

# 光学透视式增强现实显示系统虚实遮挡问题研究

王红 周雅 马晋涛 刘宪鹏

(北京理工大学光电工程系, 北京 100081)

**摘要** 鉴于增强现实系统中, 虚拟物体与真实环境之间是否具有正确的遮挡关系会影响到虚实融合能否取得逼真的效果, 为此根据一种新型光学透视式头盔显示器, 提出了一种利用 OpenGL 来绘制虚拟网格遮挡平面, 以便使虚拟物体呈现被裁剪的形态, 而与真实物体融合后可呈现出实挡虚效果的方法。这种方法, 在程序实现方面相对较为容易, 且计算量较低, 因而更适宜实时系统的使用。通过实验可以看出, 采用 OpenGL 对虚拟物体与真实场景的深度数组进行逐点深度比较来绘制遮挡平面的方法是可行的。

**关键词** 增强现实 光学透视式头盔显示器 虚实遮挡

中图法分类号: TP391.9 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2008)08-1566-04

## Research on the Real-virtual Occlusion in an Optical See-through AR System

WANG Hong, ZHOU Ya, MA Jin-Tao, LIU Xian-Peng

(Department of Photo-electronic Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081)

**Abstract** In an augmented reality (AR) system, whether there is a correct real-virtual occlusion is a crucial problem, and it will influence whether the compositing of real and virtual worlds is vivid. A new method for real-virtual occlusion according to a new design of optical see-through HMD is presented. A gridding plane using the OpenGL are drawn to block the virtual object and when the virtual object is overlapped with the real object it will appear that the real object occlude the virtual one. It is easier for us to design programme and is more feasible for a real time system using this method. The experiment results indicate that this method is correct and viable.

**Keywords** augmented, optical see-through HMD, real-virtual occlusion

## 1 引言

在增强现实<sup>[1]</sup>系统中, 透视式(See-through)头盔显示器(head mounted display, HMD)是实现虚实结合的关键设备。与视频透视式 HMD 相比, 光学透视式 HMD 具有场景分辨率高、不存在视点的偏差、使用安全等优点<sup>[2]</sup>, 在某些安全性要求高的应用, 如医学应用中是首选。但是由于传统的光学透视式头盔显示器存在以下几个主要缺点, 从而影响了真实场景和虚拟图像的融合显示: (1) 虚拟物体

与真实环境的遮挡关系问题; (2) 虚拟物体与真实环境的光强度匹配特性问题; (3) 虚拟物体与真实环境的共焦问题<sup>[3]</sup>。

针对光学透视式头盔显示器存在的问题, 笔者曾提出了一种新型光学透视式 HMD<sup>[4]</sup>, 该头盔显示器中引入的光线屏蔽机制可以解决传统的光学透视式头盔显示器存在的上述 3 个问题。本文主要针对这种新型 HMD 在实现增强现实显示虚实遮挡问题中的实挡虚问题, 提出了一种利用 OpenGL 绘制虚拟网格遮挡平面, 使虚拟物体呈现出被裁剪的形态, 而且在与真实场景融合后即可呈现出实挡虚效果的方法。

基金项目: 国家自然科学基金项目(60373058, 60475008)

收稿日期: 2007-01-25; 改回日期: 2007-03-14

第一作者简介: 王红(1982~), 女。现为北京理工大学光电工程系硕士研究生。主要研究方向为增强现实、计算机图形学。E-mail:

keke0910@bit.edu.cn

而虚挡实的实现方法则将在其他文章中具体讨论。本文提出的方法同样适用于视频透视式头盔显示器。

## 2 虚实遮挡方案的研究

### 2.1 原理分析

在虚实融合技术中,虚拟物体每个点的实际坐标都是事先已知的,而真实环境中的物体到观察点的距离则可由深度检测得到,即可以得到与图像平面上任何一点对应的实际物体的深度信息<sup>[5]</sup>(如图 1 所示)。

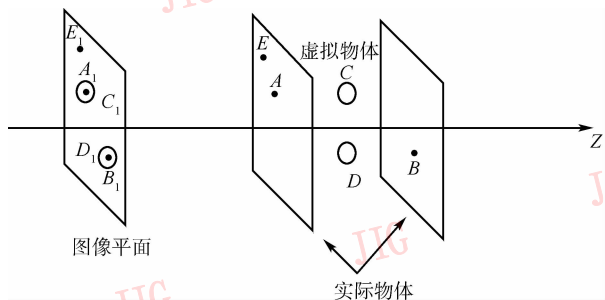


图 1 遮挡关系示意图  
Fig. 1 Sketch map of the occlusion

图 1 中图像平面上的点  $A_1$  和点  $B_1$  分别来自实际物体上不同平面的点  $A$  和点  $B$ ,而点  $C_1$  和点  $D_1$  则为投影到图像平面的虚拟物体。由图 1 可以看出,由于虚拟物体  $C$  实际上应位于点  $A$  的后方,因此投影到图像平面时,应该被点  $A_1$  所遮挡。同时可以看出,点  $E$  虽然也在点  $C$  的前方,但由于在图像平面上没有重叠,因此不会存在遮挡关系。所以本文在判断遮挡问题时,只需要检测虚拟物体投影到图像平面上的区域,而不需要对整幅图像进行检测。

根据计算机图形学的相关知识,可先利用注册得到的摄像机相对于标志物的旋转矩阵  $R$  和平移矩阵  $T$  来将事先做好的虚拟物体投影到图像平面;然后在存在虚拟物体的区域,利用深度检测得到的深度信息来检测实际场景中的各点与虚拟物体的相对位置关系。若图像平面上点  $A_1$  与虚拟物体  $C$  的投影点  $C_1$  重合,则需要判断点  $A$  和点  $C$  到观察者的距离关系,若点  $A$  离观察者近,则这部分虚拟物体应被遮挡,若点  $C$  离观察者近,则点  $A$  应被点  $C$  挡住。

因此解决实际物体和虚拟物体的相互遮挡问题,主要包括以下 3 方面的内容:①获得真实环境深度信息表;②根据获得的深度信息比较虚实物体的位置关系;③如果存在实际物体遮挡虚拟物体的问

题,那么就需要把虚拟物体被遮挡住的部分裁掉,而只显示剩余部分的虚拟物体。若存在虚拟物体遮挡真实物体的问题,则就要对真实物体进行处理,使其被遮挡的部分被屏蔽掉。

### 2.2 实际物体深度信息的获取

空间中的一点  $p$  分别经过左右相机光心  $c_L, c_R$ , 在各自的图像平面  $\Pi_L, \Pi_R$  上成像为点  $p_L$  和点  $p_R$ , 坐标系的  $z$  轴表示到摄像机(在  $z=0$  处)的距离,  $x$  轴表示“水平”距离( $y$  轴垂直页面)。  $x=0$  处是两摄像机间的中间位置,  $x_L$  和  $x_R$  为左右摄像机各自的水平坐标(如图 2 所示)。

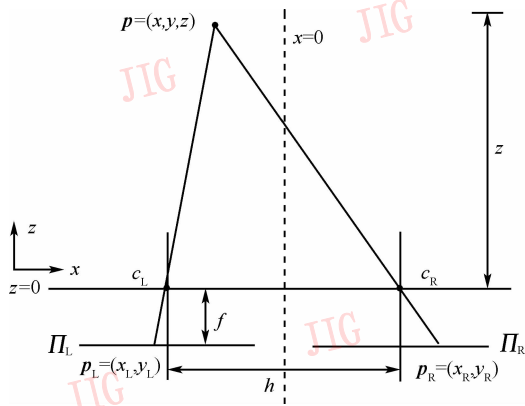


图 2 双目立体视觉观察与深度的关系  
Fig. 2 The relationship between stereo vision and depth

由于两摄像机的水平位置不同,因此,在  $x_L$  和  $x_R$  之间存在视差 (disparity) 是显然的 (即  $|x_L - x_R| > 0$ );然后利用几何的三角关系就可以推出点  $p$  的  $z$  坐标值。

$p_L c_L$  和  $c_L p$  是相似的直角三角形的斜边,  $h$  和  $f$  是正数,  $z$  是正数,而  $x$  是可正可负的,则有

$$\frac{x_L}{f} = -\frac{\frac{h}{2} + x}{z} \tag{1}$$

$$\frac{x_R}{f} = \frac{\frac{h}{2} - x}{z} \tag{2}$$

消去  $x$ , 则得到

$$z(x_R - x_L) = hf$$

即

$$z = \frac{hf}{x_R - x_L} \tag{3}$$

由此可知,当两摄像机的中心间距和焦距都确定后,则根据左-右图像中对应点的视差值 ( $x_L - x_R$ ) 就能得到真实场景中对应点的深度值  $z$ 。

### 2.3 实际物体遮挡虚拟物体的研究方案

当利用深度检测信息判断出存在虚拟物体遮挡实际物体的情况后,则应选用相应的方法来处理虚拟物体,使其与真实场景叠加后呈现出被遮挡的景象。

由于无论虚拟物体情况如何,最终被观察者看见的都是投影到图像平面的图像,因此可以考虑在图像平面上遮挡虚拟物体。这种做法的好处是无须处理虚拟物体的模型。本文根据深度检测的信息,首先求出实际物体遮挡虚拟物体的位置和面积,然后相应地对于图像平面上需要遮挡的部分用 OpenGL 绘制出一块遮挡平面,并将该平面细分为若干个网格,即可对虚拟物体进行逐个像素的遮挡关系判断。由于该平面处在虚拟物体的前面,因而使虚拟的图像在视觉上呈现出被裁剪的形态,而与真实场景融合后,则呈现出实际物体遮挡虚拟物体的效果(如图 3 所示)。这种做法,在程序实现方面相对较为容易,且计算量较低,更适宜实时系统的使用。

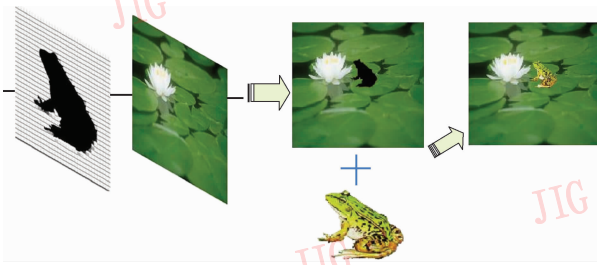


图 3 遮挡方案示意图

Fig. 3 Sketch map of the occlusion project

本文设计的方案,其实施的具体流程如图 4 所示。

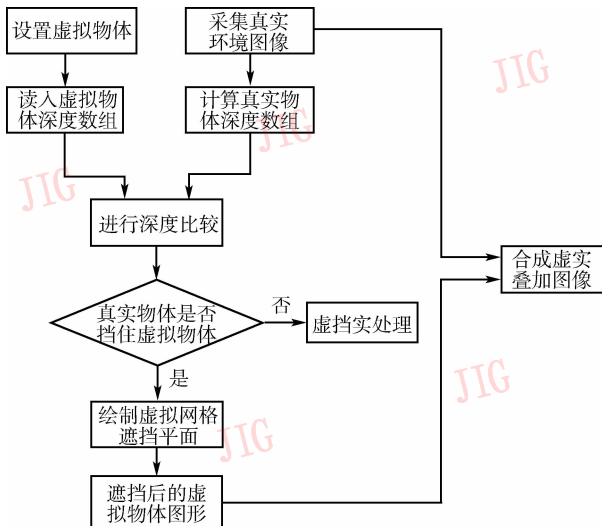


图 4 遮挡方案流程图

Fig. 4 Flow chart of the occlusion project

### 3 实际物体遮挡虚拟物体实验

为了验证实际物体遮挡虚拟物体方案的可行性,利用一些简单和复杂的几何图形做了一系列实际遮挡的仿真实验。

#### 3.1 简单几何图形实验

实验时,先摄取一幅背景相对比较简单的照片作为真实环境图像(图 5(a)),图像尺寸为 640 × 480pixels。其需要叠加的虚拟物体为在 OpenGL 环境下绘制的立方体(图 5(b));然后利用获得的深度信息判断出虚拟立方体被实际物体遮挡的位置和面积,并在虚拟立方体的前面绘制黑色虚拟三角形,使立方体呈现出被裁剪的形态(图 5(c));最后利用相应算法将图 5(a)和图 5(c)整合起来,即呈现出最终的实际物体遮挡虚拟物体效果图(图 5(d))。

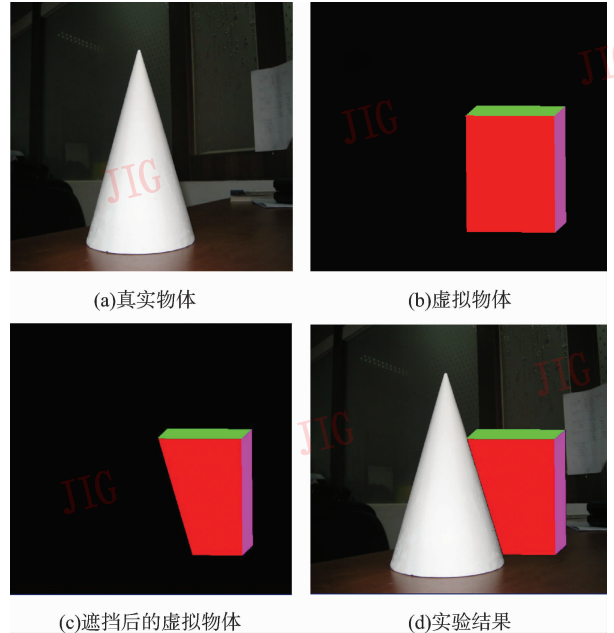


图 5 简单几何图形实验

Fig. 5 Simple graphics application

#### 3.2 复杂背景遮挡实验

本实验中仍然采用由 OpenGL 绘制的立方体模型作为虚拟物体。

实验时,首先使用两摄像机拍摄实际场景图,图 6(a)为左摄像机拍摄的图像,图 6(b)为右摄像机拍摄的图像。根据这两幅图像,即可利用双目立体视觉原理<sup>[6]</sup>计算出视差,然后即可由视差求得实际场景的深度数组。

本文先将采用左摄像机拍摄图像作为真实场景,然后将根据计算得到的实际物体的深度数组通过与虚拟物体的深度信息进行比较来判断遮挡关系,其所得到的立方体需要遮挡的部分如图 6(c)中红色部分所示。判断出遮挡位置后,再使用 OpenGL 在近裁剪面上绘制出的遮挡平面对虚拟立方体进行遮挡处理,遮挡后的正方体图像如图 6(d)所示,这就是最终在虚拟物体显示屏上输出的虚拟物体图形。

最终真实环境和虚拟图像融合后的实验结果如图 6(e)所示。



图 6 复杂几何图形实验

Fig. 6 Complex graphics application

## 4 结 论

通过实验可以得知,采用 OpenGL 对虚拟物体与真实场景深度数组进行逐点深度比较,并绘制遮挡平面的方法是可行的。

本次实验中采用的是用 OpenGL 绘制的正方体作为虚拟物体,在实际的应用中,若使用复杂的虚拟物体模型,并且已知虚拟物体的每个顶点的坐标,那么也就知道它们的深度信息。根据实际景物的深度数组和虚拟物体的深度和位置信息,就可以比较得到两者的相对位置关系。而得到位置关系后的遮挡平面的绘制,则与本文中所叙述的完全一致。本次实验中,深度信息获取的执行时间为 280ms,因此在个人电脑上无法实现实时检测。在具体应用时,需要高配置的全硬件处理器,以提高检测速度。

实际应用中的实际物体遮挡虚拟物体的过程与实验中验证的基本相同,相对简单。由于只需从液晶显示屏上输出遮挡处理后的虚拟物体,就可以直接通过头盔显示器光路看到实际物体遮挡虚拟物体的效果,而不是使用本文中软件合成的方法,所以,最终的遮挡效果还需要在光学透视式头盔显示器上进行实际实验证明。

## 参考文献 (References)

- 1 Azuma R T. A survey of augmented reality[J]. Presence: Teleoperators and Virtual Environments 1997, 6(4): 355 ~ 385.
- 2 Rolland J, Hlloway L, Fuchs H. A comparison of optical and video see-through head-mounted displays [A]. In: Proceedings of SPIE-The International Society for Optical Engineering [C], Bergen, Norway, 1994, 2351: 293 ~ 305.
- 3 Kiyoshi K, Yoshinori K, Hiroyuki O. An optical see-through display for mutual occlusion with a real-time stereovision system [J]. Computers and Graphics, 2001, 25(5): 765 ~ 779.
- 4 Gao Yu, Zhou Ya, Liu Wei, et al. An intensity adjustment method in optical see-through AR system [J]. Journal of Computer Research and Development, 2005, 42(supp. A): 651 ~ 655. [高宇,周雅,刘伟等. 光学透视式增强现实系统虚实亮度匹配研究 [J]. 计算机研究与发展, 2005, 42(增刊 A): 651 ~ 655.]
- 5 Ni Jian, Yan Da-yuan, Zhou Ya. Depth detecting using stereo scope for AR systems [J]. Computer Applications, 2006, 26(1): 132 ~ 134. [倪剑,闫达远,周雅. 增强显示系统中的深度检测技术研究 [J]. 计算机应用, 2006, 26(1): 132 ~ 134.]
- 6 Sonka M, Hlavac V, Boyle R, et al. Image Processing, Analysis, and Machine Vision (2nd edition) [M]. New York: PWS Publishing Company, 2003. [Sonka M Hlavac V, Boyle R 等著,艾海舟,武勃等译. 图像处理分析与机器视觉(第二版) [M]. 北京:人民邮电出版社, 2003.]