

对亮度和平移鲁棒的彩色全景图拼接算法

王勇, 孙刘杰, 王晓红, 康祎
(上海理工大学, 上海 200093)

摘要: **目的** 为了实现存在纵向错位和亮度差异的彩色全景图的拼接, 提出一种基于 HSV 颜色空间的全景图拼接技术。**方法** 提出了一种可变特征向量匹配算法, 并且结合重叠区域对应特征匹配向量相关系数最大准则遍历搜寻对应的特征匹配向量, 从而找到相邻子图的重叠区域, 通过加权模板对重叠区域进行加权融合实现拼接。**结果** 新算法对全景图的拼接效果优于常规算法, 拼接质量 DoEM 值为 0.999 dB, 拼接平均耗时为 499 ms, 融合区域有渐进渐出的效果, 有效解决了拼接错位和亮度突变问题。**结论** 该算法对彩色全景图的拼接具有很好的适应性和可重复性, 对子图的大小和颜色无严格要求。不仅拼接速度快, 而且拼接精度高, 是一套完整地针对存在纵向错位和亮度差异的彩色全景图的全自动拼接方案。

关键词: 图像处理; 图像拼接; 特征匹配向量; 加权融合

中图分类号: TS865 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)13-0184-05

Stitching Algorithm for Color Panorama with Brightness and Translation Robustness

WANG Yong, SUN Liu-jie, WANG Xiao-hong, KANG Yi

(University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

ABSTRACT: In order to realize the presence of longitudinal displacement and brightness difference, a panoramic image stitching technology was put forward based on HSV color space. This technology utilized a variable feature vector matching algorithm and conducted traversal of corresponding feature matching vectors by combining the maximum criterion of correlation coefficient for feature matching vectors of overlapping areas to find out the overlapping areas of adjacent images and achieve stitching by weight fusion for the overlapped area. This new algorithm had better stitching effect than traditional algorithm, with DoEM at 0.999 dB and average time consumption of 499 ms. The gradual fade-out effect effectively solved the problems of displacement and sudden change in brightness. This algorithm for stitching color panorama has good flexibility and repeatability and has no strict requirements on the size and color of the sub-graph. With fast stitching and high precision, this is a fully automatic stitching scheme for color panorama with longitudinal displacement and brightness difference.

KEY WORDS: image processing; image stitching; feature matching vector; weighted fusion

图像拼接技术是通过对图像特征进行分析, 把具有重叠区域的一组图像拼接成一幅宽视角的全景图像^[1]。图像拼接一般包括图像预处理、图像配

准、图像融合重构等过程。其中图像配准是直接影
响图像拼接质量的关键性步骤, 因此找到一种精
准的图像配准方法显得尤为重要。图像配准技术主要

收稿日期: 2015-12-27

作者简介: 王勇 (1991—), 男, 湖南人, 上海理工大学硕士生, 主攻数字图像处理、数字水印、印刷防伪技术。

作者简介: 孙刘杰 (1965—), 男, 安徽人, 硕士, 上海理工大学副教授、硕士生导师, 主要研究方向为印刷机测量与控制技术、数字印刷防伪技术、光信息处理技术等。

分为基于像素的配准技术、基于特征的配准技术和基于区域相似度的配准技术。由于基于区域的配准技术配准效果差、效率低等原因，现在已经被前面两种配准技术取代，随之而来的现象就是现在的图像拼接算法，大部分是采用的基于像素的配准技术和基于特征的配准技术。常用的拼接算法有：尺寸不变特征变换算法(SIFT)^[2-5]、多极值网格搜索法^[6]、比值法^[7]、特征匹配法^[8-11]、相位相关法^[12]、快速匹配法(FAST)^[13]等。然而这些算法都有一定的局限性。比如基于像素的拼接算法，计算复杂、拼接效率低，不能实时在线拼接；基于特征的拼接算法虽然拼接效率有所提高，但是拼接精度不高。文中通过获取彩色子图的 H 通道，并提取每张子图 H 通道最右边缘的灰度值列向量，然后运用类似卷积公式原理，计算前一张子图最右侧列向量与后一张子图的每个列向量之间的相似程度，自动搜索对应的特征匹配向量，最后使用加权模板对重叠区域进行加权融合。

1 可变特征向量匹配法

1.1 颜色空间的选择

颜色空间是一切从事与颜色有关的工作人员所必须掌握的理论基础，它是用数学方法定量地标定颜色，以便人们用它来指定和产生所需色彩。颜色空间通常用 3 维立体模型表示，空间中的每种颜色能够看到或者可以利用颜色模型产生。颜色空间可以分为两大类：基于设备的颜色空间，例如，RGB, CMYK, HSV/HIS 颜色空间；设备无关的颜色空间，如 CIEXYZ, CIELAB, CIEYUV 颜色空间。这些颜色空间中 HSV 和 HIS 是面向视觉感知的色彩模型，用饱和度和色度描述色彩的感知，可使颜色的解释更直观。对于图像拼接中的应用，就应该选择面向感知的模型，另外，由于 HSV 各分量通道相关性最小，处理图像时会获得更高的精确度，所以在许多实际应用领域中应用最广的是 HSV 颜色模型。HSV 颜色模型由 3 个分量组成，即色相 (H)、饱和度 (S)、亮度 (V)。HSV 颜色立体模型见图 1。

1.2 图像融合

为了解决因非重叠区域亮度差异而形成的亮度块问题，在子图输入后，首先利用待拼接子图中

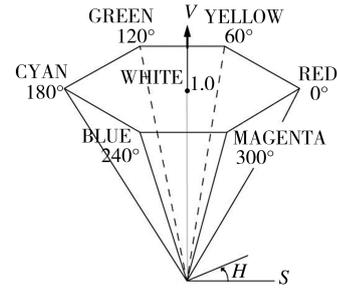


图 1 HSV 彩色模型

Fig.1 HSV color model

亮度正常的子图来纠正存在亮度过高或过低的子图，纠正公式如下：

$$f(x, y) = f(x, y) - (\text{mean}(f(x, y)) - \text{mean}(g(x, y))) \quad (1)$$

式中： $f(x, y)$ 表示亮度过高或过低的子图； $g(x, y)$ 表示亮度正常的子图。

采用加权模板来实现子图重叠区域的加权融合。首先将 2 幅像素大小为 $m \times n$ 的子图 P_1 和 P_2 输入计算机，然后构造下面 2 个模板矩阵：

$$\begin{aligned} L &= [\text{ones}(m, n/2), \text{zeros}(m, n/2)] \\ R &= [\text{zeros}(m, n/2), \text{ones}(m, n/2)] \end{aligned} \quad (2)$$

式中： $\text{ones}(m, n/2)$ 表示行数为 m 、列数为 $n/2$ 的 1 矩阵； $\text{zeros}(m, n/2)$ 表示行数为 m 、列数为 $n/2$ 的 0 矩阵。

利用像素大小为 20×20 、标准差为 10 的高斯低通滤波器对模板矩阵 L 和 R 进行滤波处理，得到 2 个可以使子图重叠区域平滑的加权模板矩阵 L' 和 R' 。最后通过加权融合就可以得到融合后的图像。加权融合公式如下：

$$P = L' \cdot P_1 + R' \cdot P_2 \quad (3)$$

式中： P 为加权融合后的图像；“ \cdot ”表示矩阵的点乘。经融合后的图像在重叠区域有渐入渐出的效果，解决了亮度突变问题。

1.3 匹配算法

针对前后 2 张相邻子图的匹配，所提出的可变特征向量是指前一张子图最右端灰度值组成的向量，由于该向量在匹配中需要不断改变自身长度，以便遍历搜寻后一张子图中与之对应的向量，因此定义为可变特征向量。由 1.1 章节可知，可以实现将图像从 RGB 颜色空间转化到 HSV 颜色空间，这样就可以获得子图的 H(色相)通道。该方法通过获取的彩色子图的 H 通道，并提取每张子图 H 通道最右边缘的灰度值构成的可变特征向量，然后运用式(4)计

算前一张子图可变特征向量与后一张子图的每个向量之间的相似程度,自动搜索对应的特征匹配向量,最后使用加权模板对重叠区域进行加权融合。

在数理统计中,相关系数定义式如下:

$$R_{XY} = \frac{\sum XY - \frac{\sum X \sum Y}{N}}{\sqrt{(\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{N})(\sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{N})}} \quad (4)$$

式中: R_{XY} 为 X, Y 向量的相关系数; N 分别表示 X, Y 向量的维数。

像素大小为 $m \times n$ 的两张子图 P 和 Q , P 在前、 Q 在后,遍历搜索步骤如下。

1) 分 2 种情况计算 $R(i, j)$ 。① 当后一张子图拼接正确时低于前一张子图。首先将 P 的最后 1 列第 i 个像素到第 n 个像素 $P(i:n, m)$, 与 Q 的第 j 列的第 1 个像素到 $n+1-i$ 个像素 $P(1:n+1-i, j)$ 求相关系数 $R(i, j)$ 。其中 $i \in (1, n), j \in (1, m)$ 。 $R(i^*, j^*) = \max(R(i, j))$, j^* 表示 Q 图第 j^* 列与 P 图最后 1 列是配准列,这是用于横向配准; i^* 表示 Q 图相对于 P 图要下移 i^* 个像素才能配准,这是用于纵向配准。

② 当后一张子图拼接正确时高于前一张子图。将 P 的最后 1 列第 1 个像素到第 $n+1-i$ 个像素 $P(1:n+1-i, m)$, 与 Q 的第 j 列的第 i 个像素到 n 个像素 $P(i:n, j)$ 求相关系数 $R(i, j)$ 。其中 $i \in (1, n), j \in (1, m)$ 。 $R(i^*, j^*) = \max(R(i, j))$, j^* 表示 Q 图第 j^* 列与 P 图最后 1 列是配准列,这是用于横向配准; i^* 表示 Q 图相对于 P 图要下移 i^* 个像素才能配准,这是用于纵向配准。

2) 比较步骤 1 的 2 种情况下 $R(i^*, j^*)$ 的大小。选择数值大的 $R(i^*, j^*)$ 所对应的 i^*, j^* 作为拼接时所用到的拼接位置。配准流程见图 2。

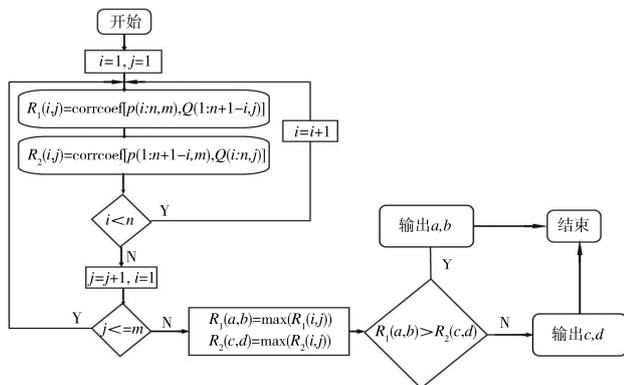


图 2 配准流程

Fig.2 Registration flowchart

2 仿真和实验结果分析

2.1 全景图拼接

将一张像素数为 442×1400 的彩色图像,制作成 7 张具有重叠区域且存在纵向错的子图,每个子图像素大小为 300×300 ,按顺序从左到右编号。随机选择其中 2 张子图,在 Photoshop 中改变其亮度大小,本实验中选择的是编号为 2 和 4 的子图。拼接结果见图 3。



a 未纠正整体亮度



b 已纠正整体亮度

图 3 拼接复原图像

Fig.3 Stitching recovery plan

从图 3a 可以看出,图像重叠区域没有出现亮度线,而是一种融合后的渐入渐出的效果,给人一种平滑过渡的视觉感受,因此,此拼接算法很好地解决了对存在亮度差异的图像的拼接。另外,图像融合部位也察觉不到有拼接错位,所以该算法是可行的。

从图 3b 可以看出,经过纠正子图亮度后,再拼接复原的图像,不仅很好地解决了过渡区域亮度线的问题,而且图像非重叠区域的亮度趋于一致,因此,此拼接算法也很好地解决了因非重叠区域亮度差异而形成的亮度块问题。

2.2 检验仿真结果

一般而言,如果拼接复原图存在 1~2 个像素误差,肉眼很难察觉,因此要想知道算法的拼接精度,就得通过检验性试验来论证。为了检验图像是否存在纵向拼接误差,选择 7 张本来就不存在

纵向错位的子图来拼接，以检验算法的精度。拼接结果见图 4。



图 4 拼接复原图像检验
Fig.4 Stitching recovery plan

观察图 4 的上下边缘可知：此图不存在纵向像素误差。为了进一步肯定这个结论，将此图放在 Photoshop 中放大到可观察到像素时进行检测，也得到了是一致的结论，因此，提出的算法没有拼接误差。

3 算法对比

为了更好地验证所提出方法的先进性，将其与文献[5-7]和[14]中的拼接算法进行对比实验。根据文献[15]，准备 2 张只存在横向平移的子图，子图的像素大小为 300×300 ，采用文献[15]所提出的基于图像边缘信息的 DoEM 边缘差分谱评价法^[15]来评价拼接结果。该拼接方法主要从拼接错位和亮度突变两方面来给拼接图像一个量化的 DoEM 值，DoEM 的取值范围是从 0 到 1，值越大说明拼接精度越高。此外，该评价方法用拼接时间来评价拼接算法的效率。

其他算法的数据文献[14]已给出，文中数据根据文献[15]算法计算得到。复原图像质量评价分析结果如下：文献[5]、文献[6]、文献[7]、文献[14]和文中算法的 DoEM 值分别为 0.7036, 0.8582, 0.8233, 0.9192, 0.999 dB；每种算法都运行 5 次，几种算法的拼接耗时结果见表 1。可知所提算法拼接质量 DoEM 值为 0.999 dB，拼接平均耗时为 499 ms，明显优于其他拼接算法。

表 1 不同算法的拼接耗时
Tab.1 Time-consuming different algorithms ms

组数	文献[5]	文献[6]	文献[7]	文献[14]	本文
1	1208	1014	884	621	513
2	1316	991	896	589	485
3	1298	1135	961	551	491
4	1179	918	765	619	514
5	1367	1086	819	632	492

4 结语

针对常规算法不能兼容匹配精度和匹配效率的缺点，提出了一种新的配准方法（基于可变特征向量匹配法），并利用 HSV 颜色空间面向视觉感知可以提高配准精度的优势，有效地解决了配备精度与匹配效率的矛盾。算法通过遍历搜索可以精确找到对应的特征匹配向量，横、纵向像素误差均为 0。同时，图像拼接的计算时间比常规方法明显提高。

常规算法的融合技术一般采用的是简单的加权融合，整个融合区域只有一个权重值，且未对子图进行亮度的纠正，因此，对亮度变化敏感，融合区域极易形成亮度线或亮度块。针对这些缺点，提出了一种通过加权模板（权值矩阵）赋予融合区域每个像素点不同权值的方法。这种融合方法有效地避免了亮度线或亮度块的产生，是一套完整且有效地针对存在纵向错位和亮度差异的彩色全景图的全自动拼接方案。

参考文献：

- [1] 季平, 秦川, 曹芳. 对旋转和平移鲁棒的序列图像拼接算法[J]. 应用科学学报, 2015, 33(4):376—388.
JI Ping, QIN Chuan, CAO Fang. Sequential Image Mosaicking Capable of Resisting Rotation and Translation[J]. Journal of Applied Sciences, 2015, 33(4): 376—388.
- [2] 何建伟, 杨建峰, 薛彬, 等. 基于系统论匹配准则的尺度不变特征变换的图像自动拼接研究[J]. 光学学报, 2010, 30(4):899—993.
HE Jian-wei, YANG Jian-feng, XUE Bin, et al. Research on the Automatic Stitching of Panorama Camera Images Based on System Similarity Matching Principle[J]. Acta Optica Sinica, 2010, 30(4):899—993.
- [3] 梁冬, 阎圃, 朱铭, 等. 基于非抽样轮廓波变换和尺度不变特征转换的光谱匹配算法[J]. 系统工程与电子技术, 2012, 23(3):453—459.
LIANG Dong, YAN Pu, ZHU Ming, et al. Spectral Matching Algorithm Based on Nonsampled Contourlet Transform and Scale-Invariant Feature Transform[J]. Journal of Systems Engineering and Electronics, 2012, 23(3):453—459.
- [4] 赵立辉, 杨红喆, 郭栋, 等. 印品检测过程中基于 SIFT 算法缩小匹配范围的方法[J]. 包装工程, 2013, 34(17):104—107.
ZHAO Li-hui, YANG Hong-zhe, GUO Dong, et al.

- Method to Reduce Matching Range in Print Detection Based on SIFT Algorithm[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(17):104—107.
- [5] 曾宙, 王元钦, 谭久彬. 改进的 SIFT 特征提取和匹配算法[J]. 光学精密工程, 2011, 19(6):1391—1397.
ZENG Luan, WANG Yuan-qin, TAN Jiu-bin. Improved Algorithm for SIFT Feature Extraction and Matching[J]. Optics and Precision Engineering, 2011, 19(6): 1391—1397.
- [6] 陈宇, 白征东. 基于多极值网格搜索法的快速影像匹配技术研究[J]. 测绘通报, 2010(4):28—30.
CHEN Yu, BAI Zheng-dong. Research on Fast Image Matching Based on Multi-extreme Grid Search Method[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2010(4): 28—30.
- [7] 刘严严, 徐世伟, 周长春, 等. 基于比值法图像拼接算法研究[J]. 电子测量技术, 2008, 31(7):56—58.
LIU Yan-yan, XU Shi-wei, ZHOU Chang-chun, et al. Study of Image Stitching Algorithm Based on Ratio Matching[J]. Electronic Measurement Technology, 2008, 31(7):56—58.
- [8] AHN H, LEE Y H, LEE J H, et al. A Low Complexity Image Stitching Using Advanced Feature Matching in Mobile Environments[J]. Journal of Computer Virology & Hacking Techniques, 2014, 10(2):129—136.
- [9] JU M H, KANG H B. Stitching Images with Arbitrary Lens Distortions[J]. International Journal of Advanced Robotic Systems, 2014, 11(2):1—11.
- [10] 黄琼丹, 邱跃洪, 田小平. 基于特征点及优化理论的图像自动拼接方法[J]. 光子学报, 2009, 38(8):2139—2143.
HUANG Qiong-dan, QIU Yue-hong, TIAN Xiao-ping. Image Automatic Method Based on Feature Points and Optimization Theory[J]. Acta Photonica Sinica, 2009, 38(8):2139—2143.
- [11] 严格. 基于灰度相关特征点的图像拼接算法[J]. 包装工程, 2009, 30(4):82—83.
YAN Ge. Image Mosaic Method Based on Gray Scale Feature Points[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(4): 82—83.
- [12] 张显伟, 李晓峰, 李为民. 一种改进的 Fourier-Mellin 变换的图像拼接技术[J]. 现代制造工程, 2009(4):12—15.
ZHANG Xian-wei, LI Xiao-feng, LI Wei-min. A Method of Optimized Image Stitching Technology Based on Fourier-Mellin Algorithm[J]. Modern Manufacturing Engineering, 2009(4):12—15.
- [13] 钟星, 徐向纮. 钎焊环检测中的图像拼接方法研究[J]. 包装工程, 2011, 32(21):110—114.
ZHONG Xing, XU Xiang-hong. Study on Image Mosaicing Methods of Brazing Rings Inspection[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(21):110—114.
- [14] 廖婷. 一种新的彩色图像自动拼接方法研究[J]. 计算机应用与软件, 2015, 32(8):197—200.
LIAO Ting. Research on a New Automatic Stitching Method for Colour Images[J]. Computer Applications and Software, 2015, 32(8):197—200.
- [15] 万国挺, 王俊平, 李锦, 等. 图像拼接质量评价方法[J]. 通信学报, 2013, 34(8):76—81.
WAN Guo-ting, WANG Jun-ping, LI Jin, et al. Method for Quality Assessment of Image Mosaic[J]. Journal on Communications, 2013, 34(8):76—81.