

虚拟现实中的增强虚境技术

郝爱民 何 兵 赵沁平

(北京航空航天大学 计算机学院, 北京 100083)

摘 要: 增强虚境技术在基于图形的建模与绘制(GBMR)框架下利用基于图像的建模与绘制(IBMR)方法描述复杂对象及加速场景绘制,可以解决虚拟现实研究中逼真绘制与实时显示间的矛盾.将国内外增强虚境方面的最新研究成果按融入合成场景中图像对象包含几何信息的比例划分成 3 大类,分别是在合成场景中融入纯图像对象、融入部分几何信息的图像对象及利用 IBMR 方法加速场景绘制,介绍了 3 类工作中新的研究成果,分析了这些成果的基本原理、方法、过程和优缺点,提出了该领域技术发展面临的 5 大问题及可能的解决方法.

关 键 词: 虚拟技术; 图像合成; 虚拟现实; 基于图形的建模与绘制; 基于图像的建模与绘制; 增强虚境

中图分类号: TP 391.41

文献标识码: A

文章编号: 1001-5965(2003)10-0909-05

Review of augmented virtuality technology in virtual reality

Hao Aimin He Bing Zhao Qinping

(School of Computer Science and Technology, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Abstract: Augmented virtuality(AV) is a kind of technology which can be used to describe very complex models and accelerate rendering with images based modeling and rendering(IBMR) under the framework of graphics based modeling and rendering(GBMR). It can decrease the conflict between realism display and real-time rendering in virtual reality. The major work about augmented virtuality was classified into three categories according to the proportion of geometric information in the scene image objects, with no geometry, implicit geometry and using IBMR to accelerate rendering. Some representative work in these categories was surveyed and compared to the theory, method, process. Five problems in future research were provided and possible way to solved them were present.

Key words: virtual technology; image composite; virtual reality; graphics based modeling and rendering; images based modeling and rendering; augmented virtuality

虚拟现实是一种可以创建和体验虚拟世界的计算机系统,其基本特征包括沉浸感、交互性和想象力^[1].经过十几年的发展,虚拟现实技术获得了重要进展,同时也面临着许多新的挑战,逼真的环境建模与绘制就是虚拟现实必然面对的首要问题.

基于图形的建模与绘制 GBMR(Graphics Based Modeling and Rendering)和基于图像的建模与绘制 IBMR/Images Based Modeling and Rendering)

是虚拟现实的 2 大支撑技术. GBMR 以数学建模为基础,具有良好的三维特性,主要绘制过程和特性均得到了硬件加速支持,结合相应的算法,可以满足大规模场景的实时绘制,具有处理场景动态变化的能力.但面对极其复杂的现实世界和虚构世界,GBMR 也越来越暴露出其三维建模过程复杂、人工参与强度大、逼真性和表现力差、对硬件要求高以及难于适应 Internet 应用等不足. IBMR 则通过真实世界或计算机生成世界的离散采样序

收稿日期: 2003-06-05

基金项目: 国家 973 基金资助项目(2002CB312105)

作者简介: 郝爱民(1968-),男,辽宁兴城人,副教授, ham@vrlab.buaa.edu.cn.

列建立完整的虚拟世界,与 GBMR 相比,IBMR 建模的复杂度与场景自身无关,在绘制的实时性、逼真性方面具有明显优势,适用于高逼真度显示以及自然景观等难以几何建模的对象表示与绘制,能够部分满足 Internet 环境下的虚拟现实应用需求,但同样存在采样难度大、对存贮和内存要求高、交互性差、处理超大规模场景和动态场景困难等问题.到目前为止,还没有 IBMR 成果能够在真正意义上完成大规模真实场景的任意漫游.

国内外许多知名专家学者为解决虚拟现实建模与绘制问题指明了方向.文献[2,3]指出,研究虚实结合的虚拟环境构造方法和算法是突破或在一定程度上解决逼真绘制与实时显示问题的有效途径.文献[4]从分析全光函数连续表示所需的图像、几何和纹数量入手,给出了图像空间场景表示的最小采样曲线和图形图像融合的最小采样曲线.文献[5]综述了 IBMR 典型方法,文献[6]对照增强现实的概念,定义了混合现实和增强虚境 2 个新的概念,将合成对象融入图像场景的技术称为增强现实 AR (Augmented Reality),将图像对象融入合成场景,称为增强虚境 AV (Augmented Virtuality),将增强现实和增强虚境进一步混合,称为混合现实 MR (Mixed Reality).文献[7,8]在图形图像混合建模与绘制 GIBMR (Graphics-Images Based Modeling and Rendering) 方面做了一定的研究工作.

增强虚境技术在合成场景中引入图像对象或者 IBMR 方法,表示合成场景中的难于几何建模的复杂对象或者自然背景,可以实现一定逼真度下的场景实时绘制,有效降低场景建模复杂度和绘制花费.

本文按融入合成场景的图像对象包含几何信息的比例,将增强虚境方面的工作划分为 3 大类,一是在合成场景中融入纯图像对象,二是在合成场景中融入隐含几何的图像对象,三是在几何绘制中融合 IBMR 方法加速绘制.

1 融入纯图像对象

合成环境构造过程中,常常存在一类需要逼真表示的复杂对象,如文物、花草、雕塑等.这些对象的几何建模往往要花费数百万的三角面片,如美国斯坦福大学用 3.7 亿个三角形构造了数字 Michelangelo^[9],目前任何计算机都无法实时绘制如此庞大的数字模型.基于 IBMR 中的光场^[10]

(light field)或 LumiGraph^[11]技术,在合成环境中用图像建模并绘制复杂对象,是建立虚拟数字博物馆、虚拟服装展示、虚拟花卉市场、可漫游虚拟景观以及网上三维商务展示等应用的可行技术途径.

文献[12]将光场表示的佛像融入了基于几何表示的虚拟城堡中,利用 Open Inventor API 开发了一个增强虚境的混合建模与绘制系统 inReal.该系统扩展了 Open Inventor 场景图的一类结点,将光场对象有机的结合到 Open Inventor 中,当参与者的视点发生改变时,就同时更新光场对象的状态,实现了任意视点下的交互漫游.inReal 尚未解决虚实对象间的光影一致性问题及实景对象的碰撞检测问题.

文献[13]利用 AV 技术实现了三维的网上虚拟商城 CyberMirage,在几何建模的展示大厅中摆放了各种服装、玩具等图像对象,参与者能够通过 Internet 自主地在虚拟商城中游览,多视角观察商品的逼真展示,选择中意的物品.他们在 VRML 树型数据表示的基础上,新建了一类图像结点,将基于光流的图像数据存贮起来,同时开发了一种新的混合绘制算法,对应于视点的变化,将光流图像数据最终变换成映射到简单多边形的视相关纹理图像,融入整个场景的透视投影流程中.

文献[14]在文献[13]工作的基础上,进一步研究了虚实物体间的光影效果问题.采用从预先采集的不同光源条件的图像集合中选取相近光源条件图像进行光影生成的方法,开发了一种为保证实时绘制减少预采样数据量的算法,生成了随虚拟光源实时变化的图像对象在合成场景中的阴影效果,初步解决虚拟结合场景的光影一致性问题.

将无几何信息的图像对象融入合成场景的方法继承了基于全光函数 IBMR 的优点,回避了图像处理中的特征匹配等技术难题,通过“过量采样”真实对象来生成不同视点下的新视图.此类方法的缺点是采样和存贮的数据量大、对计算机内存要求高、采集的图像需要校正、保持一致光影和动态条件下的采样有一定困难等.

该类方法中需进一步研究的问题有:

1) 研究新的适用于混合建模与绘制的场景编码方法,目前的方法主要是在原有基于几何的场景数据库中,扩充或者新建一类新的结点,来存贮大量的图像数据,这样的方法,在优化方面,还有大量的验证性工作可以进一步研究.

2) 已有工作解决了融入合成场景的真正对象在合成场景中的光影问题,合成场景中图像对象自身的实时光照计算,是保证 AV 场景光影无缝拼合的另一方面的工作。

2 融入隐含几何的图像对象

与第 1 节描述的不包含几何信息的图像表示不同,隐含几何的图像融入方法要求融入合成场景的图像除包含颜色信息外,对应于每一像素,还包含一个或者多个深度值.将深度图像做为参考图像,可以显著减少参考图像的数量,并增加视点运动的灵活性。

视相关纹理 VDTM (View-Dependent Texture-Mapping)^[15]利用从真实建筑场景中拍摄的多幅图像恢复场景的简单几何,再从多幅图像中提取不同视点下的纹理图像,重投影到简单几何中,并在视点运动的情况下,实时更新纹理图像,更真实的表现建筑物的局部细节。

3D 变换^[16] (WARP)是根据已知的单幅图像中每个像素的深度信息,把像素点投影到三维空间的相应位置上,然后根据新视点,将三维空间中的点反投影到视平面生成新视图的方法.由于场景中遮挡关系的变化,原图像上不可见景物在新视点可见时,就会导致裂缝和空洞的出现.在不同位置拍摄多幅图像可以解决新视点合成后的空洞问题,但会增加绘制的时间复杂度和参考图像的数量.文献[8]给出了一种基于 3D WARP 的混合绘制算法。

层次深度图 LDI^[17] (Layered Depth Image), LDI Tree^[18],浮雕纹理映射 RTM^[19] (Relief Texture Mapping)也为复杂图像对象融入合成场景提供了新的表示方法。

文献[20]给出了 MPEG-4 AFX (Animation FrameWork eXtension)中采用的一种基于深度图像的动静态三维对象表示方法,针对浮雕纹理和 LDI 的特点,将深度图像分成 3 大类:简单纹理 (SimpleTexture)、点纹理 (PointTexture) 和八叉树纹理 (OctreeTexture). SimpleTexture 是一幅带有深度图的图像,可以提供多数参考图像无缝联合使用的统一方法,能方便的放置在合成场景捕获参考图像的位置上; PointTexture 与 LDI 的概念相同,在单一的数据结构中存贮了对象可见和不可见的部分,能方便的按有损和无损 2 种模式提供数据压缩能力. OctreeTexture 则是按树状结构存贮的一个图像集合,同时包括对应于这些图像的视口参数,

是一种优化的图像存贮方法.其中, SimpleTexture 和 OctreeTexture 可以表示动三维对象的动画效果.文献[21]提出了硬件加速 IBMR 的方法。

3 利用 IBMR 方法加速绘制

近几年中,利用 IBMR 方法加速场景的绘制取得了快速的发展,主要的原因是图像可以做为最接近计算机输出的场景表示基元,同时也是对场景几何和光照度的最准确的测量,即最真实的表现之一,因此利用 IBMR 方法加速绘制,在一定意义上,可以保证场景的逼真度. GBMR 中的纹理映射技术就是一定逼真度下加速绘制的常用方法。

文献[22]首先给出了一种利用 IBMR 技术加速几何绘制的新方法,在预计算阶段把某些指定对象经投影变换转换成带有透明信息的纹理图像,映射到四边形表面后,再放置到场景中该对象原来所在的位置上,并将这类对象称为图像替身 (imposter).该工作建立了一个支持独立对象和成组对象 Imposter 的可扩展的面向对象的框架,实现了自动生成 Imposter 并可以按特定的帧频指标选择 Imposter 的技术,并且考虑一个对象对最终场景质量的贡献,给出了一种图像处理技术,将一个对象的 2 种不同表示与原始的最高复杂度的表示进行比较,选择使用哪一种 Imposter 表示。

文献[23]给出了一种用纹理动态替代模型一部分的简化方法,并且采用自动变形周边几何的方法以匹配简化后的纹理.所提出的方法分成 2 个阶段:预处理和实时阶段.变换的过程包括从几何到纹理和从纹理到几何 2 个过程,也可以支持多个几何区域的纹理替换.文献[24]针对大规模城市场景的实时漫游,将城市场景划分为本地模型、远景模型和替代模型.文章中将替代模型考虑为沿街道 2 个尽头的远景模型的替代.文献[25]在预处理阶段将超大规模场景划分为多个单元 (CELL),定义每个 CELL 中的视点,通过预计算给出距离每个视点一定范围之外的消减包围盒 (CULL BOX),为 CULL BOX 的每个表面生成透视纹理深度图,在绘制时,替代远景几何.其生成透视纹理深度图的过程采用了一步预计算的过程,先对平面区域的分割做了简化,再用一般的面片简化方法。

文献[26,27]使用图像替代远景几何的方法加速场景绘制,并获得一致的交互仿真率.绘制算法自动选择一个几何模型集进行图像替换,以保

证每一帧所绘制的几何面片数量不超出可实时绘制的数量范围. 特定的算法保证图像表示与几何表示接合处的视觉正确性, 还解决了几何到图像、图像到几何的变换问题. 文献[28]提出了一种高质量 TDM (Textured Depth Meshes) 生成方法, 模型简化算法中使用单一参数控制网络的复杂度与准确度的平衡, 合理的采样层次划分, 把视觉上的错误控制在了一定的范围内, 从而有效地实现了低存贮要求下的高质量加速绘制效果. 文献[29]给出了一种基于环境映射替身的新的复杂静态场景加速绘制方法, 把场景划分成若干视见区, 为每一个视见区预计算出一个对应的分层替身表示. 应用合理的替换算法, 在合适的时机用替身图像替换相应部分几何模型.

文献[30]和文献[31]采用 LOD + IBMR 的方式绘制场景, 而不是单独使用其中的一种方式. 它将 3D 场景的插值, 表现为用高级 LOD 的某些细节, 表现低 LOD 的表面特征, 还解决了绘制关键帧时仿真不连续的问题.

4 结 论

本文就虚拟现实发展中面临的虚实结合问题进行了一定范围的总结和讨论, 重点分析并归纳了将真实景物融入合成场景的增强虚境方面的若干工作, 这类工作的基本特点是以 IBMR 技术为核心, 研究适合于小规模复杂对象的建模与绘制方法, 将这些方法与成熟的 GBMR 方法有机结合, 利用图像对象复制现实的特点和 GBMR 灵活的交互性, 在保持原合成环境任意漫游特征的基础上, 逼真地表现一类几何建模困难或根本无法几何建模的复杂对象, 大大降低绘制过程对硬件环境的要求, 保证系统的逼真性和实时性. 到目前为止, 增强虚境方面的工作虽然取得了一些重要的成果, 但与真正的虚实无缝结合还有相当的差距, 主要的困难和工作包括以下几个方面:

1) 数据采集问题. 图像获取过程往往需要造价昂贵的专用复制设备, 一般都造价昂贵; 拍摄得到的图像存在校准问题; 拍摄过程需要保持被采集对象在一段时间内光影和形态的一致性等等, 这些问题都直接影响增强现实研究成果的实用化程度. 开发易用、快速、廉价的图像采集设备和内嵌的实用算法, 是解决这一问题的关键.

2) 深度提取问题. 目前, 深度图像绝大部分由三维扫描或者合成场景投影获得, 但从真实世界的映射即二维图像中提取深度, 一直是计算机

视觉领域困难的研究课题.

3) 虚实结合的光影一致性问题. 在图像对象上表现逼真的实时动态光影, 同样涉及到图像深度甚至是几何结构的精确获取问题, 这个问题的解决, 还有赖于计算机视觉等相关领域的进一步研究和进展.

4) 对象的动态特性表现. 已有部分工作对融入合成场景的真实对象进行简单的操纵, 但真实对象本身的动态特性比如基于物理的形变、分解、合并、碰撞等等, 都是增强虚境中需要进一步研究的课题. 融入视频对象可以在一定程度上表现对象的动态性, 但远远不能达到与几何表示对象相同的交互灵活性, 新的算法和标准值得深入研究.

5) 硬件加速问题. 包括 2 个方面的工作, 一是研究可以获得现有硬件加速支持的混合绘制算法, 二是设计新的硬件加速体系, 从根本上支持混合绘制流程.

参考文献 (References)

- [1] 汪成为, 高文, 王行仁. 灵境(虚拟现实)技术的理论、实现及应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 1996. 1~4
Wang Chengwei, Gao Wen, Wang Xingren. Theory and implement and application of virtual reality[M]. Beijing: Beijing Tsinghua University Press, 1996. 1~4 (in Chinese)
- [2] 赵沁平. 分布式虚拟战场环境——现代战争的实验场[J]. 系统仿真学报, 2001, 13(增刊): 1~7
Zhao Qingping. Distributed virtual battle environment——tested of modern war[J]. Journal of System Simulation, 2001, 13 (supplement): 1~7 (in Chinese)
- [3] 张茂军. 虚拟现实系统[M]. 北京: 科学出版社, 2001. 308~312
Zhang Maojun. System of virtual reality[M]. Beijing: Science Press, 2001. 308~312 (in Chinese)
- [4] Chai J X, Tong X. Plenoptic sampling[A]. Proc SIGGRAPH[C]. New Orleans USA, 2000
- [5] Shum Heung-Yeung, Sing Bing Kang. A review of image-based rendering techniques[A]. IEEE/SPIE Visual Communications and Image Processing (VCIP) 2000[C]. Perth, Australia, 2000. 2~13
- [6] Feiner S. Mixed reality: where real and virtual worlds meet[A]. SIGGRAPH 99 Conference Abstracts and Applications[C]. Los Angeles CA, 1999. 156~158
- [7] 李自力. 虚拟现实系统中基于图形与图的混合建模技术[J]. 中国图象图形学报, 2001, 6(1): 96~101
Li Zili. Hybrid images and graphics model technology in virtual reality[J]. Journal of Image and Graphics, 2001, 6(1): 96~101 (in Chinese)
- [8] 汤晓安, 蔡宣平, 孙茂印. 基于 3D-WARP 的混合绘制算法研究[J]. 中国图象图形学报, 2001, 6(7): 710~714
Tang Xiaolan, Cai Xuanping, Sun Maoyin. Study on hybrid render

- arithmetic based 3D-Warp [J]. Journal of Image and Graphics, 2001, 6(7):710~714(in Chinese)
- [9] Marc Levoy. The digital michelangelo project [EB/OL]. <http://graphics.stanford.edu/projects/mich/>, 1997-01/2003-04
- [10] Levoy M, Hanrahan P. Light field rendering [A]. Computer Graphics Proceedings (SIGGRAPH 96) Annual Conference Series [C]. Perth, Australia, 1996. 31~42
- [11] Gortler S J, Grzeszczuk R, Szeliski R, *et al.* The lumigraph [A]. Computer Graphics Proceedings (SIGGRAPH 96) Annual Conference Series [C]. Perth, Australia, 1996. 43~54
- [12] Dr-Ing. Annual report 2000 [R]. Interactive Graphics Systems Lab (WSI/GRIS), 2000. 22~24
- [13] Uchiyama S, Katayama A, Tamura H. Cybermirage: embedding ray based data in VRML world [A]. Video Proc VRAIS'97 [C]. Albuquerque, New Mexico, USA, 1997
- [14] Katayama A, Sakagawa Y, Tamura H. A method of shading and shadowing in image-based rendering [A]. Proc IEEE ICIP'99 [C]. Kobe, Japan, 1999. 26~30
- [15] Debevec P E, Borshukov G, Yu Yizhou. Efficient view-dependent image-based rendering with projective texture-mapping [A]. In 9th Eurographics Rendering Workshop [C]. Vienna, Austria, 1998
- [16] Leonard Mc Millan Jr. An image-based approach to three-dimensional computer graphics [R]. UNC Computer Science TR97-013, Carolina: University of North Carolina, 1997
- [17] Shade Jonathan W, Gortler Steven J, He Liwei, *et al.* Layered depth images [A]. SIGGRAPH 98 Conference Proceedings [C]. Vienna, Austria, 1998. 231~242
- [18] Stanislav L S, Peter I, Strasser W. The Multi-LDI: an image based rendering approach for interaction, navigation, and visualization in complex virtual environments [C]. VR2001, Yokohama (Japan), 2001. 291~292
- [19] Oliveira M. Relief texture mapping [DB/OL]. <http://www.cs.unc.edu/~ibr/pubs/oliveira-diss/TR00-009.pdf>, 2000-03
- [20] Bayakovski Y, Levkovich-Maslyuk L. Depth image-based representations for static and animated 3D objects [D]. Dept. of computational Mathematics and Cybernetics, Russian Academy of Sciences, 2002
- [21] Paul. Beckett integrating virtual reality and telepresence via image based modeling and rendering [D]. School of Electrical and Computer Engineering, RMIT University, 2002
- [22] Maciel P, Shirley P. Visual navigation of large environments using textured clusters [A]. 1995 Symposium on Interactive 3-D Graphics [C]. Los Angeles USA, 1995. 95~102
- [23] Aliaga D G. Visualization of complex models using dynamic texture-based simplification [A]. IEEE Visualization '96 [C]. San Francisco, California, 1996. 101~106
- [24] Sillion F, Drettakis G, Bodelet B. Efficient impostor manipulation for real-time visualization of urban scenery [J]. Computer Graphics Forum, 1997. 207~218
- [25] Aliaga D, Cohen J. A framework for the real-time walkthrough of massive models [R]. TR # 98-103, UNC, 1998
- [26] Aliaga D, Cohen J, Wilson A, *et al.* MMR: an interactive massive model rendering system using geometric and image-based acceleration [A]. 1999 Symposium on interactive 3D Graphics [C]. Los Angeles CA, 1999. 199~206
- [27] Aliaga D, lastra A. Automatic images placement to provide a guaranteed frame rate [A]. SIGGRAPH99 Conference Proceedings [C]. Los Angeles CA, 1999. 307~316
- [28] Jeschke S, Wimmer M. Textured depth meshes for real-time rendering of arbitrary scenes [D]. Institute of Computer Graphics and Algorithms, Vienna University of Technology, Eurographics Workshop on Rendering, 2002
- [29] Jeschke S, Wimmer M. Layered environment-map impostors for arbitrary scenes [A]. PROC graphics Interface 2002 [C]. Calgary Alberta, 2002. 1~8
- [30] Chen B, Swam II J E, Kuo E, *et al.* LOD-sprite technique for accelerated terrain rendering [J]. IEEE Visualization '99, 1999: 291~298
- [31] Edward J Swan II, Arango J, Nakshatralla B K, *et al.* Interactive, distributed, hardware-accelerated LOD-sprite terrain rendering with stable frame rates [A]. SPIE and ISET Electronic Imaging 2002 [C]. San Jose, California USA, 2002