

# 一种新的彩色图像碎片全自动拼接算法

张志华<sup>1</sup>, 孔玲君<sup>1,2</sup>, 王勇<sup>1</sup>, 刘真<sup>1</sup>

(1.上海理工大学, 上海 200093; 2.上海出版印刷高等专科学校, 上海 200093)

**摘要:** **目的** 为了实现横向和纵向分切的彩色图像碎片的拼接, 提出针对同一张经过横向和纵向分切的彩色图像碎片建立关于相关系数的拼接复原模型和算法。**方法** 通过获取彩色图像碎片的各单色图像, 并提取单色图像边缘的灰度值, 根据图像碎片边缘灰度值之间的相似程度自动拼接碎片。**结果** 文中算法对彩色图像碎片的拼接效果优于常规算法, 实验中采用 100 张彩色图, 对每张彩图分切成 64 张 300×300 像素的彩图碎片进行顺序复原, 综合拼接成功率达到 100%, 拼接平均耗时 1.59 s。此外, 文中算法实验性强, 不仅能拼接仅纵切的图像, 还能拼接横向和纵向分切的彩色图像。**结论** 实验结果表明该算法对彩色图像碎片的拼接具有很好的适应性和可重复性, 对图像碎片的大小和颜色无严格要求, 是一套完整有效的针对规则彩色图像碎片的全自动拼接方案。

**关键词:** 图像处理; 图像拼接; 特征向量; 相关系数

**中图分类号:** TP751 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)17-0206-05

## A New Automatic Stitching Algorithm for Color Image Fragments

ZHANG Zhi-hua<sup>1</sup>, KONG Ling-jun<sup>1,2</sup>, WANG Yong<sup>1</sup>, LIU Zhen<sup>1</sup>

(1.University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China;

2.Shanghai Publishing and Printing College, Shanghai 200093, China)

**ABSTRACT:** The work aims to propose a stitching restoration model and algorithm about the correlation coefficient based on the color image fragments divided into horizontal and vertical slices, in order to realize the stitching of the color image fragments in the horizontal and vertical slices. By obtaining each monochrome image of the color image fragments and extracting the gray value of the monochrome image edge, the fragments were automatically stitched according to the similarity between gray values of the image fragment edge. The stitching effects of the color image fragments resulting from the proposed algorithm were superior to the conventional algorithm. In the experiment of 100 color images, the 64 pieces of color image fragments with 300×300 pixels cut from each color image were restored in order. The success rate of the comprehensive stitching reached 100%, and the stitching took an average time of 1.59 s. In addition, the proposed algorithm was strongly experimental. It could not only stitch the images divided into vertical slices, but also stitch the color images divided into horizontal and vertical slices. The experimental results show that the proposed algorithm has good adaptability and repeatability for the stitching of color image fragments. No strict requirements are needed for the size and color of the image fragments. The algorithm is a complete set of effective automatic stitching scheme for the regular color image fragments.

**KEY WORDS:** image processing; image stitching; feature vector; correlation coefficient

图像自动拼接复原技术是数字图像处理领域中的一个比较新且有现实需要的技术, 如: 考古研究中对破碎珍贵文物的修复, 公安机关破案时遇到的破碎

证物的修复, 计算机的拼图游戏开发设计等。图像自动拼接技术包含图像的获取、图像的预处理、图像配准和图像融合等步骤。图像拼接成功与否主要与图像

收稿日期: 2016-11-07

基金项目: 上海理工大学科技发展项目(16KJFZ017)

作者简介: 张志华(1992—), 男, 上海理工大学硕士生, 主攻数字图像处理。

通讯作者: 孔玲君(1972—), 女, 博士, 上海出版印刷高等专科学校教授, 主要研究方向为图文信息处理与色彩再现、数字印刷及质量评价等。

的配准有关，因此对不同的拼接对象要选择合适的配准方法。图像配准技术主要分为基于像素相关性的配准技术、基于特征提取的匹配技术和基于相似性度量的配准技术。基于相似性度量的配准方法存在配准效果差、效率低的问题，该技术已经较少被采用。目前常用的拼接算法有多极值网格搜索法<sup>[1]</sup>、比值法<sup>[2]</sup>、尺寸不变特征变换法(SIFT)<sup>[3-6]</sup>、快速匹配法(FAST)<sup>[7-9]</sup>、相位相关法<sup>[10]</sup>、特征匹配法<sup>[11-16]</sup>等，均属于基于像素相关性的配准技术或基于特征提取的配准技术。这些算法存在一定的局限性。基于像素相关性的拼接算法运算繁杂、耗时多，不能实时在线拼接，而基于特征提取的拼接算法虽然运算快，但是拼接精度有待提高。文中利用数理统计中相关系数的概念，针对横向和纵向分切后的规则彩色图像碎片开展图像拼接算法研究，提出的算法可以实现对横向和纵向分切的规则进行彩色图像的拼接。

## 1 彩色图像碎片拼接算法原理

### 1.1 颜色空间的选择与转换

颜色空间主要有 HSV, RGB, HIS, CHL, LAB, CMYK 等。各颜色空间应用场景不同，在计算机技术上运用广泛，而且可以相互转换。这些颜色空间中 HSV, HSI 是按色彩、深浅、明暗来描述颜色的，所以是基于人类视觉感知的颜色空间。HSV 颜色立体模型见图 1。HSV 颜色模型由色相(H)、饱和度(S)、亮度(V)这 3 个分量组成。HSV 各分量通道相关性小，处理图像时可得到高精度度，因此，在图像拼接过程中，就可以选择面向感知的 HSV 模型。由颜色空间转换算法，可以将待拼接的 RGB 彩色图像碎片转换到 HSV 颜色空间。这样就可以获得彩色图像碎片的 H 通道、S 通道和 V 通道图像。

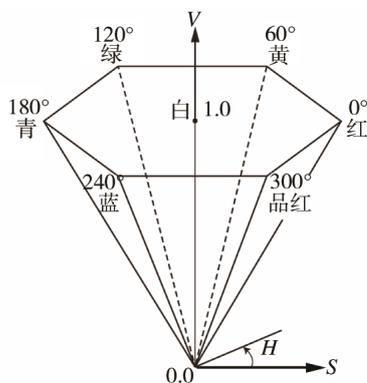


图 1 HSV 彩色模型  
Fig.1 HSV color model

### 1.2 匹配算法与过程

在数理统计中，相关系数定义式如下：

$$R_{XY} = \frac{COV(X,Y)}{\sqrt{D(X)D(Y)}} \quad (1)$$

式中： $X, Y$  为要计算相关性的 2 个变量； $COV(X, Y)$  为  $X, Y$  的协方差； $D(X), D(Y)$  分别为  $X, Y$  的方差； $R_{XY}$  为  $X, Y$  的相关系数。

由于图像在计算机中是以矩阵的形式存储的，为了方便计算，引入维数  $N$ ，由式(1)得到式(2)。利用转到 HSV 颜色空间的彩色图像碎片的单色通道，并提取每张碎片单色通道边缘的灰度值构成的特征向量  $X, Y$ ，然后通过式(2)计算特征向量间的相关系数，即得出相似程度并自动搜索对应的匹配向量。

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

式中： $X, Y$  分别为各碎片边缘灰度值构成的特征向量； $R_{XY}$  为  $X, Y$  特征向量的相关系数； $N$  分别为  $X, Y$  特征向量的维数。

首先对彩色图像碎片进行扫描转变成数字图像，人工干预找出原本位于图像左上角的碎片命名为 1，其他碎片从数字 2 开始随意编号，直到将所有碎片编完为止。提取所有彩色碎片的单色分量  $H, S, V$  按编码顺序依次存储在 3 个组中。

1) 寻找位于原图像最左边的全部图像碎片。按编号顺序依次提取 H 通道图像碎片的上下边缘的灰度值，图像碎片边缘以行的形式存储，形成上下边缘灰度值矩阵  $T_j$  和  $B_i$ ，然后用  $B_i$  的每一个行向量  $X_i$  分别与  $T_j$  里的每一个行向量  $Y_j$  进行相关系数的运算。得到一个相关系数矩阵  $R_{B(i)T(j)}(X_i, Y_j)$ ，描述了第  $i$  张碎片的下边缘与第  $j$  张碎片的上边缘的相关性。然后求相关系数矩阵第一列数据  $R_{B(1)T(j)}(X_1, Y_j)$  的最大值，并找到最大值所对应的编号  $k$ ，就代表了第  $k$  张碎片原本属于原彩色图像第 1 列的第 2 张碎片位置。同理，紧接着对  $R_{B(k)T(j)}(X_k, Y_j)$  的第  $k$  行求最大值，并找出最大值所对应的编号  $m$ ，就代表了第  $k$  张碎片原本属于原彩色图像第 1 列的第 3 张碎片位置。依此类推，便可以找到原完整彩色图像第 1 列的全部碎片。

2) 根据最左边的图像碎片拼接每一行的图像碎片。按编号顺序依次提取 H 通道图像碎片的左右边缘的灰度值，图像碎片边缘以行的形式存储，形成左右边缘灰度值矩阵  $L_j$  和  $R_i$ ，然后用  $R_i$  中的每一个行向量  $X_i$  分别与  $L_j$  的每一个行向量  $Y_j$  进行相关系数的运算。得到一个相关系数矩阵  $R_{R(i)L(j)}(X_i, Y_j)$ ，正是描述了第  $i$  张碎片的右边缘与第  $j$  张碎片的左边缘的相关性。然后求相关系数矩阵第 1 列数据  $R_{R(1)L(j)}(X_1, Y_j)$  的最大值，并找到最大值所对应的编号  $k$ ，就代表了第  $k$  张碎片原本属于原彩色图像第 1 行的第 2 张碎片

位置。同理，紧接着再对  $R_{R(k)L(j)}(X_k, Y_j)$  的第  $k$  列求最大值，并找出最大值所对应的编号  $m$ ，就代表了第  $k$  张碎片原本属于原彩色图像第 1 行的第 3 张碎片位置。依此类推，便可以找到原彩色图像第 1 行的全部碎片，然后由第 2 行第 1 列位置的碎片，又可以找全原彩色图像第 2 行的所有碎片，此次类推，可以找全原彩色图像每 1 行的图片。

根据 1) 和 2) 步骤，得到了所有碎片在原彩色图像中的位置。

### 1.3 图像拼接

按单色 H 通道得出所有碎片在原彩色图像中的位置后，再将原始 RGB 彩色图像碎片按顺序直接进行拼接，得到原始彩色碎片的完整拼接图像。以上过程是按 H (色相) 得出的碎片位置信息进行拼接的，此外，也可以按 S (饱和度)、V(明度)得出所有碎片的位置信息，再对原彩色图像进行拼接，其过程同上。拼接步骤见图 2。

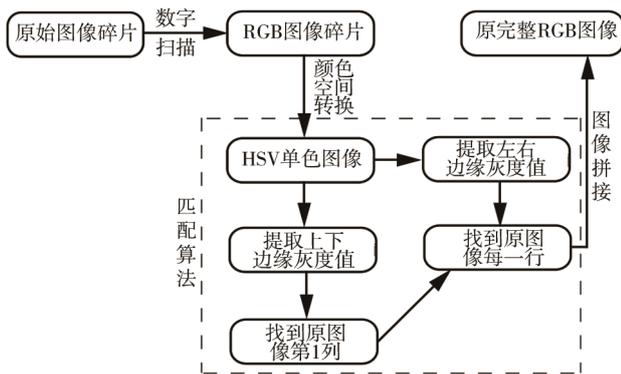


图 2 拼接步骤  
Fig.2 The stitching step

## 2 仿真实验和结果分析

### 2.1 数据预处理

从数字图像处理常用的标准测试图库中选取包含 Lena, Peppers, Baboon 图在内的 100 张彩色图，

每张彩色图都分成  $8 \times 8$  小块，图像左上角的碎片命名为 1，其他碎片从数字 2 到 64 随机编号。读取 64 块彩色碎片，形成 64 个  $300 \times 300 \times 3$  的矩阵，每块碎片进行通道分离形成 R, G, B 这 3 个单色碎片。

### 2.2 图像拼接

全部彩色图像碎片转到 HSV 颜色空间得到 3 个单通道图像后，分别提取每块单色碎片的上、下、左、右的边缘灰度值。各个通道又分别形成  $T, B, L, R$  等 4 个含有边缘信息的矩阵，然后基于边缘灰度匹配下对彩色图像碎片进行拼接。Lena 图拼接过程和结果见图 3—5。Peppers 和 Baboon 拼接结果见图 6—7。

整个拼接过程实现了全自动化，通过对拼接结果进行评估，除了 lena 和 Peppers 图在 H 通道下拼接失败，彩图碎片都成功拼接。通过 100 张标准彩图的试验发现，按 S 通道彩图碎片的拼接顺序复原达到 97% 的成功率，按 H 通道、V 通道图像拼接顺序复原成功率分别为 87% 和 90%。针对该算法，建议采用在 S 通道下对彩色图像碎片进行拼接复原，三通道下碎片拼接能得到最理想结果。

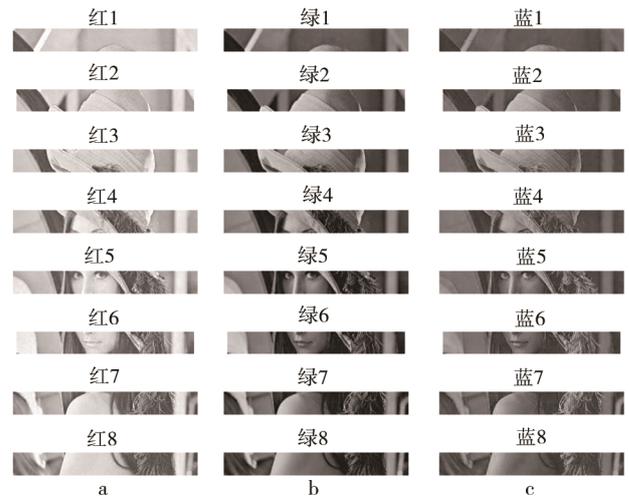


图 3 按 S 通道拼接好的各单色碎片行拼接  
Fig.3 Stitching according to each well-stitched monochrome fragment line of S channel



图 4 按 S 通道拼接好的单色和彩色复原  
Fig.4 Restoration based on the well-stitched monochrome and color of S channel



图 5 Lena 图 HSV 拼接完整  
Fig.5 Images of whole splicing of Lena by HSV

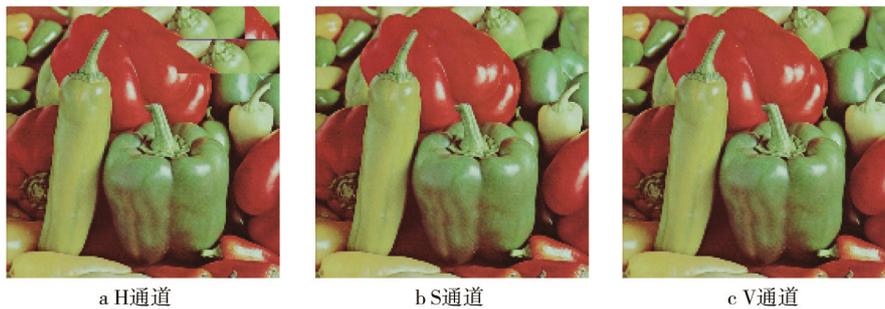


图 6 Peppers 图 HSV 拼接完整  
Fig.6 Images of whole splicing of Peppers by HSV

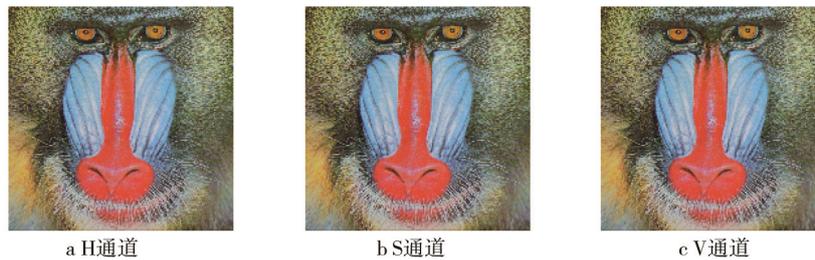


图 7 Baboon 图 HSV 拼接完整  
Fig.8 Images of whole splicing of Baboon by HSV

### 2.3 算法对比

与之前的算法相比，文中算法在拼接彩图碎片切向、拼接速度和拼接质量上都有明显提升。在拼接图像过程中将彩色图像碎片分成单色拼接，最后再合成彩色，实现了彩色图像的拼接复原。在碎片切向上以前的算法基于比值法<sup>[2]</sup>和基于相似度比较法<sup>[16]</sup>都只能拼接仅纵切的图像。文中根据提取碎片上下边缘的灰度值进行特征匹配，通过遍历搜索，先拼接左侧第 1 列纵向碎片，再自上而下逐一拼接每行的碎片，最终实现了横向和纵向分切的图像碎片拼接。在拼接速度上，由于文中算法识别能力高，算法搜索能力强，使得算法获得了极快的拼接速度。在拼接效果上，将彩色图像分成 3 个单色图像，3 个单色都按其中某一色的拼接顺序拼接，使得本来出现 3 个误差点的算法只存在一个误差点，而且 3 个单色各自的拼接顺序都会生成一幅复原图，使得算法误差更小，每幅彩图碎

片总能在某一 HSV 单色通道中拼接成功，使得综合成功率为 100%。各模型算法对比见表 1。

表 1 算法对比  
Tab.1 Algorithm comparison

模型类型	碎片切向	拼接时间/s	复原成功率/%
比值法	仅纵切	4.28	68
相似度比较法	仅纵向	—	100
文中模型	横向和纵向	1.59	100

### 3 结语

提出了新的彩色图像碎片全自动拼接算法，解决了许多算法只能拼接仅纵切的彩图碎片的不足，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，有效地解决了配准精度与匹配效率间的矛盾。文中所提出的算法通过遍历搜索可以精确找到对应

的特征匹配向量,综合拼接复原成功率为100%,其中按S通道彩图碎片的拼接顺序复原达到97%的成功率,H通道、V通道图像拼接顺序复原成功率分别为87%和90%。此外,文中拼接算法耗时1.59 s,比传统算法的平均耗时减少了2.69 s。

文中对RGB彩色数字图像碎片转换到HSV颜色空间的3个单通道,只由单个通道找到各碎片位置信息,再直接拼接成RGB完整彩色图像,比由传统的先分别拼接3个单色图像再合成彩色图像节省了碎片配准时间,理论上效率提高了3倍。该算法中运用的模型简单易懂、使用方便,是一套完整且有效地针对规则彩色图像碎片的全自动拼接方案。

#### 参考文献:

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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 Image Based on System Similarity Matching Principle[J]. Acta Optica Sinica, 2010, 30(4): 899—993.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 曾峦,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.
- [7] 钟星,徐向斌.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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] AHN H, LEE Y H, LEE J H, et al. A Low Complexity Image Stitching Using Advanced Feature Matching in Mobile Environments[J]. J Comput Virol Hack Tech, 2014(10): 129—136.
- [12] MYUNG-HO J, KANG H B. Stitching Images with Arbitrary Lens Distortions[J]. International Journal of Advanced Robotic Systems, 2014, 11(2): 1—11.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 龚冷方.基于SIFT特征匹配的图像拼接技术研究[D].昆明:云南大学,2012.  
GONG Leng-fang. Research on Image Mosaic Based on SIFT Feature Matching[D]. Kunming: Yunnan University, 2012.
- [16] 刘婵.基于相似度比较的文档碎片拼接到图像拼接[J].科技资讯,2014(4):63.  
LIU Chan. Mosaic of Document Fragments to Image Splicing Based on Similarity Comparison[J]. Technology Information, 2014(4): 63.