

镜像不变的折反射全向图像与透视图像匹配

谭树人* 张茂军 陈旺 王斌

(国防科技大学信息系统与管理学院 长沙 410073)

摘要: 该文针对折反射全向摄像机的不同配置可能使全向图像和透视图像存在的镜像关系, 而尺度不变特征变换算法并不对镜像保持不变性, 提出将透视图像进行一次水平翻转, 然后将原图与翻转后的图像分别与全向图像进行匹配, 取效果好的匹配作为最终结果, 从而实现镜像不变。针对全向图像的环形畸变, 提出先将透视图像变换为扇形图像后再进行匹配。实验结果显示, 将透视图像变换为扇形图像后再与全向图像进行匹配, 匹配点总数增加, 而错误匹配点数减少, 匹配结果明显好于变换前的匹配结果。

关键词: 图像匹配; 折反射全向图像; 透视图像; 尺度不变特征变换; 镜像不变

中图分类号: TN911.73

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2011)06-1501-04

DOI: 10.3724/SP.J.1146.2010.00626

Mirror Invariant Matching between Catadioptric Omnidirectional and Perspective Images

Tan Shu-ren Zhang Mao-jun Chen Wang Wang Bin

(College of Information Systems and Management, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: For catadioptric imaging may arise mirror effect between omnidirectional image and perspective image, and scale invariant feature transform algorithm is not invariant to image mirroring. This paper proposes flip horizontally perspective image, and then matches separately the original image and the flipped image with omnidirectional image, takes a better match as the final result to achieve the mirror invariant. For the ring distortion of the omnidirectional image, the perspective image is transformed to the fan-shaped image before the matching, and two methods are provided to transform the perspective image to the fan-shaped image. Experimental results on the real image show, after the perspective image is transformed to the fan-shaped image and then match with omnidirectional images, the total number of matching points is increased, while the number of the wrong matching points is reduced, matching results are better than one without the transformation.

Key words: Image matching; Catadioptric omnidirectional image; Perspective image; Scale Invariant Feature Transform (SIFT); Mirror invariant

1 引言

在使用折反射全向摄像机和普通透视摄像机的混合摄像机系统中, 为了得到两个摄像机之间的空间映射关系^[1]或从一种图像数据集中查询出另一种图像^[2], 通常需要进行全向图像与透视图像之间的匹配。尺度不变特征变换(Scale Invariant Feature Transform, SIFT)算法^[3]能够提取图像中的稳定特征点, 并能生成独特性较高的特征描述符, 是目前局部不变量描述符中性能最优的方法^[4]。SIFT算法已被用于折反射全向图像之间^[5,6]以及折反射全向图像与透视图像之间^[7,8]的匹配。但SIFT算法不是摄像机不变的^[9]。为了提高混合图像匹配的效果, 一般的方法是先将折反射全向图像展开为在视觉上接近于

透视图像的全景图像, 然后再将得到的全景图像与透视图像进行匹配^[10]。这种方法虽然提高了匹配的效果, 但展开得到的全景图像比原始全向图像大很多, 匹配的时间也大大加长。为了减少匹配时间, 文献[11]建议只将全向图像中与透视图像对应的局部区域进行展开后进行匹配。然而这需要另外一次匹配过程来确定全向图像中需要展开的区域。

本文首先针对折反射成像可能在全向图像和透视图像之间产生镜像的效果, 提出将透视图像进行一次水平翻转, 然后将原图与翻转后的图像分别应用SIFT算法与全向图像进行匹配, 并取匹配效果好的作为最终匹配, 从而实现镜像不变。然后, 针对全向图像的环形畸变, 提出在匹配之前将透视图像变换为扇形图像, 以消除由于两种图像的视觉差异而对特征匹配产生的影响, 然后再应用SIFT算法进行匹配。

2010-06-13 收到, 2011-03-14 改回

国家自然科学基金(60705013, 60872150)资助课题

*通信作者: 谭树人 srtan@sina.com

2 镜像不变的混合图像匹配

折反射全向摄像机一般由普通透视摄像机和反射镜面组成。根据装配的需求,反射镜面可能是单个镜面,也可能是两个镜面。当对同一场景成像时,单个镜面和两个镜面的全向摄像机所成的环形全向图像之间存在镜像关系。如图1所示,场景中指向右边的箭头在单个镜面的全向摄像机拍摄的环形全向图像中指向左边,而在两个镜面的全向摄像机拍摄的环形全向图像中指向右边,与普通透视摄像机所拍摄的图像中的箭头的方向相同。由于混合摄像机系统中可能采用不同配置的全向摄像机,因此在进行混合图像匹配时需要考虑所成图像之间可能存在的镜像关系。

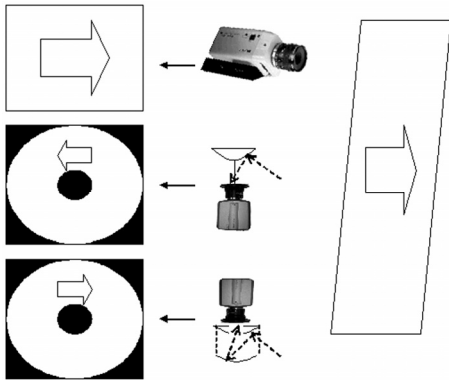


图1 折反射全向摄像机成像之间的镜像关系示意图

SIFT算法能对图像旋转和轻度仿射变换保持不变性,但并不对镜像保持不变性。因此,若透视图像与全向图像之间存在镜像关系,则会导致差的匹配结果。为了消除图像间的镜像关系对混合图像匹配的影响,一个简单的方法是将匹配分为两个步骤。先对两幅原图进行匹配,然后再将透视图像进行一次水平翻转后再与全向图像进行匹配。比较两次匹配结果,取正确匹配点数多的匹配作为最后的匹配结果,从而实现镜像不变。

折反射全向图像在视觉上的变形主要是由于折反射成像产生的环形变形。通过将全向图像展开为全景图像可以使全向图像在视觉上接近透视图像。从另一个角度,如果将透视图像变换为同心圆扇形图像,则可以使透视图像在视觉上接近于全向图像。而将透视图像变换为扇形图像不会使图像加大,因而不会增加匹配的时间。

在已知折反射全向摄像机参数的情况下,可以采用全向图像展开过程的逆向映射过程将透视图像变换为扇形图像。根据Geyer等人^[12]的折反射全向摄像机单位球面两步成像模型,可以将全向图像映射

到一个围绕反射镜面的柱面上^[13]。如图2所示,全向图像上的任意一个像素点 P 可以根据全向摄像机成像模型映射到单位球面上的一点 S ,连接有效视点 O 和球面点 S 的射线与半径为 R 的柱面交于点 C 。将柱面从某一位置沿垂直方向切开后展开可以得到平面上的透视图像,称为柱面展开图像或全景图像,柱面上的点 C 在柱面展开图像上为点 Q 。反之,如果已知的是柱面展开图像,则可以通过上述映射过程的逆映射,将柱面展开图像中的像素点映射到全向图像中,就可以得到柱面展开图像对应的全向图像。

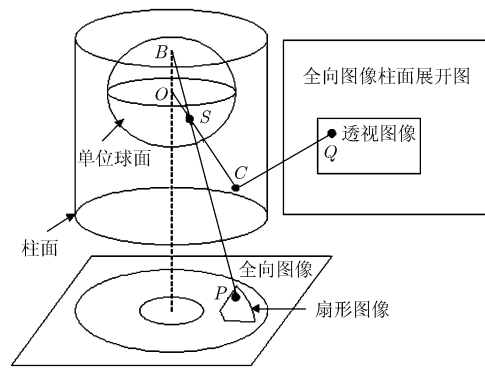


图2 基于全向成像模型的透视图像到扇形图像变换示意图

在折反射全向摄像机参数未知的情况下,可以采用像素的直接映射过程将矩形透视图像变换为扇形图像。如图3所示,将矩形透视图像变换为扇形图像时,扇形图像的上下圆弧和左右斜线分别对应矩形图像的上下左右4条边。设扇形图像中的一个像素点 P 在矩形透视图像中的对应像素点为 Q ,点 P 与扇形圆心 O 的连线分别与大小圆弧交于 A, B 点,以 OP 为半径的圆与扇形的左右两条边交于 C, D 点,点 Q 在矩形透视图像中是水平线 $A'B'$ 和垂直线 $C'D'$ 的交点,则显然有

$$\frac{AP}{AB} = \frac{A'Q}{A'B'} \tag{1}$$

$$\frac{\text{弧}_{CP}}{\text{弧}_{CD}} = \frac{C'Q}{C'D'} \tag{2}$$

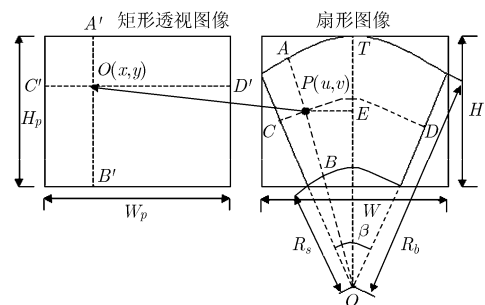


图3 扇形图像像素点直接映射到矩形透视图像示意图

设扇形图像的宽度为 W 、高度为 H ，圆心张角为 β ，则扇形内外弧对应的圆的半径 R_s 和 R_b 分别是

$$R_b = \frac{W}{2 \times \sin(\beta/2)} \quad (3)$$

$$R_s = \frac{R_b - H}{\cos(\beta/2)} \quad (4)$$

设扇形图像中像素点 P 的坐标为 (u, v) ，则

$$\frac{AP}{AB} = \frac{R_b - \sqrt{(W/2 - u)^2 + (R_b - v)^2}}{R_b - R_s} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \frac{\text{弧}_{CP}}{\text{弧}_{CD}} &= \frac{\angle COP}{\beta} = \frac{(\beta/2) - \angle POE}{\beta} \\ &= \frac{(\beta/2) - \arctan((W/2 - u)/(R_b - v))}{\beta} \end{aligned} \quad (6)$$

设点 P 在矩形透视图像中的对应像素点 Q 的坐标为 (x, y) ，矩形透视图像的宽度和高度分别是 W_p 和 H_p ，则

$$\frac{A'Q}{A'B'} = \frac{y}{H_p} \quad (7)$$

$$\frac{C'Q}{C'D'} = \frac{x}{W_p} \quad (8)$$

所以，

$$x = \frac{(\beta/2) - \arctan((W/2 - u)/(R_b - v))}{\beta} \times W_p \quad (9)$$

$$y = \frac{R_b - \sqrt{(W/2 - u)^2 + (R_b - v)^2}}{R_b - R_s} \times H_p \quad (10)$$

有了这个对应关系后，对扇形图像中的每个像素点 (u, v) 可以计算出其在矩形透视图像中对应的像素点 (x, y) ，令扇形图像像素点的亮度值等于矩形透视图像中对应像素点的亮度值就可以得到矩形透视图像对应的扇形图像。

3 实验结果

实验包括3个部分。第1部分的实验展示了存在镜像关系和不存在镜像关系的全向图像与普通透视图像在采用SIFT算法进行匹配时的结果。图4(a)是存在镜像关系的全向图像与普通透视图像采用SIFT算法进行匹配的结果，共检测到匹配点8个，错误点6个。图4(b)是不存在镜像关系的全向图像与普通透视图像采用SIFT算法进行匹配的结果，共检测到匹配点14个，错误点4个。可见，不存在镜像关系的全向图像与普通透视图像采用SIFT算法进行匹配时的结果明显好于存在镜像关系的图像之间的匹配结果。

第2部分的实验展示了将普通透视图像变换为扇形图像前后与全向图像在采用SIFT算法进行匹配时的结果。实验图像为在同一环境中用折反射全

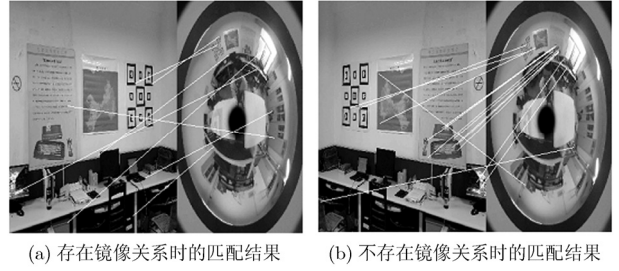


图4 存在镜像关系和不存在镜像关系的混合图像对SIFT算法匹配结果

向摄像机和普通透视摄像机拍摄的4组图像。对每组测试图像，先用透视图像直接与全向图像进行匹配，然后再将透视图像变换为扇形图像后再与全向图像进行匹配，每次测试都记录总的匹配点数目和错误匹配点数目。透视图像变换为扇形图像的方法均采用像素直接映射方法。实验中分别计算每组数据的错误匹配点比率(错误匹配点数除以总的匹配点数)，并对透视图像直接与全向图像进行匹配和变换为扇形图像后再与全向图像进行匹配的结果分别进行统计后计算错误匹配点比率和总匹配点数的平均值。实验结果见表1。图5给出了一组透视图像直接与全向图像进行匹配和变换为扇形图像后再与全向图像进行匹配的实验结果图像。

第3部分的实验对比了将透视图像变换为扇形图像后与全向图像进行匹配的方法和将全向图像展开为全景图像后与透视图像进行匹配的方法。实验中主要对比两种方法的匹配效果和匹配时间，结果显示在表2中。从实验的结果可以看出，两种方法在匹配效果上相当，但在匹配时间上，将透视图像变换为扇形图像后与全向图像进行匹配的方法消耗的

表1 透视图像变换为扇形图像前后与全向图像的SIFT算法匹配结果对比

直接匹配		变换后匹配	
平均错误匹配点比率	平均总匹配点数	平均错误匹配点比率	平均总匹配点数
0.28	17.8	0.06	31.8

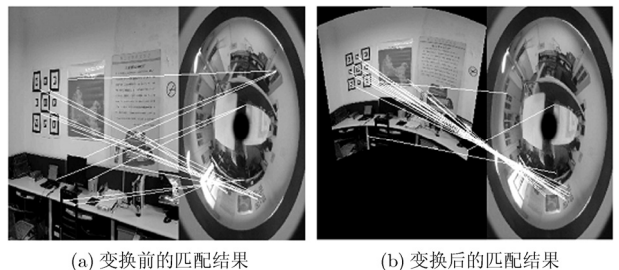


图5 透视图像变换为扇形图像前后与全向图像的SIFT算法匹配结果图像

表2 透视图像与柱面展开图像以及扇形图像与全向图像的SIFT算法匹配结果对比

	展开图像	扇形图像
错误匹配点比率	0.1	0.07
总匹配点数	29	29
匹配时间(s)	36.2	10.6

时间远小于将全向图像展开为全景图像后与透视图像进行匹配的方法消耗的时间。

4 结束语

本文分析了不同折反射成像系统获取的全向图像之间可能存在镜像关系的原因,并通过实际图像的实验展示了当全向图像与普通透视图像之间存在镜像关系时,采用SIFT算法进行匹配得到糟糕的匹配结果。为了解决这个问题,本文提出先将透视图像进行一次水平翻转,然后将原图与翻转后的图像分别应用SIFT算法进行匹配,取效果好的匹配作为最终结果,从而实现镜像不变。折反射全向图像在视觉上存在明显变形,在应用SIFT算法与普通透视图像进行匹配时在邻域选取和梯度方向计算上会有较大差别。文中提出在匹配前,先将透视图像变换为扇形图像,使透视图像在视觉上接近于全向图像,以消除由于两种图像的视觉差异对特征匹配产生的影响,但图像并不增大,因而可以在不增加匹配时间的前提下提高匹配的效果。文中给出了在全向摄像机参数已知和未知两种情况下将透视图像变换为扇形图像的方法。在实际图像上的实验结果显示,将透视图像变换为扇形图像后再与全向图像进行匹配,匹配点总数增加,而错误匹配率降低,匹配结果明显好于变换前的匹配结果。

参考文献

- [1] Chen C H, Yao Y, and David P, *et al.*. Heterogeneous fusion of omnidirectional and PTZ cameras for multiple object tracking. *IEEE Transactions on Circuit and Systems for Video Technology*, 2008, 18(8): 1052-1063.
- [2] Yousuke S, Koji H, and Yoshitaka S. A new video surveillance video tracking system based on omni-directional and network controlled cameras. The 2009 International Conference on Advanced Information Networking and Applications Proceedings, Washington, USA, 2009: 602-607.
- [3] Lowe D. Distinctive image features from scale-invariant keypoints. *International Journal of Computer Vision*, 2004, 60(2): 91-110.
- [4] Pierre M and Pietro P. Evaluation of features detectors and descriptors based on 3D objects. *International Journal of Computer Vision*, 2007, 73(3): 263-284.
- [5] Bazin J C, Kweon I, and Démonceaux C, *et al.*. Improvement of feature matching in catadioptric images using gyroscope data. The 19th International Conference on Pattern Recognition Proceedings, Florida, USA, 2008: 1-5.
- [6] Hicham H A, Ezio M, and Patrick R. Spherical image processing for accurate visual odometry with omnidirectional cameras. The 8th Workshop on Omnidirectional Vision, Camera Networks and Non-classical Cameras Proceedings, Marseille, France, 2008: 1-14.
- [7] Lu L and Wu Y. Quasi-dense matching between perspective and omnidirectional images. Workshop on Multi-camera and Multi-modal Sensor Fusion Algorithms and Applications Proceedings, France, 2008: 1-12.
- [8] Bastanlar Y, Temizel A, and Yardimci Y. Improved SIFT matching for image pairs with a scale difference. *Electronics Letters*, 2010, 46(5): 346-348.
- [9] Sturm P, Ramalingam S, and Lodha S. On calibration, structure from motion and multi-view geometry for generic camera models. The 2nd ISPRS Panoramic Photogrammetry Workshop Proceedings, Berlin, German, 2006: 87-105.
- [10] Puig L, Guerrero J, and Sturm P. Matching of omnidirectional and perspective images using the hybrid fundamental matrix. The 8th Workshop on Omnidirectional Vision, Camera Networks and Non-classical Cameras Proceedings, Marseille, France, 2008: 1-14.
- [11] Bastanlar Y, Temizel A, and Yardimci Y, *et al.*. Effective structure-from-motion for hybrid camera systems. International Conference on Pattern Recognition (ICPR) Proceedings, Turkey, 2010: 23-26.
- [12] Geyer C and Daniilidis K. Catadioptric projective geometry. *International Journal of Computer Vision*, 2001, 45(3): 223-243.
- [13] Jacquey F, Comby F, and Strauss O. Fuzzy edge detection for omnidirectional images. *Fuzzy Sets and Systems*, 2008, 159(15): 1991-2010.

谭树人: 男, 1972年生, 副教授, 博士生, 研究方向为多媒体信息系统与虚拟现实技术。

张茂军: 男, 1971年生, 教授, 博士生导师, 研究方向为多媒体信息系统与虚拟现实技术。

陈旺: 男, 1980年生, 讲师, 博士, 研究方向为多媒体信息系统与虚拟现实技术。

王斌: 男, 1985年生, 博士生, 研究方向为多媒体信息系统与虚拟现实技术。