

文章编号:1007-2780(2016)06-0604-09

# 多源遥感影像高精度自动配准方法研究

程国华,王阿川,陈舒畅\*,赵宇,范晓锐,刘亚檀  
(东北林业大学 信息与计算机工程学院,黑龙江 哈尔滨 150040)

**摘要:**针对遥感影像本身存在纹理差异,特征点提取不均匀的自动配准问题,提出了一种新的多源遥感影像高精度自动配准方法。首先,对 Harris 算子进行了改进,使其提取特征点覆盖范围更广;然后,对影像进行分块处理,对每块用文章改进的 Harris 算子进行特征点提取,并采用分块迭代剔除策略,保证了特征点在整幅影像中的均匀分布和非冗余分布;其次提出了金字塔-双向-最小二乘多匹配算法进行影像匹配,完成了最终同名点选取;最后利用小三角形面元 TIN 对影像进行了精确纠正。实验结果表明本文方法获取同名点均匀合理,能够更好地实现多源遥感影像的高精度配准,具有一定实际意义。

**关键词:**遥感影像;Harris 算子;自动配准

**中图分类号:**TP751.1      **文献标识码:**A      **doi:**10.3788/YJYXS20163106.0604

## High accuracy-automatic registration method research on multi-source remote sensing image

CHENG Guo-hua, WANG a-chuan, CHEN Shu-chang\*, ZHAO Yu, FAN Xiao-rui, LIU Ya-tan

(Information and Computer Engineering College, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China)

**Abstract:** In remote sensing image automatic registration, there are some problems, for example, there are differences between texture image itself and unevenness in feature points extracting. To this problem, the paper proposes a new high precision automatic registration method of multi-source remote sensing image. First of all, the Harris operator was improved to extract feature points covering a wider range; and then, the image is divided into blocks, using the improved Harris operator to extract feature points for each block, and then use the block iteration to eliminate wrong feature points, ensuring the distribution of feature points is uniformly and non redundant in the whole image. Secondly the paper put forward the pyramid-bidirectional-least squares matching algorithm for image matching, completed selection of the final corresponding points. Finally, the paper made use of the TIN to complete accurately correction. The experimental results show that the proposed method of the paper can ensure the corresponding points uniform and reasonable, and it can achieve high precision registration of multi-source remote sensing image, which has certain practical significance.

**Key words:** remote sensing image; harris operator; automatic registration

收稿日期:2015-07-17;修订日期:2015-11-13.

基金项目:国家级大学生创新项目资助(No. 201410225034);哈尔滨市优秀学科带头人基金资助项(No. 2014RFXXJ040)

Supported by National College Students' Innovative Projects(No. 201410225034); Harbin Good Foundation for Leaders of Disciplines(No. 2014RFXXJ040)

\* 通信联系人,E-mail:lgjc1020@163.com

1 引言

在遥感数据处理中,影像配准是很重要的一个步骤,影像配准是评价两幅或多幅图像相似性以确定同名点的过程。配准精确与否严重影响着后续影像处理与融合的质量。多源遥感影像自动配准技术一直是人们研究的热点问题。影像的配准方法大致可以分为两种:基于区域的方法和基于特征的方法<sup>[1-2]</sup>。大多数基于区域的方法采用模板匹配、金字塔匹配来实现;基于特征的方法包括基于点集的方法和基于边缘特征的匹配方法<sup>[3-5]</sup>。

对于多源遥感影像配准的研究中 Harris 算子最为广泛,文献[6]通过对 Harris 算子进行改进,设定了一个自动阈值完成影像匹配,但是却不够简便。王瑞瑞,马建文等人对自动配准技术的研究进行了阐述<sup>[7]</sup>,从中可以看出研究重点主要都是针对单一方法而言的,没有考虑多元的扩展性,并且匹配策略相对单一,具有一定的局限性。另外现有特征点提取方法中存在分布不均和冗余的现象,从而影响其应用价值。从理论上说特征点提取越多匹配的正确性越大,然而实际上过多的特征点反而会影响匹配的工作量和运算时间,因此合适的特征点提取策略以及合适的匹配方法是非常必要的。

综上所述,针对提取特征点分布不均匀和匹配策略单一等问题,本文提出了一种全新方法以进行影像的高精度自动配准,在保证特征点数量的前提下,同时保证了点分布的均匀性和稳定性,并提出了金字塔-双向-最小二乘多匹配策略完成最终同名点确定。通过实验结果表明,本文提出方法有效,可为后期研究提供参考。

2 基本原理

2.1 Forstner 与 Harris 算子

点特征主要是指明显的地物点,如边角点,边界点等,如何选取这些点,就要用到所谓的兴趣算子。提取特征点的兴趣算子一般包括三种:Moravec 算子、Harris 算子和 Forstner 算子<sup>[8-9]</sup>。

2.1.1 Forstner 算子

Forstner 算子通过计算每个像素的 Robert

梯度和灰度协方差矩阵,找最可能接近误差的点为特征点。具体步骤如下:

(1)计算各像素的 Robert 梯度,如图 1 所示。

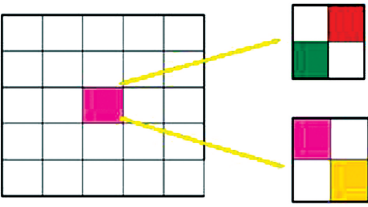


图 1 Forstner 算子  
Fig. 1 Forstner operator

$$\begin{cases} g_u = \frac{\delta_g}{\delta_u} = g_{i+1,j+1} - g_{i,j} \\ g_v = \frac{\delta_g}{\delta_v} = g_{i,j+1} - g_{i+1,j} \end{cases} \quad (1)$$

(2)计算  $k \times k$  窗口中灰度的协方差矩阵

$$Q = N^{-1} = \begin{bmatrix} \sum g_u^2 & \sum g_u g_v \\ \sum g_v g_u & \sum g_v^2 \end{bmatrix}^{-1} \quad (2)$$

(3)计算兴趣值  $w$  与  $q$

$$w = \frac{1}{\text{tr}Q} = \frac{\det N}{\text{tr}N} \quad (3)$$

$$q = \frac{4\det N}{(\text{tr}N)^2} \quad (4)$$

(4)确定待选点

选取一个兴趣值,如果这个兴趣值大于给定的阈值,则该点为待选点。

$$T_q = 0.5 \sim 0.9,$$

$$T_w = \begin{cases} f \times \bar{w} \\ c \times w_c \end{cases}, \quad (5)$$

其中  $\bar{w}$  为权的平均值; $w_c$  为权的中值, $T_q$  取值在  $0.5 \sim 0.9$  之间, $f$  和  $c$  为常数通常取值为  $0.8$  和  $5$ 。当  $q > T_q$  且  $w > T_w$  时,该点为待选点。并根据  $w$  为依据选取极值点,最大的那个即为特征点。

Forstner 算子在选取特征点时是根据权中值和阈值来选取的,阈值又受到图像灰度、对比度的影响,所以运行效率较低,但是精度却比较高。

2.1.2 Harris 算子

Harris 算子利用到自相关函数,求出矩阵  $M$  的一阶曲率及其特征值,并根据下述过程判断特征点。

$$M = \sum_{u,v} w(u,v) \cdot \begin{bmatrix} g_x^2 & g_x g_y \\ g_x g_y & g_y^2 \end{bmatrix}, \quad (6)$$

$$I = \det(M) - k \cdot \text{tr}^2(M), \quad (7)$$

$g_x, g_y$  分别表示图像在水平和垂直方向上的梯度,  $w(u, v)$  表示高斯窗在  $(u, v)$  处的系数,  $\det(M)$  和  $\text{tr}(M)$  分别是矩阵的行列式和迹,  $k$  为默认常数。具体步骤为<sup>[10]</sup>:

(1) 确定图像上所有像素点在水平和竖直方向上的梯度。

$$g_x = g_{i,j} - g_{i,j+1}, g_y = g_{i,j} - g_{i+1,j}. \quad (8)$$

(2) 确定  $k \times k$  大小窗口的高斯卷积模板。

$$\text{Gauss}_{i,j} = \frac{e^{-\left[(i-\frac{n-1}{2})^2 + (j-\frac{n-1}{2})^2\right] / 2\sigma^2}}{\sum \text{Gauss}_{i,j}}. \quad (9)$$

(3) 利用求得的高斯模板对梯度值进行过滤, 并计算强度值  $I$ 。

(4) 在一定范围内选取  $I$  最大的点为特征点

Harris 算子在进行计算时可以进行并行计算, 所以运算效率较高, 但是提取的点分布却没有 Forstner 算子提取的好, 计算精度不如其高。

## 2.2 影像匹配方法

影像匹配方法包括基于区域的方法和基于特征的方法。影像匹配也是配准过程中的关键步骤, 影响着最终配准影像的质量。然而单一的匹配方法却有着精度不够高的局限性, 因此可以将两种或多种方法结合以进行影像的匹配工作。匹配方法通常包括: 模板定位点匹配法, 多重判据法, 双向匹配法, 金字塔模板匹配法, 最小二乘匹配法等。

## 2.3 小三角形面元微分纠正

影像配准是根据参考影像生成一幅与其几何对应的目标影像, 即确定两者之间的几何关系, 对目标影像进行重采样。提取特征点与构造三角网 (TIN) 特点吻合, 我们可以利用提取的特征点建立一个密集的三角网络, 每个小三角形都是唯一的并且是最简单的形状, 对每一个小三角形面元进行一次多项式的纠正:

$$\begin{cases} X = a_0 + a_1x + a_2y \\ Y = b_0 + b_1x + b_2y \end{cases}. \quad (10)$$

根据三角形的各顶点坐标  $(x, y)$  确定系数  $a_0a_1a_2$  与  $b_0b_1b_2$ , 再按照目标影像上的三角形纠正到参考影像上<sup>[9]</sup>, 如图 2 所示。

根据这一特点, 我们构建三角网进行逐点

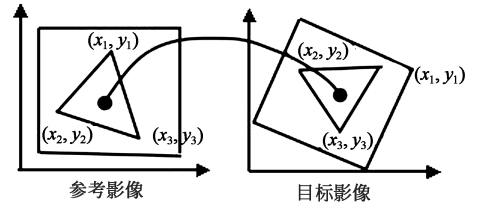


图 2 小三角形面元纠正原理

Fig. 2 TIN correction principle

纠正。

## 3 多源遥感影像高精度自动配准算法

### 3.1 影像预分块策略

在提取特征点之前对待配准影像进行预先分块处理有助于特征点的分布均匀性, 对整幅影像分块有两种主要策略:

(1) 固定边长, 指事先设定一个分块的长和宽以进行划分, 适用于块数未知、整除的情况。

(2) 固定块数, 指事先规定好划分的块数, 通常可划分为  $4 \times 4$ 、 $8 \times 8$ 、 $16 \times 16$  等。其比固定边长合理一些, 所以本文采用固定块数方法。

### 3.2 Harris 算子的改进及特征点的提取

Harris 算子在进行提取特征点时具有简单, 速度快的特点, 然而其提取时只考虑了水平和竖直两个方向, 而没有考虑两个对角方向, 导致提取的特征点不够稳定, 精度较低。Forstner 算子在提取特征点时加入阈值判断机制, 处理起来相对复杂, 但却弥补了 Harris 算子的不足。因此本文考虑在 Harris 算子的简便性基础上, 融入 Forstner 算子的特性进行 Harris 算子的改进, 使其提取特征点过程更加高效并稳定。改进方法如图 3 所示, 在 Harris 算子提取过程中加入  $45^\circ$  和  $135^\circ$  两个方向。

$$\begin{cases} g_{xy} = g_{i+1,j+1} - g_{i,j} \\ g_{xy} = g_{i+1,j+1} - g_{i,j} \end{cases}. \quad (11)$$

$$M_1 = \sum_{u,v} w(u,v) \cdot \begin{bmatrix} g_x^2 & g_x g_y \\ g_x g_y & g_y^2 \end{bmatrix}. \quad (12)$$

$$M_2 = \sum_{u,v} w(u,v) \cdot \begin{bmatrix} h_x^2 & h_x h_y \\ h_x h_y & h_y^2 \end{bmatrix}. \quad (13)$$

$$M = M_1 + M_2. \quad (14)$$

$$I = \det(M) - k \cdot \text{tr}^2(M). \quad (15)$$

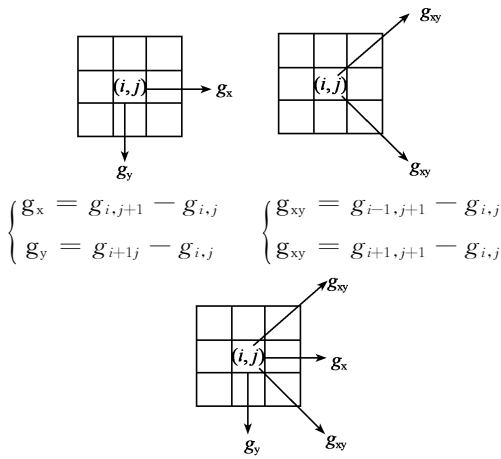


图3 改进示意图

Fig. 3 Improvement schematic diagram

其中搜索方向增加了两个  $g_{xy}$  方向,  $g_{xy} = g_{i-1,j+1} - g_{i,j}$  表示  $45^\circ$  方向,  $g_{xy} = g_{i+1,j+1} - g_{i,j}$  表示  $135^\circ$  方向。矩阵  $\mathbf{M}$  计算中增加了  $h_x, h_y$ , 分别表示  $45^\circ$  和  $135^\circ$  两个方向的梯度值,  $\mathbf{M} = \mathbf{M}_1 + \mathbf{M}_2$  为最终的矩阵值。具体流程如下:

(1) 确定图像上所有像素点在水平、竖直、 $45^\circ$  和  $135^\circ$  4 个方向上的梯度。

$$g_x = g_{i,j} - g_{i,j+1} \quad g_y = g_{i,j} - g_{i+1,j} \quad (16)$$

$$g_{xy} = g_{i-1,j+1} - g_{i,j} \quad g_{xy} = g_{i+1,j+1} - g_{i,j} \quad (17)$$

(2) 确定  $k \times k$  大小窗口的高斯卷积模板

$$\text{Gauss}_{i,j} = \frac{e^{-\frac{[(i-\frac{n-1}{2})^2 + (j-\frac{n-1}{2})^2]}{2\sigma^2}}}{\sum \text{Gauss}_{i,j}} \quad (18)$$

(3) 利用求得的高斯模板对梯度值进行过滤, 并计算强度值  $I$ 。

(4) 在局部区域内选取  $I$  最大的点为特征点。

改进后的算法在搜索提取特征点过程中就由原来的两个方向改为 4 个方向搜索, 覆盖面积更大, 提取到的特征点分布更广更稳定。

### 3.3 分块迭代剔除策略算法研究

分块迭代剔除策略的目的是去除冗余点, 保证获取特征点的分布均匀性。影像经过 3.2 算法提取特征点后, 给定一个阈值  $T$ , 用于判断块内特征点数量是否满足终止条件, 即小于  $T$ 。如果块内特征点数大于阈值  $T$ , 则在此块基础上继续  $2 \times 2$  分块, 且阈值  $T = T/4$ , 对每块再进行特征点提取, 重复上述过程, 直到满足条件。至此完成特征点的选取。具体过程如下:

分块初始化时, 定义一个结构体链表  $P$ , 结构体中存储着分块编号  $k (k=1, 2, \dots)$  以及对应块中提取的特征点数量  $\text{Num}$ 。根据需要点数设定一个初始阈值  $T$ , 统计每块中特征点落入以块中心像素点为圆心, 以块边长的一半为半径  $R$  的圆形区域的点数。具体算法如下:

$\text{Proc}(i, j, a, T)$

{

利用改进 Harris 算法提取每块中(编号  $k$ ) 特征点;

以每块边长一半为半径  $R$ , 以块中心为圆心, 构造区域  $D$ ;

统计每块中(编号  $k$ ) 特征点数  $\text{Num}$ ;

If ( $\text{Num} > T$ )

{

$\text{Proc}(\frac{i}{2}, \frac{j}{2}, \frac{a}{2}, \frac{T}{4});$

$\text{Proc}(\frac{3i}{2}, \frac{j}{2}, \frac{a}{2}, \frac{T}{4});$

$\text{Proc}(\frac{i}{2}, \frac{3j}{2}, \frac{a}{2}, \frac{T}{4});$

$\text{Proc}(\frac{3i}{2}, \frac{3j}{2}, \frac{a}{2}, \frac{T}{4});$

}

else

return  $\text{Num}$ ;

}

其中  $i, j$  分别表示初始影像中心点的横、纵坐标值,  $a$  代表块的边长。以上述算法为基础进行循环迭代, 直到满足条件, 循环结束, 至此完成了特征点的选取工作。

### 3.4 由粗到精匹配策略

在影像匹配过程中, 提出由粗到精的逐步匹配策略, 利用基于区域的金字塔匹配法, 双向匹配法, 以及基于特征的最小二乘匹配法, 三者结合逐步实现匹配, 删除错误特征点得到最终同名点。

金字塔模板匹配法: 对影像先进行一次重采样, 采样率可设为  $1/m (m=2, 3)$ , 将影像的每  $m \times m$  像素 看成 一个 像素, 变为原来  $1/m$ , 将此作为第二层进行匹配。再对第二层用同样的方法进行重采样, 得到第三层, 如此类推<sup>[11]</sup>。

双向匹配法: 双向匹配顾名思义是需要进行一个双向的过程, 即若在目标图像上得到了同名点  $(x, y)$ , 则用相同的方法可以依据  $(x, y)$  在参考

图像上确定出一致的同名点,若两者相距较大,则证明该同名点有误<sup>[12]</sup>。

最小二乘匹配法:利用最小二乘可以充分考虑到两幅影像之间的几何畸变和灰度畸变,使影像匹配精度达到 0.1 ~ 0.01 像素以上。考虑一次几何畸变:

$$\begin{aligned}x_2 &= a_0 + a_1x + a_2y \\ y_2 &= b_0 + b_1x + b_2y\end{aligned}$$

(19)

同时考虑灰度变化:

$$\begin{aligned}g_1(x,y) + n_1(x,y) &= h_0 + h_1g_2 \times \\ (a_0 + a_1x + a_2y + b_0 + b_1x + b_2y) + n_2(x,y)\end{aligned}$$

(20)

首先,利用金字塔模板匹配进行一次粗匹配,将误差较大同名点剔除,得到一次同名点对;然后对换参考和目标图像,利用同样的方法进行双向匹配,得到二次同名点;其次利用最小二乘匹配进行精匹配,得到最终同名点对。最后利用得到的同名点对作为小三角形纠正顶点,逐个构造小三角形网进行纠正,完成整个配准过程。这样逐步进行匹配操作,一次比一次精准,比单一方法进行匹配可信度更高,结果更准确。

3.5 多源遥感影像高精度自动配准算法

因为传统特征点提取以及配准方法的不完善,本文综合研究了特征点提取方法及匹配方法,考虑了点分布均匀性和稳定性特点,提出了改进的特征点提取算法,并提出基于区域和基于特征的逐步匹配算法寻找最终同名地物点,借助 TIN 构造三角形面元进行纠正以完成整个配准过程,整个算法流程如图 4 所示。

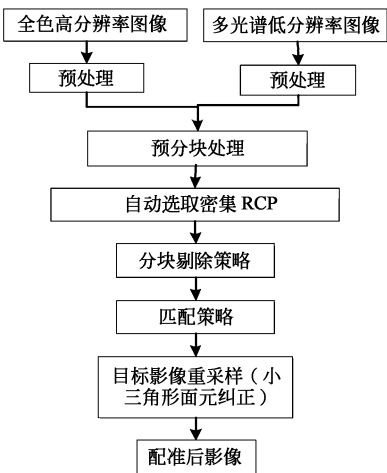


图 4 影像配准流程  
Fig. 4 Image registration process

(1)首先选取不同传感器获取的全色高分辨率 SPOT 影像 和多光谱低分辨率 TM 影像 , 将两幅影像进行简单几何增强、去噪等预处理操作。

(2)特征点提取,首先进行影像预分块处理,后利用上述中式(11)、(12)、(13)、(14)、(15)改进 Harris 算子,并用改进的 Harris 算子按照算法进行特征点的提取,选取密集的 RCP(配准控制点即初始特征点),并根据分块剔除策略选取最终特征点。

(3)提取特征点后,利用由粗到精匹配策略进行逐步匹配,纠正。首先,一次粗匹配过程用金字塔模板匹配完成,再利用双向匹配法进行二次粗匹配,用式(19)、(20)完成最小二乘精匹配,得到最终同名点。

(4)最后利用式(10)并根据图 2 原理进行小三角形纠正,完成整个的配准过程,得到配准后影像。

4 实验与分析

4.1 实验及结果

本次实验在 HP LE2001w,内存 2G,Win 7 SP1 32 位操作系统下完成,算法在 Microsoft Visual Studio 2010 C++、Matlab7 上编程实现。实验选取了来自不同传感器的遥感影像如图 5 所示。

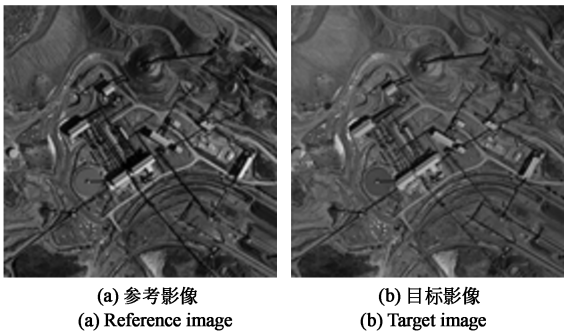


图 5 原始影像

Fig. 5 Original image

实验参数兴趣值窗口大小确定为 7×7;高斯模板为 0.45,特征点提取窗口大小为 7×7,用本文方法提取特征点如图 6 所示。如图 7 所

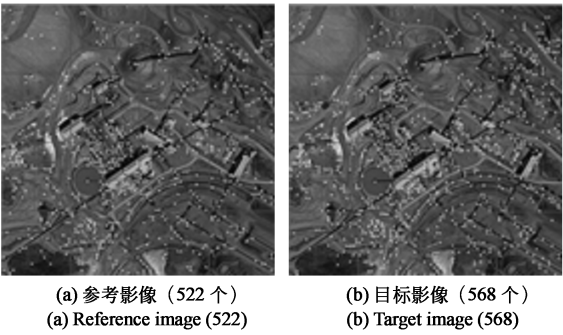


图 6 特征点提取  
Fig. 6 Feature points extraction

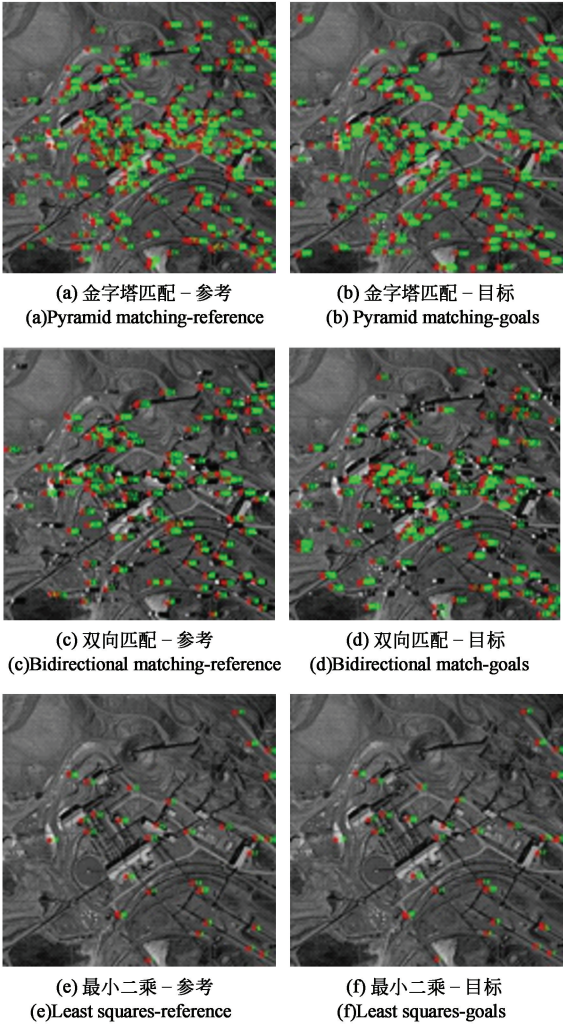


图 7 影像匹配过程  
Fig. 7 Image matching process

示,图(a),图(b)为参考和目标影像通过金字塔一次匹配后得到的同名点共 565 个;图(c),图(d)所示为通过双向匹配后剩余 345 个点匹配

正确;图(e),图(f)表示最后通过最小二乘精匹配剩余 41 个同名点。利用最终同名点对构造小三角形网格,对每个三角形纠正,如图 8 所示显示了参考和目标影像纠正过程。

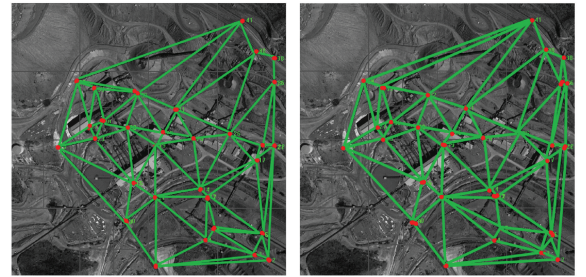
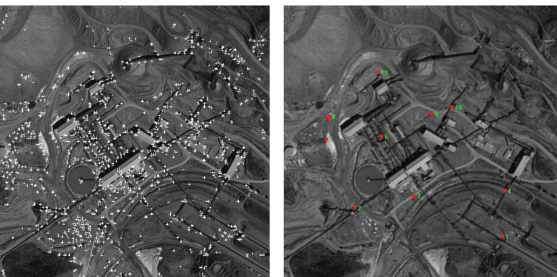


图 8 三角网构成  
Fig. 8 TIN Constitution

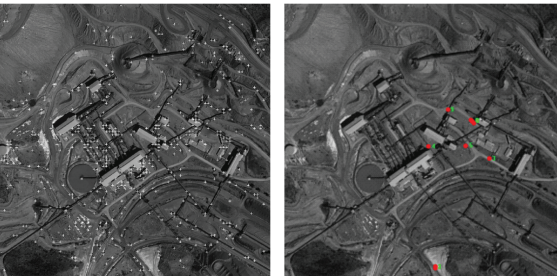
4.2 实验对比分析

将本文方法与传统的配准方法进行比较分析,用相同影像、相同的参数利用原始 Forstner、Harris 算法以及单一匹配方法进行配准工作,提取特征点和同名点,以进行对比试验。主观视觉上如图 9 所示,给出了用传统提取方法和本文预分块与分块迭代剔除特征点提取方法的对比图,(a)为用原始 Forstner 方法提取特征点以及匹配后剩余同名点个数,分别为 2115 个和 11 个,(b)为用原始 Harris 方法提取特征点以及匹配后剩余同名点个数,分别为 624 个和 9 个,(c)为用本文提取方法提取的特征点以及匹配后剩余同名点个数,分别为 522 个和 41 个。从图中可以看到本文方法所得特征点数量明显减少,但可以保证每一块中至少有一个特征点,同时能够保证提取特征点均匀稳定的要求,可为后续匹配节省时间。其次利用逐步匹配策略删除错误点,可以看到本文方法虽然提取特征点数量较原始方法少,但错误点数也少,最后保留的同名点个数相对较多,且分布均匀稳定,从而达到更加精准的效果。

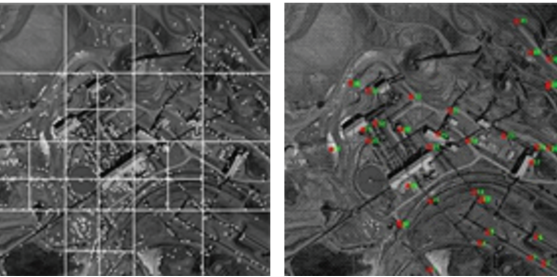
客观上用提取特征点数量,同名点数量与分布情况,以及时间三个指标进行评价。如表 1、表 2 所示分别给出了特征点对比分析表以及时间评价表,可以看出用本文改进方法提取特征点数量参考和目标影像分别为 522 个和 568 个,相对于传统 Harris 与 Forstner 算法明显减少,但据图 9 以及均匀性分析可知点分布较为均匀且稳定,后



(a)Forstner 特征点与同名点(左:2115 个;右:11 个)  
(a)feature points and corresponding points of Forstner(left: 2115; right: 11)



(b)Harris 特征点与同名点(左:624 个;右:9 个)  
(b)feature points and corresponding points of Harris  
(left: 624; right: 9)



(c)本文特征点与同名点(左:522 个;右:31 个)  
(c)feature points and corresponding points of the paper(left: 522; right: 31)

图 9 特征点与同名点提取对比图

Fig. 9 Comparison chart of feature points and corresponding points

期匹配分布也相对均匀稳定;同时根据表 2,用本文方法提取特征点并进行匹配总时间为 9 513 ms,相比于传统 Forstner 算法时间明显缩短,与传统 Harris 算法相比时间也有所减少,并且根据图 9 所示,可以看出本文方法提取的特征点及同名点相对其更加均匀稳定。所以综合上述两方面评价分析可得本文改进的算法整体上提高了配准影像的质量。

| 表 1 特征点对比分析表                                 |                |       |       |     |
|----------------------------------------------|----------------|-------|-------|-----|
| Tab.1 Comparative analysis of feature points |                |       |       |     |
|                                              | 方法             | 特征点个数 |       | 均匀性 |
|                                              |                | 参考    | 目标    |     |
| 特征点提取                                        | 本文方法           | 522   | 568   | 均匀  |
|                                              | 传统 Harris 算子   | 624   | 569   | 一般  |
|                                              | 传统 Forstner 算子 | 2 115 | 1 898 | 较均匀 |
| 金字塔粗匹配                                       | 本文方法           | 342   |       | 均匀  |
|                                              | 传统 Harris 算子   | 318   |       | 一般  |
|                                              | 传统 Forstner 算子 | 376   |       | 较均匀 |
| 最小二乘精匹配                                      | 本实验方法          | 31    |       | 均匀  |
|                                              | 传统 Harris 算子   | 9     |       | 一般  |
|                                              | 传统 Forstner 算子 | 11    |       | 较均匀 |

| 表 2 时间评价表                   |                     |       |        |
|-----------------------------|---------------------|-------|--------|
| Tab.2 Time evaluation table |                     |       |        |
|                             | 方 法                 | 时间/   | 合计/    |
|                             |                     | ms    | ms     |
| 本文方法                        | 影像预分块策略             | 1 206 |        |
|                             | 利用改进 Harris 算子提取特征点 | 3 136 | 9 513  |
|                             | 分块迭代剔除策略            | 2 162 |        |
|                             | 影像匹配策略              | 3 009 |        |
|                             | 原始 Harris 算子提取特征点   | 3 162 | 9 518  |
| 原始方法                        | 影像匹配策略              | 6 356 |        |
|                             | 原始 Forstner 算子提取特征点 | 3 240 | 10 546 |
|                             | 影像匹配策略              | 7 306 |        |

## 5 结 论

针对遥感影像本身存在纹理差异,特征点提取不均匀的自动配准问题,提出了一种新的多源遥感影像高精度自动配准方法。首先,对 Harris 算子进行了改进,使其提取特征点覆盖范围更广;然后,对影像进行分块处理,对每块用改进的 Harris 算子进行特征点提取,并采用分块迭代剔除策略,保证了特征点在整幅影像中的均匀分布和非冗余分布;其次提出了金字塔-双向-最小二乘多匹配算法进行

影像匹配,完成了最终同名点选取;最后利用小三角形面元 TIN 对影像进行了精确纠正。

实验结果表明了本文方法结果的准确性,获取的特征点均匀合理,并结合多种匹配策略删除无效同名点完成最终同名点选取,同时克服了传

统匹配方法单一的缺点。并且整体算法时间为 9 513 ms,相比于传统方法时间有所减少。因此,本文所阐述的配准方法准确、快速,人工参与少,能够保证更好的实现多源遥感影像的高精度配准,具有一定实际意义。

## 参 考 文 献:

- [1] 翟涌光,王耀强.基于点特征的多源遥感影像高精度自动配准方法[J].遥感技术与应用,2010,25(3):404-409.  
ZHAI Y G, WANG Y Q. An automatic and high-precision registration method based on point features for multi-source remote sensing images [J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2010, 25(3): 404-409. (in Chinese)
- [2] 余先川,吕中华,胡丹.遥感图像配准技术综述[J].光学精密工程,2013,21(11):2960-2972.  
YU X C, LV Z H, HU D. Review of remote sensing image registration techniques [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2013, 21(11): 2960-2972. (in Chinese)
- [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):829-835.  
LI X M, ZHENG L, HU Z Y. SIFT based automatic registration of remotely-sensed imagery [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2006, 10(6): 829-835. (in Chinese)
- [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 X F, LIN L W, DENG T. Remote sensing image registration based on SURF descriptor [J]. *Computer Engineering*, 2010, 36(12): 216-218. (in Chinese)
- [5] 张继贤,李国胜,曾钰.多源遥感影像高精度自动配准的方法研究[J].遥感学报,2005,9(1):73-77.  
ZHANG J X, LI G S, ZENG Y. The study on automatic and high-precision rectification and registration of multi-source remote sensing imagery[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2005, 9(1): 73-77. (in Chinese)
- [6] 赵前鑫,杨英宝.一种基于角点特征的遥感影像自动配准方法[J].测绘科学,2013,38(3):160-162,133.  
ZHAO Q X, YANG Y B. An automatic registration method of remote sensing image based on improved Harris corner extraction [J]. *Science of Surveying and Mapping*, 2013, 38(3): 160-162, 133. (in Chinese)
- [7] 王瑞瑞,马建文,陈雪.多源遥感影像自动配准技术的研究进展[J].遥感信息,2011(3):121-127.  
WANG R R, MA J W, CHEN X. The research state of the automatic registration techniques of multi-sensor remote sensing imagery [J]. *Remote Sensing Information*, 2011(3): 121-127. (in Chinese)
- [8] 刘向增,田铮,史振广,等.基于 FKICA-SIFT 特征的合成孔径图像多尺度配准[J].光学精密工程,2011,19(9):2186-2196.  
LIU X Z, TIAN Z, SHI Z G, et al. SAR image multi-scale registration based on FKICA-SIFT features [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2011, 19(9): 2186-2196. (in Chinese)
- [9] 唐永鹤,陶华敏,卢焕章,等.一种基于 Harris 算子的快速图像匹配算法[J].武汉大学学报·信息科学报,2012,37(4):406-409,414.  
TANG Y H, TAO H M, LU H Z, et al. A fast image matching algorithm based on Harris operator [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2012, 37(4): 406-409, 414. (in Chinese)
- [10] 牛宗标,吴秀清,李滔.基于小面元方法的光学遥感图像快速匹配算法[J].计算机工程,2006,32(1):203-205.  
NIU Z B, WU X Q, LI T. A region-based optical remote sensing image registration method [J]. *Computer Engineering*, 2006, 32(1): 203-205. (in Chinese)
- [11] 邢帅.多源遥感影像配准与融合技术的研究[D].郑州:解放军信息工程大学,2004.  
XING S. Multi-source remote sensing image registration and fusion technology research [D]. zhengzhou: The PLA Information Engineering University, 2004. (in Chinese)

[12] 余婷. 基于特征的遥感图像自动配准技术研究[D]. 杭州:浙江大学,2013.  
YU T. Research of automatic remote sensing image registration based on feature [D]. Zhejiang: Zhejiang University, 2013. (in Chinese)

**作者简介:**程国华(1994—),女,黑龙江哈尔滨人,研究方向:计算视觉与智能算法,主要从事遥感影像配准、融合等研究。  
陈舒畅(1990—),女,吉林长春人,硕士,研究方向:计算视觉与智能算法,主要从事遥感影像处理等方面的研究。E-mail:lgjc1020@163.com