

文章编号 1004-924X(2015)增-0713-10

## 基于两视点的任意虚拟视点图像合成

梁华刚\*, 孙小喃, 茹 锋

(长安大学 电子与控制工程学院, 陕西 西安 710064)

**摘要:**针对虚拟视点图像合成精度和任意虚拟视点的可移动范围受限问题,提出了一种基于两视点的任意虚拟视点图像合成方法。考虑各视点图像间的射影几何关系,对视点位置进行了合理布设,建立了简化坐标系模型,推导出了空间中任意虚拟视点图像与两输入视点图像上对应点之间的几何关系。对各视点图像进行了特征点提取、对应关系匹配、视图平行化、三角网格化、纹理粘贴、逆透视投影变换等处理,结合两输入视点与任意虚拟视点之间的位置比率参数,生成了任意虚拟视点图像。实验结果表明,本文方法既避免了繁杂的三维重建及相机强标定,又解决了传统 View Morphing 技术的虚拟视点移动范围局限问题,仅利用虚拟视点与两输入视点间的位置比率参数即可生成空间中没有不自然感的大范围任意移动的虚拟视点图像;即使输入视点图像无法完全平行化,本文方法依然合理有效,可进一步应用到多视点图像合成等领域。

**关键词:**计算机视觉;虚拟视点;图像合成;射影几何;极几何;View Morphing

**中图分类号:**TP391.4 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/OPE.20152313.0713

## Image synthesis of arbitrary virtual viewpoint based on two viewpoints

LIANG Hua-gang\*, SUN Xiao-nan, RU Feng

(School of Electronics and Control Engineering, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

\* Corresponding author, E-mail: lhg19800305@hotmail.com

**Abstract:** The synthesis precision of an arbitrary virtual viewpoint image and the movement range of a virtual viewpoint were mainly studied. A novel and effective method to synthesize a new arbitrary virtual viewpoint image based on two images was proposed. The simplified model of the viewpoint images was established in a proper coordinate system to analyze the projective geometry relationship of the corresponding points between the input viewpoint images and the arbitrary virtual viewpoint image. Each image was processed by the feature point extraction, correspondence matching and view parallel, triangular segmentation, texture matching, perspective projection transformation. An arbitrary virtual view image was generated in the space only using the positional ratio parameters between input viewpoints and virtual viewpoint. Using this method, complex three-dimensional reconstruction and camera calibration are avoided, and the limitation of the movement range of the virtual viewpoint based on traditional View Morphing technology also is solved. The experiments and simulation results

收稿日期:2015-06-05;修订日期:2015-06-21.

基金项目:国家自然科学基金青年基金资助项目(No. 61203374);陕西省自然科学基金国际合作项目(No. 2014KW01-05)

show that the arbitrary virtual viewpoint images can be obtained only using the positional ratio parameters between input viewpoints and virtual viewpoint through the method proposed in this paper, even if the two input images can't be parallel completely. The proposed method is reasonable and effective.

**Key words:** computer vision; virtual viewpoint; image synthesis; projective geometry; epipolar geometry; view morphing

## 1 引言

随着计算机视觉的飞速发展,虚拟视点图像合成技术在电影和电视、医学诊断、交通安防等产业的国内生产总值(GDP)不断增加<sup>[1]</sup>。虚拟视点图像合成是指由有限个分布于不同视点位置的相机获取同一场景的两幅或者多幅图像后,对拍摄的真实图像进行数字化处理,合成一幅具有新视点的虚拟图像,以从多个角度更精确、更全面地描述对象,为人们提供更丰富的信息内容和更多数据量的数字化媒体<sup>[2-3]</sup>。在近几年的发展中,双目立体视觉和虚拟视点图像合成得到充分的实用化。例如,目前电影娱乐产业引进的模拟人眼视差原理的3D电影;体育赛事转播中,同步画面处理合成后,用户可以在一定视场范围内选择任意角度观看比赛赛事。目前,虚拟视点图像合成方法主要分为基于三维模型绘制(Model-based Rendering, MBR)<sup>[4]</sup>和基于图像绘制(Image-based Rendering, IBR)<sup>[5]</sup>两大类。其中,IBR将计算机视觉与图像处理结合在一起,不依赖相机强标定和任何几何模型,直接由图像到图像进行计算处理,是图像合成等领域的研究新方向。常用的IBR方法有像素投影转移法<sup>[6-7]</sup>和视图插值法<sup>[8-10]</sup>。Havaldar利用两幅图像间对应点的参数信息,计算所对应空间点的交比,再根据交比不变性,实现输入图像与虚拟图像间对应点的投影<sup>[11]</sup>。Laveau和Faugeras基于极线几何约束,利用光线跟踪方法或逆映射计算各图像上对应点的关系来合成虚拟视点图像,该方法扩展了虚拟视点的移动范围<sup>[12]</sup>。Chen和Williams假设图像的相机参数和深度值已知,采用线性插值技术来生成中间图像。利用绘制过程中获得源图像对之间的密集对应点关系,实现图像画面自然过渡<sup>[13]</sup>。Seitz和Dyer提出View Morphing,即利用逆投影将输入视点图像投影到平行平面,然后利用图形变形和图形插值产生虚拟图像<sup>[14]</sup>。

通过对国内外的虚拟视点图像合成技术的研究发现,虚拟视点图像在合成的精度和可移动范围等方面依然存在很多问题。一方面,MBR需要复杂的三维建模,任何一个错误的标定都会导致建模失败,而且其复杂度高,灵活性、实时性差;另一方面,一些传统的IBR技术生成的虚拟视点图像不符合射影几何关系,会产生严重的畸变和失真,Seitz提出的View morphing虽然解决了失真问题,但是合成的虚拟视点位置受限。Jiangjian Xiao根据三视图之间的几何关系进行投影变换,扩大了虚拟视点的移动范围,但是虚拟视点的自由移动范围依然局限在三视点组成的平面内<sup>[15]</sup>。

本文对虚拟视点图像合成精度和虚拟视点可移动范围作了深入研究。在IBR技术基础上,仅使用少量未标定相机参数信息,从而避免了繁杂的三维重建,提高了系统的灵活性;充分融入射影几何学原理,以避免合成后的虚拟图像产生变形和失真的现象;改进View morphing技术,利用射影几何和极几何原理推导出空间中任意移动的虚拟视点与两输入视点间的几何关系,将虚拟视点的可移动范围扩大到空间中的任意大范围,突破了虚拟视点位置只能在两输入视点间的直线上移动的限制;在输入图像质量一定的条件下,利用线性插值分别对图像上背景和目标对象的颜色信息进行填充,使合成虚拟视点图像的颜色平滑和自然,提高任意虚拟视点图像的品质。

## 2 射影几何

射影几何是研究图形射影变换中不变性的学科,其中针孔相机成像和极几何约束是其基础理论支撑。

### 2.1 针孔相机成像

相机成像模型是研究三维空间中的点与二维图像上对应点的一种映射关系。目前,最常用的针孔相机模型(Pinhole Model)是中心投影最理想的相机模型。利用光学中的小孔成像原理,如

图 1 所示,设相机的光心(即投影中心)位于欧氏坐标系原点  $O$ ;物体的成像平面(即投影平面)使用平面坐标系(即图像坐标系)来表示;光轴方向为  $Z$  轴正方向,投影平面与光轴垂直,且图像坐标系的  $x$  轴、 $y$  轴分别平行于欧氏坐标系的  $X$  轴、 $Y$  轴。将小孔成像转换为正视投影模型,即将投影平面转换到距离投影中心  $f$  位置处。3D 空间中点  $P(X, Y, Z)$  在投影平面上的投影点  $p$  用图像坐标表示,即  $p(u, v)$ 。

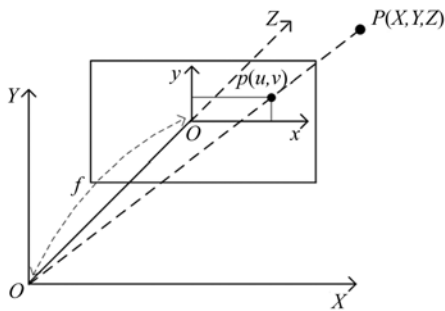


图 1 针孔相机的透视投影变换

Fig. 1 Perspective projection of pinhole camera

在针孔相机的中心投影坐标系中,空间点  $P(X, Y, Z)$  与成像平面上对应点  $p(u, v)$  的投影变换关系可以使用非齐次坐标表达为:

$$\begin{cases} u = f \frac{X}{Z}, \\ v = f \frac{Y}{Z}. \end{cases} \quad (1)$$

使用齐次矩阵的形式表示上述透视投影变换关系式:

$$\mathbf{Z} \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & f \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

针孔相机成像模型是对光学成像的简化。通过上面的投影变换公式可以实现三维空间中真实物体上的点与二维图像上对应点间的映射,方便对图像进行后续处理。

## 2.2 极几何约束

在射影几何理论中,同一场景的两幅图像上的对应点完全遵从极几何约束<sup>[16]</sup>。在没有任何相机预标定的情况下,可以利用极几何约束原理计算出两幅输入视点图像上对应点的几何关系。如图 2 所示,图中 2 台针孔相机在光心  $C_0$  和  $C_1$  处获取的图像分别为  $I_0$  与  $I_1$ 。 $p_0$  和  $p_1$  是空间中同

一点  $P$  在两个图像上的投影点,它们互为对应点。点  $P$  与光心所呈的平面为极平面。两个光心的连线与图像平面的交点叫极点,即  $e_0$  和  $e_1$ 。极平面与左右图像平面的交线为极线,即  $l_0$  和  $l_1$ 。

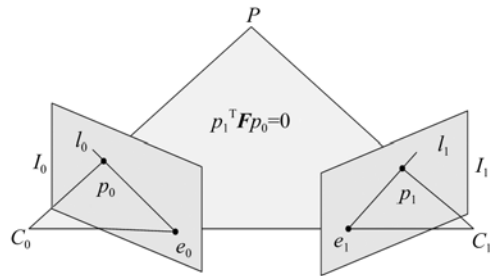


图 2 极几何关系

Fig. 2 Epipolar geometry

极线约束是给定图像  $I_0$  上的点  $p_0$ ,则它的对应点  $p_1$  一定在极线  $l_1$  上,同理,点  $p_0$  一定在极线  $l_0$  上。极几何仅使用较少的相机参数信息即可实现两幅图像上对应点、线的搜索和匹配,将范围限定在一条极线上,大大减少了对应点搜索范围。极线约束是两幅图像间最基本的几何关系,数学上定义为:

$$\mathbf{p}_1^T \mathbf{F} \mathbf{p}_0 = 0. \quad (3)$$

矩阵  $\mathbf{F}$  包含了相机内外部参数信息,不需要进行相机强标定,也不需要预先知道相机的透视投影矩阵,只需知道两幅图像上多个对应点的坐标,便可以估算出矩阵  $\mathbf{F}$ ,从而确定出两幅图像空间极几何约束关系,这里的矩阵  $\mathbf{F}$  是一个秩为 2 的  $3 \times 3$  矩阵,自由度为 7,被称为基本矩阵。极线与基本矩阵的关系为:

$$l_1 = \mathbf{F} \mathbf{p}_0, \quad (4)$$

$$l_0 = \mathbf{F}^T \mathbf{p}_1. \quad (5)$$

基本矩阵  $\mathbf{F}$  含有 9 个未知参数,相差一个非零常数因子下有唯一解,将其中一个非零参数归一化,得到 8 个未知参数,已知 8 对匹配点对,就可以线性地估算出  $\mathbf{F}$ ,这就是 8 点算法的核心思想。将基本矩阵  $\mathbf{F}$  写成矩阵形式:

$$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} F_{11} & F_{12} & F_{13} \\ F_{21} & F_{22} & F_{23} \\ F_{31} & F_{32} & F_{33} \end{bmatrix}, \quad (6)$$

设两个图像上有  $n$  对对应点,  $\mathbf{p}_i = [u_i \ v_i \ 1]^T$ ,  $\mathbf{p}'_i = [u'_i \ v'_i \ 1]^T$ ,  $i=1, \dots, n$ 。那么,它们之间满足极线约束  $\mathbf{p}_i^T \mathbf{F} \mathbf{p}'_i = 0$ ,展开极线约束方程为:

$$u'_i u_i F_{11} + u'_i v_i F_{12} + u_i F_{13} + v'_i u_i F_{21} + v'_i v_i F_{22} + u_i F_{31} + v_i F_{32} + F_{33} = 0, \quad (7)$$

可得到  $n$  个方程,构造向量  $\mathbf{h}$  和矩阵  $\mathbf{A}$ :

$$\mathbf{h} = [F_{11} \quad F_{12} \quad F_{13} \quad F_{21} \quad F_{22} \quad F_{23} \quad F_{31} \quad F_{32} \quad F_{33}], \quad (8)$$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} u'_1 u_1 & u'_1 v_1 & u'_1 & v'_1 u_1 & v'_1 v_1 & v'_1 & u_1 & v_1 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ u'_n u_n & u'_n v_n & u'_n & v'_n u_n & v'_n v_n & v'_n & u_n & v_n & 1 \end{bmatrix}. \quad (9)$$

由公式(7)可知,确定基本矩阵  $\mathbf{F}$  可转换为求线性方程  $\mathbf{A}\mathbf{h} = 0$  的解  $\mathbf{h}$ 。设约束条件为  $\|\mathbf{h}\| = 1$ ,求在这个约束条件下  $\|\mathbf{A}\mathbf{h}\|$  的最小值。对矩阵  $\mathbf{A}$  和  $\mathbf{h}$  进行奇异值分解,当  $n \geq 8$  时,可求解线性方程  $\mathbf{h}$ ,从而确定基本矩阵  $\mathbf{F}$ 。再利用极线与基本矩阵的关系式,计算出特征点在另一幅图像上的对应极线方程。在实际应用中,可以预先在目标场景中设置特征明确、且容易检测出来的点作为算法估计的输入点。例如,在场景中放置 LED 灯或者特殊标识,这样就提高了相互对应特征点确定难度。

### 2.3 单应矩阵

单应矩阵是两幅图像上同一投影点间的一一对应关系。如图 3 所示,点  $P$  在两幅图像上的像点分别为  $p_0$  和  $p_1$ ,图像坐标分别用齐次坐标表示,单应矩阵为  $\mathbf{H}$ 。两幅图像之间的映射变换表示为  $s p_1 = \mathbf{H} p_0$ ,其中  $s$  为非零常数因子,不改变射影变换。单应矩阵  $\mathbf{H}$  是投影平面之间的映射,为  $3 \times 3$  大小的可逆矩阵,秩为 3,自由度为 8。单应矩阵是一幅图像上的点到另一幅图像上的对应点的直接映射,即可以实现点对点的一一对应,这

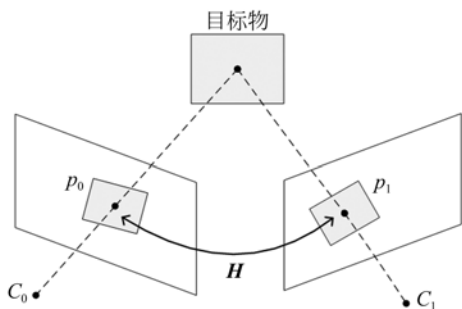


图 3 单应矩阵

Fig. 3 Homography matrix

是基本矩阵不具备的重要性质。

射影变换中,同一平面上直线的射影依然是直线,共面点依然共面,但是大小和角度会发生变化,重合关系和交比大小不变,这就是交比不变性。在本研究中,两输入视点图像的平行化应用了极几何约束中基本矩阵  $\mathbf{F}$  理论,由输入视点图像到任意虚拟视点图像进行纹理粘贴时使用了单应矩阵  $\mathbf{H}$  理论。

## 3 View Morphing 技术

Morphing 技术是一种 IBR 虚拟视点图像合成技术,它可以在两幅或多幅图像之间生成一系列的中间图像,实现以一幅图像到另一幅图像平滑流畅的过渡,分为 Image Morphing 和 View Morphing 两种方法。Image Morphing 是根据对应点的像素值按照一定比率融合来描述渐变状态,所形成的中间图像不符合射影几何关系,既有原始图像的特征,又有目标图像的特征,且重叠区域严重失真,质量比较差。针对这一问题,Seitz 提出了 View Morphing 技术,用以解决线性插值技术中不自然的问题。

### 3.1 传统的 View Morphing

Seitz 和 Dyer 融合了计算机图形学及射影几何学等理论于 1966 年提出了一种图像变形方法,即 View Morphing。整个变形过程符合射影几何关系,且无需空间中所拍摄对象的三维信息,避免了三维重建,并解决了 Image Morphing 变形过程中产生的扭曲失真问题。具体实现步骤如下:

(1)预处理:利用投影变换技术将两幅输入视点图像  $I_0$  和  $I_1$  变换到规范化的结构模式定义下进行平行化预处理,如图 4 所示,两幅图像平面在同一平面内,光轴平行,焦距相等,对极线变成水平扫描线,且对应的特征点位于同一扫描线上,即扫描线特性。

(2)变形处理:使用图像变形技术,对平行化后的原始图像进行插值产生中间过渡图像  $I_s$ 。

(3)后处理:使用逆投影变换将  $I_s$  还原到最初定义的规范化的结构模式下生成新视点图像。

利用上述的 View Morphing 三步算法生成的中间图像可以精确地满足几何关系,解决了线性插值技术中不自然现象,同时避免了三维重建。但是,生成的虚拟视点可移动范围被限定在两个

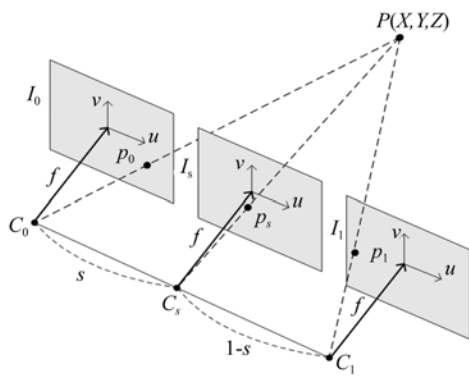


图 4 视图平行化

Fig. 4 View image parallel

输入视点间直线上,所生成的插值图像就是从左相机到右相机方向产生的连续图像。因此,本文的目的就是对传统算法进行改进,推导出大范围、空间中的任意视点图像上对应点和输入视点图像的对应点间的几何关系。

### 3.2 改进的 View Morphing

为了简化坐标系,对两个输入视点进行合理布设,如图 5 所示,输入视点  $C_0$  为三维欧氏坐标

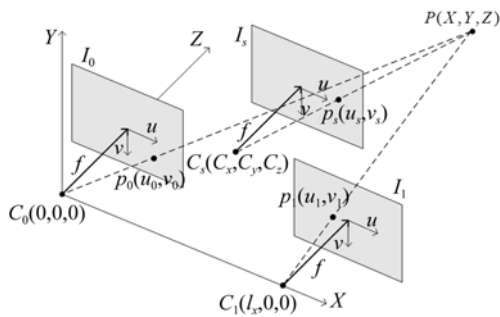


图 5 各视点图像位置关系简化模型

Fig. 5 Simplified model of each view images

系原点,输入视点  $C_1$  位于坐标系的 X 轴上  $l_x$  的位置,此时  $v_1 = v_0$ 。根据射影几何学原理,空间中点  $P$  的三维坐标  $(X, Y, Z)$  与其在各视点  $C_i$  成像平面上的投影点坐标  $(u_i, v_i)$  之间的关系可以用透视投影矩阵  $E_i$  求得,将所有点坐标统一使用齐次坐标,那么空间中任意一个点在两个坐标系下的关系可以用如下齐次矩阵表示:

$$\omega_i \begin{bmatrix} u_i \\ v_i \\ 1 \end{bmatrix} = E_i \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}, \quad (10)$$

其中:  $\omega_i$  为非 0 的常数因子,  $i = 0, 1, s$ 。平行化后的各视点图像光轴互相平行,且与视点图像垂直正相交于各自图像坐标系原点,焦距均为  $f$ , 因此,透视投影矩阵  $E_0, E_1, E_s$  分别为:

$$E_0 = \begin{bmatrix} f & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad (11)$$

$$E_1 = \begin{bmatrix} f & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -l_x \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad (12)$$

$$E_s = \begin{bmatrix} f & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -C_x \\ 0 & 1 & 0 & -C_y \\ 0 & 0 & 1 & -C_z \end{bmatrix}. \quad (13)$$

通过代入公式(10)计算化简可得,空间中任意一点  $P(X, Y, Z)$  的各投影点间的关系为:

$$\begin{cases} u_s = \frac{u_0 l_x f + C_x f (u_1 - u_0)}{l_x f + C_z (u_1 - u_0)} = \frac{u_0 + C_x (u_1 - u_0) / l_x}{1 + C_z (u_1 - u_0) / l_x f}, \\ v_s = \frac{v_0 l_x f + C_y f (u_1 - u_0)}{l_x f + C_z (u_1 - u_0)} = \frac{v_0 + C_y (u_1 - u_0) / l_x}{1 + C_z (u_1 - u_0) / l_x f}. \end{cases} \quad (14)$$

设位置比率参数  $\alpha = C_x / l_x, \beta = C_y / l_x, \gamma = C_z / l_x f$ , 代入式(14)可得到更为简单的表达式:

$$\begin{cases} u_s = \frac{u_0 + \alpha (u_1 - u_0)}{1 + \gamma (u_1 - u_0)}, \\ v_s = \frac{v_0 + \beta (u_1 - u_0)}{1 + \gamma (u_1 - u_0)}. \end{cases} \quad (15)$$

任意虚拟视点  $C_s$  的坐标  $(C_x, C_y, C_z)$  与位置比率参数  $(\alpha, \beta, \gamma)$  是一一对应的,将  $(\alpha, \beta, \gamma)$  作为任意虚拟视点的位置参数。

### 3.3 误差估计

各视点图像间的几何模型以及推导出的各投影点间的几何关系均以图像完全平行化为前提。但是,由于各种因素的影响,如坐标轴的旋转或者平移等都会引起输入视点图像不能完全平行,从而使合成的虚拟视点的坐标存在一定程度的误差。为此本文提出一种有效性评价方法,利用推导出来的几何关系计算出两输入视点图像完全平行化和不完全平行化的两种情况下,合成虚拟视点图像间存在的像素差及输入视点位置参数  $(\alpha, \beta, \gamma)$  的可容忍误差范围。

因为利用位置比率参数进行计算,所以坐标

轴整体在 X 轴方向平移对合成图像的精度没有影响。又因为 Z 轴与相机光轴平行,可以将 Z 轴旋转视为光轴旋转。因此,重点讨论输入视点沿 Y 轴、Z 轴方向的平移误差影响, X 轴、Y 轴的旋转误差影响以及平移和旋转同时存在的组合误差影响。

### 3.3.1 平移误差

输入视点  $C_1$  沿 Y 轴方向产生微小的平行移动,这个平移结果对位置参数  $(\alpha, \beta, \gamma)$  的范围没有影响,又因为参数  $u_1$  不变,且当两个输入视点同时位于 X 轴上时  $v_1 = v_0$ ,因此在 Y 轴方向平移误差对虚拟视点图像合成精度产生的影响可以忽略。

将输入视点  $C_1$  沿 Z 轴方向分别平行移动  $0.1l_z, 0.05l_z, 0.02l_z, 0.01l_z, 0.3l_z$  的距离,同时改变位置比例参数  $(\alpha, \beta, \gamma)$  的值,合成虚拟视点图像与实际图像上对应点间像素误差  $e$  分布如图 6 所示,图 6(a)是  $(\alpha - e)$  ( $\beta = 0, \gamma = 0$ ) 分布;图 6(b)是  $(\beta - e)$  ( $\alpha = 0.5, \gamma = 0$ ) 分布;图 6(c)是  $(\gamma - e)$  ( $\alpha = 0.5, \beta = 0$ ) 分布。其中  $d_0, d_1, d_2, d_3, d_4$  分别表示移动  $0.1l_z, 0.05l_z, 0.02l_z, 0.01l_z, 0.3l_z$  的情况。

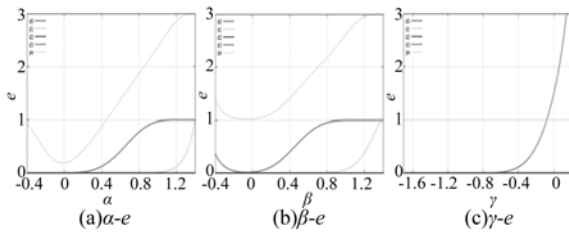


图 6 输入视点沿 Z 轴方向平移的像素误差分布  
Fig. 6 Error of Z-axis translation

由图 6 可知,平移距离小于  $0.1l_z$  情况下,若  $\gamma = 0$ ,那么当  $\alpha < |0.4|, \beta < |0.4|$  时,合成的虚拟视点图像与实际图像之间的误差仅在 1 个像素以内。

### 3.3.2 旋转误差

首先,分析视点  $C_1$  沿获取的图像在 X 轴分别旋转  $+1^\circ, +0.5^\circ, +0.2^\circ, +0.1^\circ$  (左旋为正),同时改变参数  $(\alpha, \beta, \gamma)$ ,合成虚拟视点图像与实际图像上对应点间像素误差分布,如图 7 所示,图 (a)、(b)、(c) 分别是  $(\alpha - e)$  ( $\beta = 0, \gamma = 0$ ) 分布、 $(\beta - e)$  ( $\alpha = 0.5, \gamma = 0$ )、 $(\gamma - e)$  ( $\alpha = 0.5, \beta = 0$ ) 分布,  $d_0, d_1, d_2, d_3$  分别表示旋转  $+1^\circ, +0.5^\circ,$

$+0.2^\circ, +0.1^\circ$  的情况。由图可知,在旋转角度小于  $0.5^\circ$  的情况下,若  $\gamma = 0$ ,当  $\alpha < |1|, \beta < |1|$  时,误差在 1 个像素内。

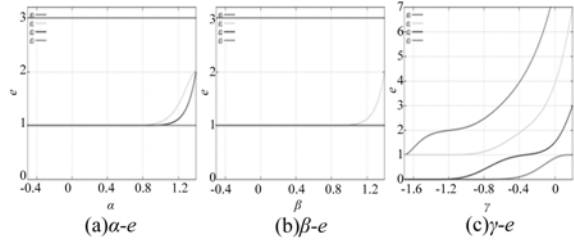


图 7 输入视点在 X 轴旋转的像素误差分布  
Fig. 7 Error of X-axis rotation

其次,分析输入视点  $C_1$  获取的图像在 Y 轴上分别旋转  $+1^\circ, +0.5^\circ, +0.2^\circ, +0.1^\circ$  引起的像素误差分布如图 8 所示,可以看出,在旋转角度小于  $0.5^\circ$  的情况下,若  $\gamma = 0$ ,当  $\alpha < |0.3|, \beta < |0.3|$  时,误差在 1 个像素内。

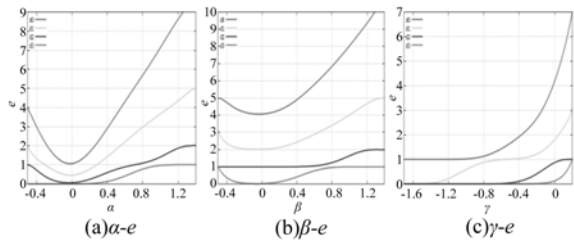


图 8 输入视点在 Y 轴旋转的像素误差分布  
Fig. 8 Error of Y-axis rotation

综上所述,如果  $\gamma$  足够小且接近于 0,那么即使输入视点  $C_1$  在平行化后存在一定范围内的角度偏差,合成的虚拟视点图像误差保持在 1 个像素以内。同一程度的像素误差下,如果旋转度数越小,  $(\alpha, \beta, \gamma)$  的可变范围越大。在实际环境中,将输入相机在各轴的旋转角度设定在  $0.5^\circ$  以下,那么 Y 轴旋转对  $\alpha, \beta, \gamma$  的范围约束更强, X 轴旋转相比 Y 轴旋转对合成精度的影响更小。

### 3.3.3 平移和旋转的多重组合误差

对多重平移和旋转的情况进行分析,事实证明多重平移和旋转组合在一起将会降低虚拟视点图像与实际图像间的像素误差,大大提高合成精度。对输入视点  $C_1$  进行以下多重平移和旋转,在 X 轴旋转  $+0.5^\circ$ ,在 Y 轴平移  $+0.1l_x$ 、旋转  $-0.5^\circ$ ,在 Z 轴平移  $+0.1l_z$ 。根据假设的前提条件  $v_1 = v_0$ ,可以忽略在 X 轴的偏移量,仅分别考

虑每个变量在 Y 轴偏移量对虚拟视点图像对应点位置偏差为依次为  $-1.03, 0.00, 3.58, -2.30$ ，而多重平移和旋转的组合误差对最终合成的虚拟视点图像的影响为各自偏差的总和，使得互相抵消后的结果趋近于 0。实际上，上述多重平移和旋转组合最终引起的误差为 0.25 个像素，其像素误差分布如图 9 所示，比单独的平移或旋转(图 6~8)产生的误差更小。

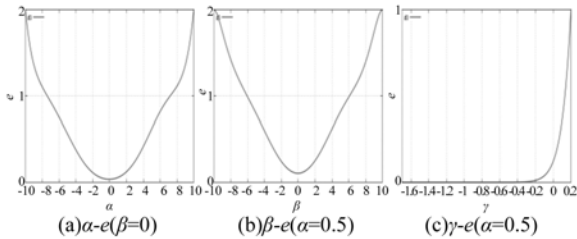


图 9 多重平移和旋转组合的像素误差分布

Fig. 9 Error of translation and rotation composition

通过仿真结果可知，输入视点沿 Y 轴平移对虚拟视点图像的合成精度没有影响；在沿 Z 轴方向平移及 X 轴旋转的情况下，对位置比率参数  $\alpha, \beta, \gamma$  的影响也非常小；与其他平移或旋转相比，Y 轴旋转对  $\alpha, \beta, \gamma$  的影响较大，但是 5 个像素的误差也是在可接受的范围内；多重平移和旋转的组合对图像合成的影响可以互相抵消，比单独的平移或旋转生的误差更小。仿真实验结果表明，即使两输入视点图像无法完全平行化，存在一定的偏差，利用本文改进 View Morphing 方法建立的几何模型以及在该模型下推导出来的几何关系依然可以有效地生成任意虚拟视点图像。

## 4 实验结果与分析

将实际环境中拍摄的图像作为输入图像，利用本文方法合成任意虚拟视点图像，合成的虚拟视点图像与真实环境下该视点拍摄到的实际图像作对比，以验证本文方法的有效性和适用性。

### 4.1 实验环境

实验使用 2 台具有相同内部参数设定的 Canon SX520HS 相机获取图像，实验环境如图 10 所示，2 台相机的光轴平行放置，间隔为 120 cm，且光心位于同一水平线上，距地面的垂直高度为 50 cm，焦点距离  $f = 400$  pixel。对距离 2.5 m 处的立方体纸箱进行拍摄，获取的图像作

为输入视点图像如图 11 所示，左边为相机  $C_0$  获取的图像  $I_0$ 、右边为视点  $C_1$  获取的同一场景的图像  $I_1$ ，图像尺寸大小均为  $320 \text{ pixel} \times 240 \text{ pixel}$ 。

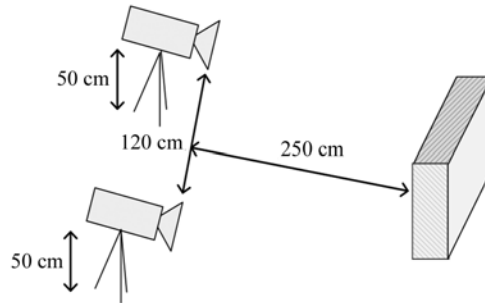


图 10 实际拍摄环境示意图

Fig. 10 Real environment



图 11 输入视点图像

Fig. 11 Input view images

### 4.2 实验结果

本文提出的基于两视点的任意虚拟视点图像生成的步骤如下：(1)指定输入视点图像上对应点群，并进行对应关系匹配；(2)对输入视点图像进行平行化处理；(3)利用三角剖分方法对匹配后的特征点群进行网格化处理；(4)由输入视点图像到任意视点图像进行纹理粘贴，并计算网格内所有点的位置坐标及像素值，生成平行化任意视点图像；(5)利用逆透视投影变换使得平行化任意虚拟视点图像的光轴指向目标对象，生成能反映真实场景的任意虚拟视点图像。

本实验研究的是同一场景在两幅图像上投影的共同观测部分进行合成。为了提高合成图像精度，将目标对象与背景分别进行处理，目标对象指定 17 组对应特征点，共同观测部分的背景指定 15 组对应特征点，三角网格化效果如图 12 所示。

三维欧氏坐标系中，任意虚拟视点  $C_s$  的坐标  $(C_x, C_y, C_z)$  与位置比率参数  $(\alpha, \beta, \gamma)$  一一对应。根据  $\alpha = C_x/l_x, \beta = C_y/l_x, \gamma = C_z/l_x f$ ，计算出本实验环境下，三维空间中任意虚拟视点的位置比例参数，见表 1 所示。

利用本文方法合成表 1 中任意虚拟视点下的

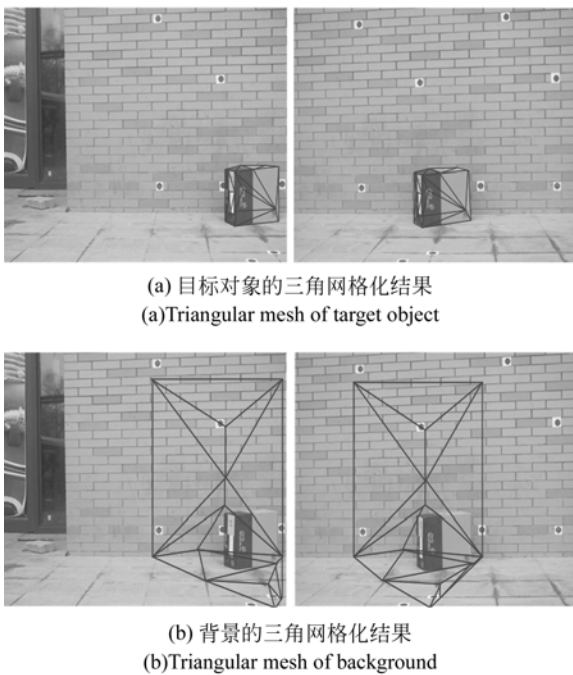


图 12 两输入视点图像上对应三角网格的生成  
Fig. 12 Triangular mesh of two input view point images

图像结果如图 13 所示,其中图(a)、(b)、(c)、(d)为虚拟视点位置比率参数  $\beta = 0.0, \gamma = 0.0$  恒定,逐渐增加参数  $\alpha$ ,虚拟视点从左视点  $C_0$  沿着 X 轴向右视点  $C_1$  移动,此时合成功能和 Seitz 等人提出的 View Morphing 技术一致。对比实验结果,  $\beta$  值增加,相当于虚拟视点沿着 Y 轴正方向移动,实验结果表明观测点从目标对象纸箱的下方移动到上方;  $\gamma$  值增加,虚拟视点沿着 Z 轴正方向移动,光轴方向视点的移动代表景物深度发生变化,

表 1 任意虚拟视点位置比率参数与三维欧氏坐标对应关系

Tab. 1 Relationship of ratio for synthesis arbitrary view-point position and 3D European coordinates

虚拟视点	$(\alpha, \beta, \gamma)$	$(C_x, C_y, C_z)$ (cm)
$C_a$	$(-0.2, 0, 0)$	$(-24, 0, 0)$
$C_b$	$(0.15, 0, 0)$	$(18, 0, 0)$
$C_c$	$(0.2, 0, 0)$	$(24, 0, 0)$
$C_d$	$(1.2, 0, 0)$	$(144, 0, 0)$
$C_e$	$(0.5, 0, -0.0025)$	$(60, 0, -120)$
$C_f$	$(0.5, 0, -0.00125)$	$(60, 0, -60)$
$C_g$	$(0.5, -0.2, 0)$	$(60, -24, 0)$
$C_h$	$(0.5, 0, 0.0025)$	$(60, 0, 120)$

从合成的虚拟视点图像观测到纸箱下面的地板上直线逐渐变短至不可见,同时纸箱越来越大。由于相机拍摄的视角大,本实验只考虑两幅图像的共同观测部分进行合成,将非共同观测的部分,用黑色表示。实验结果表明,本文改进方法提高了虚拟视点可移动范围,即使虚拟视点在 Y 轴、Z 轴方向任意移动,也可以正确地合成该虚拟视点下的图像。

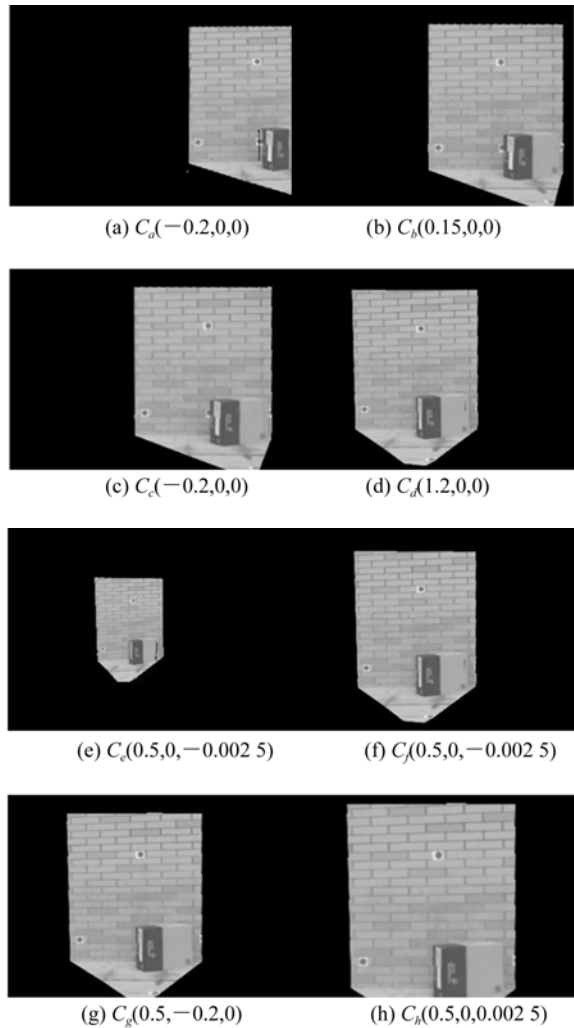


图 13 任意虚拟视点图像合成结果

Fig. 13 Synthesis image for arbitrary view points

### 4.3 有效性分析

选取位置比率参数  $(\alpha, \beta, \gamma)$  为  $(0.5, -0.2, 0)$ , 对应真实视点三维欧氏坐标为  $(60, -24, 0)$ , 将合成的虚拟视点图像与在该视点架设相机拍摄到的实际图像作对比,结果如图 14 所示。

由图 14 可知,真实图像上箱子大小、位置以及周围情况与合成图像大体相同。实验结果表

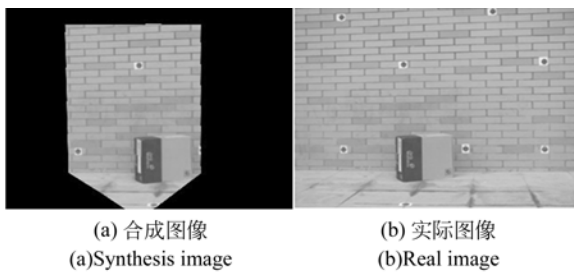


图 14 合成图像与真实图像对比

Fig. 14 Comparison results for synthesis and real images

明,本文提出的基于两视点的任意虚拟视点图像合成方法仅利用虚拟视点与输入视点位置的比率就可以生成空间中没有不自然感的大范围任意移动的虚拟视点图像。

## 5 结 论

本文针对虚拟视点图像合成精度和任意虚拟视点的可移动范围受限的问题,提出了一种基于两视点的任意虚拟视点图像合成方法。

### 参考文献:

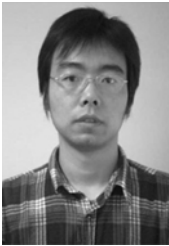
- [1] WOLBERG Q. Image morphing: a survey [J]. *The Visual Computer*, 1998, 14(8): 360-372.
- [2] SMOLIC A, FEHN C, MÜLLER K, et al.. MPEG 3DAV-video-based rendering for interactive TV application[C]. *Proceedings of the 10th Dortmund Fernsehseminar, Dortmund*, 2003: 183-188.
- [3] SMOLIC A, KAUFF P. Interactive 3D Video Representation and Coding technologies[J]. *Proceedings of the IEEE, Special Issue on Advances in Video Coding and Delivery*, 2005, 93(1): 99-110.
- [4] SAITO H, BABA S, KANADE T. Appearance-based virtual generation from multicamera video captured in the 3-D Room [J]. *IEEE Multimedia*, 2003, 5(3): 303-316.
- [5] SHUM H Y, KANG S B. A review of image-based rendering techniques[C]. *IEEE/SPIE Visual Communications and Processing (VCIP)*, Perth, 2000: 2-13.
- [6] 刘然, 朱庆生, 易琳, 等. 基于图像重投影的视图合成[J]. *计算机应用*, 2010, 30(4): 898-901.
- [7] LIU R, ZHU Q SH, YI L, et al.. View synthesis based on image reprojection [J]. *Journal of Computer Applications*, 2010, 30(4): 898-901. (in Chinese)
- [8] KYOUNGSU O, HYOWON K, CHULHAN L, et al.. Real-time rendering of multi-view images from a single image with depth [C]. *Proceedings of the 5th International Conference on Computational Science and Applications, Washington, DC: IEEE Computer Society*, 2007: 505-509.
- [9] BEIER T, NEELY S. Feature-based image metamorphosis [J]. *Computer Graphics (SIGGRAPH'92)*, 1992(26): 35-42.
- [10] CHEN S E, WILLIAMS L. View interpolation for image synthesis [J]. *Computer Graphics (SIGGRAPH'93)*, 1993: 279-288.
- [11] FUCHS H, BISHOP G, ATHUR K, et al.. Virtual space teleconferencing using a sea of cameras [J]. *In First International Symposium on Medical Robotics and Computer Assisted Surgery*, 1994: 161-167.
- [12] HAVALDAR P, LEE MS, MEDIONI G. Synthesizing novel views from unregistered 2-D images [J]. *Computer Graphics Forum*, 1997, 16(1): 65-

对两输入视点进行合理布设,简化坐标系,根据射影几何学和极几何原理推导出空间中任意虚拟视点图像与两输入视点图像上对应点之间的几何关系;对各视点图像进行特征点提取、对应关系匹配、视图平行化、三角网格化、纹理粘贴、逆透视投影变换等处理,利用虚拟视点与输入视点间的位置比率参数及少量的相机信息,生成任意虚拟视点图像。避免了繁杂的三维重建,解决了传统 View morphing 技术合成的虚拟视点位置受限问题,同时提高了虚拟视点图像的合成精度和质量。

通过模拟仿真实验对本文方法合成的任意虚拟视点图像的误差范围进行估计,并将合成的虚拟视点图像与在该视点实际拍摄图像对比。实验结果表明,本文提出的基于两视点的任意虚拟视点图像合成方法仅利用虚拟视点与两输入视点间的位置比率参数就可以生成空间中没有不自然感的大范围任意移动的虚拟视点图像,即使输入视点图像无法完全平行化,本文方法依然合理有效。

- 73.
- [12] FAUGERAS O, LAVEAU S, ROBERT L, *et al.*. 3-D reconstruction of urban scenes from sequences of images [J]. *Computer Vision and Image Understanding*, 1998, 69(3):292-309.
- [13] CHEN S E, WILLIAMS L. View interpolation for image synthesis [J]. *Computer Graphics (SIGGRAPH'93)*, 1993:279-288.
- [14] SEITZ S M, DYER C R. View Morphing [J]. *Proceedings of SIGGRAPH'96*, 1996:21-31.
- [15] XIAO J J, SHAH M. From images to video: view morphing of three images [C]. *Conference on Vision, Modeling and Visualization*, 2003:495-502.
- [16] HARTLEY R, ZISSERMAN. *Multiple View Geometry in Computer Vision* [M]. Cambridge: Cambridge University Press, United Kingdom, 2000.

#### 作者简介:



梁华刚(1980—),男,陕西西安人,博士,研究员、讲师,2006年、2009年于日本国立福井大学分别获得硕士、博士学位,主要从事机器视觉及模式识别方面的研究。E-mail: lhg19800305@hotmail.com



孙小晔(1992—),女,陕西西安人,硕士研究生,2012年于长安大学获得学士学位,主要从事机器视觉和图像处理的算法研究。E-mail: 524274509@qq.com