



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107049488 A

(43)申请公布日 2017. 08. 18

(21)申请号 201710389283.7

(22)申请日 2017.05.27

(71)申请人 北京航空航天大学

地址 100191 北京市海淀区学院路37号

(72)发明人 刘文勇 李秦 彭远卓 谭保森

侯晓龙 桑圣楠

(51) Int. Cl.

A61B 34/10(2016.01)

A61B 34/20(2016.01)

A61B 90/11(2016.01)

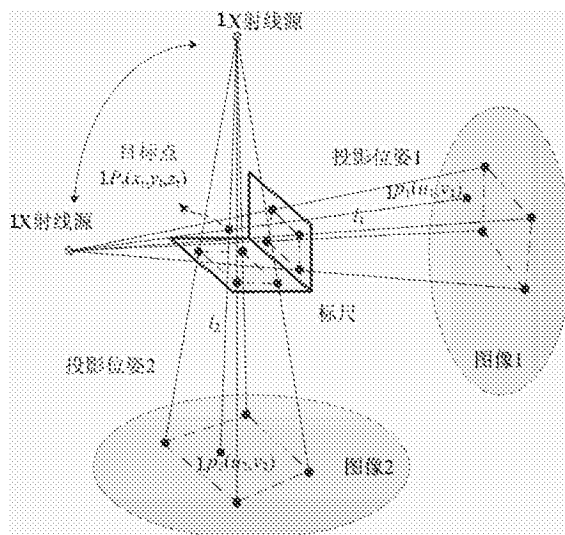
权利要求书2页 说明书5页 附图6页

(54)发明名称

一种单平面手术定位方法及模型

(57)摘要

本发明公开了一种单平面手术定位方法及模型。本发明采用单平面手术定位方法,在C臂成像参数已知的情况下,对任意空间坐标点,可以获得穿过该点和X射线发射源点的两条空间直线,计算交点看得到目标点的目标。单平面手术定位方法不使用昂贵的双目成像系统,大大降低了系统成本。该单平面手术定位模型为包括用于术中的标尺和标定板,标尺设计为”L”形,减少与患者的干扰,便于术中使用的。



1. 一种单平面手术定位方法及模型,其特征在於:主要包括单平面手术定位的方法和单平面手术定位的模型;

单平面手术定位方法就是通过获得C臂(71)两个不同位姿下的成像参数,对于任一空间目标点($1P_t$)进行带C臂成像参数的标定,在手术过程中配置单平面定位标尺,通过标尺的C臂透视图象($1p_1$ 和 $1p_2$),即可计算出目标点的位置,进而实现定位。单平面的手术定位方法就是获得患者手术位置、手术器械和C臂上标记物之间的位置关系,并可以将手术图像实时显示,辅助医生进行手术定位。

单平面手术定位的模型包括定位标尺与标定板。为了便于C臂在术中对标尺进行成像,将单平面标尺设计为“L”型,每一个单侧面上按一定规则分布4个标记点(41);两面共8个,位于同一个标尺坐标系中。标尺中心开沟槽(42),用于放置标定板。标定板均匀打大小相等的通孔。

所述的标尺和标定板采用有机玻璃制作,标定板上设有多个标记点,标记点(51)是将钢珠放入标记板通孔中形成。

2. 根据权利要求1所述的单平面手术定位方法,其特征在於:本发明涉及标系有图像坐标系 $O_2X_2Y_2$ 、C臂坐标系 $O_1X_1Y_1Z_1$ 、标尺坐标系 $OXYZ$ (即世界坐标系)。

3. 根据权利要求1所述的单平面手术定位方法,其特征在於:首先计算标尺标记点在C臂坐标系中下的坐标。

4. 根据权利要求1所述的单平面手术定位方法,其特征在於:计算标尺坐标坐标系相对于C臂坐标系的变换矩阵。

5. 根据权利要求1所述的单平面手术定位方法,其特征在於计算标尺坐标下目标点空间坐标。

6. 根据权利要求1所述的单平面手术定位模型,其特征在於标尺和标定板采用有机玻璃制作,标定板上设有多个标记点,标记点是将钢珠放入标记板通孔中形成。

7. 根据权利要求1所述的单平面手术定位模型,其特征在於标尺的放置方法有两种,主要包括机械臂放置和手术床放置。

8. 根据权利要求3所述的单平面手术定位方法,其特征在於参见图3,在已知C臂内部成像参数(u_0 、 v_0 、 f 、 k_1 和 k_2)的情况下,可以得到图像坐标系 $O_2X_2Y_2$ 相对于C臂坐标系的位置 $O_1X_1Y_1Z_1$,从而可以将图像上的二维投影点坐标变换为C臂坐标系中的三维坐标。其中: $S(3S)$ 是X射线发射源点,定义为C臂坐标系的原点。 $P_1(3P_1)$ 、 $P_2(3P_2)$ 、 $P_3(3P_3)$ 和 $P_4(3P_4)$ 是4个共面但任意3个不共线的标记点(空间点); $p_1(3p_1)$ 、 $p_2(3p_2)$ 、 $p_3(3p_3)$ 和 $p_4(3p_4)$ 是4个标记点在透视图象上的投影点。由于 P_1 、 P_2 、 P_3 和 P_4 共面,用 P_5 表示空间直线 P_1P_3 和 P_2P_4 的交点, p_5 是 P_5 对应的投影点。可知, p_5 也是透视图象上直线 p_1p_3 和 p_2p_4 的交点。利用图像处理方法,可以获得 $p_1(u_1, v_1)$ 、 $p_2(u_2, v_2)$ 、 $p_3(u_3, v_3)$ 和 $p_4(u_4, v_4)$ 的图像坐标,并进一步计算出 $p_5(u_5, v_5)$ 的图像坐标。

9. 根据权利要求4所述的单平面手术定位方法,其特征在於标尺坐标系 $OXYZ$ 到C臂坐标系 $O_1X_1Y_1Z_1$ 的变换矩阵为

$$\begin{pmatrix} x_i^{\text{C-arm}} \\ y_i^{\text{C-arm}} \\ z_i^{\text{C-arm}} \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_i^{\text{ruler}} \\ y_i^{\text{ruler}} \\ z_i^{\text{ruler}} \\ 1 \end{pmatrix}。$$

10. 根据权利要求5所述的单平面手术定位方法,其特征在于利用穿过目标点 P_t 的两条直线 l_1 和 l_2 ,可求得目标点的空间坐标。在已知C臂内部成像参数的情况下,可直接得到 l_1 和 l_2 在各自的C臂坐标系下的表达形式。

一种单平面手术定位方法及模型

技术领域

[0001] 本发明涉及一种定位方法及模型,更特别地说,是指一种融合了C型臂成像参数用于单平面手术定位的方法及模型。

背景技术

[0002] 计算机辅助手术(computer assisted surgery)是借助于计算机强大的分析处理能力,辅助医生高效、准确地利用导航定位系统或手术机器人等,进行图像配准、手术空间定位,进而制定手术规划,完成手术操作。手术定位技术是CAS的核心技术和关键技术,利用该技术可以建立起手术器械和病灶点的相对位置关系。其基本原理是:通过光电设备、电磁设备等实时追踪外科手术器械与患者之间的相对位置关系,通知将手术器械的位置信息映射到医学图像空间,并虚拟地显示出来。因此手术定位系统的主要功能是:为医生实时地提供手术器械与患者病灶部位的位置信息。

[0003] 手术定位的方法目前主要包括:光电定位法、机械定位法、超声定位法和电磁定位法。其中光电定位法因其定位精度高、技术成熟且易于实现而被临床广泛采用。参考光学导航系统,选用C型臂作为成像系统。

[0004] 目前,基于双平面模型的手术定位方法是一种应用非常广泛的定位方法,在神经外科、骨科等领域已用于临床。它是根据两幅图像获得手术部位在手术空间中的确切位置,进而实现定位操作。但双平面模型的手术定位方法使用双目成像,且标记点的数量和分布不同,对定位精度影响较大。且标尺结构在一定程度上影响了手术定位操作。

发明内容

[0005] 为了解决手术定位过程中,双目定位成本高、标尺对手术操作的影响,本发明设计了一种融合了C型臂成像参数的单平面手术定位方法及模型。

[0006] 本发明一方面,提出了一种单平面手术定位方法。

[0007] 单平面手术定位方法就是通过获得C型臂两个不同位姿下的成像参数,对于任一空间目标点进行带C型臂成像参数的标定,在手术过程中配置单平面定位标尺,通过标尺的C型臂透视图像,即可计算出目标点的位置,进而实现定位。单平面的手术定位方法就是获得患者手术位置、手术器械和C型臂上标记物之间的位置关系,并可以将手术图像实时显示,辅助医生进行手术定位。单平面手术定位方法步骤如下:

[0008] 步骤一,计算标尺标记点在C型臂坐标系中下的坐标在已知C型臂内部成像参数的情况下,可以得到图像坐标系相对于C型臂坐标系的位姿,从而可以将图像上的二位投影点变换为C型臂坐标系中的三维坐标;

[0009] 步骤二,计算标尺坐标系相对于C型臂坐标系的变换矩阵获得标尺上4个标记点在标尺坐标系和C型臂坐标系下的坐标,可以获得两个做坐标系的变化矩阵

[0010] 步骤三,计算标尺坐标下目标点空间坐标从一个投影之姿态下,对目标点和标尺孔成像,可得到空间直线在姿态下C型臂坐标系的表达形式以及C型臂坐标系与标尺坐标系

的变换矩阵。从一个姿态下投影,得到另一条空间直线。通过相异直线求交,可得到目标点在标尺坐标系中的坐标。

[0011] 本发明另一方面,设计了一种单平面手术定位的模型。模型包括标尺和标定板,为了便于C型臂在术中对标尺进行成像,将单平面标尺设计为“L”型,每一个单侧面上按一定规则分布4个标记点;两面共8个,位于同一个标尺坐标系中。标尺中心开沟槽,用于放置标定板。标定板均匀打大小相等的通孔。标尺的放置有两种:机械臂放置和手术床放置。

[0012] 所述的标尺和标定板采用有机玻璃制作,标定板上设有多个标记点,标记点是将被钢珠放入标记板通孔中形成。

[0013] 最后,以基于影像增强器的C型臂为平台,借助孔间距为25mm的标尺对定位算法的正确性进行验证。结果显示单平面定位算法能够实现空间定位,定位精度基本稳定在2mm以下。

[0014] 所述的单平面手术定位方法设计的坐标系有图像坐标系 $O_2X_2Y_2$ 、C型臂坐标系 $O_1X_1Y_1Z_1$ 、标尺坐标系 $OXYZ$ (即世界坐标系)。

附图说明

[0015] 图1是本发明的单平面定位方法示意图。

[0016] 图2是本发明的坐标系图。

[0017] 图3是本发明的单平面定位原理示意图。

[0018] 图4是本发明的单平面标尺示意图。

[0019] 图5是本发明的标定板。

[0020] 图6是本发明的标尺安装图。

[0021] 图7A是本发明的正位图像的采集图。

[0022] 图7B是本发明的侧位图像的采集图。

[0023]

1X. 射线源	1P _i . 空间目标点	1p _i . 投影位姿 1 点
1p ₂ . 投影位姿 2 点	3S. X 射线发射源点	3P ₁ . 空间标记点 1
3P ₂ . 空间标记点 2	3P ₃ . 空间标记点 3	3P ₄ . 空间标记点 4
3p ₁ . 标记点在透视图像上的投影点 1		
3p ₂ . 标记点在透视图像上的投影点 2		
3p ₃ . 标记点在透视图像上的投影点 3		
3p ₄ . 标记点在透视图像上的投影点 4		
41. 标尺标记点	42. 标尺凹槽	51. 标定板通孔
61. 嵌入钢珠作为空间待定位目标点		
62. 嵌入钢珠作为标尺标记点		71. C 型臂

具体实施方式

[0024] 为了改进骨科手术机器人系统中常用的双平面定位标尺的结构,进一步提高其临床可操作性,本发明提出一种单平面手术定位方法。

[0025] 参见图1,若已知C型臂内部成像参数,可设计一种单平面(标记点分布)定位标尺,在不使用双目成像系统的情况下,利用C型臂任意两个位姿下的透视图像,实现手术定位。这种方式具有两个方面的优势:(1)将定位标尺简化为单平面结构,方便了术中使用;(2)不使用昂贵的双目成像系统,大大降低了系统成本。

[0026] 参见图2,为了方便对点位置的确定,本发明对采用坐标关系进行说明。本发明涉及的坐标系有三个:图像坐标系 $O_2X_2Y_2$ 、C型臂坐标系 $O_1X_1Y_1Z_1$ 、标尺坐标系 $OXYZ$ (即世界坐标系)。

[0027] 单平面定位原理分析:

[0028] 单平面定位原理的一种直观解释是:在获得C型臂两个不同位姿下的成像参数的前提下,对于任一空间目标点,可以获得穿过该点和X射线发射源点的两条空间直线 l_1 和 l_2 ,计算出这两条空间直线的交点,即可求出目标点的坐标

[0029] 分析上述原理,本文所提的融合C型臂成像参数的单平面手术定位方法可拆分为以下步骤:标定C型臂参数、获得穿过目标点的空间直线 l_1 和 l_2 在C型臂坐标系下的直线方程、建立标尺坐标系(世界坐标系)到C型臂坐标系的变换矩阵(首先要获得标尺标记点在C型臂坐标系下的坐标)、获得空间直线 l_1 和 l_2 在标尺坐标系下的直线方程、在标尺坐标系下计算目标点的空间坐标。

[0030] 计算标尺标记点在C型臂坐标系 $O_1X_1Y_1Z_1$ 下的坐标:

[0031] 参见图3,在已知C型臂内部成像参数(u_0 、 v_0 、 f 、 k_1 和 k_2)的情况下,可以得到图像坐标系 $O_2X_2Y_2$ 相对于C型臂坐标系的位姿 $O_1X_1Y_1Z_1$,从而可以将图像上的二维投影点坐标变换为C型臂坐标系中的三维坐标。其中: S 是X射线发射源点,定义为C型臂坐标系的原点。 P_1 、 P_2 、 P_3 和 P_4 是4个共面但任意3个不共线的标记点(空间点); p_1 、 p_2 、 p_3 和 p_4 是4个标记点在透视图像上的投影点。由于 P_1 、 P_2 、 P_3 和 P_4 共面,用 P_5 表示空间直线 P_1P_3 和 P_2P_4 的交点, p_5 是 P_5 对应的投影点。可知, p_5 也是透视图像上直线 p_1p_3 和 p_2p_4 的交点。利用图像处理方法,可以获得 p_1 (u_1 , v_1)、 p_2 (u_2 , v_2)、 p_3 (u_3 , v_3)和 p_4 (u_4 , v_4)的图像坐标,并进一步计算出 p_5 (u_5 , v_5)的图像坐标。

[0032] 借助C型臂内部成像参数,上述投影点在C型臂坐标系中的坐标为: p_1 ($(f/k_1)u_1$, $(f/k_2)v_1$, $-f$)、 p_2 ($(f/k_1)u_2$, $(f/k_2)v_2$, $-f$)、 p_3 ($(f/k_1)u_3$, $(f/k_2)v_3$, $-f$)、 p_4 ($(f/k_1)u_4$, $(f/k_2)v_4$, $-f$)和 p_5 ($(f/k_1)u_5$, $(f/k_2)v_5$, $-f$)。

[0033] 参见图3。由于焦距 f 已知,在 ΔSp_1p_5 中,可以得到长度 $\overline{p_1p_5}$ 、 $\overline{Sp_1}$ 和 $\overline{Sp_5}$ 的值。由余弦定理可进一步得到角度值 $\angle p_1Sp_5$;同理,可计算得到 $\angle p_3Sp_5$ 和 $\angle p_1Sp_3$ 。

[0034] 尽管标记点在C型臂坐标系下的坐标暂时未知,但可以获得各个边长的值(相对度量值)。如:在 ΔSp_1p_5 中,可得到边长 $\overline{P_1P_5}$,此时,由正弦定理可以得到

$$\overline{SP_1} = \frac{\overline{P_1P_5}}{\sin(\angle P_1SP_5)} \sin(\angle P_1P_5S)。$$

[0035] 同理,在 ΔSp_3p_5 中,可得到边长 $\overline{P_3P_5}$,由正弦定理可以得到

$$\overline{SP_3} = \frac{\overline{P_3P_5}}{\sin(\angle P_3SP_5)} \sin(\angle P_3P_5S)。$$

[0036] $\angle P_1P_5S$ 和 $\angle P_3P_5S$ 互补，因此，由上述两式可以得到

$$\overline{SP_1} = \frac{\overline{P_1P_5}}{\sin(\angle P_1SP_5)} \cdot \frac{\sin(\angle P_3SP_5)}{\overline{P_3P_5}} \cdot \overline{SP_3} = m \cdot \overline{SP_3}。$$

[0037] 其中， $m = \left(\overline{P_1P_5} / \sin(\angle P_1SP_5) \right) \cdot \left(\sin(\angle P_3SP_5) / \overline{P_3P_5} \right)$ 可先行计算得到。

[0038] 在 $\triangle SP_1P_3$ 中，可得到边长 $\overline{P_1P_3}$ ，此时，由余弦定理可以得到 $(\overline{P_1P_3})^2 = (\overline{SP_1})^2 + (\overline{SP_3})^2 - 2\overline{SP_1} \cdot \overline{SP_3} \cos(\angle P_1SP_3)。$

[0039] 将 $\overline{SP_1}$ 代入上式，可得 $\overline{SP_3} = \sqrt{(\overline{P_1P_3})^2 / (1 + m^2 - 2 \cdot m \cdot \cos(\angle P_1SP_3))}$

[0040] 此时，可计算得到 $\overline{SP_3}$ 。代入 $\overline{SP_1}$ 的公式，可以得到 $\overline{SP_1}$ 。

[0041] 同理，在 $\triangle SP_2P_5$ 、 $\triangle SP_4P_5$ 和 $\triangle SP_2P_4$ 中，利用正、余弦定理也可以计算出 $\overline{SP_2}$ 和 $\overline{SP_4}$ 。从而获得了4条边长 $\overline{SP_1}$ 、 $\overline{SP_2}$ 、 $\overline{SP_3}$ 和 $\overline{SP_4}$ 的值。

$$[0042] \quad \text{此时，利用下式} \begin{cases} x_i = (\overline{SP_i} / \overline{Sp_i}) \cdot (f / k_1) u_i \\ y_i = (\overline{SP_i} / \overline{Sp_i}) \cdot (f / k_2) v_i \\ z_i = (\overline{SP_i} / \overline{Sp_i}) \cdot f \end{cases} \quad (i=1,2,3,4)。$$

[0043] 可以获得标尺上4个标记点在C型臂坐标系下的空间坐标 $P_i(x_i, y_i, z_i)$ ($i=1,2,3,4$)。

[0044] 计算标尺坐标系 $OXYZ$ 到C型臂坐标系 $O_1X_1Y_1Z_1$ 的变换矩阵：

[0045] 刚体在两个空间直角坐标系中的坐标转换可分解为坐标系平移和基本旋转两个步骤。本文中，标尺为刚体。设标尺上的4个标记点在标尺坐标系和C型臂坐标系下的坐标分别为 $P_i^{\text{ruler}}(x_i^{\text{ruler}}, y_i^{\text{ruler}}, z_i^{\text{ruler}})$ 和 $P_i^{\text{C-arm}}(x_i^{\text{C-arm}}, y_i^{\text{C-arm}}, z_i^{\text{C-arm}})$ ($i=1,2,3,4$)，写成齐次坐标形式，则有

$$[0046] \quad \begin{pmatrix} x_i^{\text{C-arm}} \\ y_i^{\text{C-arm}} \\ z_i^{\text{C-arm}} \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_i^{\text{ruler}} \\ y_i^{\text{ruler}} \\ z_i^{\text{ruler}} \\ 1 \end{pmatrix}。$$

[0047] 上式可简写为 $P_i^{\text{C-arm}} = \begin{pmatrix} \mathbf{R} & \mathbf{t} \\ \mathbf{0} & 1 \end{pmatrix} P_i^{\text{ruler}}；$

[0048] 其中， $P_i^{\text{C-arm}} = (x_i^{\text{C-arm}} \ y_i^{\text{C-arm}} \ z_i^{\text{C-arm}})^T$ 和 $P_i^{\text{ruler}} = (x_i^{\text{ruler}} \ y_i^{\text{ruler}} \ z_i^{\text{ruler}})^T$ 是一个空间点分

别在两个坐标系中的坐标； $\mathbf{t} = (t_x \ t_y \ t_z)^T$ 是 3×1 的平移矢量； $\mathbf{R} = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{pmatrix}$ 是 3×3 的

正交变换矩阵。在已知4个空间点在两个坐标系下的坐标的情况下，可求解上述 \mathbf{R} 和 \mathbf{t} 。

[0049] 计算标尺坐标系下OXYZ的目标点空间坐标：

[0050] 如前所述，利用穿过目标点 P_t 的两条直线 l_1 和 l_2 ，可求得目标点的空间坐标。在已知C型臂内部成像参数的情况下，可直接得到 l_1 和 l_2 在各自的C型臂坐标系下的表达形式。此时，利用上节建立的C型臂坐标系到标尺坐标系的变换矩阵，可以直接得到 l_1 和 l_2 在标尺坐标系下的表达形式，即：将 l_1 和 l_2 统一在同一个坐标系，这样就可以求解目标点在标尺坐标系中的坐标了。

[0051] 但是，各种误差的存在，使得 l_1 和 l_2 在绝大多数情况下都是相异的。此时，可利用两条相异直线的公垂线段来求解，取公垂线的中点为目标点的坐标。

[0052] 参见图4，为了便于C型臂在术中对标尺进行成像，将单平面标尺设计为“L”型，每一个单侧面上按一定规则分布4个标记点；两面共8个，位于同一个标尺坐标系中，可得到标记点的标尺坐标。

[0053] 单平面定位标尺设计为“L”型，将“L”型两边长分别设为200mm和300mm；在每边的中间部位预留有8个孔，根据手术不同的临床需求，实际手术中将依次选择不同位置的孔嵌入钢珠；沿每边的中轴线留有深2mm、宽3mm的凹槽，以便后续插入性能测试面板。由于标尺的各部分尺寸已知，因此后续的实验将依据与标尺的相对位置给出待定位目标点的坐标。

[0054] 参见图5，在标尺凹槽处安装标定板，标定板均匀打通孔，通孔上可镶嵌钢珠，使其作为标记点。

[0055] 以基于影像增强器的C型臂为平台，借助孔间距为25mm的标尺对定位算法的正确性进行验证。

[0056] 参见图6，在标尺的两边分别选取居中的4个成正方形的孔嵌入钢珠，为易于在透视图象中有序拾取每边的4个标记点，以便与其空间坐标一一对应再插入测试面板，在其上任选1个孔嵌入钢珠作为空间待定位目标点。

[0057] 参见图7A，将标尺放置于成像空间，在C型臂处于正位位姿下，对C型臂进行标定，并采集定位标尺的正位图像；在C型臂处于侧位位姿下，对C型臂进行标定，并采集定位标尺的侧位图像。参见图7B，打开定位程序，载入正位图像，加载正位位姿下的C型臂成像参数和对应4个标记点的空间坐标，并依次拾取图像上4个标记点中心和1个目标点中心，得到其图像坐标；然后载入侧位图像，重复上述操作，即可求得面板上目标点的空间坐标，最后计算与其实际空间坐标的位置差。

[0058] 重复进行上述操作10次，计算每次求得的目标点位置与其实际空间位置之差，以验证定位算法的正确性。结果显示单平面定位算法能够实现空间定位，定位精度基本稳定在2mm以下。就目前的处理而言，该精度小于双平面定位算法的精度。其误差主要来源于标定误差和单平面上标记点的拾取误差（经前期实验验证：失真校正带来的误差在其中的影响很小）。

[0059] 本发明单平面定位模型的优点在于：

[0060] ①单平面定位模型集合了C型臂成像参数标记与校正，结构简单，精度更高，且结构设计合理、重量较轻。

[0061] ②定位标尺设计为“L”型，结构简单且减少了与患者的干扰，便于术中使用。

[0062] ③单平面定位方法不适用昂贵的双目成像系统，大大降低了系统成本。

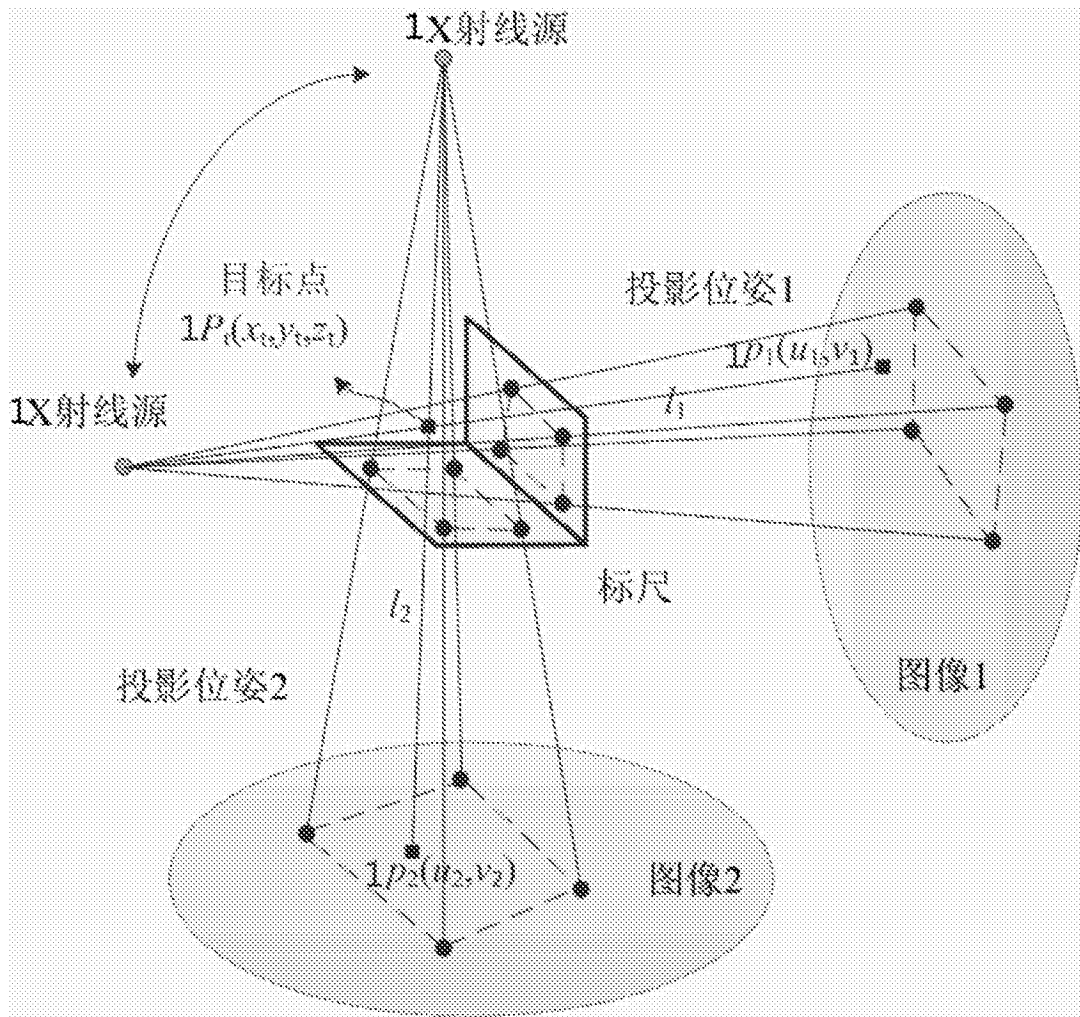


图1

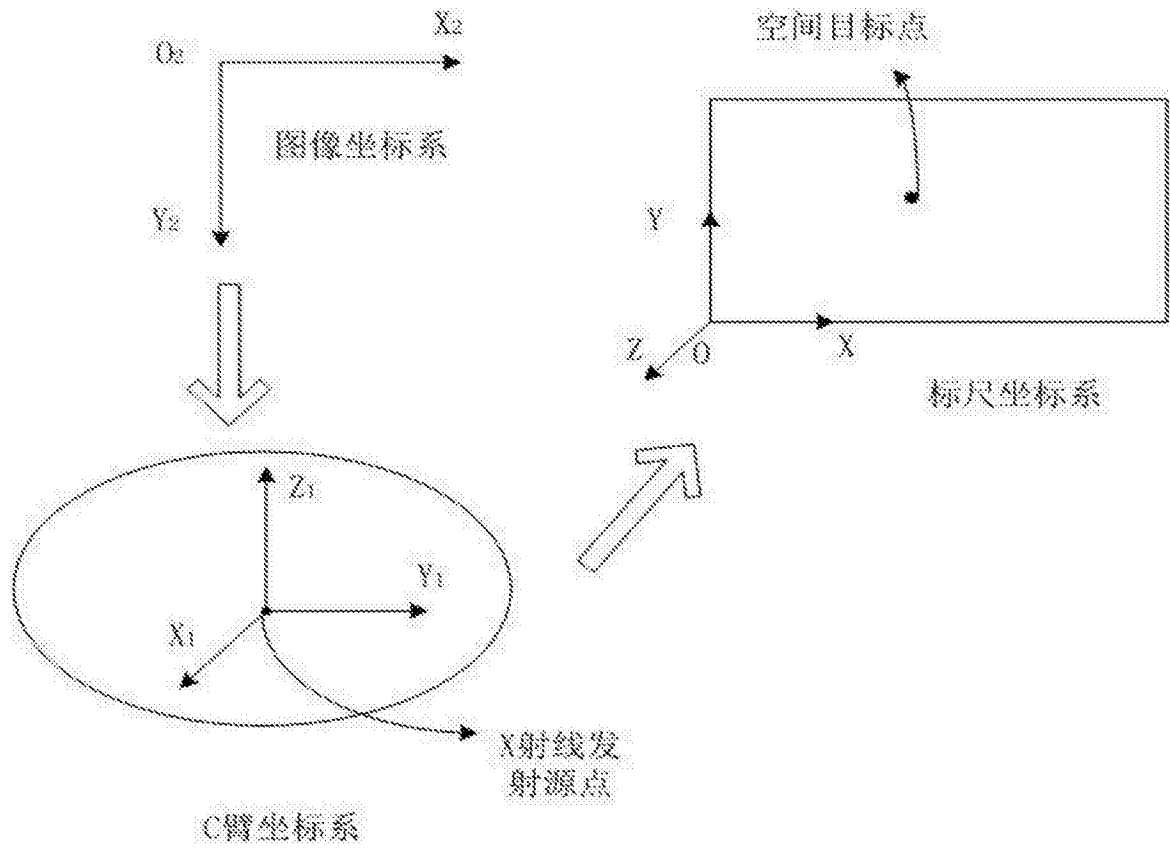


图2

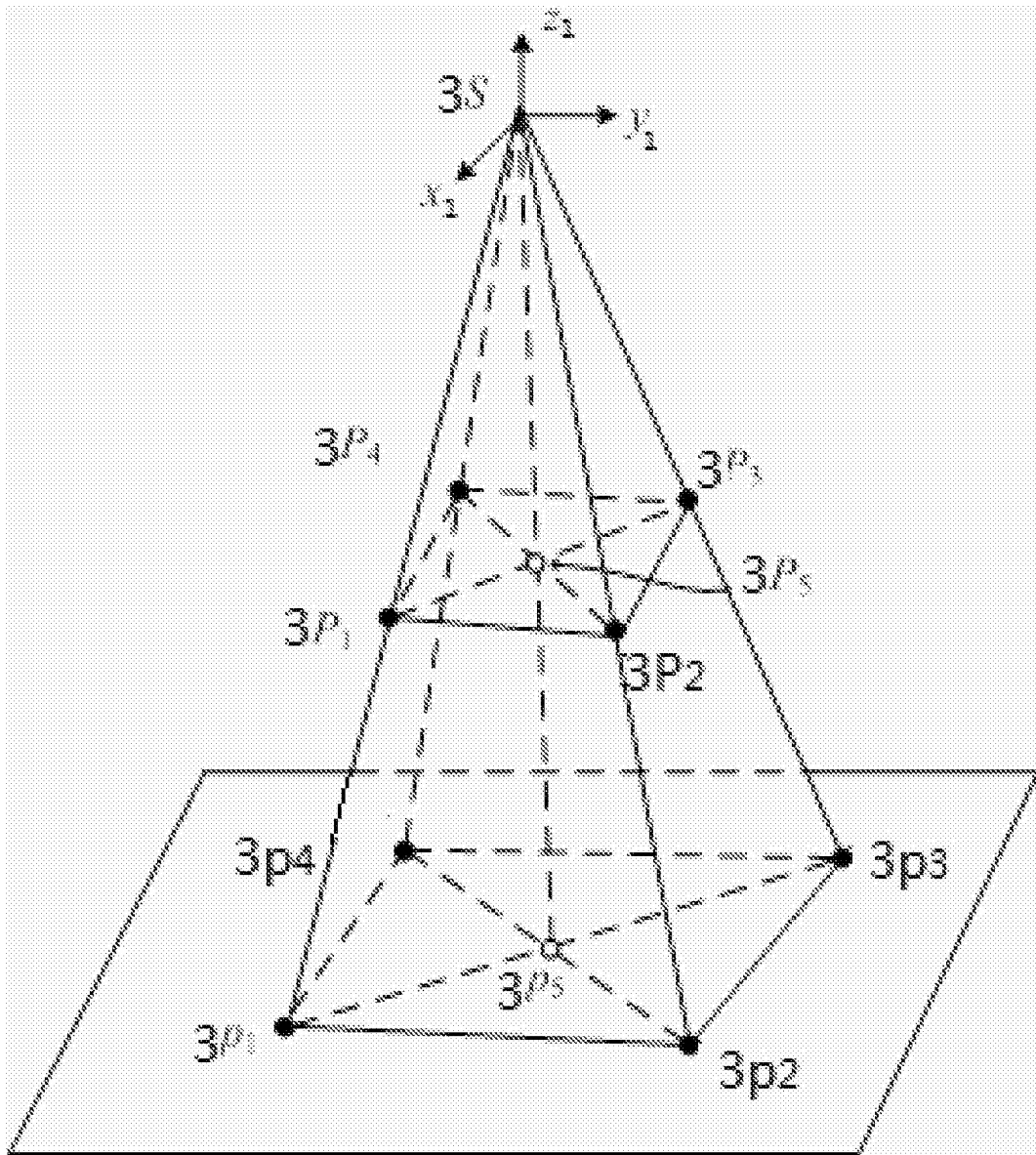


图3

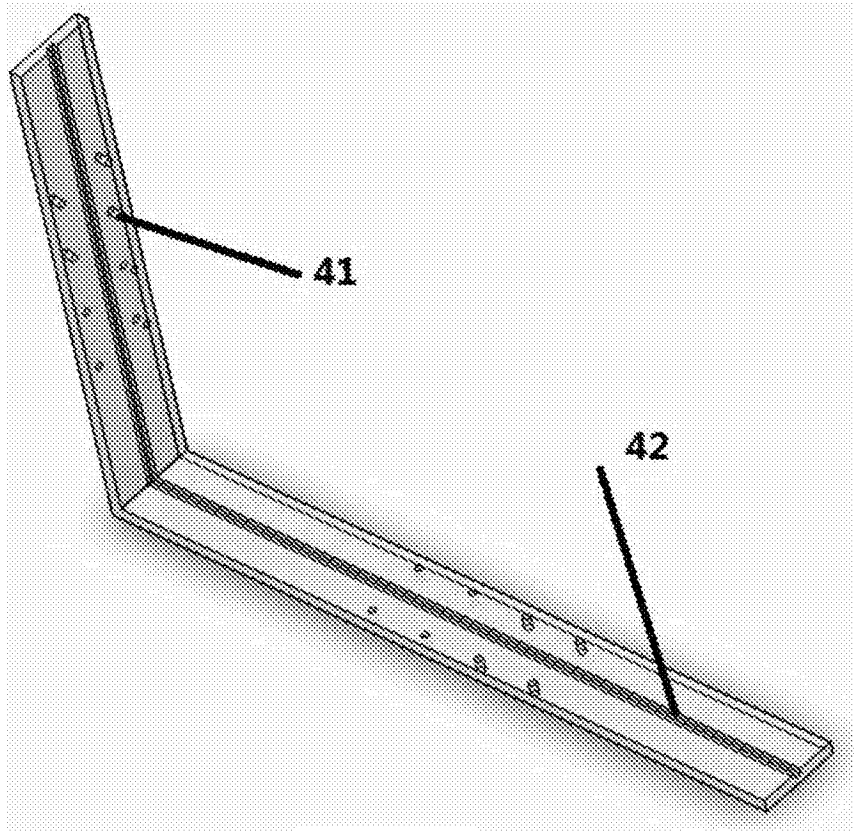


图4

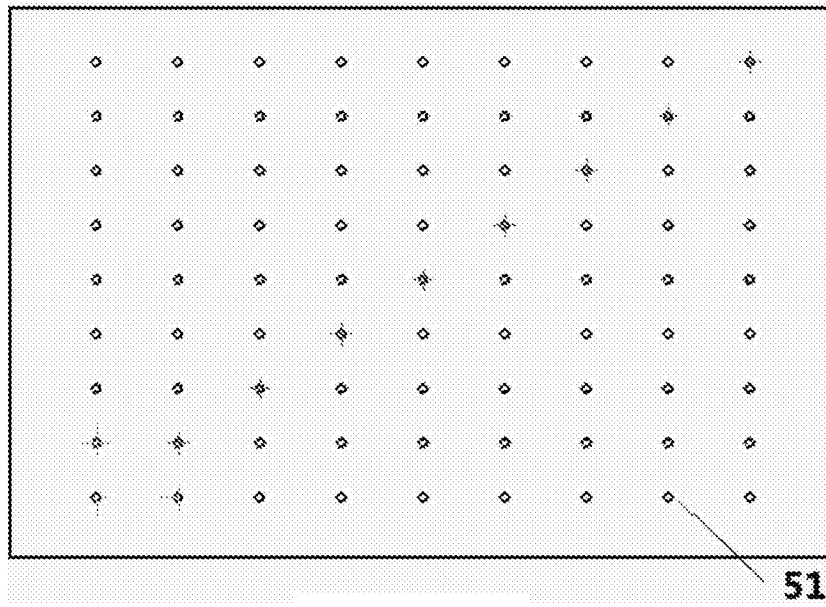


图5

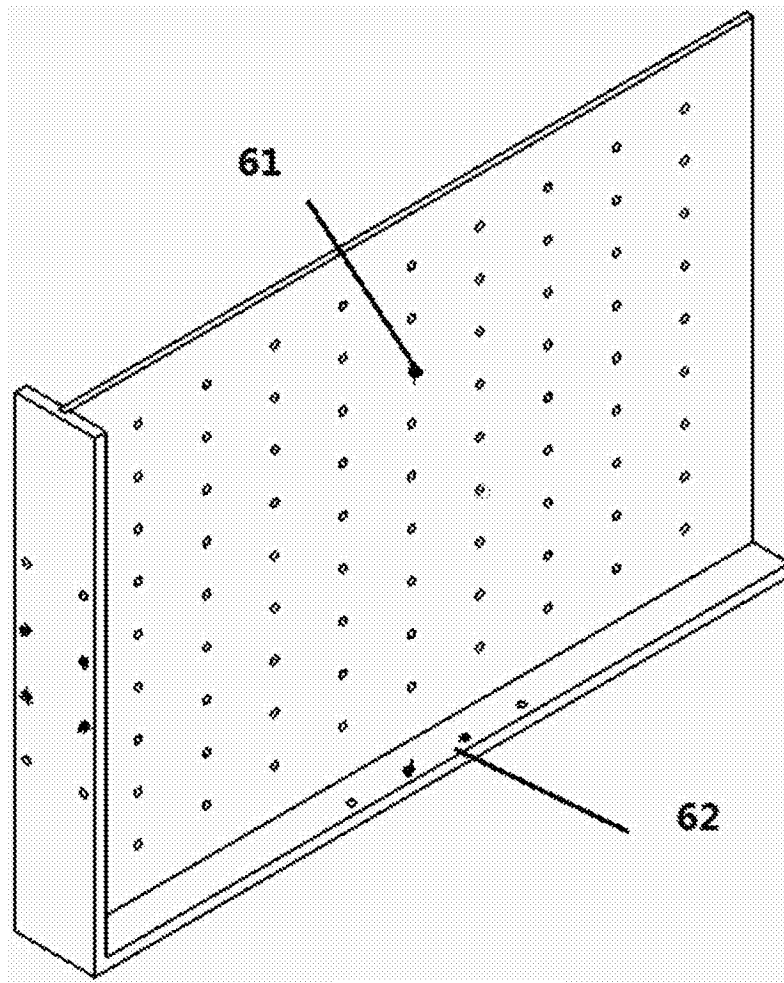


图6

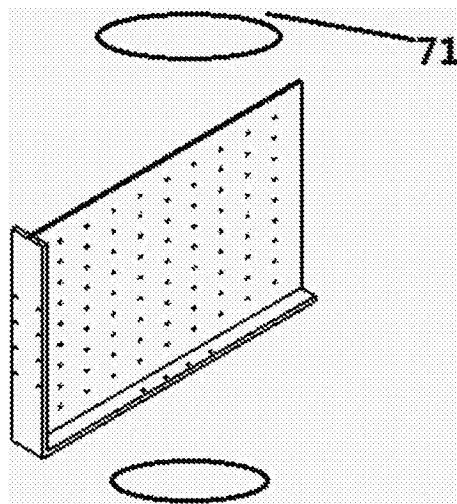


图7A

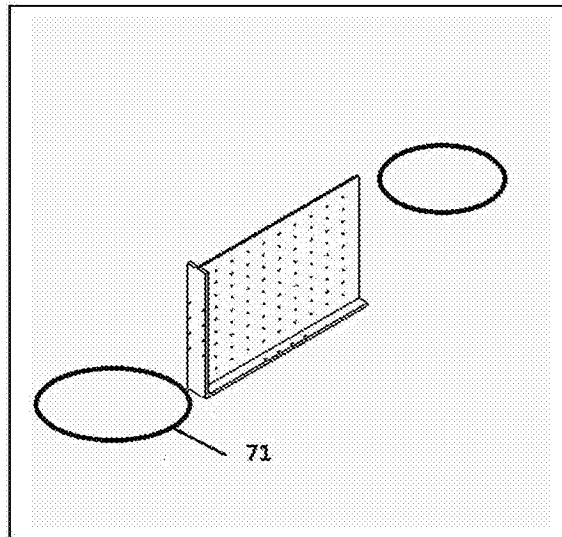


图7B