

基于不变特征和映射抑制的航拍视频图像配准

易盟, 郭宝龙*

西安电子科技大学 智能控制与图像工程研究所, 陕西 西安 710071

摘要: 针对航拍视频图像在光学变换和几何变换下特征匹配容易产生误匹配,以及匹配精度不一致等问题,提出一种结合不变特征和映射抑制的航拍视频配准算法。首先,利用 Harris 检测器在尺度变化下的局部区域内选择出最稳定角点,并利用分区检测方法提取出分布均匀的角点作为待配准点。然后,计算以特征点为中心邻域窗口的描述符,通过比较两幅待配准图像特征点邻域描述符的欧式距离,提取出初始匹配点对。对匹配点对集建立 D-三角网图,利用映射抑制方法提取出精确度最高的少数匹配点,并对模型参数进行估计,完成视频帧间的配准。大量实验表明,所提方法对航拍视频图像配准具有较强的适应性且配准精度高。

关键词: 航拍视频; 图像配准; 均匀分区 Harris; 局部不变描述符; 映射变换

中图分类号: V243 **文献标识码:** A

航拍视频图像配准是将一个或多个移动摄像机获取的一组具有重叠区域的动态地面场景视频图像融合在一起的过程。在航拍视频图像三维重建、空中监控预警、虚拟环境生成以及运动目标检测与识别等方面具有重要的应用价值^[1-2],考虑到载台引起的摄像机运动以及光照和大气变化等因素,航拍视频图像序列可能会发生一定的图像畸变或序列图像存在较少重叠区域等情况,如何在上述复杂情况下仍保持稳定的图像局部特征并建立精确的变换模型^[3]成为机载成像对地观测系统的关键。

图像配准方法一般可分为基于区域的方法^[4]和基于特征的方法,其中采用最多的是基于特征的方法^[5-11]。由于在图像发生几何变化和灰度畸变下表现出良好的稳定性,近年来基于局部不变描述符(Local Invariant Descriptor)的图像配准

算法受到普遍关注。作为性能优异的不变特征描述符,尺度不变特征变换(Scale Invariant Feature Transform, SIFT)和 SURF(Speed Up Robust Feature)算法可以很好地解决具有旋转变换、尺度变化以及一定仿射畸变的图像配准问题^[8]。Brown^[9]和 Song^[10]等分别采用 SIFT 和 SURF 算法实现图像配准,但这些算法仍难以克服以下问题:①由于 SIFT 和 SURF 算法的规范化梯度求和计算复杂,无法满足系统在线实时处理的要求;②该算法的特征点提取数量与场景的复杂情况有关,在复杂背景下,SIFT 算法会提取大量的特征点,给后续的特征点匹配带来计算负担,同时由于检测出正确匹配对时也会产生大量错误匹配对,并且正确匹配对越多,错误的匹配对也会越多,从而可导致图像配准时变换模型的估计不准确。为了提高变换模型估计的精度,Brown 等^[11]

收稿日期:2011-11-07; 退修日期:2011-11-29; 录用日期:2012-02-15; 网络出版时间:2012-03-29 11:39

网络出版地址:www.cnki.net/kcms/detail/11.1929.V.20120329.1139.003.html

基金项目:国家自然科学基金(61105066);国家自然科学基金青年科学基金(61003196)

* 通讯作者. Tel.: 029-88201777 E-mail: blguo1199@126.com

引用格式: Yi M, Guo B L. Aerial video image registration method based on invariant feature and mapping restraint. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2012, 33(10): 1872-1880. 易盟, 郭宝龙. 基于不变特征和映射抑制的航拍视频图像配准. 航空学报, 2012, 33(10): 1872-1880.

提出在对图像模型进行估计前,利用随机抽样一致性(Random Sample Consensus, RANSAC)算法去除外点,该方法提高了正确匹配率,但却存在计算量大、效率低等缺陷,而且经过 RANSAC 算法筛选出的内点也会因为图像的局部变形而发生偏移,这样得到的匹配点具有不同的精度,因此也会在估计变换模型时产生误差。

针对上述航拍视频图像在稳健、精确配准方面面临的问题,提出一种新的基于不变特征和映射抑制的航拍视频图像配准(AVROI)算法。该算法首先利用 Harris 检测器在 3 种不同分辨率下筛选出稳定且分布均匀的角点,这样便于对特征点邻域建立特征窗;为了对图像进行精确配准,对初始匹配对构建 D-三角网图,并通过映射抑制方法识别出属于背景的特征点,然后利用一致的背景特征点实现航拍视频图像的配准。实验结果证明了本算法的有效性。

1 算法描述

假设运动的摄像机对地面场景进行拍摄,如果已知两帧具有重叠区域的图像存在一定的仿射变换,并且设 (c, t) 和 (C, T) 分别为具有重叠区域的两帧图像的对应坐标,则在均匀坐标系中一致对应点的关系可以用仿射变换模型表示为

$$\begin{bmatrix} C \\ T \end{bmatrix} = s \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c \\ t \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta c \\ \Delta t \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: s 为尺度因子; θ 为旋转角度; Δc 和 Δt 分别为水平和垂直方向上的平移量。当旋转角度较小(小于 5°)时, $\cos \theta \approx 1$ 、 $\sin \theta \approx \theta$,如果已知两帧图像序列的 4 对一致匹配点,则可以将 4 对一致匹配点代入式(1),通过求解 4 个线性方程获得仿射变换模型的未知参数值。

1.1 基于均匀分布的稳定特征点检测

航拍视频得到的城市场景图像中存在大量的角点特征,因此考虑选用角点检测器进行特征点提取。目前存在许多角点检测技术,其中最可靠之一的是 Harris 角点检测器^[12]。该检测器考虑用一个高斯窗或者矩形窗在图像上移动,由模板窗口取得原图像衍生出的 2×2 维局部结构矩阵 \mathbf{M} ,并利用角点响应函数 $R = \det(\mathbf{M}) - k(\text{tr } \mathbf{M})^2$ 提取角点。

当摄像机发生微小焦距变化时,视频帧之间产生了一定的尺度变化。为了保证不同尺度下获取的图像能够检测得到相同位置的角点,用尺度因子分别为 $\sigma - \Delta\sigma$ 、 σ 和 $\sigma + \Delta\sigma$ 的高斯函数对图像进行平滑,并且保留在 3 个分辨率下具有相同位置的角点,即如果某个角点 (x, y) 被保留,则它必须满足如下条件:

$$\begin{cases} \|(x, y) - (x_1, y_1)\| \leq 2\Delta\sigma \\ \|(x, y) - (x_2, y_2)\| \leq 2\Delta\sigma \end{cases} \quad (2)$$

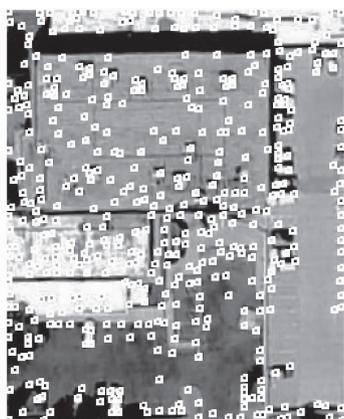
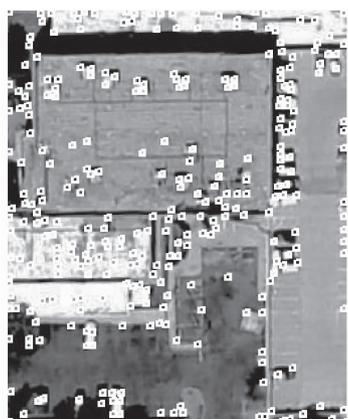
式中: (x, y) 、 (x_1, y_1) 和 (x_2, y_2) 分别为 3 个分辨率下获得的角点位置; $\|\cdot\|$ 表示欧氏距离。

为使提取出的特征点在整幅图像中均匀分布,避免因 Harris 算子检测出的角点过于密集而影响后续特征窗的匹配,分区域提取 Harris 特征点,其提取方法为:将图像分成互不重叠的 $r \times s$ 个区域 H_k ,在每个 H_k 覆盖区域中选取角点响应 R 最大的点作为特征点,从而避免了角点聚簇现象的产生。

图 1 分别给出了不同方法对角点提取和分布的影响。图 1(a)为一幅来自美国国防高级研究计划局(Denise Advanced Research Projects Agency, DARPA)的航拍视频图像;图 1(b)为当 $\sigma = 1.5$ 时获取的 Harris 角点;当 $\sigma = 1, 1.5, 2$ 时,检测器得到的稳定的特征点如图 1(c)所示;图 1(d)则是采用分区检测方法筛选的 7×7 个特征点。值得注意的是,在图 1(b)和图 1(c)的一些边缘或者角点处,检测点过于密集,位置十分接近,给后续的计算带来较大负担,而图 1(d)的角点均匀分布在整幅图像中,绝大多数位于物体边缘处,具有较好的独立性,且信息量丰富。



(a) Aerial video image

(b) Feature points detected by Harris when $\sigma=1.5$ (c) Stable feature points detected by Harris when $\sigma=1, 1.5, 2$ 

(d) Detection result using well-distribution Harris

图 1 特征点检测结果

Fig. 1 Feature point detection results

1.2 不变特征点匹配

在采用 1.1 节检测算法得到角点的位置和尺度信息后,需要对特征点邻域进行提取并建立描

述符。SIFT 算法^[9]首先对特征点邻域的像素求取 8 个方向的梯度模值和方向,然后根据像素点与边界的距离给每一个梯度向量赋予不同的高斯权重系数,最后再将这些规范化的梯度向量求和,构成一个由图像梯度的位置和方向信息组成的 3 维直方图。由文献[13]知直接利用 SIFT 描述符进行特征匹配运算量较大,不适于航拍视频图像的实时配准,因此用高斯滤波方向梯度对源图像的卷积计算代替 SIFT 算法对规范化梯度的求和计算。其基本思想是首先由原图像计算得到方向图,然后通过与高斯核函数卷积得到卷积方向图,计算公式为

$$L(x, y, \sigma) = G(x, y, \sigma) * I_o \quad (3)$$

式中: $L(x, y, \sigma)$ 为卷积方向函数; $G(x, y, \sigma)$ 为尺度可变高斯核函数; I_o 为方向函数, o 为偏导的方向。如果 $I_o(x, y)$ 中的元素大于 0,则该方向函数等于点 (x, y) 在 o 方向上的梯度;否则将该方向函数置 0。

对于一个给定的特征区域,首先计算特征点的 16 个方向的梯度函数(梯度直方图的范围是 $0 \sim 360^\circ$,其中每 20° 一个方向)。设梯度函数被量化为 $n = 16$ 个方向;然后,在每一个方向上选取距离特征点长度为 r_i 的点,设距离 r_i 值分别取 $r_1 = 1.5, r_2 = 4.5, r_3 = 9$ 。同时,对该点再次求取 16 个方向的梯度函数。对像素点 (x, y) ,利用高斯核函数与方向函数卷积后得到的向量值 $D(x, y)$ 可表示为

$$D(x, y) = [L_1(x, y) \quad L_2(x, y) \quad \cdots \quad L_{16}(x, y)]^T \quad (4)$$

对式(4)进行规范化后得到向量 $\tilde{D}(x, y)$,则特征点位置为 (x_0, y_0) 的描述符 H_{r_i, o_j} 可表示为

$$H_{r_i, o_j} = \left\{ \tilde{D}^T \sum_i (f_{o_j, \phi_1}(x_0, y_0, \sigma_i, r_i)), \right. \\ \tilde{D}^T \sum_i (f_{o_j, \phi_2}(x_0, y_0, \sigma_i, r_i)), \cdots, \\ \left. \tilde{D}^T \sum_i (f_{o_j, \phi_{16}}(x_0, y_0, \sigma_i, r_i)) \right\} \quad (5)$$

式中: $f_{o_j, \phi_k}(x_0, y_0, \sigma_i, r_i)$ 为在 $\{o_j, \phi_k\}$ 方向且距离 (x_0, y_0, σ_i) 为 r_i 的点位置。描述符的向量个数为 $n + n \times 3 \times n$ 。

对于参考图像中的每一个兴趣点 $I_i(x, y)$,分别计算该区域特征向量与输入图像中每一个兴趣点 $I_i(X, Y)$ 特征向量的相似度,将距离最小的

区域所对应的特征点作为匹配点,则可得到两幅图像兴趣点间的对应关系。为实现特征点的正确匹配,匹配过程中采用双相匹配策略和随机抽样一致性方法获得图像特征点的准确匹配关系。

1.3 基于映射抑制的映射模型估计

由于图像畸变的影响,通过 1.1 节检测算法得到角中的一部分位置会发生偏移,因此,直接利用初始匹配点对变换模型进行估计精度会降低。本文提出利用交比不变方法从初始匹配对中提取出最精确的匹配对。

对图像进行投影变换时,一些图像性质不会发生改变^[14],例如:直线的投影仍为直线,4 个共线点或 4 条共点线的交比不变,5 个共面点,两个点和两条边在投影变换下具有不变性等。因为已经得到两个图像平面的一致匹配对时,由不变量理论可知,5 个共面点的交比值在投影变换下是不变量。因此,可以利用 5 个点的交比不变性来提取出匹配对中最精确的 5 对匹配点。

在二维平面的 D-三角网中过每个三角形顶点有 4 条直线束。因此,首先对匹配点构造 D-三角网,如图 2 所示。

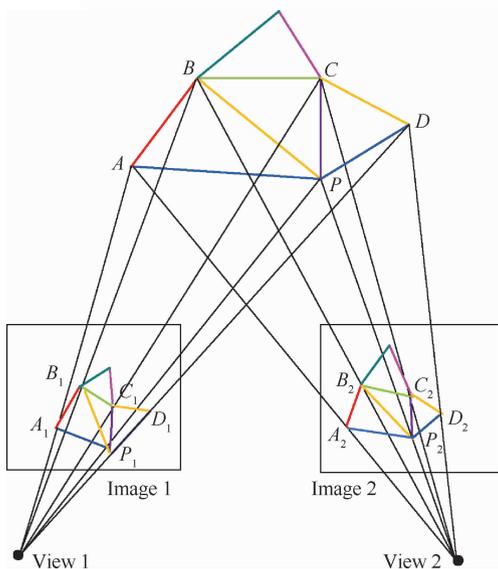


图 2 5 对匹配点的映射抑制模型

Fig. 2 Mapping restraint of five matching point pairs

对于 5 个点 A、B、C、D 和 P,其中,过 4 个顶点 A、B、C 和 D 的线束交于一点 P,则交比定义为

$$\lambda(A, B, C, D; P) = \frac{|m_{ABP}m_{ACD}|}{|m_{ABD}m_{ACP}|} \quad (6)$$

式中: $m_{ijk} = [p_i \ p_j \ p_k]$,其中 $p_i = [x(t_i) \ y(t_i) \ 1]^T$ 。

由 4 个点构成的 24 个可能的交比序列均由以下 6 个交比值演变而来,即

$$\left\{ \lambda, \frac{1}{\lambda}, 1 - \lambda, \frac{1}{1 - \lambda}, \frac{\lambda}{1 - \lambda}, \frac{1 - \lambda}{\lambda} \right\}$$

因此,取其中最小的值 μ 作为这 4 个点的交比值,即

$$\mu(A, B, C, D; P) = \min\left(\lambda, \frac{1}{\lambda}, 1 - \lambda, \frac{1}{1 - \lambda}, \frac{\lambda}{1 - \lambda}, \frac{1 - \lambda}{\lambda}\right) \quad (7)$$

设 A_1, B_1, C_1, D_1, P_1 和 A_2, B_2, C_2, D_2, P_2 为待配准图像对应的匹配点对,由交比不变性,通过式(7)可得到

$$\begin{cases} \mu_1(A_1, B_1, C_1, D_1; P_1) = \mu_1(A_2, B_2, C_2, D_2; P_2) \\ \mu_2(B_1, C_1, D_1, P_1; A_1) = \mu_2(B_2, C_2, D_2, P_2; A_2) \\ \mu_3(C_1, D_1, P_1, A_1; B_1) = \mu_3(C_2, D_2, P_2, A_2; B_2) \\ \mu_4(D_1, P_1, A_1, B_1; C_1) = \mu_4(D_2, P_2, A_2, B_2; C_2) \end{cases} \quad (8)$$

如果两个交比值不能精确的一致,则计算它们之间的欧式距离:

$$d_n = \{[\mu_n(A_1, B_1, C_1, D_1; P_1)]^2 - [\mu_n(A_2, B_2, C_2, D_2; P_2)]^2\}^{1/2} \quad (9)$$

式中: $n = 1, 2, 3, 4$ 。令 $D = (d_1 + d_2 + d_3 + d_4) / 4$,则选取 D 值最小的 5 对匹配点作为最精确的匹配结果,并采用这 5 对匹配点重新计算图像间的变换模型。

2 实验结果与分析

为了验证本文算法在图像配准方面的有效性,对大量航拍视频图像进行了测试。实验 CPU 配置为 IBMCore2duo 3.2-GHz,运行 WindowsXP 的 PC 机,编程语言为 VC++6.0,实验所使用的图像平均选取 160 个特征点,误差距离阈值 $\epsilon = 1$ 。

首先利用不同场景下的航拍视频序列做测试数据,并将本文算法与 SIFT、SURF 算法进行分析比较;然后进一步对仿射变换模型估计方法进行分析,并对配准算法的几何保真度做定量性能评估。

2.1 特征匹配性能分析

2.1.1 评估准则

为了有效地对正确匹配对和错误匹配对之间的关系进行评估,利用区域覆盖误差^[15]来对提取的参考图像特征和变换图像特征进行检验。区域覆盖误差(Region Overlap Error)是指在一个已知的单应性映射 H 条件下,交集区域和并集区域的覆盖率,即表示为

$$O_e = 1 - (A \cap H^T B H) / (A \cup H^T B H) \quad (10)$$

式中: A 和 B 为两个待匹配区域; H 为已知的两个区域之间的映射关系。对于一个用户给定的覆盖误差阈值 O_t ,如果满足 $O_e < O_t$,则这两个区域为正确的匹配对,如果覆盖率 $O_e \geq O_t$,则认为是错误的匹配对。为了验证本文匹配算法的有效性,在这里使用查全率 R (Recall)-查准率 P (Precision)的方法,查全率 R 为正确匹配对个数 T 与满足区域覆盖测试 $O_e < O_t$ 的匹配对个数 F 的比值,查准率 P 为正确匹配对个数 T 与所有匹配对个数 G 的比值。该算法在图像处理中是一个非常重要的评估算法,一般情况下查全率高,查准率低,反之,查准率高,查全率就低。同时定义它们为

$$R = \frac{T}{F}, 1 - P = \frac{G - T}{G} \quad (11)$$

2.1.2 与 SIFT、SURF 算法的比较

为了验证本文算法在图像匹配方面的有效性,试验中选用图 3 所示的 4 组典型航拍图像作为测试库,该图片来自 DARPA 航拍视频,Carne-

gie Mellon University 的 VSAM 无人机数据库和自建航拍视频数据,每幅图像分辨率为 320 像素 \times 240 像素。首先利用本文提出的特征点检测算法提取特征点,然后分别采用 SIFT 算法和 SURF 算法与本文算法进行对比测试。

图 3 所示为利用本文算法对 4 对航拍图像的匹配结果和由匹配点生成的 D-三角网结构图。图 3(a)中分别给出简单背景下的航拍图像、复杂背景下的航拍图像、具有环境亮度突变的航拍图像,以及具有较少重叠区域的图像。这些图像包含相似的特征模式。由图 3 可以看到本文算法成功地匹配了这些特征点,甚至在图像具有单调背景、光度畸变或具有较少重叠区域的场景下也能够找到足够数量的匹配点。图 4 展示了本文算法、SIFT 算法以及 SURF 算法利用查准率-查全率(Precision-Recall)分别对图 3 所示 4 对测试图像评估的结果。理想的匹配结果是在具有低查错率的同时检测到尽量多的正确匹配对,因为随着查错率的增大,错误匹配对也会增多。从图 4 中可以发现,在查错率小于 0.4 时,本文算法比 SIFT 算法和 SURF 算法明显拥有更高的查全率,也就是说本文算法拥有更大的正确匹配对比例,因而更符合实际的特征匹配需要。在查错率大于 0.4 以后,参考的两种匹配算法对图 3 中简单和复杂背景这两种情况下的查全率要大于本文算法,但同时高的查错率也带来更多的错误匹配对,这样在进行图像配准时,过多的错误匹配对可能会导致变换模型估计的不准确。因此,本文算法具有更好的匹配效果。

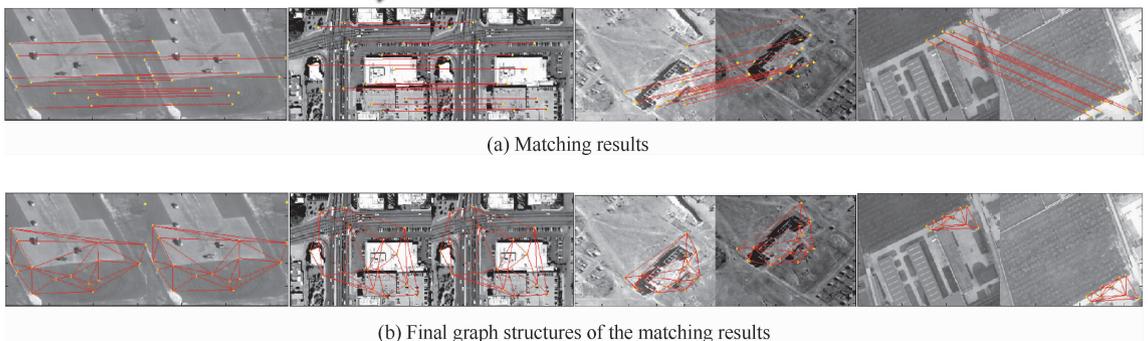


图 3 4 对航拍图像匹配结果和图结构

Fig. 3 Matching results of four aerial image pairs and graph structures

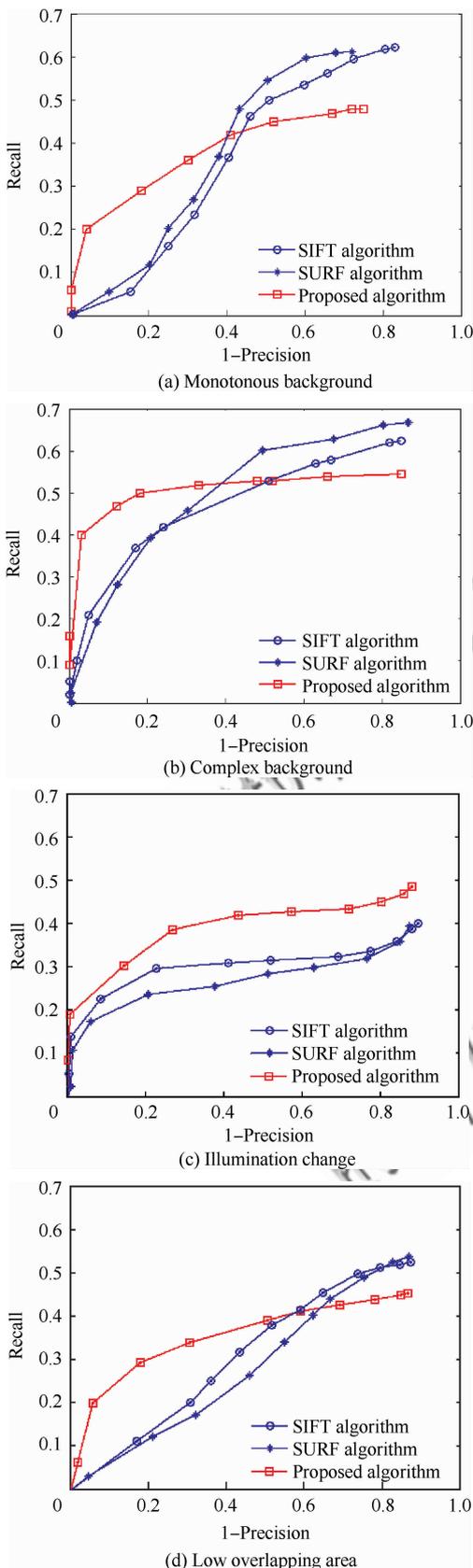


图4 4对航拍图像的查准率-查全率曲线图

Fig. 4 Precision-recall curve of four aerial image pairs

2.2 配准性能分析

为了检验本文所提基于映射抑制的配准算法带来的精度优势,将本文配准算法与缺少了映射抑制方法的配准算法进行比较,即与利用本文特征检测和匹配方法提取初始匹配对,并用全部匹配点配准图像的方法(HFAC配准算法)比较。图5为对城市场景视频图像的配准结果,其中,图5(a)为两幅高分辨具有复杂背景的航拍图像,且这两幅图像中含有一定噪声和较小的局部几何形变的图像,图5(g)为具有一定光学突变的航拍图像。

以图5(a)为例说明本文算法的主要步骤。其中,图5(a)为一组图像序列的两幅待配准图像,匹配结果如图5(b)所示,正确的匹配对为48个。使用HFAC算法和AVROI算法得到的绝对强度差值配准图像的均方根(Root-Mean-Squared Intensity Difference, RMSID)值分别为35.005和18.137。配准图像的绝对强度差值图像分别如图5(c)和图5(d)所示。图5(d)中的高强度值为运动的汽车。然而由于不精确匹配点带来的误差,在图5(c)中,白色方形区域内的一些矩形建筑物和停车场的汽车也有高强度值,为了便于观察,图5(e)和图5(f)分别为对应的白色方形区域的高分辨率图像。因此,这样的配准误差会干扰到后续的移动目标检测和跟踪。

为进一步评估配准算法的几何保真度,利用图像上4个共线点的交比不变性来评估配准的几何误差。对于给定的原图像中的4个共线点 p_1 、 p_2 、 p_3 和 p_4 ,首先计算交比值 C_r :

$$C_r = \frac{\Delta_{13}\Delta_{24}}{\Delta_{14}\Delta_{23}} \quad (12)$$

式中: Δ_{ij} 为两个点 p_i 和 p_j 间的欧氏距离。

对原图像进行配准后,利用变换模型对 p_1 、 p_2 、 p_3 和 p_4 进行投影变换,得到配准图像上的4个点 R_1 、 R_2 、 R_3 和 R_4 ;由原图像得到 C_r 值,利用式(11)求取配准图像上第4个点的估计值 R'_4 ,将 R_4 与 R'_4 的差值作为几何保真度误差(Geometric Fidelity Error, GFE)。表1详细给出图6所示6组视频序列的平均特征点(Feature Point)检测数和平均几何保真度误差(Average GFE),其中测试数据来自Carnegie Mellon University的VSAM

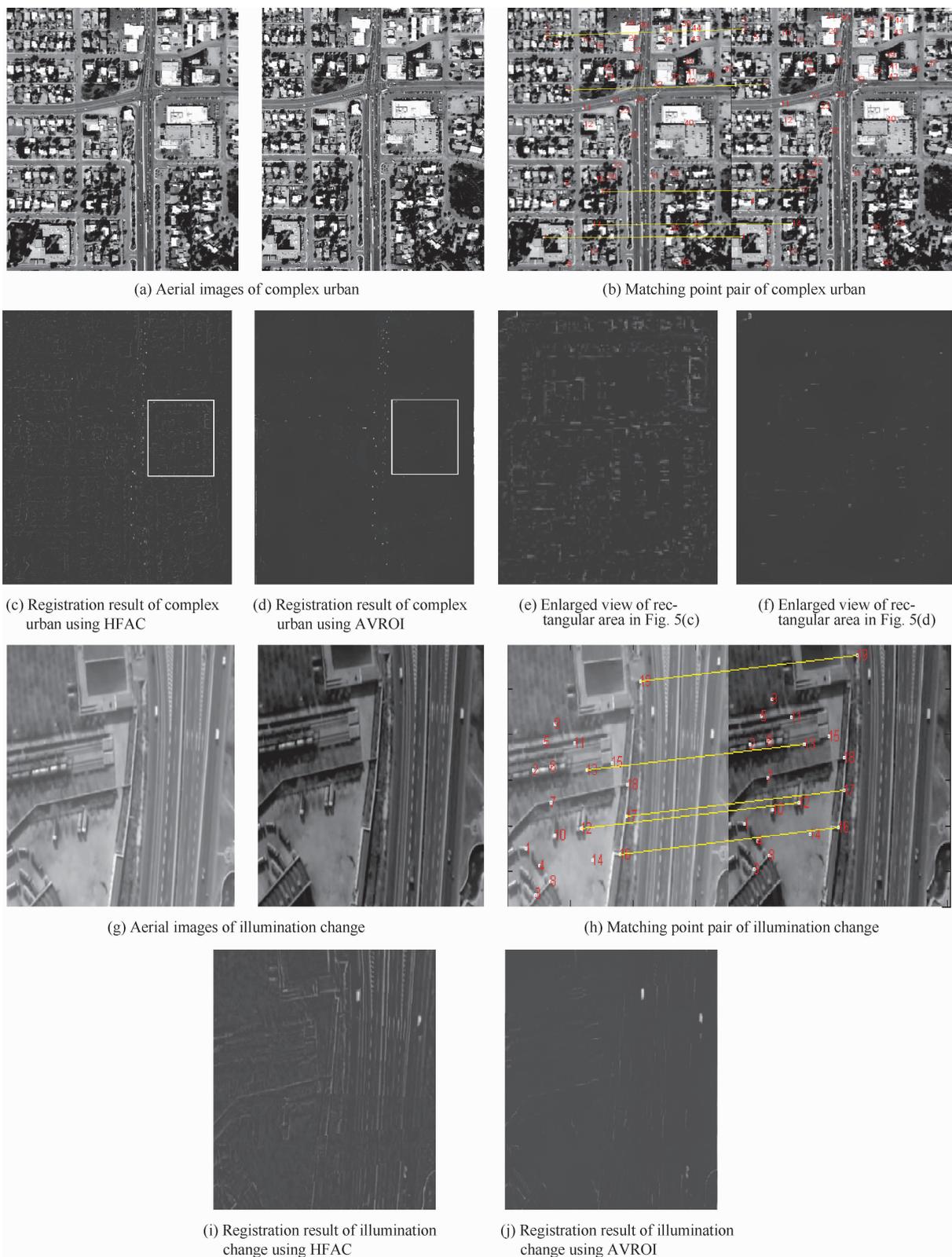


图 5 具有局部形变背景和光度突变绝对差值配准结果

Fig. 5 Absolute differences registration results of complex urban scene and illumination change

无人机数据库,每组图像序列取 50 帧,分辨率为 320 像素×240 像素。误差值越小,表明配准的精度越高。可以看出,本文算法在各种场景下误差值均最小,因此可以得到更为精确的配准结果。

表 1 HFAC 和 AVROI 算法比较结果

Table 1 Comparison of the HFAC and AVROI algorithm

Number	HFAC		AVROI	
	Corner	Average GFE	Corner	Average GFE
1	625	1.035	236	0.495
2	167	1.745	91	1.011
3	290	2.246	127	1.487
4	569	1.985	175	1.236
5	231	1.746	105	1.046
6	485	1.125	149	0.534
Average	394	1.647	147	0.968

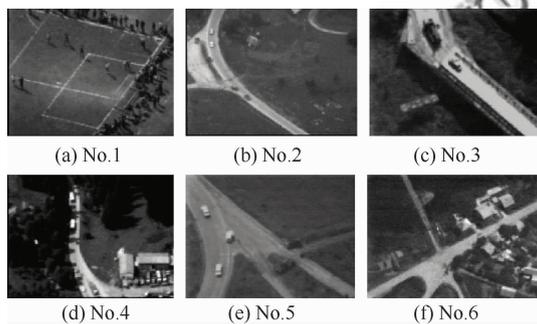


图 6 航拍视频序列

Fig. 6 UAV video sequences

本文所提配准算法的计算复杂度由图像分辨率、每幅图像检测的特征点数以及得到的一致匹配点数量共同决定。对于具有相同特征点数的图像,分辨率越大,计算角点所需的时间越长。对于一幅由 M 像素× N 像素构成的图像,角点检测的计算复杂度为 $O(MN)$;如果两帧图像分别检测的特征点数为 a 和 b ,则特征匹配算法的计算复杂度为 $O(ab)$;如果得到 p 对一致匹配点,则找到最优 5 对匹配点的投影不变算法的计算复杂度为 $O(p^5)$;最后利用最优的 5 对匹配点计算变换模型,对图像进行配准。因此,本文所提配准算法的计算复杂度为 $O(MN) + O(ab) + O(p^5)$ 。

3 结论

1) 精确、鲁棒的航拍视频配准是航空电子侦

察系统的核心和关键技术。本文在对航拍视频配准算法改进的基础上,提出一种基于不变特征和映射抑制的航拍视频配准算法。

2) 在鲁棒性方面,通过对整个配准算法的各个环节进行优化设计,包括基于均匀分布的稳定特征点的采集、基于几何不变性的特征描述符的构建、采用映射抑制方法提取最精确匹配对等,有力保证算法在复杂背景和亮度变化下具有不变性和较高的配准精度。

3) 在实时性方面,采用高斯滤波方向梯度对原图像的卷积计算,使得算法计算量减少,能够在各种地貌条件下实时、稳定地配准。

参 考 文 献

- [1] Morse B S, Gerhardt D, Engh C, et al. Application and evaluation of spatiotemporal enhancement of live aerial video using temporally local mosaics. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2008: 1-8.
- [2] Ding M, Lyngbaek K, Zakhor A. Automatic registration of aerial imagery with untextured 3D LiDAR models. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2008: 1-8.
- [3] Liu Z X, An J B, Li L. A two-stage registration algorithm for oil spill aerial image by invariants-based similarity and improved-ICP. International Journal of Remote Sensing, 2011, 32(13): 3649-3664.
- [4] Niu L P, Mao S Y, Chen W. Multi-sensor image registration method adapted for larger scale. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2006, 27(3): 475-480. (in Chinese) 牛力丕,毛士艺,陈炜.一种适应较大比例变化的多传感器图像配准方法.航空学报,2006,27(3):475-480.
- [5] Wang L, Neumann U. A robust approach for automatic registration of aerial images with untextured aerial LiDAR data. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2009: 2623-2630.
- [6] Liu B Q, Feng D Z, Wu N, et al. An image automatic registration method for InSAR complex images based on point features. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2007, 28(1): 161-166. (in Chinese) 刘宝泉,冯大政,武楠,等.基于点特征的干涉合成孔径雷达复图像自动配准算法.航空学报,2007,28(1):161-166.
- [7] Yang Z L, Guo B L. Image mosaic technique based on pseudo-Zernike moments of interest points. Chinese Journal of Lasers, 2007, 34(11): 1548-1552. (in Chinese) 杨占龙,郭宝龙.基于兴趣点伪泽尼克矩的图像拼接.中国激光,2007,34(11):1548-1552.

- [8] Szeliski R. Computer vision: algorithms and applications. New York: Springer, 2010.
- [9] Brown M, Lowe D G. Automatic panoramic image stitching using invariant features. *International Journal of Computer Vision*, 2007, 74(1): 59-73.
- [10] Song Z L, Zhang J P. Remote sensing image registration based on retrofitted SURF algorithm and trajectories generated from lissajous figures. *Geoscience and Remote Sensing Letters*, 2010, 7(3): 491-495.
- [11] Brown M, Hartley R I, Nister D. Minimal solutions for panoramic stitching. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2007: 1-8.
- [12] Harris C, Stephens M J. A combined corner and edge detector. *Proceedings of the Fourth Alvey Vision Conference*, 1988: 147-151.
- [13] Tola E, Lepetit V, Fua P. A fast local descriptor for dense matching. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2008: 1-8.
- [14] Mundy J L, Zisserman A. Geometric invariance in computer vision. Cambridge: MIT Press, 1992: 354-374.
- [15] Mikolajczyk K, Schmid C. A performance evaluation of local descriptors. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2005, 27(10): 1615-1630.

作者简介:

易盟 男, 博士研究生。主要研究方向: 模式识别、图像处理、虚拟现实的研究。

Tel: 029-88201777

E-mail: yimeng0120@163.com

郭宝龙 男, 教授, 博士生导师。主要研究方向: 模式识别与智能系统、图像处理和图像通信。

Tel: 029-88201777

E-mail: blguo1199@126.com

Aerial Video Image Registration Method Based on Invariant Features and Mapping Restraint

YI Meng, GUO Baolong *

Institute of Intelligent Control and Image Engineering, Xidian University, Xi'an 710071, China

Abstract: The Harris detector can produce false corners under common photometric transformations and geometric transformations, and the matching points have different accuracy. This paper presents an aerial video image registration scheme by combining the invariant features and mapping restraint. Firstly, the locally most stable points are selected by the multi-resolution Harris detector, and a subarea detection method is presented to determine the well-distributed corners. The descriptors are established at each point in a circular neighborhood. Then Euclidean distance of the corner descriptors are compared to extract the initial feature point pair. Then the Delaunay triangulation of matching point pairs are computed, and the most "useful" matching points that best satisfy the cross-ratio invariants are presented to estimate the geometry transformation, and the image registration is completed. Experimental results demonstrate that the proposed algorithm can effectively offer a robust and accurate image registration for aerial video images.

Key words: aerial video; image registration; well-distributed Harris; local Invariant descriptor; mapping transformation

Received: 2011-11-07; **Revised:** 2011-11-29; **Accepted:** 2012-02-15; **Published online:** 2012-03-29 11:39

URL: www.cnki.net/kcms/detail/11.1929.V.20120329.1139.003.html

Foundation items: National Natural Science Foundation of China (61105066); National Science Fund for Distinguished Young Scholars (61003196)

* **Corresponding author.** Tel.: 029-88201777 E-mail: blguo1199@126.com