

# 一种消除图像拼接缝和鬼影的快速拼接算法

瞿中<sup>1,2</sup> 乔高元<sup>1</sup> 林嗣鹏<sup>1</sup>

(重庆邮电大学计算机科学与技术学院 重庆 400065)<sup>1</sup> (重庆邮电大学移通学院 重庆 401520)<sup>2</sup>

**摘要** 由于提取 SIFT 特征进行图像拼接的算法复杂度较高且不能很好地处理拼接缝和鬼影等问题,提出了一种消除拼接缝和鬼影的快速图像拼接算法。该算法首先划定提取 SIFT 特征的范围,计算出匹配特征点后使用 RANSAC 算法求取两幅图像间的坐标变换关系矩阵  $H$ ,然后结合最佳缝合线算法和改进的加权平均融合算法实现无缝拼接。实验结果表明,提出的算法不仅有效地消除了拼接缝和鬼影,也提高了图像拼接的效率。

**关键词** SIFT 特征,图像拼接,拼接缝,鬼影,加权平均融合

**中图分类号** TP391.41 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2015.3.058

## Fast Image Stitching Algorithm Eliminates Seam Line and Ghosting

QU Zhong<sup>1,2</sup> QIAO Gao-yuan<sup>1</sup> LIN Si-peng<sup>1</sup>

(College of Computer Science and Technology, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China)<sup>1</sup>

(College of Mobile Telecommunications, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 401520, China)<sup>2</sup>

**Abstract** The image stitching algorithm using SIFT feature is complicated and hard to handle the seam line as well as ghosting. We proposed a fast image stitching algorithm to eliminate the seam line and ghosting. First, we extracted SIFT features in the given area of the full image. After obtaining the feature correspondences, we used the RANSAC algorithm to compute the homograph matrix  $H$ . Then, an integral image without seam line was received by the combination of the best seam line and the improved image fusion algorithm. The experimental results show that the algorithm not only eliminates the seam line and ghosting effectively, but also improves the efficiency of image stitching.

**Keywords** SIFT features, Image stitching, Seam line, Ghosting, Weight average fusion

## 1 引言

将一组相互关联且具有一定的重叠部分的图像在空间上进行配准,经重采样融合之后生成一幅宽视角、无缝、高分辨率图像的技术称为图像拼接。图像拼接技术被广泛应用于计算机视觉、医学图像分析、遥感图像绘制和虚拟现实领域。

图像拼接包含特征提取、图像配准和图像融合。常用的特征提取方法有: SIFT(Scale Invariant Feature Transform)、Harris、SUSAN等。其中, SIFT 算法<sup>[1]</sup>能够提取大量的特征,并且对于旋转、缩放和尺度变化保持不变性,对视角变化和噪声也有很强的鲁棒性,被广泛应用。也正是由于 SIFT 算法的这些特点,使得算法的复杂度很高。图像融合是图像拼接的另一个关键部分,需要解决的主要问题是鬼影现象。基于图像分割<sup>[2]</sup>的鬼影消除算法和 Dijkstra 算法寻找最佳缝合线,效果较好,但是复杂度较高。方贤勇等人给出了新的缝合线求解准则,但是局部小范围内还有可能出现鬼影。目前大多数的图像拼接都采用融合效率较高的加权平均融合法<sup>[3]</sup>,在待拼接图像的重叠区域内实现平滑过渡,消除拼接缝和鬼影,但若重叠区域内有运动物体,则还会产生合成鬼影<sup>[4]</sup>。

本文提出了一种消除图像拼接缝和鬼影的快速拼接算法。即首先利用垂直投影的思想,大致估算出待拼接图像的重叠区域,并在该区域内提取 SIFT 特征;然后根据 RANSAC (RANdom SAmples Consensus)算法<sup>[5]</sup>求出的图像间的变换矩阵  $H$ ,进行精确配准;最后,使用最佳缝合线的外接矩形区域对待拼接图像求差及加权平均融合。仿真实验证明,本文算法有效地消除了拼接缝和鬼影现象,同时还提高了拼接效率。

## 2 估算重叠区域

用图像对基于特征点的配准方法进行验证,发现经过 RANSAC 算法提纯后的正确匹配的特征点对基本分布在待拼接图像的重叠区域内。因此,如果能预先估算出待拼接图像的重叠区域,并在此区域内提取 SIFT 特征,不仅能保证图像拼接的准确性,而且由于特征提取范围的缩小,还能够减少特征提取时间。

鉴于 SIFT 算法的多量性<sup>[6]</sup>,只需要计算出大致重叠区域,就能提取足够正确的特征点。为了提高效率,本文结合垂直投影的思想,预先估算出待拼接图像的重叠区域,算法流程如图 1 所示。

到稿日期:2014-04-14 返修日期:2014-07-21 本文受重庆市科委自然科学基金计划项目(2010BB2399)资助。

瞿中(1972—),男,博士,教授,主要研究方向为数字图像处理、普适计算、物联网技术等;乔高元(1989—),女,硕士生,主要研究方向为数字图像处理;林嗣鹏(1990—),男,硕士生,主要研究方向为数字图像处理。

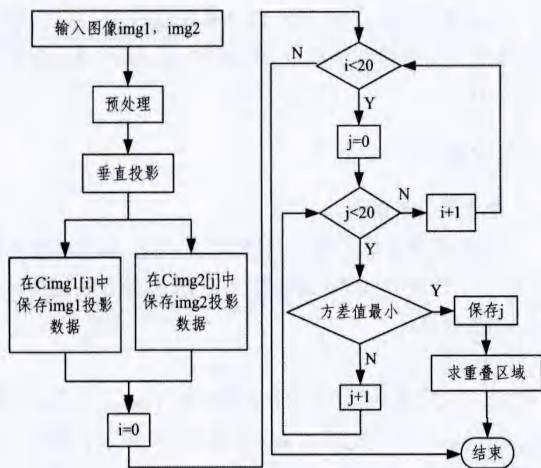


图1 估算重叠区域算法流程图

本文的估算重叠区域算法步骤如下(设  $img1$  是上图,  $img2$  是下图,如图 2(a)所示)。



(a) 两幅待拼接图像  $img1$  和  $img2$



(b) 二值图像  $Tim1$  和  $Tim2$

图2 两幅待拼接图像和二值图像

(1) 输入两幅待拼接图像  $img1$  和  $img2$ , 进行二值化和中值滤波, 得到相应的二值图像  $Tim1$  和  $Tim2$  (如图 2(b) 所示);

(2) 以  $span$  ( $span = img1 \rightarrow width / 20$ ) 个步长为单位, 依次取出  $Tim1$  和  $Tim2$  每列所含黑色像素点个数, 分别保存在数组  $Cimg1[i]$  和  $Cimg2[j]$  中 ( $i=0, 1, \dots, 19, j=0, 1, \dots, 19$ ) (见图 3);

(3) 取 10 个数据长度, 依次计算  $Cimg1[i]$  与  $Cimg2[j]$  差的绝对值的方差;

(4) 如果当前所得的值最小, 则转至步骤(5); 否则, 令  $j=j+1$ , 转至步骤(3);

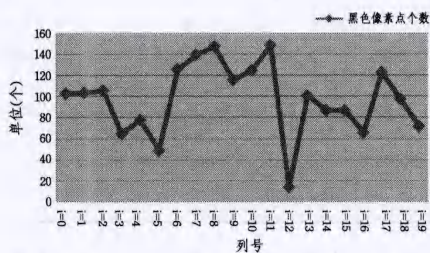
(5) 标记步骤(4)中得到的最小值的列号  $j$  (见图 4);

(6)  $img1$  和  $img2$  的重叠区域表示为  $overlay$  (起始点坐标  $(x, y)$ ,  $x$  为重叠区域宽度,  $y$  为重叠区域高度),  $img1$  和

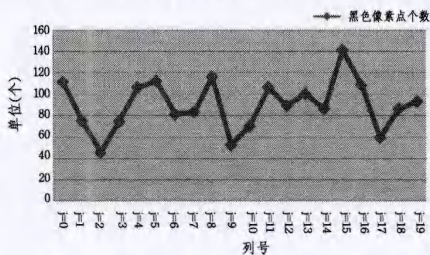
$img2$  的  $overlay$  (见图 5) 分别是:

$(0, 0, img2 \rightarrow width - j \times span, img1 \rightarrow height)$ ,

$(j \times span, 0, img2 \rightarrow width - j \times span, img2 \rightarrow height)$ 。



(a)  $Tim1$  每隔  $span$  个步长投影所得黑色像素点个数



(b)  $Tim2$  每隔  $span$  个步长投影所得黑色像素点个数

图3  $Tim1$  和  $Tim2$  每隔  $span$  个步长的黑色像素点个数

$img1$ 投影参数	103 104 106 65 78 49 126 140 148 116 ... .. 123 98 72
$img2$ 投影参数	112 76 46 75 107 113 82 84 117 53 71 107 ... .. 87 94
列号 $j$	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 ... .. 18 19
最小方差	398 390 862 681 351 191 326 307 312 483

图4 求方差值最小的列号  $j$



图5  $img1$  和  $img2$  的重叠区域

### 3 图像配准

#### 3.1 特征提取

估算出待拼接图像的重叠区域后, 提取基于图像特征选择的 SIFT 特征<sup>[7]</sup>。为了获取不同尺度空间的图像, 用连续变化的高斯核对图像进行卷积, 在得到的图像尺度空间内探查关键点, 如果找到的关键点为极值点, 则标记为候选角点。被标记的点是离散空间的极值点, 需要三维二次函数来精确定位关键点, 同时去除低对比度的点和边缘点。然后为每个关键点分配一个或多个方向, 以保持 SIFT 特征的旋转不变性。最后为得到的拥有位置、尺度和方向信息的关键点建立描述符。Lowe 建议描述符使用关键点尺度空间内  $4 \times 4$  的窗口计算 8 个方向的梯度信息, 共  $4 \times 4 \times 8 = 128$  维向量表征。

根据第 2 节阐述的估算重叠区域的算法思路, 分别记录

在待拼接图像的重叠区域和整幅图像中提取 SIFT 特征的时间,最终结果如表 1 所列。

表 1 提取重叠区域特征和提取整幅图像特征时间对比

图像尺寸 (像素)	SIFT 算法			本文算法		
	特征 点数	匹配 对数	匹配时 间(ms)	特征 点数	匹配 对数	匹配时 间(ms)
图 2(a) 500×281	1585	79	2387	1237	59	1732
图 6(a) 500×375	3012	203	3666	1514	101	1872
图 9(a) 337×450	1253	82	1996	897	76	1560

从表 1 中可以看出,虽然本算法减少了特征点数,但是匹配对数在集合中的比例并没有下降,这说明,本算法不仅保证了图像拼接的准确性,而且提取特征的时间也明显减少,提高了图像拼接的效率。

### 3.2 特征匹配与精确配准

特征点匹配<sup>[8]</sup>就是使用距离函数(欧氏距离等)检索高维矢量之间的相似性。本文采用 K-D 树算法,首先为每幅图像建立以特征描述符为树节点信息的 K-D 树。然后用两幅待拼接图像中的一幅图像的特征点搜索距离另一幅图像中相对应的特征点最近的  $K$  个数据,完成特征点的初始匹配,匹配结果如图 6 所示。

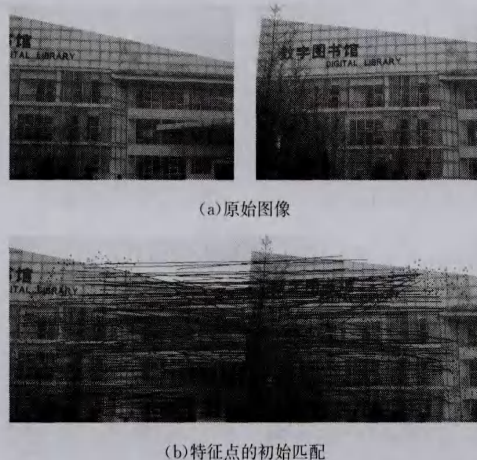


图 6 使用 K-D 树算法得到特征点的初始匹配

从图 6(b)中可以看出,有许多未正确映射的非匹配点<sup>[9]</sup>,即外点。本文采用图像拼接中应用最广泛的 RANSAC 算法来剔除外点,保留内点。

通过所得正确匹配点对,可以计算图像之间的映射关系,表示为单应性矩阵  $H$ ,如式(1)所示:

$$H = \begin{bmatrix} h_0 & h_1 & h_2 \\ h_3 & h_4 & h_5 \\ h_6 & h_7 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

设匹配的特征点对为:  $p = (x, y), q = q(x', y')$ 。根据投影变换如式(2)所示:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_0 & h_1 & h_2 \\ h_3 & h_4 & h_5 \\ h_6 & h_7 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

由 4 对匹配点对计算矩阵  $H$  的初始值。然后,通过

RANSAC 算法去粗,得到矩阵  $H$  的精确初始值。最后,使用非线性最小化迭代算法(Levenberg-Marquardt, LM)逐步精炼矩阵  $H$ 。

## 4 图像融合

### 4.1 建立最佳缝合线

在两幅图像重叠区域的差值图像上,颜色、结构强度差值最小的一条线被称为理想的缝合线<sup>[10]</sup>,最佳缝合线的求解准则如式(3)所示:

$$E(x, y) = E_{color}(x, y)^2 + E_{geometry}(x, y) \quad (3)$$

其中,  $E_{color}$  表示重叠像素点的颜色值之差,  $E_{geometry}$  表示其结构值之差。  $E_{geometry}$  是通过修改梯度计算 Sobel 算子实现的。考虑像素点周围的相关性,利用 Sobel 算子进行梯度计算时,计算  $x$  方向和  $y$  方向的梯度分别采用模板:

$$S_x = \begin{bmatrix} -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \end{bmatrix} \text{ 和 } S_y = \begin{bmatrix} -2 & -1 & -2 \\ 0 & 0 & 0 \\ 2 & 1 & 2 \end{bmatrix}$$

$E_{geometry}$  通过式(4)计算:

$$E_{geometry} = Diff(I_1(x, y), I_2(x, y)) \quad (4)$$

其中,  $I_1$  和  $I_2$  表示两幅待拼接图像,通过计算  $I_1$  和  $I_2$  在  $x$  和  $y$  方向的梯度差的积得到  $Diff$ 。

根据此准则,然后采用动态规划的思想寻找一条最佳缝合线,具体步骤如下:

(1)考虑把图像重叠区域第一行的每个像素点作为一条缝合线,这些像素点的标准值为其强度值,列值为缝合线的当前点;

(2)缝合线的扩展方向是依据当前点与它紧邻的下一行中 3 个像素的标准值相加所得到的强度值确定的,强度值最小的对应点,即为扩展方向。然后把缝合线的强度值更新为最小强度值,并将当前点更新为与最小强度值紧邻的下一行中的像素所在的列;

(3)取所有缝合线中强度值最小的那一条,作为最佳缝合线。

### 4.2 加权平均融合

在实际应用中,最常用的拼接线平滑方法是加权平滑法。融合如式(5)所示:

$$f(x, y) = \begin{cases} f_1(x, y), & (x, y) \in f_1 \\ w_1(x, y)f_1(x, y) + w_2(x, y)f_2(x, y), & (x, y) \in (f_1 \cap f_2) \\ f_2(x, y), & (x, y) \in f_2 \end{cases} \quad (5)$$

其中,  $f$  是融合后的图像,  $f_1, f_2$  是两幅待拼接图像,  $w_1$  和  $w_2$  分别为  $f_1$  和  $f_2$  中重叠区域对应像素的权值,并且满足  $w_1 + w_2 = 1, 0 < w_1, w_2 < 1$ 。根据渐入渐出法,  $w_1, w_2$  的计算如式(6)所示:

$$w_1 = \frac{x_r - x_l}{x_r - x_l}, w_2 = 1 - w_1 = \frac{x_l - x_l}{x_r - x_l} \quad (6)$$

其中,  $x_l$  为当前像素的横坐标,  $x_l$  和  $x_r$  分别为重叠区域左右边界,如图 7(a)所示。式(6)只针对  $x$  方向作了平滑过渡,同理可对  $y$  方向进行平滑过渡。

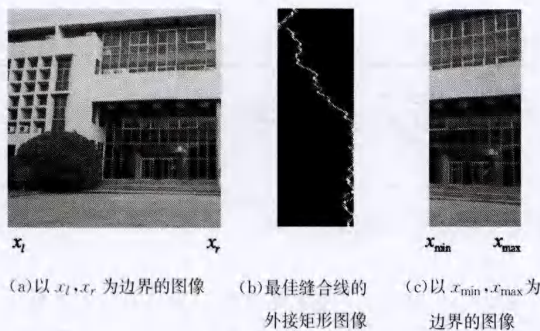


图7

### 4.3 改进的加权平均融合

根据加权平均的融合可知,加权平滑是针对重叠区域内的像素进行操作的。若重叠区域内有发生位移的物体,使用该方法将会产生合成鬼影。

理想的缝合线能有效避开发生位移的物体。一个自然的想法就是在缝合线周围使用加权平均融合,这样既实现了拼接线的平滑过渡,也避开了有位移的物体,避免了鬼影的产生。改进后的加权平均融合的值选择如式(7)所示:

$$\omega_1 = \frac{x_{max} - x_i}{x_{max} - x_{min}}, \omega_2 = 1 - \omega_1 = \frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (7)$$

其中, $\omega_1$ 和 $\omega_2$ 的定义与式(5)相同。 $x_i$ 是当前像素的横坐标。 $x_{min}$ 、 $x_{max}$ 分别是4.1节中找到的最佳缝合线的外接矩形的左右边界,如图7(b)所示。

分别以 $x_l$ 、 $x_r$ 和 $x_{min}$ 、 $x_{max}$ 为边界的图像和缝合线外接矩形图像如图7所示(以图2(a)为原始图像)。

使用重新计算过的权值 $\omega_1$ 、 $\omega_2$ 和融合式(5),对拼接后的图像进行平滑过渡,可以消除鬼影。

但是,如果位移物体在拼接缝周围,使用上述方法,还是会产生合成鬼影。本文利用帧差法的思想,对产生位移的物体区域进行提取,如图8所示。

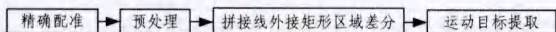


图8 提取运动的物体区域

提取产生位移的物体区域的具体步骤为:

- (1)对精确配准后的图像建立最佳缝合线;
- (2)画出最佳缝合线的外接矩形。对第一幅输入图像和坐标变换后的第二幅图像在相应的矩形区域内进行差分;
- (3)对差分图像进行自适应阈值的二值化操作,然后对二值图进行膨胀、腐蚀,以消除小的噪声点,填补空洞;
- (4)提取产生位移的运动目标区域。

## 5 实验结果与分析

针对重叠区域内有运动物体的图像,首先对图像进行精确配准,然后计算出配准后图像的最佳缝合线,最后根据改进的加权平均融合算法,去除鬼影和拼接缝。实验结果如图9所示。

从图9可以看出,在重叠区域有运动物体的情况下,传统的加权平均融合算法会产生合成鬼影(已在图9(c)中标注),而改进的加权平均融合算法能有效地去除鬼影和拼接缝,如图9(e)所示。



(a)原始图像



(b)最佳缝合线图像



(c)传统加权平均融合

(d)改进的加权平均融合

(e)加入运动物体判定

图9 传统与改进的加权平均融合效果图

**结束语** 由于SIFT算法提取特征的复杂度较高,本文采用预先估算重叠区域并在重叠区域内提取SIFT特征的方法,能有效缩短特征提取的时间。针对拼接缝和鬼影现象,本文采用改进的加权平均融合算法来消除拼接缝和鬼影。实验证明,本文算法不仅有效消除了拼接缝和鬼影,而且缩短了特征提取时间。

## 参考文献

- [1] Lowe DG. Distinctive Image Features from Scale-invariant Keypoints[J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2):91-110
- [2] Beom S K, Hang H L, Nam I C. Real-time Panorama Canvas of Natural Images[J]. IEEE Transactions On Consumer Electronics, 2011, 57(4):1961-1968
- [3] Luo Juan, Oubong G. SURF applied in Panorama Image Stitching[C] // Image Processing Theory, Tools and Applications. 2010:495-499
- [4] Quresh H S, Khan M M, Hafiz R, et al. Quantitative quality assessment of stitched panoramic images[J]. IET Image Processing, 2012, 6(9):1348-1358
- [5] Chen Fu-xing, Wang Run-sheng. Fast RANSAC with preview model parameters evaluation[J]. Journal of Software, 2006, 16(8):1431-1437
- [6] Bostanci E, Kanwal N, Clark A F. Spatial Statistics of Image Features for Performance Comparison[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2014, 23(1):153-162
- [7] 姜超, 耿则勋, 娄博, 等. 基于GPU的SIFT特征匹配算法并行处理研究[J]. 计算机科学, 2013, 40(12):295-297
- [8] 欧阳宁, 翟紫伶, 首照宇, 等. 基于图切割的多频带融合图像拼接[J]. 微电子学与计算机, 2013, 30(7):107-110
- [9] 曾丹, 陈剑, 张琦, 等. 基于全局拓扑结构的分级三角剖分图像拼接[J]. 计算机研究与发展, 2012, 49(1):144-151
- [10] Xiong Yin-gen, Pulli K. Fast Panorama Stitching for High-Quality Panoramic Images on Mobile Phones[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2010, 56(2):298-306
- [11] 林小平, 周石琳, 张官亮, 等. 一种基于蚁群算法和互信息测度的图像拼接技术[J]. 重庆理工大学学报:自然科学版, 2013, 27(1):76-81