

可进行颜色、材质、灯光和纹理等方面的渲染,提供正确的深度感,以提高显示的真实度。

(5)空间辅助分析功能。可移动、旋转骨缺损部分,并记录其坐标及移动的距离,辅助医生进行手术方案的设计。

2.2 系统结构

为实现上面描述的功能,本文的系统原型包含数据服务、跟踪服务、场景交互服务和场景合成显示 4 个部分。系统从设备中获取视频帧,根据摄像机采集的现实场景视频图像,通过图像处理识别图像中 Marker,达到跟踪用户视线变化的目的,确定摄像机的位置信息和现实场景中的 Marker 信息,利用这些信息来计算虚拟物体坐标到摄像机视平面的坐标变换,然后按照坐标变换矩阵在视平面上绘制虚拟物体,并将所绘制的虚拟物体与现实场景的视频融合,实现虚实配准,并获得增强现实图像,最后将增强现实图像显示在设备上^[14],系统总体框架如图 2 所示。

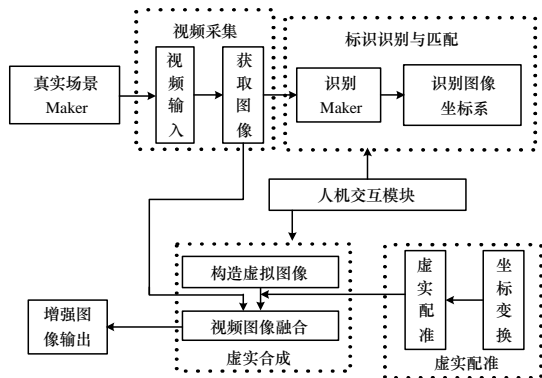


图 2 系统框架

系统可分为以下 5 个模块: (1)视频采集模块,用来采集现实场景的视频图像。(2)标识识别与匹配模块,根据图像处理模块所识别出来的标志物,进行连通域分析,并与标志管理器里的标记进行匹配。(3)虚实配准模块,进行空间坐标系统的变换,计算出将所需添加的虚拟物体配准到视频图像中的空间位置。(4)虚实合成模块,用 OpenGL 的图形处理函数库完成三维虚拟场景实时渲染等功能,将虚实融合后的增强场景正确渲染到显示设备上,从而输出增强图像。(5)人机交互模块,根据不同的标识物及其相互间位置距离的分析判断可以获取用户的行为指令,并以此产生交互效果,实现人机互动。

其中,本系统研究的关键技术是虚实合成显示方式和人机交互技术。

3 显示方式

增强现实技术的关键是将计算机生成的三维虚拟物体同真实场景中的物体“无缝”融合,通过注册技术将虚拟对象准确地“放置”在真实环境中,同时利用真实感渲染技术使虚实场景具有一致的视觉效果,从而最终让用户处于一种融合的环境中,不能区分真实和虚拟,用户所感知到的只是一个真实和虚拟相融合的唯一存在的世界。场景层分布如图 3 所示。系统要求的合成场景分为 3 层:真实感补充层,前景层和背景层。其中,背景层即实际视频图像,来源于摄像机;前景层即为需要显示的虚拟模型,包括缺损骨、头骨的骨支架模型;真实感补充层即真实渲染渲染,主要为满足用户的视觉要求。

在前景层中,需要显示的虚拟模型来源于最常用的三角

网格模型描述方式 STL 文件格式^[15],STL 文件是一种为快速原型制造技术服务的三维图形文件格式,它由多个三角形面片的定义组成,每个三角形面片的定义包括三角形各个顶点的三维坐标及三角形面片的法矢量。根据对文件格式和内部数据结构的分析,读取时把文件中表示三维实体图形的空间三角形面的法矢量和顶点坐标数据存入动态数组,利用 OpenGL 的函数来绘制缺损骨模型(见图 4)。

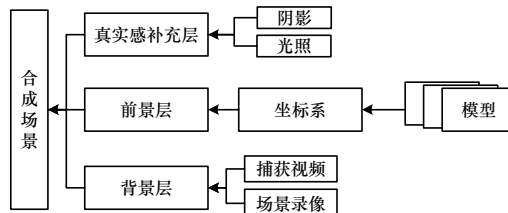


图 3 场景层分布

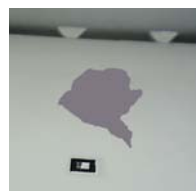


图 4 缺损骨模型

真实感补充层即进行虚拟模型的真实感渲染,建立光照模型、定义材质属性、提供正确的深度感等。实验结果如图 5 所示,图 5(a)、图 5(b)和图 5(c)是金属质感的缺损骨模型和真实头骨不同角度的融合显示,可以看出骨支架模型和骨缺损处的吻合效果良好,此效果图可帮助设计师对缺损骨模型进行正确的评价。图 5(d)是金属质感的缺损骨模型、皮肤纹理的部分头骨模型和真实头骨的融合显示效果图。此仿真效果图,辅助医生进行手术的规划,患者也可预测术后的效果。

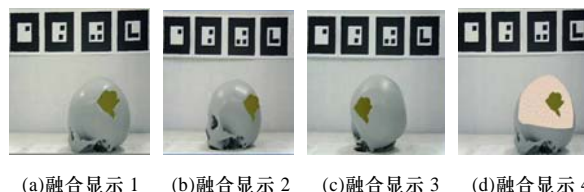


图 5 仿真效果

通过将实际视频图像和仿真环境进行重叠显示,可提高仿真的真实性以及操作者对操作结果的心理认同感。在缺损骨修复手术应用中,设计人员常常需要根据设计效果对骨支架的位置、姿态等进行多次修改、调整。因此,在满足用户视觉要求的同时,需要提供多种人机交互操作功能。

4 交互设计

设计 AR 可视化系统时,人机交互操作的设计是非常重要的部分之一。AR 技术可以增强用户的视觉感受,延伸用户视觉系统的功能,若系统能以一种更加自然的方式与真实和虚拟相融合的环境进行交互,便能更好地完成某些任务。本系统中实现了 2 种交互方式:一般外设(鼠标、键盘等)的交互操作和可接触性交互(菜单标记、立方体标记)的交互操作。具体的交互操作功能如下: (1)指定虚拟物体被放置的位置。用户可定义菜单标记,指定对象显示在指定的标记处,系统经识别标记、三维坐标计算、投影变换矩阵计算、虚实

合成将虚拟物体显示在用户指定位置上。(2)平移、旋转、缩放虚拟物体。如果用户对虚拟物体在真实场景中的位置、朝向及大小比例不满意,让用户可以通过键盘或立方体交互工具对虚拟物体进行平移、旋转、缩放等交互式操作,直至调整到用户满意的状态。

4.1 菜单标记的设计

用预先制作好的 4 个平面标记(menu1, menu2, menu3, menu4)作为菜单标记,如图 6 所示,分别管理 4 个对象的显示及交互操作。即当 menu1 可见时,导入缺损骨支架的 STL 文件,显示在相应的位置上,并可以实时地响应交互工具,进行平移、旋转及缩放的操作。系统里可以通过对标识物的类型及状态进行分析来改变多个虚拟物体的属性,如大小、颜色、光照及纹理等,以此达到真实物体对虚拟物体的交互效果。

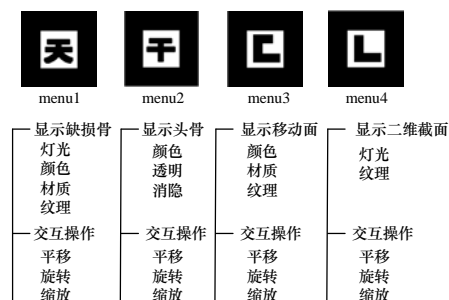


图 6 菜单标记

4.2 交互工具的设计及实现

用预先制作好的 6 个平面标记(cube1, cube1,..., cube6),如图 7(a)所示,制作成图 7(b)所示的立方体形状^[16],作为平移、旋转、缩放的交互工具,此交互工具相邻的 2 个面的标记之间是正交的关系,这样便于确定标记间的位置关系。



图 7 平面标记与立方体交互工具

用此交互工具进行交互操作的原理是通过标识物物理空间位置的判断实现交互。坐标系如图 8 所示,摄像机检测到菜单标记和交互工具的标记时,进行摄像机坐标系与标记坐标的转换,生成相应的转换矩阵。交互工具空间位置的变化会对虚拟对象的位置产生影响,控制体作旋转操作时,目标体也会做相应的旋转操作,从而进行很好的交互操作。

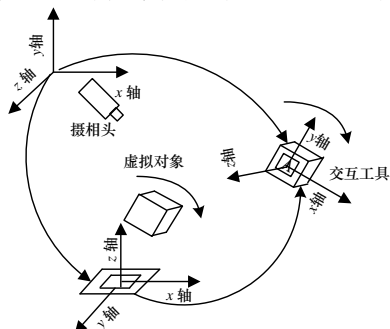


图 8 坐标系示意图

具体实现过程如下:

(1)初始化标记。

(2)识别标记,判断 6 个标记的可视情况。当交互工具位于摄像头所能照射到的范围内时,如图 8 所示,摄像头至少能检测到 1 个标记平面,至多能检测到 3 个标记平面。

(3)确定主标记,如果摄像头检测到 1 个标记平面,那么就将此标记平面设为主平面。若摄像头检测到 2 个以上的标记平面,则需要用式(1)来比较各个可见的标记平面的法向量和摄像头平面法向量之间的夹角,夹角最小的标记平面即为主平面。

$$\theta = \arccos\left(-\frac{r_{13} \times t_1 + r_{23} \times t_2 + r_{33} \times t_3}{\sqrt{t_1^2 + t_2^2 + t_3^2}}\right) \quad (1)$$

其中, r_{13} , r_{23} , r_{33} 是相机外参数矩阵 T_{cm} 中的旋转分量; t_1 , t_2 , t_3 是相机外参数矩阵 T_{cm} 中的平移分量,其值可通过使用标记的三维注册方法来求得。

(4)把矩阵转化成四元数,进行四元数插值。在计算机图形学中,对于围绕与坐标轴不重合的轴旋转时,可以运用旋转变换的四元数表示。由于一个旋转变换映射为一个单位四元数,整个旋转群应该射到四元数空间的单位球面上,因而插值后的中间值的曲线也应该在这个球面上。考虑最简单的情形,插值 2 个朝向关键帧。若直接采用线性插值,则插值曲线不在球面上,结果导致中间的运动加快,为了保证稳定的旋转,必须采用球面线性插值,即插值曲线沿着经过关键帧的大圆弧。

(5)把四元数转换成旋转矩阵。经过上面几个步骤,可以得到旋转矩阵,通过 OpenGL 函数即可对虚拟对象进行旋转操作,实现效果如图 9 所示,图 9(a)是 cube2 可见时,骨缺损的位置,随着立方体交互工具的旋转到 cube5 可见时,骨缺损模型随着旋转到图 9(b)的位置,直到操作到图 9(d)。



图 9 实现效果

5 结束语

本文利用增强现实技术和快速成形技术,在现有的骨缺损修复系统的基础上设计了用于骨支架设计检验和骨缺损个性化手术规划与模拟的框架。骨支架检测系统原型的初步实现充分体现出增强现实技术在缺损骨修补手术应用中的优势,为缺损骨修补手术的改进提供了参考。

但临床可用的系统需要具有较高的仿真速度和人机交互的实时性,并提供较好沉浸感和可靠的准确性,在未来的工作中,应在以下几个方面进行进一步的研究和改进:(1)建立更加友好的用户界面;(2)增加交互手段的设计,如使用交互笔对骨支架网格进行拾取、编辑等操作;(3)进一步丰富缺损骨模型辅助分析的可视化处理,提高真实感渲染;(4)提高响应速度及配准精度。

参考文献

- [1] 曹谊林, 张文杰. 组织工程与组织器官缺损修复[J]. 临床外科杂志, 2007, 15(1): 40-41.
- [2] Sun W, Starly B. Bio-CAD Modeling and Its Application in Computer-Aided Tissue Engineering[J]. Computer-Aided Design. 2005, 37(11): 1097-1114.

(下转第 20 页)