

文章编号 1004-924X(2013)03-0790-09

# 尺度、旋转以及亮度稳健的高分辨率影像 直线特征匹配

邵振峰<sup>1</sup>, 陈 敏<sup>2\*</sup>

(1. 华中科技大学 电子与信息工程系/光电国家实验室, 湖北 武汉 430074;

2. 武汉大学 测绘遥感信息工程国家重点实验室, 湖北 武汉 430079)

**摘要:**针对点特征匹配方法中特征的独特性不高,在弱纹理区域的影像匹配存在不足等问题,提出了一种尺度、旋转以及亮度稳健的高分辨率影像直线段特征匹配方法。首先,对待匹配的影像进行边缘检测和拟合,提取直线段特征;然后,将直线段特征分级,利用特征的方向关系匹配长直线段特征;最后,以同名长直线段特征对作为控制基础,以角度和距离作为量化特征,构造关系描述符,实现短直线段特征的匹配。实验结果表明,由于在同一幅影像中,每条特征直线段所在直线都有唯一对应的直线方程,特征的独特性很高,所以可以很好地避免误匹配,得到的正确匹配概率为 90% 以上,且均方根误差达到了亚像素级。该匹配方法在弱纹理区域比点特征匹配方法具有明显的优势,能够较好地满足应用需求。

**关键词:**直线段特征匹配;长直线段特征;短直线段特征;关系描述符

**中图分类号:** TP75 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20132103.0790

## Line-based matching for high-resolution images with robustness for scale, rotation and illumination

SHAO Zhen-feng<sup>1</sup>, CHEN Min<sup>2\*</sup>

(1. *The Department of Electronics and Information Engineering, Wuhan National Laboratory for Optoelectronics, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China;*

2. *State Key Laboratory of Information Engineering on Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, Wuhan 430079, China)*

*\* Corresponding author, E-mail: chenminzs@163.com*

**Abstract:** A line feature matching method for high-resolution images was proposed to improve the low significant level of a point feature and to overcome the matching shortage between weak texture images. Firstly, the edges of images were extracted and tracked to fit straight-lines. All straight-lines were classified into two groups: long-lines and short-lines. The long-lines were matched based on the direction relationship primarily. Then, the relationship-descriptors of short-lines were constructed using the angle and the Euclidean distance between the short-line and long correspondences. Finally, short-lines were matched according to the similarity of their relationship-descriptors. The experimental results demonstrate that the proposed line matching algorithm is robust for the scale, rotation and illumination. As all the lines have corresponding linear equations in the same image, the image feature has higher significant level and can avoid the mismatching. The probability of correct matches of the algorithm exceeds 90% and its root mean square error has achieved sub-pixel level. The performance of the proposed

收稿日期:2012-10-09;修订日期:2012-12-01.

基金项目:国家 973 重点基础研究发展计划资助项目(No. 2010CB731800);国家自然科学基金面上项目(No. 61172174);中央高校基本科研业务费专项基金资助项目(No. 201161902020014)

algorithm is better than that of the point-based method, especially in weak texture areas.

**Key words:** line-based matching; long-line feature; short-line feature; relationship-descriptor

## 1 引言

影像匹配技术目前已经被广泛地应用于三维重建<sup>[1]</sup>、影像拼接<sup>[2]</sup>、目标跟踪<sup>[3]</sup>等方面,在民用、军事、医疗等领域具有重要的应用价值。影像匹配算法主要分为2类:基于影像像素的匹配算法和基于影像特征的匹配算法<sup>[4]</sup>。基于像素灰度的匹配方法对影像的灰度变化敏感,很难适应影像的不连续、阴影、遮蔽等问题。基于影像特征的匹配是利用提取影像的特征点、线或面来进行匹配,能较好地克服基于像素的匹配方法的不足。常用的特征匹配算法包括角点匹配算法、区域匹配算法、边缘匹配算法等。Mikolajczyk 和 Schmid<sup>[5]</sup>对一些较好的特征匹配方法进行了比较,包括 SIFT<sup>[6-7]</sup>、PCA-SIFT<sup>[8]</sup>、Shape context<sup>[9]</sup>、Steerable filters<sup>[10]</sup>、Differential Invariants<sup>[11]</sup>等。在大多数情况下 SIFT 特征匹配算法具有很好的鲁棒性。研究人员在 SIFT 算法基础上提出了许多改进算法,例如纪华<sup>[12]</sup>等人在 SIFT 向量中加入基于全局形状信息的全局向量,解决了影像中存在多个相似区域时造成的误匹配问题。杨晓敏<sup>[13]</sup>等人在 SIFT 算法的基础上提出了基于置信度的匹配算法,提高了匹配的自动化水平和准确度。SIFT 算法虽然有较好的匹配性能,但该算法是以牺牲存储空间和计算时间为代价的,而且提取的部分特征点不具有直观的视觉意义。

目前,高分辨率影像的应用越来越广泛。随着影像分辨率的提高,点特征匹配将存在以下问题:(1)在高分辨率情况下,由于点特征的特征区域有限,在特征区域内计算的特征独特性不高,不同点特征之间的区分性不足将导致大量错误匹配的产生;(2)在高分辨率情况下,影像中的弱纹理区域,如农田、水塘等地物将越来越突出,点特征匹配很难在这些弱纹理区域获得足够的同名特征;(3)随着影像分辨率的提高,影像的数据量将越来越大,点特征匹配在特征区域内计算较高维数的特征给算法的时间效率以及空间存储效率带来挑战。而直线特征能够以较少的特征数量表达较丰富的信息,有助于提高算法的效率。针对在高分辨率影像中点特征匹配的不足,本文利用高分辨率影像直线特征具有特征数量少、信息丰富、

特征独特性好等特点,提出了一种尺度、旋转和亮度稳健的直线段特征匹配方法。首先提取影像中的直线段特征,然后采用分级策略,将所有直线段特征分为长直线段和短直线段分别进行匹配以提高匹配算法的时间效率。

## 2 直线段特征提取

在影像上提取直线特征的传统方法是 Hough 变换,但由于 Hough 变换提取直线的定位性能较差,在许多应用中受到限制。本文首先采用 Canny 算子对待处理的影像进行边缘检测,得到边缘链码,然后对每一条边缘链码进行如下操作:

(1)计算链码上任意一点到链码首尾连线的垂距,记录其最大值  $M$  及相应的像素  $D$ 。

(2)若  $M < \Delta$ ,该链码是直线,用链码中的所有像素点按照最小二乘原理拟合直线;否则,从端点  $D$  处将链码分裂为两条链码转到步骤(1)进行处理,直到所有边缘链码处理完毕。

(3)对于拟合后的直线段,如果某两条直线段最近的端点距离小于  $d$ ,且它们的直线拟合偏差小于一定的阈值,则将这两条直线段合并为一条直线段。

当影像存在尺度变换时,在边缘拆分与直线段合并的过程中,单一的阈值很难使得两幅影像得到一致的直线段。因此,引入多尺度的策略,在边缘拆分时,设置多个阈值  $\Delta$ ,并且保留在所有阈值下拆分得到的边缘。同样,在直线段合并时,设置多个阈值  $d_i$ ,并保留所有可能的合并结果。

## 3 直线段特征匹配

将直线段特征分为两级:长直线段和短直线段。长、短直线段是相对的,在每幅待处理影像中,将所有直线段按从长到短进行排序,选择前  $H$  条直线段作为长直线段,其余直线段为短直线段。所选择的  $H$  条长直线段两两互不平行。本文匹配方法包括以下两步:(1)长直线段的匹配;(2)短直线段的匹配。

### 3.1 长直线段匹配

长直线段匹配的目的在于通过确定同名长直线段来确定两幅待匹配影像之间的缩放比例以及旋

转角度,并以同名长直线段为控制基础,实现短直线段的匹配。

直线段的几何信息包括:直线段的顺时针方向、两两直线的夹角、两两直线段所在直线的交点、直线交点间的距离、直线交点构成的三角形面

积以及其他一些统计信息。需要对以上几何信息进行选择或组合来实现长直线段的匹配。

设每幅影像有  $H$  条长直线段,其中,同名的长直线段有  $H_1$  条。各种几何信息在理想情况下的同名对数如下表 1 所示。

表 1 几何信息及其对应的同名对数

Tab. 1 Geometrical information and the numbers of correspondence

几何信息	同名对数	剩余的对数
直线顺时针方向	$H_1$	$H - H_1$
两两直线的夹角	$H_1(H_1 - 1)/2$	$[H(H - 1) - H_1(H_1 - 1)]/2$
两两直线的交点	$H_1(H_1 - 1)/2$	$[H(H - 1) - H_1(H_1 - 1)]/2$
直线交点间的距离	$H_1(H_1 - 1)(H_1^2 - H_1 - 2)/8$	$[H(H - 1)(H^2 - H - 2) - H_1(H_1 - 1)(H_1^2 - H_1 - 2)]/8$
直线交点构成的三角形面积	$[H_1(H_1 - 1)(H_1^2 - H_1 - 2)(H_1^2 - H_1 - 4)]/48$	$[H(H - 1)(H^2 - H - 2)(H^2 - H - 4) - H_1(H_1 - 1)(H_1^2 - H_1 - 2)(H_1^2 - H_1 - 4)]/48$

如图 1 所示,假设在两幅待匹配影像中分别选择 5 条长直线段特征,其中  $l_1l'_1$ 、 $l_2l'_2$ 、 $l_3l'_3$ 、 $l_4l'_4$  为同名直线段对, $l_5$  和  $l'_5$  为剩余直线段。根据表 1,计算各种几何信息的同名对数及占总对数的比例,如下表 2 所示。

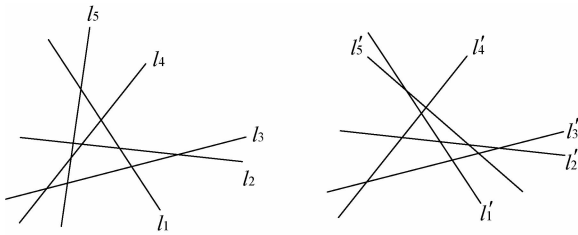


图 1 长直线段特征示意图

Fig. 1 Diagram of long-lines

表 2 图 1 所示假设下的几何信息及其对应同名对数

Tab. 2 Geometrical information and the numbers of correspondence for the Fig. 1

几何信息	同名对数	同名对数占总对数的比例
直线顺时针方向	4	4/5
两两直线的夹角	6	3/5
两两直线的交点	6	3/5
直线交点间的距离	15	1/3
直线交点构成的三角形面积	20	1/6

选择同名对数占总对数比例最高的几何信息作为匹配约束条件。根据表 1 和表 2 的计算结果,本文选择直线顺时针方向作为匹配约束条件来实现长直线段的匹配。

设两组长直线段特征的顺时针方向集分别为:

$$CW_1 = [\theta_1, \dots, \theta_i, \dots, \theta_H]^T, (i = 1, 2, \dots, H), \quad (1)$$

$$CW_2 = [\theta'_1, \dots, \theta'_j, \dots, \theta'_H]^T, (j = 1, 2, \dots, H). \quad (2)$$

从第一个方向值开始遍历,对于每一次遍历,假设正在遍历的方向值为  $\theta_i$  和  $\theta'_j$ ,令  $\theta = \theta_i - \theta'_j$ ,则

$$CW_{1'} = CW_1 - \theta, \quad (3)$$

$$CW_{1'} = \text{Trans}(CW_{1'}). \quad (4)$$

式中:“ $\text{Trans}()$ ”表示将方向值转换到  $[0^\circ, 180^\circ]$  内。

$$\text{DIFCW} = | \text{Sort}(CW_{1'}) - \text{Sort}(CW_2) |. \quad (5)$$

式中:“ $\text{Sort}()$ ”表示将向量元素按值从小到大进行排序。

再按照上式(5),计算此次遍历下的方向差值向量 DIFCW,搜索 DIFCW 中小于阈值  $\text{ThrA}$  的值,记录其元素个数  $T$ 。完成所有方向值的遍历后, $T$  取最大值时所对应的方向对即为同名方向。确定了同名方向后,即可确定同名长直线段。为了使长直线段的匹配具有旋转不变性,在每次遍历

中,按照式(3),首先对第一组方向集中的每个方向值同时减去一个方向  $\theta$ ,使第一组方向集中正在遍历的方向值与第二组方向集中的正在遍历的方向值相等。由于直线段没有规定起始端点,因此直线段方向取值范围为  $[0^\circ, 180^\circ]$ 。如果某一个方向值减去  $\theta$  后,其大小不在取值范围内,则需要按照上式(4)将其转换到规定的取值范围内。

上述确定同名长直线段对的过程中只用到了直线方向值,因此该过程除了具有旋转不变性外,还具有尺度不变性。由于采用的是穷举迭代策略,为了提高算法的时间效率,长直线段的条数  $H$  值不宜太大。同时,所设置的  $H$  值应该要使得按上述方法得到的同名直线段对数  $\max(T)$  满足  $\max(T) > H/2$ 。 $\max(T) > H/2$  时,才能保证即使当长直线段中所有的非同名直线段对的方向都一致时(设其方向对数为  $\bar{T}$ ),有:

$$\begin{aligned} \bar{T} &= H - \max(T) < H - H/2 \\ \bar{T} &< H/2 \\ \bar{T} &< \max(T) \end{aligned}$$

即仍然可以正确地找出同名长直线段对。

由于只采用直线段方向作为匹配约束条件,因此当存在平行直线段时,无法保证正确地区分同名直线段对。在此,引入随机采用一致性方法(RANSAC),剔除匹配结果中的误匹配。采用 RANSAC 方法时,变换参数的计算方法如下:

如图 2 所示,参考影像上的直线段  $L_r$ (端点为  $p_{r1}$ 、 $p_{r2}$ )与待匹配影像上的直线段  $L_s$  是一对同名直线段,  $L_d$  是  $L_s$  经过影像纠正后的直线段,因此  $L_d$  与  $L_r$  共线,直线段  $L_d$  与  $L_s$  在同一条直线上。图 2 中,  $p_{d1}$ 、 $p_{d2}$  为  $L_d$  的端点,  $p_{s1}$ 、 $p_{s2}$  为  $L_s$  的端点。

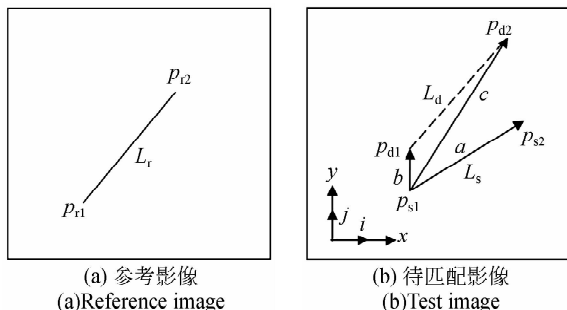


图 2 影像变换参数计算

Fig. 2 Calculation of transformation parameters

取  $\mathbf{a}$  为  $p_{s1}$  到  $p_{s2}$  的矢量,  $\mathbf{b}$  为  $p_{s1}$  到  $p_{d1}$  的矢量,

$\mathbf{c}$  为  $p_{s1}$  到  $p_{d2}$  的矢量,则有,

$$\begin{cases} \mathbf{a} = (x_{s2} - x_{s1})\mathbf{i} + (y_{s2} - y_{s1})\mathbf{j} \\ \mathbf{b} = (x_{d1} - x_{s1})\mathbf{i} + (y_{d1} - y_{s1})\mathbf{j}, \\ \mathbf{c} = (x_{d2} - x_{s1})\mathbf{i} + (y_{d2} - y_{s1})\mathbf{j} \end{cases} \quad (6)$$

由矢量共线可得,

$$\begin{cases} \mathbf{a} \times \mathbf{b} = 0 \\ \mathbf{a} \times \mathbf{c} = 0 \end{cases} \quad (7)$$

转化为误差方程式为,

$$\begin{cases} V_{ab} = (y_{s2} - y_{s1})(x_{d1} - x_{s1}) - (x_{s2} - x_{s1})(y_{d1} - y_{s1}) \\ V_{ac} = (y_{s2} - y_{s1})(x_{d2} - x_{s1}) - (x_{s2} - x_{s1})(y_{d2} - y_{s1}) \end{cases} \quad (8)$$

$V_{ab}$ 、 $V_{ac}$  是由直线段  $L_d$  和  $L_s$  共线所得的误差。

以仿射变换

$$\begin{cases} x^d = a_0 + a_1x' + a_2y' \\ y^d = b_0 + b_1x' + b_2y' \end{cases} \quad (9)$$

作为两幅影像之间的变换函数形式,则将式(8)代入式(9)进行最小二乘平差,即可求出两幅影像之间的变换参数。其中,  $(x^r, y^r)$  是参考影像上点的坐标,  $(x^d, y^d)$  是待匹配影像上对应点的坐标,  $a_0$ 、 $a_1$ 、 $a_2$ 、 $b_0$ 、 $b_1$ 、 $b_2$  为仿射变换参数。

### 3.2 短直线段匹配

在进行短直线段匹配时,将短直线段与长直线段之间的夹角作为匹配约束条件之一,由于长直线段的匹配是旋转无关的,因此,短直线段的匹配也是旋转无关的。但是,仅仅利用夹角作为约束条件还不足以区分所有的短直线段。当短直线段平行时,短直线段与所有长直线段的夹角对应相等。为了解决这个问题,同时还选择另一个约束条件:同名长直线段所在直线的交点到短直线段的距离。应用该约束条件,即使两条短直线段平行(共线除外),由于长直线的交点到两条短直线段的距离不相等,短直线段也能准确地被区分开。

为了使短直线段的匹配同时具有尺度不变性,在得到同名长直线段所在直线的交点后,分别计算所有交点之间的距离总和  $D_1$  与  $D_2$ 。将比值  $k = D_1/D_2$  作为两幅影像之间的缩放比例。在使用第二个约束条件进行短直线段匹配时,将第二幅影像中每个交点到短直线段的距离分别乘以  $k$  再与第一幅影像中每个交点到短直线段的距离进行比较。

经过夹角和距离计算后,每条待匹配的短直线段都有一个  $[H_1 + H_1 \times (H_1 - 1)/2]$  维向量与之对

应,该向量中包含  $H_1$  个夹角元素和  $H_1 \times (H_1 - 1)/2$  个距离元素,本文将该向量定义为短直线段的关系描述符  $RD$  (Relationship-Descriptor)。在图 3 所示情况下,短直线段  $L$  的关系描述符  $RD = [\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, d_{12}, d_{13}, d_{14}, d_{23}, d_{24}, d_{34}]^T$ 。

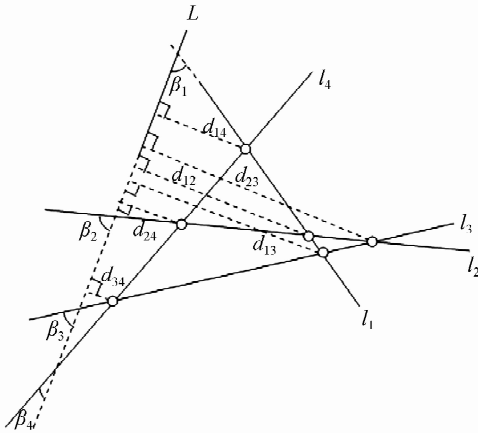


图 3 短直线段的描述

Fig. 3 Description of short-line

匹配时,将每个元素之差都小于一定阈值的关系描述符向量所对应的短直线段作为候选同名短直线段。此时,对于参考影像中的直线段特征,在待匹配影像中可能存在一对零、一对一、一对多三种情况。若为一对一,则视其为一对同名直线段特征。若为一对多,则按照 RANSAC 思想,利用已经一一对应的直线段特征估计影像之间的变换参数,将候选直线段中最符合变换参数的直线段作为其同名直线段特征。本文方法中,直线段特征不需要精确定位端点,直线段特征的匹配主要依靠直线方程的斜率和截距实现,突破了以往方法中同名特征必须严格“同名”的限制。匹配得到的同名直线段只要共线,就认为该对直线段是正确匹配。

本文提出的直线特征匹配算法流程图如图 4 所示。

在进行直线段特征匹配时,为了获得一组较适宜的阈值,本文对大量影像数据进行训练学习后,在直线提取过程中,多尺度边缘拆分阈值  $\Delta_i$  设置为  $\{0.5, 1.5, 2.5\}$ ,多尺度边缘合并阈值  $d_i$  设置为  $\{3, 5, 8\}$ ;直线特征匹配过程中,取方向阈值  $ThrA = 2^\circ$ ,距离阈值  $ThrD = 4$ 。

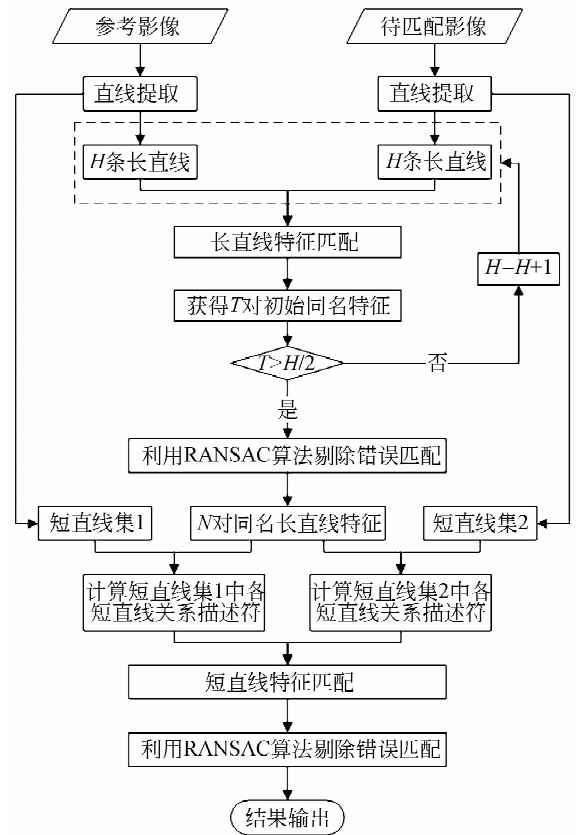


图 4 直线特征匹配算法流程图

Fig. 4 Flow chart of proposed line-based matching method

## 4 实验及结果分析

### 4.1 实验数据

为了验证本文方法的有效性,选择城市和农田两种不同类型区域的 GeoEye-1 高分辨率卫星影像进行实验。实验数据一如图 5 所示,为城市区域影像,影像内容主要包括房屋、道路等设施。图 5 (b)中所示影像相对于(a)中影像存在 0.25 倍缩小变换,(c)中所示影像相对于(a)中影像存在  $30^\circ$  逆时针旋转,(d)中所示影像相对于(a)存在较大程度的亮度变换。实验数据二如图 6 所示,为农田区域影像,影像内容包括农田、农业设施等。图 6 (b)中所示影像相对于(a)存在 0.25 倍缩小变换,(c)中所示影像相对于(a)存在  $30^\circ$  逆时针旋转,(d)中所示影像相对于(a)存在较大程度的亮度变换。

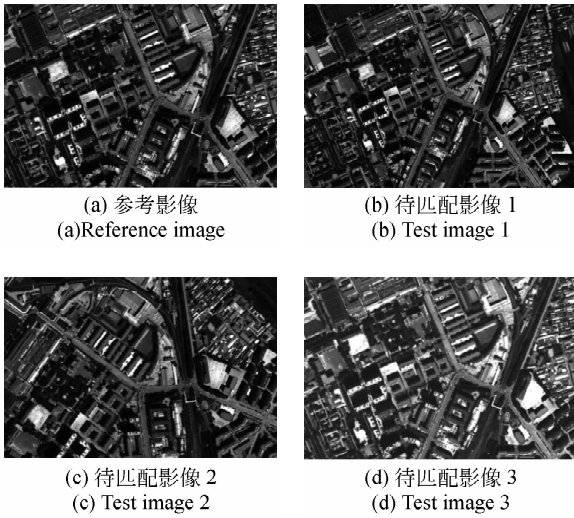


图 5 实验数据一

Fig. 5 Experimental dataset 1

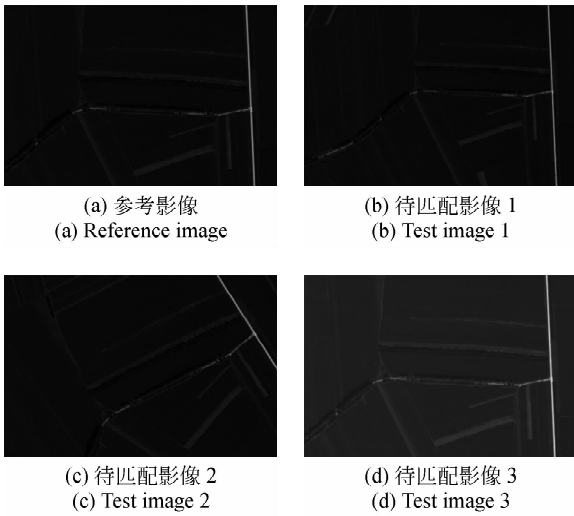


图 6 实验数据二

Fig. 6 Experimental dataset 2

### 4.2 实验结果与分析

在本文实验中,以正确匹配概率(Recall)和均方根误差(RMSE)作为评价指标:

$$Recall = true\_matches / total\_matches, \quad (10)$$

式中: $true\_matches$ 表示正确匹配的特征对数, $total\_matches$ 表示总的匹配对数。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(x'_i - H_{12}x_i)^2 + (y'_i - H_{12}y_i)^2]}, \quad (11)$$

式中: $n$ 是所选特征对 $(x_i, y_i) \sim (x'_i, y'_i)$ 的数目, $H_{12}$ 是两幅影像之间的变换矩阵。

首先以图 5 所示实验数据为基础,分别测试本

文方法对存在尺度、旋转以及亮度变换的城市区域高分辨率影像的匹配性能,实验统计结果如下表 3 所示。

表 3 实验一的统计结果

Tab. 3 Statistical results of experiment 1

影像之间存在 的变换	total_matches	true_matches	Recall	RMSE
尺度变换	156	146	93.6%	0.507
旋转变换	143	136	95.1%	0.492
亮度变换	167	161	96.4%	0.381

因为本文方法在提取直线特征过程中,边缘的拆分和合并都采用了多尺度策略,因此直线特征的提取过程对影像尺度变换具有较强的鲁棒性。同时,在直线特征匹配的过程中,长直线段匹配时只利用了直线的方向信息,使得长直线段匹配具有尺度不变性。短直线段匹配时在右影像中乘了尺度因子 $k$ ,使得短直线段匹配也具有尺度不变性。从表 3 中可以看出,当影像间存在尺度变换时,能够获得 146 对正确匹配的直线段对,且正确匹配概率达到了 93.6%,验证了本文方法对影像尺度变换的稳健性。在长直线特征匹配过程中,本文方法在每次遍历,都将两幅影像长直线段方向集进行了规定化,使得直线段匹配具有旋转不变性,同时,由于本文方法整个匹配过程与影像的像素灰度值无关,完全利用特征的几何信息,因此本文方法具有亮度不变性。表 3 中当影像间存在旋转变换和亮度变换时,都能够获得较多的正确匹配特征对以及较高的正确匹配概率。另外,在 3 种影像变换下,本文方法的均方根误差均小于 1 个像素,达到亚像素级精度。

从表 3 结果可以看出,3 组实验都在获得较多匹配对数的同时保证了较高的正确匹配概率和定位精度,验证了本文方法对城市区域影像匹配的有效性。实验一的实验结果如下图 7 所示。

为了验证本文方法对于弱纹理区域影像匹配的适用性,本文实验以实验数据二为基础,分别测试了本文方法对存在尺度、旋转以及亮度变换的弱纹理区域影像的鲁棒性,并进一步检验了本文方法在该类区域相对于点特征匹配方法的优势。鉴于 SIFT 算法在点特征匹配方法中突出的综合性能,



(a) 参考影像与待匹配影像1的实验结果  
(a) Matching results of reference image and test image 1



(b) 参考影像与待匹配影像2的实验结果  
(b) Matching results of reference image and test image 2



(c) 参考影像与待匹配影像3的实验结果  
(c) Matching results of reference image and test image 3

图 7 实验结果一

Fig. 7 Experimental result 1 of proposed method

选择 SIFT 点特征匹配算法与本文方法进行对比。实验统计结果如下表 4 所示。

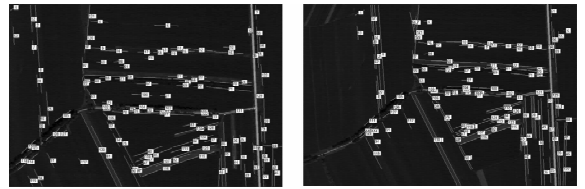
表 4 实验二的统计结果

Tab. 4 Statistical results of experiment 2

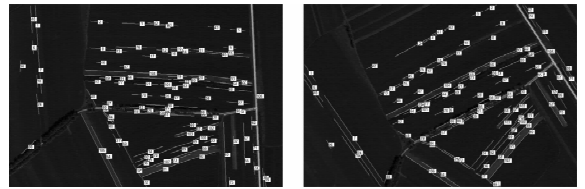
		影像间存在的变换		
		尺度变换	旋转变换	亮度变换
本文方法	total_matches	141	143	137
	true_matches	132	137	130
	Recall	93.6%	95.8%	94.9%
	RMSE	0.428	0.436	0.372
	SIFT	total_matches	84	106
SIFT	true_matches	58	82	60
	Recall	69.0%	77.4%	67.4%
	RMSE	0.722	0.701	0.674

在表 4 中,从本文方法的实验结果可以看出,对于弱纹理区域的高分辨率影像,当影像间存在尺度、旋转以及亮度变换时,本文方法都能够在获得

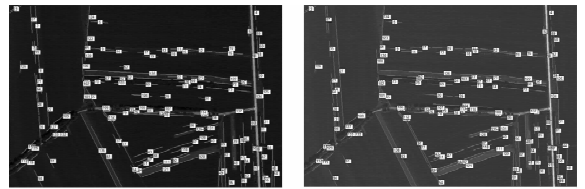
较多匹配特征对的同时保证较高的正确匹配概率和定位精度,与表 3 中实验一的结果一致。实验结果表明,对于形状较明显的弱纹理区域高分辨率影像,本文方法对影像的尺度、旋转以及亮度变换都有较好的鲁棒性。相比于本文方法,在三种变换下,SIFT 点特征匹配均只能获得更少的匹配特征,且正确匹配概率较低。利用 SIFT 特征点计算得到的均方根误差虽然也达到了亚像素级,但定位精度仍然不如本文方法。实验二的实验结果如下图 8 所示,结合图 8(d)可以看出,点特征匹配算法提取的点特征主要集中在有人工建筑的地方,而对于广阔的农田区域,点特征数量非常少。这不利于利用匹配结果进行配准、拼接等其他应用。相比之下,直线段特征的匹配结果中,直线段特征不但分布均匀,而且特征重复率高,能够很好地满足其他应用要求。



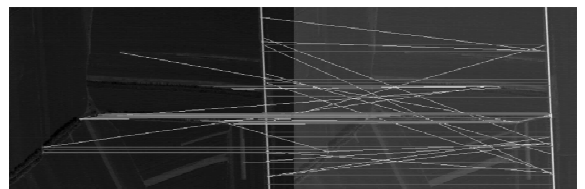
(a) 参考影像与待匹配影像1的实验结果  
(a) Matching results of reference image and test image 1



(b) 参考影像与待匹配影像2的实验结果  
(b) Matching results of reference image and test image 2



(c) 参考影像与待匹配影像3的实验结果  
(c) Matching results of reference image and test image 3



(d) 参考影像与待匹配影像3采用SIFT算法得到的实验结果  
(d) Matching results of reference image and test image 3 based on SIFT

图 8 实验结果二

Fig. 8 Experimental result 2

虽然实验一和实验二证明了本文方法对于影像尺度、旋转以及亮度变化的鲁棒性,但是算法对尺度变化的鲁棒性是有一定限度的。为了测试本文方法对尺度变化的适应度,本文以实验数据一的参考影像为基础,对其进行不同比例的缩小,缩放比例分别为12.5%、25%、37.5%、50%、62.5%、75%、87.5%。用本文方法对参考影像与缩小后影像分别进行匹配,实验结果如图9所示。

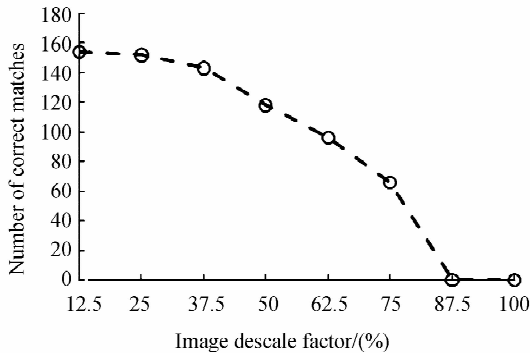


图9 本文方法对影像尺度变化的鲁棒性测试结果  
Fig. 9 Test result of the proposed method for image scale change

从实验结果可以看出,由于本文方法中运用了多尺度策略,当影像缩小比例达到75%时,本文方法仍然能够获得一定数量的正确匹配特征。另外,由于在本文方法中,直线特征匹配只利用了空间信息,没有利用影像的灰度信息,因此特征独特性不会因为影像缩放而急剧降低,这也在一定程度上保证了方法对影像尺度变化的鲁棒性。当然,尺度无

关是有一定限制的,在本文实验中,当影像缩放比例超过75%时,算法将失效。

## 5 结论

本文提出了一种直线段特征匹配方法。首先,在提取直线段特征时采用多尺度策略,使得直线特征的提取具有一定的尺度不变性;然后,将直线段特征分为长直线段特征和短直线段特征分别进行匹配,避免了所有直线段特征的穷举迭代,提高了匹配的时间效率。在长直线段匹配时,每次遍历都对直线段方向进行了规定化,实现了匹配的旋转不变性。在短直线段匹配时,通过引入尺度因子来克服尺度缩放的影响。在整个匹配算法中,只利用特征之间的几何位置关系,克服了直线段特征由于长短不一、支撑区域包含的结构信息不一致而造成的描述困难。由于在同一幅影像中,每条特征直线段所在直线都有唯一对应的直线方程,特征的独特性很高,可以很好地避免误匹配。在两组实验中,本文方法得到的同名直线特征正确匹配概率都达到90%以上,且均方根误差均达到了亚像素级。实验在验证算法的尺度、旋转以及亮度不变性的同时,还验证了算法在形状明显的弱纹理区域相对于点特征匹配算法的优越性。

由于本文方法只考虑了尺度、旋转和亮度不变性,因此只适合于摄影相机在较小视场角内拍摄的高分辨率影像或者短基线高分辨率影像之间的匹配。如何实现算法的仿射不变性将是作者下一步的研究重点。

## 参考文献:

[1] LI CH, ZHOU Y. 3D auto-reconstruction for street elevation based on line and plane feature [C]. 2010 *The 2nd International Conference on Computer and Automation Engineering*, 2010: 460-466.

[2] JIANG M Q, HONG J X, LIAO Q W, et al.. A SIFT-based method for image mosaic [C]. 2010 *3rd International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering, Chengdu, China*, 2010: 423-427.

[3] SINHA S N, FRAHM J M, POLLEFEYS M, et al.. Feature tracking and matching in video using

programmable graphics hardware [J]. *Machine Vision and Applications*, 2011, 22(1): 207-217.

[4] 张叶,曲宏松,王延杰. 运用旋转无关特征线实现景象匹配[J]. *光学精密工程*, 2009, 17(7): 1759-1765.

ZHANG Y, QU H S, WANG Y J. Implementation of scene matching based on rotation invariant key-lines [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2009, 17(7): 1759-1765. (in Chinese)

[5] MIKOLAJCZYK K, SCHMID C. A performance evaluation of local descriptors [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2005, 27(10): 1615-1630.

- [6] LOWE D G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints [J]. *International Journal of Computer Vision*, 2004, 60(2):91-110.
- [7] 丘文涛, 赵建, 刘杰. 结合区域分割的 SIFT 图像匹配方法[J]. *液晶与显示*, 2012, 27 (6): 827-831.  
QIU W T, ZHAO J, LIU J. Image matching algorithm combing SIFT with region segmentation[J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2012, 27 (6): 827-831. (in Chinese)
- [8] KE Y, SUKTHANKAR R. PCA-SIFT: a more distinctive representation for local image descriptors [C]. *Proceedings of the Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Washington, USA*, 2004:511-517.
- [9] BELONGIE S, MALIK J, PUZICHA J. Shape matching and object recognition using shape contexts [J]. *IEEE Transactions on Analysis and Machine Intelligence*, 2002, 24(4):509-522.
- [10] FREEMAN W, ADELSON E. The design and use of steerable filters [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1991, 13(9):891-906.
- [11] MONTESINOS P, GOUET V, DERICHE R. Differential invariants for color images [C]. *Proceedings of 14th International Conference on Pattern Recognition, Brisbane, Australia, August*, 1998: 838-840.
- [12] 纪华, 吴元昊, 孙宏海, 等. 结合全局信息的 SIFT 特征匹配算法[J]. *光学精密工程*, 2009, 17(2): 439-444.  
JI H, WU Y H, SUN H H, *et al.*. SIFT feature matching algorithm with global information [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2009, 17(2): 439-444. (in Chinese)
- [13] 杨晓敏, 吴炜, 卿瀚波, 等. 图像特征点提取及匹配技术[J]. *光学精密工程*, 2009, 17(9):2276-2282.  
YANG X M, WU B, QING L B, *et al.*. Image feature extraction and matching technology [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2009, 17(9): 2276-2282. (in Chinese)

#### 作者简介:



邵振峰(1976—),男,河南新县人,博士,教授,博士生导师,1998年于武汉测绘科技大学获得学士学位,2001年于武汉大学获得硕士学位,2004年于武汉大学获得博士学位,主要从事高分辨率遥感影像处理与分析、对地观测传感网与空间信息智能服务等方面的研究。E-mail: shaozhenfeng@163.com



陈敏(1986—),男,四川乐山人,博士研究生,2009年于武汉大学获得学士学位,主要从事图像特征提取、匹配等方面的研究。E-mail: chenminz@163.com

(版权所有 未经许可 不得转载)