

三维虚拟摄像机的建模及其漫游控制方法^①

闫志远^② 吴冬梅 鲍义东 杜志江^③

(哈尔滨工业大学机器人技术与系统国家重点实验室 哈尔滨 150080)

摘 要 利用矢量描述方法表达了虚拟现实(VR)中的虚拟单目摄像机模型,在此基础上,基于双目视差形成三维视觉的原理确定虚拟现实环境中双目三维摄像的控制参数及其约束关系,进而提出了包含两个单目虚拟摄像机的三维虚拟摄像机整体模型。针对该模型提出了一种基于机器人运动学方法的双目虚拟摄像机漫游控制方法,解决了虚拟现实三维观察参数难以实时改变而导致的视角局限和三维失真等问题。实验表明通过该三维虚拟摄像机可获取高质量三维效果,提出的漫游控制方法通过模型的自动运算和参数补偿可实时主动地获取任意方向的三维景深。这种由被动式虚拟三维向交互性虚拟三维的跨越对改进虚拟现实的沉浸感具有重要意义。

关键词 虚拟现实(VR), 双目视差, 三维视觉, 三维虚拟摄像机, 漫游控制

0 引 言

虚拟现实(VR)场景是计算机模拟场景,因此物理沉浸感要弱于现实物理世界。虚拟环境的三维成像是解决这个问题的首要关键技术。配置一个具有三维视觉的虚拟现实系统通常需要利用一些昂贵设备并综合使用多项复杂技术^[1]。虚拟三维视觉原理多采用基于双目视差的三维成像原理^[2]。双目视差是指由于正常的瞳孔距离和注视角度不同造成的左右眼物象的一定程度的水平差异。具有视差的两幅图像经过人脑综合后就形成了立体图像^[3]。虚拟现实三维视觉的关键就是获取具有视差的左右两幅图像,并分别输送到人的左眼和右眼。现有虚拟现实三维视觉方案存在两个问题:一是虚拟现实三维视觉系统往往基于复杂的技术和设备,而且仅限于专门的平台,三维视觉模块可移植性差^[4,5];二是—般基于 VR 的三维视觉系统的拍摄参数为一次性预设参数,虚拟现实人机交互过程中无法改变这些参数,这会导致只能在有限的视角内实现固定方向的深度视觉,无法通过实时转换观察方位在与原来差异较大的方向上获得景深,例如诺丁汉大学、南

里奥格兰德州大学以及韩国先进科学技术学院提出的虚拟环境三维成像方法^[6,7],仅能在固定方向上获取景深,不能实现三维视野的大范围实时漫游。美国近年研制成功的著名的虚拟手术系统 DV-TRAINER 和 ROSS 采用了虚拟三维成像技术,但同样无法实现实时改变成像参数的交互式漫游,仅能在一个默认的方向上形成景深^[8]。常见 3D 实景电影和虚拟电影的拍摄参数也是预设的,观众只能被动地获取景物在其视线方向的景深,若不变换场景坐标,根本无法改变视角去获得景物在其它方向的深度感。

在任意方向获取深度感将会极大改进虚拟现实的沉浸感,因此基于现有计算机平台构建一种可移植性好且能够实时进行充分场景漫游的三维视觉模型很有现实意义。本研究基于 PC 机平台和 OpenGL,利用矢量描述方法表达虚拟现实中的单目虚拟摄像机模型,在此基础上基于双目视差原理构建了虚拟环境的双目三维虚拟摄像机模型。由于 OpenGL 是一个跨平台编程接口,因此本研究提出的立体摄像机模型具有跨平台性,具备较好的可移植性能。另外,基于机器人运动学方法提出了基于实时可控变量的双目虚拟摄像机漫游控制方法,该方法可获

① 863 计划(2009AA044001)资助项目。

② 男,1983 年生,博士生;研究方向:医疗机器人,虚拟手术;E-mail: zhiyuanyan@163.com

③ 通讯作者,E-mail: duzj01@hit.edu.cn

(收稿日期:2012-04-26)

取虚拟环境任意方向纵深感,对增进虚拟现实的沉浸感具有重要意义。

1 虚拟摄像机建模

为定义双目三维摄像机约束关系及描述双目摄像机整体模型。首先基于 OpenGL 摄像运算原理,采用矢量描述的方式封装一个单目摄像机类模型。

1.1 单目虚拟摄像机模型

本文将虚拟摄像机成像计算划分为摄像机层、漫游控制层和渲染层。如图 1 所示,虚拟三维世界的视觉场景是通过对三维模型的计算绘制获取的,这一过程包含成像、漫游和图形渲染三个控制层次。OpenGL 提供了完善的接口,可以使用其命令设置成像环境,并完成相关的成像计算。

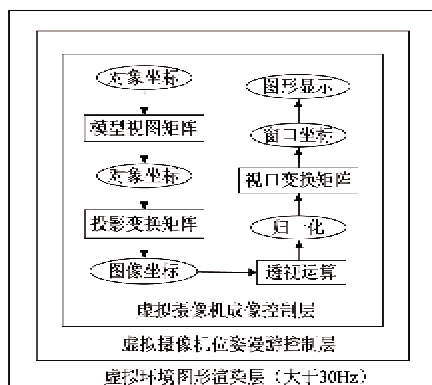


图1 虚拟摄像机成像绘制流程

本文所封装的摄像机首先对物体坐标进行视点模型变换,生成视图坐标,然后进行视图坐标系到像平面坐标系的转换,再规定摄像机取景范围,将各坐标值除以 w 分量得到归一化设备坐标矩阵 P_d ,最后经视口变换得到窗口坐标矩阵并实现显示。由图 1 可知,从图像采集到成像是个循环绘制过程,其刷新率要高于 30Hz 才能满足观察的基本需要。本文的模型使用透视投影算法,于是上述成像过程可以表示为 $P_d = (1/w_d)PMp$, 其中 p 为景物坐标, M 和 P 分别为模型变换矩阵和投影矩阵, w_d 为仿射变换 w 分量^[9]。

基于上述成像运算机制,调用 `gluLookAt` 等函数,将成像等摄像功能接口进一步集中封装为独立的单目虚拟摄像机模型,描述为 `Camera` 类。单目摄像机对象通过实时传递三个空间矢量参数 `m_Position`, `m_LookAt` 和 `m_Up` 来分别描述摄像机的位置、视线以及摄像机绕视线的回转。图 2 给出了基

于透视的虚拟单目摄像机矢量描述模型,视点向量 P_e 由坐标原点指向视点 $p_e(p_{ex}, p_{ey}, p_{ez})$, 该向量确定摄像机的位置;目标点向量 P_t 由视点指向目标点 $p_t(p_{tx}, p_{ty}, p_{tz})$, 该向量确定摄像机拍摄的目标点位置; P_u 由坐标原点指向 $p_u(p_{ux}, p_{uy}, p_{uz})$, 决定摄像机以视线为轴的回转。由图 2 可知, $P_u = P_e + P_r$ 。矢量 P_r 与摄像机固联,是由摄像机视点出发向上的矢量,直观地反映了摄像机绕着视线的回转程度。向量 P_e, P_t 确定了摄像机的视线方向, P_u 决定了摄像机以视线为轴的回转,三个矢量共同决定了摄像机的拍摄方向和姿态。设视线方向为 P_l , 则有: $P_l = P_t - P_e$ 。

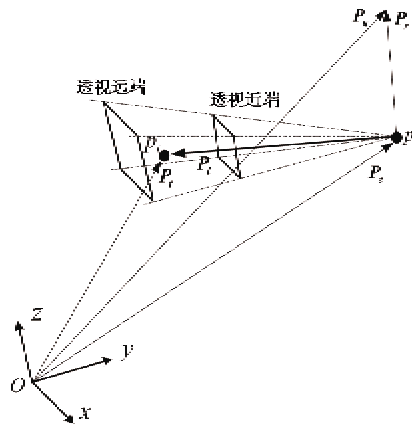


图2 单目虚拟摄像机矢量描述模型

利用 `gluPerspective` 函数进一步规定虚拟摄像机的透视远端平面 `Far_Plane`、透视近端平面 `Near_Plane` 和视场角等摄像机基本属性,从而建立完整的单目虚拟摄像机模型,为构建双目三维摄像机模型做好准备。为单目摄像机模型传递前述 5 个参量,参量单位用三维投影视口的坐标单位长度来表示。令透视参数 `Far_Plane = 0.02`, `Near_Plane = 9.0`, 视场角取 80 度。 P_e 赋向量 $(0.0, 3.0, 1.5)$, 即 `m_Position = (0.0, 3.0, 1.5)`; P_t 赋向量 $(0.0, 1.5, 1.5)$, 即 `m_LookAt = (0.0, 1.5, 1.5)`; P_r 赋向量 $(0.0, 0.0, 1.0)$, 由 $P_u = P_e + P_r$, 可知 `m_Up = (0.0, 3.0, 2.5)`。由此获取一个虚拟手术环境的单目虚拟摄像机场景,如图 3 所示。



图3 单目虚拟摄像机获取的场景

1.2 单目虚拟摄像机间约束关系

双目三维虚拟摄像机的目的就是模拟人的双眼拍摄出略有差别的两幅虚拟图像。其拍摄的质量取决于虚拟摄像机的距离差、角度差等控制参数。本文基于前述单目虚拟摄像机模型和双目三维成像原理,定义两个单目虚拟摄像机 A 和 B 之间的约束关系。首先定义两个单目虚拟摄像机间距 D , 视线夹角 θ , 给出双目虚拟摄像机模型如图 4 所示, 其中 P_{ea} , P_{ra} , P_{ua} 和 P_{la} 用于描述摄像机 A, P_{ea} 描述摄像机 A 的视点, P_{ra} 和 P_{ua} 描述摄像机 A 绕视线矢量的回转, P_{la} 描述摄像机 A 的视线方向。同样, P_{eb} , P_{rb} , P_{ub} 和 P_{lb} 用以描述摄像机 B 的视点、绕视线回转方向及视线。

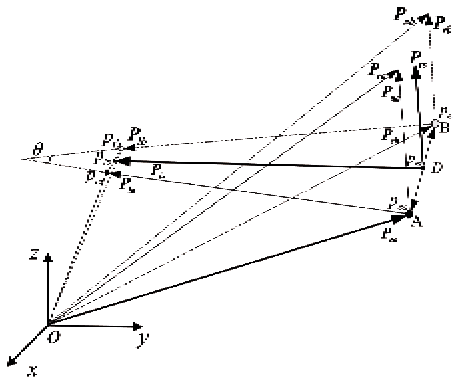


图 4 双目三维虚拟摄像机矢量描述模型

两路单目虚拟摄像机按照上述约束条件封装为一个三维双目摄像机的整体模型, 摄像机位置矢量和姿态矢量等作为三维摄像机的属性描述了摄像机的内部约束关系。

根据双目视差形成三维视觉的原理, 摄像机 A 和摄像机 B 需要满足二个约束条件: 一是向量 P_{ra} 和 P_{rb} 务必平行, 二是要始终保持一定的间距和视线角度差。通过约束条件建立双目虚拟三维摄像机的约束方程模型。首先计算双目摄像机的两个视点距离, 即观察视差 D , 其结果如式

$$D = |P_{ea} - P_{eb}| \quad (1)$$

所示。再计算摄像机视线夹角 θ , 通过图 4 的几何关系求得 θ 的表达式, 如下式所示:

$$\sin(\theta/2) = \frac{|P_{ea} - P_{eb}| - |P_{la} - P_{lb}|}{2|P_{ea} - P_{na}|} \quad (2)$$

两路摄像机的视线长度相同, 因此需满足

$$|P_{ea} - P_{na}| = |P_{eb} - P_{na}| \quad (3)$$

两个摄像机的两个向量 P_{ra} 和 P_{rb} 平行, 即存在一个非零实数 λ 满足式

$$(P_{ra} - P_{na}) = \lambda(P_{rb} - P_{na}) \quad (4)$$

1.3 三维虚拟摄像机参数分析

式(1) - 式(4)仅仅给出了虚拟三维摄像机整体模型中两路单目摄像机之间的简单约束关系, 还不足以实现保证三维立体观察效果前提下的参数实时控制。为便于对三维虚拟摄像机整体控制, 不必再关注单目虚拟摄像机的模型, 而是将合成的双路摄像机封装为一个新的整体虚拟摄像机, 在模型中进一步规定三维摄像机的视差 D 、视线夹角 θ 及拍摄物距 d 等参数的约束关系。

为全面表达双目摄像机模型作为一个新整体的属性, 需要对其进行新的矢量描述。如图 4 所示, 首先根据双目摄像机的工作原理定义双目摄像机的视线矢量。定义 p_{ea} 为摄像机 A 视点矢量末端点 p_{ea} 和摄像机 B 的视点矢量末端点 p_{eb} 的中点, p_{na} 为摄像机 A 目标点 p_{ea} 和摄像机 B 目标点 p_{eb} 的中点, 定义双目摄像机的视线矢量 P_{ls} 由 p_{ea} 指向 p_{na} , P_{ls} 的指向即为视线方向。定义双目摄像机观察物距为 d , 则有 $d = |P_{ls}|$ 。另一个约束双目摄像机的条件是以视线矢量 P_{ls} 为轴的回转角。该回转角通过矢量 P_{ra} 描述, 如图 4 所示, P_{ra} 从 p_{ea} 出发, 指向 P_{la} 和 P_{lb} 所确定的平面的上方, 并规定 $|P_{ra}| = 1$ 。当双目摄像机绕视线回转角为零时, P_{ra} 与基坐标的 z 轴平行, 根据图 4 可知, $P_{ra} = P_{na} - P_{ea}$ 。

三维观察过程中, 一个重要的观察需求是改变视角和观察距离, 为保证观察效果则需要时刻校准两台摄像机的拍摄参数。这一过程主要是控制观察物距 d 、视线矢量 P_{ls} 和回转矢量 P_{ra} 。双目虚拟摄像机模型最终需要根据观察视差 D 、 P_{ls} 和 P_{ra} 分别求出两个单目摄像机的位置姿态。其中, P_{ls} 作为变量的目的是在观察过程中改变视线方向, 包括俯仰和左右视角的偏移。 P_{ra} 代表双目摄像机绕 P_{ls} 的回转程度, 决定了最终虚拟场景绕屏幕法线方向的回转程度。最后根据前述单目摄像机的成像模型得出每个摄像机的屏幕成像, 获取立体图像对。

在虚拟环境三维成像的动态过程中, 物距大幅度变化的情况十分常见, 因此视差参数在动态三维成像过程中需要具有随物距调整的能力, 否则会导致图像在很多位置交叠错乱而无法形成三维视觉。因此三维虚拟摄像机的控制与单目摄像机不同, 其控制变换分为两个方面, 除了摄像机漫游控制, 还有视差参数的控制。所谓视差参数是指观察视差 D 和视差角 θ , 视差控制过程主要是按照约束关系时刻给出合理的 D 和 θ 。

合理范围内的不同视差会带来不同的深度感

受,因此即使同一个方向上的深度感也可以依据观察需求进行调整。视差有正负之分,如图 5(a)所示,双目视线交于被观察参考面后方形成正视差;如图 5(b)所示,双目视线交于被观察参考面上则形成零视差;如图 5(c)所示,双目视线矢量交于被观察参考平面的前方则形成负视差。实际观察过程中零视差情况极少出现,常见的情况是图 5(a)所示的正视差情况。由于人眼对负视差更为敏感,图 5(c)形成负视差的情况要少于图 5(a)。正负视差不能过于频繁转换或过大,否则会造成视觉反应错乱,导致眩晕、花眼。

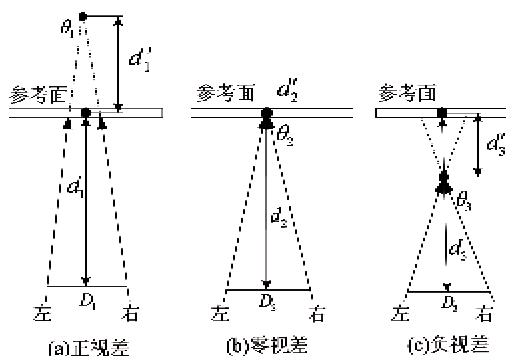


图 5 不同参数条件形成正负视差

为确定负视差和正视差的合理范围,本文提出的模型在虚拟场景三维融合时进行了深度预算。通过视差将深度控制在合理范围内将确保眼疲劳控制到最低限度,这直接关系到虚拟现实三维观察的舒适度和可持续性。本文模型依据英国天空电视台的数据,对虚拟环境素材规定 2% 正视差和 1% 负视差(以帧宽度的百分比计量)的深度预算,正负视差短期冲击效应分别不超过 4% 和 2.5%。

此外,多数人脑并不擅长将两幅差异超过 2.5% 的图像融为一体,所以对于屏幕宽度小于 2.5m 的屏幕而言,如果不对两幅图像的取景差异加以限制,则很可能无法实现立体效果。

无论是正负视差还是取景差异都与观察视差 D 、视差角 θ 以及观察物距 d 之间的约束关系密切相关。按照人双眼形成三维视觉的生理规律,本文给出公式

$$\tan(\theta/2) = \frac{\alpha D}{2d} \quad (5)$$

来描述 D 、 θ 和 d 之间的关系。其中观察物距 d 是指三维摄像机参考点到被观察物体参考表面的距离,即 p_m 到视线与被观察物体参考平面的交点连线的

长度。根据图 5 所示, d 分别对应 d_1 、 d_2 和 d_3 三种情况。根据双目摄像机模型,设从被观察参考平面到双目视线矢量交点的距离为 d' , 根据图 4 所示三种情况, d' 分别对应 d'_1 、 d'_2 和 d'_3 。 $d'_1 > 0$, $d'_2 = 0$, $d'_3 < 0$ 。设 α 为调整系数,令 $\alpha = d/(d + d')$, 则图 4 所示三种情况下 α 会分别存在 $\alpha < 1$ 、 $\alpha = 1$ 和 $\alpha > 1$ 三种情况。

实际上 α 与透视矩阵等虚拟成像因素密切相关,也就是在物距 d 一定的情况下, α 的合理选取有利于控制双路图像不超过成像差异限制,使用 α 这一调整系数主要是为了实现这个目的。在双目摄像机参数控制过程中,主要是依据上述关系控制物距和视差的变化,单纯改变 θ 的情况并不常见。当物距大幅度迅速减少时,双目摄像机模型会根据上述关系适当减小视差 D 并适当增大 θ , 以免引起成像差异迅速增大而导致强烈的观察不适。类似地,当为改变深度效果而略微增大视差 D 时,模型会根据上述关系适当增大 θ 。

2 双目摄像机漫游控制

双目三维虚拟摄像机包含两个互相约束位置和姿态的单目虚拟摄像机,需要同时控制两个虚拟摄像机的位置和姿态才能实现三维场景的漫游。双目摄像机需要实现两类动作,一类是两个单目摄像机之间的相对运动,主要包括视差和视线夹角的改变;另一类是双目摄像机整体的位置和姿态控制,包括绕三个方向的回转和沿三个方向的移动^[10]。根据双目摄像机的运动特点,并考虑方便应用主操作手或导航手柄等输入设备进行漫游控制,本文提出用虚拟机器人的运动控制方法实现其漫游控制,将摄像机的漫游控制转为输入设备对虚拟机器人的控制。这种主从交互的运动方法可以最为直接有效地反映漫游控制意图。

如图 6 所示,双目摄像机的漫游位姿变化可用 P_n 和 P_k 来描述。于是可将 P_n 和 P_k 分别作为三维摄像机的 z 轴和 x 轴来建立新的局部坐标系,从而将三维虚拟摄像机抽象为一个虚拟的杆件。本文建立了一个以该虚拟杆件为末端杆件的六自由度虚拟机器人坐标关系,如图 7 所示。双目摄像机整体绕三个方向的回转和沿三个方向的移动由机器人的三个平移自由度和三个旋转自由度实现;两个单目虚拟摄像机之间的视差控制由该虚拟机器人的工具自由度实现。

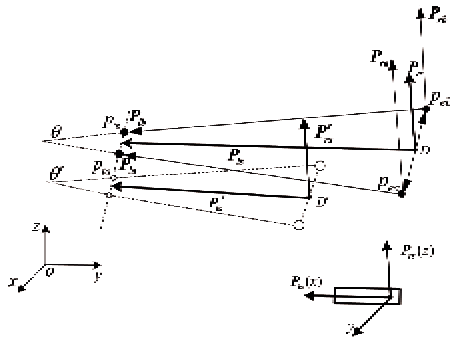


图6 双目虚拟摄像机位姿变化示意图

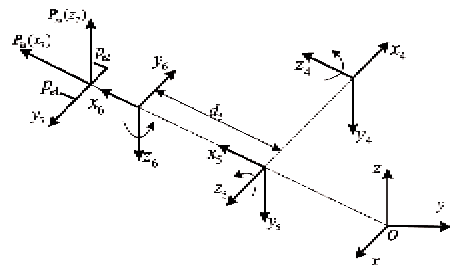


图7 双目虚拟摄像机漫游控制机器人坐标关系

该六自由度机器人第1、2、3关节决定机器人末端的位置,该位置由输入设备给出。图7中第1、2、3关节局部坐标系从略。第4、5、6关节实现摄像机的自转、俯仰和偏摆,由主操作手给出。为实现三维摄像机的位置和姿态,不必通过期望位置和姿态求取机器人的运动学逆解。首先通过输入设备给出位置坐标,以位置控制点作为新的局部坐标系,进一步

$${}^6T = {}^4T {}^5T {}^6T = \begin{bmatrix} -\sin\beta\sin\varphi\cos\gamma + \cos\beta\sin\gamma & \sin\beta\sin\varphi\sin\gamma + \cos\beta\cos\gamma & -\sin\beta\cos\varphi & P_x - d_5\sin\beta\sin\varphi \\ \cos\beta\sin\varphi\cos\gamma + \sin\beta\sin\gamma & -\cos\beta\sin\varphi\sin\gamma + \sin\beta\cos\gamma & \cos\beta\cos\varphi & P_y + d_5\cos\beta\sin\varphi \\ \cos\varphi\cos\gamma & -\cos\varphi\sin\gamma & -\sin\varphi & P_z + d_5\cos\varphi \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

3 实验结果及分析

为验证双目摄像机模型及其漫游控制方法的有效性,首先构建了一个机器人辅助腹腔镜手术训练的虚拟现实场景作为双目三维摄像机观察实验的平台。不失一般性,该平台采用双核 P4-2.2G 处理器和 2G 内存作为硬件环境,采用 Force Dimension 公司的 OMEGA.7 主操作手作为输入设备。利用正交偏振的分光方法进行分像,将左右两个单目虚拟摄像机的图像分别送入观察者的左眼和右眼^[11],从而形成三维视觉。正交偏振方法分像的基本原理如图8所示,通过双目虚拟三维摄像机,由PC机的双

求出以设备自转角、偏转角、俯仰角作为已知量的末端杆件姿态矩阵即可实时求得末端杆件的姿态,从而得到摄像机的位姿表达式。

定义双目摄像机对应杆件为第6杆件,该杆件的位置和姿态由虚拟机器人的第4杆件和第5杆件决定。设杆件4绕自身Z轴自转角度为 β ,实现摄像机自转动作。设杆件5绕自身Z轴旋转 ϕ ,实现摄像机视线的俯仰动作。设杆件6绕自身Z轴旋转 γ ,实现摄像机视线的偏摆动作。设杆件4相对于基座坐标系的位置为 4P_0 。 4P_0 在三个轴的分量为 P_x 、 P_y 和 P_z 。上述 β 、 ϕ 、 γ 和 4P_0 由输入控制设备输入,作为摄像机实时运动控制的已知条件。依据虚拟机器人各个杆件的运动关系可求出各个虚拟杆件之间的齐次变换矩阵如下:

$${}^4T = \begin{bmatrix} R(z_3, \beta) & {}^4P_0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$${}^5T = \begin{bmatrix} R(y_4, -\pi/2) & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R(z_4, \phi) & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$${}^6T = \begin{bmatrix} 0 & T_{\text{trans}}(x_5, d_5) \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R(x_5, -\pi/2) & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R(z_5, \gamma) & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

其中 $R(A, \varepsilon)$ 表示局部坐标系绕A轴旋转 ε 角所形成的旋转矩阵, $T_{\text{trans}}(A, \delta)$ 表示局部坐标系沿A轴平移 δ 所形成的平移矩阵。根据DH运动学方法,最终求得三维摄像机的位姿表达式如下:

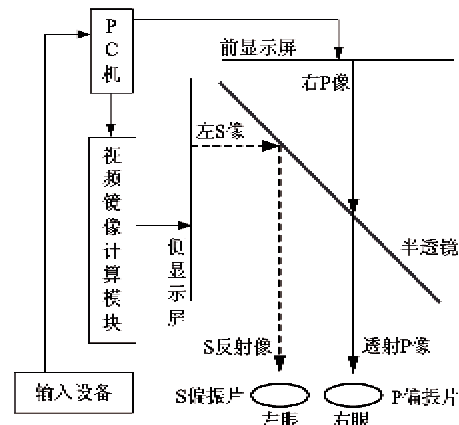


图8 三维虚拟摄像机实验平台构建

通道显卡输出虚拟环境的两路视频信号,右路图像直接通过图中的前显示屏进行输出,左路图像经过镜像后输出在左侧显示屏。前显示屏输出的右路图像经过半透镜将图像 P 方向的信息透射出来,侧显示屏的左路镜像将图像 S 方向的信息通过半透镜反射出来。再通过 S 偏振片和 P 偏振片的过滤,左眼只能看到左路图像,右眼只能看到右路图像,从而实现立体图像对的分像,形成三维视觉。

本文基于该平台构建的场景包含一个 7 自由度手术器械以及若干方块和球体,虚拟对象在深度方向错落分布,场景颜色层次分明,背景颜色等参数均可根据观察需求进行预设,实验平台如图 9 所示。为验证双目虚拟摄像机位置姿态漫游控制模型的有效性,使用 OMEGA.7 作为输入设备进行漫游控制实验,利用其三个平移自由度改变摄像机在虚拟环境中的位置,采用该设备的三个回转自由度控制摄像机的 β 、 ϕ 和 γ , 此外利用夹持自由度控制视差 D 的增量。

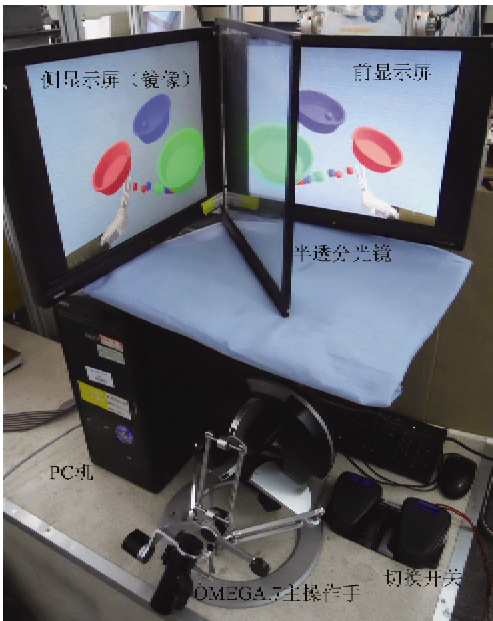


图 9 三维虚拟摄像机及其漫游控制实验

双目虚拟摄像机的漫游控制考虑摄像机运动映射的同时需要考虑当拍摄物距发生剧烈变化时其它参数的反馈补偿。反馈补偿是通过三维摄像机模型中提出的约束条件实现的,为验证其有效性,基于图 9 所示平台环境,利用 OMEGA.7 输入设备进行了交互实验。通过大幅度动态调整物距分别获取未加反馈补偿和启动反馈补偿两种情况下的立体图像对。首先屏蔽反馈补偿模型,此时操控 OMEGA.7

主操作手令物距较小,视差和视线角等参数不会发生改变,获取场景如图 10(a) 所示。实验表明,由于视差和视线角未进行反馈补偿造成两幅图像差异过大,无法通过三维观察设备融合形成三维视觉。当启动补偿反馈时,获取的图 10(b) 对视差和视线角使用反馈补偿模型进行了反馈调整,实验表明该立体图像对能够融合形成明显自然的三维效果。

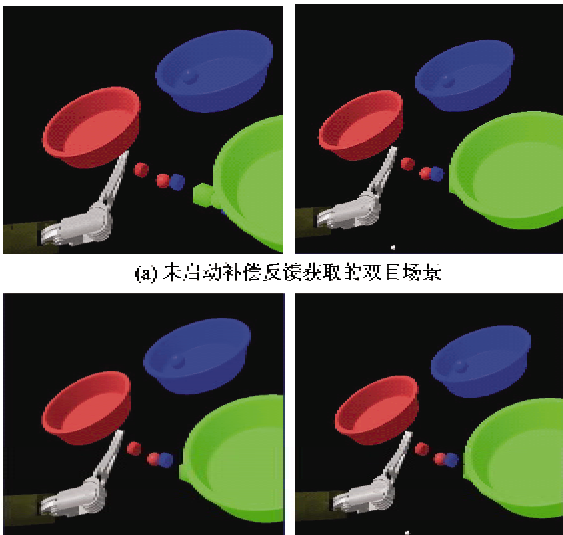


图 10 视差参数反馈补偿前后对比实验

上述实验证明了反馈补偿的重要性。这种反馈补偿是通过模型约束关系实现的。实验表明,当满足图 11 所示的约束关系进行变化时, D 与 d 可在其范围内任意变化。当动态环境中物距剧烈变化时,由于约束关系的存在,系统会对视差和视线角进行反馈补偿。虚拟摄像机漫游到任意位置均能有效形成自然的三维视觉。当参数超越图 11 约束范围,如在 1 和 2 附近时,所形成的视觉均会由于视差或视线角不当而导致根本无法形成任何三维效果。实验

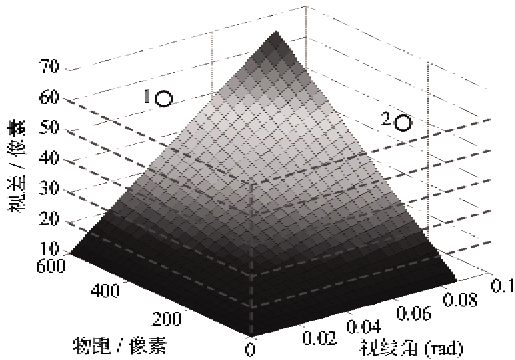
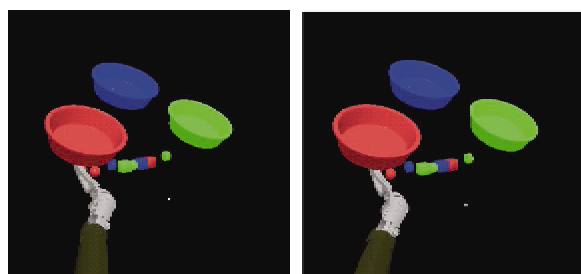


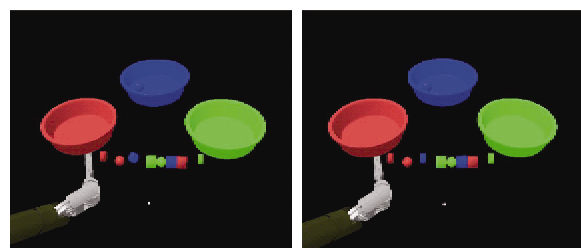
图 11 三维虚拟摄像机成像参数约束关系

还表明在满足约束关系的条件下改变 α 的值将获得深度感的变化。

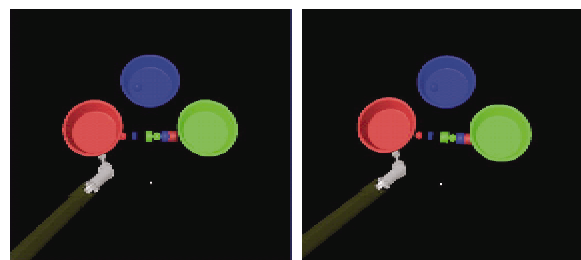
令 $\alpha = 0.95$, $D = 0.1$ (单位长度), $d_s = 1$ (单位长度), θ 按约束关系确定。对 OMEGA.7 主操作手进行三次任意摆位并读取其位置和姿态数据, 三次位置和姿态数据如下: 第一组: $P_x = 2.05, P_y = 3.2, P_z = 1.4, \beta = 0.02, \phi = 0.10, \gamma = 0.12$; 第二组: $P_x = 0.42, P_y = 3.5, P_z = 1.5, \beta = 0.12, \phi = 0.20, \gamma = 0.13$; 第三组: $P_x = 0.37, P_y = 3.5, P_z = 3.5, \beta = 0.08, \phi = 0.80, \gamma = 0.13$ 。其中第一组摆位为随机给出并对其参数进行了记录, 获取双目场景如图 12(a) 所示。第二组在尽量保持第一组摆位位置的基础上沿水平方向有较大变化, 获取双目场景如图 12(b) 所示。第三组在第二组基础上令俯仰方向有较大变化, 获取双目场景如图 12(c) 所示。



(a) 第一组漫游参数下的双目场景



(b) 第二组漫游参数下的双目场景



(c) 第三组漫游参数下的双目场景

图 12 三维虚拟摄像机漫游

上述三组不同视角的虚拟场景, 通过正交偏振的观察方法均可以获取明显的场景深度感。采用同样方法, 对 OMEGA.7 主操作手进行了多次任意位姿的操作, 均能获取同样效果的场景。实验表明, 本文提出的三维虚拟摄像机的漫游控制模型可以按照观察

需求方便地进行三维摄像机的漫游控制, 任意改变视角不影响持续获得自然的三维立体效果, 该三维摄像机漫游控制模型是有效的。

4 结 论

为研究一种通用性较强的改进型虚拟现实三维视觉技术, 本文利用双眼视差形成三维视觉的原理, 基于 OpenGL 图形接口, 建立了具有普遍意义的双目三维虚拟摄像机模型。通过设计虚拟现实环境的三维观察实验验证了该模型在基于 OpenGL 图形接口的虚拟现实环境中能够形成明显的三维立体效果, 利用该模型可以针对虚拟现实环境获取场景的深度信息。利用本文提出的三维摄像机漫游控制模型, 通过漫游控制实验对三维摄像机拍摄参数实时调整, 基于输入设备实现了三维观察过程中视角的实时偏摆、俯仰和旋转, 并且可以对视差和物距等参量进行实时计算和反馈补偿, 以获取不同方向和不同程度的深度感受。实验表明该漫游控制模型能够实时满足三维观察的需求, 且不受虚拟场景物体位姿剧烈大幅度变化的影响。

本文所提出的虚拟环境三维摄像机模型及其漫游控制算法是依据双目视差的三维观察生理参数和人类本能的三维观察需求所抽象出的关系模型, 该模型及其漫游控制的方法有效地实现了虚拟现实环境的三维观察及其实时交互性漫游控制, 对改进传统的虚拟现实被动型三维观察方式具有重要意义。本文提出的相关模型和构建实验平台的方法对研究虚拟三维观察效果的影响因素具有很高的实用价值。

参考文献

- [1] 张刚, 孙建平, 张健等. 虚拟现实立体显示的实现原理及其应用. 见: 立体图像技术及其应用研讨会, 天津, 2005. 31-34
- [2] 朱庆生, 刘然, 杨瑞等. 基于监视器的双目立体视觉的立体效果. 同济大学学报(自然科学版), 2007, (11): 1542-1547
- [3] Li K, Li S. The newest research of 3D display. *Computer Engineering*, 2003, 29 (12): 3-4
- [4] Aoki H, Oman C M, Buckland D A, et al. Desktop-VR system for preflight 3D navigation training. *Acta Astronautica*, 2008, 63 (7-10): 841-847
- [5] Chung-Ryul R, Yoon-Ho C, Young-Ho C. Development of an immersive VR display system for 3D digital art. In:

- Proceedings of the International Conference on Computer Graphics: Imaging and Visualization, Penang, Malaysia, 2004. 93-98
- [6] Maciel A, Liu Y, Ahn W, et al. Development of the VBLaST (TM): a virtual basic laparoscopic skill trainer. *International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery*, 2008, 4(2):131-138
- [7] Wang P, Becker A A, Jones I A, et al. A virtual reality surgery simulation of cutting and retraction in neurosurgery with force-feedback. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 2006, 84 (1):11-18
- [8] Albani J M, Lee D I. Virtual reality-assisted robotic surgery simulation. *Journal of Endourology*, 2007, 21 (3): 285-287
- [9] 乔甜. 基于摄像机运动的测量模型及仿真建模研究: [硕士学位论文]. 青岛: 青岛大学计算机应用技术系, 2007. 22-23
- [10] 侯守明, 朱雅莉. 基于 OpenGL 的虚拟漫游技术研究. *现代计算机*, 2007, (04):43-45
- [11] 孙超. 几种立体显示技术的研究. *计算机仿真*, 2008, (04):213-217

Virtual 3D camera's modeling and roaming control

Yan Zhiyuan, Wu Dongmei, Bao Yidong, Du Zhijiang

(State Key Laboratory of Robotics and System, Harbin Institute of Technology, Harbin 150080)

Abstract

A monocular virtual camera model was described using the vector description method. Based on this, the parameters of a 3D binocular virtual camera and their constraining relations were determined according to the binocular vision theorem, and then a 3D virtual camera model which contains two monocular virtual cameras was proposed. According to the 3D virtual camera model, a roaming control method for binocular virtual cameras was proposed based on robot kinematics to solve problems of viewing angle limitations and 3D imaging distortion caused by the fact that 3D observation parameters are difficult to change in common virtual reality. The experimental results show that the 3D virtual camera model and the roaming control model can be effectively used to observe virtual reality environments and make the parameters adjusted in real time based upon observation demand, which means that the shift from passive virtual 3D to interactive virtual 3D is of great significance to the improvement of 3D observation in virtual reality.

Key words: virtual reality (VR), binocular parallax, 3D vision, 3D virtual camera, roaming control