

基于改进 ORB 和对称匹配的图像特征点匹配^①

陈天华, 王福龙, 张彬彬

(广东工业大学 应用数学学院, 广州 510520)

摘要: 由于 ORB 算法所提取的特征点不具有尺度不变性, 直接匹配会导致较多的错误发生, 本文结合 SURF 和双向匹配算法的思想, 提出了改进的 ORB 算法: SSORB. 首先使用不同尺寸盒状滤波模板与积分图像生成多尺度空间, 并从中检测出稳定的极值点, 使得所提取出来的特征点具备尺度不变的特性; 然后使用 ORB 描述子对特征点进行描述, 得到旋转不变的二进制描述子; 由于误匹配的存在, 在 Hamming 距离的基础上进一步使用双向匹配来消除误匹配, 提高匹配精度. 实验结果表明, SSORB 有效地解决了 ORB 不具备尺度不变性的缺陷, 在保留 ORB 算法快速优越性的同时提高了匹配准确度.

关键词: 特征点匹配; 改进 ORB; SURF; 双向匹配

Image Keypoints Matching Based on Improved ORB and Symmetrical Match

CHEN Tian-Hua, WANG Fu-Long, ZHANG Bin-Bin

(Guangdong University of Technology, Guangzhou 510520, China)

Abstract: Given the ORB algorithm has no scale invariance and exists more false match in image keypoints matching, this paper combines SURF and bilateral matching algorithm to improve ORB. The improved ORB algorithm is named SSORB(scale invariance and symmetrical matching ORB). First, we generate multi-scale space by different sizes of box filter template convoluting with integral image. Second, we detect the stable extreme points in multi-space, making the extracted points invariant to scale. Third, we describe these points with ORB descriptor making them invariant to rotation. At last, according to the Hamming distance match these points. Due to the existence of error match, bilateral matching is used to improve the match accuracy by eliminating the false match. The experimental results show that the SSORB algorithm effectively solves the scale invariant defects of the ORB algorithm, meanwhile, keeps the speed advantage of ORB and improves the matching accuracy.

Key words: feature points matching; improved ORB; SURF; bilateral matching

图像特征点匹配是计算机视觉领域中基础又重要的课题, 广泛应用于模式识别、目标跟踪、图像拼接领域. 图像特征点匹配就是在两幅图像中找出有效的匹配点对, 在图像匹配方法中, 特征点的提取及匹配方法有很多, 如: Moravec 算子^[1]、Harris 算子^[2]、SIFT 算子^[3]. 其中 SIFT 特征点匹配算法从提出以来一直作为主流的特征点匹配算法, 其所提取的特征点比较稳定, 具有抗光照和抗几何变形的能力, 非常适用于局部目标匹配, 但其运算量比较大, 不能很好的满足实时性. 随着对特征点匹配速度的要求越来越高, Ethan

Rublee 等于 2011 年提出 ORB 算法^[4], 文献[4]指出, ORB 特征点匹配速度比 SIFT 快两个数量级, 同时在不考虑尺度变化的情况下, 其匹配性能与 SIFT 相当.

然而, ORB 并不具备尺度不变性, 这就是说, 当图像尺度发生变化的时候, 特征点匹配效果比较不理想; 并且 ORB 粗匹配存在较多错匹配, 因此对 ORB 的研究具有很大的学术价值和应用价值. 鉴于 SURF 算法^[5]对尺度的优异性能以及双向匹配消除误匹配的有效性, 我们结合 SURF 和双向匹配^[10]对 ORB 进行改进. 改进的算法 SSORB 在与 ORB 大致的匹配速度下,

① 收稿时间:2015-09-06;收到修改稿时间:2015-10-14

解决了 ORB 不具备的尺度不变性缺陷, 提高了匹配精度。

1 ORB特征点匹配算法

1.1 特征点提取

1.1.1 FAST 角点检测^[6,9]

ORB 算法使用 FAST 角点检测来提取特征点。FAST 算法的基本思想是: 像素点周围邻域内有足够多的像素点与该点处于不同的区域, 在灰度图像中, 即为有足够多的像素点的灰度值与该点灰度值差别够大, 那么可认为该像素点是角点。如下图 1 所示, 从图片中选取一个像素点 P, 并假设其像素值为 I_p ; 将该像素点与周围的 16 个像素点进行比较, 若这个以点 P 为圆心, 16 个像素点组成的圆上有 N 个连续的像素点, 其像素值要么都比 I_p+T 大, 要么都比 I_p-T 小, 那么它就是一个角点, 其中 N 一般取 9 或 12, T 为选取的阈值。

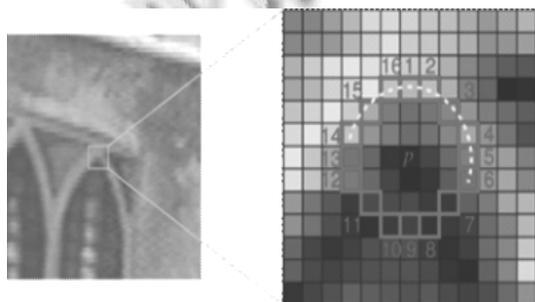


图 1 FAST 角点检测

FAST 角点检测仅仅比较灰度值的大小, 具有计算简单, 速度快的优点, 但是其检测出来的特征点既不具备尺度不变性又不具备旋转不变性。

1.1.2 求取特征点主方向

为使得后续的 ORB 描述子具有旋转不变性, 需要为每一特征点分配一个主方向。FAST 角点主方向运用 Intensity Centroid^[7]来运算。以特征点为中心, 在其领域 S 内计算质心位置, 然后以特征点为起点, 质心为终点构造向量, 该向量的方向即为此特征点的方向, 定义如式(1)所示:

$$M_{p,q} = \sum_{(x,y) \in S} x^p y^q f(x,y) \quad (1)$$

式(1)中 $f(x,y)$ 表示图像的灰度值, 则此区域质心位置为

$$C = \left(\frac{M_{1,0}}{M_{0,0}}, \frac{M_{0,1}}{M_{0,0}} \right) \quad (2)$$

因此, 特征点的方向为:

$$\theta = \arctan(M_{0,1} / M_{1,0})$$

1.2 ORB 特征描述子

ORB 实际上是 Oriented Brief 的简称。Brief^[8]是 Binary robust Independent Elementary Features 的缩写。这个特征描述子是由 EPFL 的 Calonder 在 ECCV2010 上提出来的, 其主要思想是在特征点的附近随机选取若干点对, 将这些点对的灰度值进行比较, 组成一个二进制串, 并将这个二进制串作为该特征点的特征描述子。定义 $S \times S$ 大小的图像邻域 P 的测试准则为:

$$\tau(p; x, y) = \begin{cases} 1, & p(x) < p(y) \\ 0, & p(x) \geq p(y) \end{cases} \quad (3)$$

上式中 $p(x)$ 是图像邻域 P 在 $x = (u, v)^T$ 处的灰度值。选择 n 个 (x, y) 测试点对时, 就唯一定义了二进制准则, 这样生成的描述子即为 n 为的二进制码串, 如式(4)所示。

$$f_n(p) = \sum_{1 \leq i \leq n} 2^{i-1} \tau(p; x_i, y_i) \quad (4)$$

n 可以取 128, 256 等数值, 数值不同会影响运行速度、识别率、存储率。Brief 的优点在于速度, 缺点也很明显: 不具备旋转不变性并且对噪声敏感。

ORB 对旋转不变性的解决方案是使用上一小节求得特征点方向。定义一个 $2 \times n$ 的矩阵

$$Q = \begin{pmatrix} x_1, x_2, \dots, x_n \\ y_1, y_2, \dots, y_n \end{pmatrix} \quad (5)$$

其中每一个 (x_i, y_i) 表示一个测试点对, 使用特征点的方向 θ 对应的旋转矩阵 R_θ , 可以构造出矫正的矩阵 $Q_\theta = R_\theta Q$ 。这样可以得到具备旋转不变性的描述子:

$$g_n(p, \theta) = f_n(p) | (x_i, y_i) \in Q_\theta \quad (6)$$

ORB 对噪声敏感的方案是: 使用 5×5 子窗口内像素灰度平均值代替某点对的一点处的灰度值。由于生成的描述子向量中点对之间的相关性较大, 增加了匹配难度, orb 算法中利用贪婪式搜索来减少点对之间的相关性。

1.3 Hamming 距离匹配特征点

由于所生成的描述子为二进制码串形式, 因此使用 Hamming 距离对特征点匹配较为简单, 只要设定好阈值便可实现匹配。

2 SSORB

通过上面的分析不难看出, ORB 不具备尺度不变性的原因在于 FAST 检测出来的特征点不具有尺度不变性. 换言之, 只要开始检测出来的特征点具备尺度不变性, 那么后面所生成的描述子也会具备尺度不变特性. 于是, 借鉴 SURF 算法的思想, 使用 SURF 中多尺度空间来提取具有尺度不变性的特征点, 然后对这些特征点进行 ORB 描述, 生成 ORB 描述子, 鉴于直接匹配存在较多的误匹配, 进而利用 Hamming 距离结合双向匹配算法进行特征点的匹配. 这样不仅保留了 ORB 快速匹配的特性, 还解决了 ORB 不具备尺度不变性的缺陷, 并提高了匹配准确度.

2.1 尺度空间检测极值点

给定图像 I 中的某一点 $x = (x, y)$, 在该点 x 处, 尺度为 σ 的 Hessian 矩阵 定义为:

$$H(x, \sigma) = \begin{bmatrix} L_{xx}(x, \sigma) & L_{xy}(x, \sigma) \\ L_{xy}(x, \sigma) & L_{yy}(x, \sigma) \end{bmatrix} \quad (7)$$

其中, $L_{xx}(x, \sigma)$ 是高斯二阶微分 $\frac{\partial^2 g(\sigma)}{\partial x^2}$ 在点 $x = (x, y)$ 处与图像 I 的卷积, $L_{xy}(x, \sigma)$ 和 $L_{yy}(x, \sigma)$ 有类似的含义.

高斯函数虽然是最佳的尺度空间分析工具, 但在实际应用时总要对高斯函数进行离散化和剪裁处理, 从而损失了一些特性. 这一因素为我们用其他工具代替高斯函数对尺度空间的分析提供了可能, 因为既然高斯函数会带来误差, 那么其他工具所带来的误差也可以被忽略, 只要误差不大就可以.

Bay 等人提出用盒状滤波器来近似高斯滤波, 如图 2 顶行中 x, y 和 xy 方向的离散二阶高斯导数用 L_{xx} 、 L_{yy} 和 L_{xy} 表示; 底行中 x, y 和 xy 方向的加权盒状滤波器近似用 D_{xx} 、 D_{yy} 和 D_{xy} 表示.

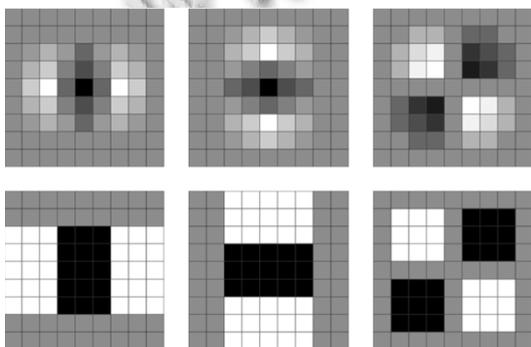


图 2 盒装滤波器近似高斯滤波器

图 2 的权值比较简单, D_{xx} 和 D_{yy} 中的白色部分为 1, 黑色部分为 -2; D_{xy} 中的白色部分为 1, 黑色部分为 -1; 其它部分区域权值为 0. 利用积分图, 盒状滤波器的运算完全不取决于它的尺寸大小, 这是 SURF 算法快速的一个重要原因.

用盒状滤波器近似替代高斯滤波器得到的 Hessian 矩阵行列式比较精确的估计式为:

$$\det(H_{approx}) = D_{xx}D_{yy} - (0.9D_{xy})^2 \quad (8)$$

为使特征点具有尺度不变性, 首先去掉行列式值低的像素, 然后进行尺度空间和邻域空间的非极大值抑制, 最后所得的极值点即为特征点.

2.2 提取稳定的特征点

为增强特征点匹配时的稳定性和抗噪能力, 首先, 通过泰勒插值滤掉低对比度的极值点; 然后, 通过主曲率比值去掉边缘上的极值点.

由于 Hessian 矩阵的特征值和极值点 B 的主曲率对应成比例, 所以只需关心特征值的比值. 设 γ 是最大特征值 α 、最小特征值 β 的比值, 即 $\alpha = \gamma\beta$. 则可求得:

$$\frac{Trace(H)^2}{Det(H)} = \frac{(\alpha + \beta)^2}{\alpha\beta} = \frac{(\gamma + 1)^2}{\gamma} \quad (9)$$

上式右边随着 γ 的增加而增加, 所以要想检查主曲率的比值小于某一阈值 γ , 只要检查下式是否成立:

$$\frac{Trace(H)^2}{Det(H)} < \frac{(\gamma + 1)^2}{\gamma} \quad (10)$$

2.3 改进 ORB 的尺度不变性

首先, 借鉴 SURF 算法思想求得具有尺度不变性的稳定点, 并运用 Intensity Centroid 来求取特征点主方向; 然后是使用 ORB 描述子对特征点进行描述, 最终生成具有尺度不变性和旋转不变性的描述子; 最后根据 Hamming 距离实现匹配. 这样既解决了原 ORB 不具备尺度不变性的缺陷, 有保留了其计算快速和具有旋转不变性的良好性能. 结合 SURF 改进 ORB 算法的步骤如下:

- 1) 借鉴 SURF 算法思想求得具有尺度不变性的稳定点.
- 2) 求取特征点质心方向.
- 3) 求取 ORB 特征点描述子.
- 4) 利用 Hamming 距离实现特征点的匹配.

2.4 双向匹配

鉴于直接匹配存在较多的误匹配, 要使结合

SURF 的 ORB 算法具有更高的准确率,关键在于得到稳点准确的待匹配关键点.为了排除因为背景杂乱而产生的无匹配关系的特征点,对图像中的某个特征点找出其与待匹配图像中欧式距离最近的前两个点,在这两个特征点中,如果最近的距离除以次近的距离小于匹配阈值,则表示图像中的这个特征点与待匹配图像中欧式距离最近的特征点匹配.通过这种方式排除掉部分无匹配关系的特征点.

鉴于双向匹配算法^[10]是一种经典的消除误匹配的方法,具有匹配精度高,可靠性高,鲁棒性强等优点;在上述基础上结合双向匹配来进一步去除误匹配点对.基本思想^[11]描述如下:

(1) 分别对图像 1 和图像 2 进行关键点检测,得到关键点数组 Points1 和 Points2.

(2) 对 Points1 中的每一个点 i 在 Points2 中找出对应的点 j .

(3) 对 Points2 中的每一个点 k 在 Points1 中找出对应的点 l .

(4) 如果 Points1 中的点 i 在 Points2 中的匹配点为 j ,且 Points2 中的点 j 在 Points1 中的匹配点为点 i ,则匹配成功.

3 实验结果分析

本文使用 Visual Studio 2012 进行编程实现,计算机系统是 Windows 7 [Intel(R) Core(TM) i5-4590 CPU 3.30GHZ, 8G 内存].

3.1 尺度不变性对比试验

为了验证借鉴 SURF 改进的 ORB 算法可以有效的解决 ORB 不具备尺度不变性的缺陷,对比实验以尺度发生变化的 lena、beaver、gril、bottle 图像为对象,实验结果如图 3 所示.从图 3 左侧可以看出,ORB 由于采用 FAST 检测角点,因此提取了更多的特征点,同时也因其基本不具备尺度不变性,使得特征点的匹配较为杂乱,即存在较多误匹配.而结合 SURF 的 ORB 算法进行匹配时,发生较少的错误匹配,得到了较为理想的实验效果,如图 3 右侧所示.

通过对比图 3 左侧和图 3 右侧,不难发现,结合 SURF 的 ORB 在目标发生较大尺度变化的情况下,有着较理想的匹配效果,克服了传统 ORB 不具备尺度不变性的缺陷.

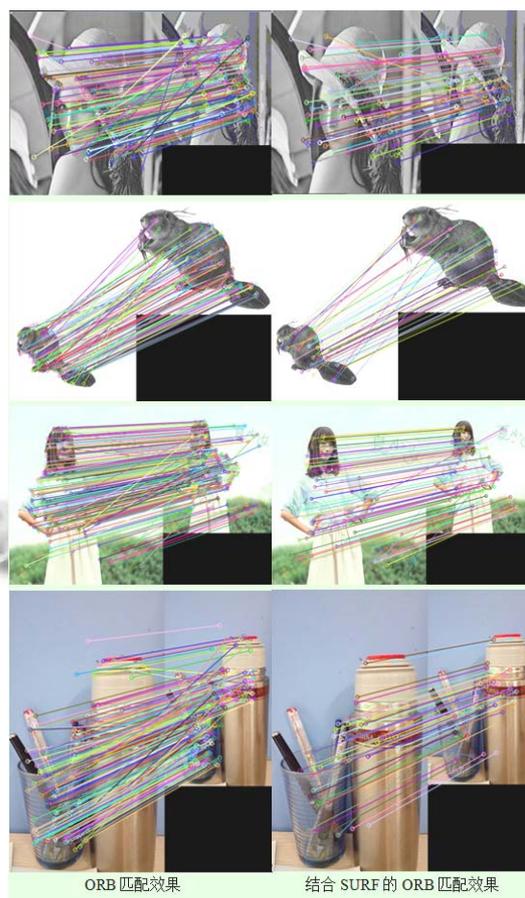


图 3 图像尺度变化的匹配对比

为了进一步说明当图像发生尺度变化时,ORB 和改进 ORB 以及 SURF 的特征点匹配准确度差异,随机统计了实验中的 6 组数据,如表 1 所示.

表 1 图像尺度变化时匹配准确度(%)对比

组别	匹配算法		
	ORB	改进 ORB	SURF
1	23.7	90.3	95.4
2	21.3	89.5	96.2
3	24.2	90.8	94.3
4	22.4	91.2	97.1
5	20.7	89.4	95.5
6	23.5	90.7	96.7
avg	22.3	90.3	95.8

该改进 ORB 算法的特征点匹配准确度约为 90.3%,远高于 ORB 匹配的准确度约为 22.3%,表明该改进 ORB 算法在尺度不变性能上的优越性.同时,也可看出,SURF 算法在匹配准确度上较结合 SURF 的 ORB 略高一筹,可能的原因是结合 SURF 的 ORB 仅用 Hamming

距离来匹配, 没有对待匹配点作进一步筛选。

针对上面的分析可知, 通过去除部分无匹配关系的特征点, 然后使用双向匹配算法分别对 ORB 算法以及结合 SURF 的 ORB 算法所得的匹配结果进一步去除误, 得到如下图 4 的匹配结果。

从实验效果可知, 通过删除开始找出的无匹配关系的特征点, 然后结合双向匹配算法, 无论是原始 ORB 算法还是结合 SURF 的 ORB 算法, 匹配准确率都得到了进一步的提高。

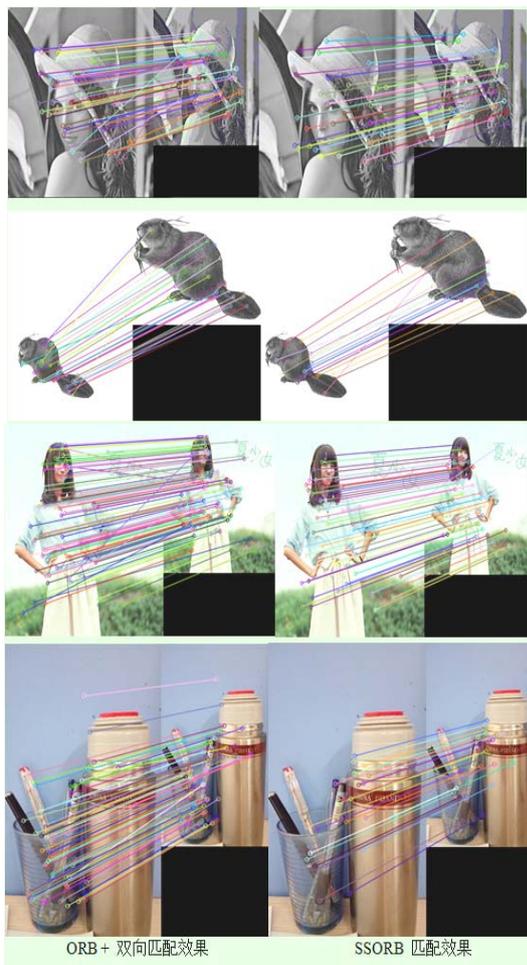


图 4 双向匹配消除误匹配

3.2 计算时间对比实验

为了验证 SSORB 算法的实用性, 还需要对各种算法耗时作对比实验。所用时间分为两个部分, 分别为: 提取特征点并描述、双向匹配特征点。随机地选取实验中的 4 组测试图像, 统计各算法的耗时, 如下表 2 所示。

其中, 表中的类型 1,2 分别对应: 提取特征点并描

述、双向匹配特征点环节所用时间(ms)。

表 2 图像匹配时间对比

组别	类型	匹配算法		
		ORB	改进 ORB	SURF
a	1	21.65	49.68	121.02
	2	31.85	12.74	15.29
b	1	38.21	89.17	150.32
	2	66.24	7.64	6.37
c	1	34.39	72.61	164.33
	2	71.43	7.68	17.83
d	1	34.03	64.97	121.02
	2	54.97	5.1	10.19
均耗		88.19	77.39	152

不难发现, 在第一环节特征点的提取和描述中, ORB 所用时间最短约 32ms, 改进的 ORB 算法次之约 70ms, SURF 算法用时约 138ms, 这主要是因为 ORB 算法采用比 SURF 还要快的 FAST 算法来检测特征点, 再且使用较 SURF 简单的改进 BRIEF 算法来描述特征点。因此, 原 ORB 算法提取特征点并描述的速度最快, 改进的算法 SSORB 次之。

在双向匹配环节中, 由于 FAST 检测出的特征点多, 致使其在两幅图像特征点的相互匹配间耗时长; 而在检测出相同个数的特征点情况下, 改进的 ORB 算法 SSORB 使用较 SURF 简单的描述子, 使得匹配起来会快一些, 因此在双向匹配环节中 SSORB 最省时。

4 结论

文中对 ORB 算法进行了研究, 其采用 Fast 算子检测特征点, 然后用 rBRIEF 进行描述。由于 Fast 检测的特征点并不具备尺度不变性, 因此, 当图像发生尺度变化时, 不能很好的匹配特征点。

鉴于 SURF 算法对尺度、光照以及旋转表现出来的鲁棒性, 结合 SURF 对 ORB 进行改进。同时, 由于算法刚开始检测到的特征点存在不稳定性, 文中先使用最近邻的策略去除无匹配关系的特征点, 然后结合双向匹配的方法先除去误匹配的, 最后再使用 Hamming 距离实现匹配。通过实验分析得出以下结论:

- 1) 在图像尺度发生变化时, 改进的 ORB 可以有效地、准确地进行特征点匹配。
- 2) SSORB 算法保留了 ORB 的快速特性。
- 3) SSORB 算法能有效的去除误匹配, 提高匹配精确度。

参考文献

- 1 Moravec H. Rover visual obstacle avoidance. Proc. of the 7th International Joint Conference on Artificial Intelligence. Vancouver, Canada. 1981. 785-790.
- 2 Harris CJ, Stephens M. A combined corner and edge detector. Proc. of the 4th Alvey Vision conference. 1988. 147-151.
- 3 Lowe DG. Distinctive image features from scale-invariant keypoints. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2): 91-110.
- 4 Rublee E, Rabaud V, Konolige K, Bradski G. ORB: An efficient alternative to SIFT or SURF. Proc. of the IEEE International Conference on Computer Vision. Barcelona, Spain. 2011. 2564-2571.
- 5 Bay H, Tuytelaars T, van Gool L. SURF: Speeded up robust features. Proc. of the European Conference on Computer Vision(ECCV 2006). 2006. 404-417.
- 6 Rosten E, Drummond T. Machine learning for high-speed corner detection. European Conference on Computer Vision. volume 1, 2006.
- 7 Rosin PL. Measuring corner properties. Computer Vision and Image Understanding, 1999, 73(2): 291-307.
- 8 Calonder M, Lepetit V, Strecha C, Fua P. Brief: Binary robust independent elementary features. European Conference on Computer Vision. 2010.
- 9 Rosten E, Porter R, Drummond T. Faster and better: A machine learning approach to corner detection. IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2010, 32: 105-119.
- 10 骞森, 朱剑英. 基于改进的 SIFT 特征的图像双向匹配算法. 机械科学与技术, 2007, 26(9): 1179-1183.
- 11 陈艺虾, 孙权森, 徐患宇, 耿蕾蕾. SURF 算法和 RANSAC 算法相结合的遥感图像匹配方法. 计算机科学与探索, 2012, 6(9): 822-829.