

基于 SIFT 特征匹配的全自动辐射归一化算法

孙 韬^{1,2}, 方俊永¹, 刘 学¹, 王晋年¹, 童庆禧¹

(1. 中国科学院遥感应用研究所 遥感科学国家重点实验室, 北京 100101;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要:分析了辐射归一化在遥感、航测领域中的重要性, 针对辐射归一化线性校正法进行了研究, 并提出了一种非人工干预、自动化程度高的基于 SIFT(尺度不变特征 Scale-Invariant Feature Transform)特征匹配的辐射归一化新方法。通过实验发现, 基于 SIFT 特征匹配的辐射归一化方法能够减少由于大气、照度和传感器差异带来的辐射误差, 与传统的方法相比具有结果稳定、自动化程度高的特点。

关键词:辐射归一化; 尺度不变特征; 线性校正法; 均方根误差

中图分类号:P237 **文献标识码:**A

Automatic relative radiometric normalization method based on SIFT feature matching

SUN Tao^{1,2}, FANG Jun-Yong¹, LIU Xue¹, WANG Jin-Nian¹, TONG Qing-Xi¹

(1. State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Institute of Remote Sensing Applications,

Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: This paper analyzed the importance of relative radiometric normalization (RRN) in remote sensing and aerophotogrammetry filed. The linear correction method of RRN was studied. A high automatic RRN method was proposed based on the scale-invariant feature transform (SIFT). It was found that the RRN can minimize radiometric difference among images caused by inconsistencies of acquisition conditions (such as weather, season, etc.) rather than in surface reflectance. Compared with the traditional ways, the new method is more robust and automatic.

Key words: relative radiometric normalization; scale-invariant feature transform; linear correction method; RMS error

PACS: 42.30.Va

引言

遥感(航测)图像在获取过程中, 受到大气吸收与散射、传感器定标、地形等因素的影响^[1], 它们会随时间的不同而有所差异。因此, 在 multi-temporal 遥感图像中, 除了地物的变化会引起图像中辐射值的变化外, 不变的地物在不同时相图像中的辐射值也会有所差异。

辐射校正是消除“非地物变化”引起图像辐射值改变的有效方法, 根据校正的思想和校正后的结果可分为绝对辐射校正和相对辐射校正。其中, 相对

辐射校正的过程也叫多时相遥感图像的辐射归一化(史培军等, 2003), 其方法可以归结为非线性校正法和线性校正法两大类。线性校正法是辐射归一化最常用的方法, 一般都假设待校正图像的 DN 与参考图像的 DN 之间存在线性关系^[2]。

本文主要针对影像辐射归一化线性校正法进行研究, 在阐述辐射归一化线性校正法的基本原理和方法的基础上, 提出了一种非人工干预、自动化程度高的基于 SIFT 特征匹配的辐射归一化线性校正新方法。

收稿日期: 2011-08-09, 修回日期: 2012-03-13

Received date: 2011-08-09, revised date: 2012-03-13

基金项目: 北京市科技计划(D08080103760802); 国家重大科技基础设施建设项目

Foundation items: Supports by Science and Technology Programs of Beijing Committee (D08080103760802); Big Science Facilities

作者简介(Biography): 孙 韬(1982-), 男, 山东招远人, 博士研究生, 主要研究领域为遥感光学传感器的研制和数字相机检校, E-mail: ts-1@live.cn.

1 辐射归一化线性校正法的主要方法

辐射归一化可分为非线性校正法和线性校正法,非线性校正法主要包括常见的暗目标法和直方图匹配法等.线性校正主要包括简单图像回归法、暗集-亮集法、未变化集辐射归一化法^[3]、伪不变特征法^[4-5]及脊线法^[6-8]等线.

2 基于 SIFT 特征提取的自动辐射归一化算

辐射归一化线性校正法处理结果的好坏在很大程度上取决于相对稳定的同名地物点(不变目标)的选取,同时通过人工选取这些不变目标,不但无法实现自动辐射归一化,且过分依赖用户的精度和知识.因此,提出了一种通过 SIFT 算子自动提取相对稳定的同名地物点的辐射归一化方法.由于 SIFT 是一种具有尺度不变特性的特征匹配算子,在光照、尺度差异较大的条件下,仍能很好地匹配出同名点,因此可以认为 SIFT 提取的特征点包含大量的相对稳定的同名地物点.同时根据文献中认为两期影像中,地物边缘区域是最有可能发生变化的区域,因此在 SIFT 特征提取的同名点中选取周围灰度分布平衡的像素作为不变样本,剔除出现在地物边缘区域的采样点.另外,由于特征匹配难以避免存在错误匹配,因此选择自动选择阈值的改进 RANSAC 算子自动剔除错误匹配.

最后将获得的采样点集作为相对稳定同名地物点样本,根据最小二乘法原理拟合出增益 a 和偏置 b ,完成相对辐射归一化.

2.1 基本流程

基于 SIFT 特征提取的自动辐射归一化的基本流程是:

(1) 确定参考影像和待校正影像

- (2) SIFT 提取同名地物点
- (3) 自动选择阈值的改进 RANSAC 算子自动剔除错误匹配的同名地物点
- (4) 计算同名点周围像素和同名点所处像素灰度值的关系,剔除出现在地物边缘区域同名地物点
- (5) 根据最小二乘法公式: $RDN_i = a \times SDN_i + b (1 \leq i \leq M)$ 来估计线性变换参数 a, b
- (6) 实现辐射归一化
- (7) 辐射校正结果评估

2.2 相对稳定的同名地物点的确定

运用 SIFT 特征提取算子^[9]分别提取两期影像的同名地物点,并且认为“地物边缘区域由于灰度变化快,不宜参与辐射归一化计算”.因此,通过计算同名点周围像素和同名点所处像素灰度值的关系,来剔除出现在地物边缘区域同名地物点.

具体上,通过分配一个 $S \times S$ 大小的窗口,可以是 3×3 或者 5×5 窗口,令同名点的像素位于窗口中央,计算整个窗口的均值和方差,对比同名点像素和均值之间的关系,将较大差异的点作为周围灰度分布不平衡的点剔除.

2.3 错误匹配的同名地物点的剔除

RANSAC 算子^[12]是一种经典的剔除错误匹配并估计最优变换模型的算法,但是传统的 RANSAC 需要用户输入先验阈值,通过实验发现先验阈值输入的好坏直接关系到错误匹配剔除的效果.为了实现最优阈值的设定和适应全自动化需求,这里使用了一种改进的 RANSAC 算子.该算子在 RANSAC 算法原理的基础上通过迭代循环,可以自动的针对不同采样点集的特征,计算对应的最优先验阈值,并将相应的内点集作为最终结果输出.改进的 RANSAC 算子的计算流程如图 1 所示.

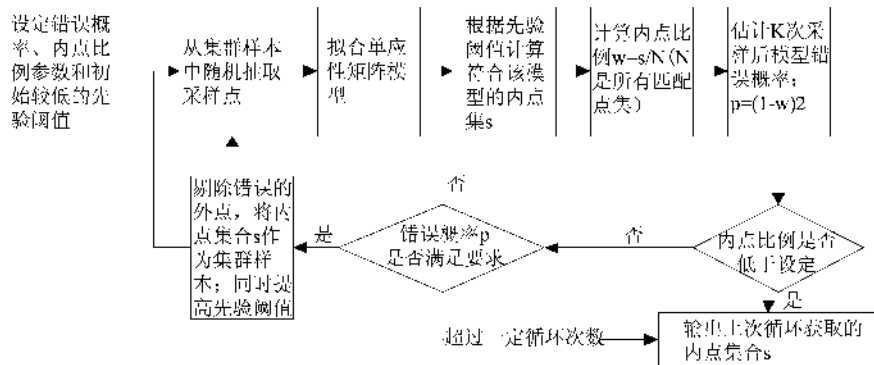


图 1 改进的 RANSAC 算子计算流程
Fig. 1 The process of modified RANSAC

通过大量实验发现,针对植被覆盖较多的影像, SIFT 相关阈值设定为(0.05, 0.5),改进的 RANSAC 迭代运算的错误初始概率默认为 95%;针对城镇、城市覆盖较多的影像, SIFT 相关阈值设定为(0.01, 0.5),改进的 RANSAC 迭代运算的错误初始概率默认为 85%. SIFT 算子会获得相对较优的最终结果;改进的 RANSAC 算子会获得相对较快的运算速度.

2.4 增益 a 和偏置 b 的拟合

线性校正法是辐射归一化最常用的方法,一般都假设待校正图像的 DN 值与参考图像的 DN 之间存在线性关系,即:

$$DN_{Ri} = a \times DN_i + b \quad (1 \leq i \leq M), \quad (1)$$

根据采样点集合,以式(1)为法方程,解算相应的误差方程,根据最小二乘原理,拟合出相应的 a 、 b 系数.

2.5 辐射校正结果评估

文中选择均方根误差(RMSE)指标评价相对辐射校正的效果, RMSE 指标的含义和意义为

用于检验归一化图像与参考图像的相似性^[13]. 对两幅图像中选取的样本点计算 RMSE 值:

$$RMSE_k = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y'_k - y_k)^2}, \quad (2)$$

y'_k 是从图像波段 k 经辐射校正后的像元灰度值, y_k 是参考图像波段 k 的像元灰度值. N 为所选取的样本点的个数. 如果样本点的 RMSE 值较小,则说明辐射归一化后的图像与参考图像的辐射值越接近,辐射归一化的效果越好.

3 实验

文中研究的辐射归一化方法,分别在 ASTER 不同时相的遥感影像和实际航测影像中进行了论证和应用,取得了良好的效果.

3.1 ASTER 不同时相的遥感影像

应用本文方法和 IR、PIF 方法对几何校正后的 ASTER 不同时相的遥感影像(热红外波段)进行辐射归一化处理. 图 2 中,左图是原始的参考影像,中间图像是待校正的影像,右图是应用本文算法辐射归一化的结果,限于篇幅其他方法的辐射校正结果略;图 3 是本文算法选择出的相对稳定同名地物点的散点图和拟合曲线;针对 ASTER 实验数据的不同辐射校正方法主-从图像的均方根误差见表 1. 计算 RMSE 的采样点在影像下方的未变化区域内选取,按矩形网格分布,数量 400.

表 1 不同方法辐射校正主-从图像的 RMSE

Table 1 The RMSE of main and reference image using different radiometric normalization methods

波段	辐射校正前	IR	PIF	本文方法
1	68.4365	47.6785	13.6753	14.8117
2	63.5467	48.1246	16.6754	15.9696
3	76.6789	53.2645	19.9678	18.4854

由图、表可见,本文方法辐射归一化的结果良好.

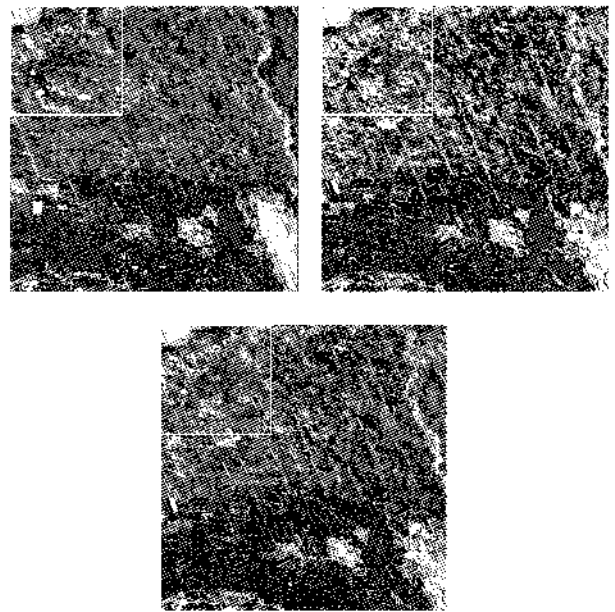


图 2 原始图像和辐射归一化结果(ASTER 遥感影像)
Fig. 2 The original images and radiometric normalization results (ASTER)

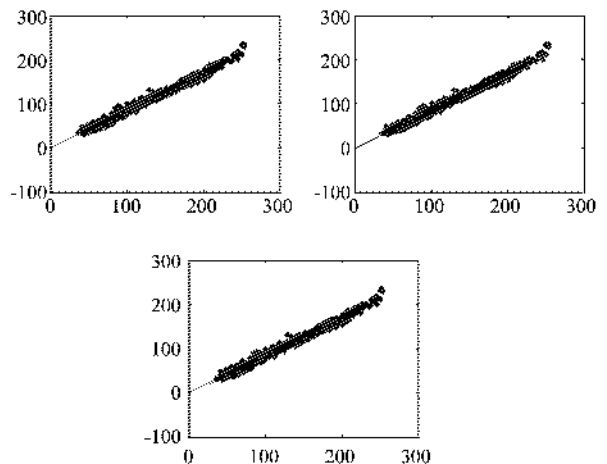


图 3 相对稳定的同名地物点(450 个)散点图和拟合曲线
Fig. 3 Scatter diagram and fitting curves of relative stability corresponding points (450 data points)

3.2 2010 年广州航测数据处理

实验采用基于移轴原理的双相机系统,在航向上,两部移轴相机同步拍摄,因此形成同一时刻的上下两幅影像,影像重叠区域 30%. 任务要求对原始影像进行数据处理,将同一时刻两部移轴相机获取的两幅影像拼接成为一幅宽幅大视场影像. 由于两部相机具有不同的辐照度,因此影像呈现一定的辐射差异. 根据重叠区域,应用本文方法在拼接前进行了辐射归一化处理,获得了效果良好的拼接影像.

图 4 是设备装机图;图 5 到图 8 是本次实验中一组影像的处理结果:图 5 是相对稳定的同名地物点散点图和拟合曲线;图 6 是 SIFT 特征匹配后的同名点集合,数量 1436 个;图 7 是经过改进 RANSAC 算了误匹配剔除和地物边缘区域采样点剔除后的相对稳定的同名地物点集合,数量 1109 个;图 3-7 是本文方法辐射归一化结果,左图是未经过辐射归一化的拼接结果,右图是经过辐射归一化后的结果;表 3-2 是不同方法辐射校正主-从图像重叠区域的均方根误差.

表 1 不同方法辐射校正主-从图像重叠区域的 RMSE
Table 1 The RMSE of main and reference image using different radiometric normalization methods

波段	辐射校正前	IR	PIF	本文方法
1	59.9924	35.6495	19.6753	14.8117
2	50.9388	32.7689	20.6754	15.9696
3	53.0358	36.5244	16.9678	18.4854

注:计算 RMSE 采样点在重叠区域内选取,按矩形网格分布,数量 1025

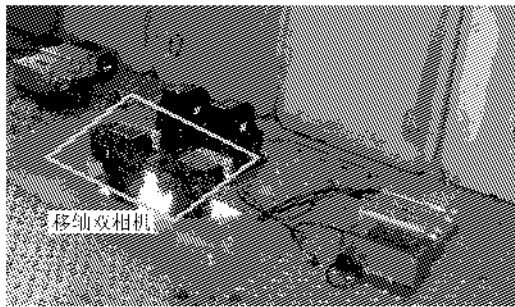


图 4 移轴双相机系统装机图
Fig. 4 The installed double moving axis cameras system

实验中,双相机系统共获取影像 150 对,辐射归一化处理后,150 对影像中主-从图像重叠区域 RMSE 值最大为 34.4771,最小为 9.6374. RMSE 值分布在(10,20)区间内的影像 138 对,达到总体影像的 92%,说明本文算法能够较稳定地获得良好的

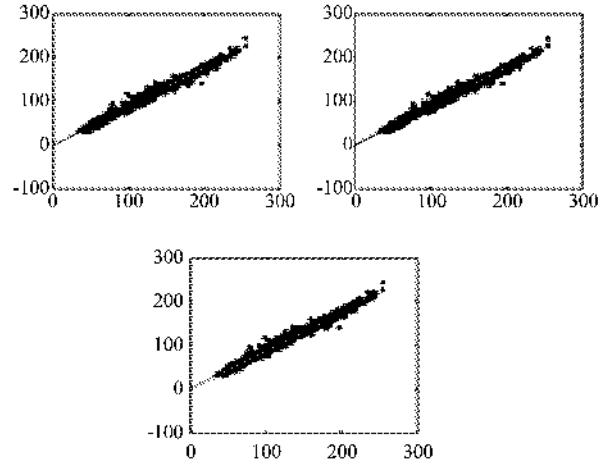


图 5 相对稳定同名地物点(1109 个)散点图和拟合曲线
Fig. 5 Scatter diagram and fitting curve of relative stability corresponding points (1109 data points)

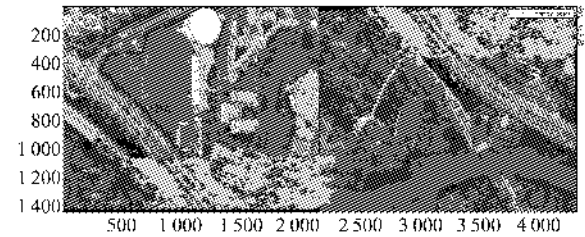


图 6 SIFT 特征匹配后同名点集(1436 个)
Fig. 6 The corresponding points (1436 data points) after SIFT process

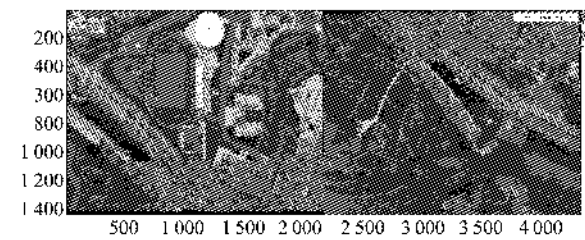


图 7 误匹配点剔除和地物边缘区域点剔除后的同名点集合(1109 个)
Fig. 7 The corresponding points (1109 data points) after the elimination of error match points and the points in the geophysics edge regions

辐射归一化结果.

表 1 RMSE 值统计
Table 1 The statistic of RMSE

影像总数	RMSE 最大值	RMSE 最小值	RMSE 分布在(10,20)区间内的影像对数
150	34.4771	9.6374	138(92%)

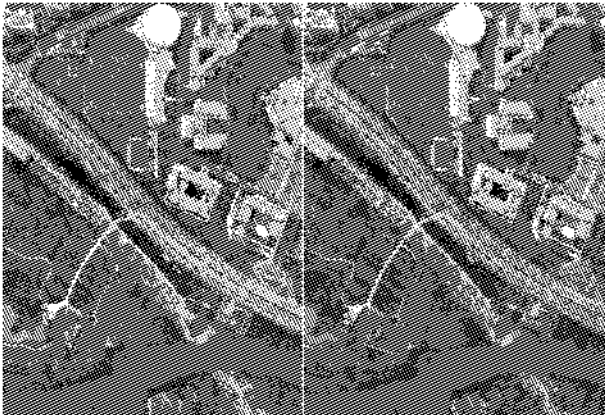


图 8 使用辐射归一化的结果

Fig. 8 The result using the proposed radiometric normalization method

4 结论

分析了相对辐射归一化的重要性和必要性,介绍了辐射归一化线性校正法的基本思想和几种常用的辐射归一化线性校正法,并且提出了一种基于 SIFT 特征提取的辐射归一化新方法.该方法辐射归一化效果良好,且具有可完全自动化的特点.结果表明,提出的方法和常用的辐射归一化线性校正法相比,辐射归一化的效果良好,和目前公认辐射归一化效果较优的伪不变特征法效果相当;所提方法较其他辐射归一化线性校正法的自动化程度高,通过程序,基本可以实现一键式操作,无需人工干预.

在实际的生产中,SIFT 特征提取的阈值应当放宽,这样会有足够数量的特征点,辐射归一化的效果会更好.

REFERENCES

- [1] ZHAO Ying-Shi. *The theory and methods of remote sensing applications* [M]. Beijing, Sciences press (赵英时. 遥感应用分析原理与方法. 北京,科学出版社), 2003.
- [2] Yong D U, Philippe M T, Josef C. Radiometric normalization of multitemporal high-resolution satellite images with quality control for land cover change detection [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2002, **82**(1): 123 - 134.
- [3] Elvidge C D, Yuan D, Weerakoon R D, et al. Relative radiometric normalization of Landsat multispectral scanner (MSS) data using an automatic scattergram-controlled regression [J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1995, **61**(10): 1255 - 1260.
- [4] Salvaggio C. Radiometric scene normalization utilizing statistically invariant features [J]. *Proceedings of the workshop on atmospheric correction of Landsat imagery*, 1993: 155 - 159.
- [5] Schott J R, Salvaggio C, Volchok W J. Radiometric scene normalization using pseudo-invariant features [J]. *Remote Sensing of Environment*, 1988, **26**(1): 1 - 16.
- [6] Song C, Woodcock C E, Seto K C, et al. Classification and change detection using Landsat TM data: when and how to correct atmospheric effects [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2001, **75**(2): 230 - 244.
- [7] Cohen W B, Maier-sperger T K, Yang Z, et al. Comparisons of land cover and LAI estimates derived from ETM+ and MODIS for four sites in North America: A quality assessment of 2000/2001 provisional MODIS products [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2003, **88**(3): 233 - 255.
- [8] Andrefouet S, Muller-Karger F E, Hochberg E J, et al. Change detection in shallow coral reef environments using Landsat 7 ETM+ data [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2001, **78**(1-2): 150 - 162.
- [9] LI B, Zheng H Z. An algorithm of fabric image mosaic based on SIFT feature matching [J]. *International Conference on Artificial Intelligence and Computational Intelligence*, 2009, 3: 435 - 438.
- [10] Wang X H, et al. Optimized SIFT image matching algorithm [J]. *IEEE International Conference on Automation and Logistics*, 2008, 1-6: 843 - 847.
- [11] Yang Z L, Guo B L. Image mosaic based on SIFT [J]. *International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing*, 2008: 1422 - 1425.
- [12] Chum O, Matas J. Optimal randomized RANSAC [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2008, 30: 1472 - 1482.
- [13] Yang X J, Lo C P. Relative radiometric normalization performance for change detection from multi-date satellite images [J]. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 2000, **66**(8): 967 - 980.