

基于增强现实技术的景观规划系统

王靖滨 李明 耿卫东 潘云鹤

(浙江大学CAD&CG国家重点实验室, 杭州 310027)

(浙江大学人工智能研究所, 杭州 310027)

摘要 增强现实是把计算机产生的虚拟物体或其他信息合成到用户看到的真实世界中的一种技术. 利用增强现实技术, 设计人员能够有效地进行建筑布局的规划和设计. 本文介绍了一个典型的增强现实系统——景观规划系统的实现. 针对合成虚拟景物和真实场景过程中需要解决的几何一致性和光照一致性问题, 采用了局部三维重建和交互的相机定标技术来实现几何一致性; 对于光照一致性, 则采用了光照交互指定和自动恢复相结合的方法, 同时还考虑了虚拟物体投射的阴影. 针对不同场景的实际应用, 依据系统生成的结果合成图象, 设计人员能够比较有效地完成对景观规划结果的直观评估.

关键词 增强现实 几何一致性 光照一致性 局部三维重建 交互物体放置 图象合成

中图法分类号: TP391.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2002)04-0405-06

Scene-Planning System Based On Augmented Reality Technique

WANG Jing-bin, LI Ming, GENG Wei-dong, PAN Yun-he

(State Key Laboratory of CAD&CG, Hangzhou 310027)

(Artificial Intelligence Institute of Zhejiang University, Hangzhou 310027)

Abstract Augmented Reality(AR) is a growing area in virtual reality research. It merges the virtual object or other additional information generated by the computer into the user's view of the real world. It is helpful to apply AR technique to the scene planning for architectural designers or beauty spot developers. In this paper, a typical AR application system——Scene-Planning is introduced to demonstrate this idea. To combine the virtual buildings and real scene, the geometric coherence and illumination coherence problem must be sloved. The local 3D reconstruction and interactive camera calibration are used to resolve the geometric problem. For the illumination problem, the interactive and untomatic method is combined, and the shadow of the virtual object is also taken into account. The human's interaction is also involved during the above process. By evaluating the result image synthesized from various view angles, the designer can estimate and optimize the layout of virtual scene intuitively, and eliminate the inaccuracy during the planning process. Finally, some work under improvement and future research are also discussed.

Keywords Augmented reality, Geometric coherence, Illumination coherence, Local 3D reconstruction, Interactive object placement, Image composition

0 引言

增强现实(Augmented Reality, 简称AR)与虚拟现实(Virtual Reality, 简称VR)不同, VR技术让用户完全沉浸在一个计算机生成的虚拟环境中, 而AR则是把计算机产生的虚拟物体或其他信息合成

到用户看到的真实世界中. 使用AR技术可以增强用户的视觉感受, 扩展用户视觉系统的功能, 用户能以一种更自然的方式与真实和虚拟的混合世界交互, 更好地完成一些任务. 这一技术在医学、机械、设计、娱乐、军事等领域都有着良好的应用前景. 迄今为止, 在AR的各个应用领域都涌现出了许多成功的原型系统和实验系统. 如用于医学手术和诊

断^[1,2],用于机械组装维修^[3],用于设计^[4]等的系统.

随着旅游业的快速发展,人们在开发新的旅游资源时,往往需要对风景区进行设计规划和布局评估,即进行景观规划.人在求解景观规划等方面的设计和评价问题时,往往把设计对象实际设想于相应的背景环境中,然后从几个主要的视点角度对浮现于脑海中的形象信息进行剖析、求解,因此,在传统的设计优化和评价方法的基础上,通过应用AR技术,将设计对象信息和真实世界的某一视点所感知到的图象信息相融合,把有关信息形象化地展现、反馈给设计人员,并通过人的形象思维能力进行求解,可更为有效地解决这一类问题.

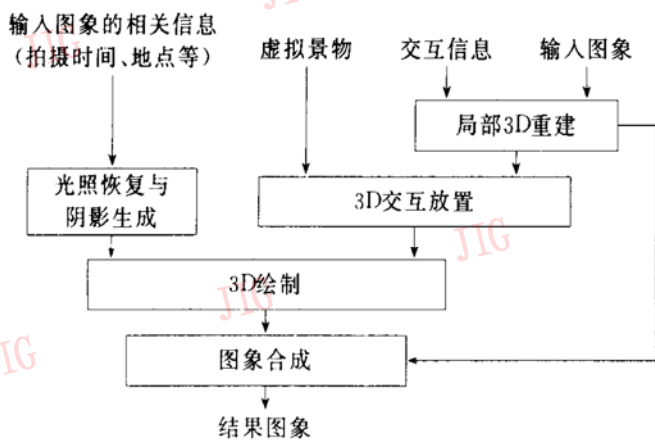


图1 景观规划系统体系结构图

基于以上想法,文中实现了一个典型的AR系统——景观规划系统,它的主要实现流程为:根据用户预设的不同角度,基于场景局部三维重建,虚拟物体交互放置,光照恢复和阴影生成等技术,将拟建景物的三维模型合成到背景场景的基准图象中,然后用户就可根据合成后的图象的视觉效果对规划方案进行直观的视觉评价和分析.图1给出了该系统体系结构的框图,其中输入图象包括不同视角的若干幅图象.与现有的基于专家的想象力来进行景观的规划和评价的方法相比,它提供的方法更为直观和真实,减少了视觉评价中的主观性和随意性,这无疑为景观的规划和评价提供了新的更为科学的辅助手段.

1 相关工作

Azuma 在文献[5]中讨论了AR系统实现的两种主要途径:光学方法和视频方法,而无论哪种方法都需要解决真实场景和虚拟物体的合成一致性问题.其中几何一致性是指虚拟物体在透视上与真实场景保持一致,不能穿透场景中的真实物体,并和它们保持正确的遮挡关系;而光照一致性则主要关注真实场景中的光

照对虚拟物体的作用,包括明暗、阴影、反射等.

一般说来,计算机视觉中所研究的相机定标和三维重建是AR系统中几何一致性问题的核心.因为相机的参数和真实世界的三维信息一旦被恢复出来,那么虚拟物体的放置与真实场景中物体的相互遮挡问题都会迎刃而解.定标相机和重建图象中三维物体的方法大致有两类:一是使用2D/3D对应点或对应线,如文献[6]、[7];二是使用多幅图象中对应的特征点或特征线^[8].对于某类需要实时定标的AR应用,由于对精确度的要求较高,研究人员提出了相应的解决办法^[9,10].此外,文献[11]避开了相机定标这一问题,而是在仿射坐标系上建模和绘制虚拟物体,但这种方法不能恢复出在合成真实场景和虚拟物体时所需的真正三维信息.

对于光照一致性的解决,文献[12]进行了较为全面的讨论,并介绍了由深度图象计算阴影、高光检测、由明暗求光照方向、全局光照等若干算法.Debevec在文献[13]中用一系列不同曝光度的照片计算场景的辐照度图(Radiance Map),然后用全局光照的方法绘制出真实感非常强的合成图象.

在景观规划系统中,实现几何一致性的关键步骤包括:相机的交互定标、局部三维重建、虚拟物体的交互放置;实现光照一致性的关键步骤包括:光照的交互指定和自动恢复相结合、阴影的生成.

2 几何一致性技术

2.1 交互的相机定标

本文采用了可视化的交互方法来简化相机的定标.其中的主要步骤描述如下:

(1) 把一个定标块(一个三维尺寸已知的立方体)放入场景中,用相同焦距在不同的几个角度分别拍摄含有定标块和不含定标块的图象.含有定标块的图象用来定标,不含定标块的图象将在最后的图象合成中使用.

(2) 选取一幅适合于计算机视觉定标方法的定标图象,用文献[6]中的方法定标,求出相机的旋转和平移参数,然后取一个初始的视域角构造视景物,对已知三维尺寸的定标块用计算机图形学的方法进行绘制,同时把绘制的二维线框图叠放于图象上,交互调整视域角,直到定标块的线框图和图象中各边一致.这时,就得到了反映相机内部参数的视域角的值.

(3) 因为相机焦距是不变的, 所以视域角也保持不变, 对于其他视角的图象, 使用步骤 2 中得到的视域角值, 用类似的交互方法就可得到这些视角相机的旋转和平移参数。

2.2 局部三维重建

在合成虚拟物体和真实场景时, 只需恢复出对合成结果有影响的三维信息, 即局部三维信息, 就可完成虚拟物体的放置以及最后的图象合成。

在景观规划系统中, 考虑放置面多边形和遮挡面多边形两类局部三维信息. 放置面多边形主要在虚拟物体放置时使用, 而遮挡面多边形则是遮挡住虚拟物体所对应的真实场景中物体的某个面. 另外, 假设虚拟物体的阴影只投射在放置面上, 则具体重建方法是: 在待合成的图象上勾画出待恢复的多边形, 并指定这些多边形的面方程, 这样根据前面得到的视景物参数, 图象中多边形顶点的两维坐标就对应一条射线. 射线和多边形的面求交, 就可得出对应的三维坐标. 注意因为这里的面方程是指定的, 所以重建的结果一般也是不精确的. 放置面经常是 $Y=0$ 的平面, 这时重建结果的精度就和平面的指定无关. 而遮挡面的目的只是为了绘制图象合成时遮挡物体的掩膜(mask), 所以对精度的要求也不高, 这种重建方法基本满足它的要求。

2.3 虚拟物体的交互放置

虚拟物体的放置包括把物体摆放在一个初始位置和调整物体到某个位置两步。

确定虚拟物体的初始位置, 就是要把虚拟物体放到上节中恢复出的放置面多边形(设为 Q) 上的某个初始位置上. 这需要用交互的方法在物体上指定一个面(设为 P), 然后通过物体施加一个几何变换, 使这个面与 Q 重合, 而且还要使物体落在 Q 的中心. 几何变换矩阵可以写为 $M = T * R$. 其中矩阵 R 是 P 的法向 P_n 到 Q 的法向 Q_n 的旋转, 矩阵 T 是 P 的中心相对于 Q 中心的平移。

虚拟物体的初始位置确定以后, 用户还可能要将其移动、旋转, 或者调整它的大小, 使之与待合成图象中真实物体的大小相匹配. 这些调整都必须在一个约束条件下进行, 即要保持 P 与 Q 的始终重合. 对于平移, 取图 2 所示的仿射坐标系 UOV (OU 和 OV 是放置面多边形上任意相邻的两边), 平移沿 OU 和 OV 两个方向进行, 就可以保证约束条件的满足. 对于旋转, 要满足约束, 需要取从 P 的中心点出发, 方向为 Q 的法向的矢量为转轴. 而对于放缩,

由于约束条件的限制, 只能采用定点放缩, 定点选在 P 的中心。

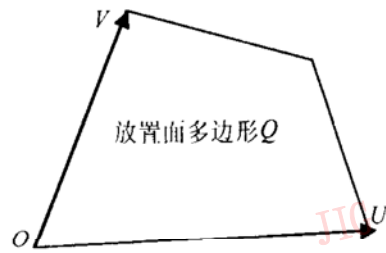


图 2 平移使用的仿射坐标系

3 光照一致性技术

光照一致性包含的技术性问题很多, 完全的解决方案需要场景精确的几何模型和光照模型; 场景中物体的光学属性描述. 这样才可能绘制出真实场景对虚拟物体的光照交互, 其中包括真实场景中的光源使虚拟物体产生的明暗、阴影和反射以及虚拟物体对真实物体的明暗、阴影和反射的影响. 这些工作通过使用三维物体绘制和图象合成技术来共同完成。

文献[12]直接从图象恢复真实场景中物体表面的光学属性和表面方向, 建立起光照模型; 而景观规划系统使用的光照自动恢复方法主要是利用天文学知识. 这种方法恢复的是太阳光, 只能应用于针对室外景物的 AR 系统中, 而对于其他类型的光源则需交互指定. 虚拟物体的明暗在光照模型给定后, 可由三维绘制引擎直接绘出, 而虚拟物体投射的阴影只考虑本影. 图 3 说明了该系统所使用的光照模型。

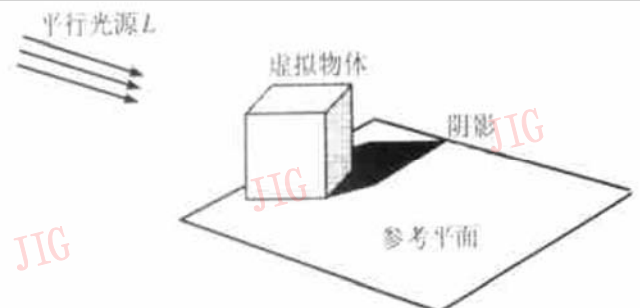


图 3 太阳光光照模型

3.1 太阳光照的恢复

太阳光是平行光, 它的恢复分为方向的恢复和亮度的恢复. 这里假设原始图象都是在晴天拍摄的, 并使用文献[14]给出的方法进行太阳光方向的恢复. 设如下几个相关变量:

(1) 角度 β : 世界坐标系的 x 轴与朝南方向的

夹角.

(2) 角度 τ : 反映一天中的某个时刻. 早上 4: 00, $\tau = -90^\circ$, 晚上 20: 00, $\tau = 90^\circ$. 每隔一个小时 τ 递减 15° .

(3) 角度 δ : 反映太阳直射点的位置. 夏至时, 太阳直射北回归线, $\delta = -23.5^\circ$. 冬至时, 太阳直射南回归线, $\delta = 23.5^\circ$. 春分, 秋分时, 太阳直射赤道, $\delta = 0^\circ$. 中间的日期所对应的角度由线性插值得出.

(4) 角度 φ 经度.

给出这些变量的值, 太阳光的方向 (x, y, z) 就可以用以下公式计算:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\beta & -\sin\beta & 0 \\ \sin\beta & \cos\beta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\delta\sin\varphi & 0 & \sin\delta\cos\varphi \\ 0 & \cos\delta & 0 \\ \cos\delta\cos\varphi & 0 & \sin\delta\sin\varphi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\tau \\ \sin\tau \\ 1 \end{pmatrix}$$

因为太阳光 R、G、B 3 个通道的强度基本相等, 所以只要恢复出一个 $[0, 1]$ 之间的强度值, 并把它应用于 3 个通道就可以了. 这里给出两种太阳光强的恢复方法:

(1) 时间插值方法 设早上 4: 00 和晚上 20: 00 光强为 0, 中午 12: 00 光强为 1, 则中间的任一时刻都可以选择一种插值模型进行插值. 最简单的是线性模型, 把 0 和 1 映射到 $0^\circ \sim 90^\circ$, 当然, 用正弦函数进行插值, 效果会更接近于真实光照, 因为越接近中午, 太阳光强度的变化就越缓慢.

(2) 基于图象的插值方法 先获取一天中不同时刻(不少于 3 个, 并且其中一个时刻为中午 12 点)同一地点的图象, 求出每幅图象的平均亮度值, 用 3 次样条或 B 样条拟合出亮度值变化的曲线. 这样对采样的最小时刻与最大时刻的中间时刻, 就可以计算出亮度值, 用它除以中午 12 点拍摄图象的平均亮度值就得出估算的太阳光强.

3.2 阴影生成

阴影主要分为本影和半影两种类型. 文献[15]、[16]对阴影生成算法进行了综述. 近年来的研究主要集中在半影的实时绘制和提高真实感上. 但把阴影应用于解决 AR 中的光照一致性问题时, 由于采用简单的色彩调和(chroma-keying)图象合成技术, 阴影的掩模只能是一种颜色, 不能区分本影和半影, 因此在景观规划系统中使用基本的阴影生成算法:

设阴影的投射平面为 (a, b, c, d) , 光源 L 的位置为 (x, y, z, w) (当 $w = 0$ 时, 光源 L 就成为平行光源, (x, y, z) 是平行光的方向), 则阴影生成矩阵为

$$M = \begin{pmatrix} by + cz + dw & -ay & -az & -aw \\ -bx & ax + cz + dw & -bz & -bw \\ -cx & -cy & ax + by + dw & -cw \\ -dx & -dy & -dz & ax + by + cz \end{pmatrix}$$

采用文献[17]的方法来绘制阴影, 于是, 绘制阴影只需禁止光照, 把原观察矩阵乘以 M , 重绘一遍待合成的虚拟物体即可. 而把绘制的阴影合成到原始图象中去, 只需根据阴影的掩模, 衰减图象中对应象素点的亮度即可.

4 结果分析与讨论

基于上述关键技术, 在 Windows 98/NT 环境下使用 Visual C/C++ 6.0 开发工具实现了一个实际的 AR 系统——景观规划系统, 图 4 是放置虚拟物体时的系统界面, 图 5 说明了将虚拟物体合成到真实场景中的过程, 此处使用了一个三维茶壶作为待放置的虚拟物体. 图 6 给出了该系统生成的部分结果图象.

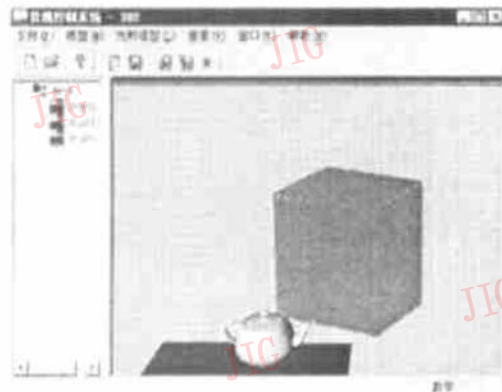


图 4 景观规划系统界面

图 5(a)、(b) 分别为两个视点拍摄的图象; 图 5(c)、(d) 对应于图 5(a)、(b), 是用恢复的局部三维信息、相机视点和交互指定的光照生成的绘制图; 图 5(e)、(f) 分别是图 5(a) 和图 5(b) 放入茶壶后生成的结果图象.

景观规划系统的目标在于通过 AR 技术, 将设计对象和真实世界某一视点的图象信息相融合, 把结果信息形象化地展现、反馈给设计人员, 使设计人员更有效地进行设计方案的直观评估. 通过分析以上系统生成的结果图象可知, 景观规划系统基本实现了这一目标.

本文着重讨论了增强现实中的一致性问题, 针对几何一致性和光照一致性分别讨论了其中涉及到的关键技术. 从以上结果图象的效果来看, 这些技术能

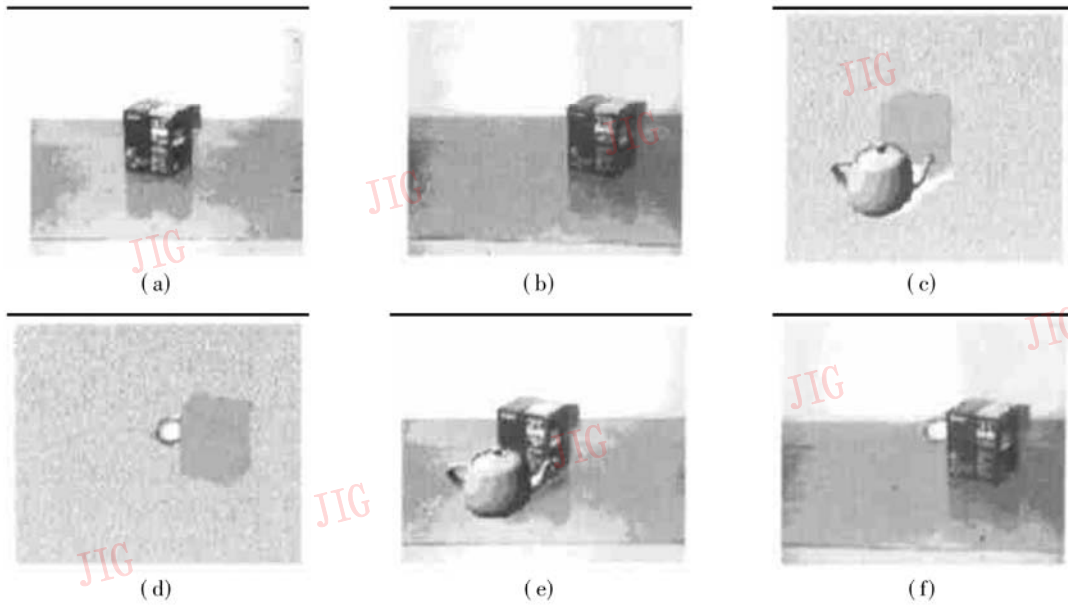


图 5 书桌上的虚拟茶壶



(a) 校园草坪上的虚拟古塔



(b) 虚拟的玉皇山索道



(c) 小坡上的虚拟亭子



(d) 草坪上的虚拟石雕

图 6 景观规划系统生成的结果图象

够比较有效地解决景观规划这类 AR 应用中的实际问题. 在解决几何一致性问题的过程中, 使用了计算机视觉和计算机图形学结合的方法, 并结合用户交互大大简化了相机定标, 虽然定标的精度不高, 但对一般的 AR 应用已经足够了; 而对光照一致性, 则主要针对于室外场景的 AR 应用, 提出了一种方便快捷的解决方案. 此外, 针对部分待建景物(如图 6

(a), (c), (d) 中的对称性形状特征, 还开发了一个基于多视图重建技术实现的快速三维建模工具^[18], 用它能够有效完成一类建筑实体的自动重建.

但增强现实技术与虚拟现实相比, 还远远不够成熟, 离“真实世界和虚拟物体的无缝融合”这一目标还有很大距离. AR 技术在实时方面, 几何一致性算法的自动化方面都面临着很大挑战, 还需要进一

步减小误差,增强算法的鲁棒性.但在一些特定的对实时和自动化要求不高的应用领域,通过使用交互方法很多困难可以很容易地得到解决.本文着重强调了用户的交互在相机定标和局部三维重建中的重要作用.关于光照一致性,真实场景精确光照模型的恢复以及真实场景和虚拟物体的光照交互都相当复杂,本文只进行了初步的探讨.

综上所述,将来的工作主要包括以下几个方面:

- (1) 视频方法 AR 系统的研究.
- (2) 光照一致性中阴影和反射问题的进一步研究.
- (3) 精确的光照模型的恢复.
- (4) 用研究的成果进一步改进实验系统.

参考文献

- 1 State, Andrei, Mark A. Livingston, Gentaro Hirota, William F. Garrett, Mary C. Whitton, Henry Fuchs and Etta D. Pisano. Techniques for augmented-reality systems: Realizing ultrasound-guided needle biopsies [A]. In: Proceedings of SIGGRAPH'96[C], Addison-Wesley Longman, New Orleans, U. S. A., 1996: 439~ 446.
- 2 Mellor J P. Enhanced reality visualization in a surgical environment [D]. MS Thesis, Department of Electrical Engineering, MIT, 1995.
- 3 Feiner, Steven Blair MacIntyre, Dorée Seligmann. Knowledge-based augmented reality [J]. Communications of the ACM, 1993, 36(7): 52~ 62.
- 4 Ahlers K H, Kramer A, Breen D E *et al.* Distributed augmented reality for collaborative design applications[A]. In: Proceedings of Eurographics '95[C], Blackwell Publisher, Maastricht, NL, 1995: 3~ 14.
- 5 Ronald T Azuma. A survey of augmented reality [J]. Teleoperators and Virtual Environments, 1997, 6(4): 355~ 385.
- 6 Roger Y Tsai. An efficient and accurate camera calibration technique for 3D machine vision[A]. In: Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition[C], Miami Beach, U. S. A. 1986: 364~ 374.
- 7 Debevec P E, Taylor C J, Malik J. Modeling and rendering architecture from photographs: A hybrid geometry-and image-based approach[A]. In: SIGGRAPH'96[C], Addison-Wesley Longman, New Orleans, U. S. A. 1996: 11~ 20.
- 8 Tomasi C, Kanade T. Shape and motion from image streams under orthography: A factorization method[J]. IJCV, 1992, 9(2): 137~ 154.
- 9 Azuma R, Bishop G. Improving static and dynamic immersion in an optical see-through display[J]. Computer Graphics, July 1994, 28: 194~ 204.
- 10 Deering M. High resolution virtual reality [J]. Computer Graphics, 1992, 26(2): 195~ 202.
- 11 Kutulakos, Kiriakos N, James Vallino. Affine object representations for calibration-free augmented reality[A]. In: Proceedings of VRAIS '96[C], IEEE Computer Society Press, March Las Alamos, U. S. A. 1996: 25~ 36.
- 12 Fournier Alain. Illumination problems in computer augmented reality [J]. In: Journee INRIA, Analyse/Synthese D'Images, January 1994: 1~ 21.
- 13 Paul Debevec. Rendering synthetic objects into real scenes: Bridging traditional and image-based graphics with global illumination and high dynamic range photography [A]. In: SIGGRAPH'98[C], Addison-Wesley Longman, Orlando, U. S. A., 1998.
- 14 Nakamae E, Harada K, Ishizaki T. A montage method: The overlaying of the computer generated images onto a background photograph [A]. In: SIGGRAPH'86 [C], Addison-Wesley Longman. August Dallas, U. S. A. 1986: 207~ 214.
- 15 Andrew Woo, Pierre Poulin, Alain Fournier. A survey of shadow algorithms [J]. IEEE Computer Graphics and Applications, 1990, 10(6): 13~ 32.
- 16 Tom McReynolds. Advanced graphics programming techniques using OpenGL[A]. In: SIGGRAPH'98 Course[C], Orlando, U. S. A., 1998.
- 17 Pierre Jancene, Fabrice Neyret, Xavier Provot *et al.* Computing the interactions between real and virtual objects in video sequences[R]. Technique Report, INRIA, 1995, 17.
- 18 Geng Weidong, Wang Jingbin, Zhang Yiyang *et al.* Multi-views reconstruction based on cell primitives[A]. In: Proceeding of CISST'2000[C], CSREA. USA, 2000.



王靖滨 1976年生,1998年获浙江大学计算机科学与工程学系学士学位,现为浙江大学计算机科学与工程学系的硕士研究生.主要研究方向为人工智能、CAD、计算机图形学、虚拟现实.



李明 1976年生,1997年获浙江大学计算机科学与工程学系的学士学位,2000年获浙江大学计算机科学与工程学系的硕士学位,现在德国 Max-Planck 研究所攻读博士学位.主要研究方向为人工智能、计算机图形学、虚拟现实.



耿卫东 1967年生,1995年获浙江大学计算机科学与工程学系博士学位,目前是浙江大学计算机科学与工程学系的副教授.主要研究方向为人工智能、CAD、多媒体技术、基于图象的绘制等.在以上领域中,以第一作者或合作形式共发表论文 30 余篇.

潘云鹤 1946年生,教授,博士生导师,浙江大学校长,中国工程院院士,1970年获同济大学建筑系学士学位,1981年获浙江大学计算机系硕士学位.主要从事 CAD/CG、计算机艺术、多媒体和人工智能等领域的研究.在以上领域中,以第一作者或与他人合作形式共发表论文 160 余篇.