

改进模型估计的无人机侦察视频快速拼接方法

孙世宇, 张 岩, 胡永江, 李建增

(陆军工程大学 无人机工程系, 河北 石家庄 050003)

摘 要: 针对提高无人机侦察视频的拼接速度与效果的问题, 提出一种改进模型估计的无人机侦察视频快速拼接方法。首先, 基于自适应鲁棒性尺度不变的特征检测子对视频各帧进行基于点的特征匹配。其次, 提出改进的随机抽样一致性算法进行模型估计, 并去除误匹配点。最后, 提出侦察影像快速拼接算法, 计算各影像变换到正射拼接图的单应性矩阵, 完成视频序列拼接。实验结果表明: 改进的随机抽样一致性算法在保证鲁棒性的同时, 提高了执行速度; 侦察影像快速拼接算法提高了拼接速度, 同时改善了拼接效果。

关键词: 视频拼接; 随机抽样一致性; 拼接策略; 内点抽样; 单应性矩阵; 无人机侦察
中图分类号: TP391.41 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3788/IRLA201847.0926003

Fast mosaic method of unmanned aerial vehicle reconnaissance video based on improvement model fitting

Sun Shiyu, Zhang Yan, Hu Yongjiang, Li Jianzeng

(Department of Unmanned Aerial Vehicle, Army Engineering University, Shijiazhuang 050003, China)

Abstract: In order to improve the speed and quality of video mosaic, Fast Mosaic of Unmanned Aerial Vehicle Video based on Improvement Model Fitting (FMUAVRVIMF) was proposed. Firstly, Fast Adaptive Robust Invariant Scalable Feature Detector (FARISFD) was used for video frames registration. Then, the improved Random Sample Consensus (RANSAC) algorithm was proposed for model fitting, and false matching points were removed. Finally, Fast Mosaic of Reconnaissance Frames algorithm was proposed to calculate homography matrix which transformed frames to orthophoto mosaic image, the video sequence mosaic was completed. The experiment results show that Improved Random Sample Consensus ensures the robustness, and the mosaic speed was increased, and the mosaic effect was improved.

Key words: video mosaic; RANSAC; mosaic method; inliers sample; homograph matrix;
UAV reconnaissance

收稿日期: 2018-04-13; 修订日期: 2018-05-17

基金项目: 国家自然科学基金(51307183)

作者简介: 孙世宇(1965-), 男, 教授, 博士生导师, 博士, 主要从事火力指挥与控制方面的研究。Email: ssy425@163.com

通讯作者: 张岩(1991-), 男, 博士生, 主要从事计算机视觉与无人机图像信息处理技术方面的研究。Email: hillwind@126.com

0 引言

视频拼接技术主要解决视频帧间的变换关系计算、成图与地理注册等问题^[1]。近年来,无人机摄像技术得到飞速发展,特别是在军事侦察与情报处理等领域被广泛应用^[2]。但由于侦察视频图幅较小,无法完整呈现有用信息;在战时,机体抖动、噪声与光照变化,以及地面控制点难以获取等因素,严重制约了视频拼接效果与速度。因此,研究一种无人机侦察视频快速拼接方法具有重要的应用价值。由于视频帧间重叠度较大,特征匹配的鲁棒性相对于航片拼接要求较低。其技术难点偏重于图像变换模型估计与拼接策略的快速实现^[3]。对于以上两种技术,国内外学者做了大量研究。

在模型估计方面:随机抽样一致性(Random Sample Consensus, RANSAC)^[4]算法是通过随机抽样来确定最优模型的。该算法可以处理数据中存在大量异常值的情况,但算法的执行效率较低。randomized RANSAC 算法^[5]是由 Chum 等人提出的。该算法预先对模型进行了筛选,起到了很好的提速作用,但算法实时性还是有待加强。基于预检验的快速随机抽样一致性算法^[6]是由陈付幸等人提出的。该算法对预处理环节进行了优化,节约了计算样本误差的时间,但算法对预判条件的设置的依赖性较强,对于不同样本的自适应性较弱。RANSAC 算法的自适应 Tc, d 预检验算法^[7]是由田文等人提出的。该算法实现了自适应调整预检验参数。虽然该算法增强了适用性,但处理正确率较低的样本集时,实时性较差。

在拼接策略方面:周国清^[8]首先在数字正射影像图上选取地面控制点,然后利用光束法平差得到正射影像,最后通过地理坐标进行镶嵌,但拼接效果与实时性仍待提高。程咏梅等^[9]提出 SIFT 的航拍视频图像镶嵌。该方法首先通过 SIFT 特征匹配算法检测并描述特征,然后利用双向匹配算法完成拼接,该方法鲁棒性较强,但由于 SIFT 计算过于复杂,实时性不高。刘善磊等^[10]提出一种无人机视频帧自动拼接方法,该方法以帧间重叠度作为拼接帧提取依据,利用 SURF 实现了视频的拼接,然后利用光束法平差消除匹配误差,但由于视频没有进行正射矫正,

使得拼接结果不具有量测的功能,且该方法实时性不高。郑晖等^[11]提出了一种无人机视频帧自动拼接方法。该方法利用透视投影法消除几何形变,然后利用 CUDA 加速的 ORB 算法得到帧间变换模型,最后应用 LM 算法优化单应性矩阵,该方法减小了拍摄带来的误差影像,增强了拼接效果,但拼接执行效率不高,同时该方法未讨论多行带间的拼接问题。杨涛等^[12]提出基于场景复杂度与不变特征的航拍视频实时配准方法。该方法首先通过多尺度角点检测和 SIFT 描述子进行特征匹配,然后利用 RANSAC 去除误匹配,利用 LM 算法优化估计帧间变换模型。该方法增强了复杂度场景下,短时长、小分辨率的航拍视频的拼接效果与实时性,但 RANSAC 执行效率不高,特征匹配算法的鲁棒性与实时性有待加强。

上述算法针对无人机视频拼接的不同步骤进行了创新与改进,但仍存在以下问题。

传统模型估计算法存在的问题有:基于样本集的随机抽样与算法的运算结果之间是独立的,没有充分利用循环间的相关性;置信度^[4]计算复杂,根据置信度判断是否跳出循环会降低运行效率。

传统拼接算法存在的问题有:帧间特征匹配算法的鲁棒性与实时性有待加强;过大的视频帧图幅会降低特征匹配的运行效率,但降采样后的视频帧拼接会造成拼接图分辨率较弱;拼接图难以自动置于图像中心,并且未考虑多行带间的拼接问题。

针对以上问题,文中提出了一种改进模型估计的无人机侦察视频快速拼接方法(Fast Mosaic of Unmanned Aerial Vehicle Video based on Improvement Model Fitting, FMUAVRVIMF),首先利用特征匹配算法对视频各帧进行特征检测与描述。其次提出改进的随机抽样一致性算法来改善模型估计中循环间的相关性及循环跳出方式。然后提出侦察影像快速拼接算法来提高拼接速度,同时保证拼接图分辨率,并实现了拼接图自动置于图像中心。最后进行了理论说明和实验验证。

1 方法流程

FMUAVRVIMF 的方法流程如图 1 所示,其中,图像预处理、特征检测(基于快速自适应鲁棒性尺度不变的特征检测子^[13](Fast Adaptive Robust Invariant

Scalable Feature Detector, FARISFD)、特征描述 (M-SURF 64 描述子^[14])、特征匹配与模型估计进行并行处理。

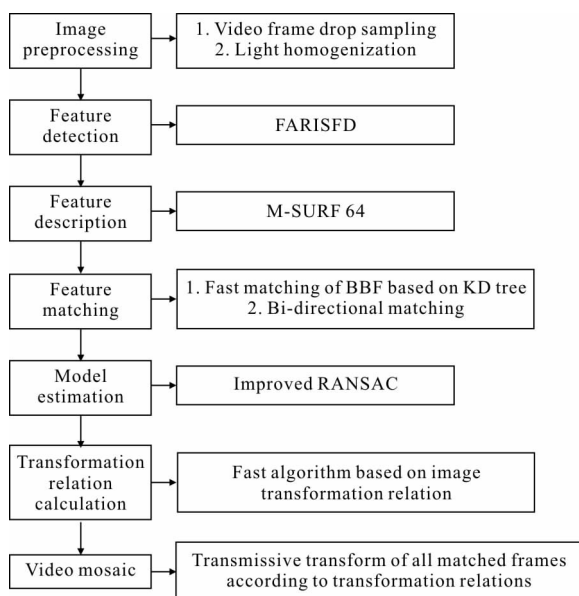


图 1 FMUAVRVIMF 流程图

Fig.1 Diagram of the FMUAVRVIMF

2 改进的随机抽样一致性算法

2.1 算法流程

改进的随机抽样一致性算法包括 4 个步骤: 基于样本集的随机抽样与计算、基于最大值不变的循环跳出、基于内点的随机抽样与计算、基于最大值不变的循环跳出。算法流程图如图 2 所示。

2.2 相关说明

(1) 收敛性: 由于合理样本集的正确模型对应的内点数最大, 所以当最大内点数随循环不变时, 其对应模型为正确模型。因此所设定的阈值越大, 模型估计算法找到正确模型的概率越趋近于 1, 即改进的随机抽样一致性算法收敛。

(2) 适用性: 由于基于置信度的循环跳出方法计算的是对于样本集的总循环次数, 而改进的随机抽样一致性算法主要是针对内点的抽样, 所以该循环跳出方法不适用于改进的随机抽样一致性算法。而基于最大值不变的循环跳出方法判断的是: 最大内

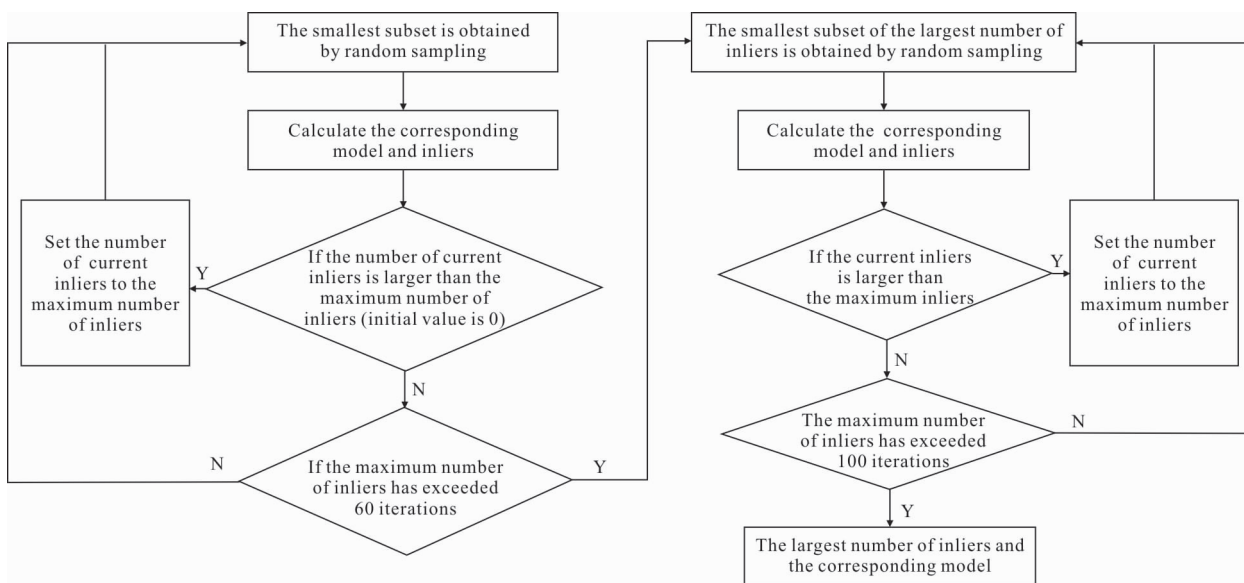


图 2 改进的随机抽样一致性算法流程图

Fig.2 Flow chart of improved RANSAC

点数是否随循环不变。所以该循环跳出方法对于改进的随机抽样一致性算法的两种抽样方法均适用。

(3) 阈值设定: 改进的随机抽样一致性算法两次子循环分别为基于样本集的随机抽样与计算、基于内点的随机抽样与计算。前者的作用是确保后者

的样本集中有足够多的正确样本, 前者的阈值不必过大。后者的阈值越大, 对模型估计越有利。但综合算法整体的运行效率, 经过多次实验将前后阈值分别设为 15 与 30。在实际应用中, 参数可按操作对象调整。

3 侦察影像快速拼接算法

3.1 算法原理

首先, 利用降采样算法分别对全部待匹配帧进行降采样处理, 得到图像尺寸缩小 Z 倍的视频帧, Z 是指图像尺寸缩小倍数, 总帧数为 n (包括起始帧)。

对起始帧进行正射矫正, 然后将降采样后的视频相邻帧进行两两特征匹配, 得到降采样后相邻帧间的单应性矩阵组 H_a , 其中 H_a 如公式(1)所示:

$$H_a = \{a_1, a_2, \dots, a_{n-1}\} \quad (1)$$

式中: a_1, a_2, \dots, a_{n-1} 分别为降采样后相邻帧间的单应性矩阵。

计算相邻待匹配帧间的单应性矩阵组 H_b , 如公式(2)所示:

$$H_b = \{b_1, b_2, \dots, b_{n-1}\} \quad (2)$$

$$b_i = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1/\sqrt{Z} \end{bmatrix} a_i \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \sqrt{Z} \end{bmatrix} \quad 1 \leq i < n$$

式中: b_1, b_2, \dots, b_{n-1} 分别为相邻待匹配帧间的单应性矩阵。

计算全部视频帧向起始帧透射变换的单应性矩阵组 H_c , 如公式(3)所示:

$$H_c = \{c_1, c_2, \dots, c_n\} \quad (3)$$

$$c_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$c_i = b_1 b_2 \dots b_{i-1} \quad 2 \leq i \leq n$$

式中: c_1, c_2, \dots, c_n 分别为全部视频帧向起始帧透射变换的单应性矩阵。

计算视频帧以起始帧为基准透射变换后图像的 4 个角点坐标, 如公式(4)所示:

$$\begin{bmatrix} x_k^i \\ y_k^i \\ 1 \end{bmatrix} = c_i \begin{bmatrix} X_k \\ Y_k \\ 1 \end{bmatrix} \quad k \in \{1, 2, 3, 4\} \quad 1 \leq i \leq n \quad (4)$$

$$\begin{cases} X_1 = 0 \\ Y_1 = 0 \end{cases} \begin{cases} X_2 = c \\ Y_2 = 0 \end{cases} \begin{cases} X_3 = c \\ Y_3 = r \end{cases} \begin{cases} X_4 = 0 \\ Y_4 = r \end{cases}$$

式中: (x_k^i, y_k^i) 分别为第 i 帧视频帧以起始帧为基准透射变换后图像的 4 个角点坐标; (X_k, Y_k) 分别为视频帧 4 个角点坐标。

计算拼接图尺寸 (X, Y) , 如公式(5)所示:

$$\begin{cases} X = X_{\max} - X_{\min} \\ Y = Y_{\max} - Y_{\min} \\ X_{\max} = \max(x_k^1, x_k^2, \dots, x_k^n) \\ X_{\min} = \min(x_k^1, x_k^2, \dots, x_k^n) \\ Y_{\max} = \max(y_k^1, y_k^2, \dots, y_k^n) \\ Y_{\min} = \min(y_k^1, y_k^2, \dots, y_k^n) \end{cases} \quad (5)$$

式中: $X_{\max}, X_{\min}, Y_{\max}, Y_{\min}$ 分别为变换后图像角点横纵坐标最大值与最小值。

计算全部视频帧以拼接图为基准的平移矩阵 D , 如公式(6)所示:

$$D = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -X_{\min} \\ 1 & 0 & -Y_{\min} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

计算全部视频帧以拼接图为基准透射变换的单应性矩阵组 H_e , 如公式(7)所示:

$$\begin{cases} H_e = \{e_1, e_2, \dots, e_n\} \\ e_i = D c_i \quad 1 \leq i \leq n \end{cases} \quad (7)$$

式中: e_1, e_2, \dots, e_n 分别为视频帧以拼接图为基准透射变换的单应性矩阵。

最后, 将拼接图尺寸设定为 (X, Y) , 利用 LM^[12] 算法优化 H_e , 将全部待匹配帧进行透射变换, 得到视频帧拼接图。

3.2 相关说明

(1) 适用性: 对于基于特征点的匹配算法来说, 过大的视频帧图幅对于计算变换矩阵没有帮助, 反而会降低特征匹配的运行效率。所以侦察影像快速拼接算法通过先降低视频分辨率进行预处理与特征匹配, 再将降低倍数考虑到单应性矩阵中, 从而满足原始视频帧的拼接。

(2) 功能实现: 为将拼接图自动置于图像中心, 并尽可能地节约图幅, 所提出的方法根据已求得的视频帧间的几何关系, 计算拼接图尺寸与拼接图平移量, 然后将平移量计算在视频帧透射变换的单应性矩阵中实现拼接。该方法简便快捷, 易于实现, 并适用于航迹较为复杂的无人机侦察视频拼接。

(3) 速度优势: 通常, 特征匹配将占用大部分拼接时间, 而待匹配视频的图幅大小将较大程度地影响特征匹配时间, 虽然通过降采样可以提高视频帧

特征的匹配速度,但会使拼接图的分辨率降低,图像细节流失。侦察影像快速拼接算法缩小了待匹配视频的图幅,又根据几何关系计算出原始视频帧的单应性矩阵,这样既保证了拼接图的纹理细节,又提高了拼接速度。

(4) 阈值设定:若 Z 越小,视频帧细节保留越完整,则对拼接的准确性越有利,但速度相应减慢。综合算法整体的运行效率,经过多次实验,可通过设定 Z 将视频帧尺寸调整为 480×270 左右。在实际应用中,参数可按操作对象调整。

4 实验验证

笔记本计算机配置:处理器为 2.5 GHz i7 第 6 代,系统为 64 位 Win10,编程环境为链接 OpenCV 3.10 的 VS 2015。

4.1 随机抽样一致性算法实验

4.1.1 数据集

为保证客观性与普适性,实验采用标准测试图集^[15]。如图 3 所示,从该图集中选取 5 个数据子集(含图像间的单应矩阵),包括:Bark (尺度和旋转变换 $765 \text{ pixel} \times 512 \text{ pixel}$),Leuven (照度变化 $921 \text{ pixel} \times 614 \text{ pixel}$),Trees (模糊变换 $1000 \text{ pixel} \times 700 \text{ pixel}$),Ubc (JPEG 压缩 $800 \text{ pixel} \times 640 \text{ pixel}$),Wall (视点变换 $1000 \text{ pixel} \times 700 \text{ pixel}$)。



(a) Bark (b) Leuven (c) Trees (d) Ubc (e) Wall

图 3 测试所用图片集

Fig.3 Datasets used for evaluation

4.1.2 实验对象及相关参数设置

实验对象:如表 1 所示,实验将基于控制变量的

表 1 实验技术参数

Tab.1 Experimental technical parameters

Submethod	A	B
1	Random sampling and calculation based on sample set	Random sampling and calculation based on inliers
2	Jumping out loop based on confidence	Jumping out loop based on unchanged maximum

准则,针对模型估计算法的不同子方法进行对比分析。其中,A1+A2 即为 RANSAC,B1+B2 为改进的随机抽样一致性算法。

特征检测子:Accelerated-KAZE 检测子^[16](AKAZE:OpenCV 默认参数)。

特征描述子:M-SURF 64 描述子(KAZE:OpenCV 默认参数)。

匹配方法:暴力匹配(双向匹配)(欧氏距离)。

基础矩阵计算方法:正规化 8 点法^[14]。

A2 置信度:0.99。

4.1.3 评估准则

为了衡量算法的鲁棒性与运行效率,该实验主要通过平均误差距离与耗时两个指标衡量算法。

指标 1:文中实验采用平均误差距离作为评价标准,其定义式如下:

$$R = \sum_{i=1}^n \sqrt{[(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2]} / n \quad (8)$$

式中: R 为平均误差距离; x_i 与 y_i 分别为目标图像中匹配点的实际横纵坐标; x_j 与 y_j 分别为目标图像中匹配点的理论横纵坐标; n 为匹配对数。理论横纵坐标是由对应的基准图像中匹配点与单应性矩阵计算得到的。

指标 2:算法的运行效率是指在相同硬件平台上模型估计算法的运行速度。实验使用耗时作为评价标准。

4.1.4 实验过程

首先利用 Accelerated-KAZE 检测子与 M-SURF 64 描述子以及暴力匹配方法对数据子集内的图像进行 5 次匹配:图像 1 与图像 2,图像 1 与图像 3, ..., 图像 1 与图像 6。然后根据匹配点计算平均误差距离。

利用 A1+A2、A1+B2 与 B1+B2 对 25 组匹配点进行 100 次处理(正规化 8 点法计算基础矩阵),以 RANSAC 得到的平均误差距离为标准,通过调整基于最大值不变的循环跳出方法的阈值,使平均误差距离降低到相同标准。统计此时 25 组实验耗时,并计算 100 次耗时均值。

4.1.5 实验结果与分析

各个步骤对算法影响的实验对比结果见图 4。

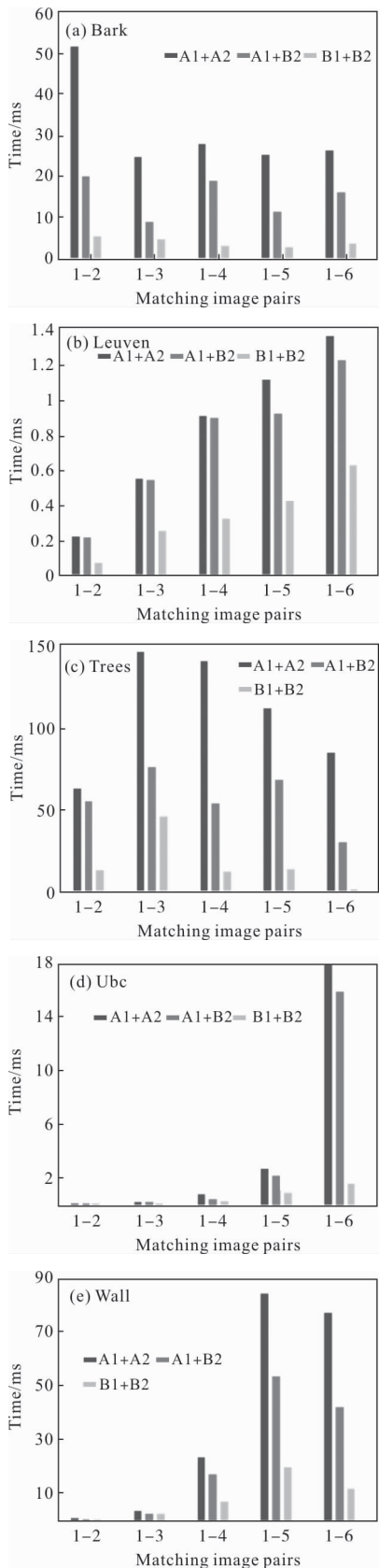


图 4 算法耗时比较

Fig.4 Comparison of time consumption for different methods

将实验结果分析如下：

(1) 由 A1+A2 与 A1+B2 的对比可以验证：基于最大值不变的循环跳出方法适用于 RANSAC。对于同一样本集，算法得到相同结果，基于最大值不变的循环跳出方法比基于置信度计算的循环跳出方法更快跳出循环。

(2) 由 A1+B2 与 B1+B2 的对比可以验证：对于不同样本集，算法得到相同结果，基于内点的随机抽样与计算方法的循环计算速度比基于样本集的随机抽样与计算方法更快。

(3) 由 A1+A2 与 B1+B2 的对比可以验证：基于最大值不变的循环跳出方法适用于改进的随机抽样一致性算法。改进的随机抽样一致性算法在保证鲁棒性的同时，提高了执行速度。

4.2 无人机视频拼接实验

4.2.1 数据集

对某地区进行实验，技术参数如表 2 所示，部分视频帧与相关 POS 数据如表 3 与图 5 所示。

表 2 实验影像主要技术参数

Tab.2 Main technical parameters of aerial photography

Items	Parameters
Time	2016-08
Unmanned aerial vehicle	DJI S800
Camera	SONY, Zennuse Vision table system
Focal length of camera/mm	60
Video resolution/pixel	720×1 080
Regional scope/km ²	100
Maximum topographic relief/m	373
Data update rate of GPS/s	1
Eccentricity component of GPS/m	2.049, -0.501, 1.381

表 3 实验视频帧的 POS 数据

Tab.3 POS data of the test video frames

Aerial photos	Latitude/(°)	Longitude/(°)	Height / m	Roll angle/(°)	Pitching angle/(°)	Path angle/(°)
1	34.82	109.52	739.00	-4.91	-1.83	91.26
2	34.82	109.52	738.00	-0.99	-0.13	89.75
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

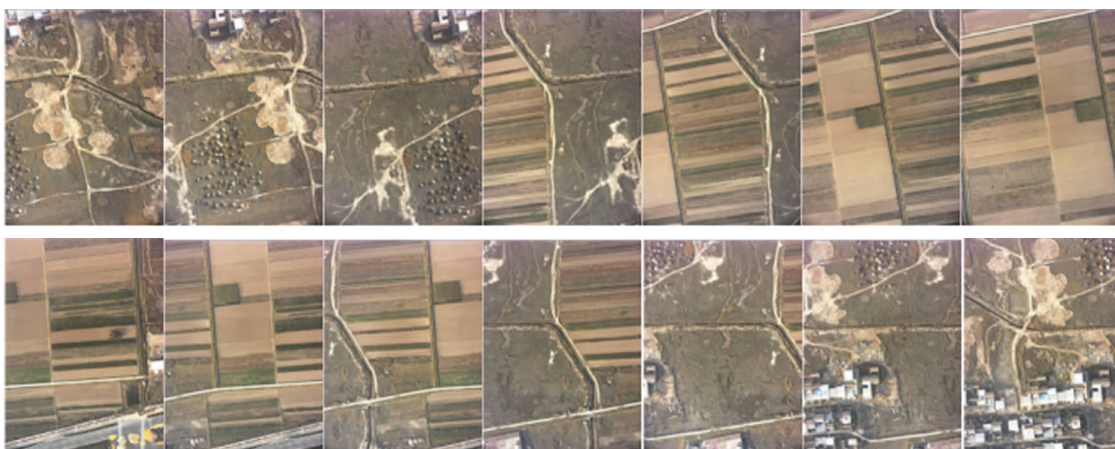


图 5 测试所用视频帧

Fig.5 Video frames used for evaluation

4.2.2 评估准则

为了衡量方法的鲁棒性与运行效率，文中实验主要通过定位误差、误差均方差与平均每帧耗时 3 个指标衡量方法，其中的 3 个指标的定义式如下：

$$S = \sqrt{[(X_k - x_k)^2 + (Y_k - y_k)^2]} \quad (9)$$

$$M = \left[\frac{1}{n} \sum_{k=1}^N [(X_k - x_k)^2 + (Y_k - y_k)^2] \right]^{-1/2} \quad (10)$$

$$T = \sum_{i=1}^N t_i / \sum_{i=1}^N L_i \quad (11)$$

式中： S 为目标的定位误差； M 为目标的误差均方差； T 为平均每帧耗时； (x_k, y_k) 为第 k 个目标二维坐标计算值； (X_k, Y_k) 为第 k 个目标二维坐标测量值； n 为地物点总数； t_i 为第 i 组的拼接耗时； L_i 为第 i 组拼接的总帧数； N 为拼接总组数。

4.2.3 实验过程

首先利用 FMUAVRVIMF 与基于场景复杂度与不变特征的航拍视频实时配准算法（起始帧进行正射矫正）^[12] 对数据集内的两条航带的部分视频帧进行拼接。然后在拼接图中较为平均地选取明显的物点，计算二维坐标，以谷歌数字卫星地图的地理信息为理论值来计算定位误差。然后记录下拼接帧数与拼接耗时。

选择不同视频帧，共进行 20 组拼接，每组拼接帧数逐渐增加，第 1 组拼接帧数为 2，第 2 组拼接帧数为 4，以此类推，第 20 组拼接帧数为 40。每组拼接中每帧选取 5 个测量点，共计 2100 个地物点，然后计算平均定位误差与误差均方差与平均每帧耗时。

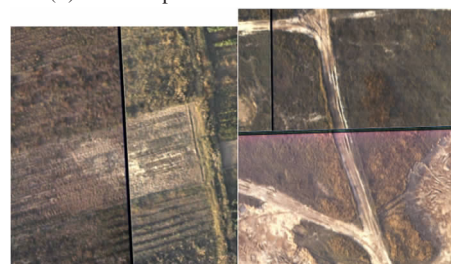
4.2.4 实验结果与分析

两种方法部分(14 帧)的拼接结果如图 6 所示，全部地物点 (2100 个地物点) 定位误差曲线如图 7 所示。



(a) FMUAVRVIMF 拼接图

(a) Mosaic photo of FMUAVRVIMF



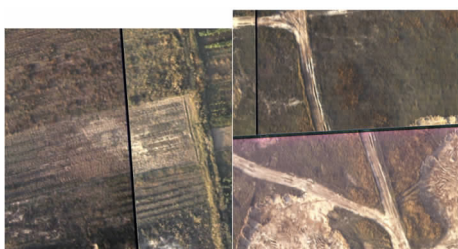
(b) FMUAVRVIMF 同航带与航带间拼接细节

(b) Mosaic detail among air belt and FMUAVRVIMF



(c) 参考文献[12]拼接图

(c) Mosaic photo of reference[12]



(d) 参考文献[12]同航带与航带间拼接细节
(d) Mosaic detail on air belts in reference[12]

图 6 侦察视频拼接结果

Fig.6 Results of reconnaissance video frames

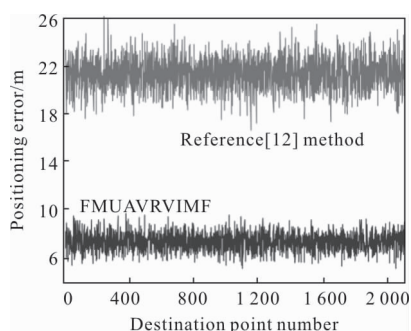


图 7 定位误差结果

Fig.7 Results of positioning error

参考文献 [12] 中的匹配方法的最大定位误差为 26.01m,定位误差平均值为 21.28 m,误差均方差为 1.28, 拼接 40 帧时平均每帧耗时 1.92 s。FMUAVRVIMF 的最大定位误差为 9 m, 定位误差平均值为 7.37 m,误差均方差为 0.71,拼接 40 帧时平均每帧耗时 0.61 s。对实验结果的分析如下:

(1) 参考文献[12]中同航带拼接效果较好,航带间拼接效果较差,这是由于特征匹配鲁棒性不强,造成了拼接累积误差较大。虽然参考文献[12]利用 Harris 替换了 SIFT 中的高斯差分检测,以提高特征检测速度,但 Harris 的性能没有高斯差分检测或快速海森矩阵强,这势必会造成算法鲁棒性减弱;同时参考文献[12]利用了 SIFT 128 描述子,该算子的实时性较弱。而 FMUAVRVIMF 采用了 FARISFD 与 M-SURF 64 描述子,大幅提高了执行效率与鲁棒性,以至于多航带中旋转 180°的影像也可成功匹配。

(2) 参考文献[12]采用 RANSAC 进行模型估计实现拼接,而文中提出的改进的随机抽样一致性算法在保证 RANSAC 鲁棒性的同时,大幅提高了执行效率,保证了 FMUAVRVIMF 模型估计环节的准

确性与实时性。

(3) 侦察影像快速拼接算法不仅提高了拼接速度,还改善了拼接图效果,保证纹理细节与拼接准确性,同时将拼接图自动置于图像中心,并尽可能地节约图幅。

5 结 论

文中提出 FMUAVRVIMF,并通过理论与实验验证了方法的可行性与优势,主要得到以下结论:

(1) 基于内点的随机抽样与计算方法的收敛速度比基于样本集的随机抽样与计算方法更快。

(2) 基于最大值不变的循环跳出方法比基于置信度计算的循环跳出方法更快跳出循环,且适用于改进的随机抽样一致性算法。

(3) 改进的随机抽样一致性算法在保证算法鲁棒性的同时,提高了执行速度。

(4) 侦察影像快速拼接算法保证了拼接图的纹理细节,又提高了拼接速度。

(5) 侦察影像快速拼接算法能够将拼接图自动置于图像中心,并尽可能地节约图幅。

(6) FMUAVRVIMF 较传统方法的鲁棒性与实时性均有提升,且适用于多航带拼接。

参 考 文 献:

- [1] Yu Huai, Yang Wen. A fast feature extraction and matching algorithm for unmanned aerial vehicle images [J]. *Journal of Electronics and Information Technology*, 2016, 38(3): 509-516. (in Chinese)
余淮, 杨文. 一种无人机航拍影像快速特征提取与匹配算法[J]. 电子与信息学报, 2016, 38(3): 509-516.
- [2] Liao Jun, Chu Jun, Zhang Guimei. Object segmentation from multi-views images with a few interactions [J]. *Journal of Computer -Aided Design & Computer Graphics*, 2017, 29(1): 115-123. (in Chinese)
缪君, 储珺, 张桂梅. 少量交互的多视角图像目标分割算法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2017, 29(1): 115-123.
- [3] Liang Huanqing, Fan Yonghong, Wan Huiqiong, et al. Mosaic algorithm of UAV images based on AKAZE feature [J]. *Journal of Geomatics Science and Technology*, 2016, 33(1): 71-75. (in Chinese)
梁焕青, 范永弘, 万惠琼, 等. 一种运用 AKAZE 特征的无人机遥感影像拼接法 [J]. 测绘科学技术学报, 2016, 33

- (1): 71–75.
- [4] Fischler M, Bolles R. Random sample consensus: A paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography [J]. *Communication of the ACM*, 1981, 24(6): 381–395.
- [5] Matas J, Chum O. Randomized RANSAC with sequential probability ratio test [C]//Proceedings of the 10th IEEE International Conference on Computer Vision, 2005: 1727–1732.
- [6] Chen Fuxing, Wang Runsheng. Fast RANSAC with preview model parameters evaluation [J]. *Journal of Software*, 2005, 16(8): 1431–1437. (in Chinese)
陈付幸, 王润生. 基于预检验的快速随机抽样一致性算法 [J]. 软件学报, 2005, 16(8): 1431–1437.
- [7] Tian Wen, Wang Hongyuan, Xu Fan, et al. Enhanced RANSAC with Adaptive Pre-verification [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2009, 14(5): 973–977. (in Chinese)
田文, 王宏远, 徐帆, 等. RANSAC 算法的自适应 Tc, d 预检验 [J]. 中国图象图形学报, 2009, 14(5): 973–977.
- [8] Zhou G. Geo-referencing of video flow from small low-cost civilian UAV [J]. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 2010, 7(1): 156–166. (in Chinese)
- [9] Cheng Yongmei, Zhang Shaowu, Hua Yongqiang, et al. A better aerial video image mosaic algorithm using SIFT combined descriptors [J]. *Journal of North-western Polytechnical University*, 2010, 28(1): 51–56. (in Chinese)
程咏梅, 张绍武, 花永强, 等. 基于 SIFT 联合描述子的航拍视频图像镶嵌 [J]. 西北工业大学学报, 2010, 28(1): 51–56.
- [10] Liu Shanlei, Wang Guanghui, Shi Shanqiu, et al. A method for automatic stitching of UAV video frames [J]. *Science of Surveying and Mapping*, 2013, 38(5): 78–80. (in Chinese)
刘善磊, 王光辉, 石善球, 等. 一种无人机视频帧自动拼接方法 [J]. 测绘科学, 2013, 38(5): 78–80.
- [11] Zheng Hui, Li Xiaodong, Qu Yongping. Oblique video flow mosaic based on unmanned aerial vehicle [J]. *Science Technology and Engineering*, 2016, 16(32): 263–268. (in Chinese)
郑晖, 黎晓东, 渠永平. 无人机视频流倾斜影像快速拼接方法 [J]. 科学技术与工程, 2016, 16(32): 263–268.
- [12] Yang Tao, Zhang Yanning, Zhang Xiuwei, et al. Scene complexity and invariant feature based real-time aerial video registration algorithm [J]. *Acta Electronicasinaica*, 2010, 38(5): 1069–1077. (in Chinese)
杨涛, 张艳宁, 张秀伟, 等. 基于场景复杂度与不变特征的航拍视频实时配准算法 [J]. 电子学报, 2010, 38(5): 1069–1077.
- [13] Zhang Yan, Li Jianzeng, Li Deliang, et al. Fast adaptive robust invariant scalable feature detector [J]. *Systems Engineering and Electronics*, 2017, 39(6): 1406–1413. (in Chinese)
张岩, 李建增, 李德良, 等. 快速自适应鲁棒性尺度不变的特征检测子 [J]. 系统工程与电子技术, 2017, 39(6): 1406–1413.
- [14] Pablo F, Pablo F, Adrien B, et al. KAZE features [C]//Proceedings of the 12th European Conference on Computer Vision, Florence, 2012: 214–227.
- [15] Mikolajczyk K, Tuytelaars T, Schmid C, et al. A comparison of affine region detectors [J]. *International Journal of Computer Vision*, 2005, 65(1–2): 43–72.
- [16] Pablo F, Jesus N, Adrien B. Fast explicit diffusion for accelerated features in nonlinear scale spaces [C]//Proceedings of the British Machine Vision Conference, 2013: 2157–2163.