

# 相位相关法辅助的重复纹理区低空影像匹配

何海清<sup>1,2</sup> 张永军<sup>3</sup> 黄声享<sup>2</sup>

1 东华理工大学测绘工程学院,江西 南昌,330013

2 武汉大学测绘学院,湖北 武汉,430079

3 武汉大学遥感信息工程学院,湖北 武汉,430079

**摘要:**针对重复纹理区低空影像匹配中存在的多义性易造成同名点过少或匹配失败等问题,利用相位相关法计算了像对中两影像傅立叶变换复共轭的互功率谱,预测同名点在平移、旋转和尺度上的遍历范围,并以尺度遍历范围自适应估计 Harris-Laplace 尺度空间和检测角点,然后通过相关系数法和核线约束匹配同名点。实验验证了该方法对于重复纹理区低空影像匹配的可靠性和实用性,可获得数量足够且分布均匀的同名点。

**关键词:**低空影像;重复纹理;相位相关;Harris-Laplace 算法

中图法分类号:P237.3

文献标志码:A

以无人机、飞艇等作为搭载平台的低空摄影测量技术飞速发展,并被广泛应用于资源调查、城市规划、灾害监测等领域,其中,影像匹配是低空影像处理的关键技术之一<sup>[1-2]</sup>。迄今为止,国内外学者对低空影像匹配进行了大量的研究,最具代表性的是利用尺度、旋转、平移、光照不变性的 SIFT 算法进行低空遥感影像全自动匹配<sup>[1-2]</sup>。然而,相比传统的航空与卫星摄影,低空摄影平台的飞行高度较低,飞行平台不稳定,影像间的旋偏角和尺度差异较大,且影像覆盖面积小,有些区域的影像具有重复性、周期性纹理或缺少丰富纹理,给影像全自动化匹配带来了巨大挑战。

本文针对重复纹理区低空影像匹配中存在的多义性易造成同名点过少或匹配失败等问题,借助快速傅立叶变换(fast Fourier transform,FFT)相位相关法预测同名点的遍历范围,利用相关系数法进行相似性测度,结合核线约束剔除误匹配点。实验表明,该方法可提高重复纹理区低空影像匹配的成功率,获得数量足够且分布均匀的同名点。

## 1 初始匹配

影像匹配是利用特定算法识别具有重叠区域

的一幅或多幅影像同名点的过程。基于相位相关的平移、旋转与尺度不变性图像配准<sup>[3-5]</sup>,在影像处理领域得到了深入的研究。在低空影像点匹配前,利用相位相关法估计同名点的遍历范围。

低空影像与传统的航空和卫星影像有着明显的差异,地面起伏、地物遮挡、视差不连续等在低空影像中的表现更为突出,空中不同视点垂直摄影得到的低空影像像对重叠区域的内容也不尽相同,相位相关峰值不再是一孤立的较大值,而是一束较大值,如何界定同名点的遍历范围对于点匹配的准确性和效率至关重要。图 1 为某低空影像相位相关极大值的水平剖面线,邻域具有明显带宽。可见,相位相关值  $\delta$  脉冲函数的单一极大值可能无法代表所有像素的位移关系。

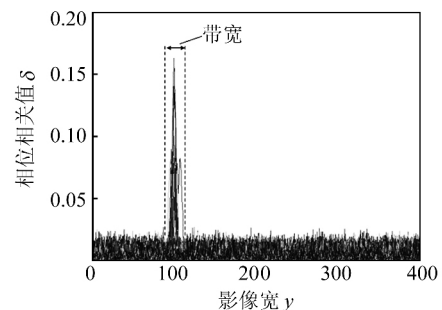


图 1 相位相关峰值剖面图

Fig. 1 Peak Value of Phase Correlation

收稿日期:2012-10-25

项目来源:国家科技支撑计划资助项目(2011BAH12B05);精密工程与工业测量国家测绘地理信息局重点实验室基金资助项目(PF2011-11);国家自然科学基金资助项目(41206078,41204003)。

第一作者:何海清,博士,讲师。现从事摄影测量与遥感及大地测量数据处理等方面的研究。E-mail: hyhqing@163.com

借鉴容差的思想,利用平移、旋转与尺度相位相关两个过程来逆向估计同名点的遍历范围,以相位相关峰值为中心和固定步长增加半径逐步确定搜索范围,如图 2 所示。影像相位相关值  $\delta$  脉冲极大值邻域的平面灰度图颜色越深,表示值越大,当圆环中覆盖的相位相关值满足式(1)时,则终止扩大范围,确定平移量  $T_x, T_y$  以及当前容差半径  $t_r$  的遍历范围 ( $T_x \in [t_x - t_r, t_x + t_r], T_y \in [t_y - t_r, t_y + t_r]$ )。尺度变化  $S$  与旋转角  $\theta$  也采用类似方法确定容差半径分别为  $s_r, \theta_r$  的尺度、角度的遍历范围 ( $S \in [s - s_r, s + s_r], \theta \in [\theta_0 - \theta_r, \theta_0 + \theta_r]$ )。

$$\text{std}_n \leq \text{std}_{n-1} \leq \dots \leq \text{std}_1, |m_n - m_{n-1}| < \epsilon_m \quad (1)$$

式中,  $1 \sim n$  环相位相关值的标准差 (std) 趋向收敛,且  $n$  环的均值  $m_n$  比  $n-1$  环的均值  $m_{n-1}$  小。

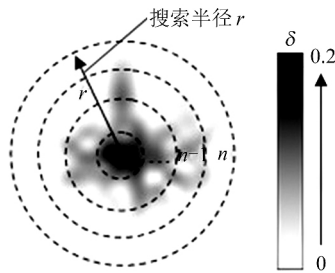


图 2 以峰值为中心的搜索范围  
Fig. 2 Searching Domain Located by Peak

## 2 重复纹理区的低空影像匹配

由于重复纹理区的低空影像匹配存在多义性,可能降低匹配的正确率甚至匹配失败。以相位相关法的初始几何对应关系作为同名点的遍历范围,以格网为单元提取一定数量的多尺度的 Harris-Laplace 角点,然后进行相似性测度,结合核线约束剔除误匹配点,从而实现同名点匹配。

Harris-Laplace 算法是结合传统 Harris 角点检测算法和高斯尺度空间来实现尺度不变性角点检测的。Harris 算法通过计算梯度自相关函数相联系的二阶矩阵及角点响应函数值来判定角点,提取的角点具有旋转和光照不变性,但不具有尺度不变性<sup>[6-7]</sup>。然而,对于按传统作业规范拍摄的低空相邻影像尺度变化不大,Harris 算法可满足特征点检测的需要。为了适应不同尺度变化的需要,将 Harris-Laplace 算法中的二阶矩阵  $M$  修改为具有尺度不变性,表达式为<sup>[8]</sup>:

$$M = \mu(x, y; \sigma_I, \sigma_D) =$$

$$\sigma_D^2 g(\sigma_I) \otimes \begin{bmatrix} L_x^2(x, y; \sigma_D) & L_x L_y(x, y; \sigma_D) \\ L_x L_y(x, y; \sigma_D) & L_y^2(x, y; \sigma_D) \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中,  $g(\sigma_I)$  为图像  $I$  高斯尺度核  $\sigma_I$  的函数;  $(x, y)$  为像素坐标;  $\otimes$  为卷积运算;  $L_x(x, y; \sigma_D), L_y(x, y; \sigma_D)$  分别为高斯尺度核为  $\sigma_D$  的模糊图像在  $x, y$  方向上的一阶导数。Harris-Laplace 算法在预设的尺度  $\sigma_I$  空间内检测 Harris 角点,各高斯尺度  $\sigma_I$  以  $k$  的倍数变换,其表达式为:

$$\sigma_1 \dots \sigma_n = k^1 \sigma_0 \dots k^n \sigma_0, \sigma_D = s \sigma_I \quad (3)$$

式中,  $\sigma_0$  为初始高斯尺度;  $k, s$  的值分别为 1.4、0.7<sup>[8]</sup>;  $n$  为图像尺度空间数,根据像对中两影像的近似尺度范围来估计,  $n = (\lg 2s_r - \lg \sigma_0) / \lg k$ 。只在像对近似尺度空间内提取 Harris 角点,可使 Harris-Laplace 尺度空间估计更加灵活,将尽可能减小 Harris 角点检测的计算量,对于不同尺度影像匹配的适应性较好。

在各个尺度空间,利用类似的 Harris 算法角点响应函数值  $R$  进行角点检测,并实现亚像素角点定位<sup>[9]</sup>。

$$R = \det(M) - \alpha \text{tr}^2(M), 0.04 \leq \alpha \leq 0.06 \quad (4)$$

采用相关系数法,根据旋转角和尺度空间变换模板进行相似性匹配,然后利用核线约束剔除误匹配点。

## 3 实验结果与分析

为验证本文方法的实用性及可靠性,采用几组无人机低空遥感影像进行实验。分别选取 3 类典型的重复纹理区低空航向和旁向影像像对:① 树林覆盖面积较大的森林区域;② 纹理相似的建筑密集区;③ 重叠区较为平滑的沙漠地带。每一类航向与旁向影像各为 10 个像对,共 60 个像对。

经对比分析,在原始影像缩小一定倍数的基础上,相位相关后乘上缩放比例,求出的原始影像同名点的遍历范围相差不大。本文实验中,影像缩小 9 倍进行相位相关计算,以减小计算量。同时,为了便于比较分析匹配的同名点数量及效率,采用常用的灰度相关匹配法(a)、SIFT 算法(b)、相位相关辅助的 SIFT 算法(c)以及本文方法(d)进行匹配实验,并利用随机抽样一致性算法(random sample consensus, RANSAC)进行核线约束,剔除误匹配点,同名点数量统计结果见图 3。由图 3 可知,相位相关辅助的 SIFT 算法和本文方法在航向和旁向重复纹理像对匹配得到的同名点数明显超过灰度相关匹配法和 SIFT 算法,后两者甚至在某些像对

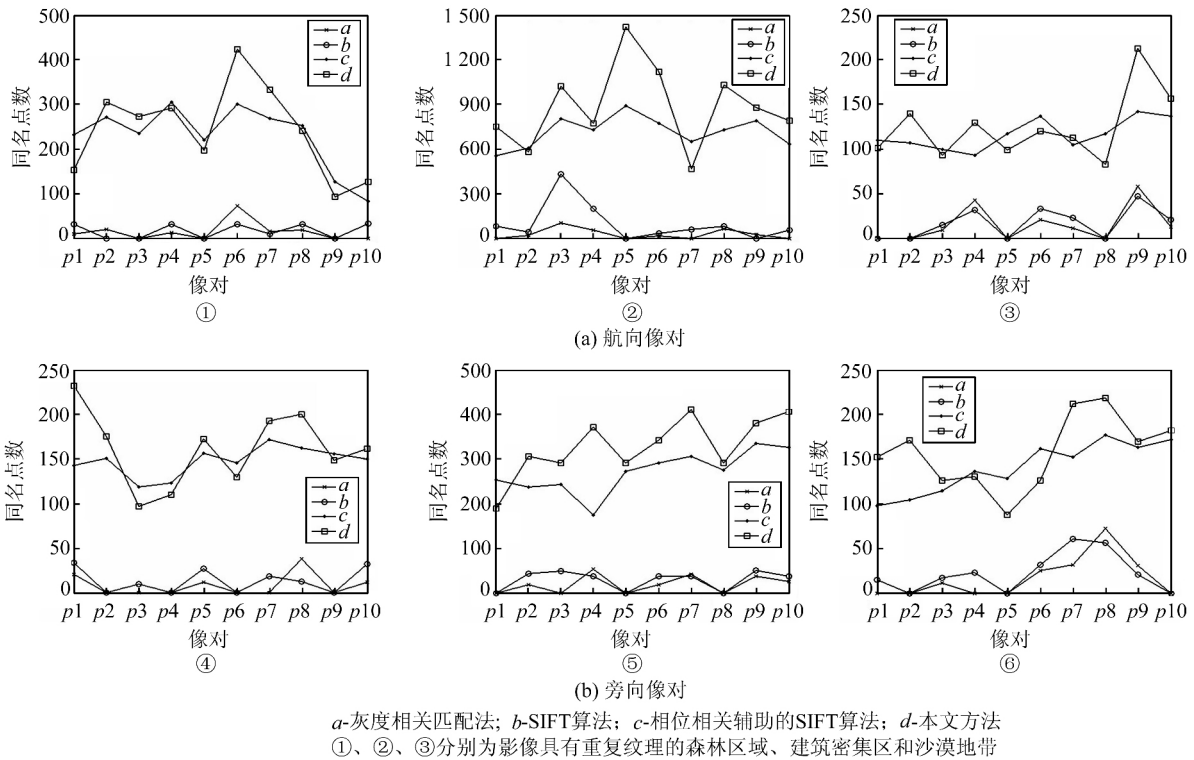


图3 四种方法匹配结果统计  
Fig. 3 Statistical Corresponding Points for Four Methods

上匹配失败。

四种方法在相同数据及处理环境下的单像对平均匹配时间见表1,灰度相关匹配法、SIFT算法中匹配失败的影像所耗时间不参与对应的平均时间计算。可见,相位相关计算虽然耗费数据处理时间,但大大缩小了同名点的遍历范围,匹配效率并未降低,反而有所提高,相位相关辅助的SIFT和本文方法都提高了匹配效率,而本文方法因相位相关后自适应估计 Harris-Laplace 尺度空间,高斯滤波运算量比 SIFT 算法少,且相关系数法不需如 SIFT 算法中计算特征点主方向及 128 维描述子等复杂运算过程,本文方法匹配耗时约为相位相关法辅助的 SIFT 算法的一半,匹配效率更高。

表1 四种方法各自的平均匹配时间/s

Tab. 1 Images Matching Times of Four Methods/s

区域		a	b	c	d
①	航向	36.3	38.2	23.7	13.6
	旁向	33.1	35.9	21.6	11.8
②	航向	47.4	45.5	26.4	13.3
	旁向	41.1	46.3	25.7	12.9
③	航向	38.7	32.7	19.3	9.7
	旁向	43.1	33.1	18.1	9.1

本文方法匹配结果见图4,可见,同名点数量可观且分布均匀,在旋转和尺度变化较大的情况下,匹配结果依然非常理想,而这些像对在灰度相关匹配法和 SIFT 算法中的匹配均失败。实验结

果表明,本文方法在重复纹理区低空影像匹配中具有较强的实用性,可在一定程度上提高低空影像匹配的成功率和可靠性。

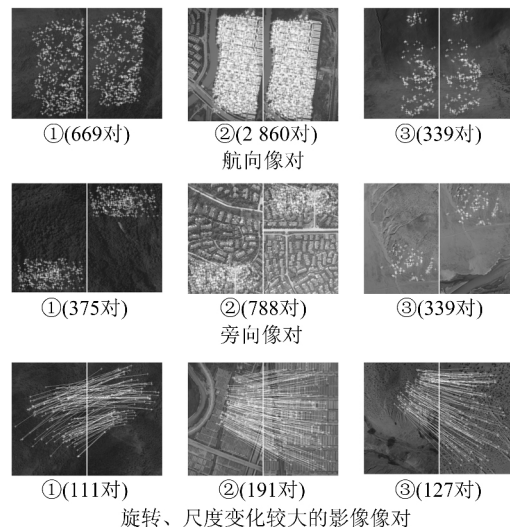


图4 重复纹理影像匹配结果图

Fig. 4 Images Matching Results with Repeated Texture

## 4 结语

本文针对重复纹理区低空影像匹配问题,提出了利用相位相关法预测同名点在平移、旋转和尺度的遍历范围来辅助特征点匹配,并以尺度遍历范围自适应估计 Harris-Laplace 尺度空间和检测角点,

然后通过相关系数法和核线约束匹配同名点。实验结果表明了本文方法在低纹理、周期性重复纹理影像匹配上的有效性和可靠性,提高了同名点匹配的效率,可获得数量足够且分布均匀的同名点,明显优于常用的重复纹理低空影像匹配法,对于低空影像全自动化匹配具有一定的实用性。

### 参 考 文 献

- [1] Zhang Yongjun, Xiong Jinxin, Hao Lijuan. Photogrammetric Processing of Low-Altitude Images Acquired by Unpiloted Aerial Vehicles[J]. *The Photogrammetric Record*, 2011, 134(26): 190-211
- [2] Ke Tao, Zhang Yongjun. The Application of SIFT Features in the Automatic Matching for Low Altitude Aerial Images[J]. *Science of Surveying and Mapping*, 2009, 34(4): 23-26(柯涛,张永军. SIFT 特征算子在低空遥感影像全自动匹配中的应用[J]. 测绘科学, 2009, 34(4): 23-26)
- [3] Kuglin C D, Hines D C. The Phase Correlation Image Alignment Method[C]. IEEE International Conference on Cybernetics and Society, New York, 1975
- [4] De Castro E, Morandi C. Registration of Translated and Rotated Images Using Finite Fourier Transforms[J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1987, 9(5):700-703
- [5] Sriniasa R B, Chatterji B N. An FFT-Based Technique for Translation, Rotation, and Scale-Invariant Image Registration[J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 1996, 5(8): 1 266-1 271
- [6] Harris C, Stephens M. A Combined Corner and Edge Detector[C]. The 4th Alvey Vision Conference, Manchester, United Kingdom,1988
- [7] Schmid C, Mohr R, Bauckhage C. Evaluation of Interest Point Detectors[J]. *International Journal of Computer Vision*, 2000, 37(2):151-172
- [8] Mikolajczyk K, Schmid C. Scale & Affine Invariant Interest Point Detectors[J]. *International Journal on Computer Vision*, 2004, 60(1):63-86
- [9] He Haiqing, Huang Shengxiang. Improved Algorithm for Harris Rapid Sub-Pixel Corners Detection [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2012, 17(7):853-857(何海清, 黄声享. 改进的 Harris 亚像素角点快速定位[J]. 中国图像图形学报, 2012, 17(7):853-857)

## Phase Correlation Supported Low Altitude Images Matching with Repeated Texture

HE Haiqing<sup>1,2</sup> ZHANG Yongjun<sup>3</sup> HUANG Shengxiang<sup>2</sup>

1 Faculty of Geomatics, East China Institute of Technology, Nanchang 330013, China

2 School of Geodesy and Geomatics, Wuhan University, Wuhan 430079, China

3 School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, Wuhan 430079, China

**Abstract:** Low altitude image matching with repeated texture may have a small amount of corresponding points or be unsuccessful because of ambiguous matching. To solve the problem, a phase correlation method supported low altitude aerial image matching with repeated texture is proposed. The method estimates the traversal range of corresponding points, including translation, rotation, and scale space. The traversal range is estimated by a cross-power spectrum of the image Fourier transform and a complex conjugate of another image Fourier transform. Next, Harris-Laplace scale space is estimated by the scale traversal range and corners detection. Then, corresponding point matching is achieved by a correlation coefficient and epipolar constraint. The experimental results show that the method may be reliable and practical for low altitude images matching with a repeated texture, and obtains enough and well-distributed corresponding points.

**Key words:** low altitude image; repeated texture; phase correlation; Harris-Laplace algorithm

**First author:** HE Haiqing, PhD, specializes in the photogrammetry and remote sensing, geodetic data processing. E-mail: hyhqing@163.com

**Foundation support:** The National Key Technology Research and Development Program of the Ministry of Science and Technology of China, No. 2011BAH12B05; the Key Laboratory of Precise Engineering and Industry Surveying, National Administration of Surveying, Mapping and Geoinformation Foundation, No. PF2011-11; the National Natural Science Foundation of China Nos. 41206078, 41204003.