

从多幅参考图像合成目标图像的逆映射算法^{*}

郑新¹, 吴恩华^{1,2}

¹(中国科学院 软件研究所 计算机科学开放研究实验室, 北京 100080);

²(澳门大学 科技学院, 澳门)

E-mail: zhx@ios.ac.cn

http://www.ios.ac.cn

摘要: 提出了一种从多幅参考图像来合成新视点目标图像的逆映射算法. 这种方法不但成功地填补了由于投影区域扩张而产生的第1类空洞, 而且还成功地填补了由于空间非深度连续物体相互遮挡而产生的第2类空洞, 从而方便地实现了虚拟环境中的漫游. 基于物体表面深度的连续性, 提出了一种位移预测方法. 该方法可以从单幅参考图像获得逆映射过程中所需要的目标图像的位移信息, 从而大大提高了算法的效率. 与通常的正向映射算法相比, 该算法克服了多幅参考图像所带来的计算量成倍增长等问题, 而且误差较小.

关键词: 基于图像的绘制; 正向映射; 逆向映射

中国法分类号: TP391 文献标识码: A

传统上, 虚拟环境由各类 3D 几何造型合成, 这是一项极为繁琐的工作, 而漫游所需要的实时性则极大地限制了场景的复杂度和绘制的质量. 近年来, 基于图像的绘制 (image-based rendering, 简称 IBR) 作为一项快速生成新视点图像的新技术, 受到了计算机图形学和计算机视觉领域工作者的广泛关注, 成为当前的研究热点之一. 最早应用 IBR 技术的虚拟现实系统是 Apple 公司的 Quick Time VR^[1]. 它在场景中的一些关键位置点 (或称视点) 建立全景图像 (panorama), 在这些关键点上, 用户可以随意改变视线方向. 这个系统的不足在于, 虽然用户可以通过关键点间的跳转来实现场景中的漫游, 但是视点只能固定在关键点上, 用户不能在场景中任意“走动”, 因而不能实现真正意义上的漫游.

视点可变的 IBR 技术^[2-6]赋予了用户更大的自由度, 使虚拟漫游更富有真实感. 当视点移动时, 由于空间点在图像上的投影与空间点的深度有关, 因此映射并不是简单的一一映射. 那些参考图像中原本同时可见的物体表面, 在视点改变时会发生相互遮挡, 这就是视点改变所引起的褶皱问题. 处理褶皱问题的方法有多种, 其中最直接的方法是用通常的 z-buffer 技术^[2]. McMillan 和 Bishop^[7,8]采用油画家的方法, 提出了一种简单且更为高效的排序算法. 此算法保证了在处理过程中, 按从后到前的顺序来处理参考图像中那些映射到新视图上同一像素点的点. 本文即应用此方法来处理褶皱问题.

空洞问题是视点移动产生的另一个问题, 也是视点移动的 IBR 技术中的难点. 按照空洞产生的原因, 大致可将它分为两类: 一类是由于可见景物在屏幕上的投影区域扩张而引起的; 另一类是由于景物的可见性发生变化而引起的. 逆映射^[6,8]方法为众多填补空洞的方法之一. 与正向映射^[2,5]

* 收稿日期: 1999-11-29; 修改日期: 2000-01-25

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (69873044); the Research Grant of University of Macau (RG009/99-00S/WEH/FST)

作者简介: 郑新 (1973-), 女, 山东苍山人, 博士, 主要研究领域为计算机图形学, 虚拟现实; 吴恩华 (1947-), 男, 江苏南通人, 博士, 研究员, 博士生导师, 主要研究领域为计算机图形学, 可视化, 虚拟现实.

相比,逆映射有效地消除了由于画面扩张而产生的大量细小空洞,且误差较小. Shade^[6]提出的逆映射算法,首先将每幅参考图像分割成深度连续的区域(称为 sprite),再对每个 sprite 分别进行逆变换,并将处理后得到的每个 sprite 按从后到前的顺序合成新视点所见的目标图像.

虽然在 Shade 的算法中每个 sprite 的深度是连续的,不会出现由于非连续平面遮挡而引起的第 2 孔洞现象,但是将变换后的 sprites 重新组合成目标图像时,各 sprites 之间却有着大块无法填补的孔洞.其主要原因在于,我们无法从源参考图像获得空洞区域场景的任何信息,因而需要多幅参考图像来合成最终目标图像.常用的多幅参考图像合成算法^[2,5]使合成计算的开销成倍增长,计算量大大增加,而且多幅图像也不能用前面提到的 McMillan 的排序算法来处理褶皱问题,只能用效率不高的 z-buffer 算法.为了提高中间图像的生成速度,日前的空洞填补算法往往采用由周围点像素加权平均来填补空洞^[2~4],或者以另外一幅参考图像作为目标图像的背景^[9]等方法来处理,但在图像质量上还不尽如人意.

本文在 Shade 的上述算法的基础上,提出了一种从多幅参考图像合成目标图像的逆映射算法.与 Shade 的算法不同之处在于,此算法将整幅参考图像看做是一个 sprite 来作逆变换处理,即允许 sprite 中有非深度连续片面存在.此外,基于物体表面深度的连续性,本文提出了一种位移预测方法,从单幅参考图像获得逆映射过程中所需要的目标图像的位移信息,从而大大提高了算法的效率.与 Shade 的算法相比,本文的算法只在原有两次扫描变换的基础上增加了计算量不大的目标图像位移值的空洞填补,但所生成的目标图像的质量却好得多.

1 基于 sprite 的逆映射算法

在基于 sprite 的逆映射算法中,每个 sprite 包括 3 个部分:

- (1) 图像 $I_1(x_1, y_1)$ 及每个像素的 3D 信息(深度或三维坐标).
- (2) 4×4 像机矩阵 C_1 , 它将世界坐标系中的点 $(X, Y, Z, 1)$ 变换到图像(sprite)坐标系中,变换后的齐次坐标为 $(w_1x_1, w_1y_1, w_1z_1, w_1)$.
- (3) 空间平面方程 $AX + BY + CZ + D = 0$ (世界坐标系下,且与视点不相交).

用 (A, B, C, D) 替换 C_1 的第 3 行后,得到一个新的变换矩阵 \hat{C}_1, \hat{C}_1 将世界坐标系中的点 $(X, Y, Z, 1)$ 变换为齐次坐标为 $(w_1x_1, w_1y_1, w_1d_1, w_1)$, 其中 d_1 称为图像坐标下空间点到空间平面的位移(displacement). \hat{C}_1 使得所有位于此空间平面上的点的 $d_1 = 0$. 由定义可知:

$$w_1d_1 = AX + BY + CZ + D = d(\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}),$$

其中 d 为空间点到已知平面的距离,从而得到 $d_1 = d(\sqrt{A^2 + B^2 + C^2})/w_1$, 由此式可知, d_1 的几何意义为点到平面距离的常数倍与视点到空间点在垂直于图像平面方向上的距离的比值.

设 I_2 为所要生成的目标图像,与 I_1 相似,可以得到相应的变换矩阵 \hat{C}_2 , 令 $T_{12} = \hat{C}_2 \hat{C}_1^{-1}$, 得到图像 I_1 与 I_2 上对应像素 (x_1, y_1) 与 (x_2, y_2) 之间的变换关系.若空间点均位于已知空间平面上,即对所有点 $d_1 = 0$, 则有

$$\begin{bmatrix} w'_2x_2 \\ w'_2y_2 \\ w'_2 \end{bmatrix} = H_{12} \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 1 \end{bmatrix}. \quad (1)$$

其中 H_{12} 为 T_{12} 去掉第 3 行第 3 列后得到的矩阵,由式(1)可以看出,此时逆映射很容易实现.但对于来自复杂场景的参考图像来说,图像上大多数像素的 $d_1 \neq 0$, 此时的变换公式为

$$\begin{bmatrix} w'_2 x_2 \\ w'_2 y_2 \\ w'_2 \end{bmatrix} = H_{12} \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 1 \end{bmatrix} + d_1 e_{12}. \quad (2)$$

其中 e_{12} 为 T_{12} 的第 3 列. 显然, 由于 $d_1 e_{12}$ 项的存在, 不能简单地直接由矩阵求逆来实现逆变换. 若将 I_2 看做是源参考图像, 而 I_1 作为所生成的目标图像, 可以得到式(2)的逆变换:

$$\begin{bmatrix} w'_1 x_1 \\ w'_1 y_1 \\ w'_1 \end{bmatrix} = H_{21} \begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ 1 \end{bmatrix} + d_2 e_{21}. \quad (3)$$

与 H_{12} 和 e_{12} 相似, H_{21} 和 e_{21} 由 T_{12} 的逆变换 T_{21} 得到. 但在此逆变换中, d_2 是未知的, 因此应该首先求出 I_2 上每个像素所对应的位移信息 d_2 , 然后通过式(3)反求出此像素在参考图像上的对应点, 从而得到相应的颜色值.

2 目标图像的生成

本文提出了一种从多幅参考图像合成目标图像的逆映射算法. 算法过程可分成 3 个步骤来完成: 首先是位移值的正向映射, 以获取目标图像的位移图; 然后对此非完整的位移图作空洞填补; 最后通过逆映射过程来生成最终目标图像.

2.1 正向映射

算法首先通过正向映射来获取目标图像的位移信息, 即逆变换公式(3)中的 d_2 .

在 Shade 的算法^[6]中, 将式(2)变换为如下两个公式:

$$\begin{bmatrix} w''_2 x_2 \\ w''_2 y_2 \\ w''_2 \end{bmatrix} = H_{12} \begin{bmatrix} x_3 \\ y_3 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} w_3 x_3 \\ w_3 y_3 \\ w_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 1 \end{bmatrix} + d_1 e_{12}^*,$$

其中 $e_{12}^* = H_{12}^{-1} \cdot e_{12}$. 用后面的公式正向映射位移图 $d_1(x_1, y_1)$, 求得对应像素所对应的位移值 $d_3(x_3, y_3)$. 近似地, Shade 用 d_3 或更为简单地直接用 d_1 来代替逆变换中所需要的位移值 d_2 . 图 1(b) 与图 1(c) 分别为以近似值 d_1 和 d_3 来代替式(3)中的 d_2 所得到的目标图像.

在本文的逆映射算法中, 选取离新视点最近的两幅已知图像(设为 I_1, I_3)作为参考图像, I_2 为所要求的目标图像. 设 I_1 图像的视点与新视点最接近, 为主参考图像. 按照 McMillan 的排序算法对 I_1 的位移值进行正向映射, 从而求出目标图像各像素所对应的 d_2 值, 亦即得到目标图像所对应的位移图. 通过回顾变换矩阵 T_{12} 的推导过程可知, $w'_2 = w_2/w_1$, 进一步地, 由 d_1 和 d_2 的几何意义得到

$$\begin{aligned} w_1 d_1 &= w_2 d_2 = AX + BY + CZ + D = d(\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}), \\ d_2 &= w_1 d_1 / w_2 = d_1 / (w_2 / w_1) = d_1 / w'_2, \end{aligned}$$

因此直接由式(2)可求得精确的 d_2 .

如图 1 所示, 与 Shade 的算法中用近似值 d_3 或 d_1 得到的目标图像相比, 用 d_2 生成的目标图像(如图 1(d)所示)更为精确. 观察这些图像可以看到, 图 1(c)中半球上的条纹比图 1(d)和图 1(e)中的条纹要偏左, 其最左面的那块条纹要小一些, 这是由近似值 d_3 来代替 d_2 所产生的.

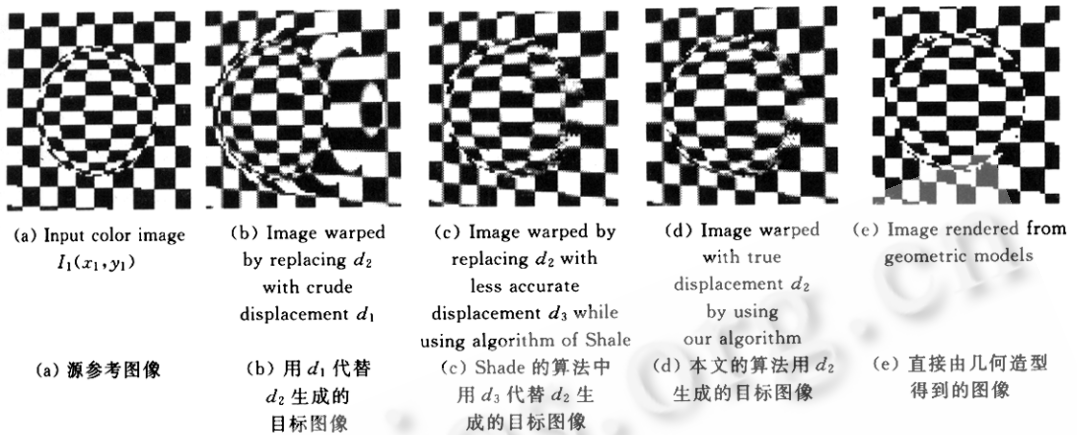


Fig. 1
图 1

与 Shade 算法不同, 本文的逆映射算法不再将参考图像分割成深度连续的区域, 而是将整幅图像作为一个 sprite. 因此在前面正向映射阶段所得到的目标位移图像上, 必然会出现物体表面相互遮挡而引起的空洞. 也就是说, 在正向映射过程中, 主参考图像中的一些相邻像素由于深度不连续, 映射后的像素点在目标图像上相互分离, 从而产生空洞 (如图 2 所示). 为了后面填补空洞过程的需要, 本文在正向映射的同时按顺序记录下这些相邻边界点在目标图像上的对应像素 (e_1, e_2) (其中 e_1 为遮挡平面的边界像素, e_2 为被遮挡平面的边界像素) 以及被遮挡点的位移信息 d_2 . 由于在预处理过程中, 已对参考图像中非深度连续边界上的被遮挡像素作了标记: 若某相邻像素属于遮挡平面, 则此标记字节上对应位设为 1, 否则为 0, 因此, 在按 McMillan 的排序算法由后向前地扫描 (图 2 中的箭头方向) 主参考图像 I_1 的过程中如果当前像素的标记字节中对应于刚刚处理完的相邻像素的标记位为 1, 也就是说, 在扫描方向上, 如果在一个遮挡面边界点后面紧接着的是一个被遮挡面边界点, 那么目标图像上这两个相邻像素之间必然会产生空洞.

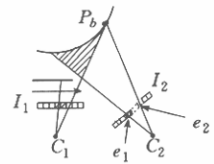


Fig. 2 Displacement estimation
图2 位移预测

2.2 空洞填补

为了解决前面提到的使用多幅参考图像所带来的计算量成倍增长等问题, 基于空间物体在深度上的连续性, 本文提出下述位移预测方法. 该方法成功地填补了目标位移图像上出现的空洞, 从而大大提高了算法的效率.

在正向映射的过程中, 用简单的 splat 或插值的方法很容易填补因物体表面扩张而产生的第 1 类空洞. 对于那些由于物体间的相互遮挡而产生的第 2 类空洞, 本文基于空间物体在深度上的连续性, 提出这样一种假设: 此空洞区域为源参考图像上被遮挡物体表面连续向外的延伸. 由于此算法中所选择的主参考图像 I_1 的视点与新视点最为接近, 因此这种假设在大多数情况下是合理的. 如图 2 所示, 参考图像 I_1 上两个非深度连续的相邻像素在视点移动后相互分离, 在目标图像 I_2 上它们之间有空洞出现. 阴影部分在视点 C_1 不可见, 而在视点 C_2 可见. 由本文的位移预测方法, 假设阴影部分为被遮挡平面向外的延伸, 即图中虚线部分. 由被遮挡平面上边缘点 P_0 及其周围像素的位移值可以得到此曲面在 P_0 点的曲率, 按此曲率外插即可得出阴影部分点的位移值.

2.2 空洞填补

为了解决前面提到的使用多幅参考图像所带来的计算量成倍增长等问题, 基于空间物体在深度上的连续性, 本文提出下述位移预测方法. 该方法成功地填补了目标位移图像上出现的空洞, 从而大大提高了算法的效率.

在正向映射的过程中, 用简单的 splat 或插值的方法很容易填补因物体表面扩张而产生的第 1 类空洞. 对于那些由于物体间的相互遮挡而产生的第 2 类空洞, 本文基于空间物体在深度上的连续性, 提出这样一种假设: 此空洞区域为源参考图像上被遮挡物体表面连续向外的延伸. 由于此算法中所选择的主参考图像 I_1 的视点与新视点最为接近, 因此这种假设在大多数情况下是合理的. 如图 2 所示, 参考图像 I_1 上两个非深度连续的相邻像素在视点移动后相互分离, 在目标图像 I_2 上它们之间有空洞出现. 阴影部分在视点 C_1 不可见, 而在视点 C_2 可见. 由本文的位移预测方法, 假设阴影部分为被遮挡平面向外的延伸, 即图中虚线部分. 由被遮挡平面上边缘点 P_0 及其周围像素的位移值可以得到此曲面在 P_0 点的曲率, 按此曲率外插即可得出阴影部分点的位移值.

具体做法为, 依次处理在正向映射过程中记录的那些引起空洞的边界点. 对每一对边界点 ($e_1,$

e_2),如图 2 所示, e_1 为遮挡平面的边界像素, e_2 为被遮挡平面的边界像素, d_c 为记录的边界点 e_2 的位移信息(由于在目标图像上, P_b 点有可能被其他平面遮挡,因此 d_c 的值并不一定与目标图像上 e_2 点所存储的位移值相等). e_2 点成为被遮挡表面上的第 1 个点,记为 P_0 ,然后以一定步长 *footstep* 为增量,在线段 e_1e_2 的延长线上寻找另外 3 个属于被遮挡表面的像素 P_1, P_2 和 P_3 ,如果为了提高曲线的精度,则可以多取一些像素点,但为了提高空洞填补的速度,而且在场景内绝大多数表面为平面的情况下,本文只取了 4 个.在查找过程中,若当前像素所记录的位移值与 d_c 的位移差小于给定的阈值,则认为它是被遮挡表面上的点;否则,继续向后查找,直到找到 3 个所需像素或查找步数大于最大设定值为止.本文假设在 e_1e_2 的延长线上所得到的被遮挡表面上的曲线为一条三次 Bézier 曲线(若所找到的像素数目不足 4 个,则 Bézier 曲线的次数依次降低):

$$P(t) = \sum_{i=0}^3 B_i J_{i,n}(t), \quad 0 \leq t \leq 1.$$

其中 $J_{i,n}(t)$ 为 Bernstein 基函数.由于曲线经过 $P_i (i=0, 1, 2, 3)$ 点,因此有 $B_0 = P_0, B_3 = P_3$,解一个二元一次方程组,可以求出另外两个控制点 B_1 和 B_2 ,从而得到曲线函数方程.由此函数方程可以求出曲线上从 P_0 点开始相邻的 4 个像素的位移值,记为 d_0, d_1, d_2, d_3 ,然后从 e_2 点开始,逐点对此曲线作外插.设曲线上第 1 个外插点的位移值为 d_{-1} ,为了保持曲线的曲率,本文假设外插点保持曲线上相邻像素的三次差分相等,即

$$d_3 - 3d_2 + 3d_1 - d_0 = d_2 - 3d_1 + 3d_0 - d_{-1}.$$

由上式很容易得到 d_{-1} 的值

$$d_{-1} = -d_3 + 4d_2 - 6d_1 + 4d_0.$$

若此点在正向映射过程中已被填补,则跳过;否则,此像素点的位移值记为 d_{-1} .以同样方法,依次填补线段 e_1e_2 上其余的空洞点,直到 e_1 点为止.

这样处理的结果有可能使少数空洞点仍然未被填补,因此,在下面的逆映射过程中若遇到此种情况的像素,则取周围像素位移值的加权平均作为此像素的位移值.经过空洞填补阶段后,可以得到较为完整的目标位移图 $d_2(x_2, y_2)$.

2.3 逆向映射

在逆向映射过程中,应用逆变换公式和前面获得的位移信息,目标图像中像素将被逆向映射到不同的参考图像,从而得到该像素适当的颜色值.根据对应点在参考图像中的可见性,将目标图像中的像素分为以下 3 种情况来处理:

(1) 若像素在主参考图像 I_1 中可见,则此像素被逆映射到 I_1 上.

(2) 若像素在主参考图像 I_1 中不可见,而在参考图像 I_3 中可见,则此像素被逆映射到 I_3 上.设 d_3 为参考图像 I_3 上对应像素的位移值,由 d_1, d_2, d_3 的几何意义可知:

$$w_1 d_1 = w_2 d_2 = w_3 d_3 = d(\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}).$$

所以,对空间同一点,由 d_1 求得的 d_2 和由 d_3 求得的 d_2 是相等的.因此,可以用图像 I_2 与 I_3 之间的逆变换矩阵以及预测得到的位移信息 d_2 ,将空洞区域中的点逆映射到 I_3 上,从而得到 I_2 中此像素正确的颜色值.

(3) 对于那些在参考图像 I_1 和 I_3 中均不可见的像素,选取此像素周围与它位移值相近的点.这些点被认为在同一连续物体表面,用这些周围像素点的加权平均来近似此像素的颜色值.

图 3 显示了算法各阶段所得到的结果图像,其中图 3(a)与图 3(f)分别为参考图像 I_1 和 I_3 ,

图 3(b)为正向映射所得到的带有空洞的位移图像,对于这些空洞,用本文的位移预测算法加以填补,即得到了完整的位移图(如 3(d)所示),图 3(e)为所生成的新视点处的目标图像.

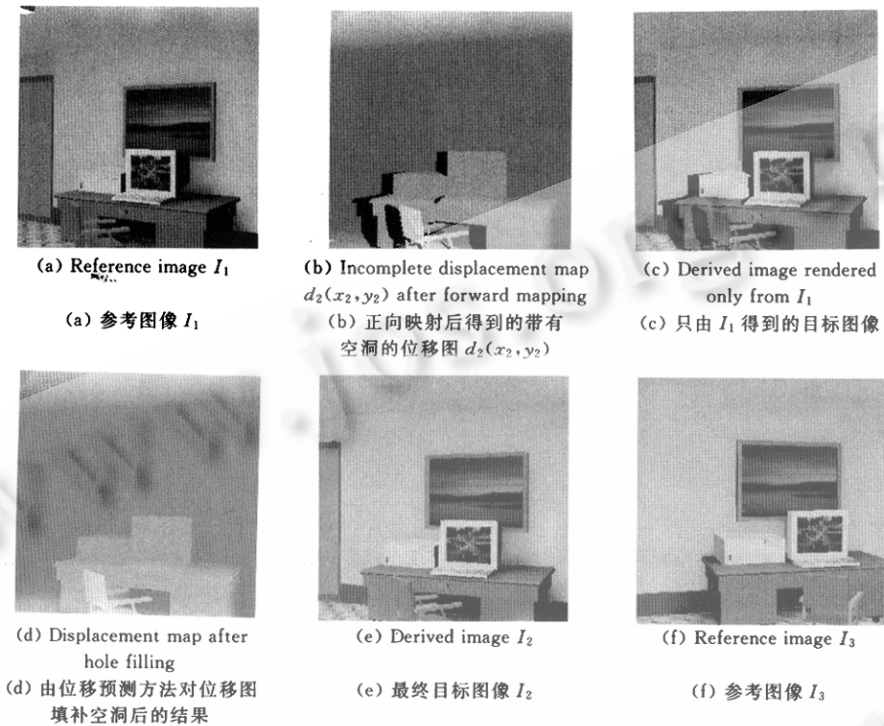


Fig. 3
图 3

此算法只需经过两次图像扫描转换即可,由于空洞填补过程只对空洞区域像素进行处理,因此并没有增加多少计算开销.但它实现了单幅图像到多幅图像的逆映射,而且视点可以作比较大的改变,使得参考图像的数目无须太多.此外,该算法虽然在位移值的正向映射和空洞填补中会有误差存在,但它并不会像直接对颜色插值所引入的误差那么明显.因为实际上,空间物体表面的深度变化往往比其色彩变化平缓得多,例如,图 3 和图 4 所示场景中的计算机屏幕、地板以及墙上的图画.

3 实验结果

本文在 PentiumII 400 上实现了上述逆映射算法,实例中所有参考图像及深度信息均来自所建立的虚拟办公室几何造型.在 300×300 的图像分辨率下,可以得到 $5 \sim 7$ 帧/s 的生成速率,从而可以实现虚拟环境中的漫游.图 3 与图 4 为此算法的两个实例,其中图 3 显示了算法实现的整个过程.在如图 4 所示的实例中,场景中物体间的相互遮挡更为复杂一些.图 4(a)和图 4(b)为源参考图像,图 4(d)为由本文的逆映射算法合成的图像,与图 4(e)中直接由场景几何造型得到的对照图像相比较,在视觉上并无明显差别.

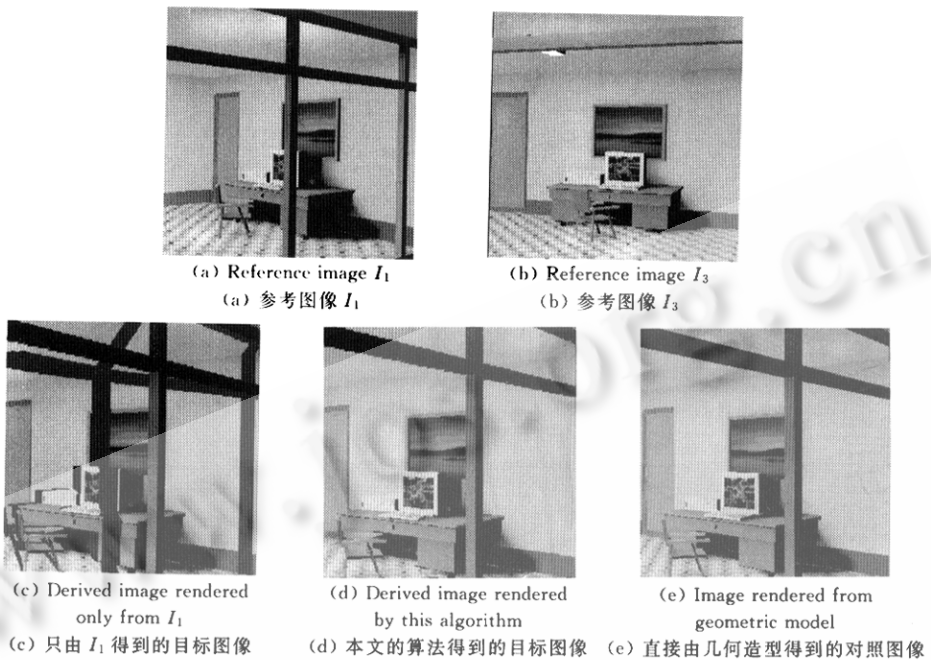


Fig. 4
图 4

4 结 论

本文提出了在静态场景中,从多幅参考图像合成新视点目标图像的逆映射算法.此算法克服了通常在正向映射算法中使用多幅参考图像所带来的计算量成倍增长等问题.此外,基于空间物体表面深度的连续性,本文提出了一种位移预测方法.应用该方法,可以从单幅参考图像获得逆映射过程中所需要的目标图像的位移信息,从而大大提高了算法的效率,使虚拟场景中的漫游成为可能.

致谢 本文实验中所使用的场景是由陈彦云博士提供的,为此我们表示衷心的感谢.

References:

- [1] Chen, S. E. QuickTime VR— an image-based approach to virtual environment navigation. In: Robert, C., ed. Proceedings of the SIGGRAPH'95. Los Angeles, CA: ACM Press, 1995. 29~38.
- [2] Chen, S. E. View interpolation for image synthesis. In: Kajiya, J. T., ed. Proceedings of the SIGGRAPH'93. Anaheim, CA: ACM Press, 1993. 279~288.
- [3] Gotler, S. J., Grzeszczuk, R., Szeliski, R., et al. The Lumigraph. In: Rushmeier, H., ed. Proceedings of the SIGGRAPH'96. New Orleans, Louisiana: ACM Press, 1996. 43~54.
- [4] Levoy, M., Hanrahan, P. Light field rendering. In: Rushmeier, H., ed. Proceedings of the SIGGRAPH'96. New Orleans, Louisiana: ACM Press, 1996. 31~42.
- [5] Mark, W. R., McMillan, L., Bishop, G. Post-Rendering 3D warping. In: Cohen, M., Zettzer, D., eds. Proceedings of the 1997 Symposium on Interactive 3D Graphics. New York: ACM Press, 1997. 7~16.
- [6] Shade, J., Gotler, S., He, L., et al. Layered depth images. In: Cohen, M., ed. Proceedings of the SIGGRAPH'98. Orlando, Florida: ACM Press, 1998. 231~241.
- [7] McMillan, L., Bishop, G. Plenoptic modeling: an image-based rendering system. In: Robert, C., ed. Proceedings of the

SIGGRAPH'95. Los Angeles, CA: ACM Press, 1995. 39~46.

- [8] McMillan, L. An image-based approach to three-dimensional computer graphics [Ph. D. Thesis]. University of North Carolina, 1997.
- [9] Rafferty, M. M. , Aliaga, D. G. , Popescu, V. , *et al.* Images for accelerating architectural walkthroughs. IEEE Computer Graphics and Applications, 1998, 18(6):38~45.

Combining Multiple Reference Images in a Backward Mapping Algorithm for Novel View Generation*

ZHENG Xin¹, WU En-hua^{1,2}

¹(Laboratory of Computer Science, Institute of Software, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China);

²(Faculty of Science and Technology, University of Macau, Macau, China)

E-mail: zhx@ios.ac.cn

<http://www.ios.ac.cn>

Abstract: Based on the backward mapping technique, an efficient image-based rendering algorithm for novel view generation from multiple reference images in a static scene is presented in this paper. It successfully fills the holes in the derived image both occurred when object surfaces are magnified in the novel view and when occluded surfaces become visible. This algorithm is more efficient by the heuristic technique proposed in this paper which gets displacement values used during backward mapping process from single main reference image under the observation that, the shape of space surfaces often changes smoothly. Comparing with the usual forward mapping methods, this algorithm generates derived images with less errors and tackles the problems associated with multiple reference images.

Key words: image-based rendering; forward mapping; backward mapping

* Received November 29, 1999; accepted January 25, 2000

Supported by the National Natural Science Foundation of China under Grant No. 69873044; the Research Grant of University of Macau (RG009/99-UUS/WEH/FST)