2+(z_{p0}-c)^2=R^2 \quad \dots (1),$$

[0009] 如此得到一个含有N个方程的超定非线性方程组,利用改进的非线性最小二乘法求解该超定非线性方程组即可求得待标定参数,完成系统标定。

[0010] 优选的,坐标测量机采用光学测头或接触式触头。

[0011] 优选的,所述标准球为一陶瓷标准球。

[0012] 优选的,所述待标定机为第1、2级关节可固定的变臂式坐标测量机。

[0013] 本发明提供一种用于上述方法的基于标准球的坐标测量机的光学测头的系统标定方法的系统标定装置,包括一已知半径R的标准球。

[0014] 应当理解,前述大体的描述和后续详尽的描述均为示例性说明和解释,并不应当用作对本发明所要求保护内容的限制。

## 附图说明

[0015] 参考随附的附图,本发明更多的目的和优点将通过本发明实施方式的如下描述得以阐明,其中:

[0016] 图 1 是根据本发明的具体实施方式的待标定机的示意图。

[0017] 图 2 是根据本发明的具体实施方式的系统标定过程的示意图。

[0018] 图 3 是坐标测量机的光学测头系统的标定坐标转换示意图。

## 具体实施方式

[0019] 在下文中,将参考附图描述本发明的实施例。在附图中,相同的附图标记代表相同或类似的部件,或者相同或类似的步骤。

[0020] 通过参考示范性实施例,本发明的目的和功能以及用于实现这些目的和功能的方法将得以阐明。然而,本发明并不受限于以下所公开的示范性实施例;可以通过不同形式来对其加以实现。说明书的实质仅仅是帮助相关领域技术人员综合理解本发明的具体细节。

[0021] 针对本发明结合示意图进行详细描述,在详述本发明实施例时,为便于说明,表示器件结构的剖面图会不依一般比例作局部放大,而且所述示意图只是示例,其在此不应限制本发明保护的范围。此外,在实际制作中应包含长度、宽度及深度的三维空间尺寸。

[0022] 下面参考附图,对本发明的具体实施方式进行说明。

[0023] 本发明要解决的技术问题是:实现坐标测量机光学测头的系统标定,即获取光学测头在坐标测量机的移动末端下的相对安装位置信息,即光学测头光束方向矢量和坐标变换矩阵。

[0024] 本发明以用于坐标测量机的光学测头的系统标定方法为例进行说明,该标定方法同样适用于对坐标测量机的接触式触头的系统标定。

[0025] 下面以一般的六自由度关节式坐标测量机作为待标定机进行说明,该坐标测量机具有光学测头。

[0026] 图 1 所示的待标定机为关节式柔性坐标测量机,具有六自由度。待标定机包括:基座 101,三段测量臂 102、103、104,关节 111、112、113、114、115、116,以及光学测头 105。

[0027] 在基座 101 上,由三段测量臂 101、102、103 串联的六个可旋转的关节 111、112、113、114、115、116 构成空间开链结构,该开链结构的末端是测量机的光学测头 105。各关节 111、112、113、114、115、116 可以绕其自身的轴线进行转动,关节转动的角度由其上安装的高精度圆光栅角度传感器控制获得。由于机械结构限制,其中关节 111、113、115 可在  $0 \sim 2\pi$  角度范围内旋转,而关节 112、114、116 可在  $-\pi \sim 0$  角度范围内旋转。

[0028] 优选的,待标定机为第 1、2 级关节可固定的变臂式坐标测量机,其关节 111、112 具有锁定装置,通过其可使测量臂 111、112 位置固定。变臂式坐标测量机在关节固定时的测量结果比用任意姿态测量获得的测量结果精度要高,同时变臂测量机由于关节可固定,相应测量时应用不同位姿要容易一些,不需要辅助支撑器件。

[0029] 关节式坐标测量机类似仿人手机械臂,但对测量位姿没有要求,因此对同一个测量点,可以采用任意姿态进行测量,这样就可以得到任意组测头坐标,由于误差的存在,使得这些测头坐标并不能完全相同,这被称之为测量机的重复性误差。目前,衡量关节式坐标

测量机的精度标准即采用重复性精度和测长精度。本实施方案充分考虑了关节式坐标测量机这一特点,对同一测量点采用不同姿态多次测量,同时为了满足空间误差分布规律,对不同位置上的单点进行测量。

[0030] 根据本发明的坐标测量机的光学测头的系统标定方法中,包括如下步骤:

[0031] 1. 如图 2 所示,将一陶瓷标准球 201 放在坐标测量机的工作平台上。

[0032] 在本实施例中,被测物体为一已知半径 R 的陶瓷标准球,该标准球是标定系统的关键部件之一,用来将标定过程中的所有被测点约束在一个球面上。因此,该陶瓷标准球要求很高的加工精度,以获得准确的原始数据,并进而获得精确的标定结果。

[0033] 2. 将光学三角测头安装在坐标测量机的移动末端,接着用计算机控制坐标测量机以合适的运动轨迹移动光学三角测头,在其测量范围之内,完成对工作平台上的标准球的点扫描,所述点扫描大致均匀覆盖整个标准球面,得到 N 组数据, N 大于等于 200,每一组数据包括光学测头的测距读数 t,坐标测量机的三坐标位置 (qx, qy, qz) 以及坐标测量机回转体的旋转角度。

[0034] 这里采用的是光学三角法测量法,这是一种非接触测量法,由测头光源发出的一束光束照射在待测物体表面上,通过漫反射或者散射最后在检测器上成像,当位置发生改变时,其所成的像在检测器上也发生相应的位移,通过标定得到像移和对应物体实际位移之间的非线性关系,即可在实际测量过程中,通过测得的像移对应得到实际物体的位移。在本发明中,通过光学三角测距系统,获取测头光束出射点到被测点沿光束方向的一维距离,然后在此距离值的基础上完成系统标定和被测点空间位置测量任务。本发明也可应用于光学三角法以外的其他测量方法,获得相应的测头测量数值。

[0035] 另外,在本发明中,为了提高测量系统的灵活度和测量范围,选用具有旋转角度的六自由度坐标测量机来灵活的进行光学测头的空间定位。

[0036] 3. 在上一步操作的基础上,选取其中的 100 组数据,经过坐标转换后带入球面约束方程,利用改进的非线性最小二乘法求解该超定非线性方程组即可求得待标定参数,完成系统标定。另外的 100 组数据用来评价标定误差。具体的系统标定原理和标定过程如下:

[0037] 如图 3 所示,建立如下四个坐标系:坐标测量机基准坐标系 0,坐标测量机移动末端坐标系 1,光学测头坐标系 2 (与坐标系 1 相差一个平移向量),测量零点坐标系 3 (以测头测点数值为零处的被测点为坐标原点,与坐标系 2 相差一个平移向量)。

[0038] 例如,标定过程中,光学三角测头的出射光线在标准球上面投射一个光点,记为 P 点,则 P 点在测量零点坐标系下的坐标表示为 P3,在光学测头坐标系下的坐标表示为 P2,在坐标测量机的移动末端坐标系下的坐标表示为 P1,最终转化为坐标测量机的基准坐标系下的坐标 P0,则有如下关系式:

$$[0039] \quad \text{测量零点坐标系下的坐标 } P3 : \begin{bmatrix} x_{p3} \\ y_{p3} \\ z_{p3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l^*t \\ m^*t \\ n^*t \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$[0040] \quad \text{光学测头坐标系下的坐标 } P2 : \begin{bmatrix} x_{p2} \\ y_{p2} \\ z_{p2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l^*(t+d_0) \\ m^*(t+d_0) \\ n^*(t+d_0) \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$[0041] \quad \text{坐标测量机的移动末端坐标系下的坐标 } P1: \begin{bmatrix} x_{p1} \\ y_{p1} \\ z_{p1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l^*(t+d_0) \\ m^*(t+d_0) \\ n^*(t+d_0) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} lx \\ ly \\ lz \end{bmatrix} \quad (3)$$

[0042] 坐标测量机的基准坐标系下的坐标 P0 :

[0043]

$$\begin{bmatrix} x_{p0} \\ y_{p0} \\ z_{p0} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r1 & r2 & r3 & qx \\ r4 & r5 & r6 & qy \\ r7 & r8 & r9 & qz \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x_{p1} \\ y_{p1} \\ z_{p1} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r1 & r2 & r3 & qx \\ r4 & r5 & r6 & qy \\ r7 & r8 & r9 & qz \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} l^*(t+d_0)+lx \\ m^*(t+d_0)+ly \\ n^*(t+d_0)+lz \\ 1 \end{bmatrix} = H^*P3 \quad (4)$$

[0044] 上式中, (l, m, n) 为待标定的光学三角测头出射光束的方向矢量, d0 为待标定的三角测头的基准距离, t 为三角测头的测距读数示值(正值表示沿光束照射方向, 负值表示光束反方向), (lx, ly, lz) 为坐标系 1 到坐标系 2 的平移向量(待标定的测头安装参数), H 是由坐标测量机决定的坐标系 1 到坐标系 2 的变换矩阵, 可以直接或者经简单的计算得到。

[0045] 测量得到的每一组数据包括光学测头的测距读数 t, 坐标测量机的三坐标位置 (qx, qy, qz) 以及坐标测量机回转体的旋转角度, 其中旋转角度可以通过固定的公式转换为旋转矩阵 r1 ~ r9。

[0046] 根据上面的公式, 可以得到多个被测点 P 在坐标测量机的基准坐标系下面的坐标值 P0 的表达式。

[0047] 根据这些被测点都在同一个标准球面上这一约束条件, 将 P0 拟合到该球面上, 其中球面半径 R 是已知的, 有如下球面约束方程:

$$[0048] \quad (x_{p0}-a)^2+(y_{p0}-b)^2+(z_{p0}-c)^2=R^2 \quad (5)$$

[0049] 结合上面的分析, 可知该方程是含有 10 个待求未知数的非线性方程, 这 10 个待求未知数为: 方向矢量 (l, m, n), 基准距离 d0, 平移向量 (lx, ly, lz), 球心坐标 (a, b, c)。每个不同的采样点各自对应一个这样形式的非线性方程, 为了求解该方程, 至少要采样 10 点来构成待求解的方程组。每个不同的采样点各自对应一个这样形式的非线性方程。由于实际操作中存在很多误差, 为了提高求解精度, 一般采样更多的点, 例如  $N \geq 200$ 。在这些点中可以灵活的选取一定数量的采样数据, 最终得到一个含有 N 个方程的超定非线性方程组。

[0050] 本发明在现有求解超定非线性方程组的基础上, 针对求解非线性方程的迭代算法的初值选取问题, 用改进的非线性最小二乘法来求解该非线性方程组。具体的, 对于高斯牛顿迭代算法的初值选取问题, 采用粒子群算法在一定范围之内随机选取初值, 一旦迭代过程进入局部最小则退出, 再重新选取初值, 直到求解结果满足一定的误差极限。

[0051] 最终获得光学测头在坐标测量机的移动末端下的相对安装位置信息, 即光学测头光束方向矢量和坐标变换矩阵, 完成系统标定。

[0052] 实验证明, 除了不可避免的测头一维位移测量的误差和坐标测量机回转体的定位误差以外, 本发明的标定方法没有引入任何其他误差, 在保证测头一维位移测量的误差和坐标测量机回转体的定位误差的情况下, 本发明的标定方法可以实现高的系统标定精度和稳定性, 使得标定后的测量系统具有高的测量精度。

[0053] 本发明与其它标定方法相比, 不需要借助于精密复杂的特殊标定靶标, 只需要控

制坐标测量机以合适的运动轨迹来完成对标准球的一定数量的点扫描,即可快速准确地完成坐标测量机光学测头的系统标定,操作简单,标定结果准确稳定,可靠性好,三维型面测量系统测量精度高。

[0054] 本发明以用于坐标测量机的光学测头的系统标定方法为例进行说明,该标定方法同样适用于对坐标测量机的接触式触头的系统标定。

[0055] 虽然已经参照本发明的示例性实施方式具体描述和显示了本发明,但是本领域的普通技术人员应该理解,在不脱离由权利要求限定的本发明的精神和范围的情况下,可以对其进行形式和细节的各种改变。

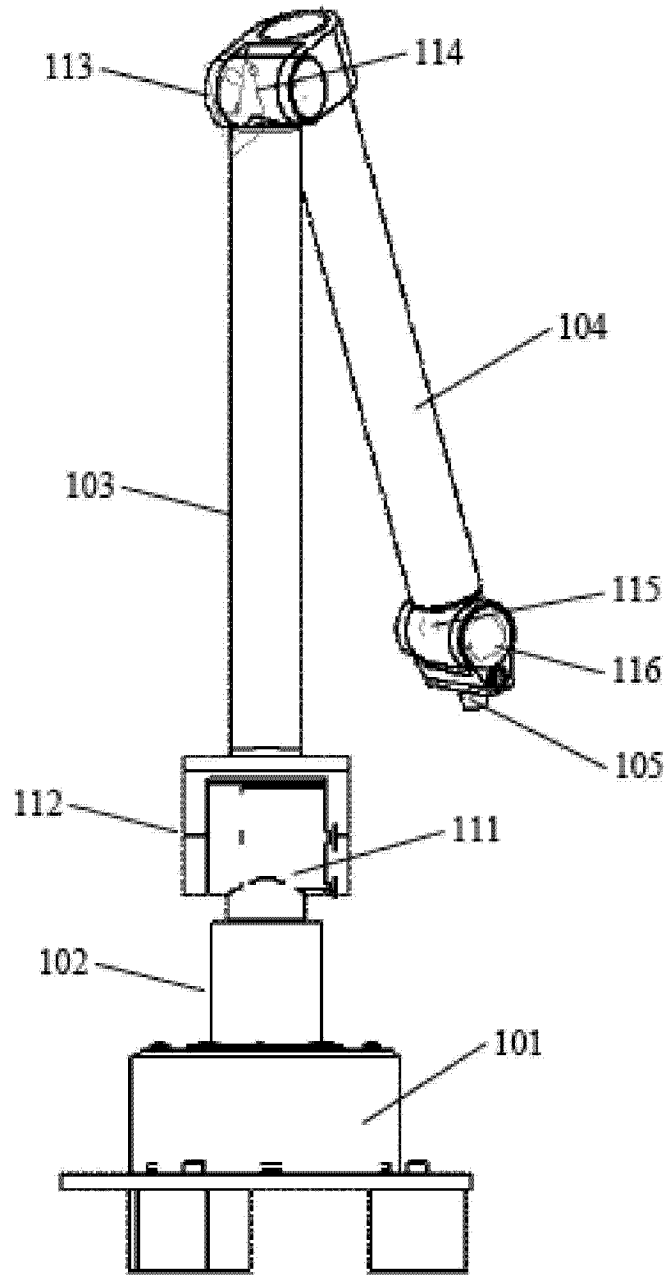


图 1



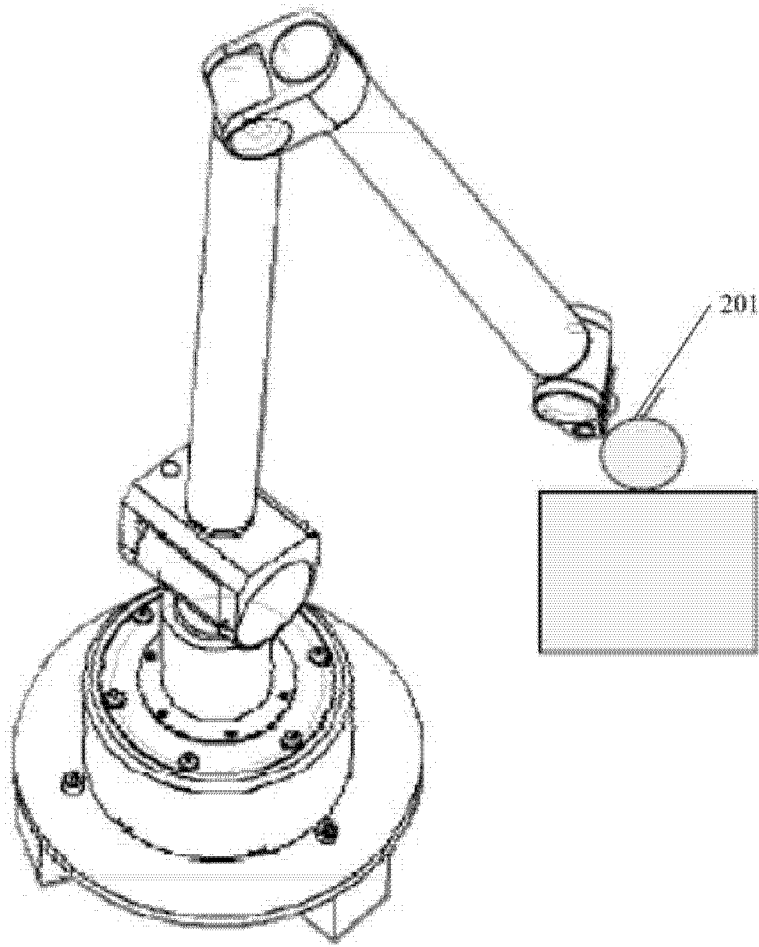


图 2

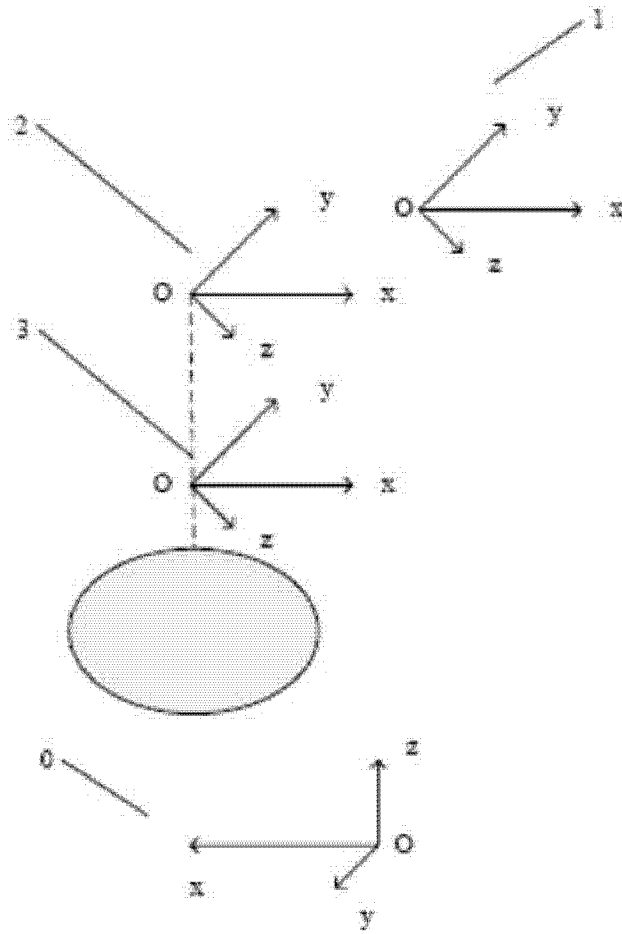


图 3