

# 生成当前视点目标图像的快速逆映射算法\*

郑新<sup>1</sup>, 吴恩华<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>(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);

<sup>2</sup>(澳门大学 科技学院, 澳门)

E-mail: zhx-zhengx@263.net; weh@ios.ac.cn

http://www.ios.ac.cn

**摘要:** 利用极线的属性及深度图像隐含的边界信息, 提出了一种可以处理非深度连续图像的快速逆映射算法, 以从多幅参考图像精确合成当前视点目标图像. 该算法分为 3 步: 首先由参考图像的深度信息得到图像中的边界; 然后从参考图像中选出一幅作为主参考图像, 利用极线的整体匹配特性和对应点在极线上分布的单调性, 逐个处理目标极线, 以生成目标图像; 最后根据其他参考图像填补目标图像中的空洞. 由于在第 2 步中只需处理参考图像的边界点对即可得到对应目标极线上所有点的深度信息及其在参考极线上的对应点, 因此, 新算法很好地提高了速度. 在填补空洞时, 利用参考图像的边界信息及所隐含的遮挡关系, 还提出了一些加速的方法.

**关键词:** 基于图像的绘制; 正向映射; 逆向映射; 极线; 极点

**中图分类号:** TP391      **文献标识码:** A

近年来, 基于图像的绘制 (image-based rendering, 简称 IBR) 已成为研究热点之一. 与传统的真实感图像生成技术相比, 其最大的优点在于成像复杂度几乎与场景复杂度无关, 因而成为在复杂场景特别是在真实场景中实现实时漫游的有利工具. 三维映射 (warping)<sup>[1~3]</sup> 的 IBR 方法可以从带有深度信息的源参考图像生成当前视点目标图像. 与视点固定的全景图 (panorama) 方法<sup>[4,6]</sup> 相比, 它赋予了用户更大的自由度, 使虚拟漫游更富有真实感.

三维映射可分为正向映射和逆向映射两种. 正向映射是将各参考图像的像素映射到目标图像的对应点上. 虽然它在处理单幅参考图像时速度很快, 但在复杂场景中, 需要由多幅图像来合成当前视点目标图像, 这使得算法开销随着参考图像的增加而成倍地增长<sup>[1,3]</sup>. 同时, 正向映射会使得目标图像上出现大量由于画面扩张而产生的细小空洞.

逆向映射方法<sup>[6~10]</sup> 从目标图像出发, 反求目标像素在参考图像上的对应点, 有效地解决了上述正向映射中存在的问题. 但是由于目标图像上像素点的深度信息是未知的, 因此通常的逆映射算法<sup>[6~8]</sup> 需要在源参考图像上进行一些搜索.

本文提出了一种快速逆映射算法, 以从多幅参考图像精确合成当前视点目标图像. 算法首先对参考图像作简单的预处理, 由深度提取参考图像的边界信息. 然后从参考图像中选出一幅作为主参考图像, 利用极线的整体匹配特性和对应点在对应极线上分布的单调性, 逐个处理目标极线, 以生成目标图像. 最后, 从其他参考图像搜索像素来填补目标图像中的空洞. 为避免发生因可见性变化而影响目标图像正确性的情况, 在对主参考图像进行映射时, 同时删掉那些在当前视点下将成为后

\* 收稿日期: 2000-12-13; 修改日期: 2001-05-14

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (69873044); Research Grant of University of Macau 资助项目 (RG029/00-01S/WEII/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.

向面的空间平面上的像素. 由于在上述映射过程中只需处理参考图像的边界点对即可得到对应目标极线上所有点的深度信息及其在参考极线上的对应点, 因此, 新算法很好地提高了速度. 在填补空洞时, 利用参考图像的边界信息以及隐含的遮挡关系, 还提出了一些加速方法.

本文第 1 节介绍极线的性质以及映射算法的相关概念和公式, 第 2 节详细讨论本文逆映射算法的 3 个阶段: 边界提取、主参考图像的逆向映射和空洞填补. 最后给出实验结果.

## 1 相关概念及公式

用三维映射(warping)<sup>[1~3]</sup>的方法可以从带有深度信息的源参考图像生成当前视点目标图像. 按照不同的映射方式, 三维映射分为正向映射和逆向映射两种. 如图 1 所示, 正向映射是找到一个函数, 输入为  $x$ , 输出为  $x_d$ ,

$$x_d = \delta(x_r) P_d^{-1}(C_r - C_d) + P_d^{-1} P_r x_r; \quad (1)$$

反之, 逆映射就是找到一个输入为  $x_d$ , 输出为  $x_r$  的函数,

$$x_r = \delta(x_d) P_r^{-1}(C_d - C_r) + P_r^{-1} P_d x_d. \quad (2)$$

其中  $x_r$  与  $x_d$  分别为空间点  $X$  相对于不同的投影中心  $C_r, C_d$  在参考图像和目标图像平面上的投影点.  $P_r$  与  $P_d$  是与参考图像和目标图像相对应的  $3 \times 3$  的投影矩阵, 矩阵各项的值由图像平面以及投影中心的位置决定.  $\delta(x)$  称为像素点  $x$  的普遍视差(generalized disparity), 它与像素点的深度成反比.

在逆映射过程中, 目标图像上像素点的普遍视差  $\delta(x_d)$  未知. 此时, 每个像素点对应着一条经过此像素的射线(图 1 中的  $C_d X$ ), 此射线在参考图像上的投影称为目标像素在参考图像上的对应极线(epipolar line)<sup>[8,11]</sup>. 目标像素的对应点必然位于此极线上, 因此, 逆

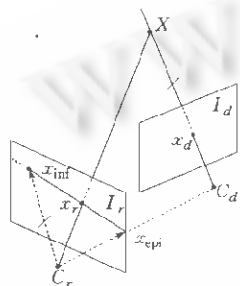


Fig. 1 Epipolar geometry  
图 1 极线几何

映射过程只需扫描此极线以寻找匹配点. 目标极线由两个点来确定. 一个点是投影中心  $C_d$  在参考图像  $I_r$  上的投影, 称为极点(epipole)<sup>[8,9]</sup>, 记为  $x_{\text{epi}}$ ,

$$x_{\text{epi}} = P_r^{-1}(C_d - C_r). \quad (3)$$

另一端点对应于射线  $C_d X$  的无穷远处, 称为无穷点(infinity point)<sup>[8,9]</sup>, 记为  $x_{\text{inf}}$ ,

$$x_{\text{inf}} = P_r^{-1} P_d x_d. \quad (4)$$

极线有以下两个重要性质<sup>[11]</sup>, 这也是本文逆映射算法提高算法效率的关键:

- 整体匹配性. 极线  $l_1$  上所有点的对应点都位于同一条对应极线  $l_2$  上, 反之亦然.
- 极线的保序性. 对于非透明的空间点  $X$  与  $Y$ , 其对应点在极线上的顺序一般是不变的, 除非  $X$  与  $Y$  的深度差很大.

## 2 目标图像的生成

本文提出的逆映射算法分 3 个步骤完成: 首先对参考图像进行预处理, 提取图像边界; 然后从参考图像中选出一幅作为主参考图像, 用极线整体匹配的方法作逆变换求取对应点; 最后通过其他参考图像对目标图形上的空洞像素进行填补.

### 2.1 边界提取

本文的算法是对参考图像作简单预处理, 将像素的深度信息转换为普遍视差( $\delta(u, v)$ ), 再根据

普遍视差来提取空间平面在参考图像上的边界,并对边界像素加以标记。

将像素的深度信息转换为普遍视差( $\delta(u, v)$ ),意味着对空间点作透视变换,由透视变换的公式和普遍视差的定义可知,在 $(u, v, \delta)$ 空间中,位于同一空间平面上的点,其普遍视差与图像坐标 $(u, v)$ 成线性关系<sup>[3,10]</sup>。因此,若与 $(u, v)$ 相邻的像素来自同一空间平面,则其普遍视差满足如下关系:

$$\Delta^2 \delta(u, v) = 0,$$

其中 $\Delta^2$ 为拉普拉斯(Laplacian)算子。那些 $\Delta^2 \delta(u, v) \neq 0$ 的点被认为是边界点。根据边界点和周围像素的梯度差,设置边界点的连通属性,且记录在标记字节 $b_f$ 中。若边界点和某相邻像素的梯度差大于给定的阈值,则标记字节的相应位为1;否则为0。在此,一个 $b_f \neq 0$ 的像素意味着此边界像素两侧的空间平面深度不连续,有可能发生相互遮挡。

## 2.2 主参考图像的逆向映射

选择离当前视点及视线方向最为接近的参考图像 $I_r$ 作为主参考图像,逐个处理目标极线,从主参考图像中搜索对应点,从而生成目标图像。

新算法利用极线的几何性质来加速上述对应点的搜索过程。首先,由于在目标图像极线 $l_d$ 上所有点在参考图像上的对应点均位于同一极线 $l_r$ 上(如图2所示),因此本文通过作极线整体匹配来提高算法效率。另外,如图2所示,参考极线 $l_r$ 被非深度连续边界点分割成一系列线段,由预处理结果可知,同一线段上的点位于同一空间平面上,而且普遍视差值呈线性变化。极线的保序性则保证了对应点在极线 $l_d$ 上序的颠倒只可能发生在边界点处,这也意味着边界点在极线 $l_d$ 上的对应点决定了整个对应线段在极线 $l_d$ 上的位置。因此在映射过程中,只需处理参考图像的边界点对即可得到对应目标极线上所有点的深度信息,并计算出它在参考极线上的对应点,从而,我们提高算法的效率。下面,我们给出逆向映射过程的具体实现。

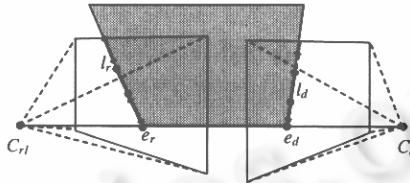


Fig. 2 Epipolar line  $l_r$  is segmented into serial of line segments by pairs of depth discontinuous edge points, which determines the corresponding location on  $l_d$  for each segment

图2 极线 $l_r$ 被非深度连续边界点分割成一系列线段,边界点在极线 $l_d$ 上的对应点决定了整个对应线段在极线 $l_d$ 上的位置

### 2.2.1 对应极线扫描

从目标图像极点 $e_d$ 出发向图像边界上每个像素(或从图像边界向极点)作极线扫描,可以覆盖目标图像上所有的像素。目标图像所在平面被图像边界分为9个区域。当极点 $e_d$ 落在不同的区域内时,参与极线扫描的图像边界以及边界数目均有所不同。本文用Bresenham算法<sup>[12]</sup>作极线扫描,为了避免在扫描过程中多次处理目标像素,处理过的像素均加以标记。

对目标图像上每条极线 $l_d$ ,它在参考图像中的对应极线 $l_r$ 均经过参考图像上的极点 $e_r$ 。设 $l_r$ 的直线方程为

$$v - e_r = k(u - e_r),$$

其中 $(e_u, e_v)$ 为极点 $e_r$ 的图像坐标。用公式(4)可求得 $l_d$ 上任一点(极点 $e_d$ 除外)在参考图像上的无穷点 $x_{inf}$ 。由极线的性质可知, $x_{inf}$ 必定在极线 $l_r$ 上。将 $x_{inf}$ 的坐标代入极线方程可以得到斜率 $k$ 。为了

减少计算误差,在估计斜率  $k$  时可以选取目标极线  $l_d$  上  $m$  个像素(在本文的算法实现中, $m$  的值取为 5),分别求出它们在参考图像上的无穷点  $x_{inf,i}(i=1,2,\dots,m)$ ,然后用优化的方法得到参数  $k$  的最优解.

$$k = \frac{\sum_{i=1}^m (v_{inf,i} - e_{rv})}{\sum_{i=1}^m (u_{inf,i} - e_{ru})}$$

按照 McMillan 的极线扫描方法<sup>[3]</sup>,两条对应极线的扫描方向由极点的  $w$  坐标来确定.对参考图像来说,若  $e_{rw} > 0$ ,则背向极点方向(由极点向边界)搜索;否则朝向极点方向(由边界向极点)搜索.对目标图像来说,若  $e_{dw} > 0$ ,则朝向极点方向(由边界向极点)搜索;否则背向极点方向(由极点向边界)搜索.此搜索方向保证了极线扫描过程是由前向后的,即最先搜索到的匹配点为当前视点可见点,对应极线上的扫描区域为由极点和图像边界所确定的线段.

### 2.2.2 基于边界点的对应极线处理

对于目标图像上的每条极线  $l_d$ ,在确定其对应参考极线  $l_r$  之后,应搜索极线  $l_r$ ,以得到  $l_d$  上每个像素的对应点.在按由后向前的方向扫描参考极线的过程中,会遇到一系列边界点对  $(x_{r,i1}, x_{r,i2})$  (其中  $x_{r,i1}$  为线段的起点,  $x_{r,i2}$  为线段的终点,  $i=1,2,\dots$ ).如前所述,这些线段的边界点决定了整个对应线段在目标极线  $l_d$  上的位置,因此,本文的算法为目标极线建立了一个边界点的双向链表,以记录这些对应线段的边界点信息.

在双向链表中,两个相邻节点决定  $l_d$  上的一条线段.每个节点包含以下信息:线段起始边界点的极线参数  $t$ 、图像坐标  $(u, v)$  和普遍视差值  $\delta$ 、线段的标志位  $flag$  和相邻像素视差增量  $\Delta\delta$  以及指向前一个节点和后一个节点的指针  $p_{pre}$  与  $p_{next}$ .其中极线参数  $t$  决定了节点所表示的边界点在极线  $l_d$  上的位置,链表中节点按参数  $t$  的升序排列.标志位  $flag$  表示线段是否被参考极线  $l_r$  的像素所覆盖.  $flag=1$ ,表示当前线段像素可见点在主参考图像中可见,而且为同一空间平面上的点的投影.由前面的分析可知,若相邻像素点位于同一空间平面上,则它们的普遍视差是线性的.  $flag=0$  或  $flag=2$ ,表示此线段区域为空洞,未由参考图像上的对应像素来填补.此时,视差  $\delta$  表示此空洞区域像素的最大视差值(在空洞填补阶段用以加速空洞点的搜索),而视差增量  $\Delta\delta$  无意义.初始化的链表为两个  $flag$  为 0 的节点,即整个目标极线段为一个空洞区域.

本文的算法依次处理  $l_r$  上每一边界点对  $(x_{r,i1}, x_{r,i2})$ ,将映射后的对应点插入到  $l_d$  的双向链表中,同时删掉那些在当前视点下成为后向面的空间平面上的像素.其具体过程如下:

(1) 首先由正向映射公式(1)分别求出起点和终点在目标图像上的对应点坐标及普遍视差,并进而求出对应点的极线参数  $t_{i1}, t_{i2}$ .

(2) 为这两个对应点建立两个双向链表的节点  $N_1, N_2$ ,分别对应着起点与终点.若  $t_{i1} < t_{i2}$  (图 3 中的平面 A),则起始节点  $N_1$  的  $flag=1$ ,同时计算出节点  $N_1$  的相邻像素视差增量  $\Delta\delta$ ;若  $t_{i1} > t_{i2}$ ,则表示此空间平面在新视点  $C_d$  下已成为后向面(如图 3 中的平面 B),被其他空间平面所遮挡,因此它在目标图像中不可见.此时,将起点和终点信息互换,使它满足极线扫描方向,同时令起始节点  $N_1$  的  $flag=2$ ,表示此区域为后向面所产生的空洞.

(3) 根据节点  $N_1$  和  $N_2$  的极线参数找到它们在双向链表中的位置,如果节点落入空洞区域,则将节点插入到双向链表中.最后,修改区间  $(t_{i1}, t_{i2})$  内所有  $flag$  为 0 的空洞区域节点  $N$  的信息:

$$N \rightarrow flag = N_1 \rightarrow flag.$$

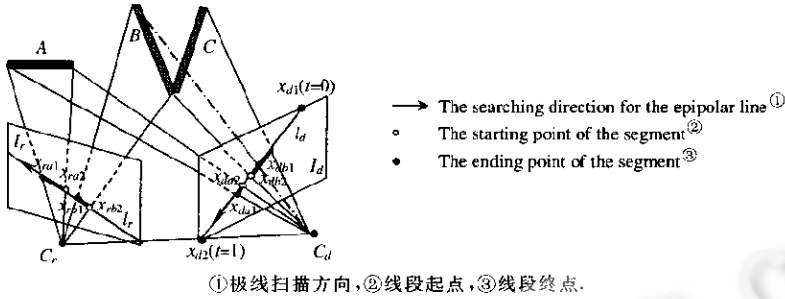


Fig. 3 Plane B is occluded by plane C and becomes a back surface from viewpoint Cd

图3 空间平面B在新视点Cd下已成为后向面,被空间平面C遮挡

若  $N_1 \rightarrow flag = 1$ , 则有

$$N \rightarrow \delta = N_1 \rightarrow \delta + N_1 \rightarrow \Delta \delta \cdot (N \rightarrow t - t_1) / \Delta t,$$

$$N \rightarrow \Delta \delta = N_1 \rightarrow \Delta \delta,$$

其中  $\Delta t$  为相邻像素参数增量。

按上述方法依次处理参考极线上每一边界点对之后,可以得到目标极线上的一系列线段。然后扫描目标极线  $l_d$  上每个标志位为 1 的线段(此时线段上像素的普遍视差已知),由逆映射公式(2)可以很容易地得到每个像素在参考图像上的对应点,从而得到适当的颜色值。由于线段上像素的图像坐标普遍视差均为线性的,因此,公式(2)中许多乘法运算都可以用加法来代替,以提高算法效率。那些标志位不为 1 的区域为主参考图像上不可见的空洞,将在下面的空洞填补过程中予以处理。

### 2.3 空洞填补

由于复杂场景中存在着非深度连续平面,在视点移动时,必然会产生由于表面相互遮挡而引起的空洞,因此需要多幅参考图像来合成最终目标图像。由于这些参考图像的视点和视线方向比较接近,因此,场景中许多物体在两幅或多幅图像上是同时可见的。为了避免重复处理,本文的算法用主参考图像以外的其他参考图像作空洞填补。

如图 4 所示,假设另外一幅参考图像为  $I_{r2}$ ,  $x_d$  为目标图像上的一个空洞点,由极线约束可知,其对应点位于参考图像  $I_{r2}$  的一条极线  $l_{r2}$  上,按由前向后的顺序(在此图中从极点  $e_{r2}$  开始)搜寻极线上的每一个点,第 1 个可以映射到  $x_d$  点的像素  $x_{r2}$  即为此像素的对应点,这就是通常所说的单点逆映射算法<sup>[3]</sup>。为了提高算法效率,减少极线搜索所需要的时间,本文对单点搜索算法作了以下改进。

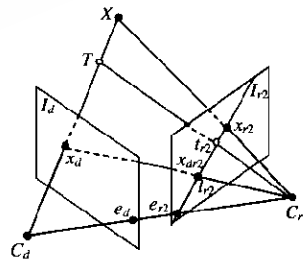


Fig. 4 On the epipolar line  $l_{r2}$ , pixel  $t_{r2}$  is nearer to pixel  $x_{r2}$  than epipole  $e_{r2}$

图4 在参考极线  $l_{r2}$  上,  $t_{r2}$  比极点  $e_{r2}$  更加接近  $x_{r2}$

方法 1. 首先为每一个空洞点设一个最大视差值,保证空洞像素空间可见点的普遍视差小于此最大视差值,这相当于在每一个空洞像素对应的空间可见点 X 之前设置一个透明点 T(如图 4 所示)。T 在参考图像  $I_{r2}$  上的投影像素  $t_{r2}$  与像素  $x_{r2}$  位于同一条极线,而且比极点(或无穷点)更加接近  $x_{r2}$ ,因此从  $t_{r2}$  点开始进行极线搜索可以大大加快极线搜索的速度。

下面,我们给出为空洞点设置最大视差值的方法。如图 5 所示,空洞的产生是由于空间深度不

连续的表面相互遮挡,使得参考图像上原本相邻的像素在映射到目标图像后相互分离,被遮挡的部分由不可见变为可见.由示意图可见,空洞部分可见的物体在视线  $C_{r1}X_f, C_dX_f$  和  $C_dX_b$  所界定的空间内(图 5 中的阴影区域),其中  $X_f$  为遮挡平面的边界点,  $X_b$  为被遮挡平面上的边界点.假设空间点  $X_f$  在目标图像上投影点的普遍视差值为  $d_{fd}$ ,那么由示意图可知,在视点和视线方向变化不大的情况下,空洞区域像素的普遍视差值均小于  $d_{fd}$ .

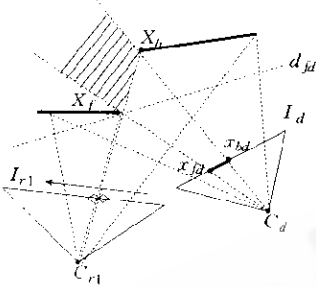


Fig. 5 The general disparities of all pixels between  $x_{fd}$  and  $x_{bd}$  are less than  $d_{fd}$   
图5 空洞区域像素的普遍视差值均小于  $d_{fd}$

为了空洞填补的需要,我们对前面主参考图像映射过程中基于边界点的极线扫描作简单的修改.首先将目标极线双向链表中头节点的最大视差初始化为最小值,即令其  $\delta=0$ (空洞节点的  $\delta$  表示此空洞区域内像素的最大视差值).然后,按由后到前的顺序,处理对应参考极线上每一边界点对.若当前平面片在新视点坐标系下成为后向面,那么在将起始节点的 *flag* 设为 2 的同时,令它的  $\delta$  等于 1,这意味着将透明点设为视线与目标图像平面相交的点(图 4 中的点  $x_d$ );否则,判断当前处理的线段与上一条线

段之间在目标极线上是否有空洞出现,如果有,则将这些空洞区域的最大视差值设为  $\min(1, \max(\delta_{current}, d_{fd}))$ ,其中  $\delta_{current}$  为当前空洞区域的普遍视差值.

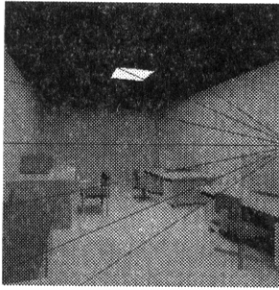
方法 2. 利用极线的整体匹配特性,同时填补极线上与当前空洞像素位于同一空洞区域的所有像素点.

为了避免多次扫描同一条参考极线,提高算法效率,本文的算法在上述空洞填补的同时,以远离极点的图像边界点为索引,记录为当前空洞区域所在的目标极线建立的边界点的双向链表以及此双向链表在对应参考极线上的扫描区域.为此,在空洞填补时首先应该判断是否需要扫描对应参考极线.

在大多数情况下,两幅参考图像并不能提供生成目标图像所需的全部信息.因此,在经过上述空洞填补过程之后,目标图像上仍然有空洞像素存在.如果未填补空洞区域的像素所占的比例小于给定的阈值,那么由其周围像素点加权平均的方法来填补;否则,选取另外一幅参考图像  $I_3$ ,用上述空洞填补方法继续从  $I_3$  中搜索空洞.

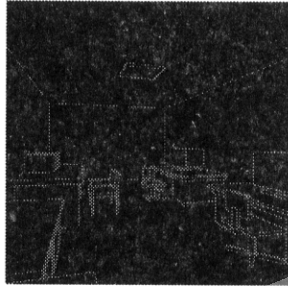
### 3 实验结果

图 6 为本文算法的实例,它显示了算法实现的各个阶段.其中图 6(a)为主参考图像,图 6(b)为主参考图像经过预处理阶段后得到的边界图.在主参考图像的逆映射阶段,利用极线的整体匹配特性和对应点在对应极线上的保序性以及预处理阶段所得到的边界信息,逐个处理目标极线,生成带有空洞的目标图像(如图 6(c)所示).如图 6(a)和图 6(c)所示,直线束为参考图像和目标图像上的对应极线.在空洞填补阶段,从另外一幅参考图像图 6(e)中搜索空洞区域像素匹配点,从而得到最终目标图像图 6(d).本文在 Pentium II 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建立的虚拟办公室几何造型.在  $400 \times 400$  的图像分辨率下,可以得到 2~3 帧/s 的生成速率.

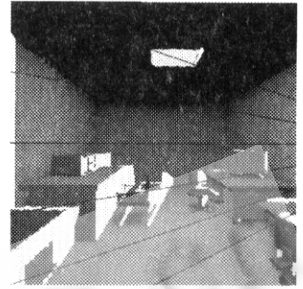


(a) Primary reference image  $I_1$

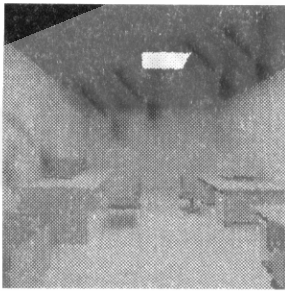
(a) 主参考图像  $I_1$



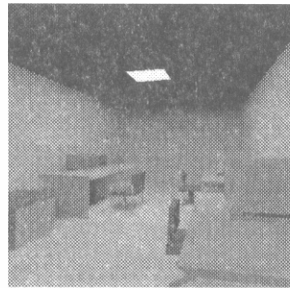
(b) Edge points in primary reference image which are obtained in preprocessing  
(b) 主参考图像经预处理后得到的边界点信息



(c) The desired image with holes by warping inversely from the primary reference image  
(c) 经过主参考图像的逆映射后所得的带有空洞的目标图像



(d) The desired image  $I_d$  without holes  
(d) 目标图像  $I_d$



(e) Another reference image  $I_2$  for filling holes in the desired image  
(e) 用于空洞填补的参考图像  $I_2$

Fig. 6  
图 6

### 4 结 论

本文提出了一个从多幅参考图像合成目标图像的逆映射算法. 利用参考图像的边界信息与隐含的遮挡关系以及极线的整体匹配特性和对应点在对应极线上的保序性, 该方法加速了逆映射过程中对应匹配点的搜索. 由于在映射过程中只需处理参考图像的边界点对即可得到对应目标极线上所有点的深度信息, 并计算出其在参考极线上的对应点, 因此大大提高了成像的速度和精度. 与已有的逆映射算法相比, 新方法便于处理非深度连续的图像. 这有利于基于图像绘制方法的广泛应用.

**致谢** 本文在实验中所使用的场景是由刘学慧博士提供的, 在此, 我们表示衷心的感谢.

### References:

- [1] Mark, W. R., McMillan, L., Bishop, G. Post-Rendering 3D warping. In: Proceedings of the 1997 Symposium on Interactive 3D Graphics. New York: ACM Press, 1997. 7~16.
- [2] Shade, J., Gotler, S., He, L., et al. Layered depth images. In: Cohen, M., ed. Proceedings of the SIGGRAPH'98. New York: ACM Press, 1998. 231~241.
- [3] McMillan, L. An image-based approach to three-dimensional computer graphics [Ph.D. Thesis]. University of North Car-

- olina, 1997.
- [4] Chen, S. E. QuickTime VR—an image-based approach to virtual environment navigation. In: Cook, R., ed. Proceedings of the SIGGRAPH'95. Los Angeles, CA: ACM Press, 1995. 29~38.
- [5] McMillan, L., Bishop, G. Plenoptic Modeling; an Image-based Rendering System. In: Cook, R., ed. Proceedings of the SIGGRAPH'95. Los Angeles, CA: ACM Press, 1995. 39~46.
- [6] Laveau, S., Faugeras, O. D. 3-D Scene Representation as a collection of images. In: Proceedings of the IEEE ICPR'94, Vol A. 1994, 689~691. <http://www.ieee.org>.
- [7] Chang, L. W. Combining multiple reference images in an inverse warper [M. S. Thesis]. MIT, 1998.
- [8] Marcato, R. W. Optimizing an inverse warper [M. S. Thesis]. MIT, 1998.
- [9] Schaufler, G., Priglinger, M. Efficient displacement mapping by image warping. In: Proceedings of the 10th Eurographics Workshop on Rendering. 1999. 175~186. <http://www.eg.org/EG/Docs/WorkshopReports/egwsr99.html>.
- [10] Zheng, Wen-ting, Bao, Hu-jun, Peng, Qun-sheng. Real-Time rendering algorithm based on a hybrid rendering scheme. Progress in Natural Science, 2000, 10(4):367~371 (in Chinese).
- [11] Ma, Song de, Zhang, Zheng-you. Computer Vision—Computing Theory and Algorithm Fundamental. Beijing: Science Press, 1998 (in Chinese).
- [12] Tang, Rong-xi, Wang, Jia-ye, Peng, Qun-sheng. Computer Graphics Tutorial. Beijing: Science Press, 1990 (in Chinese).

#### 附中文参考文献:

- [11] 马颂德, 张正友. 计算机视觉——计算理论与算法基础. 北京: 科学出版社, 1998.
- [12] 唐荣锡, 汪嘉业, 彭群生. 计算机图形学教程. 北京: 科学出版社, 1990.

## A Fast Inverse Warping Algorithm for Generating Novel View\*

ZHENG Xin<sup>1</sup>, WU En-hua<sup>1,2</sup>

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

<sup>2</sup>(Faculty of Science and Technology, University of Macau, Macau, China)

E-mail: zhx-zhengx@263.net; weh@ios.ac.cn

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

**Abstract:** By taking advantages of the features of epipolar lines and depth discontinuities in reference images, an efficient inverse warping algorithm for generating images of novel views is presented by combining multiple reference images taken from different viewpoints. The method proceeds in three steps. Firstly, the reference images are preprocessed for extracting edge pixels by their displacements. Secondly, a reference image is selected as the primary reference image to be warped inversely epipolar line by epipolar line to render the novel view. Because there exists correspondence between epipolar lines on different images and continuous segments formed by pairs of edge pixels on epipolar lines are order-kept, the warping process is very fast by computing only pairs of edge pixels in the reference image to obtain generalized disparity of all pixels in the desired image. Finally, holes in the desired image are filled up through searching the corresponding pixels in other reference images. At this stage, some acceleration techniques are given by utilizing the edge information and occlusion relations between objects in reference images.

**Key words:** image-based rendering; forward warping; inverse warping; epipolar line; epipole

\* Received December 13, 2000; accepted May 14, 2001

Supported by the National Natural Science Foundation of China under Grant No. 69873044; the Research Grant of University of Macau of China under Grant No. RG029/00-31S/WEH/FST