

基于改进 SIFT 算法的无人机遥感图像匹配

任伟建 王子维 康朝海

(东北石油大学电气信息工程学院 大庆 163318)

摘要 将 SIFT 算法中高斯二阶微分模板与图像函数的卷积运算转化为箱式滤波器对积分图像的加减运算,引入 SURF 算子,减小特征点检测算子的特征向量维数,降低 SIFT 算法的计算复杂度,缩短图像匹配时间,从而解决了无人机遥感图像匹配对实时性要求较高的问题。仿真结果表明,改进的 SIFT 算法在保持原算法鲁棒性和匹配率的前提下,提高了运算速度。

关键词 无人机,遥感图像,改进的 SIFT 算法,图像匹配

中图分类号 TP751 **文献标识码** A

Remote Sensing Image of UAV Registration Based on Improved SIFT Algorithm

REN Wei-jian WANG Zi-wei KANG Chao-hai

(School of Electrical Engineering and Information, Northeast Petroleum University, Daqing 163318, China)

Abstract This study transferred Gauss two order differential template and convolution operation of image function to the integral image subtraction of Box filter. At the same time, the dimension of feature vectors of feature detection operator was decreased through introducing SURF operator. The computational complexity of SIFT algorithm and image matching time were reduced. This study solved the problem that UAV sensing image matching requires high real-time. The simulation shows the improved SIFT algorithm accelerates the operation speed with the same robustness and matching rate as original algorithm.

Keywords UAV, Remote sensing image, Improved SIFT algorithm, Image registration

无人机遥感系统^[1]是近年来应用较多的遥感系统,因具有快速、灵活、低成本等特点^[2],目前已广泛应用于测绘、水文、气象、国防、能源、交通、巡线等方面^[3]。目前无人机遥感技术具有广阔的应用前景,因此相应的图像处理技术也得到了很多学者的重视。但受限于无人机自身特点和其遥感系统设备的局限性,在执行作业任务时经常出现单张图像所覆盖的区域面积不大、连续成像图像数量过多^[4]等问题。因此,如何对无人机遥感图像进行匹配和拼接以获取大视野的遥感图像是目前亟待解决的问题之一。

近年来,SIFT(Scale Invariant Feature Transform)算法^[5]在图像匹配方面取得了很大的成就,基于 SIFT 特征描述算子的匹配方法已经应用到了图像拼接、计算机视觉以及目标识别^[6]等众多领域。SIFT 算法是由 David Lowe 在 1999 年最早提出的,此后不断被完善。2005 年,Mikolajczyk 等^[7]针对光照变化、几何形变、分辨率差异、旋转、模糊和压缩等不同场景,对当时最具代表性的 Moravec 检测算子、Harris 角点检测算子、SUSAN 检测算子^[8]以及 SIFT 特征描述算子进行了试验,结果表明 SIFT 描述子性能最好。但是由于 SIFT 算法本身复杂度较高,直接将其加以应用对硬件要求过高,应用效率较低,无法有效地解决无人机遥感图像匹配的问题。

为此,很多学者也提出了不同的解决方法。贺菁等人^[9]提出了基于 SUSAN 算子的匹配方法,该算法分成粗细两级匹配,但是对于小区域重叠度高的遥感图像难以匹配。计长安等人^[10]采用基于灰度的匹配算法,但这类算法对几何形变较为敏感,难以解决遥感图像中的不连续、阴影等问题,鲁棒性较差。冯政寿等人^[11]采用 Harris 和改进 SIFT 相结合的算法,先用 Harris 提取的角点作为特征点,然后采用基于同心圆形窗口的特征向量表征一个特征点。该算法缩短了特征描述时间,但依然需要对图像函数进行多次高斯卷积,并对高斯差分图像泰勒展开,在特征匹配过程消耗了大量时间。张春美等人^[12]认为 SIFT 特征描述算子本身具备很好的抗旋转能力,省去关键点主方向步骤,并用圆来构造 SIFT 特征描述算子,降低了特征描述向量的维数,缩短了匹配时间。但由于无人机遥感图像的自相似性和对称结构较高,若不采取约束条件,则该方法误匹配率较高,鲁棒性较差。冯博^[13]根据 PCA 主元分析算法的实现原理,将其和 SIFT 算法进行了融合,首先找到特征空间的主轴方向,然后确定映射到主轴方向上的投影,再将原特征矩阵按照该方法映射到新的空间中,实现了特征降维,降低了算法的复杂度。但该算法适用于具有图像库的人脸识别应用环境中,并不适用于随机性较强的无

本文受国家自然科学基金:基于衰落信道的非线性随机系统分布式滤波及故障检测(61374127),黑龙江省博士后科研启动资金:基于智能算法的抽油机井故障诊断(LBH-Q12143)资助。

任伟建(1963—),女,教授,博士生导师,主要研究方向为复杂系统的建模与控制,E-mail:renwj@126.com;王子维(1989—),男,硕士,助理工程师,主要研究方向为控制理论与控制工程;康朝海(1976—),男,博士,副教授,主要研究方向为智能控制。

人机遥感图像。牛海涛等人^[14]认为 SIFT 描述的是以计算图像灰度梯度值为基础的局部特征,忽略了全局信息和色彩信息,在 SIFT 描述子中加入了颜色信息和全局信息。改进后的算法在精度上确实提高显著,但计算量并没有减少,实时性较差。

鉴于上述情况,为降低 SIFT 算法的复杂度和时间代价,使算法适用于解决无人机遥感图像匹配问题,本文首先研究传统 SIFT 算法在图像匹配过程中的实现方法,在此基础上,针对 SIFT 算法计算复杂度高、消耗时间长等特点,主要从以下 3 个方面对 SIFT 算法进行改进:首先对 SIFT 算法中高斯二阶微分模板进行近似简化,进而运用积分图基于近似 Hessian 矩阵进行特征点检测,最后利用 SURF 算子替代 SIFT 特征描述算子进行特征向量降维。同时,进行了对比实验,以验证改进 SIFT 算法的有效性、鲁棒性。

1 SIFT 算法

在基于点特征的影像匹配算法中,SIFT 算法提取的特征点具有尺度和旋转不变性,对于较大范围内的视点变化、噪声、亮度变化及仿射等形变可以提供稳健的匹配,目前在图像匹配中得到了广泛的应用。SIFT 特征匹配算法的流程如图 1 所示。

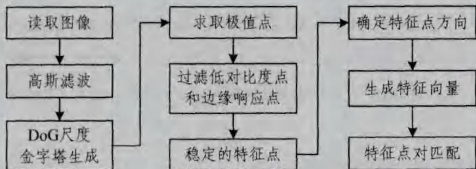


图 1 传统 SIFT 算法流程图

SIFT 算法进行图像匹配时主要有以下 5 个步骤:

(1) 高斯尺度空间的构造:尺度空间的目的是模拟图像数据的多尺度特征,高斯卷积核是实现尺度变换的唯一线性核。二维图像的尺度空间及图像函数与尺度连续的高斯函数做卷积,相邻尺度卷积结果做差即构成了高斯差分尺度空间 (DoG, Difference of Gaussian);

(2) 检测尺度空间极值点:为了寻找尺度空间极值点,需在 DoG 内进行降采样。如果一个点在 DoG 本层及上下相邻两层的 26 个邻域中是最大值或最小值时,就可认为该点是图像在该尺度内的一个特征点;

(3) 精确定位极值点:使用可用的像素数据,可生成子像素的值,通过近似特征点附近图像的 Taylor 级数展开运算及对空间尺度函数求偏导等运算可以计算出该方程的极值,从而得到子像素特征点的位置;

(4) 为每个关键点指定方向参数:利用关键点邻域像素的梯度方向分布特性为每个关键点分配方向参数,使 SIFT 算子具有旋转不变性;

(5) 关键点特征描述算子生成:将特征点周围 16×16 的窗口分解为 16 个 4×4 的子窗口,利用 8 组距直方图和高斯加权函数统计子窗口关键点的平均方向,用它乘以 16×16 的窗口中每个像素点的梯度,得到加权后的梯度。这样每个 4×4 的子窗口都对应一个 8 组距的直方图,而特征点周围 16×16 的窗口中包含 16 个 4×4 的子窗口,所以有 16×8 共 128 个关键点,将其组成向量,单位化后的 128 维向量就是 SIFT 特征描述算子。

2 改进的 SIFT 算法

SIFT 算法已被认为是最常用的特征点提取算法,应用 SIFT 算法匹配图像时,必须计算一幅图像中的特征点与另外一幅图像中所有特征点的距离,但是由于 SIFT 特征向量高达 128 维,而每一个距离都涉及 128 维数据,计算的复杂度和时间代价都很高。在特征点匹配过程中,如果不借助于硬件的加速和专用图形处理器,SIFT 算法在现有的计算机性能条件下仍然很难达到实时的要求,无法直接应用于无人机作业这种需要实时运算的任务环境中。

2006 年 Herbert Bay 等^[15]在苏黎世理工学院计算机视觉实验室提出了 SURF (Speeded Up Robust Feature) 算法,该算法同样是基于尺度、旋转、光照等不变性特征的,具有计算速度快、鲁棒性较强等优点。SURF 算法的核心思想是将高斯二维函数模板进行简化来形成滤波器,通过特定核间的卷积计算二阶偏导数,通过构建 Hessian 函数来进行空间尺度函数的极值检测,从而获取特征向量维度较少的 SURF 算子来进行图像匹配。本文借鉴 SURF 算法中简化近似的思想对 SIFT 算法进行改进。

本文主要从以下 3 方面实现 SIFT 算法的改进。

(1) 对 SIFT 算法中高斯二阶微分模板进行了近似简化在二维图像函数 $I(x, y)$ 中,在点 x 、尺度为 σ 处的 Hessian 矩阵 $H(x, \sigma)$ 如式(1):

$$H(x, \sigma) = \begin{bmatrix} L_{xx}(x, \sigma) & L_{xy}(x, \sigma) \\ L_{xy}(x, \sigma) & L_{yy}(x, \sigma) \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中, $L_{xx}(x, \sigma)$ 是高斯二阶微分 $\frac{\partial^2}{\partial x^2} g(\sigma)$ 在点 x 处与图像 I 的卷积, $L_{xy}(x, \sigma)$ 和 $L_{yy}(x, \sigma)$ 具有同样的含义。为简化高斯二阶微分模板,需要将模板与图像函数的卷积运算转化成箱式滤波对积分图像的加减运算,使得简化后的模板只由几个矩形区域组成。如图 2 所示,在简化模板中白色区域的值为 1,黑色区域的值为 -1,灰色区域的值为 0。

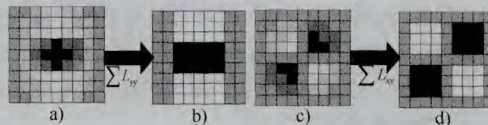


图 2 高斯二阶微分模板及简化

图 2 中, a) 为 $\sum L_{yy} = \frac{\partial^2}{\partial y^2} g(\sigma)$; b) 为 $\sum L_{yy}$ 的简化; c) 为 $\sum L_{xy} = \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} g(\sigma)$; d) 为 $\sum L_{xy}$ 的简化。

(2) 运用积分图基于近似 Hessian 矩阵进行特征点检测

图像特征点是在不同尺度空间进行检测提取的。与 SIFT 算法中通过对原始影像进行高斯平滑和降采样来构造尺度空间的方法不同,改进后的算法在构造尺度空间时,图像大小保持不变,通过逐步放大箱式滤波器对输入影像进行卷积操作得到的尺度空间,然后在影像空间和相邻尺度 3×3 内的邻域内进行非极大值抑制,完成特征点的检测。与 SIFT 算法相比,箱式滤波器充分利用积分图像进行快速滤波,同时保留了更多的图像高频信息。

(3) 利用 SURF 算子进行特征降维

SURF 算子首先通过统计 $6s$ (s 为特征点所在尺度) 为半

径的扇形窗口内 x 和 y 方向上的 Haar 小波响应来确定特征点的主方向,然后以特征点为中心沿主方向划出 $20s \times 20s$ 大小的子区域,并将其均分为 16 个子块,对每个子块分别统计 x 和 y 方向上的 Haar 小波响应及其绝对值之和,得到 64 维的特征点描述算子。SURF 算子生成的特征点描述算子维数由 SIFT 的 128 维降至 64 维,降低了特征点匹配的计算复杂度。

改进的 SIFT 算法与 SIFT 算法进行图像匹配流程对比如图 3 所示。

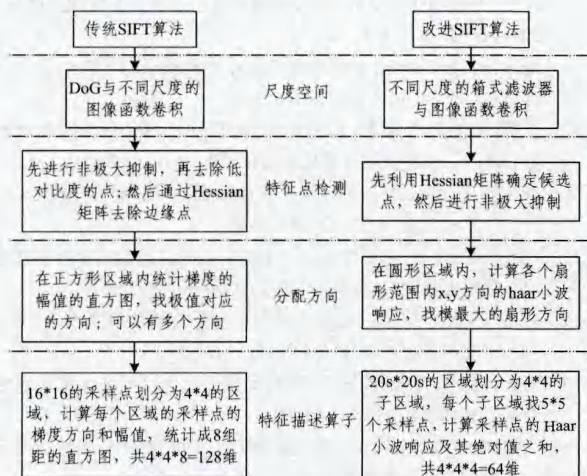


图 3 传统 SIFT 算法与改进 SIFT 算法流程对比图

可以看出,改进 SIFT 算法在实现图像匹配过程中较 SIFT 算法有如下几点优势:

(1)在尺度空间构建过程中,改用箱式滤波器与图像函数进行卷积。这是由于计算过程是基于积分图像的,因而箱式滤波器在计算卷积时的计算量与滤波器大小无关,因此可以在一定程度上提高算法速度。

(2)先利用 Hessian 矩阵确定候选点,然后进行非极大抑制,省去了降采样的过程,处理速度得到了提升。

(3)SIFT 特征描述算子在生成特征矢量时使用的是高斯图像,而 SURF 算子在生成特征矢量时使用的是积分图像。这样做的目的是能够充分利用在特征点检测时形成的中间结果,避免在特征矢量生成时对图像进行重复运算。

(4)改进的 SIFT 算法每个特征点是 64 维向量,相比 SIFT 算法减少了一半,这在特征匹配过程中会加快匹配速度。

3 实验结果与分析

为了验证改进 SIFT 算法对无人机遥感图像的匹配效果,本文分两个层次进行仿真实验。

第一,用传统 SIFT 算法和本文改进 SIFT 算法分别对两幅同一航迹的无人机遥感图像进行特征点匹配仿比实验,验证改进 SIFT 算法的可行性。

第二,在添加干扰因素的条件下验证改进的 SIFT 算法的鲁棒性。

为了使实验结果具有可对比性,所有的实验都是在处理器为 Intel Core I5-2400 CPU,主频为 3.10GHz,内存为 4.0GB 的 PC 机上,以 Matlab7.0.4 为平台进行的。

如图 4 所示,图 4(a)和图 4(c)是两幅连续的同一航迹无人机遥感图像的航拍原图。图 4(b)和图 4(d)是对两幅图像进行特征点提取后的图像。图 4(e)是传统 SIFT 算法匹配后的效果图,图 4(f)是改进 SIFT 算法匹配后的效果图。

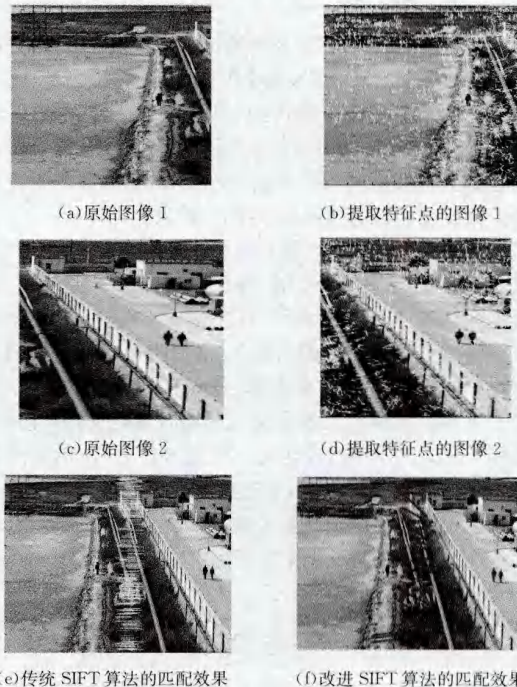


图 4 传统 SIFT 算法与改进 SIFT 算法的匹配效果图

表 1 图像匹配比较数据

	特征点对数	匹配时间(s)	匹配率
传统 SIFT 算法	279	3.756	95%
改进 SIFT 算法	19	1.256	98%

通过对比分析表 1 的数据可看出,传统 SIFT 算法和改进 SIFT 算法在图像匹配率上基本接近,但是改进 SIFT 算法的匹配时间明显缩短。由于无人机的机体比较小,稳定性和抗风能力比较差,在航拍过程中,不可避免地会出现不同程度的倾斜、抖动。

如图 5 所示,图 5(a)是改进 SIFT 算法的匹配效果,图 5(b)~图 5(d)分别是对原图进行了亮度变化、尺度缩小、旋转处理后的匹配效果。对应的匹配数据见表 2。

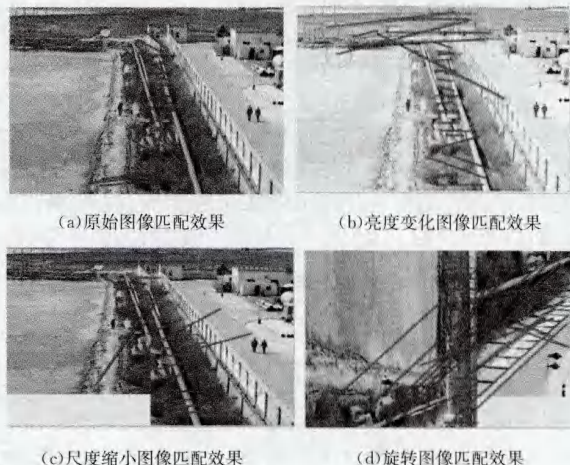


图 5 干扰因素下的匹配效果

表2 干扰因素下图像匹配比较数据

	特征点对数	匹配时间(s)	匹配率
原始图像	33	1.256	98%
变亮图像	22	1.175	96%
缩小图像	18	0.982	87%
旋转图像	29	1.206	92%

分析表2的数据可知,相同阈值和实验条件下,变亮图像和旋转图像匹配性能较好,缩小图像匹配效果一般。综上所述,改进SIFT算法进行特征点的匹配时不会因光照、旋转或者尺度缩放而有较大变化,鲁棒性较强,速度也较快。而无人机图像最大可能出现的变化就是光照和旋转,该匹配方法对这两方面变化的稳定性很高,匹配的效果也较好。

结束语 本文在深入研究传统SIFT算法进行图像匹配的基础上,提出了基于SURF特征点检测算子的改进SIFT特征匹配算法。与传统SIFT算法相比,改进的算法在保持原有算法精度和鲁棒性的前提下,通过降低特征点检测算子的特征维数,提高了算法的效率,缩短了图像匹配时间。改进的算法适用于图像信息量丰富且对实时性要求较高的场合,可适用于无人机遥感图像匹配。改进SIFT算法的缺点是提取的匹配点对数相对较少,针对尺度缩放的情况匹配效果一般。因此在一定程度上限制了该算法处理的图像类型,所以如何提高检测到的特征点中匹配点对的数量所占比例是值得进一步深入研究的问题。

参考文献

- [1] 李德仁,李明. 无人机遥感系统的研究进展与应用前明[J]. 武汉大学学报:信息科学版,2014,39(5):505-513
- [2] 金伟,葛宏立,杜华强,等. 无人机遥感发展与应用概况[J]. 遥感

- 信息,2009(1):88-92
- [3] 范承啸,韩俊,熊志军,等. 无人机遥感技术现状与应用[J]. 测绘科学,2009,34(5):214-215
- [4] 汪沛,罗锡文,周志艳,等. 基于微小型无人机的遥感信息获取关键技术综述[J]. 农业工程学报,2014,30(18):1-12
- [5] Lowe D G. Object recognition from local scale-invariant features [C]//The Proceedings of the Seventh IEEE International Conference on Computer Vision,1999. IEEE,1999,2:1150-1157
- [6] 韩龙,郭立,李玉云. SIFT算法的并行实现及应用[J]. 计算机工程与应用,2010,46(20):56-59
- [7] 孙浩,王程,王润生. 局部不变特征综述[J]. 中国图像图形学报,2011,16(2):141-151
- [8] 舒远,胡钊政,谈正. 彩色图像特征点检测算子[J]. 微电子学与计算机,2005,21(12):135-138
- [9] 贺菁,李庆华,王新赛. 基于方向性SUSAN算子的图像角点特征提取[J]. 小型微型计算机系统,2008,29(3):508-510
- [10] 计长安,张秀彬,吴浩,等. 基于灰度权重NMI的快速图像匹配[J]. 计算机工程,2007,33(24):25-28
- [11] 冯政寿,王美清. 基于Harris与改进SIFT算法的图像匹配算法[J]. 福州大学学报(自然科学版),2012,40(2):176-180
- [12] 张春美,龚志辉,孙雷. 改进SIFT特征在图像匹配中的应用[J]. 计算机工程与应用,2008,44(2):95-97
- [13] 冯博. 基于PCA的改进SIFT特征提取算法[J]. 华北水利水电学院学报,2013,34(3):125-128
- [14] 牛海涛,赵勋杰,李成金,等. 基于改进SIFT算法的建筑物图像立体匹配[J]. 计算机工程,2011,37(12):206-208
- [15] Bay H, Tuytelaars T, Van Gool L. Surf: Speeded up robust features[M]. Computer vision-ECCV 2006. Springer Berlin Heidelberg,2006:404-417

(上接第161页)

角点检测法的优点是计算量小,配准精度高;缺点是适用面窄,不能用于旋转、尺度缩放较大的图像配准。

3.2.3 轮廓特征法

轮廓特征法通过提取两幅待匹配图像中明显物体的外部轮廓特征,并表达出轮廓的特性,最后根据两幅图像中的轮廓特征完成匹配。图像的二值化方法是图像的轮廓提取方法的基础。该方法的主要思想是掏空图像中物体内部点:如果原图中有一点是黑色的且其它的8个相邻点都是黑色时(此时该点是内部点),则将该点删除^[13],最终将得到主要物体的轮廓特征。然后把两幅图像重叠,使轮廓特征完全重合,从而找到最佳匹配位置,最后完成匹配。

轮廓特征信息简单、特征点少,所以计算量小,配准精度高;而其缺点是适用面窄,对轮廓特征明显的图像效果较好。

结束语 图像拼接是一门实用性很强的技术,适用于图形图像学的很多领域。今天,图像拼接技术已经发展出很多种方法,每种方法都有其特殊的使用条件。本文通过分析图像拼接中最关键的一步图像配准来对图像拼接技术进行归纳总结,清晰地说明了至今为止拼接技术的各种方法以及应用。

参考文献

- [1] Ma Y, Ren Z. Image Mosaic Method Based on Improved SIFT Feature Detection Algorithm[C]// Proceedings of the 9th International Symposium on Linear Drives for Industry Applications, Volume 1. Springer Berlin Heidelberg,2014:771-779
- [2] Jin Y, Wang T, Wang B. Basic Study of Air Leakage Position Based on Thermography Mosaic Technology[J]. Journal of Electronic Science & Technology,2014:240-245

- [3] 孙胜涛. 虚拟现实系统的三维场景建模研究[D]. 北京:北京理工大学,2000
- [4] Yan L. Digital Image Mosaic Technology Based on Improved Genetic Algorithm[J]. Journal of Multimedia,2014,9(3):428-434
- [5] Kuglin C D. The phase correlation image alignment method [C]// Proc. Int. Conf. Cybernetics and Society. 1975:163-165
- [6] Keller Y, Averbuch A, Israeli M. Pseudopolar-based estimation of large translations, rotations, and scalings in images[J]. Image Processing, IEEE Transactions on,2005,14(1):12-22
- [7] Chen H M, Arora M K, Varshney P K. Mutual information-based image registration for remote sensing data[J]. International Journal of Remote Sensing,2003,24(18):3701-3706
- [8] 刘苏钱. 基于特征的SAR图像自动配准方法研究[D]. 长沙:国防科学技术大学,2007
- [9] Negggers J, Hoefnagels J P M, Geers M G D, et al. Time-resolved integrated digital image correlation[J]. International Journal for Numerical Methods in Engineering,2015,103(3):157-182
- [10] Shao C K. Image Mosaic Technology Based on Matlab Simulation[J]. Applied Mechanics & Materials,2014:556-562
- [11] Petrikova I, Marvalova B, Samal S, et al. Digital Image Correlation as a Measurement Tool for Large Deformations of a Conveyor Belt[C]// Applied Mechanics and Materials, 2015, 732: 77-80
- [12] 伍梦琦,李中伟,钟凯,等. 基于几何特征和图像特征的点云自适应拼接方法[J]. 光学学报,2015,35(2):237-244
- [13] Chen Y, Xu M, Liu H L, et al. An improved image mosaic based on Canny edge and an 18-dimensional descriptor[J]. Optik-International Journal for Light and Electron Optics, 2014, 124(17):4745-4750