

# 一种新的无人机航拍序列图像快速拼接方法

李岩山,裴继红,谢维信,李良群

(深圳大学 ATR 国防科技重点实验室,广东深圳 518060)

**摘 要:** 无人驾驶飞机航拍序列图像的邻近帧间含有大量的相交区域,这些相交区域是进行基于特征的图像拼接的基础,但是也成为了降低拼接效率的冗余信息.因此,本文提出一种既稳定又具有较小时间开销的无人机航拍序列图像的自动拼接方法.利用图像拼接过程中查找到的匹配特征点,自适应提取出适于航拍序列图像快速拼接的关键帧;在分析了序列图像的拼接时的相交区域的运动模型的基础上,建立了无人机航拍序列图像配准过程中的特征搜索区域预测的卡尔曼滤波器,减少了特征搜索和配准的时间;然后给出了详细无人机航拍序列图像的快速拼接方法,实验结果显示,本文的方法具有较好的拼接效果和拼接效率.

**关键词:** 无人机航拍序列图像;自动拼接;卡尔曼滤波

**中图分类号:**           **文献标识码:** A           **文章编号:** 0372-2112 (2012) 05-0935-06

**电子学报 URL:** <http://www.ejournal.org.cn>           **DOI:** 10.3969/j.issn.0372-2112.2012.05.012

## A New Fast Automatic Mosaic Method on Unmanned Aerial Vehicle Images

LI Yan-shan, PEI Ji-hong, XIE Wei-xin, LI Liang-qun

(ATR Key Laboratory of National Defense Technology, Shenzhen University, Shenzhen, Guangdong 518060, China)

**Abstract:** The adjacent frames of the unmanned aerial vehicle images contain much overlap areas. These areas are the basis of the image mosaic, but also decrease the efficient of the mosaic. This paper proposed a fast and stable automatic mosaic method on unmanned aerial vehicle images. A new mosaic-oriented frame selection method by using the feature points which were found in the process of the mosaic to select the most feasible frames for mosaic was proposed; based on analysis of the movement model of the overlap areas in the images, a Kalman filter for predicting the search area of feature points was proposed to reduce the time-cost in the process of searching and matching features. And then, the detail steps of the algorithm were presented. The experimental results showed that the proposed algorithm can finish the seamless image mosaic with low time-cost.

**Key words:** unmanned aerial vehicle images; automatic mosaic; kalman filter

### 1 引言

随着无人机(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)在军事侦察、抗灾救灾、森林火灾监测、遥感遥测等领域的应用越来越广泛,它的独特优点吸引了越来越多的国内外专家学者投入到无人机关键技术的研究中<sup>[1~12]</sup>.无人机航拍序列图像拼接技术是运用图像拼接技术,将无人机航拍的视频序列图像进行拼接,形成一幅大场景的直观易理解的图像.由于航拍图像的数据量大、数据处理时间长及作业强度高问题的存在,如何高效的实现无人

机航拍序列图像的拼接已经成为一个热点研究问题. Guoqing Zhou<sup>[7]</sup>首先对视频帧进行重采样和矫正,然后进行拼接,完成了小型无人机航拍序列图像的近实时图像拼接;王书民等人<sup>[8]</sup>对航拍序列图像拼接前进行批量采样和裁剪等预处理,然后基于 SIFT 特征点航拍序列图像的快速拼接,实现航拍图像的自动化拼接;樊庆文等人<sup>[9]</sup>提出利用基于等距序列图像快速拼接的方法和数学模型;黄琼丹等人<sup>[10]</sup>把优化理论运用于基于特征点的拼接方法,算法完成序列图像拼接;封靖波等人<sup>[11]</sup>提出一种基于相似曲线的拼接算法,能自动对一组图像

收稿日期:2011-07-18;修回日期:2011-12-12

基金项目:广东省科技推广计划项目(No. A2009007-019(a));深圳市重点实验室提升计划项目(No. CXB200903090020A);深圳市科技计划项目(No. JC201005250040A)

进行无缝拼接。

本文针对非遥感测量无人机航拍序列图像拼接进行研究,图像中不包含地理信息、飞机姿态信息等,以特征匹配图像拼接为基本框架,在图像拼接过程中自适应提取序列图像中的待匹配关键帧,并建立卡尔曼滤波器进行待匹配区域的预测,在保证拼接效果的前提下,尽量降低待拼接图像的冗余信息,提高拼接效率。本文的拼接方法分为两个阶段,图像配准和图像拼接。采用基于 SIFT(Scale Invariant Feature Transformation)特征<sup>[12-15]</sup>的图像配准方法,SIFT 算法具有提取特征比较稳定的优点,能在图像旋转、尺度变换、仿射变换、视角变换和光照变化的情况下提取稳定的特征点,越来越多地被应用于图像拼接、图像配准、模式识别等领域。

## 2 航拍序列图像中的关键帧提取

无人机航拍序列图像邻近图像帧间有很强的相交性,相邻帧图像相交区域占到整个图像的 90% 以上,这给图像拼接带来了大量的冗余帧,本文从这些冗余帧中抽取部分关键帧用于图像拼接。

所谓关键帧是指在视频图像帧序列中具有代表性,能够反映一个镜头序列内容梗概的图像帧。它能有效地表示视频帧的主题和内容及其特征。在视频图像拼接中,用于拼接的关键帧的提取直接影响拼接效果和效率,目前用于提取关键帧的方法主要有:基于镜头的方法、基于内容分析的方法、基于运动分析的方法、基于压缩视频流提取的方法、基于聚类的方法等。由于在无人机航拍序列图像拼接中,需要进行特征提取和匹配,为了提高拼接效率,本文利用待匹配图像对中匹配的特征点集进行关键帧提取。

设第  $k$  次拼接的两幅图像为  $M_i$  和  $M_j$ ,其中  $j > i$ ,  $T_k$  为  $M_i$  和  $M_j$  的帧间距,即:  $T_k = j - i$

根据在飞机飞行较稳定,只有轻微振动和摆动 的情况下,由于航拍序列图像中待拼接的图像对的匹配特征数与帧间距成一定比例,因此,下一次用于拼接的关键帧  $M_m$  与  $M_j$  的帧间距为:

$$T_{k+1} = T_k + (N - \rho) / (\alpha v_k) \quad (1)$$

其中  $N$  为  $M_i$  和  $M_j$  匹配特征点数, $\rho$  为预设的最佳拼接特征数, $v_k$  为飞行速度,单位为像素/帧, $\alpha$  为可调参数。

由于航拍序列图像中待拼接的图像对的匹配特征数不仅仅与帧间距有关,还与拍摄图像的质量有关,图像分辨率越高,细节部分越多,则特征数越多,反之亦

然,因此在实际操作中,需通过  $\alpha$  来对  $T_{k+1}$  的进行调整。

## 3 基于卡尔曼滤波的航拍序列图像的相交区域估计

设第  $k$  次拼接的拼接结果为  $RM_k$ ,它由图像  $RM_{k-1}$  和  $M_j$  拼接而成,  $(c_{k,x}, c_{k,y})$  分别为  $RM_{k-1}$  的匹配特征点集中心点在图像中的坐标位置,  $(c'_{k,x}, c'_{k,y})$  分别为  $M_j$  的匹配特征点集中心点在图像中的坐标位置,那么在第  $k+1$  次拼接过程中,待拼接图像为  $RM_k$  和  $M_i$ ,则特征查找区域的中心区可以近似由匹配特征的中心点来表示,即  $(c_{k+1,x}, c_{k+1,y})$  分别为  $RM_k$  的匹配特征点集中心点在图像中的坐标位置,  $(c'_{k+1,x}, c'_{k+1,y})$  分别为  $M_i$  的匹配特征点集中心点在图像中的坐标位置,  $(v_{k+1,x}, v_{k+1,y})$  为  $M_j$  和  $M_i$  之间的飞行速度,则可得:

$$c_{k+1,x} = c_{k,x} + (v_{k+1,x} - v_{k,x})\Delta t + w_x \quad (2)$$

$$c_{k+1,y} = c_{k,y} + (v_{k+1,y} - v_{k,y})\Delta t + w_y \quad (3)$$

$$c'_{k+1,x} = c'_{k,x} + (v_{k+1,x} - v_{k,x})\Delta t + w_x \quad (4)$$

$$c'_{k+1,y} = c'_{k,y} + (v_{k+1,y} - v_{k,y})\Delta t + w_y \quad (5)$$

其中  $v_{k,x}, v_{k,y}$  分别为飞机在图像的  $x$  轴和  $y$  轴上的分速度,  $\Delta t = T_{k+1} - T_k$ ,  $w_x$  和  $w_y$  分别为飞机侧摆、振动引起的零均值高斯白噪声。

根据以上讨论和 Kalman 滤波理论,建立的 Kalman 滤波器模型如下:

$$\text{状态方程: } \mathbf{X}_k = \Phi_{k/k-1} \mathbf{X}_{k-1} + \mathbf{W}_{k-1} \quad (6)$$

$$\text{观测方程: } \mathbf{Z}_k = \mathbf{H}_k \mathbf{X}_{k-1} + \mathbf{V}_k \quad (7)$$

其中,  $\mathbf{X}_{k-1}$  表示  $RM_{k-1}$  和  $M_j$  的匹配特征点集中心点的状态向量,  $\mathbf{X} = (c_{k,x}, c_{k,y}, c'_{k,x}, c'_{k,y}, v_{k,x}, v_{k,y})'$ ,  $\mathbf{Z}_k = (cc_k, cr_k, cc'_k, cr'_k)'$  表示观测向量,  $\Phi_{k/k-1}$  为从  $k-1$  时刻到  $k$  时刻系统的状态转移矩阵,  $\mathbf{H}_k$  为观测矩阵,  $\mathbf{W}_{k-1}$  和  $\mathbf{V}_k$  分别为零均值的系统噪声向量和观测向量,其中:

$$\Phi_{k/k-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & T_k - T_{k-1} & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & T_k - T_{k-1} \\ 1 & 0 & 0 & 0 & T_k - T_{k-1} & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & T_k - T_{k-1} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{H}_k = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

上述状态转移矩阵  $\Phi_{k/k-1}$  中的  $T_k$  表示从第  $k-1$  次拼接到第  $k$  次拼接抽取的视频图像关键帧的采样时间间隔。

则 Kalman 滤波递推公式为:

$$\text{状态一步预测: } \hat{X}_{k+1/k} = \Phi_{k+1/k} \hat{X}_{k/k} \quad (9)$$

一步验前误差方差阵:

$$P_{k+1/k} = \Phi_{k+1/k} P_{k+1/k} \Phi_{k+1/k}^T + Q_k \quad (10)$$

$$\text{滤波增益: } K_{k+1} = P_{k+1/k} H_{k+1}^T [H_{k+1} P_{k+1/k} H_{k+1}^T + R_k]^{-1} \quad (11)$$

运用  $\hat{X}_{k+1/k}$  在矩形区域  $SM_{k+1}$  和  $SM'_{k+1}$  中进行 SIFT 特征搜索和特征匹配, 得到观测向量  $Z_{k+1}$ 。

$$\text{新息序列: } v_{k+1} = Z_{k+1} - H_{k+1} \hat{X}_{k+1/k} \quad (12)$$

$$\text{滤波方程: } \hat{X}_{k+1/k+1} = \Phi_{k+1/k} \hat{X}_{k/k} + K_{k+1} v_{k+1} \quad (13)$$

$$\text{协方差估计: } P_{k+1/k+1} = [I - K_{k+1} H_{k+1}] P_{k+1/k} \quad (14)$$

其中,  $Q_k = E[W_k W_k^T]$  ( $i = k$ ),  $R_k = E[V_k V_k^T]$  ( $i = k$ )。

## 4 算法

设有无人驾驶飞机航拍序列图像  $M$ ,  $RM_{k-1}$  为第 ( $k-1$ ) 次拼接的结果,  $M_i$  为用于第 ( $k-1$ ) 次拼接的图像, 当前第  $k$  次待拼接的两幅图像  $RM_{k-1}$  和  $M_j$ , 其中  $M_j$  为  $M$  中用于第  $k$  次拼接的帧。设  $PMS_{k-1}(x, y)$  和  $PM_k(x, y)$  为在第 ( $k$ ) 次拼接时  $RM_{k-1}$  和  $M_j$  中的匹配特征集的中心点。( $v_{k,x}, v_{k,y}$ ) 为飞机在  $x$  和  $y$  方向的速度。

**step1** 由式(1)得到第  $k$  次拼接的关键帧图像  $M_j$ 。

**step2** 根据卡尔曼滤波器模型由  $PMS_{k-2}(x, y)$  和  $PM_{k-1}(x, y)$  预测得到第  $k$  次待拼接的两幅图像  $RM_{k-1}$  和  $M_j$  的匹配特征点集的中心点  $PMS_{k-1}(x, y)$  和  $PM_k(x, y)$ 。

**step3** 预设特征搜索区域占原图像的比率为  $\lambda$ , 则在以  $PMS_{k-1}(x, y)$  为中心的矩形区域和以  $PM_k(x, y)$  为中心的矩形区域中进行 SIFT 特征搜索、特征匹配、RANSAC 算法特征提纯, 最终得到匹配的特征集为 KEY1 和 KEY2。

**step4** 根据 KEY1 和 KEY2 计算特征集的中心点  $PMS'_k(x, y)$  和  $PM'_k(x, y)$ , 并进行卡尔曼滤波模型更新; 根据 KEY1 和 KEY2 的特征匹配对数  $N$  进行关键帧提取时间  $T_{k+1}$  的调整。

**step5** 将 KEY1 和 KEY2 中的特征点映射到  $RM_k$  和  $M_j$  中, 计算投影变换矩阵  $H_k$ 。

**step6** 进行  $RM_{k-1}$  和  $M_j$  图像拼接及后处理得图像  $RM_k$ 。

从性能上分析, 由于本文的拼接方法能根据飞行

速度自动调整最佳关键帧的提取时刻, 从而保证了在飞机速度变化的情况下仍能在待匹配图像上搜索到足够的匹配特征; 而如果采用固定帧间距提取待拼接帧, 如果帧间距取得太大, 则有可能拼接失败, 如果取得太小, 则拼接时间会大大增大, 而且当飞机速度发生变化时, 固定帧间距取关键帧的方法更不能适用; 在飞机航向变化时, 卡尔曼滤波器会自动缩短关键帧提取的时间, 保证在提取的关键帧之间有大量的冗余信息。另外, 由于本文的拼接方法采用了卡尔曼滤波器对待拼接图像的匹配区域进行预测, 则特征搜索和匹配时间大大降低, 如果搜索区域为原图像的  $1/n$ , 则本文方法的特征搜索时间为对整幅图像进行搜索的时间的  $1/n$ 。

## 5 实验及分析

实验图像为无人驾驶飞机自动拍摄的视频序列图像, 该视频序列中, 飞机有明显的摆动, 拍摄高度不变, 每帧图像大小为  $480 \times 640$ 。实验在 CPU 主频为 1.66GHz 的 Intel T2300, 内存为 2.5GB 的 PC 机上进行。

为了分析选取的特征数量阈值对拼接的影响, 我们选取视频序列中的第 100 帧到 1100 帧, 序列抽样初始值为 60 帧, 搜索区域比率参数为  $\lambda = 0.5$ , 速度转化为像素, 初始速度为 32 像素/帧, 选取的特征数阈值分别为 100、110、120、130、140、150、160。图 1 是在特征数阈值为 100 时的自动拼接结果图, 可以看出拼接结果图中没有错误、隙缝等瑕疵。图 2 是在取不同的特征数阈值的情况下, 关键帧抽取的时间间隔的情况, 可以看到, 拼接抽取的帧数随着特征数阈值的增加而增加, 关键帧抽取的时间间隔随着阈值的增加而减小, 间隔数最大为 120, 最小为 50。表 1 为不同的特帧数阈值对图像拼接的时间的影响, 可以看出, 拼接时间随着特征数阈值的增加而增加, 关键帧提取周期与特征数阈值成反

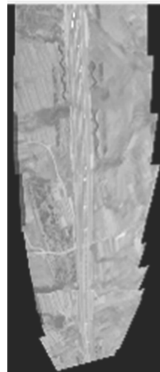


图1 特征数为100时的拼接结果

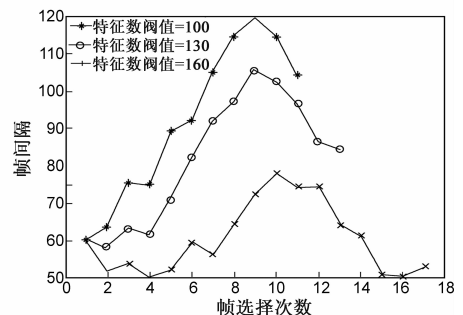


图2 不同的特征数阈值对关键帧提取时间间隔的影响

比,采样帧数与特征阈值成正比.由此可见,在保证拼接效果的情况下,特征阈值越小,越有利于视频序列图像的快速拼接.

表 1 不同的特征数阈值时的拼接时间和提取的关键帧情况

最佳特征数	100	110	120	130	140	150	160
拼接时间(s)	40.228	41.888	38.395	46.397	50.741	56.672	60.526
抽取的帧数	11	12	13	13	15	15	17

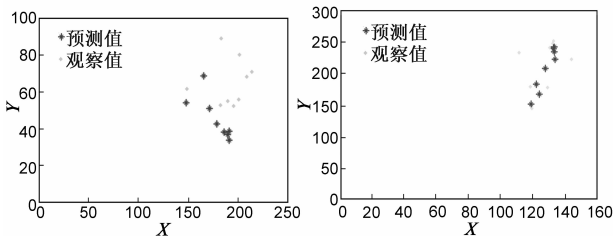


图3 待拼接图像的第一幅图像的特征点中心

图4 待拼接图像的第二幅图像的特征点中心

图3和图4分别为两幅待拼接图像中的特征点集的中心点,从中可以看出,第一幅图像的点集中于图像的上方,而第二幅图像的点集中于图像的下方,这与本文设想一致,即在满足拼接的特征点数量的情况下,用于拼接的图像具有最大的帧间距.

为分析特征搜索范围对拼接时间的影响,本文选取不同的特征搜索范围  $\lambda$  (0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0) 进行实验,最佳特征数阈值为 100,序列抽样初始值为 60 帧,实验结果如图所示.图5为在不同搜索范围的情况下,用于拼接的关键帧的提取时间间隔的比较,从中可看出提取的帧数随着搜索范围的增大而减少,帧间距随着搜索范围的增大而增大.表2为不同的搜索范围时进行图像拼接的时间,可以看出总的拼接时间以 0.8 时最低.这是由于随着搜索范围的扩大,虽然总的拼接次数减少了,但是单次拼接所花的时间随着增加,因此拼接总时间应是由特征次数和搜索范围的综合因素决定.图6和图7分别为两幅待拼接图像中的特征点集的中心点,从中可看出,第一幅图像的点集中于图像的上方,而第二幅图像的点集中于图像的下方.

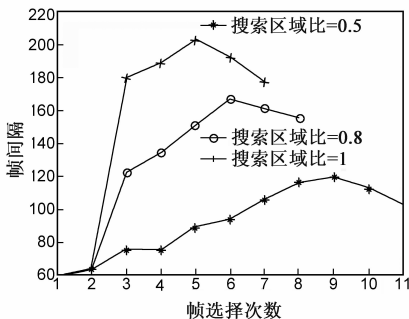


图5 不同的搜索范围时关键帧提取的帧间距

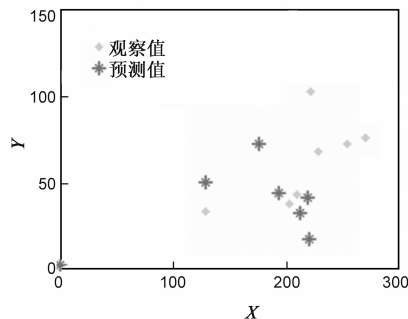


图6 待拼接图像的第一幅图像的特征点中心

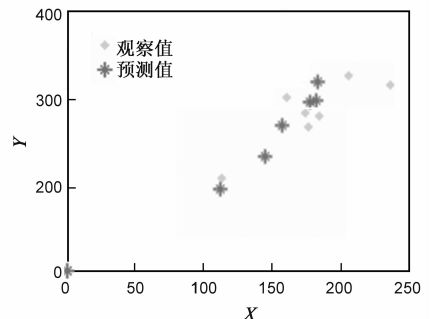
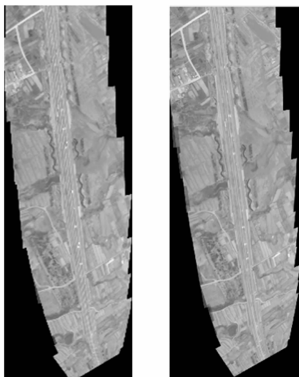


图7 待拼接图像的第二幅图像的特征点中心



(a) 本文算法结果 (b) 固定间隔方法结果

图8 本文算法与固定间隔的关键帧提取拼接方法的拼接效果

对本文方法与固定间隔关键帧抽取方法进行比较,实验对序列图像的第 100 帧到 1300 帧进行自动拼接,固定间隔分别为 80、100、130 帧,本文方法参数为  $\lambda$

$= 0.8$ ,关键帧提取时间间隔初始值为 60 帧,特征数阈值为 100.图8为拼接的结果图,从图中可以看出拼接

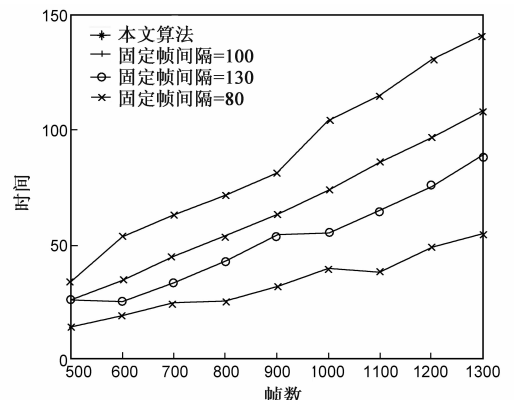


图9 本文算法与固定间隔的关键帧提取拼接方法的时间比较

的效果均较好,都是无缝、无错位拼接.图 9 为拼接时间比较,从图中可以看出本文方法在时间上具有绝对优势,在拼接 1200 帧时,本文方法所花的时间是固定帧间距为 80 的拼接时间的 1/3,为固定帧间距为 100 的拼接时间的 1/2.另外本文在选择固定帧间距为 140 时,部分帧拼接失败.因此,本文方法相比与固定帧间距的拼接方法具有更好的稳定性和更小的时间开销.

表 2 不同的搜索范围时的拼接时间和提取的关键帧情况

特征搜索范围	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
拼接时间 (s)	40.228	44.591	40.154	37.495	43.613	43.417
抽取的帧数	11	11	9	8	8	7

## 6 结论

本文基于无人驾驶飞机航拍序列图像的特点,提出一种既稳定又具有较小时间开销的无人机航拍序列图像的自动拼接方法.本文所提拼接方法首先利用图像拼接过程中得到的匹配特征点集提取出面向图像拼接的关键帧,然后建立无人机航拍序列图像待拼接帧的相交区域中心点的卡尔曼滤波器,以此对特征搜索区域进行预测,这一方面保证了进行无缝图像拼接的特征点数量,保证了拼接效果,另一方面大大降低了图像拼接过程中的冗余信息,减少了拼接时间.实验结果显示,本文的方法不仅能进行无人机航拍序列图像的无缝拼接,而且具有较高的拼接效率.

## 参考文献

[1] B A Yosi, F. Sharoni, G Pini, et al. Hierarchical task assignment and communication algorithms for unmanned aerial vehicle flocks [J]. *Journal of Aerospace Computing, Information, and Communication*, 2008, 5(8): 234 – 250.

[2] Jia Zeng, Xiaoke Yang, Lingyu Yang, Gongzhang Shen. Modeling for UAV resource scheduling under mission synchronization [J]. *Journal of Systems Engineering and Electronics*, October 2010, 21(5): 821 – 826.

[3] T Shima, S J Rasmussen, A G Spark. Multiple task assignments for cooperating uninhabited aerial vehicles using genetic algorithms [J]. *Computers & Operations Research*, 2006, 33(11): 3252 – 3269.

[4] Andrea S. Laliberte, Jeffrey E. Herrick, Albert Rango, Craig Winte. Acquisition, orthorectification, and object-based classification of unmanned aerial vehicle (UAV) Imagery for range-land monitoring [J]. *Photogrammetric Engineering & Remote*

*Sensing*, 2010, 76(6): 661 – 672.

[5] 杨涛,张艳宁,张秀伟,张新功.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.

YANG Tao, ZHANG Yan-ning, ZHANG Xiu-wei, ZHANG Xin-gong. Scene complexity and invariant feature based real-time aerial video registration algorithm [J]. *Acta Electronica Sinica*. 2010, 38(5): 1069 – 1077. (in Chinese)

[6] 周峰,邢孟道,保铮.一种无人机机载 SAR 运动补偿的方法[J]. *电子学报*. 2006, 34(6): 1002 – 1007.

ZHOU Feng; XING Meng-dao; BAO Zheng. A method of motion compensation for unmanned aerial vehicles borne SAR [J]. *Acta Electronica Sinica*. 2006, 34(6): 1002 – 1007. (in Chinese)

[7] Guoqing Zhou. Near real-time orthorectification and mosaic of small UAV video flow for time-critical event response [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2009, 47(3): 739 – 747.

[8] 王书民,张爱武,崔营营,张珍梅.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, (S1): 81 – 83.

WANG Shu-min, ZHANG Ai-wu, CUI Ying-ying, ZHANG Zhen-mei. Digital photogrammetry system based on unmanned airship and aerial image sequence stitching [J]. *Science of Surveying and Mapping*. 2010, (S1): 81 – 83. (in Chinese)

[9] 樊庆文,王小龙,等.基于等距序列图像的快速拼接技术[J]. *四川大学学报(工程科学版)*, 2005, 37(1): 139 – 142.

FAN Qing-wen, WANG Xiao-long, HOU Li, HUANG Cheng-xiang. Speediness mosaic technology based on isometry serial images [J]. *Journal of Sichuan University (Engineering Science Edition)*, 2005, 37(1): 139 – 142. (in Chinese)

[10] 黄琼丹,邱跃洪,田小平.基于特征点及优化理论的图像自动拼接方法[J]. *光子学报*, 2008, 38(8): 2139 – 2143.

HUANG Qiong-dan, QIU Yue-hong, TIAN Xiao-ping. Image automatic mosaic method based on feature points and optimization theory [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2008, 38(8): 2139 – 2143. (in Chinese)

[11] 封靖波,苏志勋,刘秀平.一种基于相似曲线的全景图自动拼接算法[J]. *计算机学报*, 2003, 26(11): 1604 – 1608.

FENG Jing-Bo, SU Zhi-Xun, LIU Xiu-Ping. An Similar-Curve Based Automatic Mosaic Algorithm of Panoramic Image [J]. *Chinese Journal of Computers*, 2003, 26(11): 1604 – 1608. (in Chinese)

[12] Lowe, D G. Object recognition from local scale-invariant features [A]. *The Proceedings of the Seventh IEEE International*

Conference on Computer Vision[C]. Kerkyra: IEEE Computer Society, 1999, 1150 – 1157.

- [13] David G Lowe. Distinctive image features from scale-invariant key points [J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2): 91 – 110.
- [14] 王永明, 王贵锦. 图像局部不变性特征与描述[M]. 北京: 国防工业出版社, 2010. 30 – 46.
- [15] 邹晓明. 摄像机阵列全景视频技术研究[D]. 深圳, 深圳大学, 2010. 5 – 12.

#### 作者简介



**李岩山** 男, 1979 年出生, 主要研究方向为智能信息处理、图像处理等.  
E-mail: lys@szu.edu.cn



**谢维信** 男, 1941 年出生, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为智能信息处理、模糊信息处理、智能人机交互、对地观测技术等.  
E-mail: wxxie@szu.edu.cn



**裴继红** 男, 1966 年出生, 博士, 教授, 博士生导师, IEEE 会员, 中国电子学会高级会员, 主要研究方向为图像与视频的处理与分析模式识别、模糊信息处理、智能人机交互等.  
E-mail: jhpei@szu.edu.cn