

改进的 SIFT 特征匹配算法

卢朝梁, 马丽华, 陈 豪

(空军工程大学信息与导航学院, 陕西西安, 710077)

摘要 针对 SIFT 特征匹配算法在特征空间中进行遍历搜索, 匹配速度慢的问题, 提出一种金字塔层间匹配算法。首先, 根据特征点所处金字塔层不同将特征点划分为不同的集合, 其次, 选择待配准图像金字塔中某一层集合, 在基准图像金字塔中寻找相似层, 并确定待配准图像金字塔与基准图像金字塔层之间的相似关系, 最后, 在相似层之间寻找匹配点。待配准图像中的选择层集合由金字塔底层到顶层, 寻找相似层所用时间依次缩短。与原算法相比, 该算法具有相同的旋转稳定性。将该算法与原算法分别应用实际图像配准中, 结果表明: 可见光图像配准中, 匹配速度提高了 3.2 倍, 正确匹配率提高了 10.3%, 红外图像配准中, 匹配速度提高 1.4 倍, 正确匹配率达到 100%。

关键词 SIFT; 图像配准; 特征匹配; 图像处理

DOI 10.3969/j.issn.1009-3516.2014.01.016

中图分类号 TP391 **文献标志码** A **文章编号** 1009-3516(2014)01-0072-05

An Improved Algorithm for SIFT Feature Matching

LU Chao-liang, MA Li-hua, CHEN Hao

(Information and Navigation College, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China)

Abstract: Aimed at the slow matching speed of SIFT feature matching method in searching the whole database of feature points for matching points, an improved matching method of searching between the layers of the pyramid is proposed for improving the speed of SIFT matching. First, according to the feature points in different layers of the pyramid, the feature points are divided into different sets. Then a layer set in the input image pyramid is chosen to search for the similar layer in the template image pyramids, and then the similarity between input image pyramid and the template pyramid is determined. Finally, the matches are found between the similar layers. The chosen layer in the input image pyramid is from the bottom of the pyramid to the top of the pyramid. By so doing, the time of searching for similar layer is shortened. Compared with the original algorithm, this algorithm has the same rotational stability. This algorithm and the original algorithm are applied to the actual image registration respectively, the results show that the matching speed is 3.2 times as fast as the original matching speed and the correct matching rate is increased by 10.3% in visual image registration. In infrared image registration the matching speed is 1.4 times as fast as the original matching speed and the correct matching rate reaches 100%.

Key words: SIFT; image matching; feature matching; image processing

收稿日期: 2013-07-10

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61108068)

作者简介: 卢朝梁(1990-), 男, 四川绵阳人, 硕士生, 主要从事图像匹配与融合, 红外图像故障诊断研究. E-mail: luchao-liang@gmail.com

引用格式: 卢朝梁, 马丽华, 陈豪. 改进的 SIFT 特征匹配算法[J]. 空军工程大学学报: 自然科学版, 2014, 15(1): 72-76. LU Chaoliang, MA Li-hua, CHEN Hao. An improved algorithm for SIFT feature matching[J]. Journal of air force engineering university: natural science edition, 2014, 15(1): 72-76.

图像配准是将 2 幅或者多幅不同传感器、不同视角、不同时间等条件下的图像进行变换,如平移变换、旋转变换、缩放变换及放射变换等。图像配准是图像拼接、图像融合、目标识别等应用的前提。

图像配准技术主要分为基于像素的匹配方法和基于特征的匹配方法。其中基于特征的匹配方法由于运算量小、匹配速度快、性能稳定等特点被广泛应用。尺度不变特征转换(SIFT)^[1]是 Lowe 提出的局部不变特征匹配算法,该算法对旋转、尺度缩放、亮度变化保持不变性,对视角变化、仿射变换、噪声也保持一定程度的稳定性。SIFT 的缺点是计算量大,对放射变换及视角变化等稳定性不强。国外学者针对 SIFT 提出了很多改进方法,例如 PCA-SIFT^[2]算法采用主成分分析法(PCA)对描述子进行降维, SUFT^[3]算法提高了特征点检测速度、GLOH^[4]算法增强了特征描述子的特性,ASIFT^[5]算法增强了放射变换的稳定性。国内也有很多学者对 SIFT 进行了一系列研究,例如曹娟等提出了基于 D2OG 特征点检测算子的改进的 SIFT 特征匹配算法^[6],巧妙简化高斯金字塔的结构,降低了算法复杂度和时间代价。王田甲等提出 60 维方形邻域描述子^[7],与原算法相比增加了邻域像素统计范围,增强了关键点的邻域信息。

国内外对 SIFT 算法特征点检测与特征点描述的改进以及与其他算法相结合报道比较多^[8-11],而对 SIFT 匹配策略的改进鲜见报道。目前 SIFT 特征点的匹配几乎在整个特征点空间进行匹配,当特征点空间很大时,匹配速度慢。本文针对 SIFT 匹配速度问题提出在一种基于金字塔层间匹配策略,通过确定待匹配图像金字塔与基准图像金字塔层之间的相似关系,在相似层之间寻找匹配点,大大提高匹配速度与匹配正确率。

1 SIFT 基本原理

SIFT 算法的理论是基于尺度空间理论。该算法的基本流程见图 1:

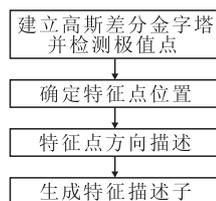


图 1 SIFT 算法流程

Fig.1 Algorithmic Process of SIFT

1.1 建立高斯差分金字塔并检测极值点

SIFT 算法是通过 DoG 算子(Difference-of-Gaussian)构建高斯差分金字塔来检测极值点。首先由一系列的不同核值 σ 的高斯函数 $G(x, y, \sigma)$ 与图像 $I(x, y)$ 做卷积得到的高斯尺度空间 $L(x, y, \sigma)$ 。其次高斯尺度空间进行采样得到高斯金字塔,将相邻的高斯尺度空间做差得到高斯差分尺度空间,即:

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

$$D(x, y, \sigma) = (G(x, y, k\sigma) - G(x, y, \sigma)) * I(x, y) = L(x, y, k\sigma) - L(x, y, \sigma) \quad (2)$$

高斯差分尺度空间中间层的每个像素与相邻的 26 个像素点(包含同层 8 个相邻的像素点以及上层和下层各 9 个相邻的像素点)进行比较,找出极值点,这些极值点也是候选点。

1.2 确定特征点位置

检测到的所有极值点通过三维二次函数进行拟合,精确极值点位置,去除对比度低的极值点和边缘上的极值点(对比度低的极值点对噪声很敏感,DoG 算子对边缘响应强烈),剩下的极值点称为图像的特征点。

1.3 特征点方向描述

以特征点为中心,在高斯尺度空间中,计算特征点及其邻域点的梯度幅度和方位角,用直方图统计特征点及其邻域的梯度方向,将直方图的峰值作为特征点的主要方向,如果存在其他方向能量高于主方向能量的 80%,那么,这些方向将作为特征点的辅助方向。

1.4 特征点描述符生成

为了确保旋转不变性,将坐标轴旋转至特征点主方向,以特征点为中心的 16×16 窗口,分成 16 个 4×4 子窗口。计算各子窗口内 16 个像素点的梯度方向,对各像素点的梯度方向进行高斯加权累加,形成一个种子点,每个种子点包含 8 个方向梯度信息,最后形成 128 维特征向量。

1.5 SIFT 匹配准则

Lowe 采用欧氏距离作为特征点描述符相似性的度量。设待配准图像为 M ,基准图像为 N ,图像 M 的特征点描述符集合为 $R = \{r_1, r_2, \dots, r_M\}$,图像 N 的特征点描述符集合为 $S = \{s_1, s_2, \dots, s_N\}$,则图像 M 中某个特征点描述符 r_m 与图像 N 中某个特征点描述符 s_n 的欧氏距离 d_{mn} 为:

$$d_{mn} = \sqrt{\sum_{i=1}^{128} (r_{mi} - s_{ni})^2} \quad (3)$$

图像 M 中某个特征点描述符 r_m 与图像 N 中

特征点描述符 s_n 有最近距离 d_{mn} 且与描述符 s_k 有次近距离 d_{mk} , 如果满足:

$$\frac{d_{mn}}{d_{mk}} < T \quad (n \neq k) \quad (4)$$

则接受该匹配点对。式(4)中 T 为常数, 通常取 $T \in (0.4, 0.8)$ 。

2 SIFT 匹配策略的改进

现有 SIFT 特征匹配算法在整个特征点描述符集合中进行搜索匹配, 当集合中元素个数很大时, 匹配时间很长。构建金字塔的目的是为了检测图像不同尺寸下的特征点, 使不同尺寸的图像或不同景深的图像有共同的特征点。因此, 在待配准图像金字塔与基准图像金字塔相似层之间进行搜索, 将大大减少运算量, 加快匹配速度。算法流程见图 2。

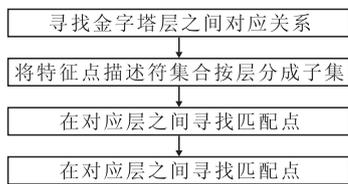


图 2 本文算法流程

Fig.2 Algorithmic process of this method

第 1 步, 处于金字塔同层的特征点描述符组成一个集合, 则待配准图像的特征点描述符集合为 $R = \{\{R_1\}, \{R_2\}, \dots, \{R_m\}\}$, 基准图像的特征点描述符集合为 $S = \{\{S_1\}, \{S_2\}, \dots, \{S_n\}\}$ 。

第 2 步, 取出待配准图像某一层的特征点描述符子集 R_i , 分别在基准图像特征点描述符子集里进行配准, 如果待配准图像的特征点描述符子集 R_i 与基准图像特征点描述符子集 S_j 有最大匹配点数, 则待匹配图像金字塔的第 i 层与基准图像金字塔的第 j 层是相似层。由于图像金字塔由下到上图像尺寸依次减小, 显然, 待匹配图像金字塔的第 $i+k$ 层与基准图像金字塔的第 $j+k$ 层是相似层。

第 3 步, 在待匹配图像金字塔与基准图像金字塔相似层之间寻找匹配点。

第 4 步, 将每层的匹配点组合形成最终匹配点集合。

2.1 待配准图像中特征点描述符子集 R_i 的选取

为了研究待配准图像特征点描述符子集的选取是否对相似层寻找有影响, 本文选择一幅原始图像作为待配准图像(分辨率为 720×480), 将原始图像缩小到原图的 0.9 倍作为基准图像 1, 缩小到原图的 0.5 倍作为基准图像 2, 见图 3:



图 3 待配准图像与基准图像

Fig.3 The input image and the template image

待配准图像、基准图像 1、基准图像 2 特征点数在图像金字塔各层中的分布见表 1。

表 1 特征点数在图像金字塔中的分布

Tab.1 Feature points' distribution in the image pyramid

	第 1 层	第 2 层	第 3 层	第 4 层	第 5 层	第 6 层
待配准图像	670	210	61	16	5	0
基准图像 1	669	182	54	17	2	0
基准图像 2	225	63	16	7	0	

由表 1 可知, 特征点在金字塔底层分布最多, 由图像金字塔的底层到顶层, 特征点数目呈指数下降,

待配准图像的选择层在图像金字塔中所处的位置不同, 其计算结果与所用时间见表 2。

表 2 待配准图像不同选择层在基准图像中寻找相似层的时间与结果

Tab. 2 The cost time and result of finding similar levels between chosen layer and template image

选择层	基准图像 1		基准图像 2	
	时间/ms	相似层	时间/ms	相似层
1	99.60	1	54.10	3
2	28.00	2	18.20	1
3	8.20	3	3.60	2
4	2.80	4	0.99	3
5	0.96	4	0.34	4

由表 2 可知待配准图像选择层所处的位置的上升,特征点数目越少,在基准图像中寻找相似层所用时间越少,但是,选择层处于金字塔的底层与顶层结果是不稳定的,因此,在寻找待配准图像与基准图像的相似层时,尽量选择待配准图像金字塔中层的某层,保证寻找相似层结果的准确性,同时缩短相似层寻找时间。

2.2 改进匹配策略 SIFT 算法的旋转稳定性

为研究改进匹配策略 SIFT 算法对图像旋转的敏感性,将图 3 的待配准图像旋转不同角度作为基准图像。改进匹配策略的匹配点数 N_1 ,原匹配策略的匹配点数为 N_2 ,则文中改进匹配策略的匹配算法与原匹配策略的匹配算法的匹配点数比为 N_1/N_2 ,在不同旋转角度下,改进匹配策略的匹配算法与原匹配策略的匹配算法的匹配点的比值见图 4。

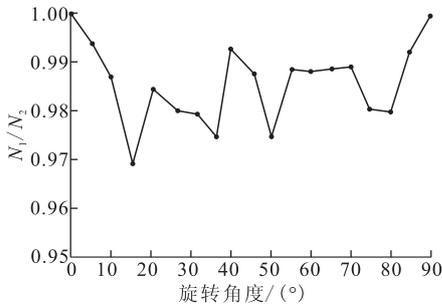


图 4 不同旋转角度下的比值

Fig.4 The ratio under different rotation angles

图 4 表明:在不同旋转角度下,改进匹配策略的匹配算法与原匹配策略的匹配算法的匹配点数目之比始终在 0.96 以上,即改进匹配策略的匹配算法对旋转保持较高的稳定性。

3 实验与分析

为了全面地反映算法性能,从实际出发,选择以不同焦距拍摄的可见光图像与红外图像,从匹配时间(Time),匹配点对数(Num),以及正确匹配率(Rate)3 个方面对原算法与改进算法进行比较,实

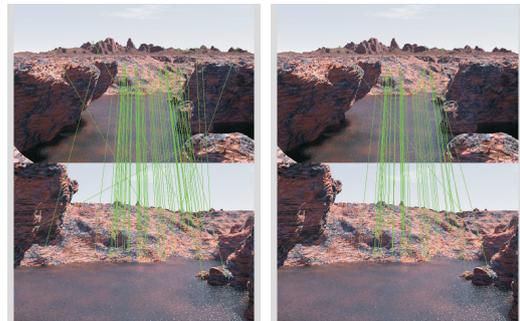
验平台设置见表 3。

表 3 实验平台设置

Tab. 3 Experimental platform settings

实验系统	Windows XP
CPU	Intel Core i3-2120
内存	2 GB
编程环境	Matlab R2010a
式(4)中 T 的取值	0.6
待配准图像中特征点子集 R_i 的选取	第 2 层

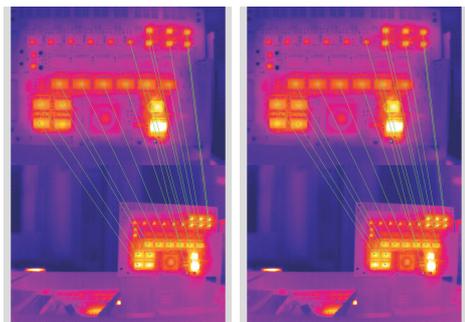
实验采用 2 组图像,第 1 组图像为不同焦距拍摄的可见光图像,分辨率为 720×480 ,检测到的特征点数分别为 962,1 212。第 2 组图像为拍摄距离不同的红外图像,图像的尺寸为 320×240 ,检测到的特征点数分别为 37,41。对两组图像的特征点分别用原匹配策略和改进匹配策略进行匹配。可见光图像匹配结果见图 5,红外图像匹配结果见图 6。



(a) 原匹配策略匹配结果 (b) 改进匹配策略匹配结果

图 5 可见光图像匹配结果对比

Fig.5 Match result comparison of visual image



(a) 原匹配策略匹配结果 (b) 改进匹配策略匹配结果

图 6 红外图像匹配结果对比

Fig.6 Match result comparison of infrared image

图 5 与图 6 中(a)是原匹配策略匹配结果,(b)是改进匹配策略匹配结果。匹配时间(Time)、匹配点对数(Num)、匹配正确率(Rate)等数据对比结果见表 4。

由表 4 数据可知,在红外图像组中,图像的特征点数目较少,改进匹配策略的算法与原匹配策略算法性能相当。在可见光图像组中,图像的特征点数目较多,改进匹配策略的算法性能与原匹配策略算

法相比,匹配时间提高3倍之多,错误匹配点数明显下降,匹配正确率提升10.3%。

表4 改进匹配策略匹配算法与原匹配策略匹配法数据对比

Tab. 4 The comparison between this matching algorithm and original matching algorithm

	可见光图像		红外图像	
	原匹配策略	改进匹配策略	原匹配策略	改进匹配策略
匹配点数	85	52	12	2
错误匹配点数	12	2	0	0
匹配正确率/%	85.9	96.2	100.0	100.0
匹配时间/ms	164.700	51.658	0.449	0.311

4 结语

本文在研究 SIFT 算法原理的基础上,提出基于金字塔层匹配策略。与原算法相比,改进算法通过在金字塔相似层之间搜索匹配点,缩小了搜索范围,从而提高匹配速度,同时提高了匹配正确率,但匹配点数有所下降。图像特征点数目越大,改进匹配策略算法与原匹配策略算法相比,匹配速度提升越大。

参考文献(References):

- [1] David G. Lowe, Distinctive image features from scale-invariant keypoints [J]. International journal of computer vision, 2004, 60(2): 91-110.
- [2] Yan Ke, Rahul Sukthankar, PCA-SIFT: a more distinctive representation for local image descriptors [C]//Proceeding of the 2004 IEEE computer vision and pattern recognition. New York: IEEE press, 2004: 1063-6919.
- [3] Herbert B, Tinne T, Luc V G. SURF: speeded up robust features [J]. Computer vision and image understanding, 2008, 110(3): 346-359.
- [4] Mikolajczyk K, Schmid C. A performance evaluation of local descriptors [J]. IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence, 2005, 27(10): 1615-1630.
- [5] Morel J M, Yu G. ASIFT: a new framework for fully affine invariant image comparison [J]. SIAM journal on imaging sciences, 2009, 2(2): 438-469.
- [6] 曹娟, 李兴玮, 林伟廷, 等. SIFT 特征匹配算法改进研究 [J]. 系统仿真学报, 2010, 22(11): 2760-2763.
CAO Juan, LI Xingwei, LIN Weiting, et al. Study on improved SIFT feature matching algorithm [J]. Journal of system simulation, 2010, 22(11): 2760-2763. (in Chinese)
- [7] 王田甲, 刘国荣. SIFT 改进算法在图像配准中的应用 [J]. 微电子学与计算机, 2011, 28(5): 184-188.
WANG Tianjia, LIU Guorong. Improved SIFT algorithm for image matching [J]. Microelectronics & computer, 2011, 28(5): 184-188. (in Chinese)
- [8] 张姣, 李俊山, 朱英宏, 等. SIFT 与形状上下文结合的异源图像匹配算法 [J]. 激光与红外, 2012, 42(11): 1296-1300.
ZHANG Jiao, LI Junshan, ZHU Yinghong, et al. Matching method of IR/Visual images based on SIFT and shape context [J]. Laser & infrared, 2012, 42(11): 1296-1300. (in Chinese)
- [9] 陈梦婷, 闫冬梅, 王刚. 基于 Harris 角点和 SIFT 描述符的高分辨率遥感影像匹配算法 [J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(11): 1453-1459.
CHEN Mengting, YAN Dongmei, WANG Gang. Algorithm of high-resolution remote sensing image matching based on Harris corner and SIFT descriptor [J]. Journal of image and graphics, 2012, 17(11): 1453-1459. (in Chinese)
- [10] 邵能建, 吴德伟, 戚君宜. 基于改进 SIFT 的高鲁棒性特征点提取方法 [J]. 航空学报, 2013, 33(12): 2313-2321.
TAI Nengjian, WU Dewei, QI Junyi. A method to extract high robust keypoints based on improved SIFT [J]. Acta aeronautica et astronautica sinica, 2013, 42(11): 1296-1300. (in Chinese)
- [11] 万雪, 张祖勋, 柯涛. 一种利用零交叉点理论的改进 SIFT 特征提取算法 [J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2013, 38(3): 270-273.
WAN Xue, ZHANG Zuxun, KE Tao. An improved SIFT operator based on the theory of zero-crossing on feature extraction [J]. Journal of Wuhan university: geomatic and information science edition, 2013, 38(3): 270-273. (in Chinese)

(编辑: 徐楠楠)