

SIFT 算法的改进

The Improvement of SIFT Algorithm

余博译¹, 李美燕²

YU Bo-yi¹, LI Mei-yan²

(1. 南宁市第二中学, 广西南宁 530022; 2. 广西大学计算机与电子信息学院, 广西南宁 530004)

(1. The Second Middle School of Nanning, Nanning, Guangxi, 530022, China; 2. School of Computer and Electronic Information, Guangxi University, Nanning, Guangxi, 530004, China)

摘要:【目的】为了减小三维重建的重投影误差, 提出一种改进的 SIFT(Scale Invariant Feature Transform) 算法。

【方法】首先使用 SIFT 提取和匹配特征点, 将这些匹配点作为归一化互相关(Normalized Cross-correlation, NCC)的初始匹配对; 然后使用特征点的主方向对局部图像进行旋转校正; 最后计算该初始匹配对 NCC 系数并将相似地貌中的误配点剔除。【结果】该方法剔除了大量的误配点, 提高了特征点的正确匹配率和重建结果的精度。【结论】改进的 SIFT 算法能够得到更为准确的匹配点对, 获得较好的重建效果。

关键词: SIFT 三维重建 重投影误差 归一化互相关(NCC) 主方向 正确匹配率 精度

中图分类号: TP317.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-7378(2014)01-0051-04

Abstract: 【Objective】In order to reduce the reprojection error of reconstruction, an improved SIFT algorithm is proposed. 【Method】Firstly, SIFT is used to detect and match the features. These match points are used as the initial match on normalized cross-correlation (NCC). Then dominant direction of feature points is used for rotation correction of local image. Finally, the coefficient of normalized cross-correlation matching(NCC) is calculated and the mismatches points in the similar geographical environment are removed. 【Result】This method removes a lot of mismatches points, and improves the rate of correct matching and precision of reconstruction. 【Conclusion】Experiment results show that the improved algorithm can achieve reconstruction effect.

Key words: SIFT, 3D reconstruction, reprojection error, normalized cross correlation (NCC), dominant direction, correct matching rate, precision.

【研究意义】由于无人飞行器航空摄影测量具有机动、高效、低成本等特点, 能有效改善高分辨率遥感数据缺乏的现状, 可广泛应用于土地、矿产资源管理、地质环境与灾害防治、地形图局部更新以及农业、林业、水利、交通等领域^[1]。因此, 从图像恢复三维地理信息仍是计算机视觉和摄影测量等相近领域关注的焦点^[2]。【前人研究进展】传统的恢复三维信息的方法结合了成熟的计算机视觉和摄影测量的运动获取结构(Structure from Motion, SFM)^[3]技

术, 开源的 SFM 优化算法 BA (Bundle Adjustment)^[4]中使用 SIFT(Scale Invariant Feature Transform)^[5]进行特征点的提取和匹配, 它把 herein 矩阵作为提高匹配收敛图像的目标, 是最有效地保持尺度、旋转、亮度不变性的算法之一, 已被广泛应用于遥感图像的自动配准中。杨晓敏等^[6]采用 SIFT 算法提取图像的特征点及其描述, 然后采用基于置信度的匹配算法进行特征点的匹配, 找到图像间准确的匹配点对。【本研究切入点】在大片相似的地理环境区域, 如大片森林、稻田、甘蔗地、湖泊或海田等, 使用 SIFT 特征提取和匹配时可能会匹配到相似地貌的另一个点而导致匹配不准确的情况。如图 1 所示, 大量的误匹配点会影响到三维点云的坐标, 增

收稿日期: 2013-12-10

修回日期: 2013-12-30

作者简介: 余博译(1996-), 男, 主要从事计算机视觉研究。

大重投影误差,降低三维重建的精度。【拟解决的关键问题】通过对比匹配准确率、三维重建重投影误差及SFM迭代时间,研究和分析在SIFT特征匹配的基础上使用归一化互相关匹配(Normalized Cross-correlation, NCC)^[7]原理进行图像精确匹配的可行性。结果表明本改进算法能够为SFM过程提供准确的匹配对。算法首先提取SIFT特征匹配对作为初始特征匹配对;改进算法根据NCC对旋转图像敏感的特点,使用SIFT特征点的主方向对图像进行局部旋转矫正,以解决风力等自然条件引起的小型无人机机身晃动导致图像旋转的情况;然后计算该匹配对的NCC系数,设置阈值(G),将NCC系数小于阈值的匹配对认为是错误的匹配剔除,得到高准确度的匹配对。

1 SIFT 算法改进

Lowe在2004年提出了SIFT尺度不变特征检测和匹配算法,其主要原理是在不同尺度空间寻找极值点,得到位置、尺度、旋转不变的量,确定关键点方向,生成关键点特征描述符,根据这些不变量特征进行特征点的匹配。

SIFT算法可以达到尺度旋转不变性的要求,但在大片相似的地貌中,SIFT使用欧式距离进行特征点匹配后,仍会出现大量的误配对,因此本文在SIFT的基础上使用NCC算法的原理,对大片相似灰度的图像特征点进行进一步匹配,利用NCC系数作为量度将误配点剔除。图像的相似性归结为2个向量的相似性,将向量相似性推广到二维图像中得到NCC系数定义如下^[8,9]:

$$R(u, v) = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (x_{i+u}, y_{j+v} \cdot y_{ij})}{\left[\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (x_{i+u}^2, y_{j+v} \cdot y_{ij}) \right]^{1/2} \left[\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (y_{ij}^2) \right]^{1/2}} \quad (1)$$

式中 $R(u, v)$ 为点 (u, v) 处的NCC系数; $M \times N$ 为匹配模板的大小; x_{i+u}, y_{j+v} 为参加匹配的2幅图像中 $(i+u, j+v), (i, j)$ 处的灰度值。 $R(u, v)$ 的值越大,这2幅图像越相似,因此,可以根据 $R(u, v)$ 值的大小判断2幅图像的相似性。由相关系数的定义可知 $R(u, v)$ 的取值范围为 $[-1, 1]$,值越大,说明

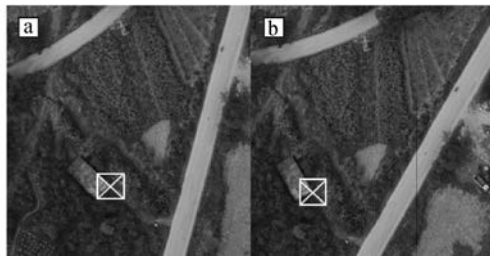


图1 存在旋转的图像与原图像素的对应关系

(a)原图所取的模板窗口,(b)存在旋转的图像所取的模板窗口。

两个点的相关程度越高。

NCC算法对噪声的鲁棒性较好,匹配精度高,常被融合到更为复杂的匹配算法框架中。NCC相关系数的分子本质上是代表灰度图的2个矩阵中,对应各点的像素值两两相乘再求和,在没有旋转的情况下,它可以得到相对比较好的结果^[10]。但是NCC对旋转非常敏感,如果图像存在旋转,首先,同样大小的模板窗口与对应匹配点选取的实时窗口覆盖的图像已经不同,像素相差可能很大;其次,窗口中除了中心点(即特征点)的像素之外,窗口内的像素不再存在一一对应关系(如图1)。因此,NCC方法就不再适应存在旋转的情况。

然而在基于地面航拍图像的三维重建中,图像的获取由小型无人机按照一定的轨道拍摄所得。由于风力等自然条件的影响,小型无人机在航拍过程中会出现航线偏移或晃动,使得获取的图像存在旋转。NCC对旋转非常敏感,所以本文选取SIFT特征点的主方向对图像局部区域进行旋转以解决NCC不适用的情况。

如图2所示,在生成SIFT特征点描述算子的过程中,第一步是将坐标轴旋转为关键点的主方向,以确保特征点旋转不变性。因此,本文算法利用主方向的特点,将旋转图像中特征点 j 的坐标旋转到特征点 i 的主方向上,从而完成局部旋转矫正。

假设有匹配对 (i, j) ,其中特征点 j 的主方向与特征点 i 的主方向的相对夹角为 $\beta = \theta_i - \theta_j$,则图像旋转后坐标为:

$$\begin{pmatrix} \hat{x} \\ \hat{y} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \beta & -\sin \beta \\ \sin \beta & \cos \beta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}, \quad (2)$$

其中 (x, y) 和 (\hat{x}, \hat{y}) 分别为图像中特征点 j 的原始坐标和旋转后的坐标。

如图3所示,本文改进算法的流程是:首先,SIFT算法检测到每个特征点的方向(θ)信息,将匹

配的特征点作为 NCC 初始点,缩小 NCC 匹配范围。然后,利用 SIFT 特征点主方向对旋转图像做局部旋转,以解决 NCC 不适应旋转图像的情况。最后,进行归一化互相关匹配,假设 SIFT 提取出 2 幅图像的特征点匹配对为 (i, j) , 图像经局部旋转后使用大小为 $M \times N$ 的模板, 遍历整个移动窗口(假设为 $w \times h$), 计算 NCC 系数,取最大值作为特征点 i 与 j 的相关系数。当相关系数小于某个阈值 G 时,认为两个特征点不相关,将其剔除;选择 NCC 系数大于阈值的匹配对作为最终的特征匹配点。这样可以提高特征点的显著性,同时减少匹配对的数目,减少误配点,为提高重建精度做准备。

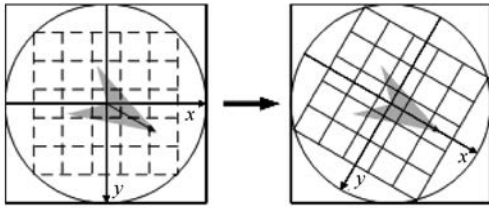


图2 Sift 特征点主方向

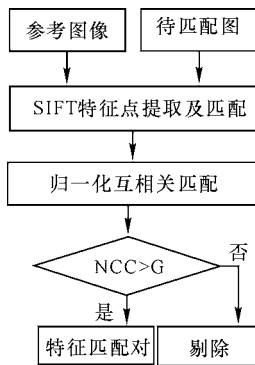


图3 改进算法流程图

为验证本文算法对三维重建结果精度的影响,我们将改进算法应用到 SFM 流程中,用于完成场景结构和相机位姿的估计,从而检验三维重建的重投影误差。传统 SFM 方法的流程如下:首先输入图像序列,然后使用改进的 SIFT 对每张图像进行特征点的检测和匹配,使用检测到的匹配点进行基础矩阵 F 和单应矩阵 H 的估计,计算 tracks,生成连通图 G , 依赖图 G 依次估计相机外部参数并恢复特征点坐标。迭代执行 SFM 优化算法 BA 直至完成整个场景结构和位姿的估计。引入本文算法后 SFM 的步骤如下:

1) 使用 SIFT 提取出图像对 (I_i, I_j) 的特征点并进行初步匹配,得到特征点方向向量;

2) 计算匹配对 (i, j) 主方向的相对夹角 β , 对 I_j 的移动窗口进行旋转,计算出 I_j 旋转后匹配点的坐

标 (\hat{x}, \hat{y}) ;

3) 将两特征点作为模板窗口的中心,计算 NCC 系数,将系数小于阈值 G 的匹配对剔除;

4) 重复 1)、2)、3) 操作,直到计算全部图像中所有匹配对的 NCC 系数;

5) 执行 BA,完成 SFM 过程,计算相机外部参数和 3D 点云坐标恢复。

2 算法的验证

实验平台为 Windows 7 操作系统,内存为 8G,使用显卡为 NVIDIA GeForce GTX660 的个人电脑。编译软件使用 VS2010,结合 OpenCV 库。实验所用的小型无人机航拍数据来自南宁有无科技有限公司,采用多种图像进行实验来测试本文算法对误配点的剔除结果;并对图像大小进行更改,用不同图像大小的数据来测试改进算法对三维重建结果精度的影响。

2.1 匹配准确度的验证

使用一组大小为 2000×1333 的图像进行实验,由于风力等自然条件影响,部分图像存在轻微旋转。NCC 可以很方便的设置阈值,因此, SIFT 与 NCC 组合的特征点检测匹配器能够根据设置不同的阈值检测剔除误配点。本次实验 NCC 的模板窗口大小为 9×9 , 阈值 G 为 0.7, 相关系数小于 G 的匹配对都被当做误配剔除。图 4 显示一组 40 张大小相同的图像分别使用 SIFT、SIFT+NCC 检测到图像的误匹配率。由图 4 可以看出:在 SIFT 的基础上再对各个匹配对执行 NCC,可以检测到更多误配点,在本实验中, SIFT+NCC 的误配率平均是 SIFT 的 6 倍,在图像对(2,4)的匹配中误配率相差最明显,因为图像 2,4 的地形都是大片相似的甘蔗地, SIFT 算法容易产生误配。

为了检验本文算法的正确匹配率,我们花了 3 人 2 天的工作量进行人工匹配,结果表明,在大片相似纹理的甘蔗地中, SIFT 的正确匹配率较低,而本文在使用 SIFT 特征检测和匹配的基础上计算该匹配对的 NCC 系数,判断其相似度将误配对剔除,能有效提高正确匹配率,对具有相似纹理图像的三维重建具有很高的研究价值(见表 1)。

表 1 图像匹配比较数据

算法	最终匹配(对)	错误匹配(对)	正确匹配率(%)
SIFT	55652	8074	85.49
SIFT+NCC	45107	4014	91.10

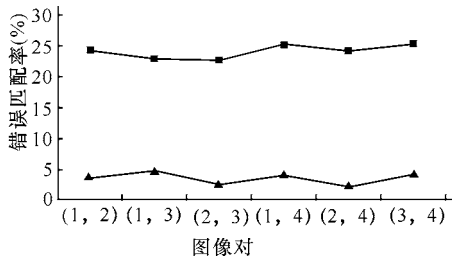


图4 2000×1333 的图像检测到的错误匹配率 ($G=0.7$)

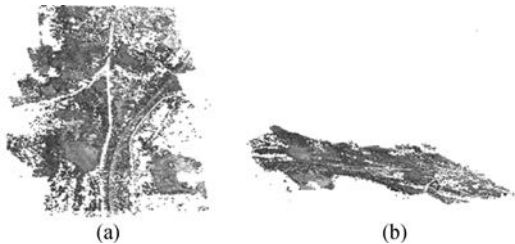
2.2 三维重建精度验证

本实验的数据为四组不同图像大小的图像,每组 100 张。目的是在三维点恢复后比较 SIFT 与 SIFT+NCC 的重投影误差变化,测试改进算法对三维重建精度的影响。

表 2 3D 点的重投影误差与 SFM 迭代时间

算法	图像大小	重投影误差 (pix)	SFM 时间 (s)
SIFT	4000×2667	0.46	949.3
	2000×1333	0.52	184.1
	1000×667	0.57	78.3
	500×333	0.63	32.4
SIFT+NCC	4000×2667	0.42	636.2
	2000×1333	0.49	146.4
	1000×667	0.55	57.8
	500×333	0.59	27.9

从表 2 看出,在同一图像大小的基础上,SIFT+NCC 有效的剔除错误匹配点,轻微减小三维点的重投影误差;两种方法在图像大小为 4000×2667 的 SFM 过程中,迭代时间从 949.3s 减少到了 636.2s,提高了接近 5 分钟。此外,本文改进的算法在恢复图像大小为 2000×1333 的三维点云坐标时重投影误差为 0.49,仅比 SIFT 中图像大小为 4000×2667 的重投影误差大 0.03,但是其迭代时间却减少了 800s,原算法的迭代时间是改进算法迭代时间的 6 倍,这在以海量数据为特点的航拍图像三维重建中有很大的应用价值。图 5 所示为改进后图像大小为 4000×2667 的图像三维重建结果得到相机位姿与稀疏三维点云。从图中可看出利用本文方法回算出的



(a)

(b)

图 5 经过 NCC 剔除误配点后恢复的三维点云和相机位姿 (a) 顶视;(b)前视

相机位姿准确没有缺失,且恢复的三维点只存在少

量的飞点,为后期基于点云的三维重建提供一个精确的输入。

3 结束语

本文提出了一种将 SIFT 与 NCC 结合的鲁棒自动定位图像和恢复 3D 点云算法。该算法在 SIFT 特征点提取匹配的基础上,使用特征点的主方向将旋转图像进行局部矫正,然后执行归一化互相关匹配,将相关系数小于阈值的匹配点剔除。该方法在重建小型无人机航拍相似地形的 3D 模型中剔除了大部分误配点,验证了其匹配准确度,三维重建结果精度也有了一定的提高。然而,点云的重投影误差仍未明显减少,这将是下一步研究和进一步改善的目标。

参考文献:

- [1] 王书民,张爱武,崔莹莹,等. 基于无人飞艇数字摄影测量系统及航拍序列图像拼接[J]. 测绘科学,2010,35(1):81-83.
- [2] Jose L Lerma, Santiago Navarro, Miriam Cabrelles, et al. Automatic orientation and 3D modelling from markerless rock art imagery [J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing,2013,76:64-75.
- [3] Crandall D, Owens A, Snavely N, et al. Discrete Continuous Optimization for Large-Scale Structure from Motion [J]. Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2011 IEEE Conference,2011,3001-3008.
- [4] Bill Triggs, Philip F Mclauchlan, Richard I Hartely, et al. Bundle Adjustment-A Modern Synthesis [J]. Lecture Notes in Computer Science,2000,1883:298-372.
- [5] LOWE D. Distinctive image features from scale-invariant keypoints [J]. International Journal of Computer Vision, 2004,60(2):91-110.
- [6] 杨晓敏,吴炜,卿粼波,等. 图像特征点提取及匹配技术 [J]. 光学精密工程,2009,17(9):2276-2282.
- [7] Yehu Shen. Efficient normalized cross correlation calculation method for stereo vision based robot Navigation [J]. 中国计算机科学前沿,2011,5(2):227-235.
- [8] 薛菲,张荣国,张建国,等. 基于 NCC 与 SSDA 的快速特征点匹配融合算法 [J]. 计算机与数字工程,2010,38(10):19-21.
- [9] 杨化超,王永波,姚国标,等. 基于 SVD 和 SIFT 的宽基线立体影像匹配 [J]. 中国矿业大学学报,2011,45(6):964-968.
- [10] 孙卜郊,周东华. 基于 NCC 的存在旋转的图像匹配方法 [J]. 传感器与微系统,2008,27(5):43-45,48.

(责任编辑:陆雁)