

图像 Mosaics 技术综述

解 凯^{1,2}, 郭恒业¹, 张田文¹

(1. 哈尔滨工业大学计算机科学技术学院, 黑龙江哈尔滨 150001; 2. 哈尔滨师范大学计算机科学系, 黑龙江哈尔滨 150080)

摘 要: 本文系统综述了当前图像 Mosaics 技术的研究现状. 图像 Mosaics 技术就是将一组重叠图像拼结成一幅大型的无缝高分辨率图像的技术. 我们根据图像 Mosaics 形成的二维曲面即流形(Manifold)的确定方式将图像 Mosaics 技术分为两大类: 基于自适应流形的图像 Mosaics 和基于人工确定流形的图像 Mosaics. 基于自适应流形的图像 Mosaics 是由视频序列提取的条形图产生的. 基于人工确定流形的图像 Mosaics 是由整幅图像的拼接对齐所产生的. 它包括局部对齐技术、全局对齐优化调整技术和图像融合技术. 我们对每种技术进行了分类和讨论. 最后给出了评价并展望了未来图像 Mosaics 技术的发展方向.

关键词: 图像处理; 图像对齐; 虚拟现实; 全景图像

中图分类号: TN919.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112(2004)04-0630-05

A Survey of Image Mosaics Technology

XIE Kai^{1,2}, GUO Heng-ye¹, Zhang Tian-wen¹

(1. Computer Science & Technology Institute, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China;

2. Department of Computer Science, Harbin Normal University, Harbin 150080, China)

Abstract: The paper surveys image mosaics technology. Image mosaics are the technologies that a large, seamless and high-resolution image is made from a set of images. The paper calls the 2-D surface formed by the image mosaics as the manifold. According to the mode how the manifold is formed, it divides the image mosaics into two kinds: adaptive manifold-based image mosaics and man-selected manifold based one. Adaptive manifold-based image mosaics are produced by the strips from video. Man-indicated manifold-based image mosaics are made from image alignment. It includes local alignment, global alignments and image blend. The paper classifies and discusses the above technologies. At last, it gives an evaluation and discusses the future development of image mosaics.

Key words: image processing; image alignment; virtual reality; panoramic image

1 引言

自动建立大型、高分辨率的图像 Mosaics 技术一直是摄影测量学、计算机视觉、图像处理和计算机图形学的活跃研究领域. 在计算机视觉领域中, 图像 Mosaics 是近来的研究趋势, 是可视景物表示研究的一部分. 完整的可视景物表示还包括深度或视差信息的恢复. 在计算机图形学中, 图像 Mosaics 在基于图像绘制领域中发挥重要作用, 它的目标是由一组实际图像(或预先绘制的图像)迅速绘制具有照片真实感的新视图. 图像 Mosaics 有很多应用, 它包括传统的由图像集合建立大型航空和卫星照片. 近来的应用如视频检索、图像的稳定性、变化检测、视频压缩、增大相机的视野和分辨率, 甚至能做简单的照片编辑. 目前流行的应用是数字全景图像 Mosaics, 它可应用于建立虚拟现实环境.

图像 Mosaics 技术就是将一组重叠图像的集合拼结成一幅大型的无缝高分辨率图像. 它最早来源于人类的摄影知识.

当相机的视野小于人类的视野时, 人们自然考虑到将多个照片拼结成一幅大的照片以增强相机的视野. 随着数字摄像技术的发展, 人们开始用于航空和卫星照片图像的拼接. 近来图像 Mosaics 技术的研究扩展到景物表示. 它要求这些重叠图像通过平面投影变换相互关联起来. 该变换将不同图像坐标系上的点建立起对应关系. 通过变换和图像 Warping 操作可以精确地建立一幅大的图像以覆盖整个景物. 但目前这类图像 Mosaics 只能精确地表示两类图像集合. 一类是相机定点环绕(Panning or Pitching)拍摄的图像集合, 另一类是相机拍摄的景物为平面景物. 我们称图像 Mosaics 形成的二维曲面为流形^[1]如常用平面流形、圆柱面和圆球面流形等. 我们根据流形的确定方式将图像 Mosaics 技术分为两大类: 基于自适应流形的图像 Mosaics 和基于人工确定流形的图像 Mosaics 技术. 基于自适应流形的图像 Mosaics 是由视频序列提取的条形图产生的. 基于人工确定流形的图像 Mosaics 是由整幅图像的拼接对齐所产生的. 基于人工确定流形的图像 Mosaics 的技术包括: (1)

收稿日期: 2002-01-07; 修回日期: 2003-01-25

基金项目: 国家自然科学基金(No. 6007510); 国防科技预研基金(No. 00J4.5.6HT0109); 黑龙江省教育厅科研基金(No. 10531085)

局部对齐技术,即两幅图像对齐。(2)图像 Mosaics 的集成技术:将所有图像对齐到一个指定的参考帧,以形成一个大的图像即全局对齐和图像融合技术。

本文对图像 Mosaics 的技术进行了分类和讨论。本文结构如下:第二节给出图像局部对齐技术的模型和求解技术。第三节讨论了全局对齐技术和如何消除重叠边界光强不连续的图像融合技术。第四节给出条形图拼接图像 Mosaics 的方法。第五节是讨论与展望。

2 局部对齐技术

局部对齐技术即是两幅重叠图像拼接对齐技术。在传统的图像 Mosaics 和虚拟环境制作的应用领域,图像整合^[2](Image Registration)技术中的相关性法和傅立叶变换均可适用。在景物表示领域,图像间存在平面投影变换或仿射变换,因此可以采用对应点映射和运动估计方法。下面我们简要地介绍前三种变换,重点阐述近来发展迅速的基于运动估计的图像对齐技术。

2.1 相关性方法

基于相关性方法是一种简单地搜索方法。它寻找重叠图像对应部分的强度积之和达到最大值的平移量。为克服噪音的干扰,采用归一性公式作为统计测度。该方法运算量大,速度慢。结果可靠,稳定性好。比较适合小窗口图像的匹配和追踪。如 QuickTime^[3]系统和 Plenoptic modeling^[18]系统采用此法。该方法简单、有效。但有时需人工干预对齐,因为重叠区域中特征不明显,导致对齐误差。为此蔡勇^[4]等人提出一种改进方案,采用基因算法去寻找重叠图像中特征丰富的矩形区域,然后用相关性算法对齐。

2.2 傅立叶方法^[2,5]

该方法利用了傅立叶变换的良好性质,即函数平移,旋转和变尺度在频率域都有其对称性。对于图像的平移,计算两图像功率谱的逆傅立叶变换可得一个脉冲函数,该函数仅在平移量处不为零。对于旋转,可使用极坐标方式表示,用相同方法计算图像间的旋转角度。假如图像运动是平移和旋转的混合运动,我们可分两步运算:先计算旋转后计算平移。该方法对小平移量和旋转及变尺度图像整合非常适合。它有硬件支持和快速算法,因此计算速度快。同时能克服相关性噪音和依赖频率噪音。可适合多传感器和光源变化采集的图像。

2.3 对应点映射法

该方法主要针对离散采样的图片,由于相机平移和旋转角度大,图像对应关系很难自动生成,因此需一组对应点映射来求解图像间的变换。即可人工指定也可采用匹配和跟踪技术来确定对应点。原理^[6]上讲对于齐次变换只需输入四个点即可求出,但考虑到误差和相关性等因素,一般都输入较多的对应点。由于方程数多于未知数,采用最小二乘技术求解,然后再用 Levenberg-Marquart 方法对解进行优化处理,可以使匹配点误差控制在 0.1 个像素范围之内。该方法可靠稳定,精度高,不足之处需要人工输入大量的对应点,不能自动生成。而匹配和跟踪技术来确定对应点均不稳定。

2.4 运动估计法

对于视频图像序列,用运动估计法可直接自动对齐图像。

运动估计模型取决于景物世界模型和运动模型。下面我们通过参数运动场来表示运动估计模型。

2.4.1 参数运动场: 设两图像 $I_0(X), I_1(X)$:

$$I_1(X, t) = I_0(X - U, t - 1); U \text{——参数运动场 } U = (U_x, U_y)$$

我们根据景物世界模型和运动方式的不同把参数运动场分为三类:

(1) 基于平面景物的参数运动场^[7]:

当景物为平面时,运动场为 8 参数的运动场:

$$U = X_p * U_p; U_p = [P_1, P_2, \dots, P_8]^T;$$

$$U = \begin{bmatrix} P_1 + P_2x + P_3y + P_7x^2 + P_8xy \\ P_4 + P_5x + P_6y + P_7xy + P_8y^2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$X_p = \begin{bmatrix} 1 & x & y & 0 & 0 & 0 & x^2 & xy \\ 0 & 0 & 0 & 1 & x & y & xy & y^2 \end{bmatrix}$$

我们有时可以简化为仿射运动场:

$$U = X_f * U_f; U_f = [a_1, a_2, \dots, a_6]^T;$$

$$U = \begin{bmatrix} a_1 + a_2x + a_3y \\ a_4 + a_5x + a_6y \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$X_f = \begin{bmatrix} 1 & x & y & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & x & y \end{bmatrix}$$

(2) 基于定点环绕拍摄的旋转运动场^[8]:

$U = X_r * U_r; U_r = [\omega_x, \omega_y, \omega_z]; \omega_x, \omega_y, \omega_z$: 角速度 f : 相机焦距

$$U = \begin{bmatrix} -xy/f & f+x^2/f & -y \\ -f-y^2/f & xy/f & x \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$X_r = \begin{bmatrix} -xy/f & f+x^2/f & -y \\ -f-y^2/f & xy/f & x \end{bmatrix}$$

(3) 基于平面加视差模型:

传统的 3D 运动场是由旋转、平移和景物深度组成的参数运动场。然而对齐这些参数场的图像需要知道相机的内部参数,且除上述两种模型外,其他模型在对齐图像时会导致图像变形。我们所介绍的 3D 模型是由 Kumar^[9]等人提出一种基于平面参数场的平面加视差模型。他们考虑景物都是位于一个实际平面上或一个虚拟平面上,它的参数运动场模型如下:

$$U = U_p + U_s \quad (5)$$

U_p 同式(1)

$$U_s = \begin{bmatrix} r(fT_{2x} - xT_{2x}) \\ r(fT_{2y} - yT_{2x}) \end{bmatrix}$$

$$r = H / (P_z \cdot T_1)$$

H : 是点到平面的垂直距离 T_1 : 第一个相机到平面距离

T_2 : 两相机的平移向量 P_z : 深度 f : 相机焦距

该模型较难于任意景物图像的对齐,主要因为是不同深度景物的分割是个困难问题。一般用于平面景物上稀疏运动物体的检测。

2.4.2 求解运动场的方法 求解参数运动场的方法使用 SSD (Sum of Square Difference) 强度平方差作匹配测度。用牛顿高斯法或 Levenberg-Marquart 法进行迭代求解。亦可用一阶泰勒

公式近似表示运动场,用最小二乘法来直接求解.该方法不需迭代速度快.若图像偏差较大,可采用层次估计法^[7].它包括四部分:(1)建立两图像的金字塔(如 Gauss 和 Laplace 金字塔);(2)运动估计计算;(3)图像 Warping 操作;(4)由粗到细逐步求精参数.对于平面+视差模型可采用准参数模型估计^[9],即先分割标记出图像中的平面区域,其次估计出二图像的平面参数变换,最后将式(1)代入公式(5)中,用层次方法估计视差向量和平移向量 T .

当图像中有遮挡和运动物体时,上述对齐算法效果不佳,为此 Ielnik-manor^[10]提出了一种基于平面景物的多帧估计算法,可同时将 10~50 个帧与参考帧对齐.它将多帧的 Hessian 矩阵和累积梯度矩阵 b 同时计算,当 b 矩阵计算时,用降低维数即投影在低秩子空间上找出与之同秩且 Frobenius 范数接近的矩阵 b^1 来代替 b .然后求解参数,取得了很好的效果,尤其是遮挡和小物体运动时对齐效果好.同时对多帧图像中的小窗口作上述运算时,所取得结果对整幅图像对齐都有效.当运动物体较大时,可用 Davis, T.^[11]提出 Mellin 变换即基于相位的傅立叶变换可以取得很好的对齐效果.

若图像偏差大于几个像素时(注:层次运动估计法只能处理图像间几个像素间的偏差),我们可以使用渐近复杂模型^[12].渐近复杂模型对于平面投影变换参数的估计可采用分步优化求解策略.即用图像的一部分先估计出平移参数,其次是用平移参数作为仿射参数的初始估计,用图像的较大部分估计仿射参数.最后是用仿射参数作为初始估计,用图像的全部来估计平面投影变换参数.同时将渐近复杂模型与层次模型相融合可减少工作量.渐近复杂模型的使用是有一定条件^[13]的,即相机在对平面景物拍摄时,做近似平移运动且旋转角度要小.相机定点拍摄时,近似做 Panning(绕 y 轴)或 Pitching(绕 x 轴)运动而其它轴的旋转要尽可能地小.

3 图像 Mosaics 的集成技术

以上我们介绍了两帧之间的精确对齐技术.但要构成一个大的图像 Mosaics 需要将所有图像变换到一个图像序列中间的参考帧上,然后将它们合成一个大的视图即图像 Mosaics 的集成技术.它包括全局对齐技术和图像融合技术.

3.1 全局对齐技术

求解远离参考帧图像到参考帧变换的方法是连接它们之间的变换,但这样会导致累积误差,使得最终图像会产生较大的偏差和重影.全局对齐技术就是解决上述问题的.现有全局对齐技术包括四类:多帧调整对齐;线性方程系统求解;对应点调整变换;逐步扩大 Mosaics 方法.

(1)多帧调整对齐^[12]

设 $I_1, I_2, \dots, I_n$ 帧投影到参考帧的参数变换 $A_1, A_2, \dots, A_n$, 同时调整这些变换使误差最小. $\min_{A_1, \dots, A_n} \sum_P \frac{1}{M(P)} \sum_i (I_i(P) - \bar{I}(P))^2$ $\bar{I}(P)$:是重复帧上 P 点的平均值. $M(P)$:重复在 P 点帧的数量.优点为同时优化所有变换,对齐效果佳,但工作量太大,一般实际系统很难使用,仅对少量帧有效.

(2)线性方程系统求解技术^[11]:

设任意二重叠帧间的变换 A_{ij} 已知,参考帧为 A_1 则所有帧到 A_1 的变换:

$$P_i = \sum_{j=2}^i A_{ij} A_{j-1}$$

则任意重叠且不相邻帧的变换 A_{ij} 有 $P_i = A_{ij} P_j (j < i - 1)$, 联立所有这样方程构成一个大型稀疏线性方程组.由于它是过定的,可用最小二乘技术求解.该方法效果好,但工作量较大,需要求解额外的二重叠帧的精确对齐变换.

(3)基于对应点的多帧调整技术

重叠图像上提取一组对应点,然后投影在参考帧上.理论上讲,这组对应点在参考帧上对应一个点.但由于累计误差原因,使它们不能重合. Shum H^[8]提出在参考帧上选取一点使之与各点的距离或角度最小作为新的对应点.然后用一组新点来调整调整参数变换.对于 2D 图像序列, Kang, E. Y.^[14]采用相关性方法,建立图像的拓扑结构,使用最短路径法来求一条代价最小的重叠帧集合,然后计算该路径上各帧到参考帧的投影点,使用相关加权来计算对应点.然后用这些点来重新计算两帧间的变换.虽需要额外搜索工作量,但该方法直观,工作量适中,能自动计算,不需人工干预.

(4)逐步扩大 Mosaics 方法^[14]

采用帧到 Mosaics 方法,即逐步扩大图像 Mosaics.该方法是从图像集合中选取一个几何拓扑上的中间帧为参考帧.以中心帧到外围寻找与之重叠面积最大帧然后对齐成一个 Mosaics 记为 M_{i-1} , 寻找一个帧 f_i , 将 f_i 与 M_{i-1} 对齐成较大的 M_i .该方法对齐质量高.但不足之处为其中间某帧对齐效果差将涉及以后帧对齐效果,导致整个图像 Mosaics 的质量下降.其次需要搜索与之近邻的最大重叠帧.

3.2 图像的融合技术

在不同时刻的图像采样,光强都会有差异.因此在图像拼接的边界处会有明显的缝隙.图像融合就是要消除图像光强或色彩的不连续性.它的主要思想是让图像在拼接处的光强平滑过渡以消除光强的突变.常用方法有三种:(1)中值滤波器: Irani, M.^[15]让中值滤波器作用在边界附近区域.它让与周围灰度值差比较大的像素取与周围像素接近的值,从而消除光强的不连续性.(2)加权平均法: Szeliski^[16]使用一个“帽状函数”来加权平均到每个重叠帧的对应像素上.该函数在图像边缘处为最低,而在中心处贡献最多.更简洁的方法是 Shum, H^[8]将平滑过渡区域放在重叠图像中央.权为像素点距边界的距离.(3)多分辨率样条技术: Bert, P. J.^[17]采用 Laplace 多分辨率金字塔结构.将图像分解成不同频率域上的一组图像,在每个分解的频率域上,将图像重叠边界附近加权平均.最后将所有频率上的合成图像汇总成一幅图像 Mosaics.

中值滤波器处理边界附近的狭长地带,因此该方法速度快,但质量一般.而多分辨率样条法是在所有频率域上处理边界附近区域.因此工作量大,但质量高.加权平均法直观简洁,速度较快,是比较常用的一种算法.

4 基于条形图的图像 Mosaics 方法

基于条形图的图像 Mosaics^[19]方法是借助于条式相机的

原理. 该相机拍摄的图像为细窄条状图. 当它沿着景物一侧横扫拍摄时, 将所得一组条形图合成一幅大的图像. 由于条式相机应用范围小很难得到, 因此一般用摄像机来代替. 从采集的图像序列中每帧切割一条图像, 然后对齐和融合成图像 Mosaics. 条形图的采集应在图像中央附近, 因为该处的图像变形较小, 对齐效果好. 条形图像的宽度应不小于两相邻帧的偏差. 条的形状一般为矩形垂直条. Rossuo, B.^[20]等人提出基于仿射变换来描述运动的通用条概念. 应尽量与光流方向垂直. 在很多情况下, 图像间的运动都可以用仿射变换来描述. 条形状是由仿射系数所确定的二次曲线, 它垂直于由仿射变换所描述的光流场. 它使得条形图能采集更多信息. 由于光流场的计算与景物的深度有关, 因此用仿射变换来描述光流场只是一种近似. 但可以用密集的视图插值来克服视差现象. 若相机横扫时倾斜, 则合成图像 Mosaics 时会卷曲. 为此 Peleg, S.^[1]等人提出校正方法, 以形成光流近似平行的图像 Mosaics. 近来 Peleg, S.^[1]等人提出一种基于条形图的立体全景图方案. 他们使用一台摄像机和一个杆, 杆的一端固定在圆心, 另一端放置向外的摄像机. 当杆旋转一周时, 摄像机亦拍摄一圈. 然后取图像中央两侧的条形图. 即可形成适合左右两眼的立体全景图. 其中左右两个全景图的中心在圆上, 即可视环上. 亦成为环形投影即多视点投影. 其中左边条形形成左眼的全景图, 右边条形形成右眼的全景图. 该方案所需设备简单且采样方便. 而过去需要两台相机且固定在头盔上旋转生成立体全景图.

基于条形图的图像 Mosaics 有很多优点. (1) 自适应地定义图像 Mosaics 的投影域. 不象其它方法需要事先指定参考帧、圆柱面或球面域. (2) 图像没有变形, 图像中的景物大小基本不变. (3) 克服其它方法对景物结构和运动方式的限制. 例如向前运动和 Zoom 操作. (4) 计算简单.

5 讨论与展望

本文综述了各种采样方式和不同景物结构的图像 Mosaics 技术及其当前的进展情况. 但从目前国内外的研究状况看还存在下列问题需进一步研究和解决. (1) 条形图对齐时采用仿射变换来描述运动, 用仿射变换来描述光流场只是一种近似. 其它近似方法研究得不够. 如样条等. (2) 采用多帧运动估计进行相机变形参数的定标还有待研究. 目前方法所对应的帧数较少, 精度有待提高. (3) 在制作球面全景 Mosaics 时有许多困难. 首先对于手持相机, 用户很难扫描整个球面. 其次, 由于图像投影变换的误差和图像间运动估计的误差使得拼接无缝全星球面变得非常困难. (4) 多帧图像对齐时由于参数较多, 运算量很大. 且导致远处帧变换后出现变形情况. (5) 运动估计方法的约束限制较多, 目前研究人员正积极地探索上述条件的突破. 如基于多帧条件的平面景物上有少量三维物体遮挡的对齐技术.

近来全景相机成为较热的研究领域. 研究人员利用特别位置上的镜片和相机动态采集全景图像. Nayer^[22,23]等人利用圆锥类曲面镜和相机来制作全景图像 Mosaics 和 360° × 360° 球面全景图. Peleg S.^[21]等人利用螺旋镜片和相机来制作立体全景图像. Svoboda^[24]指出这类相机的优点是较大视野且能采

集动态景物的全景图像. 不足是分辨率较低, 镜片和相机互相遮挡, 因此给理想全向相机的研究带来困难.

我们认为未来的研究方向与我们的研究内容是: (a) 多帧对齐优化技术. 包括基于平面景物模型的对齐优化技术和基于旋转运动模型的对齐优化技术. 它们是提高图像 Mosaics 质量和自动计算相机的非线性畸变参数的基础. 我们将建立和推导旋转运动模型. 由于多帧对齐优化运算量较大, 因此寻找快速、降低运算代价的算法也是未来的研究内容. (b) 自动计算相机的非线性畸变参数. 利用光强度常量的约束建立并推导带有非线性畸变参数的多帧优化目标函数. 分别使用基于平面景物模型的对齐优化技术和基于旋转运动模型的对齐优化技术来自动计算相机的非线性畸变参数. 采用阻尼牛顿最小二乘法迭代求解. (c) 建立动态图像 Mosaics: 即建立基于图像的动态虚拟环境的基础. 我们主要研究图像序列间的对齐. 针对非定标固定相机拍摄的两个视频序列, 使用所有的时空信息来估计空间帧的对齐和两个序列的同步. 动态环境(包括移动物体和光源变化)是对齐运算的有利线索. 我们将研究瞬间直接对齐技术而不需要事先估计点和帧的对应关系. 它把时间和空间线索合成为一个统一的框架内来建立优化目标函数. (d) 基于层次样条的自适应图像 Mosaics: 研究基于样条的运动模型, 用样条技术来描述图像帧间的位移量场. 由于光流场是与深度有关的, 因此用样条方法可以光滑的近似光流场, 它将优于仿射模型的近似. 我们的研究将包括用样条方法描述图像帧间的局部和全局位移量场. 对于位移量较大的帧可使用层次模型来处理.

参考文献:

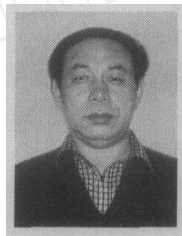
- [1] Peleg S, Rousso B. Mosaicing on adaptive manifolds [J]. IEEE Transactions on PAMI, 2000, 22(10): 1144 - 1154.
- [2] Brown L G. A survey of image registration technology [J]. ACM Computing Surveys, 1992, 24(4): 325 - 376.
- [3] Chen S. Quick time VR-an image-based approach to Virtual environment of navigation [A]. Proc of SIGGRAPH '95 Computer Graphics [C]. Los Angeles, California: ACM Press, 1995. 29 - 38.
- [4] 蔡勇等. 基于图像绘制的虚拟现实系统环境 [J]. 软件学报, 1997, 8(10): 721 - 728.
- [5] B Srinivasa, et al. An fft-based technique for translation, rotation, and scale-invariant image registration [J]. IEEE Trans On Image Processing, 1996, 5(8): 237 - 252.
- [6] 吴福, 于满川等. 旋转图像序列的整合 [J]. 模式识别与人工智能, 1999, 3(12): 249 - 254.
- [7] Bergen J R, Anandan P. Hierarchical model-based motion estimation [A]. Proc. of The Second European Conference on Computer Vision [C]. Santa Margarita Ligure, 1992. 237 - 252.
- [8] Shum H Y, Szeliski R. Systems and experiment paper: construction of panoramic image mosaics with global and local alignment [J]. I. J of Computer Vision, 2000, 36(2): 101 - 130.
- [9] Kumar P, Anandan P. Representation of scenes from collections of images [A]. Proc of IEEE Workshop on Representations of Visual Scenes [C]. Cambridge, Massachusetts, 1995. 10 - 17.

- [10] Ielnik-manor L, Lrani M. Multi-frame estimation of planar motion [J]. IEEE Trans on PAMI, 2000, 22(10): 1105 - 1116.
- [11] Davis T. Mosaics of scenes with moving objects [A]. Proc of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition [C]. Santa Barbara, 1998. 354 - 360.
- [12] Sawhney S H. The true multi-image alignment and his application to mosaicing and lens distortion correction [J]. IEEE Trans on PAMI, 1999, 21(3): 235 - 243.
- [13] Kang E Y, Cohen I. A graph-based global registration for 2D mosaics [A]. 15th International Conference on Pattern Recognition, [C]. Barcelone, Spain, 2000. 26 - 30.
- [14] Savhney H S, Kunnar Retal. Video brush: experiences with consumer video mosaicing [A]. IEEE 4th Workshop on Application of Computer Vision [C]. Sarasota Florida, 1998. 418 - 423.
- [15] Irani M. Mosaics based representations of video sequences and their applications [A]. Proc of Computer Vision [C]. Cambridge Massachusetts, 1995. 605 - 611.
- [16] Szeliski R. Video Mosaics for Virtual Environment [J]. IEEE Computer Graphics & Application 1996, 16(3): 22 - 30.
- [17] Bert P. J. Multiresolution Spine With Application to Image Mosaics [J]. ACM Transaction On Graphics 1983, 2(4): 245 - 256.
- [18] McMillan L. Plenoptic modeling: An Image-based rendering system [A]. Proc of SIGGRAPH '95 Computer Graphics [C]. Los Angeles, California, 1995. ACM Press: 9 - 46.
- [19] Peleg S, Herman J. Panoramic mosaics by manifold projection [A]. Proc. of IEEE conference on CVPR [C]. San Juan. Puerto Rico, 1997. 338 - 343.
- [20] Rousso B, Peleg S. Generalized panoramic mosaics [A]. Proc. of DARPA Image Understanding Workshop [C]. Bombay, 1997. 255 - 260.
- [21] Peleg S, Ben-Ezra M. Omnistereo: panoramic stereo imaging [J]. IEEE Trans On PAMI, 2001, 23(3): 237 - 248.
- [22] Swaminathan. R, Naya. K. S. Caustics of catadioptric cameras [A]. Proc of IEEE conference on CVPR [C]. Los Angeles, California, 2001. 2 - 9.
- [23] Naya K S, et al. 360 * 360 Mosaics [A]. Proc of IEEE conference on CVPR [C]. Barcelone, Spain, 2000. 265 - 272.
- [24] Svoboda T, et al. Panaramic Cameras for 3D computation [A]. Proc of the Czech Pattern Recognition Workshop [C]. Czetch, 2000. 63 - 70.

作者简介:



解 凯 男, 1962 年 10 月出生于天津市, 博士生, 副教授, 主要研究领域: 虚拟现实, 计算机视觉. E-mail: xiejingxiao@sohu.com



郭恒业 男, 1947 年 5 月出生于黑龙江省哈尔滨市, 教授, 主要研究领域: 虚拟现实, 图形学.

张田文 男, 1940 年 6 月出生于河北省张家口市, 教授, 博士生导师, 主要研究领域为机器视觉、图像处理、人工生命等.