

## 基于大位移视点图像的单帧图像修复<sup>\*</sup>

刘春晓<sup>1,2+</sup>, 潘梁<sup>1,2</sup>, 郭延文<sup>1,3</sup>, 王进<sup>1</sup>, 陈为<sup>1</sup>, 彭群生<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>(浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室, 浙江 杭州 310027)

<sup>2</sup>(浙江大学 理学院 数学系, 浙江 杭州 310027)

<sup>3</sup>(南京大学 计算机软件新技术国家重点实验室, 江苏 南京 210093)

### Image Inpainting Based on Large Displacement View Images

LIU Chun-Xiao<sup>1,2+</sup>, PAN Liang<sup>1,2</sup>, GUO Yan-Wen<sup>1,3</sup>, WANG Jin<sup>1</sup>, CHEN Wei<sup>1</sup>, PENG Qun-Sheng<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>(State Key Laboratory of CAD & CG, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

<sup>2</sup>(Department of Mathematics, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

<sup>3</sup>(National Laboratory for Novel Software Technology, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

+ Corresponding author: Phn: +86-571-88206681 ext 522, E-mail: liuchunxiao@cad.zju.edu.cn, <http://www.cad.zju.edu.cn>

**Liu CX, Pan L, Guo YW, Wang J, Chen W, Peng QS. Image inpainting based on large displacement view images. *Journal of Software*, 2006,17(Suppl.):138-147. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/17/s138.htm>**

**Abstract:** This paper presents an algorithm for image inpainting based on the large displacement view images, it fills in the occluded or damaged regions of the target image using the visible information from other large displacement view images. The key issues are, first, how to convert the visible information in the large displacement view images into useful information; second, how to make use of the useful information to repair the target image effectively. After specifying the target region with interaction, this paper tackles the first issue by dividing all the images into different planar scene regions, and then transforming all the regions in the large displacement view images into the current view by image matching. As a result, the visible information in them can be directly used. For the second issue, through the properly defined repairing and fusion priority functions, a new image inpainting algorithm is developed based on texture synthesis and image fusion to repair the target region with the acquired usable information. In addition, the ghost effect between the repaired region and the target image is eliminated by Poisson image fusion to generate the seamless result. Experimental results show that this algorithm can recover the structural and texture information in the large missing region, and holds its practical value.

**Key words:** image inpainting; large displacement view image; image matching; texture synthesis; Poisson image fusion

**摘要:** 提出一种基于大位移视点图像的单帧图像修复算法, 利用大位移视点图像中的可见信息修补目标图像中的被遮挡或信息丢失区域. 算法的关键在于如何转化大位移视点图像的可见信息为可用信息, 以及如何利用得到的可用信息来有效地修补目标图像. 在交互指定待修复的目标区域后, 算法首先将所有图像分割为不同

\* Supported by the National Natural Science Foundation of China under Grant No.60403038 (国家自然科学基金); the National Grand Fundamental Research 973 Program of China under Grant No.2002CB312101 (国家重点基础研究发展规划(973))

Received 2006-03-15; Accepted 2006-09-11

的平面场景区域,并基于图像匹配将大位移视点图像中的平面场景区域变换到当前视点.因此,其中的可见信息就可被直接使用.进而通过定义合适的修复和融合优先级函数,提出基于纹理合成和图像融合的图像修复算法,利用获得的可用信息来修补目标区域.修复区域和目标图像之间的鬼影现象使用 Poisson 图像融合算法来消除,以达到无缝的修复结果.实验结果表明,该算法能够修复较大的丢失信息区域中的结构和纹理信息,具有一定的实用价值.

关键词: 图像修复;大位移视点图像;图像匹配;纹理合成;Poisson 图像融合

图像和视频的修复指的是恢复图像或视频中破损区域的颜色信息或者去除其中的多余物体,使得修复后的图像/视频和谐、自然的一项技术.由于其在照片与视频编辑、影视特效制作和文物保护等方面的广泛应用,图像和视频的修复技术一直是计算机图形学、图像处理和计算机视觉领域的一个研究热点,有一些成熟的方法已经提了出来<sup>[1-13]</sup>,并且取得了一定的研究成果.这其中主要包括基于单幅图像的修复和对视频序列的修复技术.

据我们所知,迄今为止,基于多幅图像的修复工作还很少.事实上,基于多幅图像的修复有广泛的应用价值,例如,当我们在旅游景点拍摄照片的时候,经常会有攒动的人群走进我们的相机镜头,如何在拍摄的数码照片上移除这些拍摄的人物并保持处理后照片的和谐,显然,仅仅通过单幅图像是难以实现的.而如果我们换个角度拍摄当前的旅游景点,则可以借助不同视点图像的信息来补偿我们的目标图像,即基于多幅图像的修复.基于多幅图像的修复仍然是一个亟待解决的问题,它不同于一般的单幅图像或视频的修复,多幅图像内容、信息丰富,可以通过其他图像的可见信息实现对目标图像的修复、编辑和增强,但又不同于视频的修复可以直接利用相邻帧的信息,大位移视点图像的可见信息是扭曲变形的,因而不能直接利用.

本文提出一种基于多幅图像的图像修复方法,利用大位移视点图像来修复目标图像中的被遮挡或信息丢失区域.这其中的问题是不同图像拍摄的视点、景深可能不一样,不同视点图像的可见信息不能被直接使用,同时,待修复的区域可能是由不同景深的多景物构成,直接利用大位移视点图像进行修复是不可行的.故我们的算法首先通过均值提升算法(mean shift)<sup>[14]</sup>把所有图像按照颜色和亮度信息分割成不同的场景平面,每一个场景平面对应不同景物以方便处理;然后基于图像配准技术把大位移视点图像中各场景平面变换到目标图像中对应场景平面上,转化其可见信息为可用信息.由于可用信息是大位移图像中各场景平面区域变换后得到的多个变形图像,而且待修复区域中可能包含多个场景平面的分割边界,因此,通过定义合适的修补优先级函数决定待修复区域上边界像素利用变形图像进行修补的次序,并定义合适的融合优先级函数决定在变形图像上无匹配的少量像素在目标图像上的融合次序,提出基于纹理合成和图像融合的适用于多候选场景平面变形图像的图像修复新算法来修复目标图像.修复区域和原始图像的亮度差异通过基于 Poisson 方程的图像融合算法消除<sup>[15]</sup>,以达到无缝的修复结果.实验结果表明,本文的方法可以很好地修复被遮挡区域是结构或纹理区域的情况,具有一定的学术价值和应用前景.

本文第 1 节介绍图像和视频修复的相关工作.第 2 节详细介绍本文工作——基于大位移视点图像的图像修复技术.第 3 节给出部分实验结果.总结和未来工作展望在最后一节给出.

## 1 相关工作

自 Bertalmio 等人在 SIGGRAPH 2000 大会上第一次发表关于图像修复技术的论文以来<sup>[1]</sup>,图像修复技术得到研究者的足够重视和发展,主要是基于单幅图像的修复,其中的关键是如何更好地利用当前图像的已知内容信息填补待修复区域.对于小尺寸的待修复区域,可以将待修复区域的已知邻域作为边界条件,采用求解偏微分方程,即对待修复区域的已知邻域颜色扩散或滤波的方法进行修复.例如, Bertalmio 等人的方法将待修补区域边界的等值线外部的信息沿轮廓法向扩散到内部修补的像素上<sup>[1,2]</sup>; Chan 等人提出一种全变分的方法,通过欧拉-拉格朗日方程约束和各向异性的扩散来保证修复区域和原始图像的无缝拼接<sup>[3,4]</sup>.周等人的方法把图像看做高度场<sup>[5]</sup>,通过径向基函数插值高度场得到待修复区域的高度即颜色信息.然而以上方法仅适合处理待修复区

域细小的情况.对于待修复区域是稍大尺寸的情况,可以借助类似纹理合成的方法<sup>[6]</sup>,把丢失信息区域,边界上的待修补面片按一定的优先级进行排序,在整幅图像内搜索与优先级高的面片的邻域最匹配的区域并逐步填补待修复区域,这类方法适合处理目标区域为类纹理区域,而无法处理待修复区域包含一定结构信息的情况.Sun 等人的方法通过用户交互指定结构曲线<sup>[7]</sup>,并借助动态规划或置信度传递来引导恢复待修复的结构信息,修复好重要的结构信息后,剩余区域通过块纹理合成的方法修复,取得了良好的修复效果.另外,还有基于统计和估计的方法,Levin 等人提出首先利用统计学习获得图像的全局统计特性和未知区域的边界信息<sup>[8]</sup>,然后使用闭环置信度传播方法(LBP)优化寻找概率最大的修补图像,Fadili 等人则将修复看作对破损区域的估计问题<sup>[9]</sup>,使用最大期望算法(EM)求解线性稀疏表示的先验惩罚似然函数的最大似然估计问题.

单幅图像中的信息是有限的,通过搜索单幅图像内的信息来完成图像修复很难处理待修复区域较大和结构信息较为复杂的情况,并且仅能通过主观的观察来判断修复结果的合理性.而视频的修复则可以利用帧间的连贯性,借助相邻帧的信息来修补时空空洞.Wexler 等人的方法利用时空一致约束来逐步修复待修复视频空洞中的每个像素<sup>[10]</sup>,但逐像素修复,算法效率比较低.Zhang 等人的方法把视频按照物体的相对运动分割为不同的运动层<sup>[11]</sup>,在每个层上首先修复参照帧的信息,并把修复结果逐步传递到其他帧,该方法仅适合处理每一层为接近刚体运动的情况.Jia 等人的方法类似于基于纹理合成的图像修复算法<sup>[12]</sup>,首先根据定义的优先级函数在视频序列中选择一个具有最高优先级的像素,然后迭代地到整段视频序列中寻找与其邻域最匹配的图像块来逐步填补待修复的空洞.该方法还通过物体跟踪加快搜索速度,使用图切割算法改善图像块的填充质量,对源图像块施加控制约束保持修复视频在时间上的一致性,取得了良好的修复效果.

可见,大部分视频修复的工作都借助邻接帧间相机运动相对较小的特点,利用视频中邻接帧的信息互相修复.而对于我们基于大位移视点图像的单幅图像修复,由于视点和景深的不同,直接利用其他图像的信息进行修复是不可行的,迄今为止,这方面的研究工作还很少.

## 2 基于大位移视点图像的单帧图像修复

本文利用大位移视点图像对单帧图像进行修复,重点解决了其中的两个关键问题,即怎样将大位移视点图像中已有的可见信息转换为可用信息和怎样利用这些可用信息有效修补目标图像的待修复区域.对于第一个问题,我们的解决办法是首先将图像分割成不同的场景平面,然后利用特征匹配的方法建立目标图像与大位移视点图像中对应场景平面之间的变换关系,从而将大位移视点图像中已有的可见信息变换到当前视点下,可以直接利用;对于第二个问题,通过定义合适的修复和融合优先级函数,提出基于纹理合成和图像融合的适用于多候选场景平面变形图像的图像修复新算法,利用大位移视点图像中各场景平面变换后得到的可用信息来逐步修补目标图像中的待修复区域.另外,我们采用 Poisson 图像融合方法很好地解决了修复区域存在的“鬼影(ghost effect)”现象,达到了修复区域和目标图像的无缝融合.下面分 3 部分来详细介绍我们的方法.

### 2.1 大位移视点图像中的可见信息转换

不同视点拍摄得到的图像,即使拍摄的景物相同,由于角度、景深和光照等因素的影响在相机平面的成像方面可能存在较大差异.因而,如果直接利用大位移视点的图像对目标图像进行修复,修复结果的扭曲会非常大,效果必定不自然.因此,我们需要把大位移视点图像配准变换到当前视点进行处理.然而,被遮挡区域可能包含多个不同景物平面,直接把整幅大位移视点图像对齐变形到目标图像,扭曲也非常大.我们的作法是,把目标图像和大位移视点图像分割为对应的场景平面并匹配,然后将大位移视点图像中各场景平面区域变换到目标图像中对应场景平面,得到场景平面的变形图像.

因而,在交互指定目标图像上的待修补区域后,需要依次进行以下处理:

(1) 场景平面的分割:首先借助均值提升算法将所有图像进行粗略的分块<sup>[14]</sup>,然后交互合并属于同一场景平面上的各块,形成图像上不同的场景平面区域,并交互指定目标图像和大位移视点图像中各场景平面的对应关系;

(2) 特征提取和匹配:我们采用计算机视觉领域图像匹配算法中比较鲁棒的尺度空间不变特征检测器进行

特征的检测和匹配<sup>[16]</sup>,该算法可以稳定地对两幅位移很大的图像进行特征检测与匹配.算法首先利用不同尺度的高斯差分图像对图像中各个场景平面进行特征点的提取,剔除不满足尺度空间不变变换的特征点,并根据特征点的邻域信息来建立剩余特征点的高维特征描述符,然后由逼近高维空间的最近邻搜索的 Best-Bin-First (BBF)算法找到目标图像与大位移视点图像中对应场景平面之间的特征匹配点对;

(3) 变换矩阵的求解:因为上述算法所得到的初始特征匹配点对是根据最近邻搜索来建立的,存在噪声,因此在确定变换矩阵之前,需要采用更加鲁棒的噪声剔除技术来剔除外点<sup>[17]</sup>.本文中首先采用 RANSAC 算法来求取与任意 4 点确定的变换矩阵误差较小的最大匹配点对集合,然后采用 Levenberg-Marquardt 算法迭代估计最优的变换矩阵  $H$  和校正的匹配点对,其中变换矩阵  $H$  为  $3 \times 3$  的方阵,它有 8 个未知参数  $h_i (i = 0, \dots, 7)$ .下式表示由匹配点对集合  $(X, X')$  确定的由大位移视点图像中某场景平面区域上的点  $X'$  变换到目标图像中对应场景平面区域上的对应点  $X$  的变换矩阵  $H$  及其变换公式:

$$X = HX', \text{ 即 } \lambda \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} h_0 & h_1 & h_2 \\ h_3 & h_4 & h_5 \\ h_6 & h_7 & 1 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{pmatrix},$$

其中,  $X$  和  $X'$  为齐次坐标,  $\lambda$  是齐次常量;

(4) 变形图像的获取:根据  $H$  将大位移视点图像中各场景平面分别变换到目标图像中对应的场景平面下,得到含有已知可见信息的变形图像.

把大位移视点图像中各场景平面变换到目标图像中对应场景平面后,就可以通过变形图像中的可用信息对目标图像中各场景平面上的待修复区域进行修复.

## 2.2 基于纹理合成和图像融合的图像修复

由于可用信息是大位移图像中各场景平面区域变换后得到的多个变形图像,而且待修复区域中可能包含多个场景平面的分割边界,怎样合理地利用变形图像来修复待修复区域中的结构和纹理信息是一个新的图像修复问题.针对此问题,我们通过定义合适的修补优先级函数决定待修复区域的边界像素利用变形图像进行修补的次序,并定义合适的融合优先级函数决定修补过程剩下的亦即在变形图像上找不到匹配块的少量像素在目标图像上的融合次序,提出先纹理合成,后图像融合的基于多候选场景平面变形图像的图像修复新算法,以修复目标图像中的待修复区域.基于纹理合成的修复算法在修补优先级函数的辅助下可以控制修复过程严格地沿待修复区域由外向内一圈一圈地修补,这样可以避免待修复区域中某场景平面区域的修复相对较快而导致的场景平面分割边界中断或者错位现象.基于融合优先级的融合算法可以控制首先融合填充那些邻域信息多且已知的像素,这样可以尽量使场景平面分割边界处最后融合,从而得到一致的边界结构.

### 2.2.1 修复算法

我们的修复算法是逐像素进行的,基本作法是选取待修复区域边界上最高修补优先级的像素,以其局部已知像素邻域为检测模板,到模板中像素所属场景平面所对应的变形图像内搜索匹配的位置区域,把对应像素的颜色复制到待修复像素,然后更新待修复区域边界点及其优先级,这样修复从待修复区域的边界开始,逐步缩小直至完成或者满足一定条件跳出进行下面的融合过程.修补优先级的设定是为了使修复先从结构信息较强和邻域中已知信息较多的边界像素开始,这样可以尽量保证待修复区域中结构信息的合理修复和纹理信息的自然.另外,为了避免待修复区域中各场景平面的分割边界出现中断或者错位的情况,在算法流程中设定了边界像素的置信度阈值来使修补过程严格由外向内进行,这样可以保证场景平面分割边界处具有足够的已知信息,从而达到较好的修补效果.

对任意待修复区域的边界点,定义其修补优先级函数为  $P_i(p) = C_i(p) \cdot D(p)$ ,其中  $C_i(p) = \sum_{i=1}^8 w_i / 8$  为置信度函数,  $w_i$  为  $p$  的 8 邻域像素  $p_i$  对应的权值(即置信度),  $C_i(p)$  表示  $p$  的 8 邻域中可靠信息的多少,且被用来灵活地控制修补的次序;  $D(p) = (l/L) \cdot (\nabla I_p^+ \cdot n_p / \alpha)$  为结构性函数,  $l$  为  $p$  的 8 邻域中包含场景平面的个数,  $L$  为待修复区域的包围盒所包含场景平面的个数,  $l/L$  可以赋予场景平面分割边界处的修补边界点以较高的修补优

高级,  $\nabla I_p$  为  $p$  的 8 邻域中最大颜色梯度,  $\perp$  为正交算子,  $n_p$  为待修补区域边界上  $p$  点处的单位法向,  $\alpha$  是一个归一化因子(一般取为 256),  $\nabla I_p^\perp \cdot n_p / \alpha$  可使修复过程中结构信息作用较强处的修补边界点得到优先修补<sup>[13]</sup>. 我们使用修补边界点  $p$  的 8 邻域信息计算其修补优先值  $P_i(p)$ , 进行逐像素的修补. 修补过程如下:

- (1) 初始化. 建立修复区域的边界点链表  $L_{bp}$ ; 设定  $\tau = 3/8$  为修补循环中  $C_i(p)$  的阈值, 使未知像素必须有足够的邻域信息才能进行修补, 并控制修补过程只能由外向内渐进进行;
- (2) 设置置信度. 设定目标图像上任意像素  $p_i$  的置信度, 若  $p_i$  已知, 则其置信度  $w_i = 1$ , 否则  $w_i = 0$ ;
- (3) 设置优先值和搜索匹配像素.
  - 对  $L_{bp}$  中的所有点  $p$ , 根据其 8 邻域中已知信息的像素计算其置信度  $C_i(p)$ . 如果  $C_i(p) < \tau$ , 则该修补边界点  $p$  的修补优先值  $P_i(p)$  为 0;
  - 对  $L_{bp}$  中的所有点  $p$ , 以其 8 邻域已知像素为检测模板, 在对应的场景平面变形图像的  $5 \times 5$  范围内搜索与其颜色最匹配的位置, 把相应颜色作为该修补边界点的预设颜色值  $C_0$ . 如果修补边界点  $p$  的 8 邻域中包含不止一个场景平面, 则到对应的场景平面变形图像中搜索匹配的过程中需要限定边界, 即修复边界点  $p$  的 8 邻域中的场景平面分割边界必须也是相应场景平面变形图像中匹配块的边界. 如果找不到这样的匹配块, 则  $p$  的修补优先值  $P_i(p)$  为 0; 否则  $P_i(p) = C_i(p) \cdot D(p)$ ;
- (4) 修复最优. 根据求得的修补优先值对  $L_{bp}$  中的点排序; 取  $L_{bp}$  中具有最高修补优先值  $P_i(p) > 0$  的点进行修复, 该点的颜色值取其预设颜色值  $C_0$ , 并设其权值  $w_p = 0$ ;
- (5) 更新  $L_{bp}$ . 从  $L_{bp}$  中删除修复的点, 并更新  $L_{bp}$  中修复点的 8 邻域中受影响修补边界点的信息, 插入新的修补边界点; 重复执行(4)~(5), 进行围绕待修复区域的最外边一圈修补;
- (6) 循环修复. 重复执行(2)~(5), 逐步修复、缩小待修复区域.
  - 终止条件. 当  $L_{bp}$  为空时, 说明待修复区域中所有像素都得到修复, 直接跳出整个修复过程; 当  $L_{bp}$  不为空, 但是其中像素的最高修补优先值为 0 且本次循环没有被修复的像素时, 说明剩下的像素在场景平面变形图像中找不到匹配像素, 修复算法结束, 进入下面的融合算法.

### 2.2.2 融合算法

在变形图像中找不到匹配像素的待修复像素大多位于场景平面的分割边界处, 因此数目较少; 为了使这些像素处的修复结果协调、自然, 我们在目标图像上进行融合. 融合过程也是逐像素进行的, 基本过程是选取待修复像素中最高融合优先级的像素, 利用其 4 邻域已知像素计算其颜色值, 然后更新受影响待融合像素的融合优先级, 直至融合结束. 融合优先级的设定可使不在场景平面分割边界处和邻域中已知信息较多的像素优先融合, 这样可使分割边界处融合后得到较好的修复效果.

定义融合优先级函数为  $P_F(p) = C_F(p) \cdot S(p)$ , 其中  $C_F(p)$  仍为置信度函数, 取  $C_F(p) = n/4$ , 它表示待融合像素  $p$  的 4 邻域中已知颜色像素的多少,  $n$  为已知颜色的像素个数;  $S(p) = 1/l$  为支持度函数, 它使得融合像素  $p$  的 4 邻域中包含的场景平面个数  $l$  越小越好. 我们使用融合像素  $p$  的 4 邻域信息计算其融合优先值  $P_F(p)$ , 进行逐像素的融合.

具体的融合过程是, 对剩下的所有待修复像素按其融合优先值进行排序, 取具有最高融合优先值的待融合像素优先在目标图像上进行 4 邻域融合, 然后将刚融合修复过的像素从待修复像素链表中删除, 更新其 4 邻域中受影响像素的融合优先值, 并重新排序, 重复以上过程直至结束.

### 2.3 Poisson 图像融合

由于目标图像与大位移视点图像之间存在不可避免的亮度差异, 而且目标图像上修复区域所有像素的颜色值均来自大位移视点图像中场景平面的变形图像, 因此修复后的区域与整个目标图像会存在亮度不一致的现象, 即鬼影. 我们采用 Poisson 图像融合技术很好地解决了这一问题<sup>[15]</sup>.

设目标图像的定义域为  $S$ ,  $\Omega$  是  $S$  上的修复区域, 其边界是  $\partial\Omega = \{p \in S \setminus \Omega : N_p \cap \Omega \neq \emptyset\}$ , 其中  $N_p$  表示  $p$  点的 4 邻域. 假设  $f$  是定义在  $\Omega$  上的待求融合颜色信息,  $f^*$  是在  $\partial\Omega$  上的已知颜色信息, 则求解  $\Omega$  上的融合颜色的过程可看成边界  $\partial\Omega$  上已知像素的颜色在  $\Omega$  上的修复颜色梯度场指导下的插值, 它可以转化为求解下列线性方

程组:

$$|N_p|f_p - \sum_{q \in N_p \cap \Omega} f_q = \sum_{q \in N_p \cap \partial\Omega} f_q^* + \sum_{q \in N_p \cap \Omega} v_{pq},$$

其中,  $p \in \Omega$ ,  $v_{pq}$  是修复区域  $\Omega$  上的修复颜色梯度  $v_{pq} = g_p - g_q$ ,  $g_p$  和  $g_q$  是修复区域  $\Omega$  上的修复颜色值. 因为它是大型稀疏线性方程组, 我们采用共轭梯度法对修复区域的融合颜色值 RGB 三通道分别进行求解, 可以很快得到融合颜色值.

### 3 实验结果

我们在 Windows XP 操作系统下以 VC++6.0 为开发平台, 在 PIV2.4GHz, 1.0GB 内存的微机实现了本文的算法. 图 1~图 3 是部分实验结果.

在图 1 中, 对于输入的目标图像(图 1(a)), 采用目前效果较好的基于纹理合成的单幅图像修复方法<sup>[6]</sup>, 得到的修复结果为图 1(b), 可以看到树及其附近墙壁的修复结果较差, 相对真实场景有较大失真, 这主要是由于单幅图像的修复方法的病态本质所决定的<sup>[18]</sup>. 另外, Sun 等人基于结构扩散的方法<sup>[7]</sup>需要繁琐但细致地指定待修复区域中的结构曲线, 它对于包含树木这样的复杂场景几乎无能为力. 本文通过引入大位移视点图像, 使得基于单幅图像进行修复的病态问题成为可解问题, 从而得到更自然且真实合理的修复效果(图 1(l)).

然而, 对于输入的大位移视点图像(图 1(c)), 把它与目标图像配准并对其整体变形得到图 1(d), 通过对图 1(d)与图 1(c)的观察比较可以发现, 变形图像中的墙壁发生了一定的扭曲变形, 不能直接利用其中的可见信息来修复目标图像上被遮挡的区域. 因而需要借助本文基于大位移视点图像来修复目标图像的算法, 图 1(e)为交互指定的待修复区域; 图 1(f)为对目标图像使用均值提升算法分割的结果, 通过手工交互合并, 我们得到目标图像的场景平面区域是图 1(g); 对大位移视点图像同样使用均值提升算法分割得到图 1(h), 对其分割结果交互合并得到大位移视点图像的场景平面区域是图 1(i); 匹配大位移视点图像和目标图像中的对应场景平面区域, 并根据求得的对应变换矩阵对大位移视点图像中各场景平面区域变形得到图 1(j)和图 1(k), 基于这两幅变形图像, 我们得到最终修复效果图 1(l). 加上交互时间, 算法运行大约需要 3 分钟.

图 2 和图 3 是另外两组实验图, 其中图 2(a)和图 3(a)是输入的目标图像, 图 2(b)和图 3(b)显示目标图像经分割和合并后的场景平面区域, 图 2(c)和图 3(c)是输入的大位移视点图像, 图 2(d)和图 3(d)显示大位移视点图像经分割和合并后的场景平面区域, 图 2(e), (f)和图 3(e), (f)是得到的大位移视点图像中对应场景平面的变形图像. 修复结果图 2(g)和图 3(g)显示, 对于目标图像上存在较大待修复区域的情况, 仍然可以得到较好的修补效果. 但是, 由于目标图像与大位移视点图像之间存在的颜色差异, 修复结果中存在明显的鬼影. 对修复结果采用 Poisson 图像融合后得到图 2(h)和图 3(h), 可以看到修复区域已经与目标图像无缝融合, 结果更加自然.

### 4 结论和展望

基于大位移视点图像的单帧图像修复是指利用大位移视点图像中的可见信息来修复目标图像中的被遮挡或者丢失信息区域. 我们对这一很有实用价值但现有研究工作很少的问题进行了探索性的尝试. 针对这个问题, 本文首先提出了一个基于大位移视点图像的单帧图像修复的解决框架, 即先通过图像分割和图像匹配的方法解决大位移视点图像中可见信息的可用性问题, 然后再利用变换后得到的可用信息进行单帧图像的修复. 其次, 本文针对此修复问题的特殊性, 通过定义合适的修补优先级和融合优先级函数, 提出了基于纹理合成和图像融合的适用于多候选场景平面变形图像的图像修复新算法, 以修复目标图像. 另外, 利用 Poisson 图像融合技术较好地解决了修复区域存在的鬼影现象. 实验表明, 算法能够较好地修复较大的丢失信息区域中的结构和纹理信息.

进一步的研究工作可以从以下两个方面展开:

(1) 提高图像中场景平面分割和对应关系建立的自动化程度. 可以尝试根据每 4 个匹配点对所确定变换矩阵下, 其他匹配点对中满足一定距离误差阈值的个数和分布范围, 来确定图像中的场景平面个数和范围, 并考虑采用场景平面区域中颜色分布的相似性以及在整个图像中所处位置的相似性, 自动地建立两幅图像中各场景

平面区域之间的对应关系,以进一步提高算法的自动化程度,节省用户交互时间;

(2) 基于多幅大位移视点图像 of 的复杂场景目标图像修复的推广应用实验.现阶段,我们仅进行了基于一幅大位移视点图像的包含两个场景平面的目标图像上的修复实验.实际上,我们的算法可以方便地推广应用到基于多幅大位移视点图像的复杂场景目标图像的修复上,所以我们将获取具有复杂遮挡关系的实验图像进行本文算法的推广应用实验,这必将极大地增加照片编辑和修复的灵活性.

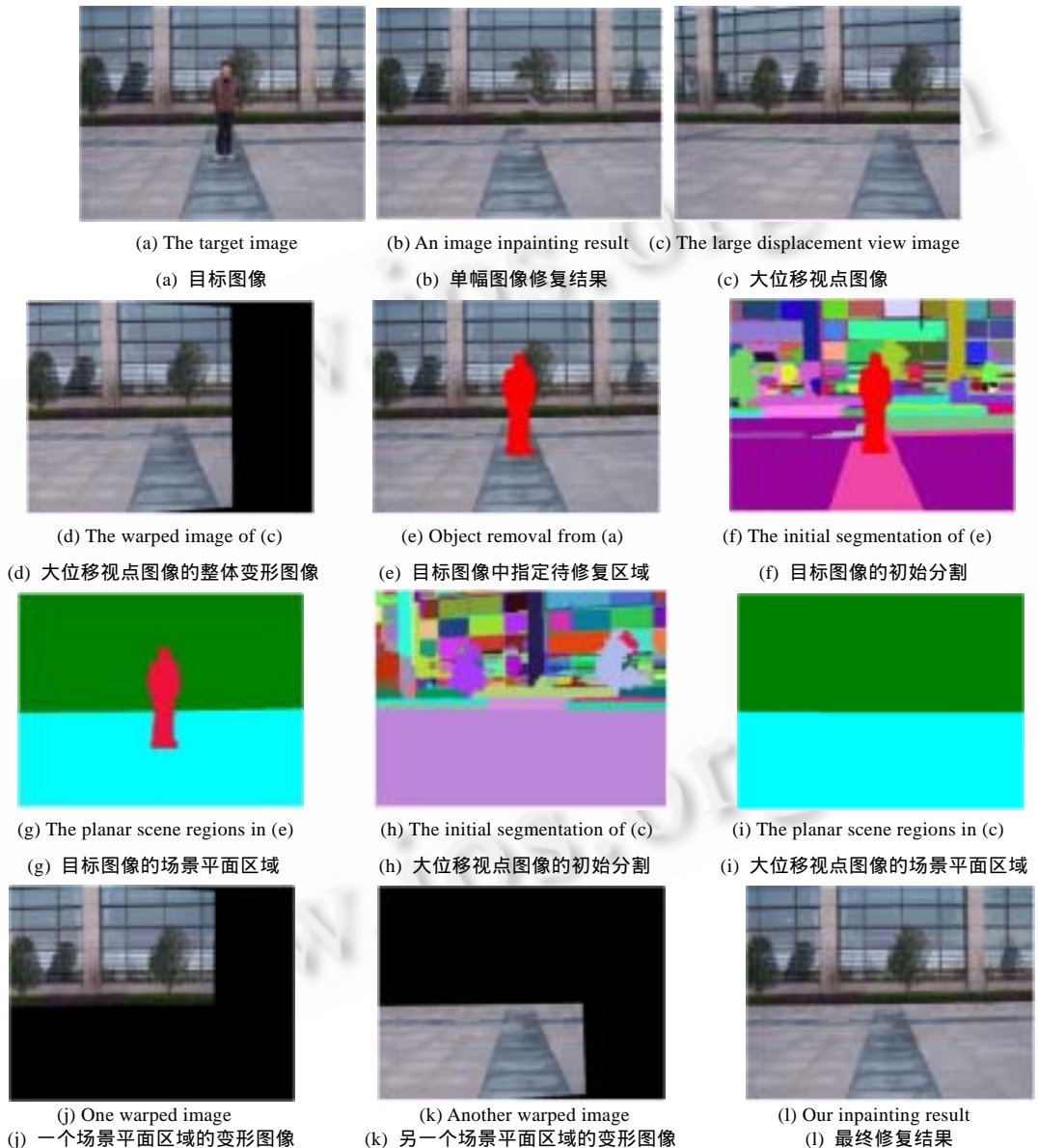


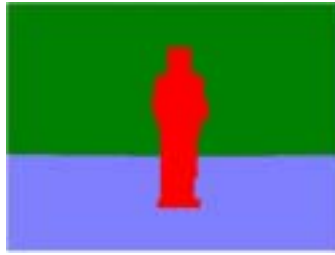
Fig.1 Profile of the library

图 1 图书馆侧面图实验





(a) The target image  
(a) 目标图像



(b) The planar scene regions in (a)  
(b) 目标图像的场景平面区域



(c) The large displacement view image  
(c) 大位移视点图像



(d) The planar scene regions in (c)  
(d) 大位移视点图像的场景平面区域



(e) One warped image  
(e) 一个场景平面区域的变形图像



(f) Another warped image  
(f) 另一个场景平面区域的变形图像



(g) Our inpainting result  
(g) 修复结果



(h) Poisson image fusion  
(h) Poisson 图像融合结果

Fig.2 Profile of the experimental building

图2 实验大楼侧面图实验



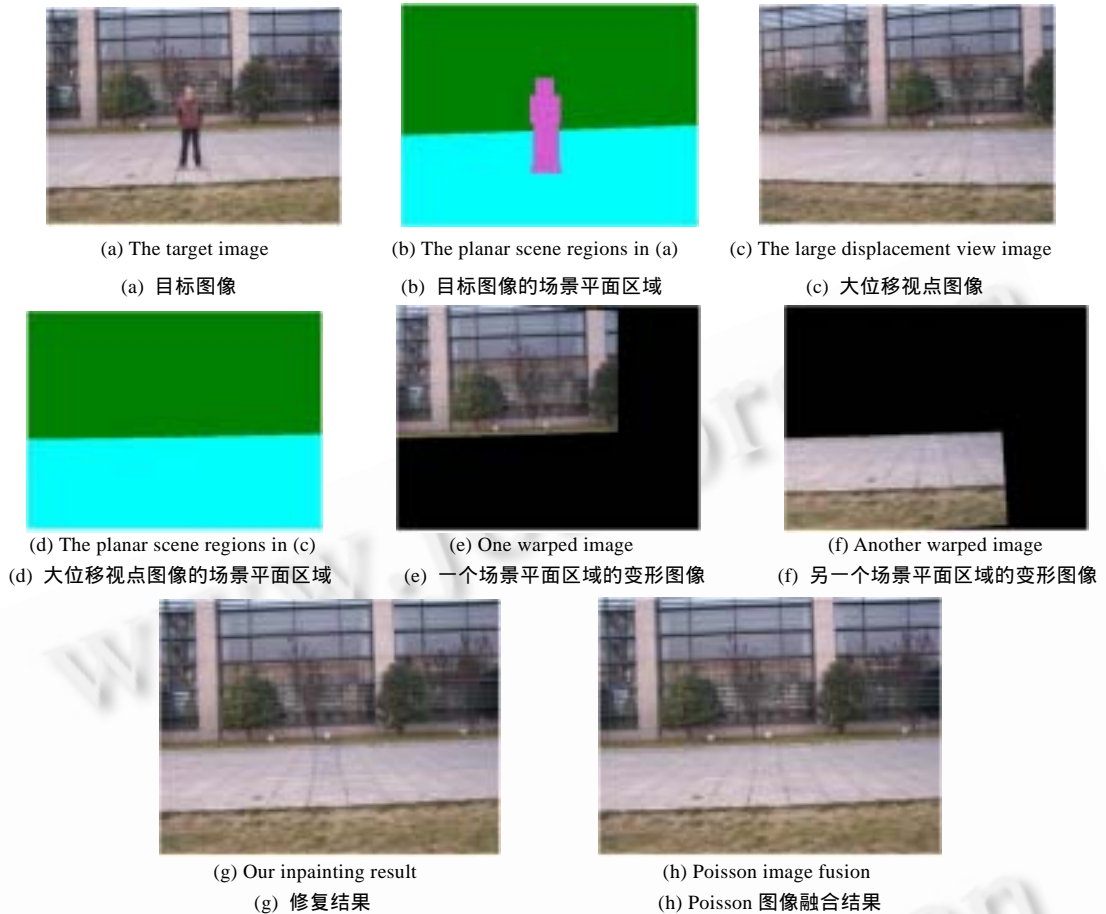


Fig.3 Profile of the teaching building

图 3 教学楼侧面图实验

**References:**

- [1] Bertalmio M, Sapiro G, Caselles V, Ballester C. Image inpainting. In: Proc. of the ACM SIGGRAPH 2000. New Orleans, 2000. 417-424.
- [2] Bertalmio M, Bertozzi AL, Sapiro G. Navier-Stokes, fluid dynamics, and image and video inpainting. In: Proc. of the IEEE Int'l Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, Volume I. Hawaii, 2001. 355-362.
- [3] Chan T, Shen J. Mathematical models for local deterministic inpaintings. CAM0011, Los Angeles: Department of Mathematics, University of California-Los Angeles, 2000. 1-31.
- [4] Chan T, Shen J. Non-Texture inpainting by curvature-driven diffusions. CAM0035, Los Angeles: Department of Mathematics, University of California-Los Angeles, 2000. 1-16.
- [5] Zhou TF, Tang F, Wang J, Wang ZY, Peng QS. Digital image inpainting with radial basis functions. Journal of Image and Graphics, 2004,9(10):1190-1197 (in Chinese with English abstract).
- [6] Tang F, Ying YT, Wang J, Peng QS. A novel texture synthesis based algorithm for object removal in photographs. In: Proc. of the 9th Asian Computing Science Conf. LNCS 3321, Chiang Mai, 2004. 248-258.
- [7] Sun J, Lu Y, Jia JY, Shum HY. Image completion with structure propagation. In: Proc. of the ACM SIGGRAPH 2005. Los Angeles, 2005. 861-868.
- [8] Levin A, Zomet A, Weiss Y. Learning how to inpaint from global image statistics. In: Proc. of the 9th IEEE Int'l Conf. on Computer Vision. 2003. 305-312.

- [9] Fadili MJ, Starck JL. EM algorithm for sparse representation-based image inpainting. In: Proc. of the 2005 IEEE Int'l Conf. on Image Processing, Volume 2. Geneva, 2005. 61–64.
- [10] Wexler Y, Shechtman E, Irani M. Space-Time video completion. In: Proc. of the 2004 IEEE Int'l Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition. 2004. 120–127.
- [11] Zhang YJ, Xiao JJ, Shah M. Motion layer based object removal in videos. In: Proc. of the 7th IEEE Workshops on Application of Computer Vision, Volume 1. Breckenridge, 2005. 516–521.
- [12] Jia YT, Hu SM, Martin RR. Video completion using tracking and fragment merging. The Visual Computer, 2005,21(8-10): 601–610.
- [13] Criminisi A, Pwrez P, Toyama K. Object removal by exemplar-based inpainting. In: Proc. of the IEEE Int'l Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, Volume 2. Madison, 2003. 721–728.
- [14] Comaniciu D, Meer P. Mean shift: A robust approach toward feature space analysis. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002,24(5):603–619.
- [15] Perez P, Gangnet M, Blake A. Poisson image editing. In: Proc. of the ACM SIGGRAPH 2003. San Diego, 2003. 303–312.
- [16] Lowe D. Distinctive image features from scale-invariant interest points. Int'l Journal of Computer Vision, 2004,60(2):91–110.
- [17] Fang XY. Studies on image mosaic [Ph.D. Thesis]. Hangzhou: Zhejiang University, 2005 (in Chinese with English abstract).
- [18] Shen JH. Inpainting and the fundamental problem of image processing. SIAM News, 2003,36(5):1–4.

## 附中文参考文献:

- [5] 周廷方, 汤锋, 王进, 王章野, 彭群生. 基于径向基函数的图像修复技术. 中国图像图形学报, 2004,9(10):1190–1197.
- [17] 方贤勇. 图像拼接技术的研究[博士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2005.



刘春晓(1979 - ),男,山东莱阳人,博士生,主要研究领域为计算机图形学,计算机视觉,多媒体信息处理.



王进(1971 - ),男,博士,主要研究领域为计算机视觉,基于图像的建模与绘制.



潘梁(1981 - ),男,硕士生,主要研究领域为计算机图形学.



陈为(1976 - ),男,博士,副教授,主要研究领域为计算机图形学.



郭延文(1980 - ),男,博士生,主要研究领域为基于图像的建模与绘制,数字几何处理.



彭群生(1947 - ),男,博士,教授,博士生导师,主要研究领域为真实感图形,虚拟现实,红外成像仿真,分子图形学,可视化技术.