

用于面诊的人脸全景图像拼接算法

宁雪丽, 陈兆学

上海理工大学医疗器械与食品学院, 上海 200093

【摘要】采用一种基于人脸特征的柱面投影方法,将人的头部近似看做一个圆柱体,有效地解决了在采集过程中因面部角度所引起的视觉不一致性;利用SIFT特征匹配算法提取两幅图像的特征向量,并通过RANSAC匹配优化算法消除错误的匹配,实现图像的配准;接着采用渐入渐出的融合算法,使图像间实现平滑的过渡,消除拼接缝隙。实验结果表明,本研究使用的算法能够快速、有效地生成人脸全景图像,为后续中医面诊奠定了基础。

【关键词】中医面诊;人脸全景图像;柱面投影;图像配准

【中图分类号】R318;TP391

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2020)04-0456-07

Face panoramic image mosaic algorithm for face diagnosis

NING Xueli, CHEN Zhaoxue

School of Medical Instrument and Food Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China

Abstract: A cylindrical projection method based on facial features is used to approximate the human head as a cylinder, which effectively solves the problem of visual inconsistency caused by different facial angles during image acquisition. SIFT feature matching algorithm is used to extract the feature vectors of two images, and the optimized RANSAC matching algorithm is used to eliminate false matches, thereby realizing image registration. Then fade-in and fade-out fusion algorithm is applied to smooth image transitions and eliminate stitching gaps. The experimental results show that the proposed algorithm can generate the panoramic image of face quickly and effectively, which lays a foundation for the follow-up face diagnosis in traditional Chinese medicine.

Keywords: face diagnosis in traditional Chinese medicine; panoramic image of face; cylindrical projection; image registration

前言

中医医生可以根据人面部的光泽和颜色,以及面部唇色的差异看出人体内部气血的运行状况^[1]。《黄帝内经》对人面部颜色、光泽的变化与其脏腑状态间的关系进行了描述^[2]。面部诊断不仅历史悠久,而且在中医临床应用中具有重要的意义,中医医生可以通过观察人的面部神色进行诊断和施治,不会引起病人任何的不适,也不会对人体造成任何的创伤。

随着中医面诊客观化研究及计算机技术的飞速发展,我们可以通过图像处理将人脸拼接成一个完

整的具有立体感的二维图像方便医生进行快速诊断。姚嘉梁等^[3]提出基于特征块的匹配算法配准相邻的人脸图像,但必须保证相邻图像重合面积足够大,且旋转角度小,此方法处理得到的图像较模糊,无法达到面诊要求。郑青碧等^[4]采用传统的利用正、侧面折线法实现人脸拼接,再对其进行归一化处理,这样只能机械地实现正侧面拼接,无法去除因面部角度问题带来的误差。目前,市面上具有“扫描全景模式”功能的相机,不仅价格高昂,而且拍摄规则的物体特别是人脸时,容易拼接错位。高也陶^[5]在最新的面部脏腑肢节分区法中提出面部的角度会影响计算机提取信息准确性的问题。人的面部是立体的,特别是颧骨凸起处使得其下方和后方区域存在一定的斜度,每个人的颧骨凸出程度不同,在光线下,左右两侧会因为斜度产生一定的误差,影响采集数据的准确性,必须对其进行妥善处理和解决。可以通过同时采集左、右和正面的人脸图片,并将这些不同角度的图片转换为同一平面,才能够准确予以分析^[5]。但是采集的图片存在角度差异,如果角度差异

【收稿日期】2019-12-19

【基金项目】上海市教委科研创新项目(13YZ069)

【作者简介】宁雪丽,硕士研究生,主要研究方向:生物医学图像处理,
E-mail: ShirleyNXL@163.com

【通信作者】陈兆学,博士,副教授,主要研究方向:生物医学图像处理、
信号处理、模式识别,E-mail: chenzhaoxue@163.com

小,影响不明显;如果角度差异大,直接进行拼接时,不仅会造成视觉上的不一致性,还将使获得的全景图像出现严重的扭曲和重影。

为了有效地解决上述问题,本研究提出一种全景人脸拼接算法。先从多角度拍摄获得不同角度的人脸图像;然后将得到的图像进行预处理,包括图像去噪和柱面投影;采用SIFT特征匹配算法,提取预处理后不同角度人脸图像中的特征向量,计算出相邻两幅图像之间的平移、旋转等拼接参数来进行特征向量匹配;接着利用RANSAC匹配优化算法,进一步剔除错误的匹配,提高配准的精确度;最后使用渐入渐出算法融合匹配得到的图像,消除拼接缝隙,得到全景图像。实验表明,本研究算法处理后能快速有效地得到真实感的人脸全景图像,从而能够帮助医生进行面部诊断,对中医面诊客观化发展有较大的参考与应用价值。

1 图像的采集

为了生成视角宽广、分辨率高的人脸全景图像,首先需要进行图像的采集。为保证后期图像拼接各环节的处理质量,如何有效采集高质量的图像至关重要。

我们可以利用三脚架等支撑设备将数码相机或手机固定不动,然后绕着固定的旋转轴进行旋转拍摄。拍摄时,要求被拍摄者必须保持静止不动,相机每旋转一定的角度就拍下对应的一张图片,但要保证相邻的图像之间具有一定比例的重叠区域,通常为30%~50%。重叠区域是一个重要因子,它决定了后期图像配准的精度和效率。当对两相邻的图像进行拼接时,重叠区域越大,配准精度越高且难度越小;反之,当重叠区域越小,配准精度越低且难度越大,降低了拼接质量。但是重叠区域要有一定的范围,当重叠区域过大时,完成同一个场景的拼接需要的图像数目更多,配准误差就会累计成倍增加,不仅降低配准精确度,而且造成拼接时间增长。因此,在实际操作过程中,我们要对重叠区域和图像数目进行合理的分配,从而降低运算量、提高匹配速度及准确度,照相机的拍摄方式如图1所示。

2 图像预处理

由于采集环节相机绕固定轴旋转,采集到的图像角度和光照强度不相同,还存在一定的噪声和形变,给图像拼接造成困难,影响拼接效果,所以为了能够得到视觉效果更好的人脸全景图,我们需要先对采集得到的图像进行预处理。本文主要对图像进行去噪和柱面投影变换。

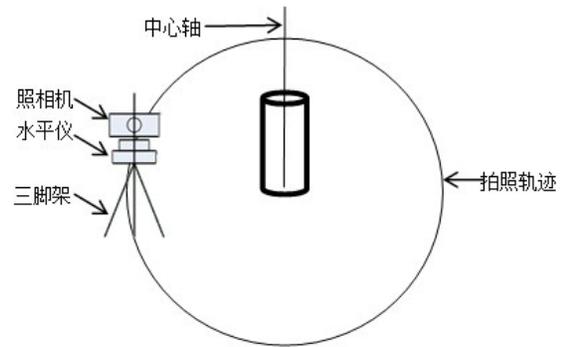


图1 拍摄方式

Fig.1 Photography method

2.1 图像去噪

图像噪声是指采集图像时,由拍摄设备本身以及外界一些不可消除的影响而产生的干扰信息。噪声的存在会影响图像拼接的视觉效果,因此在拼接之前要先对图像进行去噪处理。一般常用均值滤波、中值滤波和非局部均值滤波等方法来去除采集到图像中的噪声^[6]。这里导致图像特征定位困难的主要原因是光照条件发生了变化,我们可以通过对图像进行中值滤波处理来解决这个问题。

2.2 柱面投影

在实验过程中发现当两张相邻图像拍摄角度小于15°左右时,用柱面投影与不用柱面投影直接进行拼接最终得到的图像效果相差不大,但是根据前文所述,相差角度越小所需拼接的图像数目就越多,导致运算量增加的同时配准误差也会成倍增加,这里我们的相邻图像相差45°左右,所以必须先进行柱面投影,否则会造成视觉不一致,使图像出现扭曲。柱面投影简单来说就是从相机的角度出发,拍摄时相机所拍的人头部相片近似在同一柱面上,但直接拼接就会因为角度的差异出现扭曲和严重的重影,为了能将多张图像拼接成完整的人脸全景图像,我们必须把图像还原到柱面上,也就是将图像变换到统一的坐标系下。

柱面投影后图像中的像素点所对应的关系如图2所示,图2a柱面投影正视图中ABCD是待投影的原图像P,abcd是投影到柱面之后所对应的曲面图像P'。图2b是柱面投影变换俯视图,这里将投影后的图像宽度看做DEF,设投影前后图像宽度由W变为W',高度由H变为H',照相机视场角度为 α ,焦距(即圆形半径)为f,S'(x',y')为原图像上点S(x,y)投影变换后的点。由上可知:

$$\begin{cases} H' = H \\ W' = 2f \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \end{cases} \quad (1)$$

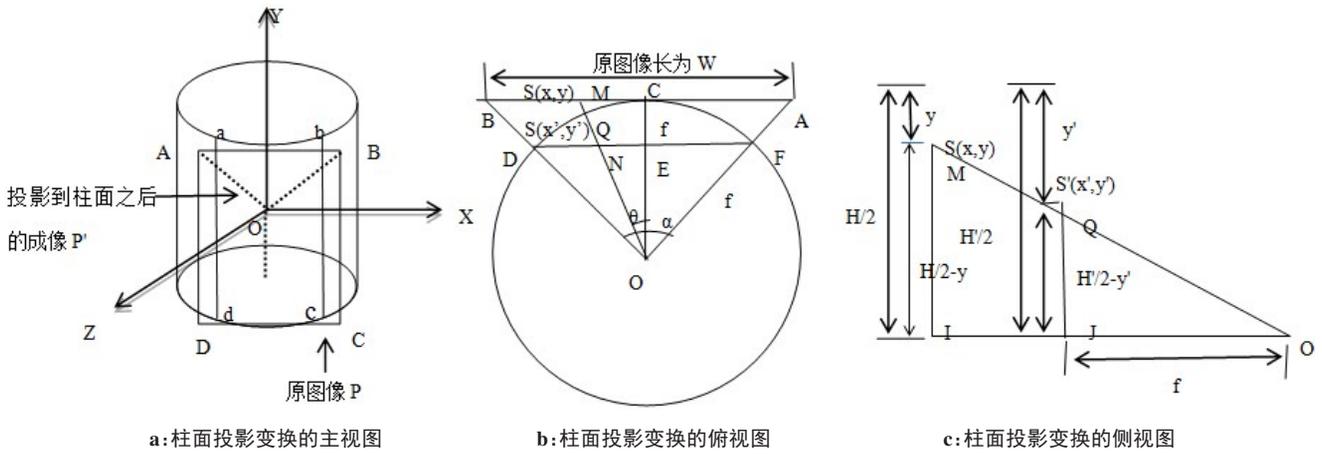


图2 柱面投影变换示意图

Fig.2 Schematic diagrams of cylindrical projective transformation

焦距 f 与 W 的关系式为:

$$f = \frac{W}{2 \tan \frac{\alpha}{2}} \quad (2)$$

由图2b中的几何关系可知:

$$x' = f \cdot \sin \frac{\alpha}{2} - f \cdot \sin \theta \quad (3)$$

又因为

$$\tan \theta = \frac{\frac{W}{2} - x}{f} \quad (4)$$

根据式(3)和式(4),可得水平坐标的变换公式为:

$$x' = f \cdot \sin \frac{\alpha}{2} + f \cdot \sin \left(\arctan \frac{x - \frac{W}{2}}{f} \right) \quad (5)$$

由图3c柱面投影侧视图中的三角形MOI和QOJ相似原理可知:

$$\frac{f}{\cos \theta} = \frac{\frac{H'}{2} - y'}{\frac{H}{2} - y} \quad (6)$$

又因为

$$\frac{f}{\cos \theta} = \sqrt{\left(\frac{W}{2} - x\right)^2 + f^2} \quad (7)$$

根据式(6)和式(7),可得垂直坐标的变换公式为:

$$y' = \frac{H}{2} + \frac{f \cdot \left(y - \frac{H}{2}\right)}{\sqrt{f^2 + \left(\frac{W}{2} - x\right)^2}} \quad (8)$$

根据式(5)和式(8),就可以找到柱面投影前后像素点之间的对应关系。柱面投影后的显示效果如图3所示,图3a为原图像,图3b为柱面投影后的图像。为了保护肖像权,文中人脸图像的眼睛部位全部在处理完后打上了马赛克。

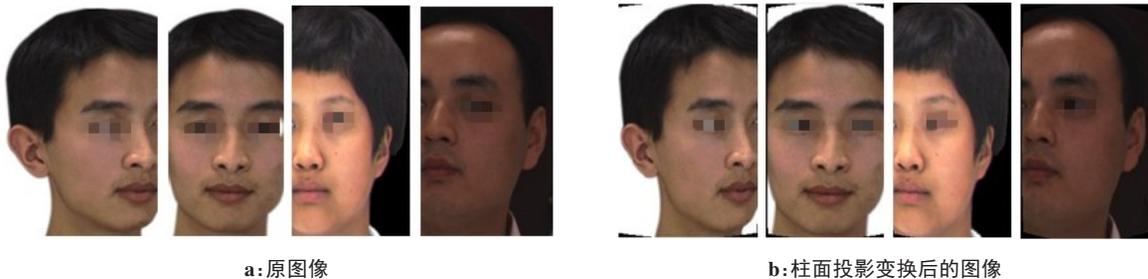


图3 柱面投影显示图

Fig.3 Cylindrical projection images

3 图像配准

3.1 SIFT 图像配准

人脸的纹理特征信息非常丰富,为了能既快速

又准确地实现图像配准,这里采用SIFT图像配准算法^[6]。SIFT对平移、旋转、亮度和噪声具有良好的不变性,能满足这里不同角度的图像配准需求^[7]。SIFT

算法主要分为两部分:(1)提取出待匹配的人脸图像中具有不变性的特征向量;(2)通过计算匹配的相似度来获取匹配点对,完成图像的匹配。

3.1.1 SIFT 特征向量的提取 我们对柱面投影后的人脸图像特征向量进行特征提取,主要分为以下几个步骤。

(1)建立图像金字塔:为了得到不同尺度图像序列组成的金字塔,我们需要先进行尺度变换操作,由于高斯核是唯一能实现尺度变换的变换核^[6],所以这里利用式(9)所示的高斯核进行卷积操作(σ 表示高斯函数的方差),然后再提取这些图像序列的空间特征点:

$$G(x,y,\sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{(x^2+y^2)}{2\sigma^2}} \quad (9)$$

(2)极值点的检测:将中间层的每个像素点与其周围的26个(同层8个,上下层各9个)像素点通过DoG尺度空间进行比较^[8]。使得被检测到的关键点在尺度空间和二维平面图像上都是局部极值点,满足局部特征检测^[9]。

(3)特征点的精确定位:DoG值对噪声以及边缘特征非常敏感,因此可能导致检测到的极值点中存

在不稳定、对比度低和错误的点^[10],进而不能精确定位出特征点的位置,需要及时进行筛选。

(4)确定关键点的方向:利用关键点邻域像素的梯度方向分布特征来确定其方向^[11-12],梯度幅值为:

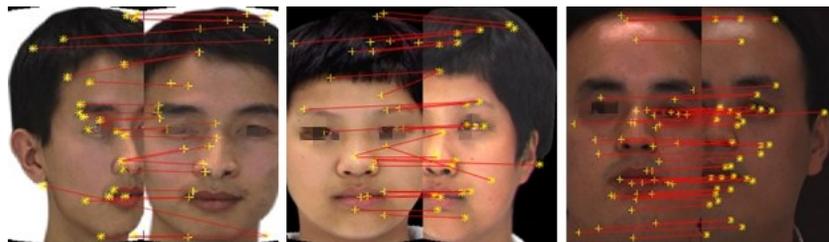
$$m(x,y) = \sqrt{(L(x+1,y) - L(x-1,y))^2 + (L(x,y+1) - L(x,y-1))^2} \quad (10)$$

梯度方向为:

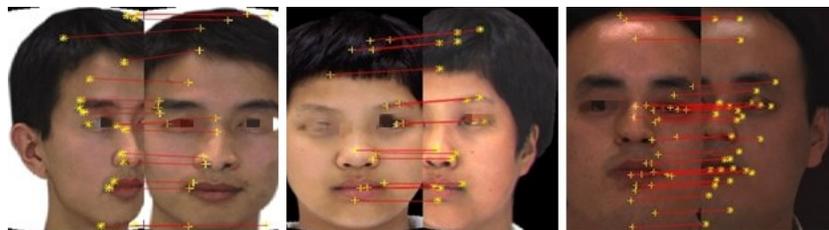
$$\theta(x,y) = \tan^{-1} \left[\frac{L(x,y+1) - L(x,y-1)}{L(x+1,y) - L(x-1,y)} \right] \quad (11)$$

(5)关键点描述:本文通过计算关键点周围各像素块的块内梯度直方图,生成特征向量^[13-14]。并用 $4 \times 4 \times 8$ 共128维特征向量组成的描述子对关键点进行描述。

3.1.2 特征向量的匹配 这里通过计算关键点特征向量间的欧氏距离来实现特征向量的匹配,当欧氏距离小于某个特定的值时,认为这对匹配点正确^[15-17]。为了防止匹配点太多会使计算速度减慢,太少又造成不能完全精确的匹配,需要将该值设定一定的范围,通常为0.4~0.6。SIFT特征匹配效果如图4a所示。



a: SIFT 特征匹配效果图



b: RANSAC 匹配优化效果图



c: 输出的配准图像

图4 人脸配准效果图

Fig.4 Results of face registration

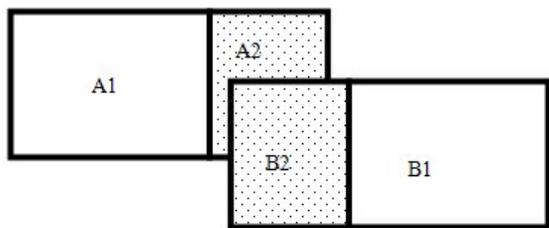
3.2 RANSAC 图像匹配优化

通过SIFT算法获取的图像匹配对中不可避免地存在一些错误的匹配,本文采用一种随机不确定的RANSAC匹配优化算法,先计算任意一个样本集的数学模型参数^[18],然后利用该模型对整个样本数据进行分析,通过拟合以确定其是否有效。RANSAC算法^[19]筛选剔除错误的匹配对的步骤如下:(1)随机抽取多个样本组成一个样本集,从中再任意抽取一个作为RANSAC样本;(2)根据这个样本集计算变换矩阵;(3)基于该样本集、变换矩阵以及误差度量函数来计算出满足当前变换矩阵的所有元素,并返回其中的个数;(4)根据返回元素的个数判断组成的是否为最大一致集;(5)更新当前错误概率 P ,若 P 大于允许的最小错误率,则重复步骤(1)至步骤(4),继续迭代,直到当前错误率 P 小于最小错误概率^[20]。

RANSAC匹配优化^[21]效果如图4b所示,图4c为最终配准得到的图像。

4 图像融合

由于拍摄角度的变化导致相邻两图像的亮度出现差异,拼接区域出现明显的痕迹^[14],本文采用渐入渐出的方法将图像融合在一起,其示意如图5a所示。



a: 图像融合示意图



b: 输出的融合图像

图5 人脸融合效果图

Fig.5 Images obtained by face fusion

为了更好地消除拼接痕迹,实现拼接部分颜色的自然过渡,这里将重叠区域分成3部分,每部分的加权取值各不相同,具体做法如下:(1)如图5a所示,将图像 B 投影到图像 A 时,非重叠的区域 $A1$ 和 $B1$ 各自原来的颜色;(2) $A2$ 和 $B2$ 重叠的区域取两幅图像颜色值的加权平均, $GrayMean = d1 \cdot A2 + d2 \cdot B2$,

其中, $d1、d2 \in (0, 1)$,且 $d1 + d2 = 1$, $d1$ 与像素点所对应的横坐标有关,从0逐渐变化到1;(3)将重叠部分 $A2$ 和 $B2$ 分成3部分 $I1、I2$ 和 $I3$,取 $(I1 = I3) > I2$;(4)设融合后的图像为 I ,阈值为 $Threshold$,在 $I1$ 中:若 $|A2 - GrayMean| < Threshold$, $I = GrayMean$,否则, $I = A2$ 。在 $I2$ 中,若 $|\max(A2, B2) - GrayMean| < Threshold$, $I = GrayMean$,否则 $I = \max(A2, B2)$ 。在 $I3$ 中,若 $|B2 - GrayMean| < Threshold$, $I = GrayMean$,否则, $I = B2$ 。按照上述方法融合得到的图像过渡区域颜色、亮度无明显差别。输出的人脸融合图像如图5b所示。

5 实验结果与分析

实验中使用的图像均来自中科院人脸数据库,相邻图像之间的重叠区域在45%左右,图像的拼接方式如图6所示。为了完整拼接出便于中医面诊的人脸全景图像,这里用5张不同角度的图片拼接成一幅完整的人脸全景图像。图7分别给出其中一个样本输入的右半边脸的拼接原图,由于左边脸的拼接方法和右边脸一样,所以这里不加赘述。图8a和图8b分别给出人脸两两拼接后的结果图,其区别在于是否使用柱面投影。图9a是使用特征块拼接方法所得到的完整人脸拼接图像。图9b是使用本文方法得到的最终人脸全景图像。

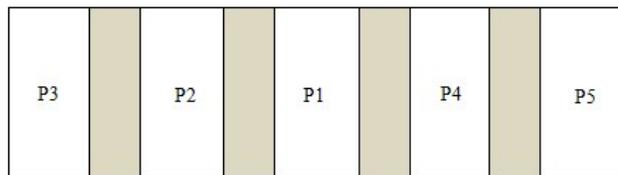


图6 图像拼接方式示意图

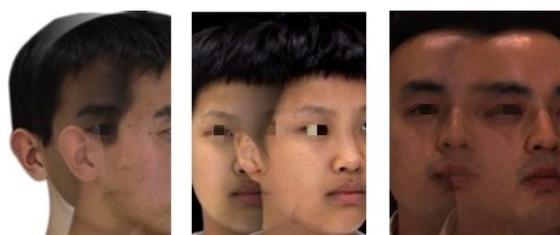
Fig.6 Schematic diagram of image stitching



图7 输入的待拼接人脸图像

Fig.7 Entering the face images to be stitched

从图9输出的实验结果我们可以看出,使用特征块拼接得到的人脸图像非常模糊,不能用于面部诊断。本文所使用的拼接方法得到的人脸全景图像效果较好,拼接处过渡自然,没有明显的接痕,能够较



a: 不用柱面投影拼接后的效果图



b: 用了柱面投影拼接后的效果图

图8 相邻图像两两拼接后的效果图

Fig.8 Results after stitching the adjacent images

好地满足视觉一致性的要求,能为医生面诊提供方便。通过图8a和图8b的对比,可以发现由于图像采集角度的变化,导致相邻图像出现视觉上的不一致性,如果直接进行拼接会产生严重的重影和视觉上的扭曲,从而证明柱面投影可以有效地解决拼接时视觉不一致性的情况。

6 结论

现如今,中医医生的数量远低于看病的需求量,计算机技术在中医领域中的应用成为推动中医走向现代化、科学化、精确化的巨大动力。作为中医面诊关键技术之一的人脸全景图像拼接技术,具有重要的研究价值。本文充分地考虑了头部的几何形状和人脸丰富的纹理信息,使用柱面投影法有效地解决了视觉的不一致性,SIFT特征拼接算法以及



a: 特征块匹配得到的人脸拼接图像



b: 本文方法得到的人脸全景图像

图9 人脸拼接图像

Fig.9 Face stitching images

RANSAC匹配优化算法将人脸进行精确的特征匹配,最后使用渐入渐出的图像融合算法消除拼接处的痕迹,实现图像的平滑过渡,最终得到真实感的人脸全景图像,进而为中医面诊提供必要的技术基础。本研究使用的特征匹配算法虽能根据图像的特征进行匹配,但是由于提取特征的过程中会损失一些图像信息,且计算量大会影响拼接速度,这些都还有待改进。

【参考文献】

[1] 张红凯,李福凤. 中医面诊信息采集与识别方法研究进展[J]. 世界科学技术: 中医药现代化, 2015, 17(2): 400-404.
ZHANG H K, LI F F. Research progress on information collection and recognition of TCM facial diagnosis [J]. World Science and Technology: Modernization of Traditional Chinese Medicine, 2015, 17(2): 400-404.

[2] 赵静,刘明,郭世珍,等. 中医面诊客观化研究进展浅析[J]. 天津中医药, 2017, 34(10): 718-720.
ZHAO J, LIU M, GUO S Z, et al. Progress in objectification of TCM face diagnosis [J]. Tianjin Chinese Medicine, 2017, 34(10): 718-720.

[3] 姚嘉梁,胡君. 人脸全景纹理图像拼接算法[J]. 计算机仿真, 2011, 28(2): 276-279.
YAO J L, HU J. Face panoramic texture image mosaic algorithm [J]. Computer Simulation, 2011, 28(2): 276-279.

[4] 郑青碧,王春霞. 一种改进的全视角人脸纹理图像生成方法[J]. 计算机工程, 2012, 38(9): 228-230.
ZHENG Q B, WANG C X. An improved full-view face texture image generation method [J]. Computer Engineering, 2012, 38(9): 228-230.

[5] 高也陶. 本末出候/望诊:《黄帝内经》理论和技术的现代研究[J]. 医学与哲学(A), 2016, 37(5): 80-83.
GAO Y T. The present stage of waiting/inspection: a modern study of the theory and technology of Huangdi Neijing [J]. Medicine & Philosophy (A), 2016, 37(5): 80-83.

[6] 沈鹏. 基于SIFT特征图像拼接的全景显示技术研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2018.

- SHEN P. Panoramic display technology based on SIFT feature image mosaic [D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology, 2018.
- [7] 闫志, 王黎明. 基于K-均值聚类的SIFT特征匹配算法的优化[C]//无损检测高等教育发展论坛暨电磁涡流无损检测技术交流会. 2009. YAN Z, WANG L M. Optimization of SIFT feature matching algorithm based on K-means clustering [C]//Development Forum of Non-destructive Testing Higher Education and Technical Exchange of Electromagnetic Eddy Current Non-destructive Testing. 2009.
- [8] 李玉峰, 李广泽, 谷绍湖, 等. 基于区域分块与尺度不变特征变换的图像拼接算法[J]. 光学精密工程, 2016, 24(5): 1197-1205. LI Y F, LI G Z, GU S H, et al. Image mosaic algorithm based on region partitioning and scale invariant feature transformation [J]. Optical Precision Engineering, 2016, 24(5): 1197-1205.
- [9] BROWN M, LOWE D G. Automatic panoramic image stitching using invariant features [C]. IJCV, 2007: 59-73.
- [10] 杜振龙, 杨凡, 李晓丽. 利用SIFT特征的非对称匹配图像拼接盲检测[J]. 中国图象图形学报, 2013, 18(4): 442-449. DU Z L, YANG F, LI X L. Blind detection of asymmetric matching images using SIFT features [J]. Chinese Journal of Image and Graphics, 2013, 18(4): 442-449.
- [11] ZHOU H, YUAN Y, SHI C. Object tracking using SIFT features and mean shift [J]. Comput Vis Image Und, 2009, 113(3): 345-352.
- [12] 邹承明, 徐泽前, 薛栋. 一种基于分块匹配的SIFT算法[J]. 计算机科学, 2015, 42(4): 311-315. ZOU C M, XU Z Q, XUE D. A SIFT algorithm based on block matching [J]. Computer Science, 2015, 42(4): 311-315.
- [13] 牛俊伟, 郝向阳, 刘松林. 一种改进的SIFT特征提取算法[J]. 测绘科学技术学报, 2014(2): 173-176. NIU J W, HAO X Y, LIU S L. An improved SIFT feature extraction algorithm [J]. Journal of Surveying and Mapping Science and Technology, 2014(2): 173-176.
- [14] ZITOVÁ B, FLUSSER J. Image registration methods: a survey [J]. Image Vis Comput, 2003, 21(11): 977-1000.
- [15] 刘焕敏, 王华, 段慧芬. 一种改进的SIFT双向匹配算法[J]. 兵工自动化, 2009, 28(6): 89-91. LIU H M, WANG H, DUAN H F. An improved SIFT bidirectional matching algorithm [J]. Ordnance Automation, 2009, 28(6): 89-91.
- [16] PELEG S, ROUSSO B, RAV-ACHA A, et al. Mosaicing on adaptive manifolds [J]. IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell, 2000, 22(10): 1144-1154.
- [17] LOWE D G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints [J]. Int J Comput Vision, 2004: 91-110.
- [18] LUISIER F, BLU T, UNSER M. Image denoising in mixed Poisson-Gaussian noise [J]. IEEE Trans Image Process, 2010, 20(3): 696-708.
- [19] MILANFAR P. A tour of modern image filtering: new insights and methods, both practical and theoretical [J]. IEEE Signal Process Mag, 2012, 30(1): 106-128.
- [20] FISCHLER M A, BOLLES R C. Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography [J]. Commun ACM, 1981, 24(6): 381-395.
- [21] KUMARI S, SINGH E S. A review of image denoising techniques [J]. Int J Adv Res Comput Sci, 2014, 5(5): 265.

(编辑:陈丽霞)