

人脸全景纹理图像拼接算法

姚嘉梁^{1,2}, 胡 君¹

(1 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;

2 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要: 研究人脸部位真实图像问题, 为了获得真实感人脸三维模型, 提出一种柱面人脸全景纹理图像拼接算法。考虑到人头部接近于一个圆柱体以及因投影方向不同直接进行拼接会造成视觉的不一致性, 采用了一种人脸特征的柱面投影方法; 针对人脸纹理特征信息丰富的特点, 利用特征块匹配法配准相邻的图像; 再根据亮度直方图均衡法消除相邻图像的亮度差异; 并使用改进的平滑因子实现图像的平滑过渡。实验表明算法能够有效地消除视觉不一致性, 快速有效地生成真实感人脸全景图像, 为三维建模提供参考依据。

关键词: 人脸全景纹理图像; 无缝拼接; 柱面投影; 特征块匹配; 直方图

中图分类号: TP391.41 文献标识码: B

Mosaic Algorithm of Face Texture Panoramic Image

YAO Jia-liang^{1,2}, HU Jun¹

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences,

Changchun Jilin 130033, China

2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

ABSTRACT: In order to obtain realistic 3D model of human face, a face texture panoramic image mosaic algorithm was proposed. Considering that the human head is similar to a cylinder and stitching the images directly will lead to unreal result, cylindrical coordinate projection is implemented. Block-matching method is used to register the neighboring images because of rich texture information of human face. And brightness histogram is used to eliminate the brightness differences between adjacent images. Furthermore, smooth factor is used to merge the overlapping images. The experiments show that this algorithm can eliminate the visual inconsistency efficiently and generate the face texture panoramic image quickly, which can be used in 3D modeling of real human face.

KEYWORDS: Face texture panoramic image; Seamless stitching; Cylindrical coordinate projection; Block matching; Histogram

1 引言

在人类的交流过程中最重要的手段应该是语言, 再接下来就是人类的肢体语言, 而在肢体语言中最重要的表达部位应该就是人脸, 人脸表面具有高度复杂的几何形状和十分丰富的纹理信息, 正因为如此研究人脸建模有着其特殊的意义。自古以来人们就开始寻找人脸的建模方法, 中国的壁画, 浮雕; 外国的素描, 雕塑。人们所追求的是多方位的表达手法, 但受限于人类的认识, 这些建模方法都只局限于二维表达, 并不能全面的表达出人脸的信息。但随着人类对空间

的认识以及计算机技术的出现和发展, 让人脸三维建模成为了现实, 并成为计算机图形学领域的一个重要分支, 出现了基于激光扫描的三维建模、基于曲线曲面的三维建模等方法^[1], 其中基于图像的三维人脸建模技术是一种比较经济可行的建模方法: 一般要经过人脸特征信息提取、个性化人脸模型建立和纹理合成与纹理映射三个步骤。人脸全景纹理图像的拼接是人脸三维建模中的一个重要的环节, 其拼接效果直接影响到建模结果的真实感。人脸全景纹理图像拼接既有一般的图像拼接的特点又有其特殊的地方。传统的人脸全景纹理图像的拼接方法, 着重考虑如何配准拼接相邻的重叠图像, 而没用考虑到从不同方向拍摄得到的图像直接进行拼接获得的全景图像存在着较严重的图像扭曲, 本文充分地分析了造成这种缺陷的原因, 提出了基于柱面投影的人脸

全景纹理图像的拼接方法,并通过对实验结果进行对比,证明该方法是可行的。另一方面图像配准是所有图像拼接都要涉及到的一项重要步骤,主要有比值匹配法和特征块匹配法两大类,考虑到人脸纹理信息丰富,对应的边缘信息和特征点信息也十分丰富,本文采用了特征块匹配法,实验表明应用该方法可以快速的配准相邻的图像;再应用亮度直方图均衡法消除相邻图像的亮度差异;并使用改进加权因子的渐进渐入方法实现图像的平滑过渡获得人脸柱面全景纹理图像。

2 人脸图像拼接基本原理

传统的基于正侧面两幅图像出发的合成纹理图像的方法虽然算法简单,但人脸的许多特征及纹理信息并不能在正面和侧面照片中表达出来,并且由于受光照以及拍摄角度的影响获得的纹理图像无法满足视觉一致性的要求。针对这两个问题本文提出两方面的改进。

1)多角度拍摄。对于生成周围景物的全景图像,其素材是通过以镜头为轴转动一周连续拍摄获得的^[2,3],但不能用这种方式来拍摄人脸。拍摄景物是视点不变、拍摄方向改变、拍摄目标变动,拍摄人脸是视点变动、拍摄方向改变、拍摄目标不变,这两种拍摄方式有着本质上的区别。人脸图像的拍摄方式如图1所示,以人头部为中心轴绕着轴转动一周多角度连续拍摄,拍摄过程中要求镜头要对准人头部并且要求获得的相邻图像边界有一定程度的重叠。

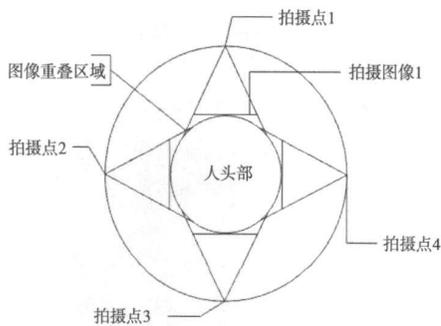


图1 拍摄方式

2)人脸柱面投影。由于图像系列是在不同的方向上的二维投影得到的,从图2中可以看出同一段弧AB在相邻的两张图像上投影CD与EF长度是不同的,这就使得同一部分纹理在不同投影图像上不一致,从而无法满足视觉的一致性,给拼接带来困难,因此需要将待拼接的图像投影到一个标准坐标空间上,再进行拼接。考虑到人头部轮廓近似于一个圆柱体以及柱面坐标变换比较简单并且投影图像与其投影到圆柱表面的位置无关,所以选取柱面坐标为标准坐标空间,实验证明用其描述的柱面人脸全景图像可以在水平方向上满足360°环视,较好的满足视觉一致性的要求^[2]。

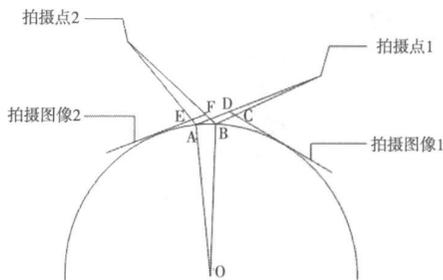


图2 视觉不一致性

3 人脸图像拼接关键算法

3.1 柱面投影

柱面投影就是将图像投影到柱面坐标上,以满足视觉一致性的要求。由于拍摄方式的不同,所以本文采用的柱面投影方法得到的计算公式也不同于文献[3]给出的公式。如图3所示,O为观测点(拍摄点),K为投影柱面,I为待投影的人脸图像,II为I的柱面投影图像。并使O点在I以及II上的投影落在图像的中心点P处。

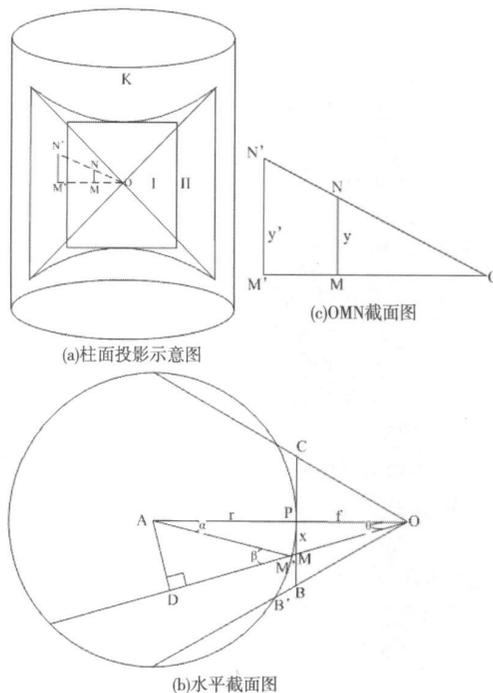


图3 柱面投影

由于人脸图像是以像素为基本单位,不同于一般的空间距离单位,这样在计算中就存在着度量单位的不统一的问题,为了避免相互转化带来的不便,该算法统一选取像素作为基本度量单位。为了计算的方便,取I以及II的中心位置P作为像素原点。

图3(a)过O点取水平截面得到图3(b)。其中图像的

宽度为 W , 高度为 H , 焦距为 F , 而圆形的半径的取值问题, 根据中国成人人体头部尺寸男女统计信息: 头围 561mm - 546mm; 头最大长度 184mm - 176mm; 头最大宽度 154mm - 149mm^[4]。综合考虑男女的头部尺寸取圆柱半径 $R = 85\text{mm}$ 来进行计算。再进行度量单位的统一处理得焦距为 f , 圆柱半径为 r 。其中 $M(x, 0)$ 为截面上图像中任意一点, $M'(x', 0)$ 为对应的柱面投影点。由三角关系可得:

$$\begin{cases} \angle \theta = \arctan \frac{x}{f} \\ AD = (f+r) \sin \angle \theta = \frac{(f+r)x}{\sqrt{f^2+x^2}} \\ \angle \beta = \arcsin \frac{AD}{AM'} = \arcsin \frac{(f+r)x}{r\sqrt{f^2+x^2}} \\ \angle \alpha = \angle \beta - \angle \theta = \arcsin \frac{(f+r)x}{r\sqrt{f^2+x^2}} - \arctan \frac{x}{f} \end{cases} \quad (1)$$

其中 x 的取值范围为 $[-W/2, W/2]$ 。在投影面上以弧长作为投影图像上的水平坐标, 则其对应的公式:

$$x' = r \angle \alpha \quad (2)$$

OMN 截面如图 3(c) 所示, $N(x, y)$ 为 OMN 截面上待拼接图像中任意一点, $N'(x', y')$ 为对应的投影点。可得如下关系式:

$$\begin{cases} \frac{y'}{y} = \frac{OM'}{OM} \\ OM = \sqrt{f^2+x^2} \\ OM' = OD - DM' = \frac{(f+r)f}{\sqrt{f^2+x^2}} - \sqrt{f^2 - \frac{x^2(f+r)^2}{f^2+x^2}} \end{cases} \quad (3)$$

柱面投影公式:

$$\begin{cases} x' = r \left(\arcsin \frac{(f+r)x}{r\sqrt{f^2+x^2}} - \arctan \frac{x}{f} \right) \\ y' = \frac{yf(f+r) - y\sqrt{r^2f^2 - x^2f^2} - 2x^2fr}{f^2+x^2} \end{cases} \quad (4)$$

在这里面要求拍摄点 O 与图像边界点 B 的延长线一定要与投影柱面相割或者相切, 也就是说拍摄的广角 $\angle BOC$ 不能过大, 主要的目的在于防止角度过大造成边界部分投影模糊化。

3.2 图像配准

人脸纹理信息丰富, 对应的边缘信息和特征点信息也十分丰富, 为准确的进行图像配准提供很好的条件。

首先, 应用边缘信息进行特征块与搜索块的选取。在待拼接的两幅图像上初步划分出待拼接带(如图 4 所示: 图像 1 的右侧 1/4 部分, 图像 2 的左侧 1/4 部分), 并在拼接带上寻找一系列特征点。特征点的选择方面上, 使用 sobel 算子对两块拼接带图像进行边缘检测, 再进行阈值处理得到二值边缘图 $E(i, j)$ 以及 $F(i, j)$, 然后以图像中每个像素点的领域边缘量 (NEA) 来定义此位置的边缘信息大小^[4]:

$$\begin{cases} NEA1(i, j) = \sum_{m=-a}^a \sum_{n=-a}^a E(i+m, j+n) \\ NEA2(i, j) = \sum_{m=-a}^a \sum_{n=-a}^a F(i+m, j+n) \end{cases} \quad (5)$$

其中 a 为在点 (i, j) 处所取领域的 $1/2$ 长度。以 NEA 值为依据, 分别找出图像 1 中值最大的点(点*)以及图像 2 中前 H 个值最大的点如图 4 所示。以图像 1 中的点* 为中心, 取一大小适中 (x 方向长度为 e , y 方向的长度为 c 一般取 $e=c$) 的块作为特征块 w 。分别以图像 2 中选取的 H 个点为中心, 以 x 方向长度为 e' , y 方向的长度为 c' 的范围空间作为配准的搜索区域, 其中 $e' > e$, $c' > c$ 。

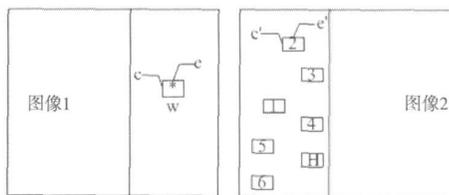


图 4 图像配准示意图

在确定了特征块以及搜索区域之后, 就要确定配准准则。本算法采用 Richard Szeliski 方法, 以重叠部分的像素值的平方和为标准来衡量是否配准。公式如下:

$$E = \sum_{i=-c/2}^{c/2} \sum_{j=-e/2}^{e/2} [w(i, j) - s(i, j)]^2 \quad (6)$$

其中 w 为图像 1 中选取的特征块, s 为搜索块。搜索的过程相当于特征块 w 在搜索区域内进行滑动, 最佳匹配块为 E 值最小的时候所对应的搜索块。从而确定待拼接图像的相对位置。

该算法可以通过调节所取特征点数 H 以及搜索区域大小 e' 和 c' 来控制计算量以及调节配对的成功率。在保证配准成功的情况下使图像的配准时间达到很短。

3.3 图像融合

在理想的情况下同一物体在相同的环境下应该具有相同的亮度, 但由于拍摄角度的变动以及光源的变换就会造成同一物体在相邻两幅图片上存在较大的亮度差异, 针对亮度不一致所造成拼接区域有明显的拼接痕迹的问题, 提出了一种亮度直方图校正的处理方法:

- 1) 首先从 24 位的 RGB 图像中得到 HSL 颜色空间的 L 分量 (亮度分量)。
- 2) 确定相邻图像的重叠区域, 要求像素个数要一致。
- 3) 分别计算左右两边重叠区域的 L 分量的数值和 s_1 与 s_2 。
- 4) 权值 $p = s_1/s_2$ 将右边图像的每一个像素的 L 分量乘以权值 p , 这样就保证了相邻两幅图像的亮度的统一, 为重叠区域的后续拼接更加平滑提供条件。

在不同光照条件下, 除了会造成相邻图像的亮度差异之外也可能造成色度空间上的一定微小差异, 所以在两张相邻

图像亮度统一之后,综合考虑算法的复杂性以及拼接的效果,本算法采用了一种改进加权因子的渐进渐入的方法^[6]。拼接后人脸图像重叠区域的像素值 $image3$ 如式 (7) 所示,其中 $image1$ $image2$ 分别表示拼接带左侧图像与右侧图像重叠区域中对应点的像素值。

$$image3 = (1 - k) * image1 + k * image2 \quad (7)$$

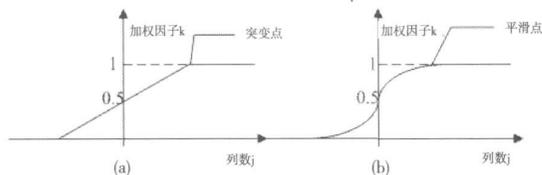


图 5 加权因子

传统的拼接方法中加权因子 k 的变换如图 5 (a), k 从 0 到 1 线性递增, 由于加权因子 k 的一阶导数不连续性使得采用该方法拼接得到的图像在拼接带的两端会出现有轻微的突变效果。为了使得拼接的图像更加的平滑过渡, 有必要对拼接加权因子进行改进, 改进式如式 (8), 对应函数图像如图 5 (b), 改进后的加权因子在全区域内是一阶导数连续的, 这样就可以消除拼接带两端突变的现象。

$$k = \begin{cases} \frac{(x+1)^2}{2} & x \in [-1, 0) \\ -\frac{(x+1)^2}{2} + 1 & x \in [0, 1] \end{cases} \quad (8)$$

清晰度与平滑度是相互矛盾的, 应用亮度直方图均衡法及改进加权因子的渐进渐入拼接方法可以在一定程度上兼顾这两方面, 消除拼接痕迹。

4 实验结果

实验中使用的图像系列是采用佳能 A570IS 数码相机在室内日光灯照射等焦距的条件下依照图 1 所示的方式拍摄得到的, 相邻图像之间的重叠区域在 15% 左右。图 6 (a) 为系列图像中的其中一张, 图 6 (b) 为其对应的柱面投影图像, 图 6 (e) 给出了由连续 5 幅图像拼接得到的人脸纹理全景图。从试验结果可以看出相邻的图像之间过渡自然, 拼接良好, 没用明显的拼接痕迹, 较好地满足了视觉一致性的要求。

相邻的图像中同一物体由于拍摄角度的不同, 存在着视觉不一致的现象。图 6 (d) 是直接拼接相邻两幅图像得到的结果, 发现由于视觉的不一致性致使拼接处图像出现部分对齐, 部分错开的现象。对比图 6 (e) 是采用本文提出的柱面投影方法进行处理得到的结果, 实验表明经过了柱面投影处理可以一定程度上消除视觉的不一致性。

另一方面在纹理丰富的区域例如人脸正面部分可以快速精准的进行拼接; 在纹理贫乏的区域例如人后脑勺部分特征信息比较稀疏, 这不利于拼接配准, 通过调整特征点数 H

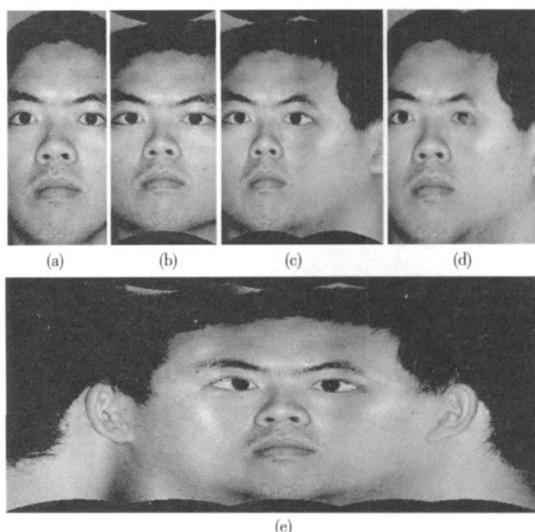


图 6 拼接结果

以及搜索区域大小 (e' , c'), 在不同的纹理区域条件下都能够正确地拼接上的。但清晰度与平滑度是相互矛盾的, 在图像重叠区域会有一定的模糊现象, 这还有待改进。

5 结论

人脸纹理图像拼接是基于图像的三维人脸建模技术中的一个重要的环节。近年来, 人脸三维建模在虚拟现实、影视制作、视频直播、辅助教学、医学研究、游戏娱乐等诸多方面都得到了广泛的应用^[9], 人脸纹理图像的拼接有其研究的价值。本算法充分的考虑了人脸纹理信息丰富以及人头部的几何形状, 采用了基于柱面投影的特征块匹配方法, 实现了人脸纹理图像的快速精确拼接。实验结果表明该算法能够有效地消除视觉不一致性, 为三维人脸建模提供真实感的全景纹理图像。

参考文献:

- [1] X Fang et al. Continuous Field Based Free-form Surface Modeling and Morphing [J]. Computer & Graphics, 2001, 25(2): 235 - 243
- [2] 钟力, 张茂军, 孙立峰, 李云浩. 360 度柱面全景图像生成算法及其实现 [J]. 小型微型计算机系统, 1999, 20(12): 899 - 903
- [3] 王娟, 师军. 一种柱面全景图像自动拼接算法 [J]. 计算机仿真, 2008, 25(7): 213- 215
- [4] 肖惠, 滑东红, 杨廷欣, 刘伟. 中国成年人头面部尺寸的研究 [J]. 人类工效学, 1998, 4(12): 25 - 30
- [5] 侯舒维, 郭宝龙. 一种图像自动拼接的快速算法 [J]. 计算机工程, 2005, 31(15): 70 - 72
- [6] 赵娜. 基于照片的三维人脸建模技术研究 [D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2007.

(下转第 319 页)

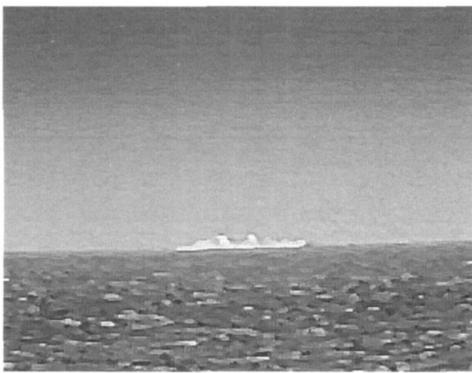


图 3 拉普拉斯锐化

要求,采用 VC编程无疑是最佳的选择。另外,软件应采用模块化的设计方法,应用实时操作系统来实现。

4)由于视频图像数据流庞大,数据的读取非常耗时,所以数据流结构和流向的设计非常重要。另外,在体积、重量允许的条件下,当运算速度难以达到时,可以使软件设计硬件化,以提高系统的实时性。

4.4 仿真结果分析

1)对于用改进的中值滤波处理后的图像,图像噪声大大降低,图像质量明显提高。改进的中值滤波不仅较好地消除了强脉冲性噪声的影响,而且较好地保留了图像的边缘,达到了图像预处理的要求。但是,图像轮廓不够清晰,无法达到目标识别的要求。

2)采用改进的中值滤波法时,用大窗口的运算量大,耗时长,而且随着窗口的变大,运算量显著增大,耗时变长,但是图像效果提高不明显。考虑到图像处理效果和系统实时性的要求,若用此法处理图像时,最好先选用较小的窗口,不满足要求时再选择较大的窗口。

3)从各向同性观点来看,拉普拉斯锐化具有各向同性,即能对任何走向的界线和线条进行锐化,无方向性。从边缘增强效果来看,用拉普拉斯锐化勾勒边缘强,轮廓清晰,达到了易于目标识别的要求。

4)尽管拉普拉斯锐化会增强图像的噪声,但由于图像的

锐化处理是在图像平滑后进行的,所以锐化处理后的图像的噪声不会对图像的质量造成大的影响。

因此,对于红外辐射大气传输的舰船红外图像的识别,先用改进的中值滤波方法进行预处理,再进行拉普拉斯锐化处理,可以达到易于实时识别目标的目的。

5 结束语

首先研究了红外辐射在大气传输中的特性和舰船的红外辐射特性,然后,通过对因红外辐射大气传输造成降质的舰船红外图像用改进的中值滤波进行预处理,再对预处理后的图像进行拉普拉斯锐化处理。最后,从仿真结果得出:对因红外辐射大气传输造成的舰船红外图像降质问题,可以先用改进的中值滤波进行图像预处理,再通过拉普拉斯锐化处理进行边缘增强,这样能较好的解决舰船目标红外图像的自动识别与跟踪问题。

参考文献:

- [1] 吕百达. 强激光的传输与控制 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1999
- [2] 徐淦卿, 陈珏, 程东杰. 红外物理与技术 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1989.
- [3] 孙晓泉, 吕跃广. 激光对抗原理与技术 [M]. 北京: 解放军出版社, 2000
- [4] 王建, 张迪超, 蒲元远. 舰艇的红外隐身技术 [J]. 舰船电子对抗, 2008 28(3): 24-28.
- [5] 沈庭芝, 方子文. 数字图像处理及模式识别 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1998.
- [6] 刘延武, 何友金, 陆斌. 舰船目标红外图像预处理研究 [J]. 红外技术, 2003 25(3): 9-12.



[作者简介]

刘延武 (1977.10-), 男 (汉族), 山东东平人, 博士研究生, 讲师, 主要研究领域为光电信号与信息处理、数字图像处理与识别。

(上接第 279 页)

- [7] 黄有群, 付裕, 马广妮. 基于 RANSAC 算法的柱面全景图拼接方法 [J]. 沈阳工业大学学报, 2008, 30(4): 461-466.
- [8] 黄信新, 齐德昱, 王秀媛. 实时图像轮廓抽取算法研究 [J]. 计算机应用, 2001, 21(3): 46-48.
- [9] 容观澳. 计算机图像处理 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.
- [10] 张翔宇, 华蓓, 陈意云. 人脸建模和动画的基本技术 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2001, 13(4): 342-347.
- [11] 钟力, 胡晓峰. 重叠图象拼接算法 [J]. 中国图象图形学报, 1998 3(5): 367-369.

- [12] 付金红. 柱面全景图像拼接算法的研究 [D]. 哈尔滨理工大学, 2005.

[作者简介]



姚嘉梁 (1985-), 男 (汉族), 福建泉州人, 硕士研究生, 主要研究领域为建模仿真、图像处理。

胡君 (1952-), 男 (汉族), 吉林蛟河人, 研究员, 硕士生导师, 主要研究方向为智能控制与信息处理、光机电一体化、CAD 技术应用和测试仿真技术。