

# 基于颜色不变量和SURF的彩色图像拼接

高盛丰, 王正勇, 臧媛媛, 何小海

GAO Shengfeng, WANG Zhengyong, ZANG Yuanyuan, HE Xiaohai

四川大学 电子信息学院, 成都 610064

College of Electronics and Information, Sichuan University, Chengdu 610064, China

GAO Shengfeng, WANG Zhengyong, ZANG Yuanyuan, et al. Color image stitching based on color invariant and SURF. *Computer Engineering and Applications*, 2013, 49(12): 113-115.

**Abstract:** A method of color image stitching based on color invariant and SURF (Speeded Up Robust Feature) is proposed. The SURF feature points are extracted by the color invariable information calculated from color image in stead of gray information, and then to improve the accuracy of the transformation matrix, the mismatch points are removed in accordance with similarity transformation principle during the match process. To get a realistic seamless image, pixels of the image within the overlap region are smoothly transited by the brightness adjustment principle. Experimental results show that many more match points can be extracted in this method while retaining fast computational speed and high accuracy rather than traditional SURF algorithm. Stitching trace can be eliminated effectively, and also illumination robust has improved with the method mentioned above. It's proved that the algorithm proposed in this paper has certain practical value in the fields of images stitching and geological analysis.

**Key words:** Speeded Up Robust Features (SURF); color invariant; similarity transformation; image stitching

**摘 要:**提出了一种基于颜色不变量和SURF算法相结合的彩色图像拼接方法。该方法利用图像彩色信息计算得到的颜色不变量信息代替灰度信息作为输入,提取图像SURF特征点并进行特征点匹配,根据相似性变换原理对误匹配点进行过滤,提高变换矩阵计算的准确率,采用亮度渐变原则对重叠区域进行像素平滑过渡,实现图像无缝拼接。实验结果表明,该方法在保持算法的快速性和准确性的同时,获得的配准点多而且准确,采用亮度渐变原则拼接增强了对光照变化的鲁棒性,且有效地消除了拼接痕迹,在图像拼接和地质分析领域有一定的实用价值。

**关键词:**快速鲁棒特征(SURF);颜色不变量;相似性变换;图像拼接

**文献标志码:**A **中图分类号:**TP391.41 **doi:**10.3778/j.issn.1002-8331.1201-0034

## 1 引言

数字成像设备(数码相机、数码摄像机等)的普及,使得数码图像得到了越来越广泛的应用。在实际的科学研究和工程项目中,经常会用到超过人眼视角的超宽视角图像。由于距离的限制,普通数码相机的视角往往不能满足需要,某些超大尺寸的物体无法用一张照片拍摄下来。随着计算机和图像处理技术的发展,图像拼接技术为得到超宽视角图像提供了很好的解决方案。在石油勘探领域,研究人员需要对油井中采集的岩屑样本进行数字存档和岩性分析,但这些高分辨率的图像采集设备单次扫描范围往往有限,为得到同一井深的岩屑样本的高清图像就需要多

次扫描,扫描完后就可应用图像拼接技术将这多次扫描的结果图合成为一张宽视场的全景图,方便后续的分析 and 研究。

图像拼接<sup>[1]</sup>中特征点的提取和匹配策略是其关键步骤。虽然传统SURF<sup>[2]</sup>算法在特征点定位与描述符形成方面相较于SIFT<sup>[3]</sup>算法均降低了运算复杂度,减少了计算耗时,但其仍是在灰度图像的基础上进行的处理,没有充分利用彩色图像的色彩信息。另外,特征点匹配时,目前常用的是相似性度量算法<sup>[4]</sup>,会存在一些误匹配对,若不对误匹配对进行过滤,将直接影响变换矩阵准确性。

针对上述问题,本文提出了一种新的方案:采用彩色

**基金项目:**国家自然科学基金(No.11176018);四川省科技支撑计划项目资助项目(No.2010GZ0167)。

**作者简介:**高盛丰(1986—),男,硕士研究生,主要研究领域:图像处理、多媒体技术;王正勇(1969—),女,副教授,研究生导师,主要研究领域:图像处理、模式识别、信号与信息处理;臧媛媛(1984—),女,硕士研究生,主要研究领域:图像处理、计算机视觉;何小海(1964—),男,教授,博士生导师,主要研究领域:图像处理、数字通信、模式识别。E-mail: gaofeng1081@163.com

**收稿日期:**2012-01-04 **修回日期:**2012-05-11 **文章编号:**1002-8331(2013)12-0113-03

**CNKI 出版日期:**2012-06-01 <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.2127.TP.20120601.1458.052.html>

图像的颜色不变量信息建立尺度空间,通过 SURF 算法检测特征点并生成描述符,根据相似性变换原则对匹配点进行过滤,最后采用亮度渐变原则对重叠区域进行图像无缝拼接。

## 2 颜色不变量

借鉴 CSIFT<sup>[5]</sup>的思想,利用 Geusebroek 等人在 Kubelka-Munk 理论上提出的颜色不变模型<sup>[6]</sup>(Color Invariance Model)增加 SURF 特征的颜色不变性。主要思路是:计算原图像每个像素点的颜色不变量,以该不变量为元素值形成一个与原图像等大小的颜色不变量矩阵,用该颜色不变量矩阵代替原 SURF 算法中的灰度图进行 SURF 特征点检测。

Kubelka-Munk 理论将光谱辐射模型表示为:

$$E(\lambda, X) = i(X)[(1 - \rho_f(X))^2 R_\infty(\lambda, X) + \rho_f(X)] \quad (1)$$

式中,  $X$  表示图像平面位置的二维坐标向量;  $\lambda$  表示波长;  $i(X)$  表示光谱强度;  $\rho_f(X)$  表示  $X$  位置的 Fresnel 反射系数;  $R_\infty(\lambda, X)$  表示材料的反射率;由这些参数计算得到的  $E(\lambda, X)$  表示  $X$  点观测方向的反射光谱。针对式(1)求  $E(\lambda, X)$  相对于  $\lambda$  的一阶偏导数  $E_\lambda$  和二阶偏导数  $E_{\lambda\lambda}$ :

$$E_\lambda = i(X)(1 - \rho_f(X))^2 \frac{\partial R_\infty(\lambda, X)}{\partial \lambda} \quad (2)$$

$$E_{\lambda\lambda} = i(X)(1 - \rho_f(X))^2 \frac{\partial^2 R_\infty(\lambda, X)}{\partial \lambda^2} \quad (3)$$

因此,可以构造与观测位置、表面方向、光照强度、反射系数及 Fresnel 反射系数均无关的变量  $H$  如式(4)所示。 $H$  即为颜色不变量的一种描述。

$$H = \frac{E_\lambda}{E_{\lambda\lambda}} = \frac{\frac{\partial R_\infty(\lambda, X)}{\partial \lambda}}{\frac{\partial^2 R_\infty(\lambda, X)}{\partial \lambda^2}} = f(R_\infty(\lambda, X)) \quad (4)$$

作为表示光谱信息和局部图像结构的一般模型,高斯色彩模型被用于在 RGB 色彩空间中计算颜色不变量  $H$ 。高斯色彩模型的前三个参数  $\hat{E}$ 、 $\hat{E}_\lambda$  和  $\hat{E}_{\lambda\lambda}$  近似于  $\lambda_0 = 520 \text{ nm}$ 、 $\sigma_\lambda = 55 \text{ nm}$  时的 CIE 1964 XYZ 准则,  $E$ 、 $E_\lambda$  和  $E_{\lambda\lambda}$  主要描述边缘特性,所以在空间尺度  $\sigma_x = 1$  像素时,  $\hat{E}$ 、 $\hat{E}_\lambda$  和  $\hat{E}_{\lambda\lambda}$  可近似  $E$ 、 $E_\lambda$  和  $E_{\lambda\lambda}$ ,得到与 RGB 彩色图像的关系式<sup>[7]</sup>。

$$\begin{bmatrix} E \\ E_\lambda \\ E_{\lambda\lambda} \end{bmatrix} \approx \begin{bmatrix} \hat{E} \\ \hat{E}_\lambda \\ \hat{E}_{\lambda\lambda} \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} 0.06 & 0.63 & 0.27 \\ 0.30 & 0.04 & -0.35 \\ 0.34 & -0.60 & 0.17 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (5)$$

## 3 以相似性变换原则消除误匹配

确定参考图像和待匹配图像的特征点,建立 SURF 特征描述符后,就可以利用这些描述符进行特征匹配<sup>[8]</sup>。若图片含有运动物体独立运动和噪声,匹配时必定会产生一些误匹配点,虽然计算图像间的透视变换矩阵只需要四对不共线的匹配对即可,但若随机选取可能取到误匹配点,而且如果只选取四对,会浪费大量的匹配点。为了消除误匹配点的影响,并充分利用检测到的所有匹配点,本文采

用相似性变换原则消除这些误匹配,并采用 RANSAC 算法来迭代求取较优的变换矩阵。

满足相似性变换的两幅图像,对应线段所成的夹角保持不变。因此,对于匹配正确的匹配点,虽然两点之间的长度经相似性变换有所变化,但三点间每两点长度的比值保持不变,如图1所示。设图像1和图像2分别是特征点检测结果图,图像2是图像1经全局运动、运动物体局部运动及噪声影响得到的。图像中两点  $P_i$  和  $P_j$  ( $i \neq j$ ) 距离表示为  $D(P_i, P_j)$ ,  $P_i$  和  $P'_i$  为一对匹配点对,则根据相似性变换原则,图中各点满足:

$$\frac{D(P_1, P_2)}{D(P'_1, P'_2)} = \frac{D(P_1, P_3)}{D(P'_1, P'_3)} = C, C \text{ 为常数} \quad (6)$$

$$\frac{D(P_1, P_4)}{D(P'_1, P'_4)} \neq C \quad (7)$$

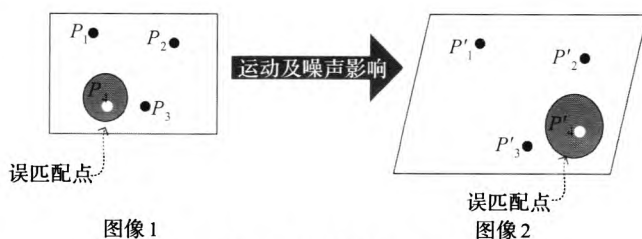


图1 相似性变换示意图

因此,可以根据式(6)和式(7)两式来过滤特征点匹配中的误匹配点。过滤步骤如下:

(1)令

$$U_{i,j} = \frac{D(P_i, P_j)}{D(P'_i, P'_j)} \quad (i \neq j) \quad (8)$$

(2)对所有匹配点对,计算  $U_{i,j}$  的期望  $E$  和方差  $D$ :

$$E = \frac{n(n-1)}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=i+1}^n U_{i,j}, n \text{ 为匹配点对数} \quad (9)$$

$$D = \frac{n(n-1)}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=i+1}^n (U_{i,j} - E)^2 \quad (10)$$

(3)根据  $E$  和  $D$  选择合适的阈值  $Th$ ,对于某一组匹配点对  $P_i$  和  $P'_i$ ,当存在  $(U_{i,j} - E) > Th$  时,则剔除该对匹配对。

## 4 图像拼接

图像拼接的重点是对图像重叠区域的像素值的选择,非重叠区域仍然取原图像像素值,重叠区域则采用像素平滑过渡的方法进行选取。重叠区域内每行的像素段只能是  $l_0 \sim l_3$  四种情况之一,如图2所示。设  $pixel1$  为重叠区域图像1上某点像素值,  $pixel2$  为重叠区域图像2变换图像上某点像素值,  $DIS$  为重叠区域某一行的长度,  $dis1$  为重叠段上某一点与左端点的距离,  $disr$  为重叠段上某一点与右端点的距离,则每种情况下像素值分别取:

(1)  $l_0$ : 重叠段两端均为图像1边界点,此段内像素从两端到中间逐渐由图像2向图像1过渡,拼接图像值  $pixel$  由下式计算:

$$pixel = \frac{\min(disl, disr)}{DIS} \times pixel1 + \left(1 - \frac{\min(disl, disr)}{DIS}\right) \times pixel2 \tag{11}$$

(2)  $l_1$ : 重叠段两端均为图像2变换图边界点,此段内像素从两端到中间逐渐由图像1向图像2过渡,拼接图像素值  $pixel$  由下式计算:

$$pixel = \frac{\min(disl, disr)}{DIS} \times pixel2 + \left(1 - \frac{\min(disl, disr)}{DIS}\right) \times pixel1 \tag{12}$$

(3)  $l_2$ : 重叠段左端为图像1边界点,右端为图像2变换图边界点,此段内像素从左到右逐渐由图像2向图像1过渡,拼接图像素值  $pixel$  由下式计算:

$$pixel = \frac{disl}{DIS} \times pixel1 + \frac{disr}{DIS} \times pixel2 \tag{13}$$

(4)  $l_3$ : 重叠段右端为图像1边界点,左端为图像2变换图边界点,此段内像素从左到右逐渐由图像1向图像2过渡,拼接图像素值  $pixel$  由下式计算:

$$pixel = \frac{disl}{DIS} \times pixel2 + \frac{disr}{DIS} \times pixel1 \tag{14}$$

以上通过行扫描对重叠区域拼接图像素进行水平方向平滑过渡后,可以有效地消除近似于垂直方向的拼接缝,但对于近似水平方向的接缝效果不好,为此,再对重叠区域进行列扫描,采用上述行扫描类似原则对拼接图像素进行垂直方向平滑过渡。这样,拼接图像上水平和垂直方向的接缝都通过像素平滑过渡得到了消除。

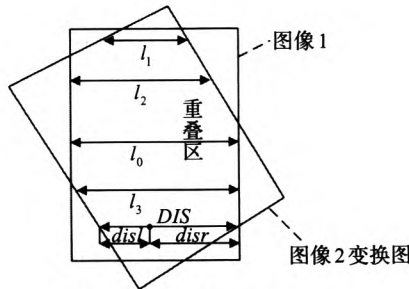


图2 重叠区域分析示意图

5 实验结果及分析

为验证算法性能,对两张存在重叠区域的岩屑图片进行实验。硬件环境:英特尔酷睿2双核 T6670@2.20 GHz,内存:2 GB。操作系统:Windows XP 专业版 32位 SP3。软件开发工具:Microsoft Visual C++ 6.0。图3所示(a)(b)是同一摄像机拍摄的待拼接的岩屑图片,图片分辨率为640×480。

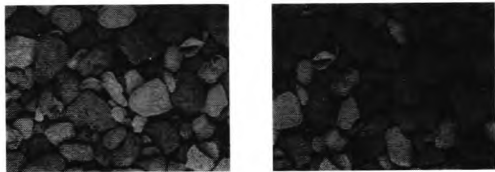


图3 待拼接岩屑图像

图4是使用灰度信息和颜色不变量信息提取的特征点个数对比,图4(a)、(c)是使用待拼接图片的灰度信息提取的特征点结果图,特征点个数分为781个和480个,图4(b)、(d)是使用待拼接图片的颜色不变量信息提取的特征点结果图,特征点个数分为982个和1 111个,实验证明根据彩色图像的颜色不变量信息可以获取更多特征点,以保证后续处理的准确性。

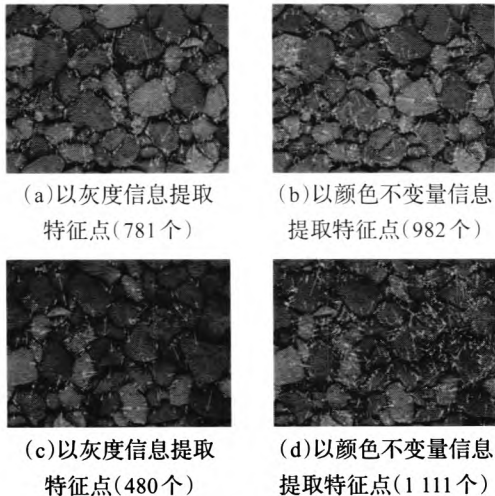


图4 特征点个数对比示意图

图5是误匹配过滤前后特征点匹配效果对比。可以看出过滤前明显存在几处误匹配对,若不消除这些误匹配对,将直接影响图像变化矩阵的准确率。通过误匹配过滤后,可以看出已经将所有误匹配对都消除,虽然也损失了部分正确的匹配对,但剩余的匹配对仍较多,足够保证计算两图像变化矩阵的准确率。

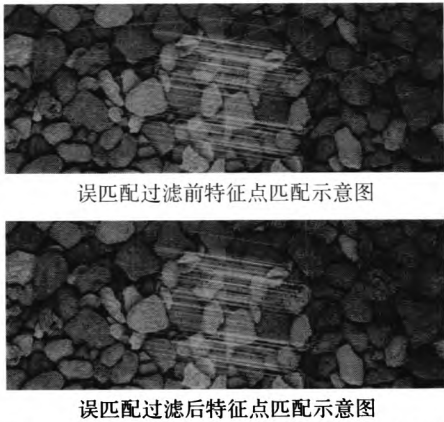


图5 误匹配过滤前后特征点匹配效果对比

图6为采用亮度渐变原则进行像素平滑过渡的图像拼接结果图。由图可见拼接效果比较理想,没有明显拼接缝而且整体画面亮度比较均匀。

6 结论

提出了一种基于SURF的彩色图像拼接方法,对于彩色图像利用了图像中的色彩信息,有效弥补了传统只采用

(下转 128 页)

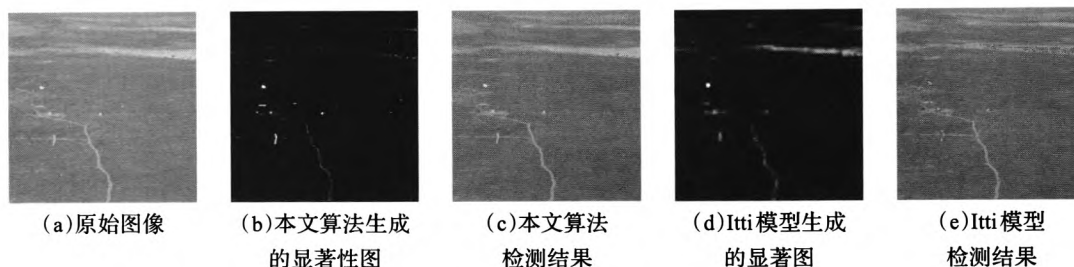


图3 场景2下本文算法与Itti模型实验结果的比较

## 6 总结

本文提出了一种基于视觉注意的小目标检测算法,并将该算法应用在实际图像中,由实验结果可见,算法具有良好的检测性能,取得了令人满意的检测效果。

同时该算法还存在有待改进之处,在暗目标检测过程中,由于选取的内、外窗口比较大,这在一定程度上增加了计算量和算法的运行时间,因此,如何更有效地选取图像特征,以及在保证算法检测性能的前提下提高算法的运行速度是下一步的工作方向。

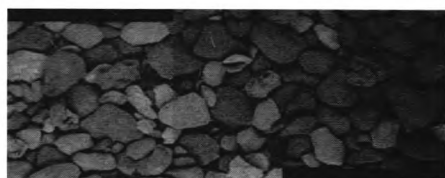
## 参考文献:

- [1] Koch C, Ullman S. Shifts in selective visual attention: towards the underlying neural circuitry[J]. Human Neurobiology, 1985, 4: 219-227.
- [2] Klein R M. Inhibition of return[J]. Trends in Cognitive Sci-

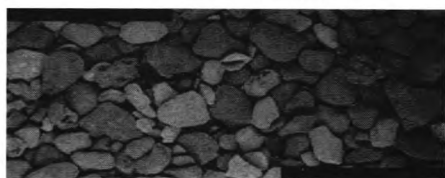
ences, 2000, 4(4): 138-147.

- [3] Lee D K, Itti L, Koch C, et al. Attention activates winner-take-all competition among visual filters[J]. Nature Neuroscience, 1999, 2(4): 375-381.
- [4] Itti L, Koch C, Niebur E. A model of saliency-based visual attention for rapid scene analysis[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1998, 20(11): 1254-1259.
- [5] Itti L, Koch C. Computational modeling of visual attention[J]. Nature Neuroscience, 2001, 2: 194-203.
- [6] 顾凡及, 汪云九. 侧抑制网络中的信息处理[M]. 北京: 科学出版社, 1983: 12-32.
- [7] 阮秋琦. 数字图像处理学[M]. 北京: 电子工业出版社, 2001: 180-212.
- [8] 高新波. 模糊聚类分析及其应用[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2004.

(上接115页)



一般拼接方法的拼接结果图



本文拼接方法的拼接结果图

图6 图像拼接结果图

灰度信息处理时的不足。实验证明采用该方式结合 SURF 算法提取的特征点数量更多, 区分性更好, 鲁棒性更强; 同时误匹配消除方法可以有效过滤匹配后的误匹配点, 采用亮度调整和像素平滑过渡的方法可以得到不含明显接缝的拼接图。该方法为彩色图像拼接提供一种新的解决途径, 为地质分析和石油勘探中的岩屑扫描和分析提供一种可借鉴的方法。

## 参考文献:

- [1] 曹红杏. 基于特征的图像拼接技术研究[D]. 北京: 中国科学院

研究生院, 2008.

- [2] Bay H, Tuytelaars T, Gool L V. SURF: Speeded Up Robust Features[C]//The Ninth European Conference on Computer Vision (ECCV). Graz, Austria: Springer, 2006: 404-417.
- [3] Lowe D G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints[J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2): 91-110.
- [4] Klippenstein J, Zhang H. Quantitative evaluation of feature extractor for visual SLAM[C]//CRV'07: Proceedings of the Fourth Canadian Conference on Computer and Robot Vision, 2007.
- [5] Abdel-Hakim A E, Farag A A. CSIFT: a SIFT descriptor with color invariant characteristics[C]//Proceedings of the 2006 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'06). New York, USA: [s.n.], 2006: 1978-1983.
- [6] Geusebroek J M, Boomgaard R V D. Color invariance[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2001, 23(12): 1338-1350.
- [7] Geusebroek J M, Dev A, van den Boomgaard R, et al. Color invariant edge detection[C]//Scale-Space Theories in Computer Vision. [S.l.]: Springer-Verlag, 1999.
- [8] 刘学, 姚洪利, 金世龙. 基于 CSURF 的彩色图像配准技术[J]. 电视技术, 2011(7).