图像拼接中直线段配准的色彩细节融合方法*

严文婷，刘　渊，周　鹏，谢振平
（江南大学 数字媒体学院，江苏 无锡 214122）

摘　要：基于原始照片中存在的直线段信息，以多融合源的直线段配准为融合约束，提出一种用于图像拼接的色彩细节融合新方法。该方法在保证较好实时性的同时，能较好地解决因不同光照条件和不同拍摄模式产生的多幅接接图像间的色彩不一致问题。实验结果验证了新算法的有效性。

关键词：图像拼接；直线段配准；色彩融合
中图分类号：TP391.4　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1001-3695(2013)09-2878-03
doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2013.09.082

Blending detailed color by registering line segments for image mosaic

YAN Wen-ting, LIU Yuan, ZHOU Peng, XIE Zhen-ping
(*School of Digital Media*, *Jiangnan University*, *Wuxi Jiangsu* 214122, *China*)

Abstract: This paper proposed a new method based on the line segment information to improve the color fusion in image collage. Such improvement guaranteed real time operation and solved the inconsistancy in color fusion caused by light condition and camera mode. The experiments prove the efficiency of the new algorithm.

Key words: image stitching; line registration; color fusion

图像拼接是许多大场景、高精度复合图像制作的基础技术，已在卫星图像合成、全景照片制作、高清大会场场景图像合成等方向得到了广泛应用。通常，图像拼接技术实现主要包含三个层次：像素级、特征级和决策级。一个好的图像拼接算法往往综合地考虑这些层级，以更优地实现图像拼接。

虽然现有图像拼接方法实现上各有不同[1~3]，但由于大多基于前述三个层次，故它们的基本流程均可归纳如下：

a）特征点检测。图像中的特征点指其具有一些较少受光照条件、拍摄视角等外在因素影响的像素特征，因而可用特征算子进行描述和提取，作为图像配准的基点。

b）特征点匹配。基于特征点的特征比对，找出待拼接图像中的对应特征点。

c）建立投影模型。通过建立投影模型，将图像变换至投影模型。其关键点在于，根据匹配特征点间的坐标映射关系确立图像间的相对投影位置，最终将待拼接图像映射到目标拼接图像的坐标空间。

虽然已有一些方法在图像拼接上获得了良好的性能，然而，大都在局部细节的色彩融合上还不能完全满足实际要求。实际中，往往通过人工修补的方式来弥补软件的不足。本文基于图像中直线段配准信息，提出了一种图像拼接的色彩细节融合新方法。新方法同样基于前述基本流程实现，其中使用 SIFT 特征作为配准特征点的基础特征。

1　直线段配准的色彩细节融合

对于大部分实景照片，其中通常会含有大量的直线段，如建筑物的框体、横梁等。这些直线段在多视角照片中仍会表现出非常强烈的直线属性。因此这一特性将有助于提升图像拼接中的色彩细节融合实现。一般地，由于实际相机非理想相机，在对同一场景进行多角度拍摄取样时，由于光照条件和拍摄模式的不同，场景中同一区域在不同照片中会呈现一定的细节差异。这些差异导致多幅图像间的空间变换并不能使用统一的变换矩阵表示。为此，文中提出基于空间场景中普遍存在的直线结构，以此对多个待拼接的图像建立一种约束关系，得到多幅图像间的局部空间变换关系，进而获得更高精度的拼接结果。

1.1　SIFT 特征点配准

目前已有许多图像特征可用于图像特征点的检测和匹配[4]。经实验比较，本文选用 SIFT 特征作为配准特征，并用 BBF 特征点匹配法进行特征点配准。SIFT 特征可表示为一个 128 维的特征向量。

Lowe 在 1999 年提出 SIFT 算子[5]，并于 2004 年正式提出了一种基于尺度空间的，对图像平移、旋转、缩放，甚至仿射变换保持不变性的图像局部特征描述算子。对两幅图像进行 SIFT 特征值提取结果如图 1 所示，其中两幅图像为江南大学图书馆正门大厅，分辨率为 640×480。

图 1　图像中的 SIFT 特征值点

收稿日期：2012-11-08；**修回日期**：2012-12-21　　**基金项目**：2009 江苏省工业支撑计划资助项目(BE2009009)

作者简介：严文婷(1988-)，女，硕士研究生，主要研究方向为数字图像处理(tvxqywt@sina.com)；刘渊(1967-)，男，教授，主要研究方向为计算机网络应用技术与数字媒体软件；周鹏(1991-)，男，本科生；谢振平(1979-)，男，副教授，博士，主要研究方向为计算智能及其应用.

图 1 中箭头所指方向为 SIFT 特征点的主方向[4,5],每个特征点对应一个用于描述它的 128 维特征向量。在特征点配准时,若设左图为主图像,右图为副图像,先为副图像中的所有特征点建立一个 128 维超平面的 K-D 树结构[4,6],然后搜索主图像的每个特征点在副图像中的最近邻域点和次最近邻域点。为了提高效率,文中采用 BBF 算法[4,7]。

1.2　图像拼接的透视变换

在相机模型中,若已知摄像机的内参和外参[8,9],则对任意给定的三维空间中一点 $P(x,y,z)$,可求得这点在相机成像面中的坐标 $p(u,v,1)$,公式化表示为

$$MP^{\mathrm{T}} = zp^{\mathrm{T}} \tag{1}$$

其中:M 是一个 3×3 的变换矩阵,不同拍摄条件和模式对应的 M。

如果两幅图像中存在相同的特征点,即真实世界中一个点 $P(x,y,z)$ 通过两个不同的变换矩阵 M_1、M_2 映射到两个成像图像面上,形成 p_1、p_2 两个点,有

$$\begin{aligned} M_2 P^{\mathrm{T}} &= z_2 p_2{}^{\mathrm{T}} \\ M_1 P^{\mathrm{T}} &= z_1 p_1{}^{\mathrm{T}} \end{aligned} \tag{2}$$

图像拼接的关键步骤,即是对待拼接的两幅图像建立映射变换关系,特别地对那些对应特征点,需满足

$$Tp_2^{\mathrm{T}} = p_1^{\mathrm{T}} \tag{3}$$

其中:T 是一个 3×3 的变换矩阵。根据线性方程组求解公式,如果已知两幅图像上的四组对应特征点,就能够求出矩阵 T。

理论上,根据任意四组对应特征点,即可求出变换 T。但实际中,SIFT 点存在误配可能,且相机模型一般是非理想的,因而通常采用更强壮的方法求取 T。

RANSAC 以及其改进算法[10,11]是一类鲁棒的变换估计算法,其中充分利用特征点集的内在几何约束关系进一步剔除错误的匹配。利用 RANSAC 算法能有效对两幅图像中 SIFT 匹配点进行提纯,并建立最佳映射。

1.3　镜头畸变校正

根据 1.2 节分析可知,一幅图像空间变换到另一幅图像空间只需要进行一次映射变化(变换矩阵 T),这是一个线性系统。然后在实际中摄像机存在着畸变[8],尤其是当用广角镜头进行拍摄时,畸变较为明显,其中径向畸变的数学模型可以描述如下:

$$\begin{aligned} u &= \tilde{u}[1 \pm k_1(\tilde{u}^2 + \tilde{v}^2)] \\ v &= \tilde{v}[1 \pm k_1(\tilde{u}^2 + \tilde{v}^2)] \end{aligned} \tag{4}$$

其中:u、v 为理想的图像像素坐标;$\tilde{u}$、$\tilde{v}$ 为实际像素坐标;k_1 为畸变系数。显然,上述变换不是线性变换。此外,实际中还存在切向畸变、偏心畸变等其他畸变[7]。这些畸变都不是线性变换。

由于径向畸变对图像拼接性能的影响最大[8,9],因而实际中通常仅对径向畸变进行校正。文中取 $k_1 = 3 \times 10^{-7}$,实验对比结果如图 2、3 所示。明显地,在标号为 1、2、3 的图像区域的拼接质量有了很大改善。但是标号为 4 的图像区域的拼接质量提升有限。

图 2　未校正的拼接结果

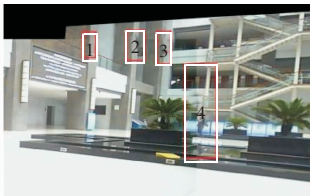

图 3　校正后的拼接结果

2　色彩细节融合新方法

通过畸变校正后得到的拼接图像虽然总体上已较为自然,但色彩细节上仍不理想。本文在原有算法基础上,引入直线段配准约束,提升图像拼接的细节融合准确度。下面给出算法流程:

算法 1　基于直线段配准的图像拼接色彩细节融合算法

a)输入两幅待拼接的图像;

b)检测出 SIFT 特征点;

c)使用 RANSAC 算法求得两幅图像空间的变换矩阵 T;

d)根据式(4)进行畸变校正;

e)使用概率型霍夫变换提取出图像中直线段;

f)使用最小二乘法估计得到不同图像中直线段的配准关系矩阵 T_{L_i};

g)对待拼接图中任一点 $P_{x,y}$,根据式(5)确定其变换矩阵 $T_{x,y}$;

h)基于像素点的变换矩阵,使用平均平滑算法得到最终拼接图像。

上述算法中,T_{L_i} 表示线段 L_i 的对应配准矩阵,步骤 g)中使用的 $T_{x,y}$ 计算式如下:

$$T_{x,y} = \alpha_{x,y} T_{L_i} + (1 - \alpha_{x,y}) T_I \tag{5}$$

其中:T_I 为单位变换矩阵;$\alpha_{x,y} = \mathrm{e}^{-D^i_{x,y}/\gamma}$;$D^i_{x,y}$ 为点 $P_{x,y}$ 到某最近直线段 L_i 的距离。

3　实验分析

案例选取方法参照了 Mikolajczyk 等人[12]在研究区域描述符的时候,提供的一个被其他作者后来广泛采用的图像库(图像中包括大视角、模糊、光照、放大缩小等情况),重新选景,如图 4 所示。

图 4　测试原图像

结合为江南大学图书馆构建的三维全景虚拟展示系统实现,实验中采集了部分图书馆照片,然后使用新方法进行自动拼接,将拼接完成的全景图像直接应用于某三维全景虚拟展示制作软件中,获得了良好的性能,很大程度地降低了人工拼接的时间成本,相比于传统方法获得了更好的精度效果。系统实验平台为:CPU 2.90 GHz,内存 4.00 GB,方法实现平台 Microsoft Visual Studio 2010。图 5 给出了两幅原始照片图像,下面分别使用新方法和标准的加权平均融合方法对它们进行拼接,给出融合效果和运行时间实验对比结果。

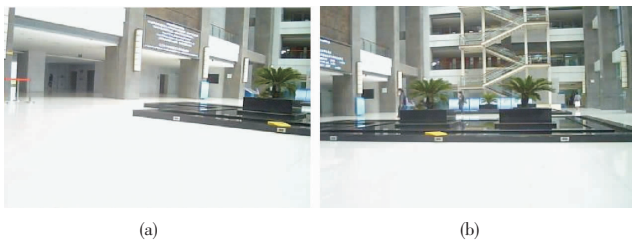

图 5　640×480 的两幅原始图像

3.1 实验结果

3.1.1 融合效果

图 6、7 分别给出了传统方法和新方法的拼接结果。可以看出，在图 6 标示的几个局部区域中，拼接细节并没有实现很好的融合，甚至出现直线型框架的错位，而图 7 所示结果的相应区域则很好地避免了这个问题，获得了更好的拼接性能。由此可见，新方法是实际有效的。

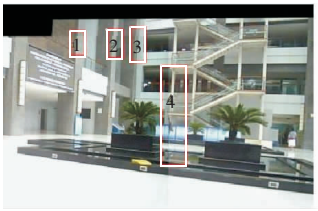

图 6 传统方法的拼接结果

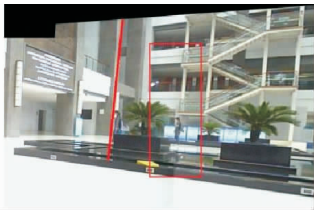

图 7 新方法的拼接结果

3.1.2 时效性比较

为了比较新方法的实时性，笔者考虑对同一组图像的多分辨率图像对进行拼接实验。选取的分辨率分别为 192 × 256、200 × 272、224 × 304、256 × 336、640 × 480。所得的时间对比值如表 1 所示。

表 1 传统方法与本文方法的时效比较

分辨率	传统算法	本文算法
192 × 256	0.762	0.954
200 × 272	0.992	1.326
224 × 304	1.036	1.687
256 × 336	1.6297	2.0487
640 × 480	2.0246	2.8956

3.2 结果分析

综合上述实验结果可知，新方法与传统方法在同一分辨率图像上所用时间相差不多，但性能上有了改善，特别是在局部细节上提升明显。特别地，传统标准方法可以明显看出有色彩融合不好的大片区域，而新方法看不出色彩叠加块。

4 结束语

为提升图像拼接的细节质量，对实景照片中普遍存在的直线段进行配准，并以此为基准，实现一种新的图像拼接方法。实验分析与实际应用显示，新方法具有明显的性能提升，拼接得到的新图像可更好地用于真实场景的三维虚拟展示。

参考文献：

[1] 周剑军，欧阳宁，张彤. 基于 RANSAC 的图像拼接方法[J]. 计算机工程与设计，2009，30(24)：5692-5694.

[2] 赵向阳，杜利民. 一种全自稳健的图像拼接融合算法[J]. 中国图象图形学报，2009，9(4)：417-422.

[3] SNAVELY N，SEITZ S M，SZELISKI R. Photo tourism：exploring photo collection in 3D[J]. ACM Trans on Graphics，2006，25(3)：835-846.

[4] SZELISKI R. Computer vision：algorithms and application[M]. [S. l.]：Springer，2008：216-227.

[5] LOWE D G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints[J]. International Journal of Computer Vision，2004，60(2)：91-110.

[6] MOORE A. An introductory tutorial on kd-trees，Technical Report 209[R]. [S. l.]：Computer Laboratory，University of Cambridge，Carnegie Mellon University，1991.

[7] BEIS J S，LOWE D G. Shape indexing using approximate nearest-neighbour search in high-dimensional[C]//Proc of Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Washington DC：IEEE Computer Society，1997：1000-1006.

[8] 贾丹. 摄像机现场标定算法研究[D]. 哈尔滨：哈尔滨工程大学，2007.

[9] SONKA M，HLAVAC V，BOYLE R. Image processing，analysis，and machine vision[M]. 2nd ed. US：Thomson Learning，2006：449-457.

[10] SATTLER T，LEIBE B，KOBBELT L. SCRAMSAC：improving RANSAC's efficiency with a spatial consistency filter[C]//Proc of the 12th IEEE International Conference on Computer Vision. 2009：2090-2097.

[11] MARQUEZ-NEILA P，GARCIA M J，BUENAPOSADA J M，*et al*. Improving RANSAC for fast landmark recognition[C]//Proc of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops. 2008：1-8.

[12] MIKOLAJCZYK K，SCHMID C. A performance evaluation of local descriptors[J]. IEEE Trans on Pattern Analysis Machine Intelligence，2005，27(10)：1615-1630.

[13] 韩黄璞. 基于成像规律的 CCD 镜头畸变的快速校正[D]. 西安：西安工业大学，2012.

(上接第 2877 页)

参考文献：

[1] 徐俊文，廖达雄，王淑侠，等. 在线手绘电路图的识别研究[J]. 科学技术与工程，2007，7(6)：1089-1094.

[2] 陈新胜，华庆一. 一个简单笔式交互系统的实现[J]. 计算机应用与软件，2008，25(10)：44-45，48.

[3] 姜映映，田丰，王绪刚. 基于模板匹配和 SVM 的草图符号自适应识别方法[J]. 计算机学报，2009，32(2)：252-260.

[4] 何阳清. 基于几何特征的手势识别算法研究[D]. 上海：上海海事大学，2004.

[5] VALOIS J P，COTE M，CHERIET M. On-line recognition of sketched electrical diagrams[C]//Proc of ICDAR. 2001：460-464.

[6] 冯桂焕，孙正兴，BIARD-GAUDIN C. 使用几何特征与隐 Markov 模型的手绘笔画图元分解[J]. 软件学报，2009，20(1)：1-10.

[7] 刘文刚. 基于支持向量机的复合草图形状识别方法[D]. 天津：天津大学，2007.

[8] 李海磊. 基于 agent 的草图识别平台[D]. 天津：天津大学，2007.

[9] SHPTALNI M，LIPSON H. Classification of sketch strokes and corner detection using conic section sand adaptive clustering[J]. Trans of ASME J of Mechanical Design，1996，119(2)：131-135.

[10] 戴仕全. 自适应三次样条插值逼近算法研究[D]. 大连：大连理工大学，2008.

[11] 唐磊. 面向产品概念设计草图的笔触语义应用与研究[D]. 镇江：江苏大学，2008.

[12] 王淑侠，廖达雄，王关峰. 一种快速手绘草图的在线识别方法[J]. 机械制造，2005(12)：29-31.

[13] 王淑侠，王关峰，高满屯，等. 基于时空关系的在线多笔画手绘折线段曲线识别[J]. 计算机科学，2012，39(9)：269-274.

[14] 姜全胜，廖达雄. 基于用户建模的手绘草图识别[J]. 计算机仿真，2009，26(9)：176-179.

[15] 罗湘萍，方贵盛. 手绘草图的在线分段识别[J]. 计算机工程与应用，2010，46(29)：173-174，178.

[16] 杨玲. 汽车造型二维到三维多笔触融合算法的研究[D]. 长春：吉林大学，2008.