

无人机航拍图像配准算法研究

史俊莉

(河南工业职业技术学院 建筑工程系, 河南 南阳 473000)

摘要:针对无人机航拍图像对尺度变化不明显的问题,在经典 SIFT 特征匹配算法的基础上,提出了一种改进的 CS-SIFT 特征匹配算法.该算法通过建立 S 层金字塔,达到降低多尺度空间和减少特征点数量的目的.在特征向量的匹配中,利用准欧氏距离替代常用欧氏距离,并通过极限几何约束,消除部分错误配准点对,进一步提高特征匹配效率. Matlab 仿真结果表明,改进后的算法具有较高的配准精度和较少的匹配时间,适用于对实时性要求较高的无人机航拍系统.

关键词:无人机航拍图像;CS-SIFT;尺度空间;准欧氏距离

中图分类号:TP751 **文献标志码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.2095-476X.2015.01.013

Research on UAV aerial image registration algorithm

SHI Jun-li

(Department of Architectural Engineering, He'nan Polytechnic Institute, Nanyang 473000, China)

Abstract: Aiming at the problem that UAV aerial image was not obvious to scale change, an improved CS-SIFT feature matching algorithm was presented based on the classical feature matching algorithm of SIFT (scale invariant feature transform). The algorithm established S -layer pyramid to reduce the multi-scale space and the number of feature points. In the matching feature vectors, quasi-Euclidean distance substituted commonly used Euclidean distance and geometric constraints limited by eliminating part of the registration error points to further improve the efficiency of feature matching. The simulation results using Matlab language indicated that the improved algorithm had higher matching accuracy and needed less matching time and it was quite suitable for the UAV aerial system of high real-time demand.

Key words: UAV aerial image; CS-SIFT; scale-space; quasi-Euclidean distance

0 引言

无人机航拍图像能够准确、全面地提供地域动态观测数据,是多领域获得信息的重要手段之一^[1].理论上,利用无人机航拍图像进行图像匹配,能够达到对地侦察和目标精确定位等目的,但是在实际运用中,往往因为图像匹配处理速度慢而无法

达到目的.

图像特征点是指图像中具有鲜明特性并能把图像中的目标物体识别出来的点^[2].特征点的信息含量较高,可以对视觉处理提供足够的约束,其数目相对于图像像素点来说微不足道,这样就可以提高计算速度,使实时处理成为可能.在特征点的提取和匹配方法中,D. G. Lowe^[2]在2004年提出一种

收稿日期:2014-09-18

基金项目:国家自然科学基金项目(61271279)

作者简介:史俊莉(1984—),女,河南省南阳市人,河南工业职业技术学院助教,硕士,主要研究方向为大地测量学与测量工程.

基于尺度空间的尺度不变特征变换算法——SIFT (scale invariant feature transform) 算法,它具有对平移、旋转、尺度缩放、亮度变化保持不变性,同时对噪声、视角变化、仿射变化也具有相当程度的鲁棒性的特点.但 SIFT 算法也有很多不足,其提取的特征点相对繁多、提取速度较慢、计算量大,不适合实时处理,尤其是在无人机实时处理系统中,大量的特征点及后续匹配会占用大量内存和时间开销.

无人机处于高空,其拍摄距离远大于地面的起伏变化,因而其匹配性能对起伏尺度的变化不敏感.本文对 SIFT 特征点提取算法进行改进,提出一种 CS-SIFT 算法,并在特征点匹配时运用准欧氏距离公式,以期进一步缩短图像配准时间.

1 SIFT 算法

1.1 特征点检测

首先,采用 SIFT 算法计算高斯金字塔图像,并对高斯金字塔图像进行处理得到高斯差分多尺度空间 DoG (difference-of-Gaussian),在 DoG 尺度空间内求得图像局部极值点;然后通过子像素插值的方法对这些极值点进一步精确定位,并采用高斯差分图像的 Hessian 矩阵剔除初始特征点中的边缘点和对比度较低的点,从而得到图像的精确特征点. SIFT 算法特征提取步骤如下^[3-5].

1) 生成尺度空间. 首先将航拍图像 $I(x, y)$ 的尺度空间用函数 $L(x, y, \sigma)$ 表示:

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

其中, * 表示卷积运算,高斯尺度函数 $G(x, y, \sigma) =$

$$\frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-(x^2+y^2)/2\sigma^2}$$

在实际应用中,先是对相邻的两个高斯尺度空间图像做减处理,获得与 DoG 的相应值函数 $D(x, y, \sigma) = (G(x, y, k\sigma) - G(x, y, \sigma)) * I(x, y) = L(x, y, k\sigma) - L(x, y, \sigma)$,然后计算高斯差分图像间的局部极值,获取高斯空间域上的具体特征点坐标.

2) 检测极值点. 把高斯空间各层图像中所有像素点与其相邻点比较,计算各点在图像域和尺度域之间的精确大小. 为保证被检测点在二维空间和尺度空间都可以寻找到极值点,像素点要与其同层相

邻的 8 个点、上下层对应的 9×2 个点,总计 26 个点比较.

3) 精确定位极值点. 利用候选极值点处的拟合函数 $D(X) = D + \frac{\partial D^T}{\partial X} X + \frac{1}{2} X^T \frac{\partial^2 D}{\partial X^2} X$ 求导,得极值点

$$X = - \left(\frac{\partial^2 D}{\partial X^2} \right)^{-1} \frac{\partial D}{\partial X}$$

与对应极值 $D(X) = D + \frac{1}{2} \frac{\partial D^T}{\partial X} X$.

通过不断修正 X ,获取局部最优点,剔除不稳定且对比度较低的点. D. G. Lowe 在文献[6]中描述,如果极值点不大于 0.04,那么就可以抛弃它(其中像素灰度值范围[0,1]).

去除边缘点时获取特征点的 Hessian 矩阵,令 $Tr(H)$ 和 $Det(H)$ 分别为其特征值的和与积, γ 为其特征值的比. 为了检测主曲率是否小于 γ ,只需检测 $\frac{Tr(H)^2}{Det(H)} < \frac{(\gamma + 1)^2}{\gamma}$ 是否成立,一般 γ 取 6 ~ 10.

1.2 SIFT 特征描述符的生成

得到特征点之后,需要对其进行方向参数计算. 建立关键点方向参数的主要目的是,当进行匹配时能够将图像旋转到主方向,以保持其旋转不变性. (x, y) 坐标的梯度值和主方向描述分别为①式和②式*.

为了获取主方向,用直方图来计算像素的梯度方向,并在以特征点为中心的领域窗口内进行采样,读取直方图的极值.

为所有关键点确立特定的描述符,可以利用特定向量作为描述子,避免它因外界条件(如视角、仿射等)的不同而变化. SIFT 描述子是特征点领域尺度空间梯度统计结果的一种描述,把关键点领域图像区域分块,然后生成块内梯度直方图,计算拥有独特性的向量,此向量是特定区域图像信息的一种具体化,具有不变性.

2 SIFT 算法的改进

在基于 SIFT 算法的特征检测中,高斯滤波特性能够使特征点避免噪声影响,高斯差分则使特征点免遭亮度差异影响. 对于无人机航拍图像而言,实时获取的航拍图像与预存图像之间的尺度变换不大,所以只需关注特征点的配准,图像尺度可忽略,

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

②式 $\theta(x, y) = \arctan((L(x, y + 1) - L(x, y - 1)) / (L(x + 1, y) - L(x - 1, y)))$

故 SIFT 算法不需要搜索整个尺度空间. 基于此, 笔者提出了 CS-SIFT 算法, 旨在降低尺度空间复杂度和减少特征点的数量^[7].

2.1 CS-SIFT 算法

1) 降低空间复杂度. 首先需要建立 S 层金字塔, 将图像金字塔分为 S 组, 且第一组有 s 层, 其余 $S-1$ 组仅有 1 层图像, 第一组图像采用与经典 SIFT 算法同样的高斯差分算法, 生成 $s-1$ 层与原图像同样大小的高斯差分图像, 其他组图像是由上组图像的 $1/2$ 采样得到, 上组图像比下组图像尺寸小, 一般上组图像行和列的大小是相邻下层图像的 $2^{-1/s}$.

2) 极值点检测. 由于只有第一组构造了高斯差分图像, 其他组仅有 1 幅图像, 所以第一组采用经典 SIFT 算法极值检测方法, 其他组仅对每个像素与周围 8 邻域的像素进行比较, 判断其是否为极值点. 如果是极值点, 计算这个像素点 8 邻域的像素平均值, 假如该平均值也是另外一组的 16 邻域的极值点, 则采样点设为 CS-SIFT 的极值点^[6].

CS-SIFT 算法后面的步骤与 SIFT 算法类似. 改进算法只降采样 1 组图像, 在这组图像上进行关键点计算, 就可以保证足够多的特征数量.

2.2 特征点匹配

虽然减少了特征点的数量, 但特征点向量高达 128 维, 其配准时的计算量对无人机实时处理造成不利影响, 本文在特征点的匹配中, 利用准欧氏距离^[8]代替常用的欧氏距离, 并通过极限几何约束消除部分错误配准点对, 以进一步缩短配准时间, 提高算法的配准效率.

SIFT 算法图像配准一般采用欧氏距离作为特征的相似性度量, 它是多维空间中两点之间的真实距离. 在二维情况下欧氏距离的定义为

$$L_0 = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \quad (3)$$

而准欧氏距离是按照水平、垂直和对角线分段估计全部的欧氏距离, 即

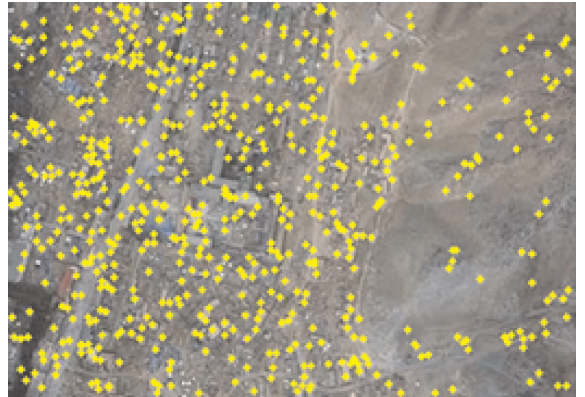
$$L_q = |x_1 - x_2| + (\sqrt{2} - 1) |y_1 - y_2| \quad (4)$$

其中, 式 (4) 中 L_q 的计算量比式 (3) 中 L_0 小得多, 但是, 如果直接使用准欧氏距离替代欧氏距离进行计算, 则获取的值偏小. 若将 L_q 进行线性处理后代替 L_0 , 既可以确保计算量小, 又能使最终计算的偏差减少. 本文中用 αL_q 代替 L_0 , 即 $L_0 = \alpha L_q$. 若图像中生成的 128 维 CS-SIFT 特征点有 K 个, 则乘法计算量较少为 $127 K$. 算出两点距离最短的特征向量就

是图像配准的配准点对, 所以用这个方法可以明显缩短运算时间, 提高算法的配准效率.

3 实验结果及分析

一幅无人机航拍图像分别采用 SIFT 算法与改进后的 CS-SIFT 算法进行特征点检测, 结果如图 1 所示. 检测到的特征点太多, 会严重影响处理速度, 但太少也不利于精确配准. 由图 1a) 可见, SIFT 算法检测到非常多的极值点. 由图 1b) 可见, CS-SIFT 算法得到的特征点明确、稳定, 并且数量适中.



a) SIFT 算法的检测结果



b) CS-SIFT 算法的检测结果

图 1 两种算法的特征点检测结果之比较

本实验重点是要降低 SIFT 算法的计算时间, 所以时间特征是很重要的观察量, 但同时也使用配准率和误配准率来评价改进后特征描述符的性能. 在进行匹配的过程中, 对算法中的 α 值不断地赋值、不断地测试, 得到其最佳 α 值为 $1.001 \sim 1.100$.

通过在 Matlab 上反复进行 100 次以上实验, 计算图像配准时间、误配准率的对比见表 1, 其中, 配准时间表示对前 100 个特征点进行配准的时间.

表1 对比不同算法与CS-SIFT算法的处理结果

算法	特征系数 α	特征点数量	配准时间 /ms	误配准率 /%
SIFT 算法	无	782	63.5	6.26
	1.090	782	49.7	6.26
文献[9]算法	无	542	48.4	9.90
	1.090	542	37.3	9.90
CS-SIFT 算法	无	512	46.7	7.42
	1.090	512	36.6	7.42

由表1可知,在图像相同的条件下,文献[9]算法和CS-SIFT算法相对保持了SIFT特征配准的精度,而且配准时间大约减少了25%,如果再加上准欧氏距离(无特征系数),配准时间进一步缩减,最终时间减少达40%。不难发现,虽然文献[9]算法与CS-SIFT算法在时间的缩减方面,几乎没有差别,但是前者精度降低程度较后者高。

4 结论

本文基于SIFT算法提出了一种改进的CS-SIFT算法,该算法针对无人机航拍图像对尺度变化不明显的问题,通过建立S层金字塔,达到降低多尺度空间和减少特征点数量的目的。在特征向量的匹配中,利用准欧氏距离替代常用的欧氏距离,并通过极限几何约束消除部分错误配准点对,从而进一步提高特征匹配效率。经验证,改进后的算法运算效率高、性能稳定。在特征点配准过程中,用准欧氏距离来代替欧氏距离,可以显著提高图像配准时效性。

同时发现,改进后的算法使图像的配准度降低了,而且当预处理目标图像的尺寸较大时,图像的

数据量增大,特征点数量随之增多,特征配准的计算量就会增加,配准的速度也会降低。今后需进一步改进配准算法,以提高配准精度并降低时间消耗。

参考文献:

- [1] Barmca D I, Silverman H F. A class of algorithms for fast digital image registration[J]. IEEE Transactions on Computers, 1972, C-21(2):179.
- [2] Lowe D G. Distinctive image feature from scale-invariant keypoints[J]. IEEE International Journal of Computers, 2004, 60(2):91.
- [3] Zhang Y, Zhu D, Wang Y L. Improved fast feature matching method of SIFT[J]. Control and Automation Publication Group, 2008, 24(11):220.
- [4] 肖健. SIFT特征配准算法研究与改进[D]. 重庆:重庆大学, 2012.
- [5] Schmid C, Mohr R. Local gray value invariants for image retrieval[J]. IEEE Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1997, 25(8):15.
- [6] Lowe D G. Local feature view clustering for 3D object recognition[C]//Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on CVPR 2001, Piscataway: IEEE, 2001:682.
- [7] 刘宏娟. 基于DSP的航拍图像配准系统的研究与实现[D]. 西安:西安电子科技大学, 2012.
- [8] 程德志, 李言俊, 余瑞星. 基于改进SIFT算法的图像配准方法[J]. 计算机仿真, 2011, 28(7):285.
- [9] 姚文伟, 张智斌, 李国, 等. 图像匹配算法SIFT的改进[J]. 郑州轻工业学院学报:自然科学版, 2011, 26(6):67.