

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

H04N 13/00 (2006.01)

H04N 15/00 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200610083637.7

[45] 授权公告日 2008年9月3日

[11] 授权公告号 CN 100417231C

[22] 申请日 2006.5.31

[21] 申请号 200610083637.7

[73] 专利权人 北京航空航天大学

地址 100083 北京市海淀区学院路37号

[72] 发明人 张广军 李苏祺 魏振忠

[56] 参考文献

CN1716313A 2006.1.4

CN1302999A 2001.7.11

CN1412524A 2003.4.23

CN1577050A 2005.2.9

CN1482491A 2004.3.17

CN1551974A 2004.12.1

US2004125205A1 2004.7.1

审查员 王 为

[74] 专利代理机构 北京汇泽知识产权代理有限公司

代理人 黄 挺

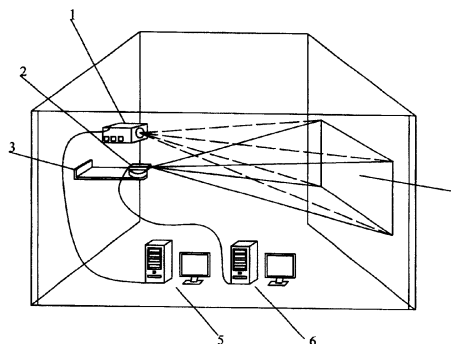
权利要求书2页 说明书10页 附图4页

[54] 发明名称

立体视觉半实物仿真系统及方法

[57] 摘要

本发明涉及一种立体视觉半实物仿真系统及方法，其系统包括投影仪、摄像机、摄像机云台、投影屏幕和计算机，在利用该仿真系统进行仿真时，首先，由计算机的虚拟视景软件生成虚拟三维场景图像，并获得在同一时刻不同两个或多个视点的立体视觉虚拟三维视觉图像；再由投影仪分别将各虚拟三维视觉图像投影到屏幕上，并通过实际摄像机分别拍摄屏幕上不同视点各虚拟三维视觉图像，而得到仿真系统在该测量时刻的输出图像，然后，计算虚拟摄像机参数、标定实际摄像机成像模型参数和投影仪成像模型参数，最后，根据立体视觉的基本原理计算得到图像中虚拟三维场景的三维空间坐标，本发明具有精度高、结构简单和成本低的优点。



1. 一种立体视觉半实物仿真系统，其特征在于：包括投影仪，摄像机，摄像机云台，投影屏幕和两台计算机，以上各部分均固定在室内墙壁或稳定支架上，它们之间位置不能出现相对变化，所述的投影仪与一台计算机相连接，在投影屏幕上投出有该计算机中虚拟视景软件生成的虚拟三维视觉图像，所述的摄像机固定在摄像机云台上，通过图像采集卡将采集的图像数据传送至另一台计算机，并通过这台计算机对摄像机云台的控制实现摄像机的视场选取，摄像机的镜头的选取以摄像机的视场包含投影仪的图像为原则。

2. 一种利用权利要求 1 所述的立体视觉半实物仿真系统实现半实物仿真的方法，其特征在于：包括如下步骤：

第一步，由计算机的虚拟视景软件生成虚拟三维场景图像，并获得在同一时刻不同两个或多个视点的立体视觉虚拟三维视觉图像；

第二步，由投影仪分别将各虚拟三维视觉图像投影到屏幕上；

第三步，通过实际摄像机分别拍摄屏幕上不同视点各虚拟三维视觉图像，而得到仿真系统在该测量时刻的输出图像；

第四步，计算虚拟摄像机参数、标定实际摄像机成像模型参数和投影仪成像模型参数；

第五步，根据立体视觉的三角法测量原理计算得到图像中虚拟三维场景的三维空间坐标。

3. 一种如权利要求 2 所述的立体视觉半实物仿真方法，其特征在于：所述的第一步包括在计算机的虚拟视觉软件中需要输入如下参数：透视投影变换的垂直视场角 θ 、视场的长宽比 $Aspect$ 、视点有近裁剪平面的距离 $NearPlane$ 、视点到远裁剪平面的距离 $FarPlane$ ；视点的空间位置，即世界坐标系下的三维坐标值 $XPos$ 、 $YPos$ 、 $ZPos$ ；视线方向偏航角度 θ_{Yaw} 、俯仰角度 θ_{Pitch} 和滚转角度 θ_{Roll} 。

4. 一种如权利要求 2 所述的立体视觉半实物仿真方法，其特征在于：所述的四步是通过计算机的虚拟视景软件所设置的参数来计算虚拟摄像机参数的，其成像模型为

$$s_v \begin{bmatrix} u_v \\ v_v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_{vx} & 0 & u_{v0} & 0 \\ 0 & \alpha_{vy} & v_{v0} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_v & T_v \\ 0^T & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{vw} \\ Y_{vw} \\ Z_{vw} \\ 1 \end{bmatrix} = M_{1v} M_{2v} \begin{bmatrix} X_{vw} \\ Y_{vw} \\ Z_{vw} \\ 1 \end{bmatrix} = M_v \begin{bmatrix} X_{vw} \\ Y_{vw} \\ Z_{vw} \\ 1 \end{bmatrix}$$

其中 $[u_v, v_v, 1]^T$ 为虚拟三维视觉图像的齐次坐标, $[X_{vw}, Y_{vw}, Z_{vw}, 1]^T$ 为虚拟场景的三维空间齐次坐标, s_v 为比例因子, α_{vx} 和 α_{vy} 分别为虚拟摄像机 x 轴和 y 轴方向尺度因子, u_{v0} 和 v_{v0} 为虚拟摄像机图像中心, R_v 和 T_v 为旋转矩阵和平移向量, 即虚拟摄像机外部参数。 M_{1v} 和 M_{2v} 分别为虚拟摄像机的内部参数矩阵和外部参数矩阵, M_v 为虚拟摄像机的投影矩阵, 虚拟摄像机参数 M_v 各元素可以通过虚拟视景软件所设置的参数计算求出。

5. 一种如权利要求 2 所述的立体视觉半实物仿真方法, 其特征在于: 所述的第四步中的标定实际的摄像机成像模型参数和投影仪成像模型参数是作为一个整体进行的, 具体分为如下步骤:

首先, 根据变焦距法求得摄像机的图像中心;

然后, 将投影仪模型简单作为线性模型, 利用交比不变的摄像机畸变系数标定方法实现对摄像机径向畸变系数的标定;

然后, 在求出摄像机的图像中心和径向畸变系数的基础上, 由靶标的像素图像坐标计算得到其在摄像机坐标系下图像坐标;

最后, 根据所述的摄像机图像到投影仪计算机图像的线性变换关系, 实现对摄像机成像模型和投影仪成像模型的标定。

立体视觉半实物仿真系统及方法

技术领域

本发明涉及一种立体视觉半实物仿真系统及方法。

背景技术

立体视觉是按照不同视点拍摄的两幅或多幅图像来确定场景的三维结构，其所研究的理论基础是现实世界中的单一的三维位置投影到唯一的一对影像位置。与一般的摄影系统只能将三维场景以二维的形式记录而丢掉了大量的信息不同，立体视觉能够获得场景三维数据，在机器人视觉、航空测绘、军事应用、医学诊断及工业检测中得到越来越广泛的应用，国内外广大研究人员对其研究也越来越深入。目前，立体视觉仿真主要都是纯数字仿真，数字仿真能够为立体视觉提供研究开发平台，大大降低成本。但由于复杂系统建模困难，纯数字仿真系统不得不对复杂系统进行简化，因此纯数字仿真系统存在仿真环境过于理想化、与实际拍摄环境存在一定差别的缺点，特别是在摄像机存在畸变以及噪声干扰等误差因素的情况下，通过数字仿真得到的图像效果在真实性方面存在不足。半实物仿真技术又称为硬件在回路仿真，在条件允许的情况下尽可能在仿真系统中接入实物，以取代相应部分的数学模型，这样更接近实际情况，从而得到更确切的信息。半实物仿真技术能够较好克服纯数字仿真的缺点，在立体视觉研究的初期阶段体现出优势。由于半实物仿真要将软、硬件相结合而构建系统，而如何建立软、硬件之间的系统模型，确定数字场景与实际摄像机图像之间的关系存在较大困难，是立体视觉半实物仿真系统及方法的瓶颈。现有资料中没有提到一种半实物仿真系统能很好的解决立体视觉研究过程中所遇到的复杂情况仿真难的问题。因此如何解决立体视觉半实物仿真环境的瓶颈问题，设计有效实用的半实物仿真系统是十分必要和迫切的。

发明内容

本发明的目的在于克服现有技术的缺陷，提供一种立体视觉半实物仿真系统及方法，其基于立体视觉原理，结合虚拟现实技术，通过联级投影变换建立软、硬件相结合的半实物仿真传感器结构，具有精度高、结构简单和成本低的优点。

本发明所采用的技术方案是：通过虚拟视景技术，根据产生的虚拟三维场景而获得在同一时刻不同两个或多个视点的立体视觉虚拟三维视觉图像（两幅或多幅），

由投影仪作为媒介分别将各虚拟三维视觉图像投影到屏幕上，通过实际摄像机分别拍摄屏幕上不同视点各虚拟三维视觉图像，而得到仿真系统在该测量时刻最终输出图像（两幅或多幅），利用仿真系统摄像机图像以及系统的参数可根据立体视觉的基本原理计算得到图像中虚拟三维场景的三维空间坐标而完成对中虚拟三维场景的三维立体测量，从而实现对立体视觉算法的验证和评估。这里，所述的虚拟视景技术是通过 OpenGL 等软件对虚拟环境进行构建，生成与光学仪器（摄像机）拍摄到的场景相对应的三维视觉图像。所述的立体视觉的基本原理是从两个或多个视点观察同一景物，以获取在不同视点下的感知图像，基于视差原理，恢复景物的三维几何信息。

本发明实现了软、硬件相结合的立体视觉半实物仿真平台的建立，其优点主要有：（1）成功地将虚拟现实技术与摄像机传感器有效地结合在一起，同时具有数字仿真系统实现简单、操作便捷和硬件仿真系统接近真实试验环境程度高的优点，填补了当前无有效实用的立体视觉半实物仿真环境的空白，为立体视觉的研究提供了有效的仿真平台；（2）该系统结构简单、成本低，主要部件只有一台普通投影仪和摄像机以及计算机，系统易于实现，应用范围广；（3）该系统具有较高的精度，通过系统进行立体视觉三维重建仿真实验，其精度在 1/1000 左右。

附图说明

下面参照附图和具体实施方式对本发明的立体视觉半实物仿真系统及方法作进一步详细地说明。

图 1 是本发明的立体视觉测量原理图；

图 2 是本发明的系统结构示意图；

图 3 是本发明的系统模型示意图；

图 4 是本发明的方法流程图；

图 5 是本发明的透视投影视场角与尺度因子关系示意图；

图 6 是本发明的虚拟摄像机初始状态示意图。

具体实施方式

机 C_2 对应的像平面 I_2 上图像点 P_2 和其光心的连线上，因此通过两个摄像机就可以唯一确定空间点 P 的三维位置。

图 2 所示的立体视觉半实物仿真系统包括投影仪 1、摄像机 2、摄像机云台 3、投影屏幕 4、计算机 5 和 6 构成，各部分均固定在室内墙壁或稳定支架上，所述的投影仪 1 选用 Sony 公司生产的 VPL-CX71 便携型投影机，与计算机 5 相连接，在投影屏幕 4 上投出计算机 5 中虚拟视景软件生成的虚拟三维视觉图像，系统在使用过程中投影仪 1 的参数必须固定不变。摄像机 2 选用普通 CCD 摄像机，摄像机 2 的镜头为 12mm，分辨率为 768×576 ，其固定在摄像机云台 3 上，通过图像采集卡将采集的图像数据传送至计算机 6，并通过计算机 6 对摄像机云台 3 的控制实现摄像机 2 的视场选取，当确定摄像机 2 的理想位置后，开始进行系统参数的标定，在系统使用的过程中摄像机云台 3 不能转动，摄像机 2 的镜头的选取以摄像机 2 的视场尽量包含投影仪 1 的图像而又不超出为原则，为达到高精度，系统中投影仪 1、摄像机 2、摄像机云台 3 及投影屏幕 4 必须固定在室内墙壁或支架上，它们之间位置不能出现相对变化。

如图 3 所示，本发明的立体视觉半实物仿真系统建立了三个投影变换的模型：虚拟摄像机模型 7、投影仪成像模型 8 和摄像机成像模型 9，这三个模型之间具有输入输出的关系，其中，虚拟摄像机模型 7 通过计算机虚拟视景软件实现，由人为设置的参数得到不同条件下的虚拟摄像机成像结果，其摄像机模型是线性的，虚拟摄像机参数可以通过虚拟视景软件所设置的参数计算求出；而投影仪成像模型 8 和摄像机成像模型 9 是实际的硬件环境，它们之间是“面一面”的投影变换，摄像机模型是非线性的，其参数需要标定。

如图 4 所示，本发明在进行立体视觉半实物仿真时，主要包括以下步骤：

第一步，由计算机的虚拟视景软件生成虚拟三维场景图像，并获得在同一时刻不同两个或多个视点的立体视觉虚拟三维视觉图像，在该步中须在虚拟视景软件中输入如下参数：首先在虚拟视觉软件中输入如下参数：透视投影变换的垂直视场角 θ 、视场的长宽比 $Aspect$ 、视点有近裁剪平面的距离 $NearPlane$ 、视点到远裁剪平面的距离 $FarPlane$ ；视点的空间位置，即世界坐标系下的三维坐标值 $XPos$ 、 $YPos$ 、 $ZPos$ ；视线方向偏航角度 θ_{yaw} 、俯仰角度 θ_{pitch} 和滚转角度 θ_{roll} ；

第二步，由投影仪分别将各虚拟三维视觉图像投影到屏幕上；

第三步，通过实际摄像机分别拍摄屏幕上不同视点各虚拟三维视觉图像，而得到仿真系统在该测量时刻的最终输出图像；

第四步，计算虚拟摄像机参数、标定实际摄像机成像模型参数和投影仪成像模型参数；

第五步，根据立体视觉的基本原理计算得到图像中虚拟三维场景的三维空间坐标。

下面，建立虚拟摄像机模型：

$$s_v \begin{bmatrix} u_v \\ v_v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_{vx} & 0 & u_{v0} & 0 \\ 0 & \alpha_{vy} & v_{v0} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_v & T_v \\ 0^T & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{vw} \\ Y_{vw} \\ Z_{vw} \\ 1 \end{bmatrix} = M_{1v} M_{2v} \begin{bmatrix} X_{vw} \\ Y_{vw} \\ Z_{vw} \\ 1 \end{bmatrix} = M_v \begin{bmatrix} X_{vw} \\ Y_{vw} \\ Z_{vw} \\ 1 \end{bmatrix}$$

其中 $[u_v, v_v, 1]^T$ 为虚拟三维视觉图像的齐次坐标， $[X_{vw}, Y_{vw}, Z_{vw}, 1]^T$ 为虚拟场景的三维空间齐次坐标， s_v 为比例因子， α_{vx} 和 α_{vy} 分别为虚拟摄像机 x 轴和 y 轴方向尺度因子， u_{v0} 和 v_{v0} 为虚拟摄像机图像中心， R_v 和 T_v 为旋转矩阵和平移向量，即虚拟摄像机外部参数。 M_{1v} 和 M_{2v} 分别为虚拟摄像机的内部参数矩阵和外部参数矩阵， M_v 为虚拟摄像机的投影矩阵。虚拟摄像机参数 M_v 各元素可以通过虚拟视景软件所设置的参数计算求出。

建立投影仪成像模型：

$$s_p \begin{bmatrix} u_p \\ v_p \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_{px} & 0 & u_{p0} & 0 \\ 0 & \alpha_{py} & v_{p0} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_p & T_p \\ 0^T & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{pw} \\ Y_{pw} \\ Z_{pw} \\ 1 \end{bmatrix} = M_p \begin{bmatrix} X_{pw} \\ Y_{pw} \\ Z_{pw} \\ 1 \end{bmatrix}$$

以上公式中参数定义与前面一样，由于投影仪成像是“面一面”的投影变换，因此可设 $Z_{pw} = 0$ ，则由上式可得：

$$s_p m_p = \begin{bmatrix} \alpha_{px} & 0 & u_{p0} \\ 0 & \alpha_{py} & v_{p0} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{1p} & r_{2p} & T_p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{pw} \\ Y_{pw} \\ 1 \end{bmatrix} = H_p \tilde{X}_{pw}$$

其中 $m_p = [u_p \ v_p \ 1]^T$ ， r_{1p}, r_{2p} 分别为 R_p 的第 1、2 列， $\tilde{X}_{pw} = [X_{pw} \ Y_{pw} \ 1]^T$

建立实际摄像机成像模型：

$$s_c \begin{bmatrix} u_c \\ v_c \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_{cx} & 0 & u_{c0} & 0 \\ 0 & \alpha_{cy} & v_{c0} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_c & T_c \\ 0^T & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{cw} \\ Y_{cw} \\ Z_{cw} \\ 1 \end{bmatrix} = M_c \begin{bmatrix} X_{cw} \\ Y_{cw} \\ Z_{cw} \\ 1 \end{bmatrix}$$

公式中参数定义与前面一样，这里摄像机成像也是“面一面”的投影变换，因此也可设 $Z_{cw} = 0$ ，则由上式可得：

$$s_c m = \begin{bmatrix} \alpha_{cx} & 0 & u_{c0} \\ 0 & \alpha_{cy} & v_{c0} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{1c} & r_{2c} & T_c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{cw} \\ Y_{cw} \\ 1 \end{bmatrix} = H_c \tilde{X}_{cw}$$

其中 $m = [u_c \ v_c \ 1]^T$ ， r_{1c}, r_{2c} 分别为 R_c 的第 1、2 列， $\tilde{X}_{cw} = [X_{cw} \ Y_{cw} \ 1]^T$ 。

实际情况下，摄像机并不是理想的透视成像，而是带有不同程度的畸变，这里只考虑一阶径向畸变 k ，下面是对该模型中的参数进行标定以及转换计算。

下面计算虚拟摄像机的参数，这里设定虚拟摄像机图像分辨率为 1024×768 。

(1) 内部参数

通过视场角和图像的分辨率可求得虚拟摄像机的内部参数矩阵。如图 5 所示， O 为视点，平面 P 为成像面，成像面的分辨率为 $w \times h$ ，像素物理尺寸为 dx, dy ， u 轴和 v 轴方向的尺度因子为 α_x, α_y ，虚拟摄像机的焦距为 f ，垂直观场角为 θ

则由图 5 中的几何关系可得：

$$\tan\left(\frac{\theta}{2}\right) = \frac{\frac{h}{2} * dy}{f}$$

由上式可得：

$$\alpha_y = \frac{f}{dy} = \frac{h/2}{\tan(\theta/2)}$$

虚拟摄像机是理想的针孔成像模型，其 u 轴和 v 轴方向的尺度因子相等，设为 $\alpha_x = \alpha_y = \alpha$ ，摄像机光轴与像平面交点为像平面中心，即图像中心。由此即确定虚拟摄像机内部参数矩阵。

(2) 外部参数

外部参数即为 R, T 的求解通过坐标变换实现。由视点在世界坐标系中的位置，

以及视线方向的偏航角度、俯仰角度和滚转角度可实现 R ， T 的求解：

虚拟摄像机在虚拟世界坐标系中的初始状态（视点在虚拟世界坐标系原点，偏航角度、俯仰角度和滚转角度都为 0），如图 6 所示：虚拟世界坐标系为 X, Y, Z ，为黑色坐标系所示。虚拟摄像机坐标系初始状态为 $X_{c_0}, Y_{c_0}, Z_{c_0}$ ，即视线方向指向虚拟世界坐标系的 X 轴方向，则虚拟摄像机坐标系从与虚拟世界坐标系重合位置变换到图 6 中初始位置的旋转矩阵 R_{v_1} 为：

$$R_{v_1} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

虚拟摄像机在初始状态下按照先滚转再偏航最后俯仰的顺序进行旋转，而确定虚拟摄像机旋转后的最终位置，其旋转矩阵为 R_{v_2} ，再将虚拟摄像机视点位移到所设置的位置即完成了从虚拟世界坐标系到虚拟摄像机坐标系的变换。

坐标旋转矩阵 R_{v_2} 可以用欧拉角表示法求得，根据前面所规定的虚拟摄像机旋转顺序可知欧拉角表示法中旋转顺序为：绕 Z 轴→绕 Y 轴→绕 X 轴，旋转角度正负按右手坐标系法则确定，绕 X 轴、 Y 轴、 Z 轴的角度分别为 α, β, γ 后，可推导求得旋转矩阵为：

$$R_{v_2} = \begin{bmatrix} \cos \beta \cos \gamma & \cos \beta \sin \gamma & -\sin \beta \\ \sin \alpha \sin \beta \cos \gamma - \cos \alpha \sin \gamma & \sin \alpha \sin \beta \sin \gamma + \cos \alpha \cos \gamma & \sin \alpha \cos \beta \\ \cos \alpha \sin \beta \cos \gamma + \sin \alpha \sin \gamma & \cos \alpha \sin \beta \sin \gamma - \sin \alpha \cos \gamma & \cos \alpha \cos \beta \end{bmatrix}$$

其中 $\alpha = \theta_{pitch}$ ， $\beta = \theta_{yaw}$ ， $\gamma = \theta_{roll}$ 。

由此虚拟世界坐标系和虚拟摄像机坐标系之间的旋转矩阵 $R_v = R_{v_2} * R_{v_1}$

设虚拟摄像机视点在虚拟世界坐标系中的坐标值为 T_{vw} ，则平移向量为：

$$T_v = -(R_v * T_{vw})$$

最终得到虚拟摄像机外部参数矩阵为：

$$M_{2v} = \begin{bmatrix} R_v & T_v \\ 0^T & 1 \end{bmatrix}$$

下面介绍投影仪成像模型和摄像机成像模型参数的标定：

最终得到虚拟摄像机外部参数矩阵为：

$$M_{2v} = \begin{bmatrix} R_v & T_v \\ 0^T & 1 \end{bmatrix}$$

下面介绍投影仪成像模型和摄像机成像模型参数的标定：

在实际应用中，我们不需要分别确定图 3 中投影仪成像模型和摄像机成像模型的参数，即无需分别求解投影仪图像到投影屏幕、投影屏幕到摄像机之间的变换关系，而只需确定摄像机和投影仪图像之间的变换关系即可，因此可将摄像机和投影仪作为一个整体进行标定，由于摄像机镜头焦距小（12mm），摄像机存在较大的径向畸变，所以系统需采用非线性系统标定方法进行标定，其参数的标定步骤如下：

首先，根据 Lenz 和 Tsai 提出的变焦距法（参见 Lenz.R.K, Tsai.R.Y, Techniques for Calibration of the Scale Factor and Image Center for High Accuracy 3-D Machine Vision Metrology, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Volume 10, Issue 5, September 1988, Pages:713-720）可求得摄像机的图像中心。

然后，将投影仪模型简单作为线性模型，则投影仪计算机图像、投影仪屏幕图像和摄像机坐标系像平面中空间共线四点之间具有交比不变性质，利用张广军等提出的基于交比不变的摄像机畸变系数标定方法（参见张广军编著，《机器视觉》，北京：科学出版社，2005.）可实现对摄像机径向畸变系数的标定。

最后，在求出摄像机的图像中心和径向畸变系数的基础上，可由靶标的像素图像坐标 (u_c, v_c) 计算得到其在摄像机坐标系下图像坐标 (X, Y) 。而摄像机图像 (X, Y) 到投影仪计算机图像 (u_p, v_p) 是一个线性变换关系，可通过下式表示：

$$\begin{pmatrix} u_p \\ v_p \\ 1 \end{pmatrix} = H * \begin{pmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

其中 H 为 3×3 矩阵，由靶标上多个角点可由(1)式建立线性方程，利用最小二乘法即可求出矩阵 H ，即完成对摄像机成像模型和投影仪成像模型的标定。

下面通过一具体实施例来说明本发明的立体半实物视觉仿真的优点：

首先，由与投影仪连接的计算机生成的平面靶标图像和摄像机获取的靶标图像其图像分辨率为 1024×768 ，摄像机拍摄的靶标图像分辨率为 768×576 ，由以上图像进行标定的结果如下表 1 所示：

表 1 系统标定结果

摄像机像平面中心 (像素)	Cx: 367.712115
	Cy: 258.243824
畸变系数	x 方向 k1: 0.001551
	y 方向 k2: 0.001084
投影矩阵	$H = \begin{bmatrix} 0.0064118 & 3.38722e-005 & -3.18732 \\ -2.16954e-005 & 0.00636902 & -2.17005 \\ -1.92591e-005 & 3.96797e-005 & 1 \end{bmatrix}$
标定误差 (像素)	x 值均方误差: 0.065102
	y 值均方误差: 0.167233

其中标定误差是利用标定结果，由靶标摄像机图像中未参与标定计算的角点坐标反算得到的投影仪计算机图像对应角点坐标值与真实的投影仪计算机图像角点坐标值之间差值的均方值。

然后，通过虚拟视景软件设计一组已知空间坐标的四棱锥体，设置两个视点的对应参数，得到两幅不同视点的虚拟三维视觉图像，两个视点的参数设置分别如表 2 中所示：

表 2 虚拟视景软件两个视点的参数设置

视点序号	透视投影变换 视场角 θ (度)	视点坐标 (米)			视线角度 (度)		
		XPos	YPos	ZPos	θ_{yaw}	θ_{pitch}	θ_{roll}
1	30.0	-296.96	4924.04	815.87	-20.0	-80.0	0
2	30.0	334.94	4829.63	1250.00	15.0	-75.0	0

由以上参数可以求出左右虚拟摄像机参数，如表 3 所示：

表 3 虚拟左右摄像机参数

虚拟摄像机	内部参数矩阵 M_{1v}	外部参数矩阵 M_{2v}
-------	-----------------	-----------------

左	$\begin{bmatrix} 1433.1 & 0 & 512 & 0 \\ 0 & 1433.1 & 384 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.93969 & 0 & 0.34202 & -5.1699e-006 \\ -0.33682 & -0.17365 & 0.92542 & -0.00011909 \\ 0.059391 & -0.98481 & -0.16318 & 5000 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$
右	$\begin{bmatrix} 1433.1 & 0 & 512 & 0 \\ 0 & 1433.1 & 384 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.96593 & 0 & -0.25882 & 5.7792e-006 \\ 0.25 & -0.25882 & 0.93301 & -0.00011165 \\ -0.066987 & -0.96593 & -0.25 & 5000 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$

然后，将虚拟视景不同视点的两幅图像分别投影到屏幕上，经过摄像机拍摄得到的左右摄像机图像。

选取图中四棱锥顶点及部分底面角点作为立体视觉三维坐标计算对象，由以上标定结果和左右虚拟摄像机参数应用立体视觉方法计算得到各点的三维坐标如表 4 所示：

表 4 测试点三维坐标结果

测试点	计算得到的 3D 坐标			测试点 3D 坐标 (正确参考值)			误差绝对值		
	x (m)	y (m)	Z (m)	x (m)	y (m)	z (m)	x (m)	y (m)	z (m)
1	-797.431385	50.127005	-797.777763	-800.0	50.0	-800.0	2.568615	0.127005	2.222237
2	-1.001740	107.039278	-794.380440	0.0	100.0	-800.0	1.001740	7.039278	5.619560
3	796.842689	195.600301	-796.937523	800.0	200.0	-800.0	3.157311	4.399699	3.062477
4	-797.141975	103.440312	-0.900943	-800.0	100.0	0.0	2.858025	3.440312	0.900943
5	-0.804717	210.602164	0.101009	0.0	200.0	0.0	0.804717	10.602164	0.101009
6	794.319775	406.063174	1.453075	800.0	400.0	0.0	5.680225	6.063174	1.453075
7	-795.761508	207.047241	794.217551	-800.0	200.0	800.0	4.238492	7.047241	5.782449
8	-0.290521	405.913170	795.739763	0.0	400.0	800.0	0.290521	5.913170	4.260237
9	794.324599	804.210911	795.545259	800.0	800.0	800.0	5.675401	4.210911	4.454741
10	-1200.416783	-14.100085	-799.657616	-1200.0	0.0	-800.0	0.416783	14.100085	0.342384
11	-398.896403	7.953799	-0.981987	-400.0	0.0	0.0	1.103597	7.953799	0.981987
12	396.572498	6.668576	794.327192	400.0	0.0	800.0	3.427502	6.668576	5.672808

最后，进行精度分析，由上表数据可计算得到三维坐标的均方误差为：

x 值：3.189168

y 值：7.296316

z 值：3.576814

当在虚拟场景中把视点设在四棱锥体的上方海拔为 3000 米左右位置，进行相

由于立体视觉测量精度会随着测量范围变大而降低，因此我们通过场景的三维坐标误差值与测量距离的比值来衡量立体视觉系统测量的精度，由以上实验数据可知，该系统通过系统进行立体视觉三维重建精度在 1/1000 左右。

以上所述的仅是本发明的优选实施方式。应当指出，对于本领域的普通技术人员来说，在不脱离本发明原理的前提下，还可以作出若干变型和改进，这些也应视为属于本发明的保护范围。

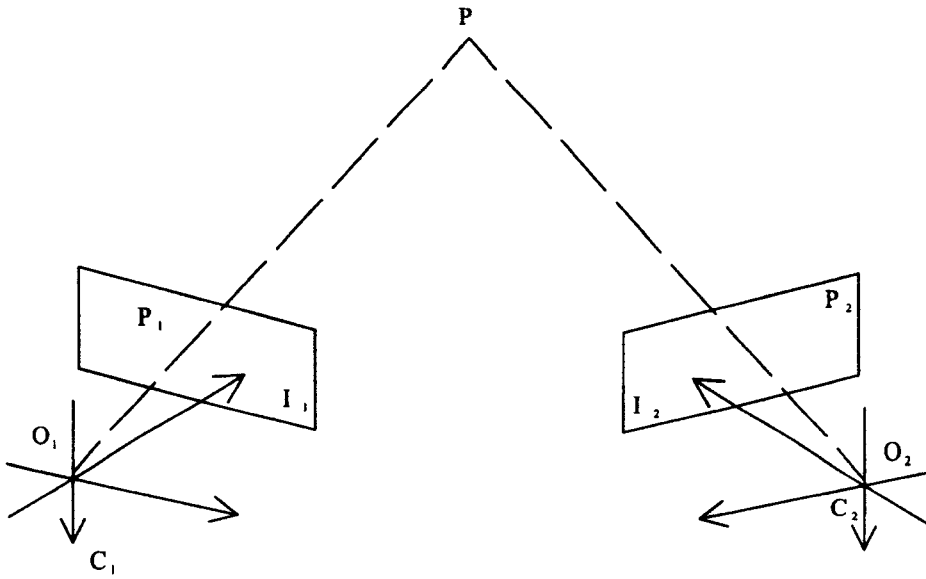


图 1

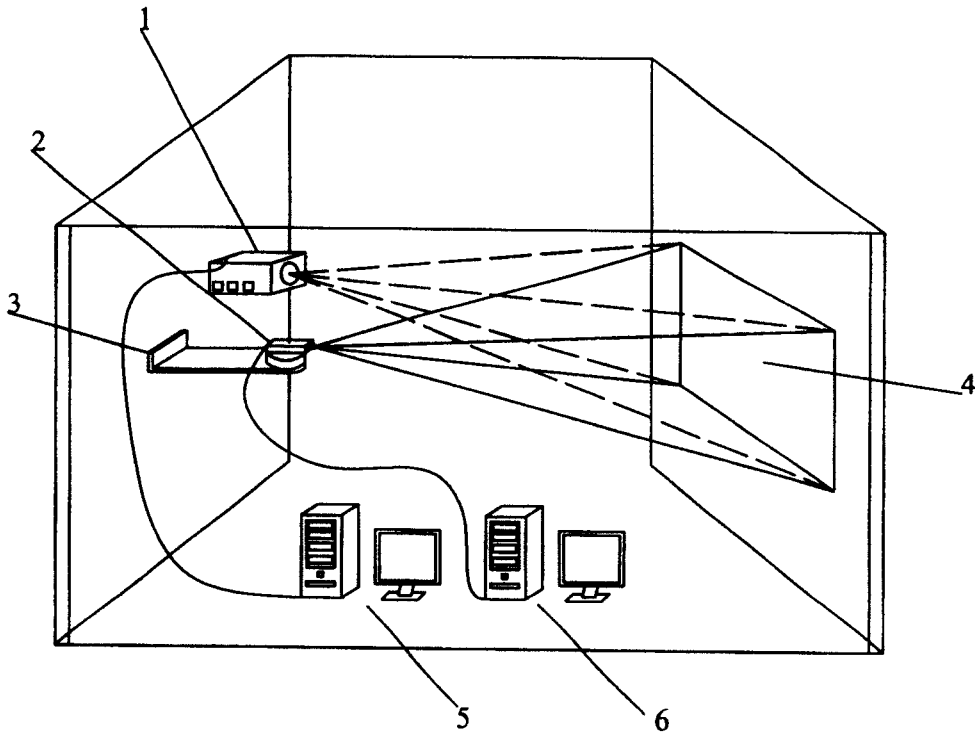


图 2

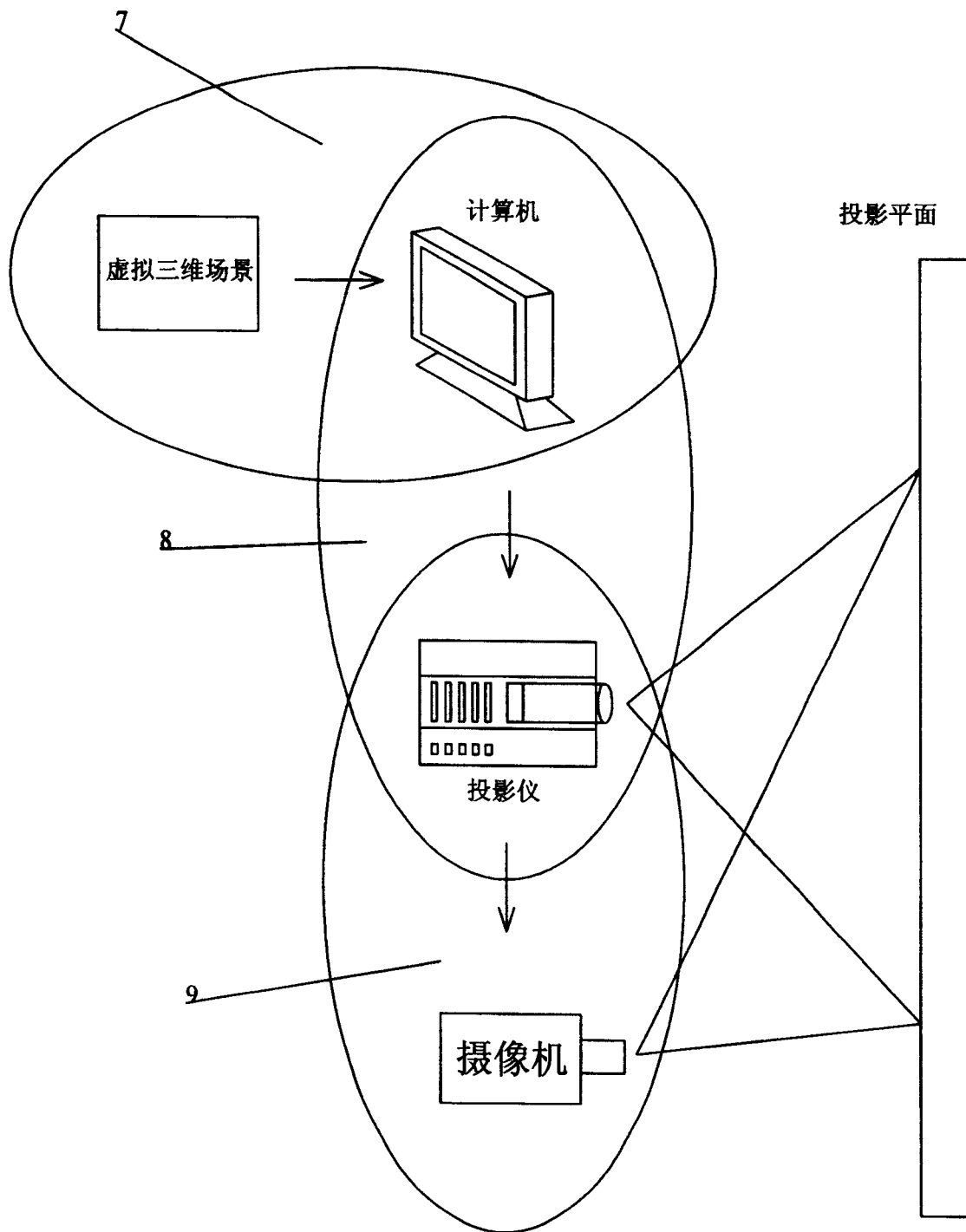


图 3

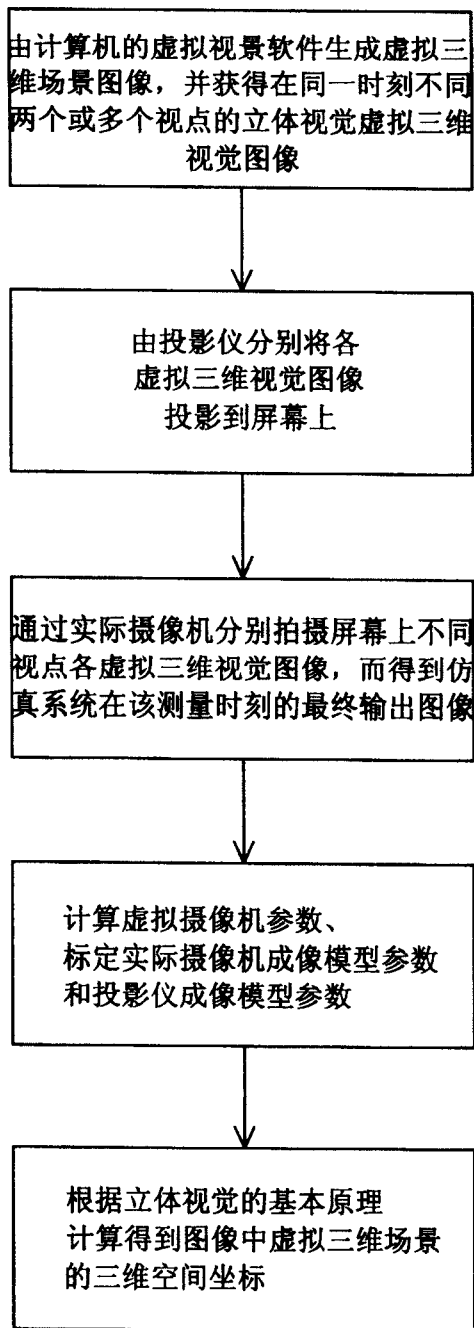


图 4

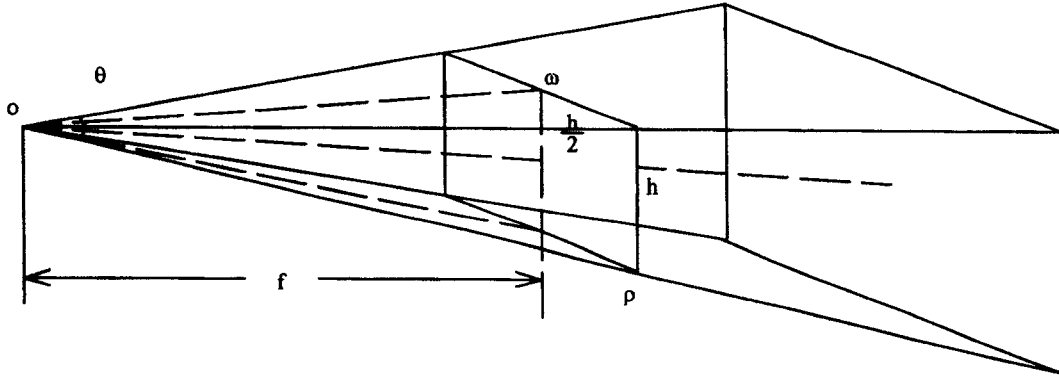


图 5

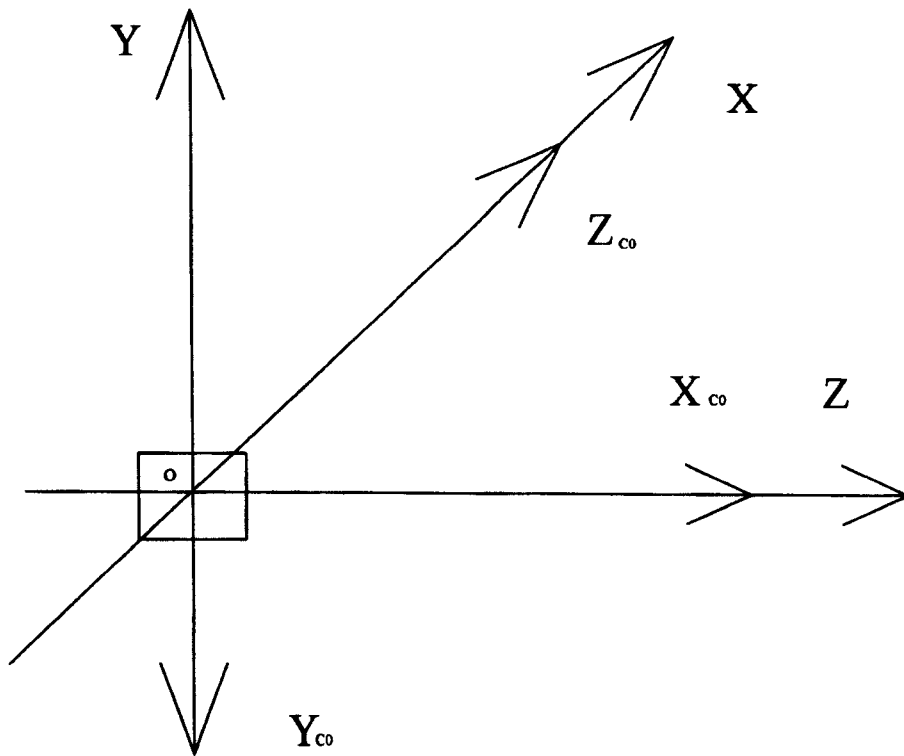


图 6