

# A SIFT Matching Algorithm Based On Adaptive Contrast Threshold

You ZHAI

Department of Postgraduate Management  
The Academy of Equipment Command & Technology  
Beijing, China  
youyou1952@sina.com

Luan ZENG

Key Lab  
The Academy of Equipment Command & Technology  
Beijing, China  
zengluan@sina.com

**Abstract**—SIFT keypoints are rejected if the contrast is less than given threshold. The threshold has to be selected for different images manually and therefore cannot achieve automatic image matching. In order to improve the accuracy and automation of SIFT based image registration algorithms, a SIFT matching algorithm based on adaptive contrast threshold is proposed. Firstly, compute SIFT contrast threshold through normalized image entropy and then the threshold is used to reject low contrast SIFT keypoints. Secondly, the Nearest Neighbor algorithm is used to obtain initial matching set according to common matching threshold. Thirdly, the obvious mismatches are rejected using the histogram of main orientation difference of the initial matching set and then calculate the control parameter  $k$  of matching threshold. After that, matches with 8 smallest ratios are selected to solve the initial perspective transform parameters from the transformed image to the reference image and then calculate the maximum error  $\sigma$  from the 8 transformed keypoints to the 8 corresponding keypoints of the reference image. Finally, compute the error from the transformed keypoints to the corresponding keypoints of the reference image for all initial matches. Matches are rejected if the errors are larger than  $3k\sigma$ , then the refined matching set is obtained. The experimental results show that the proposed method can effectively extract correct matches and is more robust to low contrast image matching. Moreover, the contrast threshold and the matching threshold are computed automatically for different images.

**Keywords**—image processing; SIFT; image matching; entropy

## I. 引言

SIFT 算法<sup>[1][2]</sup>不仅对图像缩放、平移和旋转具有不变性，而且对光照变化以及复杂的仿射和投影变换也具有部分不变性，比较适合用于存在透视变换的图像配准<sup>[3]</sup>。在实际系统中，经常由于光照的不均匀造成图像灰度的过度集中，从而造成图像对比度的降低。笔者发现 SIFT 算法提取的特征点的数目随着图像灰度分布的集中而减少，当图像灰度分布集中到一定程度时，SIFT 算法鲁棒性会大大降低。因此 SIFT 算法虽然具有一定的光照变化不变性，但是仍然不能够很好满足低对比度图像配准的需要。这是因为 SIFT 算法剔除掉对比度阈值小于 0.03 的极值点，认为这些点是不稳定的，但是这个阈值并不是普遍适用的，对于图像灰度分布较为集中的图像而言这个阈值较高。灰

度分布较集中的图像在剔除低对比度的极值点时，同时剔除掉了大量的真正的特征点，从而导致了 SIFT 特征点的数目急剧减少，造成匹配性能的下降。笔者发现可以通过适当减少 SIFT 的对比度阈值来增强 SIFT 算法对于灰度分布较为集中图像的鲁棒性，但是 SIFT 算法并没有给出如何选择这个阈值，来保证 SIFT 特征点数目的稳定性。这个阈值的选择与图像有关，需要针对不同的图像选择不同阈值，人工调整阈值不能够实现图像的自动配准，满足不了无法进行人工干预的场合。

此外 SIFT 方法通常使用最邻近和次邻近点的比值作为匹配策略，当最邻近点和次邻近点的比值小于某个阈值时认为是正确的匹配点，该阈值需要人工根据图像质量来确定，不能完全实现自动配准。为了提高 SIFT 匹配方法的准确性，文献[4]和文献[5]提出了双向匹配的策略，但这种匹配方法仍然无法实现阈值的自动选择。文献[6]提出基于置信度的匹配算法，其实质仍是特征对的欧式距离最小值与次小值之比作为匹配阈值。文献[7]加入了全局信息来提高匹配准确率，但仍然要人工选择特征对的欧式距离最小值与次小值之比作为匹配阈值。文献[8]使用了 RANSAC 算法<sup>[9]</sup>，虽然能有效地估计匹配点的内点和外点，剔除伪匹配，但误差容忍度、随机抽取样本集的次数和一致集的大小等参数仍需人工确定。

因此基于以上两点考虑，本文提出了基于自适应对比度阈值 SIFT 算法的图像匹配算法，通过本文算法能够自动的实现图像的匹配，为图像的自动配准提供了一种可行的方法。

## II. 自适应对比度阈值 SIFT 匹配算法

### A. 自适应对比度阈值的确定

SIFT 特征匹配算法<sup>[1][2]</sup>是 David Lowe 在 2004 年总结了现有的基于不变量技术的特征检测方法的基础上，提出的一种基于尺度空间的、对图像缩放、旋转甚至仿射变换保持不变性的特征匹配算法。具体包括四步：（1）尺度空间检测极值；（2）精确定位特征点所在的位置和尺度（3）确定特征点的主方向（4）构建描述符。

SIFT 算法首先在尺度空间检测极值，得到候选特征点集。图 1(a)为同一场景不同光照条件下的图片，检测到的 SIFT 特征点数目分别是 1668、970、476。由图 1(b)可以看出从 3 幅图像上检测到的候选特征点基本相同，表明 SIFT 特征检测算子检测关键点的能力不随图像对比度的变化而变化。在得到初始候选特征点后，SIFT 算法要精确定位候选特征点的位置和尺度。并根据候选特征点的精确位置和尺度信息剔除不稳定的低对比度特征点和位于边缘的特征点。SIFT 算法首先剔除对比度小于 0.03 以及曲率大于 10 的候选特征点。图 1(c)所示为剔除对比度小于 0.03 的点后，候选特征点的分布。在剔除低对比度的候选特征点的基础上，剔除曲率大于 10 的候选特征点，如图 1(d)所示。可以看出，对比度阈值对于特征点数目的影响远远大于曲率阈值。在固定对比度阈值下，特征点的数目随着光照条件的减弱急剧减少。这是因为图像的对比度随着图像光照条件的减弱而降低，0.03 的固定阈值并不能适应图像对比度的变化，因此需要根据图像的灰度分布来确定对比度阈值。



Figure 1(a). The same scene of difference illumination conditions with 1668, 970 and 476 SIFT keypoints respectively

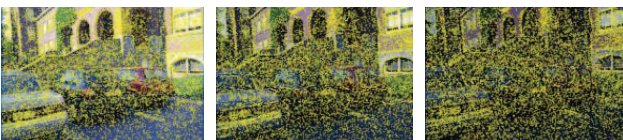


Figure 1(b). The initial SIFT keypoints of the same scene with difference illumination conditions are 12260, 12239 and 12443 respectively

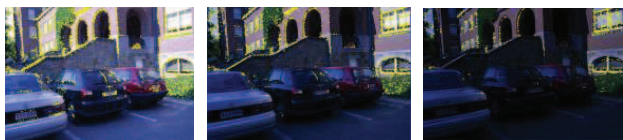


Figure 1(c). After applying a contrast threshold (0.03): 2468, 1528, 713 SIFT keypoints remain



Figure 1(d). After applying a curvature threshold (10): 1359, 756, 357 SIFT keypoints remain

SIFT 算法中每个 *octave* 的高斯金字塔层数为  $s+3$ ，根据公式(1)可知  $s$  越大时， $k$  值越小，其中  $k$  是上层的高斯图像尺度因子和下层邻近高斯图像尺度因子的比值。根据公式 (2) 可知，当  $k$  值越小时，上层高斯图像和下层邻近高斯图像的差值也就越小，候选特征点的对比度越小；此外，当图像的灰度分布越集中时，高斯图像和邻近下层高斯图像的差值的分布范围越小，候选特征点的对比度越小。因此，可以根据图像灰度分布情况及 SIFT 算法所建立的金字塔的层数确定这个对比度阈值。

$$k = 2^{1/s} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} D(x, y, \sigma) &= (G(x, y, k\sigma) - G(x, y, \sigma)) * I(x, y) \\ &= L(x, y, k\sigma) - L(x, y, \sigma) \end{aligned} \quad (2)$$

图像熵能够在一定程度上反应图像的灰度的分布信息，一般而言，图像灰度分布越集中，图像熵越小。但是当图像灰度分布有间隔时，即使图像灰度分布比较均匀，此时的图像熵也比较小。因此，本文将图像熵用因子  $\log_2(L)$  归一化，如式 (3) 所示，其中  $p_i$  表示灰度级为  $i$  的像素点在整个图像中所占的比例， $L$  表示图像实际灰度级的个数， $\log_2(L)$  表示当像素灰度均匀分布到这  $L$  个灰度级时的图像熵最大值。

$$\text{norm\_image\_entropy} = \frac{-\sum_{i=0}^{255} p_i \log_2(p_i)}{\log_2(L)} \quad (3)$$

归一化图像熵能够反应图像的灰度的分布信息，并克服图像熵的缺点。图 2 所示为图 1(a)的灰度分布直方图，图像灰度分布越来越集中，图 1(a)的归一化图像熵分别为 0.96、0.88、0.78。可以看出，图像灰度分布越集中，归一化图像熵越小，反之归一化图像熵越大。

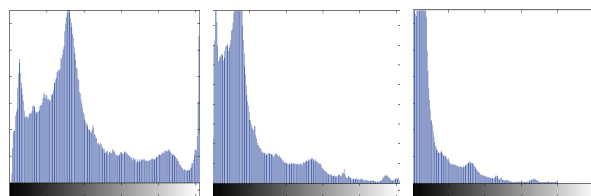


Figure 2 The graylevel histogram of Figure 1(a)

根据前面的分析可知，候选特征点的对比度与高斯金字塔建立的层数 ( $s+3$ ) 有关， $s$  越大候选特征点的对比度越低。因此用  $s$  的倒数对归一化图像熵加权得到  $x$ ，如式 (4)。当  $s=3$  时，SIFT 算法取得较好的性能<sup>[2]</sup>，故文中  $s=3$ 。 $x$  的大小反映了候选特征点的对比度大小，候选特征点的对比度越大， $x$  越大。 $x$  的取值范围是 0-0.333，而一般 SIFT 对比度阈值大约在 0.01-0.03 之间，本文根据经验公式 (5) 将  $x$  映射到 0.01-0.03 之间作为 SIFT 算法的对比度阈值，这样图像对比度阈值比较高时，图像的对比度阈值约为 0.03 左右，而图像对比度较低图像的对比度阈值不能无限减少因此设定其下线为 0.01。

$$x = (\text{normalized image entropy}) \times \frac{1}{s} \quad (4)$$

$$\text{contrast\_threshold} = \begin{cases} \frac{x}{20 \times (1 - sx) + \frac{100}{9}}, & x \geq 0.194 \\ 0.01, & x < 0.194 \end{cases} \quad (5)$$



## B. 匹配策略

基于透视投影模型的 SIFT 匹配方法<sup>[10]</sup>能够稳定、可靠的实现图像的自动配准,并能提高匹配效率。但是该方法仍需要根据图像质量,来确定 SIFT 算法的对比度阈值。因此本文采用自适应对比度阈值的方法对原有的匹配算法进行改进,算法无需人工干预,自动完成图像的配准,改进后匹配算法表述如下:

第一步,根据匹配图像的灰度信息,采用本文的自适应对比度阈值的计算方法,确定 SIFT 算法的对比度阈值,然后提取 SIFT 特征,并构建 SIFT 描述符。

第二步,采用 SIFT 特征对之间的最小欧式距离和次小欧式距离的比值作为初始匹配条件,剔除明显的误匹配。根据 Lowe 的实验<sup>[2]</sup>,阈值取 0.8 时可以去除 90%的误匹配,但正确匹配对也会丢失 5%左右;此值取 0.7 时,可以去除 96%的误匹配,而正确匹配对丢失 8%左右。此值再增大,误匹配数急剧上升;此值再减少时,误匹配数量降速减缓,正确匹配数量降速增加。因此,阈值可在 0.7-0.8 之间选择,它只对正确匹配对数有一定影响,为尽可能多的保留正确匹配对的对数,本文选择阈值为 0.8,得到初始匹配集合。

第三步,统计初始匹配集合中匹配对的主方向角度差直方图,找到峰值。从理论上讲,特征向量的主方向的差值代表着两幅图像的旋转变换关系,正确匹配对的主方向差值应该基本相同,但是考虑到各种误差的影响,本文以主方向差直方图从峰值下降到峰值 10%时对应的范围作为控制区域  $w$ ,落入此区域内的匹配对认为是正确的匹配对,否则为误匹配,剔除。

第四步,基于比率值越小匹配正确性就越高的论断,对经过第一、第二步后得到的匹配对的比率值进行排序,取前 8 个比率值最小的匹配对作为控制点,计算图像透视投影模型参数初始值,变换参数的求解采用直接线性变换法和最小二乘法。并利用初始变换参数,计算所有特征点的变换坐标与实际坐标之间的差值,如果差值小于某一个阈值时,认为是正确匹配对,将该匹配点保留;否则,将该匹配点剔除。

由于在计算图像透视模型变换参数时采用的是最小二乘法,理论上使用 4 对控制点就可计算透视投影模型参数,但由于各种误差的影响,使用 4 对控制点并不安全,同时,为了保证初始参数一定的精度,控制点数量应该多一些,考虑到高分辨率图像匹配的多量性,控制点选择为 8 对,如果控制点对小于 8,将不对图像进行配准同时,用所求得的参数求取特征点坐标时必然会带来误差,即使是计算 8 个控制点的图像坐标也存在一定的误差。因此,用特征点的变换坐标与实际坐标之间的差值来判断匹配是否正确,就必须给定一个阈值,此阈值太小,可能会损失过多的正确匹配对,太大则会混入误匹配点。并且阈值选取还不能由人工根据匹配的情况来确定,本文采用按规则自动计算的方法。

一是计算 8 个控制点的变换坐标与实际坐标之间的距离差值,进行排序,求出最大值  $\sigma$ 。由于最好的 8 个匹配对往往会集中在图像变化最小的区域中,用这 8 个控制点

求解出来的变换模型参数去计算图像其他区域的特征点变换坐标时,会有比较大的误差,因此,必须增加判断阈值的误差门限,按照误差理论给出的准则,选择  $3\sigma$  作为基本的判断阈值。

二是计算计算门限控制参数  $k$ ,取主方向角度差直方图峰值所对应的角度作为两幅图像之间的旋转角度,旋转角度越大说明图像间的变换关系越复杂,判断阈值相应要增大一些。同时分布范围  $w$  越宽表示匹配过程中存在的误差越大,判断阈值也要适当增加。由于在确定 SIFT 描述子主方向角度时,直方图间隔为 0.175 弧度,本文就以旋转角度和分布范围每增加 0.175 弧度,其判断阈值就增加两倍来计算, $k$  值经验公式如下:

$$k = \left(1 + \frac{2 \times \theta}{0.175}\right) \times \left(1 + \frac{2 \times w}{0.175}\right) \quad (6)$$

第五步,对初始匹配集合中的所有特征对进行校验,如果特征点的变换坐标与实际坐标之间的距离值小于  $3k\sigma$  时,认为是正确匹配对,将该点保留;否则,将该点剔除。得到正确的匹配对集合。

## III. 实验结果及分析

实验的目的在于评价本文提出的基于自适应对比度阈值的 SIFT 图像匹配算法,因此将本文自适应对比度阈值的 SIFT 算法与固定阈值的 SIFT 算法进行比较,匹配策略均采用基于透视投影模型的匹配算法。图 3 为自适应对比度阈值的 SIFT 匹配算法的实验结果,图 4 所示为 SIFT 匹配算法的实验结果。

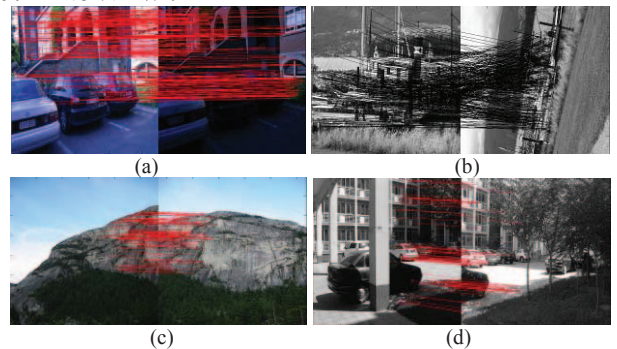


Figure 3. Matching results of adaptive contrast threshold SIFT algorithm

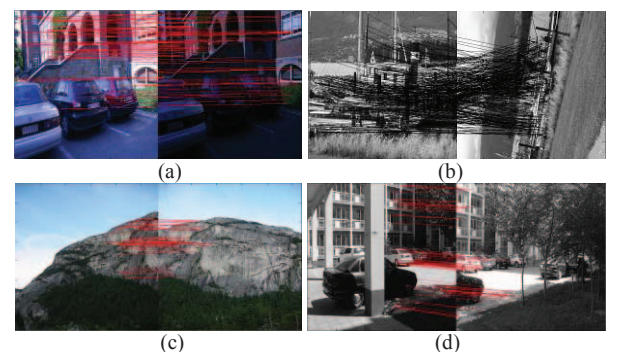


Figure 4. Matching results of original SIFT algorithm

测试图片 1 存在对比度变化、图像间光照条件存在较大差异，本文算法的初始匹配对是 413，剔除误匹配后匹配对数是 277，无误匹配，固定阈值 SIFT 算法初始匹配对数是 281，剔除误匹配后匹配对数为 110，无误匹配。

测试图片 2 存在较大尺度和旋转变化，图像灰度分布比较均匀，本文算法的初始匹配对是 856，剔除误匹配后为 464，无误匹配，固定阈值 SIFT 算法的初始匹配对数是 789，剔除误匹配后为 449，无误匹配。

测试图片 3 为实拍图片，图片存在一定的尺度、平移、旋转及视角变化，图像的自相似性较强，图像灰度分布直方图如图所示，本文算法提取的初始匹配对数为 151，剔除误匹配后为 109，无误匹配，固定阈值 SIFT 算法的初始匹配对数 79，剔除误匹配后为 55。

测试图片 4 为实拍图片，图片存在一定的尺度、平移、旋转及视角变化，图像的自相似性较强，本文算法提取的初始匹配对数为 341，剔除误匹配后为 96，无误匹配，固定阈值 SIFT 算法的初始匹配对数 270，剔除误匹配后为 77。

从以上实验结果可以看出本文算法比标准 SIFT 算法能够提取更多的匹配对数，特别是对于低对比度图像的匹配，如下表 1 所示。此外，本文算法和标准 SIFT 算法采用本文匹配策略时，均取得了非常高的正确率，表明本文匹配方法的鲁棒性。

Table 1 Correct Matches

Correct Matches	Image 1	Image 2	Image 3	Image 4
Fixed threshold	110	449	79	77
Adaptive hreshold	277	464	109	96
Increment	151.82%	3.34%	37.97%	24.68%

另外，如果以最终提取的匹配对数中正确匹配对数与比率为 0.8 时的特征点数之比作为匹配效率，则本文算法和固定对比度阈值 SIFT 匹配算法的 4 幅图像的匹配效率变化情况如表 2 所示。

Table 2 Matching efficiency

Matching efficiency	Image 1	Image 2	Image 3	Image 4
Fixed threshold	39.15%	56.91%	69.62%	28.52%
Adaptive hreshold	67.07%	54.21%	72.19%	28.15%
Increment	27.92%	-2.7%	2.57%	-0.4%

以上实验结果表明，本文自适应对比度阈值 SIFT 算法对于不同对比度的图像均能够提取更多的正确匹配对数，因而精度更高。从匹配效率来看，本文改进的匹配算法与固定对比度阈值 SIFT 匹配算相比，对于低对比度图像的匹配效率更高，对于对比度较高的图像匹配与固定阈值 SIFT 算法相当。本文自适应对比度阈值方法能够根据图像的灰度分布情况，自动计算对比度阈值，这个阈值能够适

应图像的灰度变化，表明本文自适应对比度阈值算法可行性。

#### IV. 结束语

本文详细分析了对比度阈值对于不同对比度图像提取 SIFT 特征数目的影响，并根据归一化图像熵，提出了一种自动计算 SIFT 对比度阈值的方法，然后采用基于透视投影模型的匹配策略，提出了基于自适应对比度阈值 SIFT 的图像匹配算法。首先根据图像灰度分布情况计算对比度阈值，然后根据这个阈值提取 SIFT 特征，采用基于透视投影模型的匹配策略，进行特征匹配。本文算法无须根据图像的不同，人工调整 SIFT 对比度阈值以及匹配算法中的阈值，就能可靠地提取正确的匹配对，非常适合需要使用自动匹配的场合。本文的方法能稳定、可靠地实现自动配准，所用实验图像都达到了很高的匹配准确率，为提高图像特征匹配的准确率和自动化水平提供了一种有效的方

#### REFERENCES

- [1] David LOWE, Object recognition from local scale- invariant features. *Proceeding of ICCV. Piscataway, NJ, USA: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.*1999,2:1150-1157.
- [2] David LOWE, Distinctive image features from scale- invariant keypoints. *International Journal of Computer Vision*, 2004, 60(2):91-110.
- [3] LI Xiao-ming, ZHENG Lian, and HU Zhan-yi. SIFT Based Automatic Registration of Remotely-sensed Imagery[J].*JOURNAL OF REMOTE SENSING*. 2006,10(6):885-892 (in Chinese).
- [4] LIU Huan-min, WANG Hua, and DUAN Hui-fen. A Bidirectional Matching SIFT Algorithm[J]. *Ordnance Industry Automation*. 2009,28(6):89-91 (in Chinese).
- [5] HUO Chun-lei,ZHOU Zhi-xin, and LIU Qing-shan,et al.. Remote Sensing Image Registration Based on SIFT and the Distance Between Generalized Tight Pair-wise Prototypes[J]. *Remote Sensing Technology and Application*. 2007,22(4):524-530 (in Chinese).
- [6] YANG Xiao-min,WUW ei, and QING Lin-bo, et al.. Image feature extraction and matching technology. *Opt. Precision Eng.* 2009,17(9): 2276-2282 (in Chinese).
- [7] JI Hua, WU Yuan-hao, and SUN Hong-hai, et al.. SIFT feature matching algorithm with global information[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2009,17(9):439-444 (in Chinese).
- [8] Liu Guixi, Liu Dongmei, Liu Fengpeng, and Zhou Yaping. A Robust Image Registration Algorithm Based on Feature Points Matching. *Acta Optica Sinica*, 2008, 28(3): 454~461 (in Chinese).
- [9] Fishchler MA, and Bolles RC. Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Application to Image Analysis and Automated Cartography. *Communication Association Machine*, 1981, 24(6):381-395.
- [10] ZENG Luan, ZHAI You. A SIFT matching algorithm based on pin-hole camera model. *Proceedings of International Conference on Computational Intelligence and Industrial Application*,2010: 272~276.