引文格式：张莉,祁琼,孔姗 ,等. Retinex算法在无人机遥感影像匹配中的应用[J]. 地理空间信息, 2024, 22(10): 30-33. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2024.10.008

Retinex 算法在无人机遥感影像匹配中的应用

张　莉[1]，祁　琼[1*]，孔　姗[1]，刁婷婷[1]
（1. 湖北省空间规划研究院，湖北 武汉 430071）

摘　要：无人机遥感测量系统数据获取时由于外部环境的影响，获取的影像内部及影像间色彩差异大，影响影像特征点提取数量及均匀度，降低了影像定向参数解算的可靠性，为此将MRS（multi-scale retinex）算法与高斯滤波算法相结合，提出了MRSGF（multi-scale retinex with gaussian filters）方法对无人遥感影像进行增强。使用偏暗、偏亮、光照分布不均的无人机遥感影像对MRSGF进行验证，实验表明该算法提高了SIFT（scale-invariant feature transform）算法对无人机航空影像纹理多样性及色彩差异的适应性，提高了SIFT算法特征点的数量及分布的均匀度。

关键词：无人遥感；SIFT；MSR；MRSGF
中图分类号：P231　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2024）10-0030-04

Application of Retinex Algorithm in Remote Sensing Image Matching of Unmanned Aerial Vehicle

ZHANG Li[1], QI Qiong[1], KONG Shan[1], DIAO Tingting[1]
(1. Hubei Spatial Planning Research Institute, Wuhan 430071, China)

Abstract: Due to the influence of external environment, the color differences within and between acquired images are large, which affects the number and uniformity of image feature point extraction, reducing the reliability of image orientation parameter resolution. Therefore, combining the MRS (multi-scale Retinex) algorithm with the Gaussian Filter algorithm, we proposed a MRSGF (multi-scale Retinex with Gaussian Filters) method to enhance UAV remote sensing images. Then, we used dark, bright and unevenly illuminated UAV remote sensing images to validate the MRSGF algorithm. The experimental result shows that the algorithm improves the adaptability of SIFT (scale-invariant feature transform) algorithm to the texture diversity and color differences of UAV aerial images, and improves the number and distribution uniformity of SIFT algorithm feature points.

Key words: unmanned remote sensing, SIFT, MSR, MRSGF

无人机遥感后处理的首要工作是多视觉影像间匹配同名点，从参数解算的可靠性来考虑[1-2]，要求匹配的同名点具有多度重叠分布均匀，这对匹配算法有2个基本要求：①适应性，即适应影像间的大旋转角、不同类型的纹理特征、较大的色彩差异、地形起伏大形成投影差等；②均匀性，即多视影像间的匹配点分布均匀。

对于匹配算法的适应性，可使用尺度不变特征的算法来实现，该方法在David Lowe提出的SIFT（Scale-invariant feature transform）[3]算法基础上不断改进，已经有很多经典的算法，如SURF[4]、PACC-SITF[5]、ASIFT[6]等，该算法也广泛用于无人机遥感影像处理[7]。SIFT算法首先是提取影像特征点，由于外部环境的影响，获取的影像内部及影像间色彩差异大，造成SIFT算法提取的特征点分布不均匀，这需要对影像进行增强处理[8-15]。本文在多尺度MSR算法的基础上结合高斯滤波方法提出MSRGF（multi-scale retinex with gaussian filters）算法来实现影像增强，为验证算法的有效性，本文借助信息论的信息熵来评估影像提取特征点的均匀度。

1　特征点提取分析

多视无人机遥感影像间匹配同名点，要求每张影像与其所有相邻有重叠度影像进行匹配（图1a），为提高参数计算的可靠性，这要求匹配的特征点均匀分布（图1b）。由于外部环境影响，拍摄的影像存在偏暗、偏亮、光照分布不均等现象（如图3），图3b特

收稿日期：2024-03-11。
第一作者简介：张莉（1978—），本科，工程师，主要从事自然资源调查监测、地理信息系统及遥感应用工作，E-mail：398893481@qq.com。
通信作者：祁琼（1983—），研究生，高级工程师，主要从事自然资源调查监测、地理信息系统及遥感应用工作，E-mail：123167296@qq.com。

征提取的结果表明，影像色彩条件影响提取特征点数量及分布均匀度，所以在特征点提取前需要对影像进行预处理。偏暗、偏亮等的影像直方图有效范围一般较窄（如图3样例数据的第1组、第2组），需要对其进行处理，使得影像直方图覆盖影像整个灰度范围，在此采用直方图拉伸的方式对影像进行处理。原理如图2，计算

$$G_1(x,y)=\begin{cases}0\\ \mathrm{INT}\left(\dfrac{F(x,y)-\min}{\max-\min}\times 255\right)\\ 255\end{cases}$$

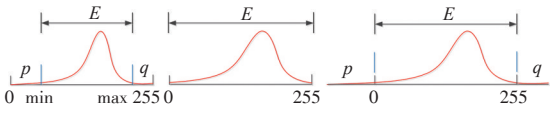
采用式（1）对影像进行直方图拉伸处理，对灰度值的处理为截断式，特征提取结果（图3的第一组），图3b实验结果表明，特征点提取均匀度有待改善，为此对影像直方图拉伸采用非截断式处理（图2c），影像像素值采用浮点数表达，则直方图拉伸后的图像表达为：

$$G_2(x,y)=\frac{F(x,y)-\min}{\max-\min}\times 255 \tag{2}$$



a 多视无人机遥感影像匹配　　b 特征分布要求

图1　无人机影像匹配及提取特征点分布要求



a 影像直方图　　b 截断式处理　　c 非截断式处理

图2　直方图拉伸原理图

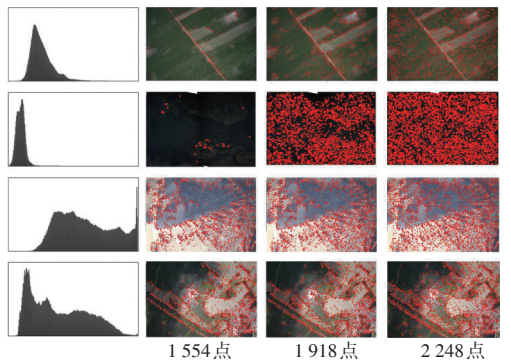
下面来验证式（1）与式（2）对像处理后特征提取效果，图3为4组样例数据及实验结果，实验表明：①经过直方图拉伸处理后的影像，提取特征点比原图增加，特别是当直方图分布较窄时特征点数量增加明显；②非截断式直方图拉伸处理效果优于截断式直方图拉伸处理。为进一步验证算法的有效性，对图3的4组样例数据选取一定数量的影像来统计分析（结果见图4），统计分析结果与上述结论一致。

从图3、4的实验表明，影像存在照度不均（如图3的第4组，影像有云影）现象时，提取的特征点分布仍然不均匀，需要采取更有效的影像增强方法，对影像增强算法有2个基本要求：①影像增强后提取的特征点均匀分布；②经过增强的影像，提取的特征点数量优于原始影像提取的特征点数量。

多尺度MSR算法是以中心环绕Retinex算法为基础的改进。MSR算法是将数个不同尺度上的单尺度SSR进行线性加权组合。MSR算法的数学表达式为：

影像直方图的两段的累计值 $p=\sum_{0}^{m}H_i$，$q=\sum_{n}^{255}H_j$，在此取 p、$q<T$（T 为限差域值，在此取3%），设原始影像的像素度值为 $F(x,y)$，拉伸后的影像的像素值为 $G_1(x,y)$，影像的像素值一般采用8位整数的方式存储（灰度值的有效范围为0~255），则：

$$\begin{cases}F(x,y)<\min\\ \text{其他（INT表示对计算值取整）}\\ F(x,y)>\max\end{cases} \tag{1}$$



a 直方图　b 原始影像　c 直方图拉伸（截断）　d 直方图拉伸（未截断）

图3　直方图拉伸试验样例数据及实验分析

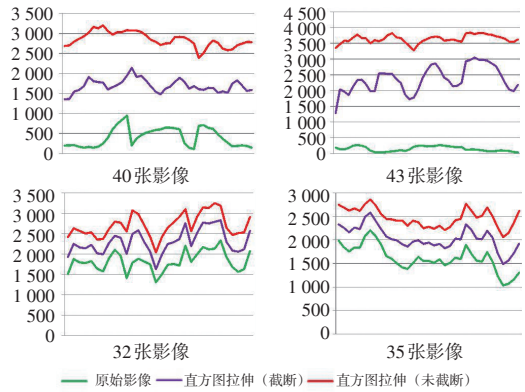


图4　直方图拉伸试验样例数据

$$R_{\mathrm{MSR}}(x,y)=\sum_{i}^{K}W_iR_{\mathrm{SSR}_i}(x,y) \tag{3}$$

$$R_{\mathrm{SSR}_i}(x,y)=\log\left[I_i(x,y)\right]-\log\left[F_i(x,y)\times I_i(x,y)\right] \tag{4}$$

如图5，对图3的样例的第4组影像采用MSR算法增强处理后，影像的直方图为单峰值，直方图分布范围较窄，仍然需要进行直方图拉伸处理，经过MSR算法增强后的影像采用浮点数保存，直方图拉伸原理图6a、b、c：①将MSR增强后的影像归一化到0~255灰度范围，对每个像素计算直方图采用线性内插的方式实现；②计算影像直方图的两段的累计值 $p=\sum_{0}^{m}H_i$，$q=\sum_{n}^{255}H_j$，在此取 p、$q<T$（T 为限差域值，在此取

3%）；③计算直方图的最大值 H_{max}，则 $m=H_{max}-p$，$n=255-H_{max}-q$，并以 H_{max} 为对称中心计算 $e=s=\min(m,n)$，则将直方图范围 E 拉伸到0~255，计算公式使用式（2）。

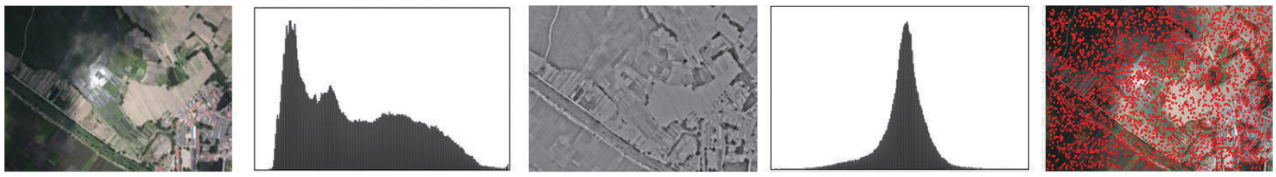


图5 MSR影像增强后特征点提取试验

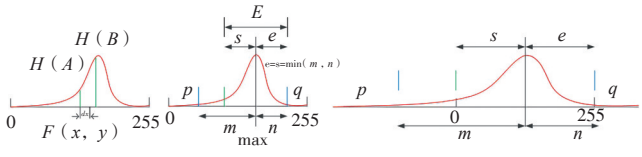


图6 MSR影像增强后直方图拉伸原理

图5的实验表明，影像经过MSR增强算法增强后提取特征点的分布均匀。下面对图3的4组样例用MSR算法进行验证，结果如图7，实验表明MSR影像增强算法没有满足第二个条件（特征点提取数量比影像直方图拉伸算法更优），仍然需要对MSR算法进行改进，改进后的算法（Multi-scale retinex with Gaussian Filters，MSRGF）如下：

$$R_{SSR_j}(x,y)=\log\left[G_j(x,y)I_j(x,y)\right]-\log\left[F_j(x,y)\times I_j(x,y)\right] \quad (5)$$

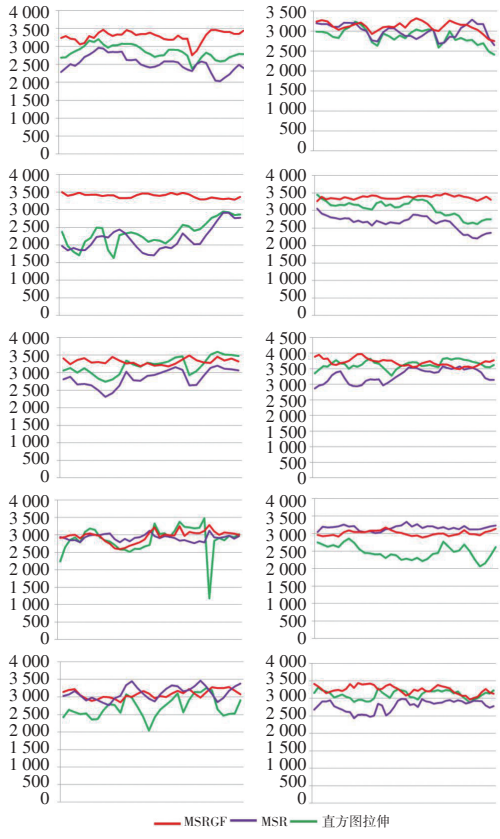


图7 方图拉伸、MSR、MSRGF方法特征提取试验分析结果统计（曲线表示匹配点的数量）

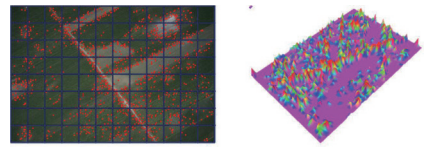
采用式（5）的MSRGF算法对图4的4组样例数据处理后统计结果，实验表明MSRGF算法满足第二个条件（特征点提取数量比影像直方图拉伸算法更优）。

为对MSRGF算法进一步验证，在此选择10组数据（数据情况说明见表1）来测试。实验表明影像经过MSRGF算法增强后提取的特征点数量优于直方图拉伸和MSR算法。

表1 实验样例数据描述

序	直方图	影像特点
1	偏窄	大面积农田数据，纹理相似性大
2	正常	农田、村镇较粗，纹理较丰富
3	正常	大面积森林数据，有阴影
4	正常	村镇、田块交错，纹理丰富
5	偏窄	沙漠地区，纹理单一
6	偏窄	村镇、田块、森林交错，纹理丰富，影像颜色暗
7	偏窄、偏暗	村镇、田块、森林交错，有薄云、雾霾，颜色偏暗
8	偏窄	村镇、田块交错，纹理丰富，有云影
9	偏亮	山区，地形起伏大，影像偏亮
10	正常，稍偏亮	山区，地形起伏大，光照均匀

对特征点均匀度的评估可使用信息论的信息熵来评估，将每张影像分成 $M\times N$ 块格网（如图8a），设提取的特征点数量为 F，则每个格网出现特征点的概率为 $h(i,j)=\sum_s\frac{1}{F}$（其中 S 出现在该格网的点数），$h(i,j)$ 为特征点二维概率分布（如图8b），则特征点均匀度的熵定义为：$H=\sum_{i=0}^{M}\sum_{j=0}^{N}h(i,j)$，$H$ 值越大表明提取的特征点分布越均匀。

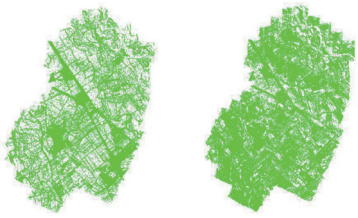


a $M\times N$ 块格网　　b 特征点二维分布

图8 特征点均匀度分析原理

2　影像特征匹配

由第2节的实验表明，使用MSRGF方法对影像增强处理后，提取的特征点数量增加明显且分布更均匀，下面来验证影像经过MSRGF算法处理后多视觉匹配效果，据图4样例数据的第1组匹配效果，表明影像经过MSRGF增强后的匹配的特征点分布均匀度优于原始影像直方图拉伸处理。图9样例数据（第1组）整个测区2 074张影像匹配效果（直方图拉伸和MSRGF），实验表明MSRGF算法对影像增强后匹配的特征点分布更加均匀。



a 直方图拉伸（MSR）　　b MSRGF方法

图9　图4的第1组样例数据一个区域2 074张影像匹配效果分析

3　结　论

本文基于Retinex理论在MRS算法的基础进提出了MSRGF算法，可以适应无人机遥感影像偏暗、偏量、光照不均等情况，无人机遥感影像经MSRGF算法处理后满足：①影像增强后提取的特征点均匀分布；②经过增强的影像，提取的特征点数量优于原始影像提取的特征点数量。MSRG算法有效提升了提取特征点征点的数量及分布的均匀度，为多视无人机遥感影像匹配提供了可靠的匹配结果，增强了参数解算的可靠性。

参考文献

[1] 张祖勋. 数字摄影测量与计算机视觉[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2004,29(12):135-139

[2] 李德仁,袁修孝. 误误差处理与可靠性理论(第二版)[M]. 武汉:武汉大学出版社,2012

[3] 陈武,姜三,李清泉,等. 无人机影像增量式运动恢复结构研究进展[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2022,47(10):162-174

[4] Lowe D G. Distinctive Image Features from Scale-invariant Keypoints[J]. Internation Journal of Computer Vision (S0920-5691),2004,60(2):91-110

[5] Herbert B,Andreas E,Tinne T,et al. SURF:Speeded Up Robust Features[J].Computer Vision and Image Understanding (CVIU),2008,110(3):346-359

[6] Abdel-Hakim A E, Farag A A. CSIFT:A SIFT Descriptor with Color Invariant Characteristics[C]//2006 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2006),New York,2006

[7] Morel J m, Yu G. ASIFT: A New Framework for Fully Affine Invariant Image Compari-son SIAM Journal on Imaging Sciences[J]. 2011,2(2):438-469

[8] 姚永祥,段平,李佳,等. 联合对数极坐标描述与位置尺度特征的无人机影像匹配算法[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2022,47(8):1 271-1 278

[9] Celik T. Two-dimensional Histogram Equalization and Contrast Enhancement[J]. Pattern Recongnition, 2012, 45(10): 3 810-3 824

[10] Eunsung L, Sangjin K, Wonseok K. Contrast Enhancement Using Dominant Brightness Level Analysis and Adaptive Intensity Transformation for Remote Sensing Images[J]. IEEE Geosicence and Remote Sensing Letters,2013,10(1): 62-66

[11] Hsung T C, Lun D P K, Ng W W L. Efficient Fringe Image Enhancement Based on Dual-tree Complex Wavelet Transform[J]. Applied Optiics,2011,50(21):3 973-3 986

[12] Zafar I M, Abdul G, Masood S A. Satellite Image Resolution Enhancement Using Dual-tree Complex Wavelet Transoform and Nonlocal Means[J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters,2013,10(3):451-455

[13] Ma Y, Lin D, Zhang B, et al. A Novel Algorithm of Image Enhancement Based on Pulse Coupled Neural Network Time Matrix and Rough Set[C]//IEEE The Fourth International Confercence on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery,Haikou,2007

[14] Cai L M, Qian J S. Night Color Image Enhancement Using Fuzzy Set[C]//The 2nd International Congress on Image and Signal Processing,Tianjin,2009

[15] Chaira T. A Rank Ordered Filter for Medical Image Edge Enhancement and Detection Using Intuitionistic Fuzzy Set[J]. Applied Soft Computting,2012,12(4):1 259-1 266