

文章编号: 2095-4980(2015)03-0491-06

基于 ORB 算法的多聚焦岩屑图像快速配准

范启弘, 王正勇, 何小海, 滕奇志

(四川大学 电子信息学院, 四川 成都 610065)

摘要: 多聚焦岩屑图像具有点阵多, 分辨率高等特点。使用基于尺度不变特征变换(SIFT) 算法或者加速鲁棒性特征(SURF) 算法在图像的自动配准上虽具有较好的配准效果, 但时间效率远未达到实时性要求。本文将一种快速的图像匹配算法—定向二进制简单描述符(ORB)算法应用于多聚焦岩屑图像的自动配准。仿真实验结果表明, 该方法在保证配准的精确度同时, 在速度上具有较大的提升。

关键词: 多聚焦岩屑图像; 配准; 尺度不变特征变换; 加速鲁棒性特征; 定向二进制简单描述符

中图分类号: TN911.73; TP391.4 文献标识码: A doi: 10.11805/TKYDA201503.0491

Multi-focus rock debris image rapid registration based on ORB algorithm

FAN Qihong, WANG Zhengyong, HE Xiaohai, TENG Qizhi

(College of Electronics and Information Engineering, Sichuan University, Chengdu Sichuan 610065, China)

Abstract: Multi-focus rock debris images have large numbers of pixels and high resolution. Although Scale Invariant Feature Transform(SIFT) algorithm and Speeded Up Robust Features(SURF) algorithm have met registration accuracy, their time efficiencies are both far less than the real-time requirements. A kind of fast algorithm, directional binary Oriented Brief(ORB) algorithm, is applied to multi-focus rock debris image automatic registration. Experimental results show that proposed method is efficient in registration accuracy, and its speed has been increased significantly as well.

Key words: multi-focus rock debris image; registration; Scale Invariant Feature Transform; Speeded up Robust Features; Oriented Brief

图像配准是实现图像融合、变化检测、图像纠正和图像镶嵌等应用的一个关键步骤^[1]。根据配准使用的特征, 图像配准的方法大致可分为2类: a) 基于图像灰度的配准算法。该类方法的基本思想是从参考图像中提取目标区作为配准的模板, 然后用该模板在待配准图像中滑动, 通过相似性度量来寻找最佳匹配点。这类配准方法通常耗时较长; b) 基于图像特征的配准算法。该类方法的基本思想是以图像中某些显著特征(点、线、区域)为配准基元, 算法过程分为2步: 特征提取和特征匹配。首先从2幅图像中提取灰度变化明显的点、线、区域等特征形成特征集, 然后在2幅图像对应的特征集中利用特征匹配算法尽可能地将存在对应关系的特征对选择出来。对于非特征像素点, 利用插值等方法作处理, 推算出对应匹配关系, 从而实现2幅图像之间逐像素的配准。

近年来随着SIFT和SURF算子的提出, 这2种基于特征的图像配准算法在图像配准领域引起了许多学者的关注, 并取得了较好的效果^[2-4], 但这2种算法需要构建金字塔和建立高维浮点型描述符, 在特征点检测上需要较大的时间代价, 在特征点的匹配上需要较大的内存空间和时间代价。2010年Michael Calonder等人^[5]提出了一种基于二进制Brief特征描述符, 该算法极大地缩短了建立特征描述符所需时间, 同时降低了对存储空间的要求。但由于该描述符不具有尺度不变性和旋转不变性, 配准适应性较差。为适应旋转变换, Ethan Rublee^[6]等人提出了ORB算法, 该算法在特征描述子中加入方向, 使其具有旋转不变性。本文将ORB算法应用于多聚焦岩屑图像配准中, 实现多聚焦岩屑图像快速配准。

1 基于ORB算法快速配准的思想

1.1 特征点检测

ORB算法采用FAST^[7]算子进行特征点检测。FAST角点定义为：在候选像素点周围内有足够多的像素点与该点处于不同区域。在图像中就是有足够多的像素点灰度值大于或者小于该点的灰度值。考虑到图像中任意一个像素点和以它为中心的一个区域(通常为圆周区域)，如图1所示，要判断 P 是否为一个角点：将 P 点灰度值和以 P 点为圆心，3个像素点的宽度为半径的圆周上的16个像素灰度值进行比较，若圆周上存在 n 个连续的像素点灰度值大于 P 点灰度值加 t 或者小于 P 点像素值减 t (t 是阈值)，则 P 为角点^[8]。

这里 n 一般取 12,9 等值。实验证明， n 取 9 时匹配速度最快，ORB 中采用 FAST-9。

但原始FAST算子在边缘上也会提取到大量特征点，因此ORB算法计算了FAST所提取局部特征点的Harris兴趣值(即角点响应值)，并按兴趣值大小进行排序；然后根据特征点数的需求，保留兴趣值较大的 N 个点，从而使得 N 个特征点具有较大的特征点特性而非边缘特性。FAST检测器是综合了SUSAN(Small Univaluse Segment Assimilating Nucleus)算子和机器学习方法后提出的一种快速角点检测器。该算法首先训练了一个分类器，然后将分类器运用到图像上。由于该算法兼具平移不变性、噪声鲁棒性、可靠性等优点，被广泛应用。但是，FAST对尺度变化敏感，而且无法获取特征描述所需的局部区域主方向分量^[9]。因此，ORB采用了灰度质心法进行特征点主方向度量，从而简单有效地计算特征点主方向分量。图像角点区域的灰度矩定义为：

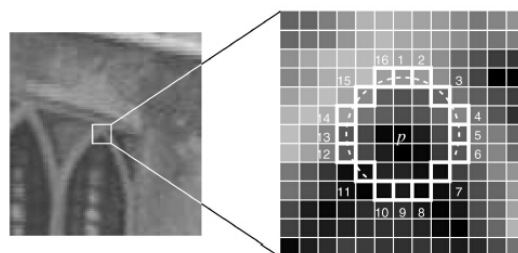


Fig.1 FAST corner detection
图1 FAST 角点检测

$$m_{pq} = \sum_{x,y} x^p y^q I(x,y) \quad (1)$$

式中： $I(x,y)$ 为图像点 (x,y) 处的灰度值； p,q 决定了灰度矩的阶数。

于是，灰度质心 C 就可由3个不同灰度矩 m_{00}, m_{01}, m_{10} 来表示：

$$C = \left(\frac{m_{10}}{m_{00}}, \frac{m_{01}}{m_{00}} \right) \quad (2)$$

进而，可构造角点中心 P 到灰度质心 C 的向量 PC 。因此，可知该角点区域的主方向为：

$$\theta = \arctan \frac{m_{01}}{m_{10}} \quad (3)$$

1.2 特征点描述与匹配

在特征描述方面，ORB在获取特征点主方向的基础上，采用Brief描述子对特征点进行描述，同时将特征点的主方向应用于Brief算法上，将其改进为旋转不变性的Rotated-Brief，Brief其主要思想为：

1) 对图像进行降噪。对图像 $I(x,y)$ 进行高斯滤波，即blur operation，降低图像噪声，记降噪后的图像为 $I'(x,y)$ 。高斯平滑参数 σ 取值一般为0~3，取值越高，处理完成后生成描述符的识别率就越高^[5]。实验证明使用 9×9 高斯核进行滤波具有较好的效果。

2) 空间测试块点的选择。选取特征点 P 的一个 $A \times A$ 大小的邻域，用 B 表示，本文 A 取31。利用空间分布特性，选择特征点附近点对位置分布，然后组合这些点对的二进制测试作为该特征点的二进制特征描述子。点对的抽样方式可以为各项同性均匀分布、各项同性高斯分布、非同项性高斯分布等。点对的抽样方式不同，其描述符的识别率存在一定差距，文献[5]论证了选取各项同性的高斯分布 $\text{Gaussian}(0, A^2/25)$ 采样具有较好的效果。定义图像邻域 p 二进制测试 τ 为：

$$\tau(B; Z_{1_i}, Z_{2_i}) = \begin{cases} 1, & \text{if } I'(B, Z_{1_i}) < I'(B, Z_{2_i}) \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

式中 $I'(B, Z_{1_i})$ 和 $I'(B, Z_{2_i})$ 分别为高斯平滑后的图像块 B 中点 $Z_{1_i} = (u, v)^T$, $Z_{2_i} = (u, v)^T$ 的像素灰度值。于是, Brief特征定义为 n 维二进制测试向量:

$$f_n(B) = \sum_{1 \leq i \leq n} 2^{i-1} \tau(B; Z_{1_i}, Z_{2_i}) \quad (5)$$

本文 n 取 256, 因此特征向量为 256 bit, 即 32 Byte, 相对于 SIFT 的 128 维 float 类型特征向量和 SURF 的 64 维 float 类型特征向量, Brief 描述子所需内存空间大大减少。

由于 Brief 描述子, 特征点邻域的点对选择仅考虑单个像素点, 对噪声敏感。为此, ORB 在特征点邻域采用 5×5 的子块对进行测试, 并采用积分图像加速计算。

获取二进制描述串后, 对该二进制串进行旋转, 使其具有旋转不变性。设 (x_i, y_i) 为计算二进制测试的任意一对点对, 则所有的二进制测试对应的点对可表示为 $2 \times n$ 的矩阵:

$$S = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & \cdots & x_n \\ y_1 & y_2 & \cdots & y_n \end{bmatrix} \quad (6)$$

于是利用旋转主方向 θ 的旋转矩阵 R_θ 就可构造出旋转后各个二进制测试位置矩阵 S_θ , 其中 $S_\theta = R_\theta S$ 。于是, Steered Brief 描述符就表示为:

$$g_n(B, \theta) = f_n(B) | (x_i, y_i) \in S_\theta \quad (7)$$

Brief 具有每个 bit 上的特征方差大、均值在 0.5 左右的特点, 但 Steered Brief 失去了这个特性。为解决这一问题, ORB 在得到 Steered Brief 之后, 接着执行一个贪婪搜索, 从所有可能的像素块对中找到 256 个相关性最低的块对, 最终得到 rBrief。

rBrief 特征仍是二进制串, 在二进制空间中, 特征相似性可使用汉明距离 (Hamming distance) 来表示。对 2 个特征使用按位 XOR 运算和累加运算即可实现匹配, 此类匹配方法极大减少特征匹配计算时间, 增大了匹配速度。

1.3 图像的匹配与配准

对于 256 bit 的 2 个二进制描述符, 特征汉明距离取值在 0~256 之间的, 难以使用一个合适的阈值去确定正确的匹配。因此本文通过测量标准图像与待配准图像中的 ORB 特征距离, 得到每个特征点的最近邻特征点和次近邻特征点。使用最近邻距离与次近邻距离的比值作为阈值 Threshold 来确定可能正确的匹配, 本文选取阈值为 0.8, 即 $\text{Threshold} < 0.8$ 时, 把最近邻距离对应的特征点作为候选可信匹配点。考虑到多聚焦岩屑图像具有纹理重复性的问题, 一次近邻特征匹配获取的同名点可能存在错误匹配。因此, 在次近邻过滤后的匹配点中, 本文采用逆向验证过滤错误匹配, 即所选取的 2 幅图像各作一次参考图像和待配准图像, 当 2 个方向匹配同时存在时, 认为这是一个可信的匹配, 进一步剔除错误匹配。

在得到可信的匹配点之后, 即可通过线性变换^[10]找到参考图像与待配准图像之间的几何变换关系。参考图像中的一个特征点的齐次坐标为 $X = (x, y, w)^T$, 其中 w 为齐次坐标中的任意常数, 与该点匹配的待配准图像中的一个特征点的坐标为 $X' = (x', y', w')^T$ 存在单应矩阵 H , 使得:

$$HX = X' \quad (8)$$

其中

$$H = \begin{bmatrix} h_{01} & h_{02} & h_{03} \\ h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \end{bmatrix} \quad (9)$$

对上式两边做外积运算, 得到:

$$X' \times HX = X' \times X' = 0 \quad (10)$$

代入向量后得到:

$$\begin{bmatrix} 0^T & -w'x^T & y'x^T \\ w'x^T & 0^T & -x'x^T \\ -y'x^T & x'x^T & 0^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_0 \\ h_1 \\ h_2 \end{bmatrix} = 0 \quad (11)$$

其中 $h_i = (h_{i0}, h_{i1}, h_{i2})^T$ ($i = 1, 2, 3$) 为单应矩阵第 i 行元素组成的向量, 单应矩阵 H 有 8 个自由度, 至少需要 4 组特征匹配点才能够唯一求解单应矩阵 H 。考虑到经过 ORB 初步匹配以及一次近邻过滤后的匹配中依然存在少量错误匹

配,因此,如果直接采用最小二乘法计算,会产生较大的偏差。为此,本文采用随机抽样一致法(Random Sample Consensus, RANSAC)鲁棒地求解单应矩阵 H 。最后对待配准图像利用单应矩阵进行线性变换。

2 实验结果与分析

2.1 ORB算法多聚焦序列图像配准

图2(a)~图2(d)给出本文进行图像配准的4张12 000 dpi不同景深多聚焦岩屑图像序列,图像大小均为2 423像素 $\times$ 2 535像素。分别以图2(b)和图2(d)作为标准图,图2(a)和图2(c)作为待配准图进行本文算法匹配,得到特征点匹配结果如图3和图4所示。图像配准结果如图5(a)~图5(b)所示。



(a) first layer of the image



(b) second layer of the image



(c) third layer of the image



(d) fourth layer of the image

Fig.2 Multi-focus cuttings image sequence

图2 多聚焦岩屑图像序列

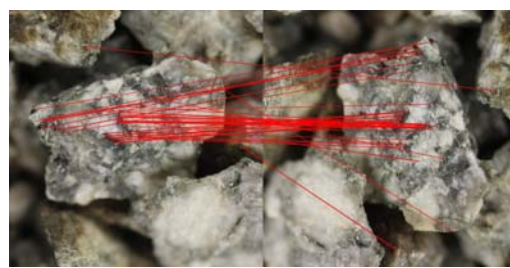


Fig.3 Feature points matching result of Fig.2(a) and Fig.2(b)

图3 图2(a)和图2(b)特征点匹配结果图

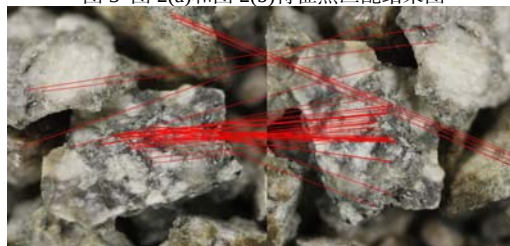


Fig.4 Feature points matching result of Fig.2(c) and Fig.2(d)

图4 图2(c)和图2(d)特征点匹配结果图

从图4配准局部放大图可以看出,本文算法对多聚焦岩屑特征点匹配具有较好效果。从图5可以看出,待配准通过本文算法求解的变换矩阵线性变换后,得到了较好的配准结果。



(a) unregistered image, standard image, registration result (from left to right)



(b) unregistered image, standard image, registration result (from left to right)



Fig.5 Registration results

图5 配准结果

2.2 与SIFT和SURF配准算法的比较

为了验证ORB算法的优越性,本文分别使用ORB,SIFT和SURF算法对图2(a)~图2(d)试验数据进行匹配,其中

SIFT和SURF利用Low^[11]的比值方法进行控制点(初步匹配后,标准图像上的特征点)匹配,比值阈值设置为0.8,ORB利用本文方法进行控制点匹配。获取候选控制后,将控制点按数量平分为2组,一组用于计算单应性矩阵,记为HP,另一组用于精确度检查,记为AP。从HP中鲁棒地求解出单应矩阵 H ,然后将待配准图像上与AP对应的点通过单应矩阵 H 进行线性变换,记变换后为TP,其HP,AP,TP为点集。利用TP和AP统计了最大残差(Max)和均方根误差(RMSE),并对每种算法的控制点匹配数目和时间都进行了比较,比较结果如表1所示。本文使用OpenCV作为开发平台,程序运行在Intel(R) Core(TM) i5-3210M CPU 2.50 GHz 四核处理器上。

表1 配准结果比较
Table1 Comparison of registration results

multi-focus rock debris images	registration method	control points			
		max/pixels	RMSE/pixels	registration time/ms	number of matching pairs/pairs
Fig.2 (a)/ Fig.2 (b)	SIFT	0.8	0.4	36 500	167
	SURF	1.9	0.8	33 968	137
	proposed method	1.0	0.5	1 140	170
Fig.2 (c)/ Fig.2 (d)	SIFT	0.7	0.5	35 700	182
	SURF	1.6	0.8	32 854	153
	proposed method	1.1	0.6	1 028	188

比较表1中本文给出的3种测试算法的Max和RMSE数值可以看出,在匹配准确度方面,本文算法略低于SIFT算法,优于SURF算法,但从配准时间结果来看,基于SIFT和SURF算法的配准时间效率较低。因此,本文方法在配准精确度高于SIFT算法和略低于SURF算法的情况下,配准时间效率大大高于SIFT和SURF算法。

3 结论

本文运用一种基于定向二进制简单描述符(ORB)算法实现了多聚焦岩屑图像的配准,并选取具有代表性的图像进行了试验。根据试验结果可以得出以下结论:

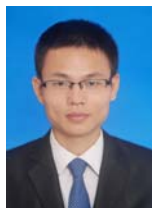
- 1) 在配准精确度上,ORB算法优于SIFT算法,略低于SURF算法,满足多聚焦岩屑配准对于精确度的要求。
- 2) 在配准时间效率上,ORB算法与SIFT算法或SURF算法相比具有绝对优势。下一步的工作将着重研究改善ORB算法在尺度变换方面的缺点。

参考文献:

- [1] 张云生,邹峥嵘. 基于改进ORB算法的遥感图像自动配准方法[J]. 国土资源遥感, 2013,25(3):20-24. (ZHANG Yunsheng,ZOU Zhengrong. Automatic registration method for remote sensing images based on improved ORB algorithm [J]. Remote Sensing for Land and Resource, 2013,25(3):20-24.)
- [2] LIU X Z,TIAN Z,CHAI C Y,et al. Multiscale registration of remote sensing image using robust SIFT features in steerable-domain[J]. The Egyptian J. Remote Sensing and Space Sci., 2011,14(2):63-72.
- [3] 李晓明,郑链,胡占义. 基于SIFT特征的遥感影像自动配准[J]. 遥感学报, 2006,10(6):885-892. (LI Xiaoming,ZHEN Lian,HU Zhanyi. SIFT based automatic registration of remotely-sensed imagery[J]. Journal of Remote Sensing, 2006,10(6):885-892.)
- [4] 林晓帆,林立文,邓涛. 基于SURF描述子的遥感影像配准[J]. 计算机工程, 2010,36(12):216-218. (LIN Xiaofan,LIN Liwen,DENG Tao. Remote sensing image registration based on SURF descriptor[J]. Computer Engineering, 2010,36(12):216-218.)
- [5] Calonder M,LepetitV,OzuysalM,et al. BRIEF: Computing a local binary descriptor very fast[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2012,34(6):1281-1298.
- [6] RubleeE,RabaudV,KonoligeK,et al. ORB:An efficient alternative to SIFT or SURF[C]// 2011 International Conference on Computer Vision. Barcelona,Spain:[s.n.], 2011:2564-2571.
- [7] Rosten E,Drummond T. Faster and better:a machine learning approach to corner detection[J]. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2010,32(2):105-119.
- [8] 李小红,谢成明,贾易臻,等. 基于ORB特征的快速目标检测算法[J]. 电子测量与仪器学报, 2013,27(5):455-460. (LI Xiaohong,XIE Chengming,JIA Yizhen,et al. Fast target detection algorithm based on the characteristics of the ORB[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrument, 2013,27(5):455-460.)
- [9] 侯毅,周石林,雷琳,等. 基于ORB的快速完全仿射不变图像配准[J]. 计算机工程与科学, 2014,36(2):303-310. (HOU Yi,ZHOU Shilin,LEI Lin. Rapid fully affine invariant image registration based on the ORB algorithm[J]. Computer Engineering& Science, 2014,36(2):303-310.)

- [10] Hartley R,Zisserman A. Multiple View Geometry in Computer Vision[M]. [S.l.]:Cambridge University Press, 2000.
- [11] Lowe D G. Distinctive image features from scale-invariant key point[J]. International Journal of Computer Vision, 2004,60(2):91–110.

作者简介:



范启弘(1989–), 男, 浙江省金华市人, 在读硕士研究生, 主要研究方向为图像处理与网络通信.email:724506420@qq.com.

王正勇(1969–), 女, 四川省达州市人, 博士, 副教授, 主要研究方向为信息与信号处理、图像处理与模式识别.

何小海(1964–), 男, 成都市人, 教授, 博士, 主要研究方向为图像处理、模式识别、图像通信.

滕奇志(1961–), 女, 成都市人, 博士, 教授, 主要研究方向为数字图像处理、模式识别、计算机应用.

(上接第 490 页)

- [7] 王波,叶晓慧,赵玉亭,等. 自组织网络时钟同步研究综述[J]. 计算机科学, 2010,37(5):30–39. (WANG Bo, YE Xiaohui, ZHAO Yuting, et al. Research on clock synchronization of Ad Hoc networks: A survey[J]. Computer Science, 2010,37(5): 30–39.)
- [8] WANG X, WANG S, MA J. Dynamic deployment optimization in wireless sensor networks[J]. Lecture Notes in Control and Information Sciences, 2006,34(4):182–187.
- [9] 公茂果,焦李成,杨咚咚. 进化多目标优化算法研究[J]. 软件学报, 2009,20(2):271– 289. (GONG Maoguo, JIAO Licheng, YANG Dongdong. Research on evolutionary multi-objective optimization algorithms[J]. Journal of Software, 2009,20(2): 271–289.)
- [10] Devarapalli V, Dupont F. Mobile IPv6 operation with IKEv2 and the revised IP sec architecture[S]. RFC 4877, 2006.
- [11] 朱海荣,李平,程剑. 基于改进 PSO 算法的 WSN 覆盖优化方法[J]. 计算机工程, 2011,37(8):82–84. (ZHU Hairong, LI Ping, CHENG Jian. Optimization method for Wireless Sensor Network coverage based on improved PSO algorithm[J]. Computer Engineering, 2011,37(8):82–84.)
- [12] Selman B, Kautz H A. Domain independent extensions to GSAT: Solving large structured satisfiability problems[C]// Proc. IJCAI-93. Chambéry, France: IJCAI, 1993:290–295.
- [13] 赵天玉. 组合优化算法中摆脱局部极小值的几种策略[J]. 工科数学, 2000,16(1):67–71. (ZHAO Tianyu. Several strategies to get rid of local minima for combinatorial optimization algorithm[J]. Journal of Mathematics for Technology, 2009,45(11):89– 91.)
- [14] 向西西,黄宏光,李予东. 基于粒子群算法的混合无线传感网覆盖优化[J]. 计算机应用研究, 2010,27(6):2273–2275. (XIANG Xixi, HUANG Hongguang, LI Yudong. Hybrid sensor networks coverage-enhancing approach based on particle swarm optimization[J]. Application Research of Computers, 2010,27(6):2273– 2275.)
- [15] 曾映兰,陈静,郑金华. 基于遗传算法的 WSN 覆盖优化方法[J]. 计算机工程与应用, 2009,45(11):89–91. (ZENG Ying lan, CHEN Jing, ZHENG Jinhua. Genetic algorithm-based sensor network coverage-enhancing approach[J]. Computer Engineering and Applications, 2009,45(11):89–91.)

作者简介:



冯 琳(1990–), 男, 山东省烟台市人, 在读硕士研究生, 主要研究方向为无线自组织网与传感网.email:732363731@qq.com.

冉晓旻(1971–), 男, 郑州市人, 硕士, 副教授, 主要研究方向为计算机网络.

梅关林(1991–), 男, 四川省泸州市人, 在读硕士研究生, 主要研究方向为无线传感网.