

Improved SIFT Matching Algorithm*

Can Ding¹, Changwen Qu¹, Yangyang Zhao²

¹Department of Electronic and Information Engineering, Naval Aeronautical & Astronautical University, Yantai

²Simulator Training Center, Naval Submarine Academe, Dalian

Email: dican011@126.com

Received: Aug. 16th, 2012; revised: Aug. 29th, 2012; accepted: Sep. 9th, 2012

Abstract: The high dimension and complexity of feature descriptor of SIFT, not only occupy the memory space, but also influence the speed of feature matching. We adopt the statistic feature point's neighbor gradient method, the local statistic area is constructed by 8 concentric square ring feature of points-centered, compute gradient of these pixels, and statistic gradient accumulated value of 8 direction, then descending sort them, at last normalize them. The new feature descriptor descend dimension of feature from 128 to 64, the proposed method can improve matching speed and keep matching precision at the same time.

Keywords: SIFT Algorithm; Image Matching; Feature Descriptor; DoG

改进的 SIFT 匹配算法*

丁 灿¹, 曲长文¹, 赵阳扬²

¹海军航空工程学院电子信息工程系, 烟台

²海军潜艇学院模拟器训练中心, 大连

Email: dican011@126.com

收稿日期: 2012 年 8 月 16 日; 修回日期: 2012 年 8 月 29 日; 录用日期: 2012 年 9 月 9 日

摘 要: SIFT 特征描述子的高维性和复杂性, 不但占用较大的内存空间, 而且影响特征匹配的速度。文章采用基于特征点邻域梯度统计的思想, 局部统计区域由以特征点为中心的 8 个同心方环分割出来的环形组成, 并计算出其相应像素的梯度(模值和方向), 统计出 8 个方向的梯度累加值, 然后进行从大到小的排序, 最后再进行归一化处理。建立新的描述子将原来的 128 维向量降低到 64 维, 实验证明此方法在保持匹配精度的情况下提高了匹配速度。

关键词: SIFT 算法; 图像匹配; 特征描述子; 差分高斯金字塔

1. 引言

图像匹配是计算机视觉和数字图像处理的重要组成部分, 广泛应用于摄影测量与遥感、资源分析、三维重建、目标识别等众多领域, 一直视研究者关注的焦点, 但由于它受到天气、阳光、遮挡等外界因素的严重影响, 并且存在因不同成像时间、角度、距离等因素而导致的图像平移、旋转、缩放等问题, 这都

给图像匹配工作带来很大的难度。

长期以来, 国内外许多学者都致力于能够解决上述问题的图像匹配技术研究。近年来, 在计算机视觉领域, 基于局部不变量描述符(local invariant descriptor)的方法在目标识别和图像匹配方面取得了显著进展。1999 年 D. G. Lowe 提出尺度不变特征变换算法(scale invariant feature transformation, SIFT), 并与 2004 年总结了现有的基于不变量技术的特征检测方法, 并正式提出了一种基于尺度空间的、对图像缩放、旋转甚至

*基金项目: “泰山学者”建设工程专项经费资助。

仿射变换保持不变性的图像局部特征描述算子即 SIFT 算子^[1]。该算法较好的解决了场景部分遮挡、旋转缩放、视点变化引起的图像变形的等问题,但是算法仍存在问题,即特征描述符维数过高导致计算过于复杂进而导致匹配时间过长。Yanke 等人^[2]提出用 PCA-SIFT 方法对特征描述进行数据降维,但在没有任何先验知识的情况下,反而增加了计算量;Grabner^[3]等人用积分图像虽提高了 SIFT 的计算速度,但却降低了 SIFT 方法的优越性。Delponte 等人^[4]提出用 SVD 方法进行特征匹配,但匹配过程计算复杂,且不能用于宽基线匹配;这些方法只是在特征描述或者匹配阶段进行改进,而没有改变算法本身。Mikolajczyk^[5]等人还通过实验证实了 SIFT 描述子在大多数情况下受图像间的各种变换影响最小,具有最稳定的匹配性能。同时他们还提出了一种叫做梯度的位置和方向直方图(gradient location orientation histogram, GLOH)的局部描述子,无论 PCA-SIFT 还是 GLOH 都利用 PCA 技术,这要求必须要选取一系列有代表性的图像来训练投影矩阵,这不但需要额外的离线计算时间代价,而且训练出来的矩阵也只对这类图像起作用,并不具有广泛的适用性。秦晖在其改进 SIFT 算法中为每个特征点定义了一个更精确的主方向,在生成特征点描述子时去掉了特征点周围像

素的高斯加权,从而降低了算法的计算成本,提高了特征描述子对特征点的描述能力^[6]。又有学者提出利用圆环的特性同时对特征向量进行序列化,以保证物体的旋转不变,当图像存在不同程度的几何变形、副射畸变和噪声影响时,保持了很好的速度及精度,但该算法在进行实际计算时较为复杂^[7]。于丽莉提出一种基于图像 Radon 变换的改进 SIFT 特征匹配算法,降低了 SIFT 特征向量的维数,进而提高特征匹配效率^[8]。甘玲等在 SIFT 特征的描述符向量构造和采样区域等方面进行改进,并通过对比特征描述符的相似性建立特征点间的匹配关系,该算法能够适应图像的尺度变化,增加了算法的鲁棒性,提高了图像配准精度^[9]。

文章针对 SIFT 特征描述符的高维数和高复杂度问题对 SIFT 算法进行改进,采用基于特征点邻域梯度统计的思想,局部统计区域由以特征点为中心的 8 个同心方环分割出来的环形组成,并计算出其相应像

素的梯度(模值和方向),统计出每个方环的 8 个方向的梯度累加值,然后按照从大到小的顺序进行排序,最后再进行规一化处理。建立新的描述子将原来的 128 维向量降低到 64 维,以此通过减少特征描述符的维数来降低计算的复杂度,进而缩短匹配的时间。

2. SIFT 算法原理

SIFT 算法是一种提取局部特征的算法,在尺度空间寻找极值点,提取位置、尺度、旋转不变量。SIFT 特征点源自差分高斯尺度空间的极值点,在差分高斯图像中通过比较每一像素与当前尺度、上层尺度和下层尺度的 26 个邻域得到极大值和极小值。SIFT 算法然后使用泰勒展开式和 Hessian 矩阵过滤不稳定极值点并计算其亚像素精度位置,并在高斯图像上,统计特征点邻域各像素的梯度值和梯度方向得到特征点主方向,以实现算子对尺度和方向的无关性。SIFT 特征的提取主要包含 4 个步骤^[10]:

- 1) 图像尺度空间,检测尺度空间极值点;
- 2) 精确确定关键点,剔除不稳定点;
- 3) 确定关键点的方向;
- 4) SIFT 特征向量的生成。

SIFT 特征的构造方法包括关键点的检测和描述子的构造两部分。

2.1. 关键点(或兴趣点)检测

为了使特征具有尺度不变性,关键点检测是在多尺度空间完成的。主要原理为:将输入图像通过不同尺度 σ 的高斯核函数连续滤波和下采样(sub-sampled),形成高斯金字塔图像,然后再对相邻尺度的两个高斯图像相减得到 DoG(difference-of-Gaussians)金字塔多尺度空间表示。对 DoG 尺度空间每个点与相邻尺度和相邻位置的点逐个进行比较,得到的局部极值位置即为关键点所处的位置和对应的尺度。再通过拟合三维二次函数进行位置和尺度的精确定位,同时去除低对比度的特征点和不稳定的边缘响应点,以提高抗噪声能力。DoG 算子定义为两个不同尺度的高斯核的差分,其具有计算简单的特点,是归一化 LoG (Laplacian-Gaussian)算子。高斯卷积核是实现尺度变换的唯一变换核^[1]。因此一幅图像 (x,y) 的尺度空间定义为 $L(x,y,\sigma)$,是由不同尺度的高斯函数 $G(x,y,\sigma)$ 与原图像卷积运算生成。图像金字塔的构建:图像金

字塔共 O 组, 每组有 S 层, 下一组的图像由上一组图像降采样得到, 如图 1 所示。

DoG 算子如下式所示:

$$D(x, y, \sigma) = (G(x, y, \sigma) - G(x, y, \sigma) * I(x, y)) \quad (1)$$

$$= L(x, y, k\sigma) - L(x, y, \sigma)$$

2.2. SIFT 描述子的构造

在构造 SIFT 描述子之前首先为每个关键点赋予一个主方向。主方向是指关键点邻域内各点梯度方向的直方图中最大值所对应的方向。后续的描述子构造均以该方向为参照, 这样所构造的描述子具有旋转不变性。各像素梯度的模和方向的计算公式为式(2)、式(3):

$$\theta(x, y) = \tan^{-1} \frac{L(x, y+1) - L(x, y-1)}{L(x+1, y) - L(x-1, y)} \quad (3)$$

其中, L 所用的尺度为每个关键点各自所在的尺度, 在实际计算中, 在关键点为中心的邻域内进行采样, 用直方图统计邻域像素的梯度方向。

描述子的构造过程为: 对任意一个关键点, 在其所在的尺度空间(高斯金字塔某一层), 取以关键点为中心的 16×16 像素大小的邻域, 再将此邻域均匀地分为 4×4 个子区域(每个子区域大小为 4×4 像素), 如图 2 所示。对每个子区域计算梯度方向直方图(直方图均匀分为 8 个方向)。然后, 对 4×4 个子区域的 8 方向梯度直方图根据位置依次排序, 这样就构成了一个 $4 \times 4 \times 8 = 128$ 维的向量, 该向量就是 SIFT 描述子。其中, 第 1 维对应于第一个子区域的第一个梯度方向, 第 2 维对应于第一个子区域的第 2 个梯度方向, 第 9 维对应于第二个子区域的第一个梯度方向, 依次类推^[1]。随后将 SIFT 特征进行归一化, 进一步减少了光照变化的影响。

2.3. SIFT 特征的主要特点

从理论上说, SIFT 是一种相似不变量, 即对图像尺度变化和旋转是不变量。然而, 由于构造 SIFT 特征时, 在很多细节上进行了特殊处理, 使得 SIFT 对图像的复杂变形和光照变化具有了较强的适应性, 同

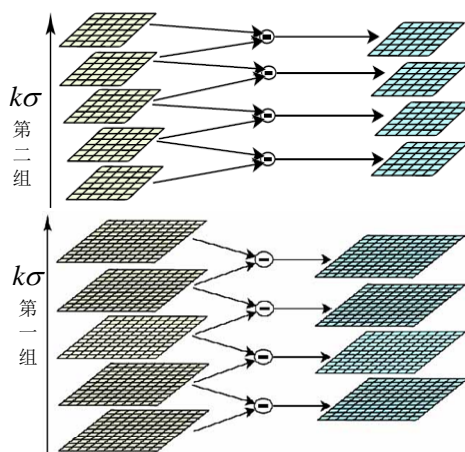


Figure 1. Gaussian and difference of Gaussian
图 1. 高斯金字塔和 DOG 算子的效果图

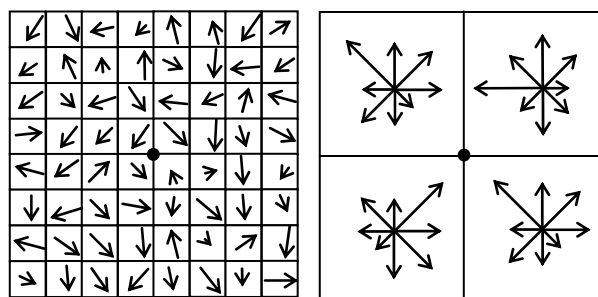


Figure 2. SIFT descriptor
图 2. SIFT 描述符

时运算速度比较快, 定位精度比较高:

- 1) 在多尺度空间采用 DOG 算子检测关键点, 相比传统的 LoG 算子的检测方法, 运算速度大大加快;
- 2) 关键点的精确定位不仅提高了精度, 而且大大提高了关键点的稳定性;
- 3) 在构造描述子时, 以子区域的统计特性, 而不是以单个像素作为研究对象, 提高了对图像局部变形的适应能力;
- 4) 对于 16×16 的关键点邻域和 4×4 的子区域, 在处理梯度幅度时都进行了类似于高斯函数的加权处理, 强化了中心区域, 淡化了边缘区域的影响, 从而提高了算法对几何变形的适应性;
- 5) 该方法不仅对通用的线性光照模型具有不变性, 而且对复杂的光照变化亦具有一定的适应性。

$$m(x, y) = \sqrt{(L(x+1, y) - L(x-1, y))^2 + (L(x, y+1) - L(x, y-1))^2} \quad (2)$$

3. 改进的 SIFT 算法

SIFT 的高维特征向量，不但占用较大的内存空间，而且影响特征匹配的速度。因此本文在特征点检测阶段，本文采用文献[1]中的方法，检测出每个关键点的位置，特征尺度以及主方向。在计算特征描述子阶段，本文采用基于特征点邻域梯度统计的思想，局部统计区域由 8 个同心方环分割出来的环形组成，如图所示(图 3 中仅给出 4 个同心方环，图中符号 * \triangle \diamond 及实线分别表示关键点的邻域)。同一方环的像素在图像发生改变后，相对位置并未发生改变，同时像素其它的相对信息基本保持不变。所以方环内 8 个方向梯度累加值排序后会对图像旋转保持一定程度的稳定性。因此，设定第一个方环内排序后的 8 个梯度累加值作为描述符的第 1 到第 8 的特征向量，以此类推。本文方法在实际计算中，靠近特征点的像素的梯度信息可以得到重复应用，越靠近特征点的像素的梯度信息对形成特征描述符的贡献越大，起到近似高斯加权的效果，减少远距离关键点的像素对关键点梯度信息的影响。这样 8 个方环的梯度累加值分别排序后组成了 $8 \times 8 = 64$ 个特征向量，定义为关键点的特征描述子，最后将此向量进行归一化处理，以减少光照变化的影响。建立新的描述子将原来的 128 维向量降低到 64 维，得到更加紧凑的描述子表达，而且关键点邻域的梯度更能表达出关键点的特征，进而能在保持匹配精度不变的情况下提高匹配速度。如图 4 为改进算法的计算流程图。

4. 实验结果及分析

为检验本改进算法的有效性，本文先后进行如下实验：一、将实验图像进行缩变、平移、旋转等来评价两种算法的匹配结果。二、将从不同视点拍摄的图像进行匹配，该组图像存在一定的辐射畸变和几何变形。

特征点匹配需要计算待测图像中每一特征点描述符与所有目标图像中全部特征点描述符的欧式距离，如果最小欧式距离小于次最小欧式距离的 0.8 倍即 $ratio = 0.8$ ，则认为两特征点匹配。经反复实验当 $ratio = 0.6$ 时有可能损失部分匹配点但也去除了部分误匹配点并且匹配率最高，如果某目标在待测图像上多于 7 对匹配点，则认为该目标可被可靠识别，7 对

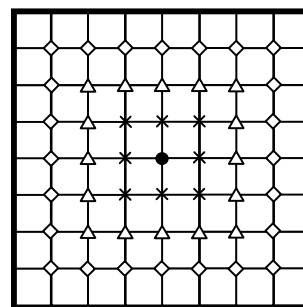


Figure 3. Improved SIFT descriptor
图 3. 改进的 SIFT 描述符

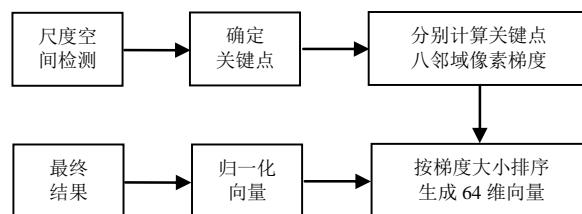


Figure 4. Flow chart of improved SIFT algorithm
图 4. 改进 SIFT 算法流程图

匹配点也能保证较高的仿射变换参数的计算精度。理论上匹配点越多，解析的仿射参数精度越高，但得到的匹配点越多越多耗费的计算时间也越多，实际上过多的匹配点无助于进一步提高匹配精度，一般有 20~50 对匹配点比较适中。使用 Intel Core 2 Duo 主频为 2.2 GHz，内存为 504 MB 的计算机，Matalab7.04 环境进行编程实验。

从实验结果图 5、图 6 及表 1、表 2 来看，改进算法在保持匹配精度的情况下，提高了匹配速度进而缩短了匹配时间。究其原因是原算法在对特征点进行描述时消耗的时间较长。

5. 结论

本文针对 SIFT 特征描述符的高维数、高复杂度

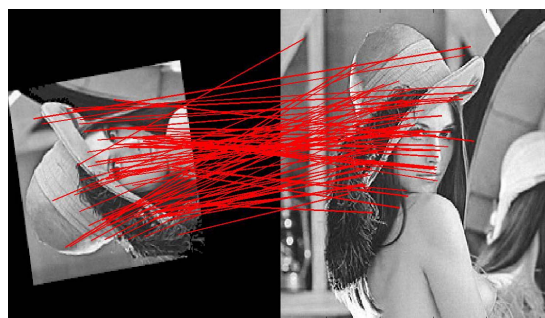


Figure 5. Feature matching of Lena image
图 5. Lena 图像的特征点匹配

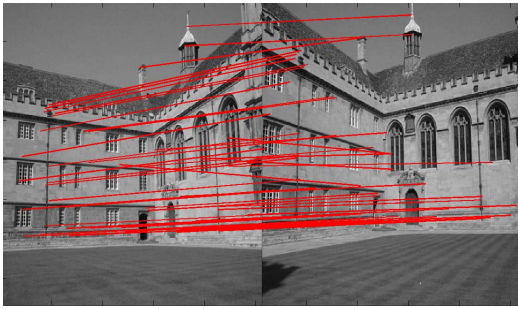


Figure 6. Feature matching of different visual angle image
图 6. 不同视点拍摄图像的特征点匹配

Table 1. Compare of two methods about test one
表 1. 实验一的两种算法的比较

Ratio = 0.6	原算法	改进后算法
初测特征点	215 333	215 333
匹配点数	80	80
误匹配点数	2	2
匹配率	97.5%	97.5%
匹配时间(s)	7.12	3.93

Table 2. Compare of two methods about test two
表 2. 实验二的两种算法的比较

Ratio = 0.6	原算法	改进后算法
初测特征点	1496 1541	1496 1541
匹配点数	59	59
误匹配点数	2	2
匹配率	96.6%	96.6%
匹配时间(s)	15.1	7.06

问题改进了 SIFT 算法的特征描述子, 在计算特征描述子阶段, 本文采用基于特征点邻域梯度统计的思想, 局部统计区域由 8 个同心方环分割出来的环形组成, 将描述符的维数由 128 维降至 64 维, 实验表明改进的算法在保持了匹配率的同时缩短了匹配时间。

参考文献 (References)

- [1] D. G. Lowe. Distinctive image features from scale invariant keypoints. *International Journal of Computer Vision*, 2004, 60(2): 91-110.
- [2] Y. Ke, R. Sukthankar. PCA-SIFT: A more distinctive representation for local image descriptors. *Proceeding Conference Computer Vision and Pattern Recognition*, 2004: 511-517.
- [3] M. Grabner, H. Grabner and H. Bischof. Fast approximated SIFT. *Proceedings Asian Conference on Computer Vision*, 2006, 1: 918-927.
- [4] E. Delponte, F. Isgro, F. Odone, et al. SVD-matching using SIFT features. *Graphical Models*, 2006, 68(5-6): 415-531.
- [5] K. Mikolajczyk, C. Schmid. A performance evaluation of local descriptors. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2005, 27(10): 1615-1630.
- [6] 秦暄, 罗丽莉. 改进的 SIFT 算法在图像匹配中应用研究[J]. *现代电子工程*, 2009, 5: 49-52.
- [7] 赵垒, 侯振杰. 一种改进的 SIFT 图像配准方法[J]. *计算机工程*, 2010, 36(12): 226-228.
- [8] 甘玲, 马艳春. 基于 SIFT 特征描述符的多尺度图像配准方法[J]. *计算机仿真*, 2010, 27(10): 207-210.
- [9] 于丽莉, 戴青. 一种改进的 SIFT 特征匹配算法[J]. *计算机工程*, 2011, 37(2): 210-212.
- [10] 武克南, 王丽萍. 一种基于不变特征的图像识别算法研究[J]. *甘肃科技*, 2009, 25(9): 52-55.