

6-3-2020

## Novel Method on Features Tracking for Multi-image Matching

Kaikai Jia

*Information Engineering University, Zhengzhou 450000, China;*

Zhenjie Zhang

*Information Engineering University, Zhengzhou 450000, China;*

Xiangyang Hao

*Information Engineering University, Zhengzhou 450000, China;*

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

---

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

---

## Novel Method on Features Tracking for Multi-image Matching

### Abstract

**Abstract:** Considering the slow motion between adjacent frames in image sequence, optical flow can be applied on image matching. *A novel method for multi-image matching based on features tracking was proposed. The algorithm tracked features between adjacent frames, combining with matching strategy and FB Error, to achieve fast and accurate matching. Multi-image matching was finished by tracking features between image sequence.* The experimental results show that the novel algorithm improves the efficiency and ensure the accuracy.

### Keywords

optical flow, features tracking, multi-image matching, FB Error

### Recommended Citation

Jia Kaikai, Zhang Zhenjie, Hao Xiangyang. Novel Method on Features Tracking for Multi-image Matching[J]. Journal of System Simulation, 2017, 29(5): 1147-1152.

## 一种基于特征点跟踪的多影像匹配算法

贾开开, 张振杰, 郝向阳

(解放军信息工程大学, 河南 郑州 450001)

**摘要:** 在序列影像中, 考虑到相邻帧影像的运动随时间变化比较缓慢, 可以将光流法用于影像匹配过程中, 提出了一种基于特征点跟踪的多影像匹配算法。通过光流法对特征点在帧间进行跟踪, 结合匹配判别准则和 FB Error 算法实现相邻帧影像的快速准确匹配, 利用多帧影像间的特征点跟踪实现多影像匹配。实验表明: 该算法相比于传统的特征点匹配算法, 提高了计算效率并保持了较好的匹配准确率。

**关键词:** 光流法; 特征点跟踪; 多影像匹配; FB Error

中图分类号: TP277 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2017) 05-1147-07

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201705029

## Novel Method on Features Tracking for Multi-image Matching

Jia Kaikai, Zhang Zhenjie, Hao Xiangyang

(Information Engineering University, Zhengzhou 450000, China)

**Abstract:** Considering the slow motion between adjacent frames in image sequence, optical flow can be applied on image matching. A novel method for multi-image matching based on features tracking was proposed. The algorithm tracked features between adjacent frames, combining with matching strategy and FB Error, to achieve fast and accurate matching. Multi-image matching was finished by tracking features between image sequence. The experimental results show that the novel algorithm improves the efficiency and ensure the accuracy.

**Keywords:** optical flow; features tracking; multi-image matching; FB Error

## 引言

影像匹配方法是计算机视觉中许多研究领域的基础, 在运动估计、目标识别跟踪、三维重建、全景图拼接以及视觉导航等方面有重要的应用。随着影像获取手段越来越多, 影像质量越来越高以及影像数据量不断变大, 对高效率的多影像匹配技术的研究逐渐成为计算机视觉研究的热点和难点问题。通过多影像匹配技术, 综合利用多幅影像信息,

增加空间物体表面的可见性和观测量, 有效提高了自动匹配的可靠性和成功率<sup>[1]</sup>。Maas<sup>[2]</sup>, Brown<sup>[3]</sup>等学者利用提取图像的特征点实现了多影像匹配。Szeliski<sup>[4]</sup>提出了一种新的利用多张影像提取同名像点并进行运动估计的方法。D'Apuzzo<sup>[5]</sup>提出了一种基于几何约束下最小二乘匹配的多影像匹配方法。Matthew<sup>[6]</sup>提出了一种基于尺度不变特征的匹配, 从多张影像上获取准确的匹配结果。李爱霞<sup>[7]</sup>等人提出了一种利用流行学习进行多影像匹配的方法。袁修孝<sup>[8]</sup>等人提出了一种利用像方和物方信息的多影像匹配方法。通过对国内外现有的算法进行研究和分析, 特征点的选取与匹配是算法的核心和重点。多影像的特征点选取与匹配策略是影响算



收稿日期: 2015-04-28 修回日期: 2015-07-07;  
作者简介: 贾开开(1989-), 男, 河南商丘, 硕士生, 研究方向为计算机视觉、机器视觉; 张振杰(1988-), 男, 河南林州, 博士生, 研究方向为视觉导航、计算机视觉; 郝向阳(1966-), 男, 河南济源, 博士, 教授, 博导, 研究方向为计算机视觉、摄影测量。

<http://www.china-simulation.com>

• 1147 •

法效率的根本原因。将影像间的光流信息引入影像匹配中,可以提供更好的匹配策略,提高了多影像匹配的效率。蒋晓瑜<sup>[9]</sup>等人提出了一种基于局部光流约束的角点匹配算法。本文在该算法的基础上提出了一种基于特征点跟踪的多影像匹配算法。同传统基于特征点的匹配算法相比,新方法通过光流法对序列影像中相邻帧影像的特征点进行跟踪,以特征点跟踪结果为先验信息制定相应的匹配策略,实现相邻帧影像的快速匹配,采用 FB Error 的方法对误匹配进行剔除。新方法实现了多帧影像间的特征点跟踪,在相邻帧影像匹配的基础上完成了多影像的匹配。

## 1 金字塔光流算法

光流就是相机与场景目标间有相对运动时所观察到的亮度模式运动,光流表达了影像的变化,包含了目标运动的信息。光流法的计算基于以下3个假设<sup>[10]</sup>:亮度恒定,影像的运动随时间的变化比较缓慢,空间一致。Lucas 和 Kanade<sup>[11]</sup>假设在一个小的空间邻域上运动矢量保持恒定,然后使用加权最小二乘法估计光流。

在实际应用中,影像间的运动通常难以满足LK光流算法的假设。为了解决这个问题引入了影像金字塔,即最初在较大的空间尺度上进行跟踪,再通过对影像金字塔向下直到影像像素的处理来修正初始运动速度的假定。金字塔光流算法<sup>[10]</sup>总体流程如图1所示。

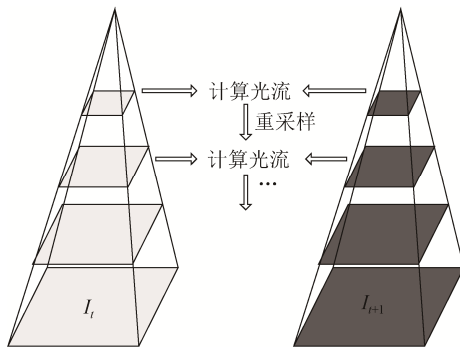


图1 金字塔光流  
Fig. 1 Pyramid optical flow

## 2 基于特征点跟踪的多影像匹配算法

基于特征点跟踪的多影像匹配算法见图2。通过在相邻序列影像之间进行特征点跟踪实现相邻多影像匹配,解决了光流跟踪在宽基线、大运动影像对的匹配问题。该方法有2个步骤:(1)在相邻帧影像中进行特征点跟踪实现相邻帧小基线影像的匹配;(2)基于多帧特征点跟踪的多影像匹配。

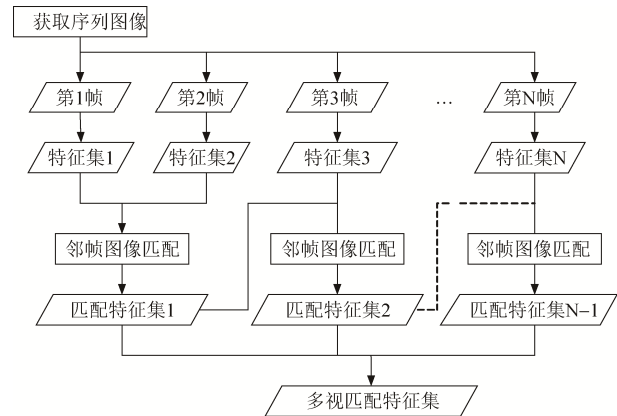


图2 总体算法流程图  
Fig. 2 Flow chart of the overall algorithm

### 2.1 基于特征点跟踪的邻帧影像匹配

基于特征点跟踪的相邻帧影像匹配算法流程如图3所示,基本思想是通过光流法跟踪上一帧影像的特征点在下一帧影像中的位置,将特征点跟踪结果作为先验信息,根据匹配准则,最后得到前后两帧影像的特征点匹配结果。

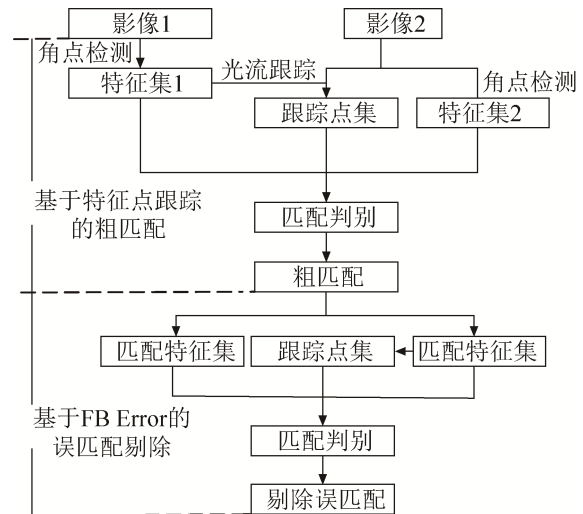


图3 影像匹配流程图  
Fig. 3 Flow chart of images matching

算法的具体实现步骤如下:

(1) 获取待匹配影像 A 和影像 B, 如图 4(a)(b) 所示;

(2) 对影像 A 和影像 B 分别进行特征点检测, 得到特征点  $p(p_1, p_2, \dots, p_n)$  和  $p'(p'_1, p'_2, \dots, p'_m)$ , 如图 4(a)(b) 所示;

(3) 根据光流跟踪算法预测影像 A 中特征点在影像 B 中的位置  $q(q_1, q_2, \dots, q_n)$ , 如图 4(c) 所示;

(4) 以光流跟踪结果  $q(q_1, q_2, \dots, q_n)$  作为先验知识, 分别计算影像 B 中的特征点  $p'(p'_1, p'_2, \dots, p'_m)$  到  $q_i (i=1, 2, \dots, n)$  的欧式距离  $d_{ij} = |q_i - p'_j| (i$  不变,  $j=1, 2, \dots, m)$ ;

(5) 计算  $q$  每个点对应的最短欧式距离  $d_i = \min |d_{ij}|$ , 并记录下对应的特征点  $p'_k$ ; 选取合适的阈值  $t$ , 如果  $d_i < t$ , 则认为  $p'_k$  和  $p_i$  为同名匹配点。阈值的选取对影像匹配点数和匹配精度有着重要影响。通过大量实验, 阈值  $t^2 = k \cdot (\text{width}^2 + \text{height}^2)$  width,height 为影像的大小。  $k$  为阈值比例系数,  $k$  取值 0.001~0.01。

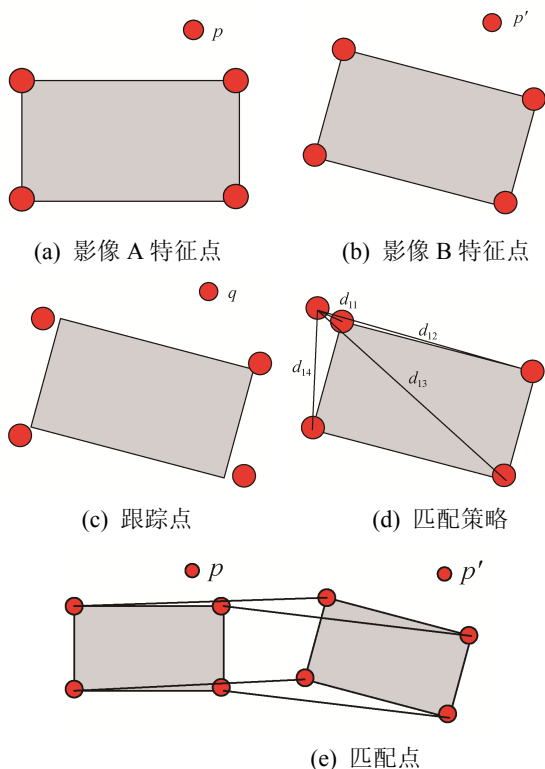


图 4 算法示意图

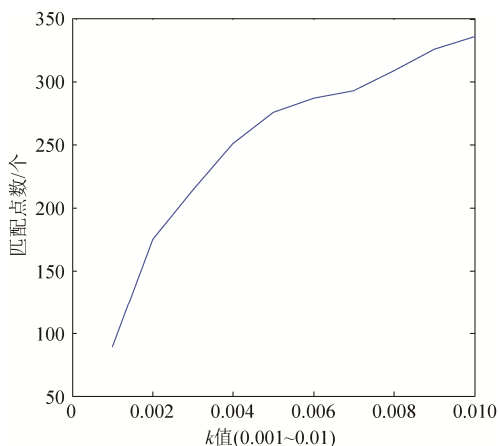
Fig. 4 Images of the algorithm

使用图 5 进行实验, 来验证阈值比例系数  $k$  与匹配结果的关系, 如图 6 所示。从实验结果可以看出, 随着比例系数  $k$  的增大, 匹配点数越来越多, 匹配准确率随之降低。因此, 在不同的应用场合, 在综合考虑匹配准确率和匹配点数的要求下, 对阈值比例系数  $k$  进行选择。

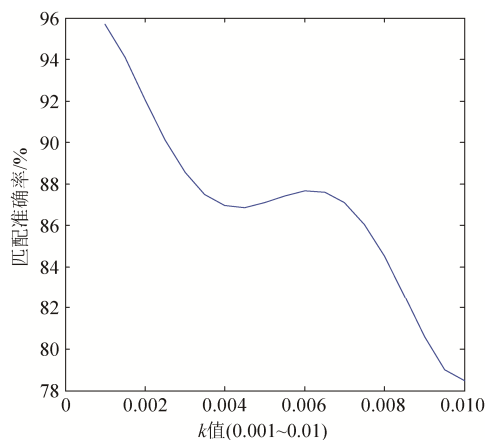


图 5 实验影像

Fig. 5 Experiment images



(a)  $k$  值与匹配点数的关系



(b)  $k$  值与匹配准确率的关系

图 6  $k$  值与匹配结果的关系

Fig. 6 The relation between the  $k$  and matching result

## 2.2 基于FB Error的误匹配剔除

基于特征点跟踪的匹配方法是采用穷尽搜索算法进行图像匹配。对于跟踪点集和特征点集,求跟踪点集与角点特征点集最近欧式距离,小于某个阈值的对应点认为是正确匹配,否则抛弃。所以,匹配结果中误匹配不可避免。

前后向错误(FB Error)<sup>[11]</sup>的目的是自动剔除跟踪错误的点,提高跟踪器的鲁棒性,如图7所示,其具体实现如下:

(1)  $S = (I_t, I_{t+1}, \dots, I_{t+k})$  是一组图像序列,  $x_t$  是  $t$  时刻一个点的位置;

(2) 通过跟踪器对  $x_t$  进行前向跟踪,得到跟踪结果  $T_f^k = (x_t, x_{t+1}, \dots, x_{t+k})$ 。  $f$  表示前向跟踪,  $k$  表示长度;

(3) 对点  $x_{t+k}$  进行后向跟踪直到第一帧,从而得到跟踪结果  $T_b^k = (\hat{x}_t, \hat{x}_{t+1}, \dots, \hat{x}_{t+k})$ ,  $\hat{x}_{t+k} = x_{t+k}$ ;

(4) 前后向错误(FB Error)定义为前后向对应点跟踪结果的距离,  $FB(T_f^k | S) = \text{distance}(T_f^k, T_b^k)$ 。这里采用回溯点与原点之间的欧式距离作为前后向错误,  $\text{distance}(T_f^k, T_b^k) = \|x_t - \hat{x}_t\|$ ;

(5) 选择合适阈值,对跟踪错误的点进行检测。

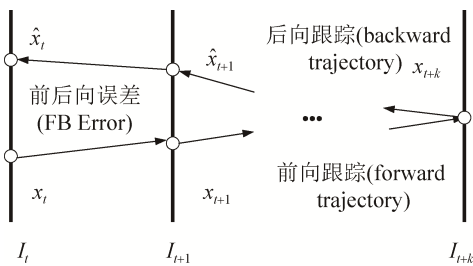


图7 前后向错误  
Fig. 7 FB Error

## 2.3 多影像匹配策略

多影像匹配策略就是利用邻帧影像运动小,光流跟踪能够在相邻帧影像得到很好的特征点跟踪结果,通过多帧相邻影像的特征点跟踪实现多影像的匹配。具体的实现策略如图8所示,这里以三帧影像匹配为例。

从流程图中,可以看出多影像匹配实际上是第

一帧影像的特征集在相邻多帧影像中的跟踪和判别,当跟踪特征集的数量小于某个阈值时,结束此次匹配,并将当前帧作为下次匹配的第一帧。

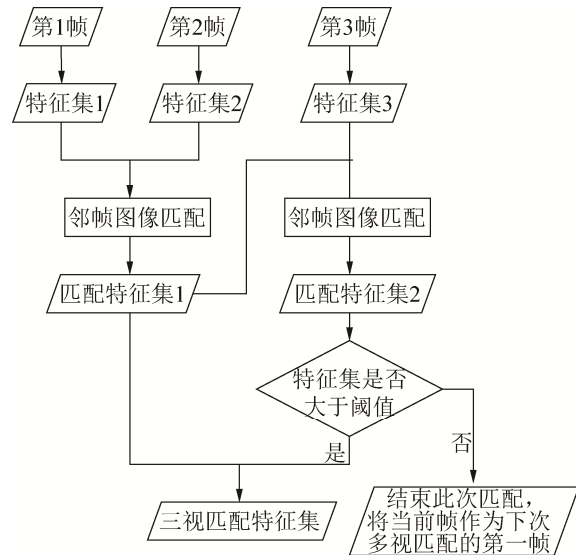


图8 多影像匹配流程图

Fig. 8 Flow chart of Multi-image matching

## 3 实验

为了验证本文算法效果,用一组序列影像,如图9所示,进行实验。实验用图是大小  $900 \times 600$  的无人机航拍影像。实验对算法的2个方面进行了验证。一是以基于sift特征的多匹配算法结果为基准,验证本文算法的匹配结果,二是验证了本文算法是否能解决光流算法在大基线、大运动情况失效的问题。

采用文中算法对图9的序列影像进行处理后,得到的多影像匹配结果如图9所示,图中'Δ'为部分多影像匹配点。表1为部分匹配点的坐标值。

以图9(a)和(d)的匹配结果为分析对象,采用sift算法对这两幅影像进行匹配,得到匹配结果记录在表。然后根据本文的匹配算法得到的多影像匹配结果计算图9(a)和(d)的单应矩阵  $H$ ,利用该单应矩阵  $H$  计算sift特征点的重投影误差  $RMS$ ,将  $RMS$  值作为文中匹配算法的精度评定标准。计算得到  $RMS = 0.1394 \text{ pix}$ 。

$$H = \begin{bmatrix} 0.7356 & -0.1201 & 182.9895 \\ 0.0079 & 0.8278 & 239.9385 \\ -0.0003 & 0.0000 & 1.0000 \end{bmatrix}$$

从表 2 的对比, 可以看出本文提出的算法相较于传统基于 sift 的匹配算法, 匹配准确率和匹配精

度都能满足一定要求, 而且匹配效率得到极大地提高。从表 2 对基于特征点跟踪的两视图匹配算法和基于特征点跟踪的多影像匹配算法, 可以看出本文算法能够很好解决光流法在影像运动较大, 基线较长情况下失效的问题。

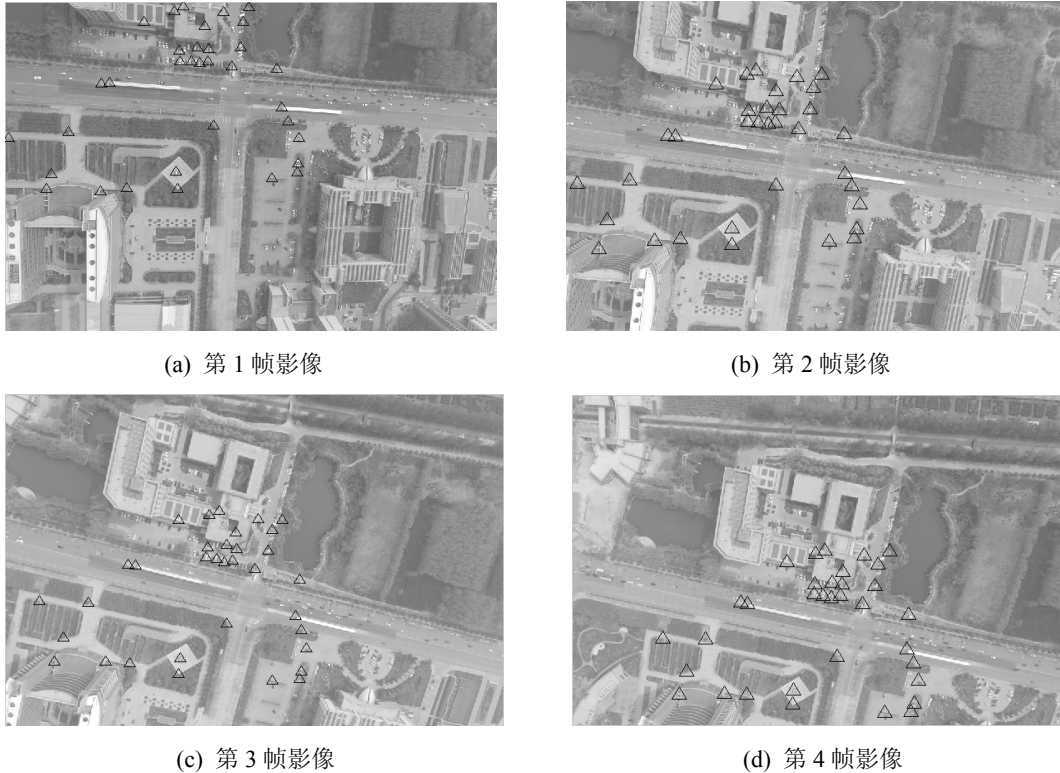


图 9 多影像匹配实验  
Fig. 9 Experiment of Multi-image matching

表 1 匹配特征点  
Tab. 1 The Matching feature point

序号	图(a)	图(b)	图(c)	图(d)	/像素
1	(429.76, 82.07)	(440.61, 197.40)	(474.65, 283.84)	(552.44, 347.32)	
2	(287.47, 74.63)	(301.58, 185.28)	(340.51, 259.09)	(417.26, 328.11)	
3	(431.65, 50.61)	(444.77, 172.61)	(482.52, 258.98)	(559.64, 322.57)	
4	(75.42, 340.38)	(60.39, 451.57)	(88.34, 484.51)	(195.09, 545.99)	
5	(299.15, 104.34)	(309.28, 215.20)	(344.68, 289.33)	(422.49, 356.73)	
6	(340.02, 107.54)	(348.47, 221.18)	(381.99, 298.54)	(456.80, 365.52)	
7	(250.19, 99.60)	(262.07, 206.43)	(298.95, 276.45)	(377.31, 346.74)	

表 2 实验结果对比  
Tab. 2 Comparison of experimental results

算法	匹配点数/个	内点数/个	准确率	匹配时间/s
基于 sift 特征的多影像匹配	153	127	83%	9.803
基于特征点跟踪的两视图匹配	NULL	NULL	NULL	NULL
基于特征点跟踪的多影像匹配	67	51	76%	2.363

## 4 结论

在总结现有多影像匹配方法基础上, 针对序列影像的邻帧影像运动变化小, 满足光流法的应用假设, 提出了一种基于特征点跟踪的多影像匹配算法。该算法首先通过特征点提取、邻帧影像特征点跟踪以及 FB Error 剔除误匹配算法完成两帧影像快速准确匹配, 然后利用特征点在多帧影像间的跟踪实现了多影像匹配。本文选用了无人机拍摄的四张序列影像进行了匹配实验, 验证了文中方法的正确性。

如何提高多影像匹配特征点的数量以及在复杂环境大形变下算法的适应性是下一步的研究重点, 同时将进行更多的实验验证新算法并提高其适用性。

### 参考文献:

- [1] 纪松. 多匹配策略与优化方法研究 [D]. 郑州: 信息工程大学, 2012. (JI Song. Study on The Strategy and Improvement Method of Multi-view Matching Technology [D]. Zhengzhou, China: PLA Information Engineering University, 2012.)
- [2] Mass H G. Automatic DEM Generation by Multi-image Feature Based Matching [J]. The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 1996, 31(3): 484-489.
- [3] Brown M Z, Szeliski R, Winder S. Multi-image Matching Using Multi-scale Oriented Patches [C]// Proceedings of the International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. San Diego, Ca, USA: 2005, 2: 510-517.
- [4] Szeliski R, Kang S B. Direct Methods for Visual Scene Reconstruction [C]// IEEE Workshop on Representations of Visual Scenes. Cambridge, Massachusetts, USA: IEEE, 1995: 26-33.
- [5] D'Apuzzo N. Modeling Human Faces with Multi-image Photogrammetry [C]// Proceedings of SPIE. San Jose, California, USA: SPIE, 2002, 4661: 191-197.
- [6] Matthew A B. Multi-image Matching Using Invariant Features [D]. Vancouver, Canada: The University of British Columbia, 2005.
- [7] 李爱霞, 关泽群, 冯甜甜. 一种利用流行学习进行多影像匹配的方法 [J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2012, 37(11): 1303-1306. (LI Aixia, GUAN Zequn, FENG Tiantian. A Novel Method on Manifold for Multi-image Matching [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2012, 37(11): 1303-1306.)
- [8] 袁修孝, 明洋. 一种综合利用像方和物方信息的多影像匹配方法 [J]. 测绘学报, 2009, 38(3): 216-222. (YUAN Xiuxia, MING Yang. A Novel Method for Multi-image Matching Synthesizing Image and Object-space Information [J]. Geo-spatial Information Science, 2009, 38(3): 216-222.)
- [9] 蒋晓瑜, 姚军, 宋小彬. 基于局部光流约束的角点匹配算法 [J]. 光学技术, 2010, 36(2): 229-234. (JIANG Xiaoyu, YAO Jun, SONG Xiaobin. Corner matching method based on local optical flow [J]. Optical Technique, 2010, 36(2): 229-234.)
- [10] 贾云得. 机器视觉 [M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [11] B Lucas, T Kanade. An iterative image registration technique with an application to stereo vision [J]. Joint Conference in Artificial Intelligence, 1981: 13-26.