



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 109009376 B

(45)授权公告日 2019.12.17

(21)申请号 201810909100.4

A61B 90/00(2016.01)

(22)申请日 2018.08.10

(56)对比文件

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 109009376 A

CN 106859750 A,2017.06.20,
CN 101847182 A,2010.09.29,
US 2016042571 A1,2016.02.11,
CN 102429726 A,2012.05.02,
US 2011313418 A1,2011.12.22,
WO 9947060 A1,1999.09.23,
CN 105050517 A,2015.11.11,
CN 104390612 A,2015.03.04,

(43)申请公布日 2018.12.18

(73)专利权人 天津大学
地址 300350 天津市津南区海河教育园雅
观路135号天津大学北洋园校区

刘彦士.六轴并联机构在创伤长骨骨折移位
复位中的研究与应用.《中国优秀硕士学位论文
全文数据库 医药卫生科技辑》.2018,(第3期),
第4-49页.

(72)发明人 孙涛 刘思达 闫巍 宋轶民

(74)专利代理机构 天津市北洋有限责任专利代
理事务所 12201

代理人 王丽英

审查员 魏春晓

(51)Int.Cl.

A61B 17/66(2006.01)

A61B 34/10(2016.01)

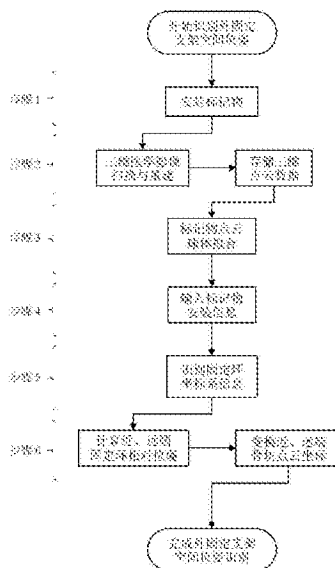
权利要求书3页 说明书7页 附图4页

(54)发明名称

骨折并联外固定支架空间位姿的自动识别
方法

(57)摘要

本发明公开了并联外固定支架空间位姿自动识别方法,主要包括以下步骤:向临床安装于患者骨折部位的并联外固定支架两端的两个固定环上,分别安装三个标记物;经过一般的三维医学影像系统扫描重建后,得到六个标记球体;使用球面拟合的方法识别六个标记球体的球心坐标;结合标记物在两个固定环上的实际安装情况,分别建立固结于两个固定环的坐标系、确定外固定支架的空间位置和姿态;此外,操作三维医学影像系统扫描得到的骨折骨块三维影像、模拟复位骨折的运动,可以计算外固定支架复位骨折的调节量。本发明的方法使用精确的三维医学影像作为信息来源且不需要手工测量,可以有效提高现有各类并联外固定支架的临床使用效率和精度。



1. 并联外固定支架空间位姿自动识别方法,其特征在于包括以下步骤:

(1) 安装标记物,步骤为:将连接患者骨折部位的并联外固定支架的两个固定环分别称为近端固定环(210)和远端固定环(211),在所述的近端固定环和远端固定环上分别安装三个标记物,六个标记物具有相同的结构,每个标记物包括标记球体和连接销轴;近端固定环上的三个标记物的球心与近端固定环上表面的距离为已知定值 h_m ;远端固定环上的三个标记物的球心与远端固定环上表面的距离同样为 h_m ;所述的标记球体与连接销轴分别采用不同的材料加工,使得标记球体可以被一般的三维医学影像系统识别,而连接销轴不会被识别;

(2) 获取三维影像,步骤为:对患者骨折部位和安装好所述的标记物的并联外固定支架进行三维医学影像扫描,经过阈值划分和三维重建,得到骨折近端骨块(310)、骨折远端骨块(311)和第一至第六标记球体的三维影像,将各三维影像数据使用三维点云的格式存储于计算机系统中;所述的三维点云的格式采用多个数据点组成的点云描述三维影像的表面形状;

(3) 拟合标记球体,步骤为:

(a) 针对六个标记球体的三维点云数据,结合已知的标记球体直径,采用球面拟合的方式,将第一标记球体至第六标记球体的点云分别拟合为六个球面;

(b) 操作人员借助骨折近端骨块三维影像和骨折远端骨块三维影像作为参考,指定三维影像中第一至第六标记球体与外固定支架上第一至第六标记物的对应关系,并存储于计算机系统中;

(4) 指定标记物安装信息,步骤为:

(a) 建立固结于所述的近端固定环的近端坐标系 $p-uvw$ 和固结于远端固定环的远端坐标系 $P-UVW$;

(b) 根据近端固定环(210)上的第一标记物(201)、第二标记物(202)和第三标记物(203)与近端固定环的实际连接情况,由已知的近端固定环的结构数据,计算出第一标记球体的第一标记球心、第二标记球体的第二标记球心和第三标记球体的第三标记球心在近端坐标系 $p-uvw$ 下的坐标值,分别为 $M_1(u_1 \ v_1 \ w_1)$, $M_2(u_2 \ v_2 \ w_2)$ 和 $M_3(u_3 \ v_3 \ w_3)$;由已知的远端固定环(211)的结构数据,计算远端固定环上的第四标记球体的第四标记球心、第五标记球体的第五标记球心以及第六标记球体的第六标记球心在远端坐标系 $P-UVW$ 下的坐标值 $M_4(U_4 \ V_4 \ W_4)$, $M_5(U_5 \ V_5 \ W_5)$ 和 $M_6(U_6 \ V_6 \ W_6)$;六个标记球体的球心的坐标值组成外固定支架的标记物安装信息;

(c) 将所述的标记物安装信息输入计算机系统;

(5) 识别坐标系空间信息,步骤为:

(a) 依据第一标记球心、第二标记球心和第三标记球心共面,且所共平面与所述的近端固定环的上表面平行,按下式求解近端固定环上表面的法向量 \overrightarrow{pw} ,对应近端坐标系 $p-uvw$ 的 \overrightarrow{pw} 轴:

$$\overrightarrow{pw} = \frac{\overrightarrow{M_1M_2} \times \overrightarrow{M_2M_3}}{|\overrightarrow{M_1M_2} \times \overrightarrow{M_2M_3}|}$$

式中, $\overline{M_1M_2}$ 表示点云参考坐标系0-xyz下第一标记球心指向第二标记球心的向量, $\overline{M_1M_2} = (x_{M2} - x_{M1} \quad y_{M2} - y_{M1} \quad z_{M2} - z_{M1})$; $\overline{M_2M_3}$ 表示点云参考坐标系0-xyz下第二标记球心指向第三标记球心的向量, $\overline{M_2M_3} = (x_{M3} - x_{M2} \quad y_{M3} - y_{M2} \quad z_{M3} - z_{M2})$;

(b) 设所述的近端坐标系p-uvw的原点p在点云参考坐标系0-xyz下的坐标为 $p_{0-xyz} = (x_{p0} \quad y_{p0} \quad z_{p0})$, 由步骤(4b) 计算得到的第一标记球心、第二标记球心和第三标记球心在近端坐标系p-uvw下的坐标值 $M_1(u_1 \quad v_1 \quad w_1)$ 、 $M_2(u_2 \quad v_2 \quad w_2)$ 和 $M_3(u_3 \quad v_3 \quad w_3)$, 由以下距离方程联立求解得到原点p在点云参考坐标系0-xyz下的坐标:

$$\begin{cases} |\overline{pM_1}|^2 = u_1^2 + v_1^2 + w_1^2 \\ |\overline{pM_2}|^2 = u_2^2 + v_2^2 + w_2^2 \\ |\overline{pM_3}|^2 = u_3^2 + v_3^2 + w_3^2 \end{cases}$$

(c) 在点云参考坐标系0-xyz下, 设近端坐标系p-uvw的 \overline{pu} 单位矢量值为 $\overline{pu}_{0-xyz} = (x_{pu} \quad y_{pu} \quad z_{pu})$; 同样在点云参考坐标系0-xyz下, 第一标记球心、第二标记球心和第三标记球心的矢量 $\overline{pM_1}$ 、 $\overline{pM_2}$ 和 $\overline{pM_3}$ 分别与 \overline{pu} 的矢量积等效于所述的第一标记球心、第二标记球心和第三标记球心在近端坐标系p-uvw下沿 \overline{pu} 轴的分量 u_1 、 u_2 和 u_3 , 表示为:

$$\begin{cases} \overline{pM_1} \cdot \overline{pu} = u_1 \\ \overline{pM_2} \cdot \overline{pu} = u_2 \\ \overline{pM_3} \cdot \overline{pu} = u_3 \end{cases}$$

其中 $\overline{pM_1}$ 、 $\overline{pM_2}$ 和 $\overline{pM_3}$ 分别由 $\overline{pM_1} = (x_{M1} - x_p \quad y_{M1} - y_p \quad z_{M1} - z_p)$ 、 $\overline{pM_2} = (x_{M2} - x_p \quad y_{M2} - y_p \quad z_{M2} - z_p)$ 和 $\overline{pM_3} = (x_{M3} - x_p \quad y_{M3} - y_p \quad z_{M3} - z_p)$ 计算, 求解上式方程组得到近端坐标系p-uvw的 \overline{pu} 坐标轴单位矢量;

(d) 按照右手法则计算所述的近端坐标系p-uvw的 \overline{pv} 坐标轴单位矢量:

$$\overline{pv} = \overline{pw} \cdot \overline{pu}$$

(e) 重复所述的步骤(a)-(d), 依据所述的第四标记球心、第五标记球心和第六标记球心在远端坐标系P-UVW下的坐标值 $M_4(U_4 \quad V_4 \quad W_4)$ 、 $M_5(U_5 \quad V_5 \quad W_5)$ 和 $M_6(U_6 \quad V_6 \quad W_6)$, 确定远端坐标系P-UVW的原点P在点云参考坐标系0-xyz下的坐标 $P_{0-xyz} = (x_{P0} \quad y_{P0} \quad z_{P0})$, 和远端坐标系P-UVW的三个坐标轴在点云参考坐标系0-xyz下的单位矢量 \overline{PU} 、 \overline{PV} 和 \overline{PW} ;

(f) 使用所述的近端坐标系p-uvw的原点坐标值 p_{0-xyz} 、坐标轴单位矢量 \overline{pu} 、 \overline{pv} 和 \overline{pw} , 确定近端坐标系p-uvw在点云参考坐标系0-xyz下的位置和姿态; 使用所述的远端坐标系P-UVW的原点坐标值 P_{0-xyz} 、坐标轴单位矢量 \overline{PU} 、 \overline{PV} 和 \overline{PW} , 确定远端坐标系P-UVW在点云参

坐标系0-xyz下的位置和姿态;然后将近端坐标系p-uvw的位置和姿态、远端坐标系P-UVW的位置和姿态输入计算机系统分别进行存储;

(6) 确定外固定支架空间位姿,步骤为:

(a) 基于所述的近端坐标系p-uvw和远端坐标系P-UVW的位置,计算近端坐标系原点p相对远端坐标系原点P的位置,确定近端固定环与远端固定环的相对位置,按如下的矢量形式表示:

$$\vec{r}_{pp} = P_{O-xyz} - P_{O-xyz} = (x_{pO} - x_{PO} \quad y_{pO} - y_{PO} \quad z_{pO} - z_{PO})$$

(b) 计算近端标系p-uvw相对远端坐标系P-UVW的姿态,确定近端固定环与远端固定环的相对姿态,按如下的矩阵形式表示:

$$R_p^p = \begin{bmatrix} \overrightarrow{pu \cdot PU} & \overrightarrow{pv \cdot PU} & \overrightarrow{pw \cdot PU} \\ \overrightarrow{pu \cdot PV} & \overrightarrow{pv \cdot PV} & \overrightarrow{pw \cdot PV} \\ \overrightarrow{pu \cdot PW} & \overrightarrow{pv \cdot PW} & \overrightarrow{pw \cdot PW} \end{bmatrix}$$

(c) 根据所述的近端固定环与远端固定环的相对位置矢量 \vec{r}_{pp} 和相对姿态矩阵 R_p^p ,确定外固定支架机构的空间位姿,完成了并联式骨折外固定支架空间位置和姿态的识别。

2. 根据权利要求1所述的并联外固定支架空间位姿自动识别方法,其特征在于:在近端固定环上连接的三个标记物以及在远端固定环上连接的三个标记物尽量相互远离。

3. 根据权利要求1所述的并联外固定支架空间位姿自动识别方法,其特征在于:所述的标记球体采用不锈钢或铝合金,连接销轴采用ABS或PE。

4. 根据权利要求1所述的并联外固定支架空间位姿自动识别方法,其特征在于:采用STL文件格式存储骨折近端骨块、骨折远端骨块和第一至第六标记球体的三维影像数据。

5. 根据权利要求1-4之一所述的并联外固定支架空间位姿自动识别方法,其特征在于:采用最小二乘法拟合每个标记球体点云的球面:建立三维点云统一的点云参考坐标系0-xyz,设任意标记球体点云通过拟合得到的球面球心在点云参考坐标系0-xyz下的坐标为 $(x_{Mk} \ y_{Mk} \ z_{Mk})$,其中, M_k 表示任意第k个标记球体,则任意标记球体点云的任意第i点与拟合球体球心的距离为:

$$D_i(x_{Mk}, y_{Mk}, z_{Mk}) = (x_i - x_{Mk})^2 + (y_i - y_{Mk})^2 + (z_i - z_{Mk})^2$$

式中 x_i , y_i 和 z_i 表示所述的任意标记球体点云的第i点在点云参考坐标系0-xyz下的坐标,上述距离 D_i 与真实球半径残差的平方和为:

$$S(x_{Mk}, y_{Mk}, z_{Mk}) = \sum (D_i^2 - d_{Mk}^2)^2$$

式中 d_{Mk} 是已知的任意标记球体的直径,将所述的残差平方和S分别对 x_{Mk} , y_{Mk} 和 z_{Mk} 求偏导,当残差平方和S关于 x_{Mk} , y_{Mk} 和 z_{Mk} 的偏导均为0时,得到残差平方和S的多个或一个极值点,经过比较所述的多个极值点后得到的残差平方和S的最小值,在残差平方和S的最小值下对应的 x_{Mk} , y_{Mk} 和 z_{Mk} 即为所述的任意标记球体经拟合得到球面的球心坐标。

骨折并联外固定支架空间位姿的自动识别方法

技术领域

[0001] 本发明涉及骨科外固定领域,特别是涉及一种基于医学三维影像,自动识别并联式骨折外固定支架空间位置和姿态的方法。

背景技术

[0002] 并联式外固定支架一般由一对与骨折骨块固定相连的固定环和六根连接固定环的支链构成。使用并联外固定支架不仅可以稳定地固定骨折断端,且可以通过调节支架固定环的空间相对位置和姿态,调整骨折断端、实现更精确的骨折复位。此外,并联外固定支架还可用于肢体截骨矫形术后的骨块调整、实现骨畸形矫正。因为患者的骨折情况具有个体性,临床安装并联外固定支架的方式存在不确定性,所以使用外固定支架复位骨折/矫正骨畸形前需要确定并联外固定支架的空间位置和姿态,并依据实际位姿制定外固定支架的调整方案。并联外固定支架的空间位置和姿态包括外固定支架机构的空间位姿和骨折骨块相对外固定支架的空间位姿。如何通过临床的信息求解外固定支架的空间位姿,是使用并联外固定支架的一大难点。

[0003] 专利US9204937和EP2767252提出了一类确定并联外固定支架空间位姿的方法,主要包括:首先,拍摄含有完整外固定支架的骨折部位的X射线正位片和侧位片;其次,在X射线影像上手工测量骨折断端间的位姿参数、骨块与外固定支架间的安装参数,读取外固定支架各个支链的长度,并测量肢体相对外固定支架轴线的旋转角度;进而,使用上述参数逆向求解并联外固定支架及骨折骨块的空间位置和空间姿态,确定外固定支架的形态。上述专利提出的方法需要进行大量的人工测量操作,操作繁琐,存在多种主、客观误差,且所使用的X射线影像不能反映骨块与外固定支架之间的轴向成角量,导致并联外固定支架临床使用的效率低、调整精度与支架机械结构的性能不符。

发明内容

[0004] 本发明的目的在于克服已有技术的缺点,提供一种可以真实、完全地反映并联外固定支架及骨折部位的空间结构和状态的骨折并联外固定支架空间位姿的自动识别方法。

[0005] 本发明采用的技术方案是:

[0006] 并联外固定支架空间位姿自动识别方法,包括以下步骤:

[0007] (1) 安装标记物,步骤为:将连接患者骨折部位的并联外固定支架的两个固定环分别称为近端固定环和远端固定环,在所述的近端固定环和远端固定环上分别安装三个标记物,六个标记物具有相同的结构,每个标记物包括标记球体和连接销轴;近端固定环上的三个标记物的球心与近端固定环上表面的距离为已知定值 h_m ;远端固定环上的三个标记物的球心与远端固定环上表面的距离同样为 h_m ;所述的标记球体与连接销轴分别采用不同的材料加工,使得标记球体可以被一般的三维医学影像系统识别,而连接销轴不会被识别;

[0008] (2) 获取三维影像,步骤为:对患者骨折部位和安装好所述的标记物的并联外固定支架进行三维医学影像扫描,经过阈值划分和三维重建,得到骨折近端骨块、骨折远端骨块

和第一至第六标记球体的三维影像,将各三维影像数据使用三维点云的格式存储于计算机系统中;所述的三维点云的格式采用多个数据点组成的点云描述三维影像的表面形状;

[0009] (3) 拟合标记球体,步骤为:

[0010] (a) 针对六个标记球体的三维点云数据,结合已知的标记球体直径,采用球面拟合的方式,将第一标记球体至第六标记球体的点云分别拟合为六个球面;

[0011] (b) 操作人员借助骨折近端骨块三维影像和骨折远端骨块三维影像作为参考,指定三维影像中第一至第六标记球体与外固定支架上第一至第六标记物的对应关系,并存储于计算机系统中;

[0012] (4) 指定标记物安装信息,步骤为:

[0013] (a) 建立固结于所述的近端固定环的近端坐标系p-uvw和固结于远端固定环的远端坐标系P-UVW;

[0014] (b) 根据近端固定环上的第一标记物、第二标记物和第三标记物与近端固定环的实际连接情况,由已知的近端固定环的结构数据,计算出第一标记球体的第一标记球心、第二标记球体的第二标记球心和第三标记球体的第三标记球心在近端坐标系p-uvw下的坐标值,分别为 $M_1(u_1 \ v_1 \ w_1)$, $M_2(u_2 \ v_2 \ w_2)$ 和 $M_3(u_3 \ v_3 \ w_3)$;由已知的远端固定环的结构数据,计算远端固定环上的第四标记球体的第四标记球心、第五标记球体的第五标记球心以及第六标记球体的第六标记球心在远端坐标系P-UVW下的坐标值 $M_4(U_4 \ V_4 \ W_4)$, $M_5(U_5 \ V_5 \ W_5)$ 和 $M_6(U_6 \ V_6 \ W_6)$;六个标记球体的球心的坐标值组成外固定支架的标记物安装信息;

[0015] (c) 将所述的标记物安装信息输入计算机系统;

[0016] (5) 识别坐标系空间信息,步骤为:

[0017] (a) 依据第一标记球心、第二标记球心和第三标记球心共面,且所共平面与所述的近端固定环的上表面平行,按下式求解近端固定环上表面的法向量 \overrightarrow{pw} ,对应近端坐标系p-uvw的 \overrightarrow{pw} 轴:

$$[0018] \quad \overrightarrow{pw} = \frac{\overrightarrow{M_1M_2} \times \overrightarrow{M_2M_3}}{|\overrightarrow{M_1M_2} \times \overrightarrow{M_2M_3}|}$$

[0019] 式中, $\overrightarrow{M_1M_2}$ 表示点云参考坐标系0-xyz下第一标记球心指向第二标记球心的向量, $\overrightarrow{M_1M_2} = (x_{M2} - x_{M1} \ y_{M2} - y_{M1} \ z_{M2} - z_{M1})$; $\overrightarrow{M_2M_3}$ 表示点云参考坐标系0-xyz下第二标记球心指向第三标记球心的向量, $\overrightarrow{M_2M_3} = (x_{M3} - x_{M2} \ y_{M3} - y_{M2} \ z_{M3} - z_{M2})$;

[0020] (b) 设所述的近端坐标系p-uvw的原点p在点云参考坐标系0-xyz下的坐标为 $p_{0-xyz} = (x_{p0} \ y_{p0} \ z_{p0})$,由步骤(4b)计算得到的第一标记球心、第二标记球心和第三标记球心在近端坐标系p-uvw下的坐标值 $M_1(u_1 \ v_1 \ w_1)$ 、 $M_2(u_2 \ v_2 \ w_2)$ 和 $M_3(u_3 \ v_3 \ w_3)$,由以下距离方程联立求解得到原点p在点云参考坐标系0-xyz下的坐标:

$$[0021] \quad \begin{cases} \overline{pM_1}^2 = u_1^2 + v_1^2 + w_1^2 \\ \overline{pM_2}^2 = u_2^2 + v_2^2 + w_2^2 \\ \overline{pM_3}^2 = u_3^2 + v_3^2 + w_3^2 \end{cases}$$

[0022] (c) 在点云参考坐标系0-xyz下, 设近端坐标系p-uvw的 \overline{pu} 单位矢量值为 $\overline{pu}_{0-xyz} = (x_{pu} \ y_{pu} \ z_{pu})$; 同样在点云参考坐标系0-xyz下, 第一标记球心、第二标记球心和第三标记球心的矢量 $\overline{pM_1}$ 、 $\overline{pM_2}$ 和 $\overline{pM_3}$ 分别与 \overline{pu} 的矢量积等效于所述的第一标记球心、第二标记球心和第三标记球心在近端坐标系p-uvw下沿 \overline{pu} 轴的分量 u_1 、 u_2 和 u_3 , 表示为:

$$[0023] \quad \begin{cases} \overline{pM_1} \cdot \overline{pu} = u_1 \\ \overline{pM_2} \cdot \overline{pu} = u_2 \\ \overline{pM_3} \cdot \overline{pu} = u_3 \end{cases}$$

[0024] 其中 $\overline{pM_1}$ 、 $\overline{pM_2}$ 和 $\overline{pM_3}$ 分别由 $\overline{pM_1} = (x_{M1} - x_p \ y_{M1} - y_p \ z_{M1} - z_p)$ 、 $\overline{pM_2} = (x_{M2} - x_p \ y_{M2} - y_p \ z_{M2} - z_p)$ 和 $\overline{pM_3} = (x_{M3} - x_p \ y_{M3} - y_p \ z_{M3} - z_p)$ 计算, 求解上式方程组得到近端坐标系p-uvw的 \overline{pu} 坐标轴单位矢量;

[0025] (d) 按照右手法则计算所述的近端坐标系p-uvw的 \overline{pv} 坐标轴单位矢量:

$$[0026] \quad \overline{pv} = \overline{pw} \cdot \overline{pu}$$

[0027] (e) 重复所述的步骤(a)-(d), 依据所述的第四标记球心、第五标记球心和第六标记球心在远端坐标系P-UVW下的坐标值 $M_4(U_4 \ V_4 \ W_4)$ 、 $M_5(U_5 \ V_5 \ W_5)$ 和 $M_6(U_6 \ V_6 \ W_6)$, 确定远端坐标系P-UVW的原点P在点云参考坐标系0-xyz下的坐标 $P_{0-xyz} = (x_{p0} \ y_{p0} \ z_{p0})$, 和远端坐标系P-UVW的三个坐标轴在点云参考坐标系0-xyz下的单位矢量 \overline{PU} 、 \overline{PV} 和 \overline{PW} ;

[0028] (f) 使用所述的近端坐标系p-uvw的原点坐标值 p_{0-xyz} 、坐标轴单位矢量 \overline{pu} 、 \overline{pv} 和 \overline{pw} , 确定近端坐标系p-uvw在点云参考坐标系0-xyz下的位置和姿态; 使用所述的远端坐标系P-UVW的原点坐标值 P_{0-xyz} 、坐标轴单位矢量 \overline{PU} 、 \overline{PV} 和 \overline{PW} , 确定远端坐标系P-UVW在点云参考坐标系0-xyz下的位置和姿态; 然后将近端坐标系p-uvw的位置和姿态、远端坐标系P-UVW的位置和姿态输入计算机系统分别进行存储;

[0029] (6) 确定外固定支架空间位姿, 步骤为:

[0030] (a) 基于所述的近端坐标系p-uvw和远端坐标系P-UVW的位置, 计算近端坐标系原点p相对远端坐标系原点P的位置, 确定近端固定环与远端固定环的相对位置, 按如下的矢量形式表示:

$$[0031] \quad \overline{r_{pp}} = P_{0-xyz} - p_{0-xyz} = (x_{p0} - x_{p0} \ y_{p0} - y_{p0} \ z_{p0} - z_{p0})$$

[0032] (b) 计算近端标系p-uvw相对远端坐标系P-UVW的姿态, 确定近端固定环与远端固

定环的相对姿态,按如下的矩阵形式表示:

$$[0033] \quad \mathbf{R}_p^p = \begin{bmatrix} \overrightarrow{pu} \cdot \overrightarrow{PU} & \overrightarrow{pv} \cdot \overrightarrow{PU} & \overrightarrow{pw} \cdot \overrightarrow{PU} \\ \overrightarrow{pu} \cdot \overrightarrow{PV} & \overrightarrow{pv} \cdot \overrightarrow{PV} & \overrightarrow{pw} \cdot \overrightarrow{PV} \\ \overrightarrow{pu} \cdot \overrightarrow{PW} & \overrightarrow{pv} \cdot \overrightarrow{PW} & \overrightarrow{pw} \cdot \overrightarrow{PW} \end{bmatrix}$$

[0034] (c) 根据所述的近端固定环与远端固定环的相对位置矢量 $\overrightarrow{r_{pp}}$ 和相对姿态矩阵 \mathbf{R}_p^p ,确定外固定支架机构的空间位姿,完成了并联式骨折外固定支架空间位置和姿态的识别。

[0035] 本发明的优点在于:本发明的方法不需要进行测量、仅需要输入一些已知结构数据,操作简单可靠;本发明所使用的信息来源为三维医学影像系统,可以真实、完全地反映并联外固定支架及骨折部位的空间结构和状态。使用本发明的方法可以有效提高现有并联外固定支架的临床使用效率和精度。

附图说明

[0036] 图1是本发明的并联外固定支架空间位姿自动识别方法的流程框图;

[0037] 图2是在一种固定骨折的并联外固定支架上,安装标记物的效果示意图;

[0038] 图3是针对图1所示骨折部位及外固定支架进行三维医学影像扫描得到的一种三维影像图;

[0039] 图4是外固定支架的第一标记物、第二标记物和第三标记物和近端坐标系的空间位置关系示意图;

[0040] 图5是外固定支架的第四标记物、第五标记物和第六标记物和远端坐标系的空间位置关系示意图。

具体实施方式

[0041] 下面结合附图,对本发明的具体实施方式进行详细说明。

[0042] 本发明的并联外固定支架空间位姿自动识别方法如图1所示,包括以下步骤:

[0043] (1) 安装标记物,步骤为:将连接患者骨折部位的并联外固定支架的两个固定环分别称为近端固定环210和远端固定环211,在所述的近端固定环210和远端固定环211上分别安装三个标记物,按顺序称为第一标记物201、第二标记物202、第一标记物203、第二标记物204、第三标记物205、第二标记物206(见图2)。优选地,第一、第二和第三标记物201~203在近端固定环210上尽量相互远离;第四、第五和第六标记物204~206在远端固定环211上尽量相互远离,可有效提升本方法识别的精度。六个标记物具有相同的结构,每个标记物包括标记球体和连接销轴。所述的第一标记物201、第二标记物202和第三标记物203安装后,标记球体的球心与近端固定环210上表面的距离为已知定值 h_m ;第四标记物204、第五标记物205和第六标记物206安装后,标记球体的球心与远端固定环211上表面的距离同样为 h_m 。所述的标记球体与连接销轴分别采用不同的材料加工,使得标记球体可以被一般的三维医学影像系统识别,而连接销轴不会被识别;优选地,所述的标记球体可以采用不锈钢或铝合金等金属材料,连接销轴可以采用ABS或PE等塑料材料。

[0044] (2) 获取三维影像,步骤为:对患者骨折部位和安装好所述的标记物的并联外固定支架进行三维医学影像扫描,经过阈值划分和三维重建,得到骨折近端骨块310、骨折远端

骨块311和第一至第六标记球体301~306的三维影像(见图3)。将各三维影像数据使用三维点云的格式存储于计算机系统中;所述的三维点云的格式采用多个数据点组成的点云描述三维影像的表面形状。优选地,采用STL文件格式存储所述的三维影像数据。

[0045] (3) 拟合标记球体,步骤为:

[0046] (a) 针对六个标记球体的三维点云数据,结合已知的标记球体直径,采用球面拟合的方式,将第一标记球体301至第六标记球体306的点云分别拟合为六个球面。

[0047] 优选地,采用最小二乘法拟合每个标记球体点云的球面:建立三维点云统一的点云参考坐标系0-xyz,设任意标记球体点云通过拟合得到的球面球心在点云参考坐标系0-xyz下的坐标为 $(x_{Mk} \ y_{Mk} \ z_{Mk})$,其中, M_k 表示任意第k个标记球体,则任意标记球体点云的任意第i点与拟合球体球心的距离为:

$$[0048] \quad D_i(x_{Mk}, y_{Mk}, z_{Mk}) = (x_i - x_{Mk})^2 + (y_i - y_{Mk})^2 + (z_i - z_{Mk})^2 \quad (1)$$

[0049] 式中 x_i , y_i 和 z_i 表示所述的任意标记球体点云的第i点在点云参考坐标系0-xyz下的坐标。上述距离 D_i 与真实球半径残差的平方和为:

$$[0050] \quad S(x_{Mk}, y_{Mk}, z_{Mk}) = \sum (D_i^2 - d_{Mk}^2)^2 \quad (2)$$

[0051] 式中 d_{Mk} 是已知的任意标记球体的直径。将所述的残差平方和S分别对 x_{Mk} , y_{Mk} 和 z_{Mk} 求偏导,当残差平方和S关于 x_{Mk} , y_{Mk} 和 z_{Mk} 的偏导均为0时,得到残差平方和S的多个或一个极值点。经过比较所述的多个极值点后得到的残差平方和S的最小值,在残差平方和S的最小值下对应的 x_{Mk} , y_{Mk} 和 z_{Mk} 即为所述的任意标记球体经拟合得到球面的球心坐标。

[0052] (b) 操作人员借助骨折近端骨块三维影像310和骨折远端骨块三维影像311作为参考,指定三维影像中第一至第六标记球体与外固定支架上第一至第六标记物201~206的对应关系,并存储于计算机系统中。

[0053] (4) 指定标记物安装信息,步骤为:

[0054] (a) 建立固结于所述的近端固定环210的近端坐标系p-uvw和固结于远端固定环211的远端坐标系P-UVW。

[0055] (b) 根据所述的第一标记物201、第二标记物202和第三标记物203与近端固定环210的实际连接情况,由已知的近端固定环210的结构数据,计算出第一标记球体201的第一标记球心、第二标记球体202的第二标记球心和第三标记球体203的第三标记球心在近端坐标系p-uvw下的坐标值,分别为 $M_1(u_1 \ v_1 \ w_1)$, $M_2(u_2 \ v_2 \ w_2)$ 和 $M_3(u_3 \ v_3 \ w_3)$ (见图4);由已知的远端固定环211的结构数据,计算第四标记球体的第四标记球心、第五标记球体的第五标记球心以及第六标记球体的第六标记球心在远端坐标系P-UVW下的坐标值 $M_4(U_4 \ V_4 \ W_4)$, $M_5(U_5 \ V_5 \ W_5)$ 和 $M_6(U_6 \ V_6 \ W_6)$ (见图5)。六个标记球体301、302、303、304、305和306的球心的坐标值组成外固定支架的标记物安装信息。

[0056] (c) 将所述的标记物安装信息输入计算机系统。

[0057] (5) 识别坐标系空间信息,步骤为:

[0058] (a) 依据第一标记球心、第二标记球心和第三标记球心共面,且所共平面与所述的近端固定环210的上表面平行,按下式求解近端固定环210上表面的法向量 \vec{pw} ,对应近端坐标系p-uvw的 \vec{pw} 轴:

$$[0059] \quad \overrightarrow{pw} = \frac{\overrightarrow{M_1M_2} \times \overrightarrow{M_2M_3}}{|\overrightarrow{M_1M_2} \times \overrightarrow{M_2M_3}|} \quad (3)$$

[0060] 式中, $\overrightarrow{M_1M_2}$ 表示点云参考坐标系0-xyz下第一标记球心指向第二标记球心的向量, $\overrightarrow{M_1M_2} = (x_{M2} - x_{M1} \quad y_{M2} - y_{M1} \quad z_{M2} - z_{M1})$; $\overrightarrow{M_2M_3}$ 表示点云参考坐标系0-xyz下第二标记球心指向第三标记球心的向量, $\overrightarrow{M_2M_3} = (x_{M3} - x_{M2} \quad y_{M3} - y_{M2} \quad z_{M3} - z_{M2})$ 。

[0061] (b) 设所述的近端坐标系p-uvw的原点p在点云参考坐标系0-xyz下的坐标为 $p_{0-xyz} = (x_{p0} \quad y_{p0} \quad z_{p0})$, 由已知的第一标记球心、第二标记球心和第三标记球心在近端坐标系p-uvw下的坐标值 $M_1(u_1 \quad v_1 \quad w_1)$ 、 $M_2(u_2 \quad v_2 \quad w_2)$ 和 $M_3(u_3 \quad v_3 \quad w_3)$, 由以下距离方程联立求解得到原点p在点云参考坐标系0-xyz下的坐标:

$$[0062] \quad \begin{cases} |\overrightarrow{pM_1}|^2 = u_1^2 + v_1^2 + w_1^2 \\ |\overrightarrow{pM_2}|^2 = u_2^2 + v_2^2 + w_2^2 \\ |\overrightarrow{pM_3}|^2 = u_3^2 + v_3^2 + w_3^2 \end{cases} \quad (4)$$

[0063] (c) 在点云参考坐标系0-xyz下, 设近端坐标系p-uvw的 \overrightarrow{pu} 单位矢量值为 $\overrightarrow{pu}_{0-xyz} = (x_{pu} \quad y_{pu} \quad z_{pu})$; 同样在点云参考坐标系0-xyz下, 第一标记球心、第二标记球心和第三标记球心的矢量 $\overrightarrow{pM_1}$ 、 $\overrightarrow{pM_2}$ 和 $\overrightarrow{pM_3}$ 分别与 \overrightarrow{pu} 的矢量积等效于所述的第一标记球心、第二标记球心和第三标记球心在近端坐标系p-uvw下沿 \overrightarrow{pu} 轴的分量 u_1 、 u_2 和 u_3 , 表示为:

$$[0064] \quad \begin{cases} \overrightarrow{pM_1} \cdot \overrightarrow{pu} = u_1 \\ \overrightarrow{pM_2} \cdot \overrightarrow{pu} = u_2 \\ \overrightarrow{pM_3} \cdot \overrightarrow{pu} = u_3 \end{cases} \quad (5)$$

[0065] 其中 $\overrightarrow{pM_1}$ 、 $\overrightarrow{pM_2}$ 和 $\overrightarrow{pM_3}$ 分别由 $\overrightarrow{pM_1} = (x_{M1} - x_p \quad y_{M1} - y_p \quad z_{M1} - z_p)$ 、 $\overrightarrow{pM_2} = (x_{M2} - x_p \quad y_{M2} - y_p \quad z_{M2} - z_p)$ 和 $\overrightarrow{pM_3} = (x_{M3} - x_p \quad y_{M3} - y_p \quad z_{M3} - z_p)$ 计算。求解方程组(5)得到近端坐标系p-uvw的 \overrightarrow{pu} 坐标轴单位矢量。

[0066] (d) 按照右手法则计算所述的近端坐标系p-uvw的 \overrightarrow{pv} 坐标轴单位矢量:

$$[0067] \quad \overrightarrow{pv} = \overrightarrow{pw} \cdot \overrightarrow{pu} \quad (6)$$

[0068] (e) 重复所述的步骤(a)-(d), 依据所述的第四标记球心、第五标记球心和第六标记球心在远端坐标系P-UVW下的坐标值 $M_4(U_4 \quad V_4 \quad W_4)$ 、 $M_5(U_5 \quad V_5 \quad W_5)$ 和 $M_6(U_6 \quad V_6 \quad W_6)$, 确定远端坐标系P-UVW的原点P在点云参考坐标系0-xyz下的坐标 $P_{0-xyz} = (x_{p0} \quad y_{p0} \quad z_{p0})$, 和远端坐标系P-UVW的三个坐标轴在点云参考坐标系0-xyz下的单位矢量 \overrightarrow{PU} 、 \overrightarrow{PV} 和 \overrightarrow{PW} 。

[0069] (f) 使用所述的近端坐标系p-uvw的原点坐标值 p_{0-xyz} 、坐标轴单位矢量 \overrightarrow{pu} 、 \overrightarrow{pv} 和

\overline{pw} , 确定近端坐标系p-uvw在点云参考坐标系0-xyz下的位置和姿态;使用所述的远端坐标系P-UVW的原点坐标值 P_{0-xyz} 、坐标轴单位矢量 \overline{PU} 、 \overline{PV} 和 \overline{PW} ,确定远端坐标系P-UVW在点云参考坐标系0-xyz下的位置和姿态;然后将近端坐标系p-uvw的位置和姿态、远端坐标系P-UVW的位置和姿态输入计算机系统分别进行存储。

[0070] (6) 确定外固定支架空间位姿,步骤为:

[0071] (a) 基于所述的近端坐标系p-uvw和远端坐标系P-UVW的位置,计算近端坐标系原点p相对远端坐标系原点P的位置,确定近端固定环210与远端固定环211的相对位置,可以按如下的矢量形式表示:

$$[0072] \quad \overline{r_{pp}} = P_{0-xyz} - P_{p-xyz} = (x_{pO} - x_{PO} \quad y_{pO} - y_{PO} \quad z_{pO} - z_{PO}) \quad (7)$$

[0073] (b) 计算近端坐标系p-uvw相对远端坐标系P-UVW的姿态,确定近端固定环210与远端固定环211的相对姿态,可以按如下的矩阵形式表示:

$$[0074] \quad \mathbf{R}_p^p = \begin{bmatrix} \overline{pu \cdot PU} & \overline{pv \cdot PU} & \overline{pw \cdot PU} \\ \overline{pu \cdot PV} & \overline{pv \cdot PV} & \overline{pw \cdot PV} \\ \overline{pu \cdot PW} & \overline{pv \cdot PW} & \overline{pw \cdot PW} \end{bmatrix} \quad (8)$$

[0075] (c) 根据所述的近端固定环210与远端固定环211的相对位置矢量 $\overline{r_{pp}}$ 和相对姿态矩阵 \mathbf{R}_p^p ,确定外固定支架机构的空间位姿。

[0076] (7) 确定外固定支架复位骨折的调节量,步骤为:

[0077] 在计算机系统的屏幕上显示所述的近端骨块三维影像310和远端骨块三维影像311,通过计算机的操作系统操作近端骨块三维影像310和远端骨块三维影像311进行平移和旋转、模拟复位骨折畸形的运动,使近端骨块三维影像310与远端骨块三维影像311达到期望的骨折复位状态;计算机系统自动计算并存储操作过程中近端骨块三维影像310相对远端骨块三维影像311在点云参考坐标系0-xyz下发生的平移运动量和旋转运动量;因为外固定支架的近端固定环210和远端固定环211分别与骨折两端的骨块固定相连,所以所述的近端骨块三维影像310相对远端骨块三维影像311的平移运动量和旋转运动量,等于外固定支架复位骨折畸形时,近端固定环210相对远端固定环211的调节位移量和调节旋转量。

[0078] (8) 通过外固定支架机构的空间位姿、近端固定环210相对远端固定环211的调节位移量和调节旋转量,最终确定了并联外固定支架及骨折部位的空间结构和状态,以指导外固定支架复位骨折的调整方案的计算,并完成了并联外固定支架空间位姿自动识别。

[0079] 以上对本发明的描述仅仅是示意性的,而不是限制性的,所以,本发明的实施方式并不局限于上述的具体实施方式。如果本领域的普通技术人员受其启示,在不脱离本发明宗旨和权利要求所保护范围的情况下,做出其他变化或变型,均属于本发明的保护范围。

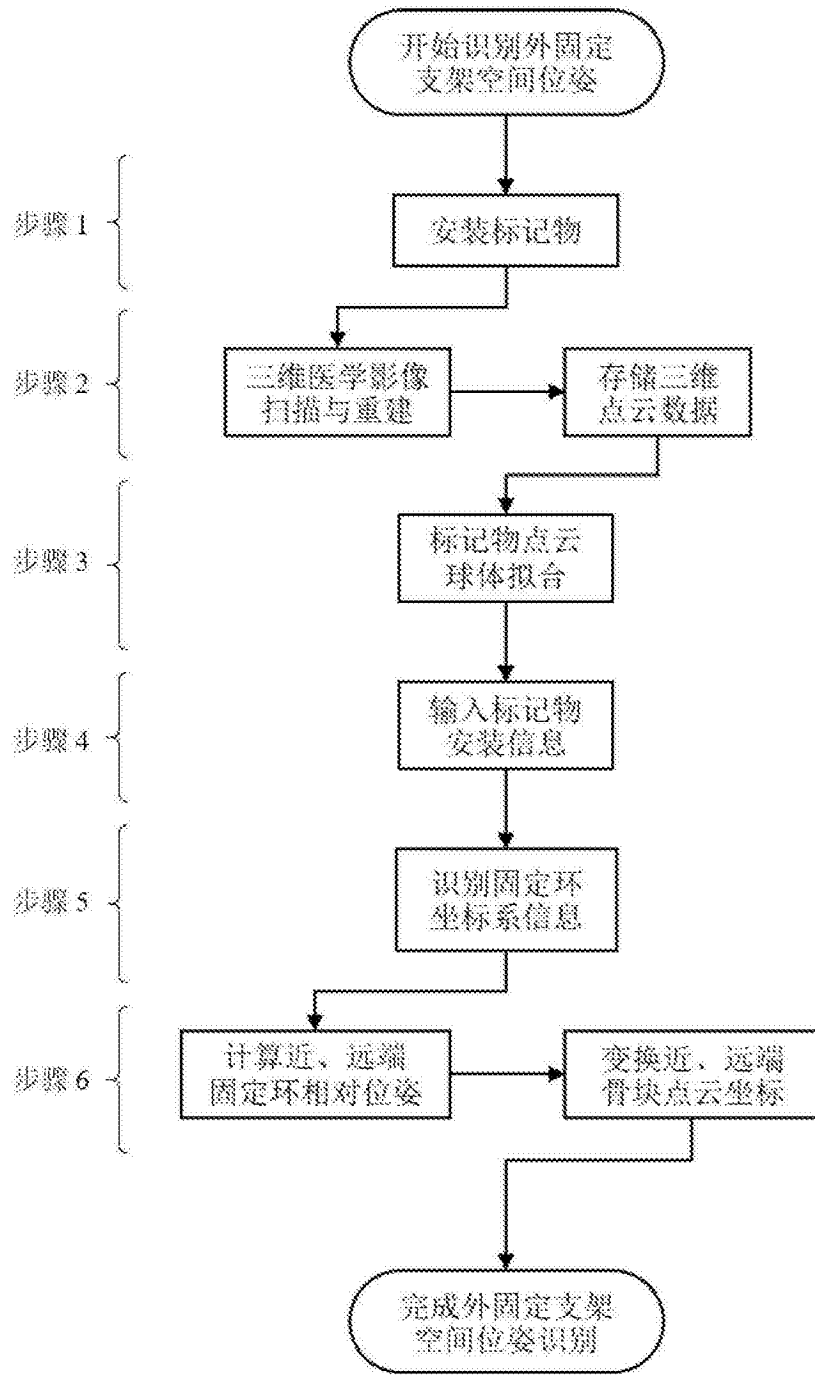


图1

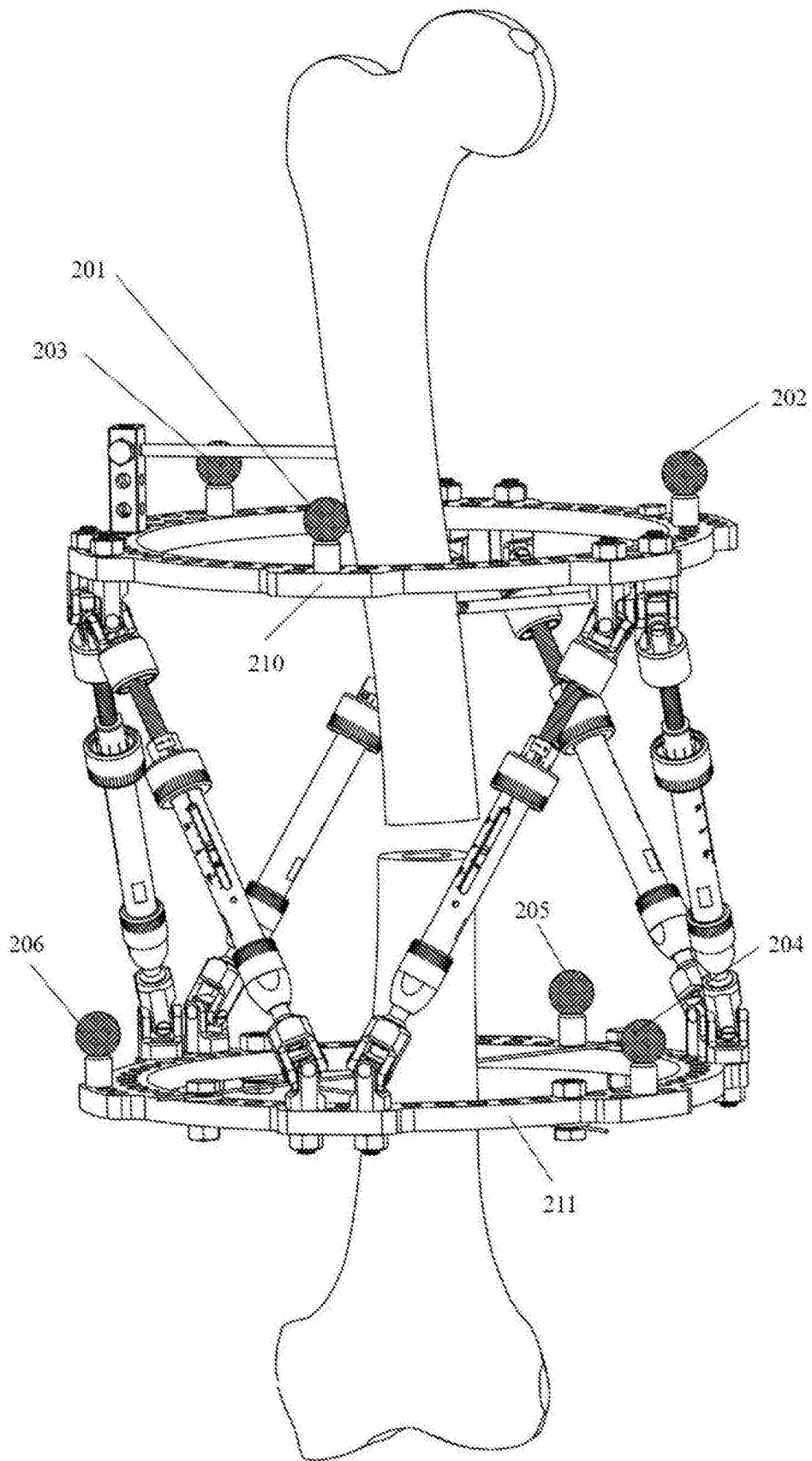


图2

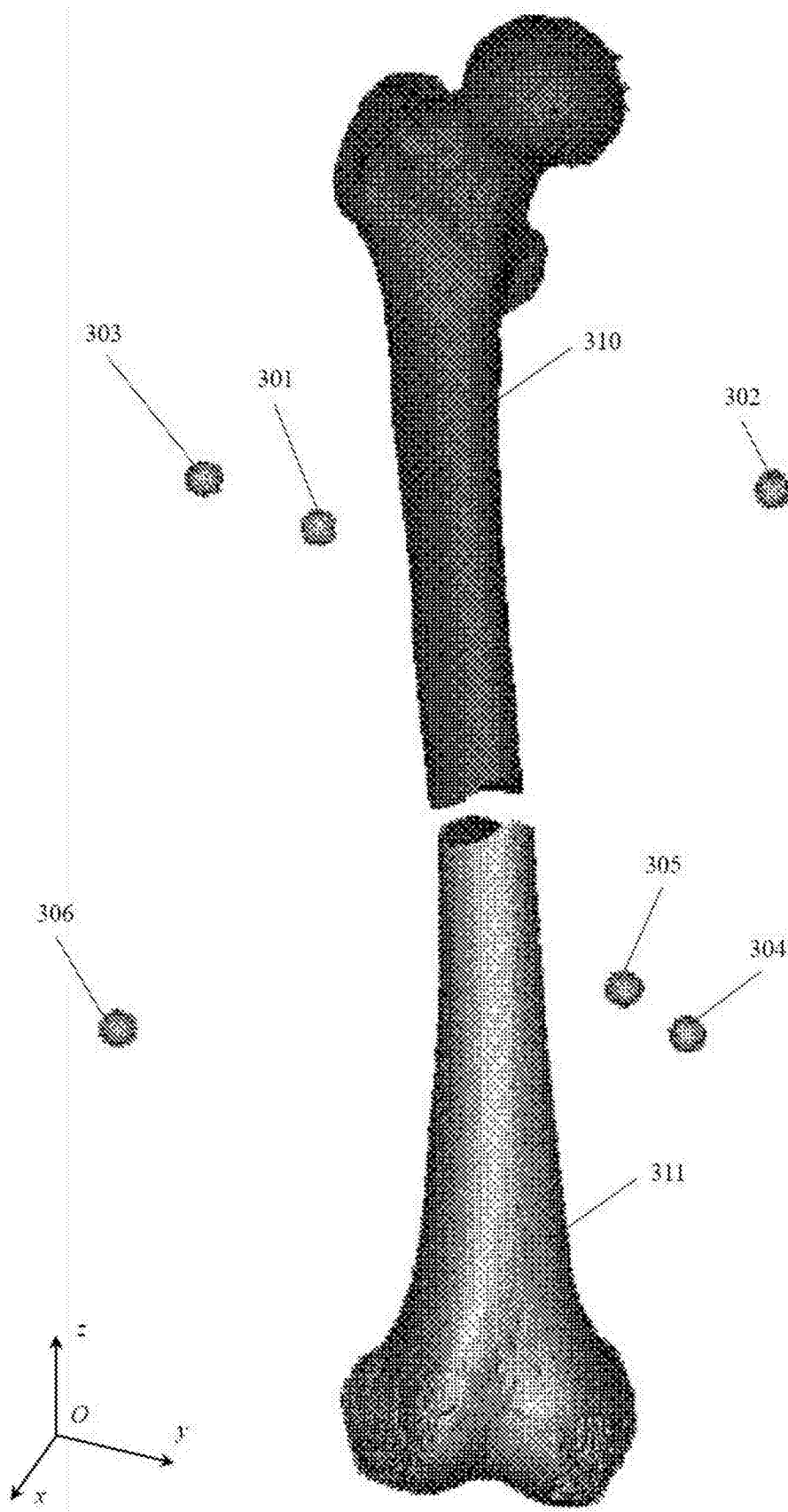


图3

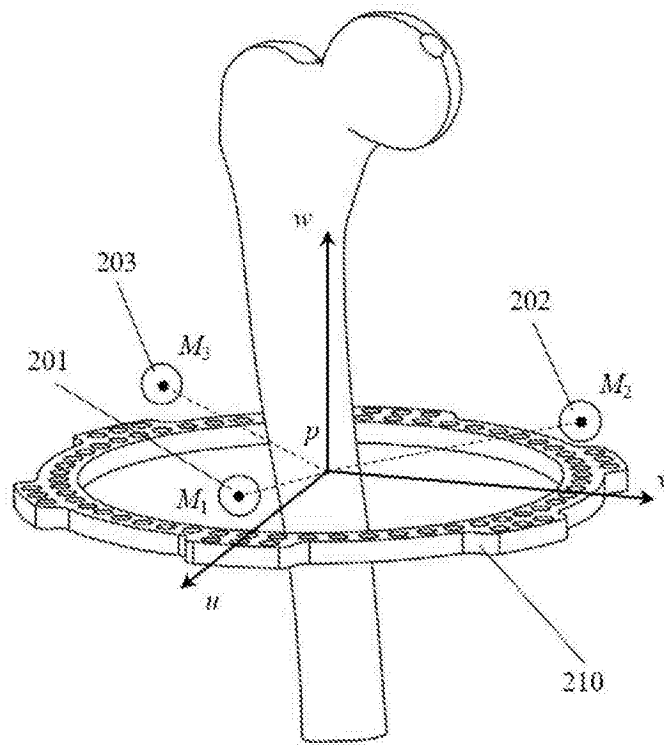


图4

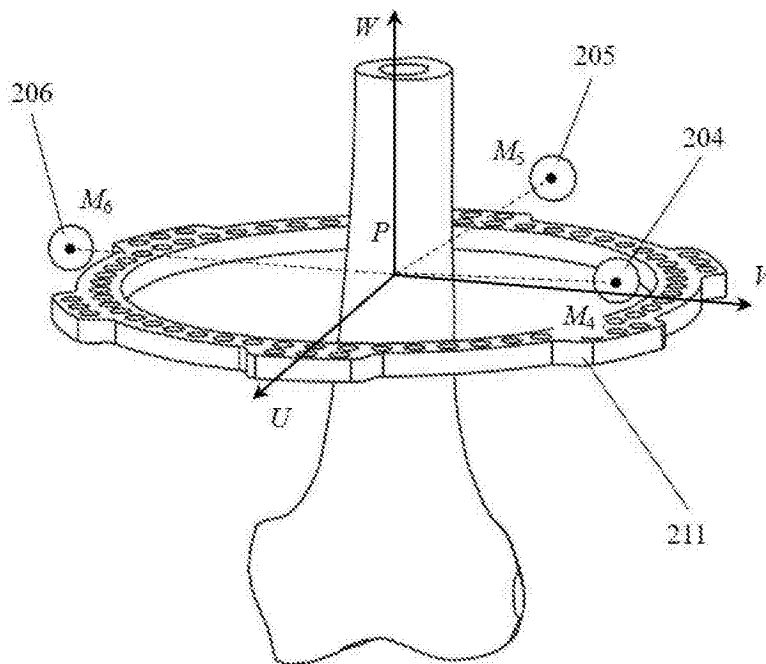


图5