

文章编号 1004-924X(2015)09-2724-08

三次透视投影变换图像拼接

颜无瑕*, 刘传才

(南京理工大学 计算机科学与工程学院, 江苏 南京 210094)

摘要: 为了减少带有路面信息的建筑物图像的拼接中产生的图像失真并提高拼接速度, 基于局部变形方法并结合建筑物和路面纹理信息的不同提出了三次投影变换图像拼接方法。该方法根据图像内容将图像分割成不同子图像, 然后拼接图像内容相同的子图像, 最后实施总体拼接。为了改善当前全局投影变换带来的图像形状失真或扭曲问题, 整个拼接过程采用三次局部的透视投影图像变换方法。由于是在传统的透视投影变换的基础上基于图像内容分割后再拼接, 故拼接结果比传统方法更精确、更真实。实验结果表明: 采用提出的图像拼接方法克服了路面部分纹理信息过少导致图像失真的缺陷, 拼接速度比相关拼接方法提高了 20%~40%。该方法能快速得到清晰无缝的拼接图像, 基本满足拼接速度快、真实度高的要求。

关键词: 图像分割; 图像拼接; Hough 变换; 透视投影变换

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20152309.2724

Three projective transformations for image stitching

YAN Wu-xia*, LIU Chuan-cai

(School of Computer Science and Engineering,
Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

* Corresponding author, E-mail: wxyan127@outlook.com

Abstract: A three projective transformation image stitching algorithm was proposed based on local warping method combined with different textures of buildings and ground planes to overcome the image distortion and improve the stitching speed for the stitched building image with ground plane information. With the method, the image was first segmented into different small images with different contents, and then the ones with the same content were stitched together before finishing the whole stitching process. In order to reduce the local distortion and warping caused by globally projective transformation methods, the locally projective transformation method was adopted three times during the whole process. As the method stitches the image based on image content segmentation, it has a very precise and reliable stitching result than traditional ones. Experimental results show that the proposed method obtains seamless stitching image and overcomes the defects caused by image distortion due to less texture information of the ground plane, as well as improves the speed by 20%—40% as compared with that of traditional method. The rapid speed and high fidelity of proposed method satisfies the requirements of image stitching.

Key words: image segmentation; image stitching; Hough transformation; projective transformation

收稿日期: 2015-05-11; 修订日期: 2015-06-29.

基金项目: 国防科工局高分专项(民用)资助项目(No. E0310/1112/02-1)

1 引言

图像拼接技术^[1]目前存在很多难以解决的问题,如拼接后如何处理鬼影、拼接缝、曝光差异等,另外,拼接速度和拼接质量的提高也是不可忽视的问题。图像拼接是基于图像的重叠区域将两幅或多幅图像合成一幅无缝清晰图像的过程。图像拼接方法主要分为两类^[2]:基于像素的图像拼接和基于特征的图像拼接。目前研究较多的基于特征的图像拼接的步骤一般^[3]包括特征提取、特征匹配、图像变换模型建立、图像变换和融合。传统拼接方法采用全局特征匹配建立变换模型^[4],如相似变换、仿射变换、投影变换以及多种方法的复合。尽管全局变换能兼顾图像全局特性,而且鲁棒性强,但它并不能灵活应用于所有场景和运动模型,且拼接后图像失真较严重。

为了解决全局变换存在的问题,近几年该领域提出了许多局部变形模型,如 SVA 变换^[5](Smoothly Varying Affine Warp)、APAP 变换^[6](As Projective As Possible Warp)、Shape-Preserving Half-Projective Warps^[7]、Dual-Homography Warping^[8]等。其中,SVA 变换采用网格变形方法通过在空间关系上的变形解决相机视差和景物深度不一致带来的图像配准不精确的问题。APAP 变换利用局部投影变换并结合移动直接线性变换方法实现拼接。Shape-Preserving Half-Projective Warps 在透视投影变换的基础上加入相似变换试图解决 APAP 变换带来的形状失真问题。而 Dual-Homography Warping 针对含有两种不同平面的图像采用两个单应矩阵进行局部变形。这些文献集中于研究如何将单一的全局变换分解为多种局部参数变换并结合图像处理相关技术来提高图像配准和匹配精度,最终改进图像拼接质量。

对于含有路面信息的建筑物图像的拼接问题,传统基于特征的拼接过程是以建筑物部分的特征匹配为基础获取全局投影变换模型,由于图像拼接的质量取决于投影变换模型的准确度,全局方法对于此类图像提取的特征集中在纹理信息丰富的建筑物部分,很少包含甚至不包含纹理信息较少的路面部分的特征。对于此类图像的拼接,文献[8]提出了 Dual-Homography Warping

方法。为了将位于图像上部的 distant plane 和位于下部的 ground plane 对应的特征分开,在图像的顶部和底部分别选取两个种子点,采用 K-means 聚类方法将 SIFT^[9](Scale Invariant Feature Transform)特征点的集合在对应图像上下的两部分分成两个特征点子集,用 RANSAC^[10](RANdom SAMple Consensus)去除误匹配的 SIFT 特征点对,之后应用基于权重的方法拼接整个图像,而两个特征点集合的权重则根据像素点与最邻近特征点的欧式距离来确定。

该方法存在一些问题:首先,对整幅图像提取 SIFT 特征点是不合理的,因为路面部分本身包含的纹理信息较少,很少能提取到对应的 SIFT 特征点。其次,该方法采用的权重分配策略需遍历重叠区域所有配对的特征点,算法效率低。

针对上述问题,本文将图像按内容分割成两部分:仅包含建筑物的子图像和仅包含路面的子图像,分别提取特征、匹配并拼接。由于该方法在提取路面特征时已排除建筑物特征的干扰,且整个拼接过程能全面兼顾建筑物和路面两部分的特征信息,故拼接结果更加符合真实性要求。

2 三次投影变换图像拼接

为了在拼接中增加路面特征信息以改进拼接质量并提高匹配速度,本文首先根据图像内容将待拼接图像分割成两幅子图像,即上半部分包含建筑物的图像和下半部分包含路面的图像,用分割代替文献[8]中的聚类,以简化计算,提高效率。然后采用基于特征的透视投影变换拼接方法,对建筑物和路面部分的子图像单独拼接,最后将上一步得到的建筑物和路面部分的拼接图像再次拼接得到最终的拼接图像。整个过程如图1所示,包括图像分割过程和图像拼接过程两部分,其中共用到了3个投影变换矩阵,所以该方法称为三次投影变换图像拼接。

2.1 图像分割

图像分割^[11]是计算机视觉和机器学习领域中的一个关键基础问题,其将图像分割成相互独立且各具特性的不同部分,以提取人们感兴趣信息。图像分割是图像分析、理解、识别、处理等操作的基础。在含有路面信息的建筑物图像中,包含各种垂直或水平门窗信息的建筑物与光滑的包

含纹理信息较少的路面形成鲜明对比,因此可检测图像中建筑物部分显著的垂直和水平线段,并将位于图像最底部的水平线作为建筑物与路面的分界线。本文采用 Hough 变换^[12-14]算法完成线段检测。

Hough 变换可用于完成图像空间到参数空间的映射关系,利用点与线的对偶性,将二维空间中的点 $p(x, y)$ 映射到参数空间中的曲线 P 上。曲线 P_1 和 P_2 在参数空间中的交点表示二维空间中点 p_1 和 p_2 有公共的参数特性(如共线性),

通过统计交点累积数目可检测二维空间中存在的线段。Hough 变换算法是图像空间到参数空间的一对多的映射匹配算法^[15],在参数空间中对离散点进行投票,并将投票结果逆投影到图像空间中实现直线检测。这种方法对图像噪声以及区域边界被遮挡而出现间断的情况有很好的容错性和鲁棒性,同时具有明了的几何解析性和易于并行处理等特点,适合处理本文中图像的线段检测问题。

此外,对于本文中图像存在的光照不均和纹理相似等问题,Hough 变换也能取得满意的效果。

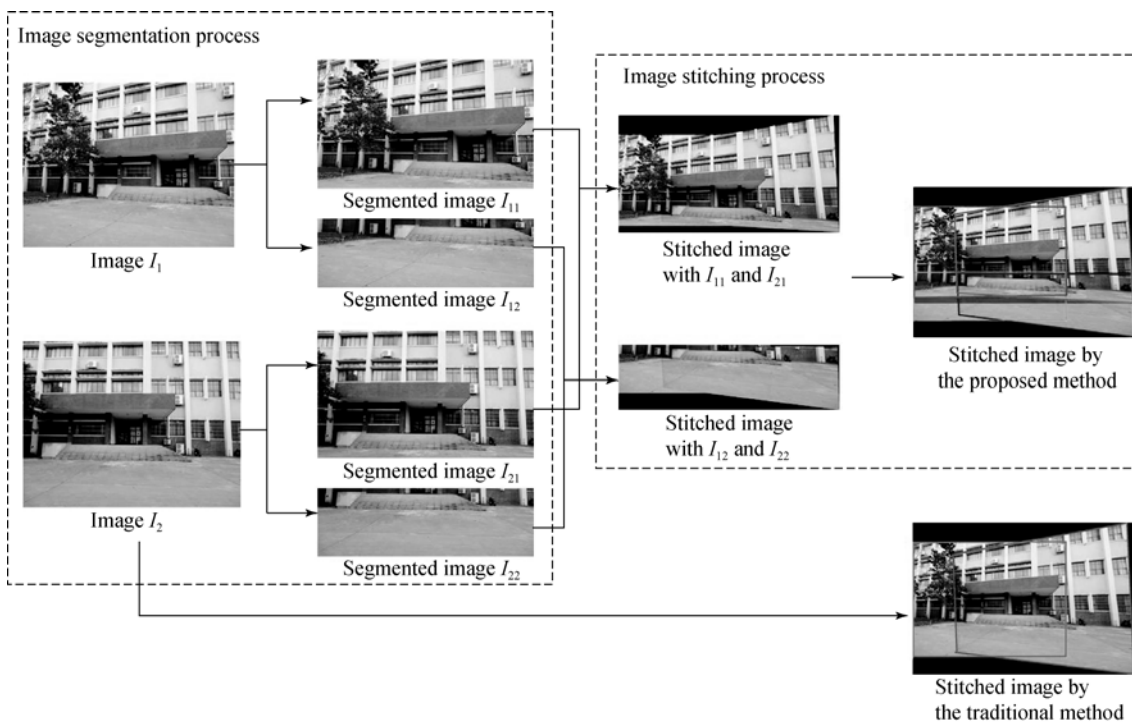


图 1 三透视投影图像拼接示意图

Fig. 1 Framework of image stitching based on three projective transformations

文献[16]验证了 Hough 变换对存在光照线性变化的图像具有鲁棒性的特点。这种光照变化产生的原因包括物体表面的自然反光特性、背景中光源强度变化以及背景中存在单个或多个光源等情况。针对图像纹理信息相似的问题,文献[17]给出了一种施加了约束的 Hough 变换方法,该方法能够在纹理丰富的背景图像中分割出纹理信息同样丰富的目标物。该方法验证了 Hough 变换对于纹理信息相似的图像进行分割时同样具有强鲁棒性。

通过 Hough 变换检测出图像中建筑物部分的位于最低位置处的水平线段,沿此线段所在直

线将图像分割成上下两个子图像。

2.2 图像拼接

为了保持图像拼接的快速性和真实性,本文采用基于特征的标准方法拼接不同内容的子图像,但基于特征的图像拼接方法的应用前提是待拼接图像之间要有一定的重叠区域,即通过物体或景物上同一像素点在不同图像上所成的像建立图像间的变换模型,来获取图像变换矩阵;然后,按照标准拼接步骤完成拼接。无重叠区域图像的拼接不符合一般意义上的拼接架构,不在本文讨论范围之内。因此,本文在分割图像时采用人为设定的方式来确定出固定的重叠区域,从而完成

拼接。具体见 3.1 部分。

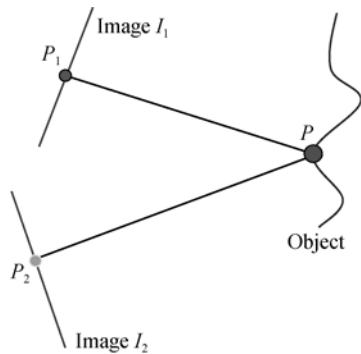


图 2 平面成像模型图示

Fig. 2 Diagram of planar imaging model

如图 2 所示,物体或景物的同一点 P 在不同图像 I_1 和 I_2 上的投影点 P_1 和 P_2 位于拼接图像 I_1 和 I_2 之间的重叠区域部分。通过建立标准透视投影模型(又称为针孔成像模型)以及图像坐标变换模型可求出 I_1 到 I_2 投影变换矩阵 \mathbf{H} ,从而完成 I_1 和 I_2 的拼接。

2.2.1 透视投影模型

空间中任意一点在图像上的成像位置可用透视投影模型^[18-19]来表示,图 2 中的空间场景点 P 在三维世界坐标系中的坐标为 $M(x, y, z)$ 和其在图像 I_1 上的投影点 P_1 (坐标为 $m(x, y)$),以及点 P 和其在图像 I_2 上的投影点 P_2 (坐标为 $m'(x', y')$)均构成透视投影模型。

以 P 和 P_1 构成的透视投影模型为例,在图 3 中,点 P 透过相机光心 O 投影到成像平面上的 P_1 位置,所成的像为倒像。其中, O 为相机透镜平面上的光心位置,其到像平面的距离为相机焦距 f 。

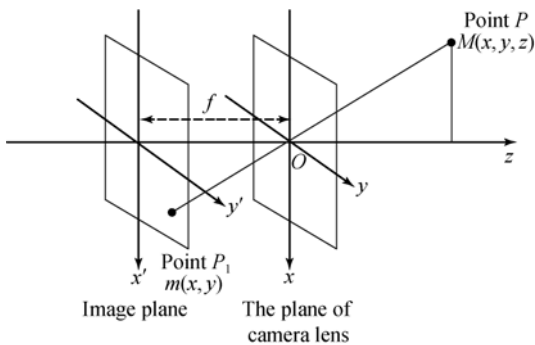


图 3 透视投影模型

Fig. 3 Model of perspective projection

通过透视投影模型建立三维空间中的点与其在二维图像平面上投影点之间的坐标变换关系,其与相机内参数和外参数紧密相关。在此模型中,三维景物点 P 的坐标值 M 与其在图像平面上的投影点 P_1 的坐标值 m 之间的关系为:

$$m = \mathbf{C} \begin{bmatrix} \mathbf{R} & \mathbf{T} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} M, \quad (1)$$

其中: \mathbf{C} 是相机参数矩阵,包括相机内参数:相机焦点坐标 (f_x, f_y) 和光心坐标 (c_x, c_y) , \mathbf{R} 为相机旋转矩阵, \mathbf{T} 为相机平移矩阵。

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

在 P 和 P_2 构成的透视投影模型中,同样可以求出点 P 的坐标值 M 与点 P_2 坐标值的关系,从而建立图像 I_1 和 I_2 之间的投影关系。

2.2.2 图像坐标变换模型

对相机在某种约束下运动的情况,图像坐标变换模型^[20]可用来描述三维场景中两幅或多幅图像坐标之间的对应变换关系。变换模型主要有两种:仿射变换模型和投影变换模型。仿射变换模型是二维空间中的一种线性变换模型,可以由平移、缩放、翻转、旋转和错切复合实现。仿射变换模型的变换矩阵最后一行参数为 $(0, 0, 1)$ 。而投影变换模型是非线性变换模型,自由度为 8,其中变换矩阵中最后一个元素为 1。

平面成像模型图 2 中点 P_1 的坐标值 $m(x, y)$ 和点 P_2 的坐标值 $m'(x', y')$ 之间的对应变换关系为:

$$m' = \mathbf{H}m. \quad (3)$$

根据重叠区域中点的对应关系建立参数模型,以求解公式(3)中透视投影矩阵 \mathbf{H} 。首先提取两幅图像重叠区域部分的 SIFT 特征点,并采用欧式空间距离作为相似性度量进行特征点匹配,再采用 RANSAC 算法去除误匹配的特征点对。在精确匹配的特征点对的基础上,采用 8 参数投影变换模型^[21]求得透视投影矩阵 \mathbf{H} 来实现图像 I_1 和 I_2 间的变换和拼接。

3 实验结果与分析

本文分别采集了 4 对建筑物图像在硬件配置为 Intel Core Duo 2 CPU, 2G 内存, 2.93GHz 主

频的电脑, Windows 7 的操作系统下, 采用 Matlab 2014a 开发环境进行实验。

3.1 基于 Hough 变换的图像分割

本文采用 Hough 变换算法^[22]检测图像中存在的显著水平线段和垂直线段, 实验结果表明这些线段主要集中于建筑物及遮挡物(树木、自行车或车辆)部分, 而采用位于最低处的水平线表示建筑物和路面的分界线。图 4 中绿色的线段表示分界线, 可以看出在给出的 4 对检测图像中有 3 个检测结果不是很准确: 图 4(a)、4(b) 和 4(f) 检测的分割线位于建筑物的楼梯上面, 分割结果是属于建筑物部分的楼梯划分到路面部分的子图像中, 但还包含在两个子图像的重叠区域中, 也符合实验要求。

对于图 4 中每幅图像存在遮挡物(树木、自行车或车辆)的情形, Hough 变换表现出了很强的容错性; 图 4(a)、4(b) 中存在路面部分和建筑物底部纹理相似的情况以及图 4(c)、4(d)、4(e) 和 4(f) 路面部分有阴影(光照不强)的特殊情况, Hough 变换都表现出了很强的鲁棒性。

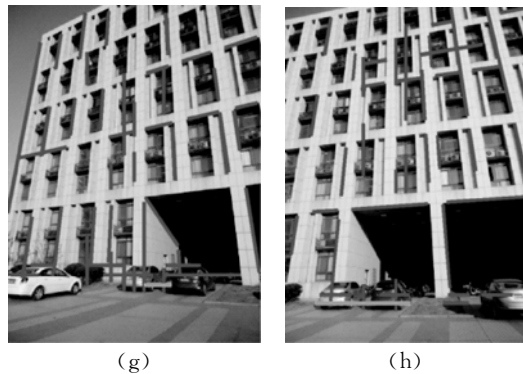
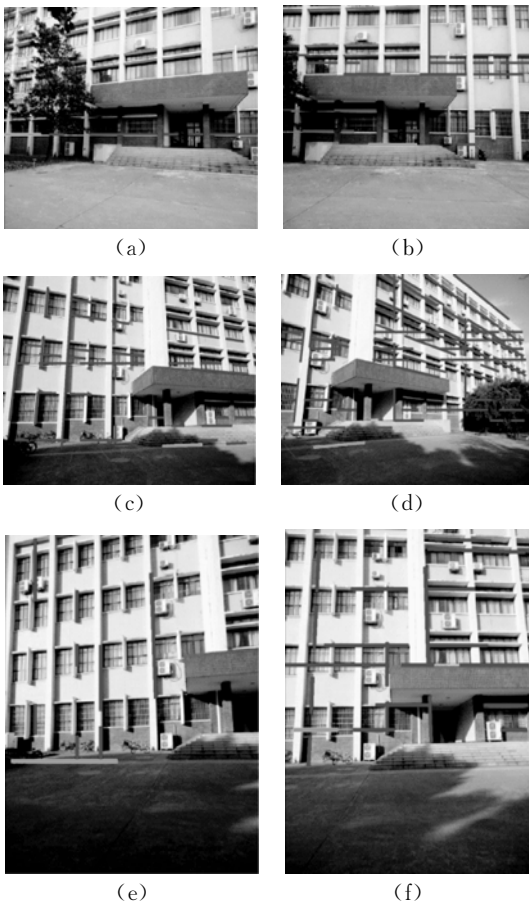


图 4 针对不同图像对的 Hough 变换直线检测结果(a, c, e, g 为左拼接图像, b, d, f, h 为右拼接图像)

Fig. 4 Results of line detection by Hough transformation for different image pairs (a, c, e, g are left images of stitching image pairs and b, d, f, h are the right ones)

下一步工作是以检测出的分界线为基准线, 将每个图像分割成子图像, 需要注意的是为了使建筑物和路面的子图像有一定的重叠区域, 文中并没有沿检测出的分割线(绿色线段所在直线)直接分割图像, 而是将分割线选定为平行于该线段所在直线下方(或上方)约 100 pixel 处的平行直线。具体分割结果如图 1 中左侧图像分割过程模块所示。

3.2 图像拼接结果对比

本文采用 4 组包含建筑物和路面信息的图像进行测试。采用传统的基于全局变换的投影变换图像拼接方法与本文方法进行对比。实验结果如图 5 所示。

图 5 中左列 5(a)、5(c)、5(e) 和 5(g) 是采用传统的基于特征的图像拼接方法得到的拼接图, 右列 5(b)、5(d)、5(f) 和 5(h) 是采用本文提出方法获得的结果。红色方框区域是突出比较的内容, 可以看出第二列拼接图中的路面部分明显比第一列的清晰, 尤其是楼梯部分更加明显, 第一列该部分图像比较模糊。这是因为本文方法是针对路面部分单独进行拼接的结果。

通过对比还可以看出, 第二列拼接图中建筑物视角明显比第一列更接近正视图, 这是由于图像中建筑物部分包含有丰富的纹理信息, 而路面部分的纹理信息则较少。传统图像方法提取的特征集中于建筑物部分, 而本文方法是对图像中建

筑物部分和路面部分分别提取特征并实现拼接之后,再完成建筑物部分和路面部分的拼接,故得到的结果更加真实自然。

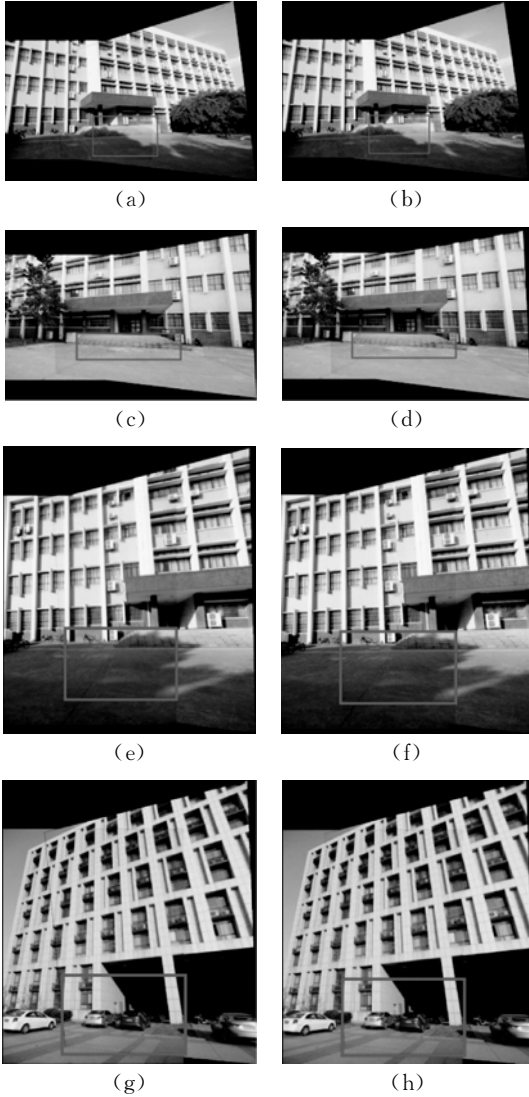


图 5 Dual-homography 方法(a, c, e, g)和本文方法的图像拼接结果(b, d, f, h)

Fig. 5 Comparison of stitching results between dual-homography (a, c, e, g) and proposed methods (b, d, f, h)

3.3 拼接时间对比

为了验证本文提出的方法在拼接时间上的优势,将上面的 4 对待拼接图像作为对象,将文献[8]方法作为对比方法进行试验。测试拼接过程中消耗的特征提取时间、特征匹配时间、图像融合时间以及拼接总时间。实验结果如表 1 所示。

表 1 实验时间对比

Tab. 1 Comparison of running time (s)

图像对序号	本文方法/文献[8]方法			
	特征提取	特征匹配	图像融合	时间总和
1	1.056/2.962	2.933/2.873	0.462/11.732	4.451/17.567
2	2.219/4.182	4.806/3.871	3.725/23.101	10.75/31.154
3	1.192/2.171	4.217/3.917	1.464/9.191	6.873/15.279
4	1.272/3.127	4.891/5.621	1.259/10.183	7.422/18.931

通过比较可以发现,文献[8]中方法在特征提取时所用的时间比本文方法多。这是因为文献[8]首先采用种子点方法获取 K-means 聚类结果,其与本文中的 Hough 变换直线检测并分割图像功能相同但耗时较长。由于两者均采用 SIFT 特征以及 RANSAC 算法获取精确的匹配特征点对,故在特征匹配上用时相当。而在图像融合方面,文献[8]采用基于权重的融合方法,遍历了匹配特征点对中每个特征点到最近特征点的欧氏距离,因此增加了计算时间,而本文直接采用分割方法得到不同内容的子图像,通过计算子图像对之间的投影变换模型来实现基于特征的图像融合,与文献[8]相比,融合时间显著减少。

实验结果表明采用本文提出方法对带有路面信息的建筑物的图像进行拼接能更快地得到更真实的拼接图像。

4 结 论

本文针对含有路面信息的建筑物图像的拼接提出了一种基于分割的三次透视投影变换模型。在传统的透视投影变换的基础上基于图像内容先分割再拼接,取得了比传统方法更精确更真实的拼接结果。本文采用对遮挡、光照和纹理相似等鲁棒的 Hough 变换获得分割线段。采用基于特征的图像融合方法,通过提取图像对中 SIFT 特征,结合 RANSAC 去除外点,并从匹配点对中获取图像变换模型实现图像快速无缝融合。与文献[8]相比,其用图像分割代替聚类过程,并根据图像内容应用不同透视投影矩阵直接拼接,避免了繁琐的权重矩阵求解过程,在总体拼接时间上比

文献[8]提高了 20%~40%。

本文提出的这种先分割后拼接的思路适合于所有包含两种或多种不同内容且容易分割成大块

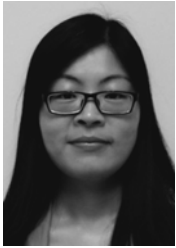
区域的图像的拼接,对于改善图像拼接质量以及图像拼接在手机或其他移动设备上的应用具有普遍意义。

参考文献:

- [1] 张云峰. 基于 DSP 的实时图像拼接技术[J]. 液晶与显示, 2013, 28(6):963-967.
ZHANG Y F. Real-time image mosaic technology based on DSP [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2013, 28(6):963-967. (in Chinese)
- [2] RICHARD S. Image alignment and stitching: A tutorial [J]. *Foundations and Trends in Computer Graphics and Vision*, 2006, 2(1):1-104.
- [3] 韩西达, 王敏, 黄强, 等. 用于多孔板细胞分析的自动显微成像系统[J]. 光学精密工程, 2013, 21(10):2543-2548.
HAN X D, WANG M, HUANG Q, *et al.*. Auto-micro imaging system for cell analysis with multiple well plates [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2013, 21(10):2543-2548. (in Chinese)
- [4] SHUM H Y, SZELISKI R. Systems and experiment paper: construction of panoramic image mosaics with global and local alignment [C]. *International Journal of Computer Vision (IJCV)*, Kluwer Academic, 2000:101-130.
- [5] LIN W Y, LIU S Y, MATSUSHITA Y, *et al.*. Smoothly varying affine stitching [C]. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, Columbus, OH: IEEE, 2011:345-352.
- [6] JULIO Z, TAT J C, QUOC H T, *et al.*. As projective-as-possible image stitching with moving DLT [C]. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, Columbus, OH: IEEE, 2013:2339-2346.
- [7] CHE H CH, YOICHI S, YUNG Y CH. Shape-preserving half-projective warps for image stitching [C]. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, Columbus, OH: IEEE, 2014:3254-3261.
- [8] GAO J H, KIM S J, BROWN M S. Constructing image panoramas using dual-homography warping [C]. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, Columbus, OH: IEEE, 2011:49-56.
- [9] BROWN M, LOWE D G. Automatic panoramic image stitching using invariant feature [J]. *International Journal of Computer Vision*, 2007, 4(1):59-73.
- [10] CHEN F X, WANG R S. Fast RANSAC with preview model parameters evaluation [J]. *Journal of Software*, 2006, 16(8):1431-1437.
- [11] PAL N R, PAL S K. A review on image segmentation techniques [J]. *Pattern Recognition*, 2004, 13(9):1200-1212.
- [12] HOUGH P V. Method and Means for Recognizing Complex Pattern: U. S. ,3069654 [P]. 1962.
- [13] DUDA R O, HART P E. Use of Hough transform to detect lines and curves in pictures [J]. *Graphics and Image Processing*, 1972, 15:11-15.
- [14] BENNETT N, BURRIDGE R, SAITO N. Method to detect and characterize ellipses using the Hough transform [C]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1999, 21(7).
- [15] ILLINGWORTH J, KITTLER J. A survey of the Hough transform [J]. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*. 1988, 44(1):87-116.
- [16] NIXON M. Application of the Hough transform to correct for linear variation of background illumination in images [J]. *Pattern Recognition Letters*, 1985, 3(3):191-194.
- [17] JAYARAMAMURTHY S N, JAIN R. An approach to the segmentation of textured dynamic scenes [J]. *Computer Graphics & Image Processing*, 1982, 20(2):197.
- [18] 胡浩, 梁晋, 唐正宗, 等. 显微立体视觉小尺度测量系统的标定[J]. 光学精密工程, 2014, 22(8):1985-1993.
HU H, LIANG J, TANG ZH Z, *et al.*. Calibration of stereo microscope measurement systems [J]. *Opt. Precision Eng.* 2014, 22(8):1985-1993. (in Chinese)

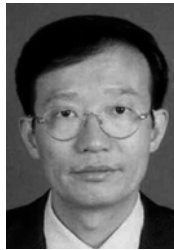
- [19] 郭太良,周雄图,陈恩果,等. 用于集成成像的针孔/微透镜组合阵列设计与仿真[J]. 液晶与显示, 2013,28(6):855-859.
GUO T L, ZHOU X T, CHEN E G, *et al.*. Design and simulation of combined pinholes/micro-lens array for integral imaging [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2013, 28 (6):855-859. (in Chinese)
- [20] LICHTI D, KIM C. A comparison of three geometric self-calibration methods for range cameras [J]. *Remote Sensing*, 2011, 3(5):1014-1028.
- [21] RICHARD I H. In defense of the eight-point algorithm[C]. *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, USA:IEEE, 1997:580-593.
- [22] 叶峰,陈灿杰,赖乙宗,等. 基于有序 Hough 变换的快速圆检测算法[J]. 光学精密工程, 2014, 22 (4):1105-1111.
YE F, CHEN C J, LAI Y Z, *et al.*. Fast circle detection algorithm using sequenced Hough transform [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2014, 22 (4): 1105-1111. (in Chinese)

作者简介:



颜无瑕(1985—),女,山东曲阜人,博士研究生,2011年于曲阜师范大学获得工学硕士学位,主要从事图像拼接、图像处理及模式识别的研究。E-mail: wxyan127@outlook.com

导师简介:



刘传才(1963—),男,湖南临澧人,博士,教授,博士生导师,1987年、1991年于南京气象学院分别获得学士、硕士学位,1997年于中国舰船研究院获得工学博士学位,主要从事计算机视觉、图像处理与分析、移动视觉计算等方面的研究。E-mail: chcailiu@163.com

(本栏目编辑:李自乐)

(版权所有 未经许可 不得转载)