

# 基于基准点和基准方向的 SIFT 误匹配校正方法

陈敏<sup>1</sup>, 邵振峰<sup>1</sup>, 慎于蓝<sup>2</sup>

(1. 武汉大学 测绘遥感信息工程国家重点实验室, 湖北 武汉 430079; 2. 华中科技大学  
电子与信息工程系, 湖北 武汉 430074)

## A Method of Correcting SIFT Mismatches Based on Reference Point and Reference Direction

CHEN Min, SHAO Zhenfeng, SHEN Yulan

**摘要:** 针对 SIFT 特征匹配算法对于图像中存在多个相似结构时误匹配概率较大的问题, 提出一种基于基准点和基准方向的误匹配剔除方法。试验结果表明, 该方法在保留绝大部分正确匹配点对的基础上, 可大大降低误匹配概率。

**关键词:** SIFT 算法; 基准点; 基准方向; 特征匹配

### 一、引言

在特征匹配中, 许多局部不变特征对图像的尺度、旋转、平移以及一定程度的视点变化具有较好的不变性。其中, SIFT (scale invariant feature transformation) 特征是被广泛使用的局部不变特征之一。SIFT 算法是 David G. Lowe 在 2004 年总结已有的基于不变量技术的特征检测方法的基础上提出的, 该算法基于尺度空间, 对图像缩放、旋转甚至仿射变换都能保持不变性<sup>[1]</sup>。目前, SIFT 算法已被广泛应用于人脸识别、目标跟踪、图像拼接、图像检索等诸多领域<sup>[2-5]</sup>。

虽然在一般情况下, SIFT 算法能够得到较好的结果, 但当图像中含有大量相似结构时, 通过 SIFT 算法得到的匹配结果中会出现大量的误匹配。目前常用的方法是通过估计对极几何约束进行去除误匹配, 如 RANSAC 方法, 但这些方法要用全体匹配点对进行迭代训练, 精度受误匹配率的影响很大, 大量试验发现, 它们并不总能很好地去除误匹配。

本文对 SIFT 算法进行了改进, 引入大地测量学中的“基准点”和“基准方向”对匹配进行约束, 从而有效地探测并剔除误匹配点<sup>[6]</sup>。

### 二、SIFT 特征匹配算法及其存在的问题

SIFT 算法主要包含以下 4 个步骤: ① 尺度空间极值点检测; ② 精确定位特征点位置, 去除不稳定

的特征点; ③ 确定特征点的主方向; ④ SIFT 特征描述符的生成与匹配。

在建立尺度空间时, 高斯卷积核已被证明是实现尺度变换的唯一线性核<sup>[7]</sup>。D. G. Lowe 利用高斯差分函数建立尺度空间, 将像素点与自身尺度内的 8 个相邻像素点以及相邻上下尺度对应位置处的邻域 18 个像素点进行比较, 如果该像素点是所有像素点中的极值, 则把该点作为一个候选特征点。对局部极值点需要进行三维二次函数拟合, 以精确确定特征点的位置和尺度, 同时还要去除低对比度的特征点和不稳定的边缘响应点。为了实现算法的旋转不变性, 通过计算极值点邻域内梯度方向直方图得到邻域的梯度主方向, 以此方向作为特征点的方向。确定特征点的主方向后, 以特征点为中心, 取 16 像素 × 16 像素的邻域像素来计算特征描述符, 形成 128 维的 SIFT 特征描述符。SIFT 匹配所采用的相似性度量函数是特征点之间欧氏距离的最小值  $D_{\text{Firm}}^2$  与次小值  $D_{\text{Secmin}}^2$  的比值。如果比值小于一定的阈值  $\mu_{\text{matchThreshold}}$ , 则认为该点与欧氏距离最小值点为一对匹配点。

由于 SIFT 特征描述符只利用了特征点的局部邻域信息, 当图像中含有大量相似结构时, 位于这些相似结构中的特征点所对应的局部信息在很大程度上是相同的。此时, 仅利用局部信息不能准确地区分出位于不同的相似结构中的特征点, 误匹配的概率将大大增加。

收稿日期: 2011-04-01

基金项目: 国家 973 计划(2010CB731800); 国家 863 计划重点项目(2009AA121404); 国家自然科学基金(40801165; 10978003); 中央高校基本科研业务费专项基金(201161902020014)

作者简介: 陈敏(1986—), 男, 四川乐山人, 博士生, 主要研究方向为遥感图像处理与分析。

### 三、改进的SIFT特征匹配算法

针对上述问题,本文在SIFT算法的基础上进行了改进,引入基准点和基准方向的概念,利用方向夹角对匹配结果进行约束。基准点是在影像中寻找的参考点,本文用特征点集的质心来表示基准点。基准方向是在 $0^\circ \sim 360^\circ$ 范围内选取的参考方向,本文通过统计特征点集的方向直方图,以直方图峰值对应的方向作为基准方向。

#### 1. 基准点和基准方向的确定

在SIFT匹配算法中,如果一个点与待匹配影像中特征点的最小距离与次小距离的比值小于给定的阈值,则认为该点与最小距离点为一对匹配点。若降低这个阈值,SIFT匹配点对数目将减少,但得到的匹配结果更稳定。因此,在SIFT初始匹配中,可以在一定范围内减小阈值,尽量减少初始匹配结果中的误匹配。得到初始匹配点集后,再计算分布在图像中的特征点的质心,并将这个质心则作为后续匹配的基准点。

设 $xOy$ 面上有 $n$ 个质点,分别位于点 $(x_1, y_1)$ 、 $(x_2, y_2)$ 、 $\dots$ 、 $(x_n, y_n)$ 处,质量分别为 $m_1, m_2, \dots, m_n$ ,则该质点系的质心坐标 $(\bar{x}, \bar{y})$ 为

$$\left. \begin{aligned} \bar{x} &= \left( \sum_{i=1}^n m_i x_i \right) / \left( \sum_{i=1}^n m_i \right) \\ \bar{y} &= \left( \sum_{i=1}^n m_i y_i \right) / \left( \sum_{i=1}^n m_i \right) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

根据式(1),可以得到SIFT特征点集的质心计算式。设 $\{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)\}$ 是一幅图像的SIFT初始匹配特征点集,则该特征点集的质心坐标 $(X, Y)$ 为

$$\left. \begin{aligned} X &= \left( \sum_{i=1}^n x_i \cdot f(x_i, y_i) \right) / \left( \sum_{i=1}^n f(x_i, y_i) \right) \\ Y &= \left( \sum_{i=1}^n y_i \cdot f(x_i, y_i) \right) / \left( \sum_{i=1}^n f(x_i, y_i) \right) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

初始匹配点集是在阈值很小的前提下得到的,因此计算得到的两个点集的质心很稳定,它们之间的相对位移较小。将两个质心分别作为待匹配的两幅图像中的基准点。

确定基准点后,需要进一步确定基准方向。统计初始匹配点集中每个特征点的梯度方向,绘制梯度方向直方图,将梯度方向在 $0^\circ \sim 360^\circ$ 的范围内进行划分,每 $10^\circ$ 为一个区间。统计每个区间的梯度方向累积值,取最大值对应的方向作为基准方向。

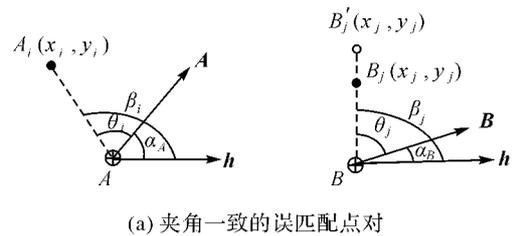
#### 2. 特征点的匹配

得到图像的基准点和基准方向后,对图像中的

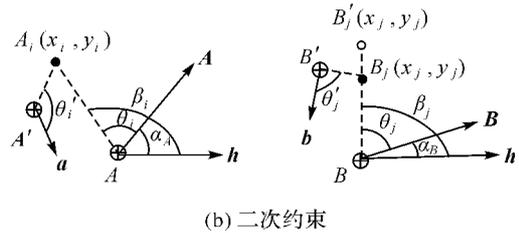
特征点重新进行匹配。在匹配的过程中,增大阈值 $\mu_{\text{Threshold}}$ ,计算两幅图像中各个特征点到基准点的连线与基准方向的夹角 $\theta_i$ 和 $\theta_j$ ,令 $\theta_{\text{diffAngle}} = \theta_i - \theta_j$ ,并设定一个角度阈值 $\mu_{\text{angleThreshold}}$ 。如果特征点与待匹配点之间满足式(3),则认为这是一对匹配点对。

$$\left. \begin{aligned} \theta_{\text{diffAngle}} = \theta_i - \theta_j &\leq \mu_{\text{angleThreshold}} \\ \frac{D_{\text{Firmin}}}{D_{\text{Secmin}}} &\leq \mu_{\text{matchThreshold}} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

利用式(3)可以剔除SIFT匹配结果中方向夹角不一致的误匹配点,但仍然存在满足方向夹角约束条件的误匹配点,如图1(a)中所示。



(a) 夹角一致的误匹配点对



(b) 二次约束

图1 剔除方向夹角一致的误匹配点

图1(a)中 $A_i(x_i, y_i)$ 和 $B_j(x_j, y_j)$ 是通过式(3)得到的一对错误的匹配点; $B'_j(x_j, y_j)$ 是 $A_i(x_i, y_i)$ 所对应的正确的同名点。由于 $A_i(x_i, y_i)$ 和 $B_j(x_j, y_j)$ 计算得到的 $\theta_i, \theta_j$ 满足式(3),因此,在匹配结果中该对错误匹配点仍然得到了保留。对于这类满足方向夹角的错误匹配点,可以按照下面的方法,计算第2个基准点和基准方向,进行二次约束来剔除。

假设通过式(3)约束后得到的两幅影像的特征匹配点集为 $Set1$ 和 $Set2$ ,计算 $Set1$ 和 $Set2$ 的基准点和基准方向,通过式(4)对匹配结果进行第2次约束,如图1(b)所示。图1(b)中 $A'$ 和 $B'$ 分别是通过特征匹配点集 $Set1$ 和 $Set2$ 计算得到的质心,作为两幅影像的第2个基准点; $a$ 和 $b$ 分别是两幅影像的第2个基准方向; $\theta'_i$ 和 $\theta'_j$ 是特征点到第2个基准点确定的方向与第2个基准方向的夹角。如果 $\theta'_i$ 和 $\theta'_j$ 满足式(4),则认为这是一对匹配点。

$$\theta'_i - \theta'_j \leq \mu_{\text{SecAngleThreshold}} \quad (4)$$

式(4)中, $\mu_{\text{SecAngleThreshold}}$ 是一个角度阈值。在图1(b)中 $A_i(x_i, y_i)$ 和 $B_j(x_j, y_j)$ 通过第2个基准

点和第2个基准方向计算得到的夹角  $\theta'_i$  和  $\theta'_j$ , 由于不满足式(4) 将被剔除。

#### 四、试验及结果分析

为了验证改进方法的有效性, 笔者对原始 SIFT 算法、RANSAC 剔除误匹配方法以及本文方法进行了对比试验和分析。

所用的试验数据是两幅自然图像, 图像中包含许多结构相似的窗户, 但两幅图像之间存在一定的平移和视点变化。试验中, 原始 SIFT 算法以及 RANSAC 剔除误匹配方法中最近距离与次近距离的比例阈值取 0.5, 本文方法中计算初始匹配特征点集时最近距离与次近距离的比例阈值取 0.1, 在重新匹配时最近距离与次近距离的比例阈值取 0.5, 角度差阈值取 0.17。试验数据及结果如图 2 所示, 试验结果对比数据如表 1 所示。

图 2(a) 中所示两幅自然图像为试验输入影像, 影像大小均为 200 像素  $\times$  200 像素; 图 2(b) 为原始 SIFT 算法匹配结果; 图 2(c) 为 RANSAC 剔除误匹配方法的结果; 图 2(d) 为本文方法匹配结果。

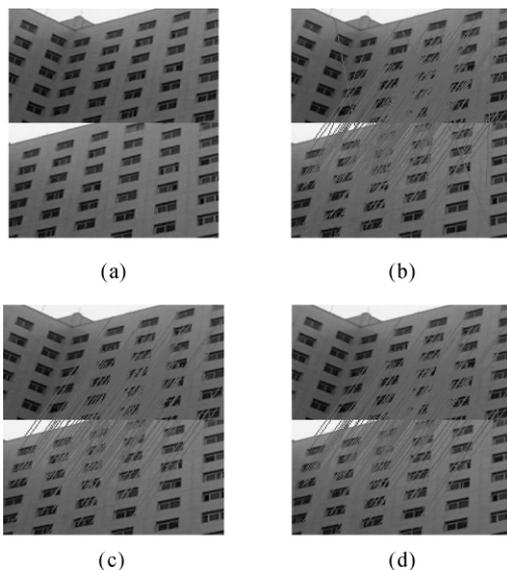


图 2 试验输入数据及结果图

表 1 试验 1 的匹配结果对比数据

	SIFT 匹配方法	RANSAC 剔除 误匹配方法	本文 方法
总的匹配点对数	117	103	96
误匹配点的对数	22	9	1
正确匹配点对数	95	94	95
误匹配概率/(%)	18.80	8.74	1.04
匹配耗时/s	1.69	1.80	1.81

从以上试验结果可以看出, 原始 SIFT 匹配算法的匹配结果中存在较多的误匹配, 误匹配率高达 18.8%。通过 RANSAC 方法剔除误匹配后, 误匹配概率降到了 8.74%, 同时正确匹配减少了 1 对。而本文方法将误匹配概率降低到了 1.04%, 并且在大幅降低误匹配概率的同时, 正确匹配点对数并没有减少。在时间效率方面, 由于 RANSAC 方法和本文方法都在原始 SIFT 方法基础上增加了运算步骤, 因此耗时更多一些。但由于算法中构造高斯差分尺度空间以及生成 SIFT 特征描述符占据了整个算法大部分时间, 算法其他部分时间效率都很高。因此, 本文方法在时间效率方面与原始 SIFT 匹配方法以及 RANSAC 方法相差不大。

综上所述, 本文方法能在大幅降低误匹配概率的同时, 保留绝大多数正确匹配点对, 明显改善了匹配效果。

#### 五、结束语

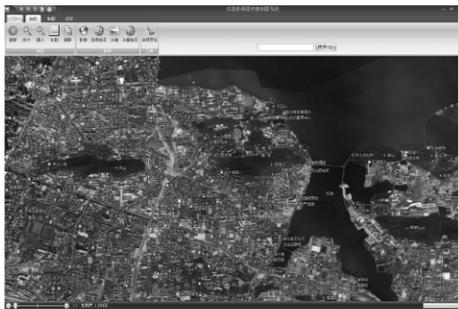
由于 SIFT 特征匹配算法仅利用了特征点邻域像素内的局部信息, 当图像中存在大量相似结构时, 位于这些相似结构中的特征点不能被很好地区分, 从而导致匹配结果中出现大量的误匹配。针对这个问题, 本文引入了基准点和基准方向的概念。通过降低 SIFT 匹配时的阈值得到初始匹配特征点集, 再利用得到的初始匹配特征点集计算质心得到基准点。通过统计初始匹配特征点集的梯度方向, 绘制梯度方向直方图, 以峰值所对应的方向作为基准方向。增大 SIFT 匹配时的距离比值阈值, 利用方向夹角对匹配进行约束, 从而在保留绝大多数正确匹配的情况下剔除了大量方向夹角不一致的误匹配点。最后对匹配结果进行二次约束, 剔除了方向夹角一致的误匹配点, 进一步降低了匹配结果中的误匹配概率。笔者将进一步研究如何在剔除误匹配的同时增加正确匹配点对的数量以及如何提高算法的实时性。

#### 参考文献:

- [1] LOWE D G. Distinctive Image Features from Scale-invariant Keypoints [J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2): 91-110.
- [2] KRIZAJ J, STRUC V, PAVESIC N. Adaptation of SIFT Features for Face Recognition under Varying Illumination [C]//Proceedings of the 33rd International Convention. Croatia [s. n. ], 2010: 691-694.

(下转第 35 页)

本的放大、缩小、平移、全图显示、影像和影像地图切换显示以及地名查询等功能;应急制图模块主要实现了面向应急服务的应急目标定位、制图尺寸确定、整饰自动生成等制图数据;打印输出则实现了大幅面应急影像地图的输出和打印。



(a) 地图浏览界面



(b) 应急制图界面

图5 基于天地图的应急影像地图快速制作系统

在使用该系统进行应急影像地图制作过程中,其时间成本主要包括:应急目标定位过程、制图尺寸确定和基于天地图服务的瓦片搜索与拼接过程。其中,前两个过程与操作员的熟练程度有关,通过培训可以显著提高效率;瓦片处理则与制图尺寸和网络速度有关,需要通过试验来确定其时间效率与制图尺寸和瓦片数的关系。本文使用联想 ThinkPad T400 笔记本电脑(2.53 GHz 双核 CPU 2.99 GB 内存)为例,对0.9 m、1.2 m和1.5 m这3个制图尺寸影像地图制作中瓦片处理效率进行了测试,试验结

果如表1所示。由表1可知,瓦片处理所需时间随着制图尺寸增大而明显增加,但即使是制作1.5 m图幅的影像地图,其时间也控制在10 min之内,能够较好地满足应急制图对效率的要求。

表1 基于天地图的应急影像地图制作中瓦片处理效率测试

制图尺寸/m	瓦片数量/个	制图比例尺	所需时间/s
0.9 × 0.7	204	1:188 000	160
1.2 × 1.0	221	1:134 000	205
1.5 × 1.2	667	1:108 000	581

## 六、结束语

本文尝试将天地图平台引入到应急测绘保障领域,以应急影像地图快速制作作为切入点,充分发挥了天地图平台的影像资源优势,并结合实际需求对天地图平台进行按需定制和扩展,使其能够高效优质地应用于测绘应急领域,为突发事件快速响应提供重要支撑。今后还需继续研究天地图平台与应急测绘保障服务的深层次融合模式,进一步提高基于天地图平台的应急服务质量和效率。

## 参考文献:

- [1] 高俊. 地图学四面体: 数字化时代地图学的诠释[J]. 测绘学报, 2004, 33(1): 6-11.
- [2] 高俊. 换一个视角看地图[J]. 测绘通报, 2009(1): 1-5.
- [3] 陈军, 陈利军, 廖安平, 等. 汶川地震灾区应急影像地图制作技术[J]. 遥感学报, 2009, 13(1): 162-168.
- [4] 陈军, 何超英, 朱武, 等. 汶川地震救灾的基础地理信息综合应急服务[J]. 地理信息世界, 2008(6): 7-11.
- [5] 赵勇, 王东华, 赵婷婷. 《汶川地震灾害地图集》设计研究[J]. 测绘通报, 2010(1): 68-71.
- [6] 国家测绘地理信息局. “天地图”正式上线 打造国际一流地图服务网站[EB/OL]. [2011-01-19]. <http://www.sbsm.gov.cn/article/chyw/201101/20110100078995.shtml>.

(上接第18页)

- [3] JIANG R M, CROOKES D, LUO N, et al. Live-cell Tracking Using SIFT Features in DIC Microscopic Videos [J]. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 2010, 57(9): 2219-2228.
- [4] JIANG Meiqun, HONG Jingxin, LIAO Qingwei, et al. A Sift-based Method for Image Mosaic [C]//2010 3rd International Conference on Image and Signal Processing. Chengdu [s. n.], 2010: 423-427.

- [5] KOBAYASHI M, KAMEYAMA K. Partial Image Retrieval Using SIFT Based on Illumination Invariant Features [C]//2010 International Conference on Image and Signal Processing, Sharjah [s. n.], 2010: 33-36.
- [6] 孔祥元, 郭际明, 刘宗泉. 大地测量学基础[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2010.
- [7] LINDBERG T. Scale-space Theory—A Basic Tool for Analyzing Structures at Different Scales [J]. Journal of Applied Statistics, 1994, 21(2): 224-270.