

基于 Hough 变换及 SIFT 特征提取的图像匹配方法

苗彩霞¹, 纪筱鹏²

(1. 青岛职业技术学院 信息学院, 山东 青岛 266555; 2. 中国海洋大学 信息科学与工程学院, 山东 青岛 266110)

摘要:针对现有 SIFT 算法时间复杂度较高的问题, 提出一种基于 Hough 变换及 SIFT 特征提取的图像匹配方法。首先, 用 Hough 变换算法检测建筑物区域, 以缩小检测与匹配的范围; 然后, 用 SIFT 算法在给定区域进行特征点检测与匹配; 最后, 提出一种两级排除错误匹配的方法, 该算法对建筑物序列图像匹配具有光照强度、平移、旋转不变性。实验结果表明, 该方法的匹配准确率至少高出比较方法 9%。

关键词: Hough 变换; 尺度不变特征转换; 图像匹配; 误匹配去除; 数字城市

中图分类号: TP391.41

文献标志码: A

文章编号: 1672-3767(2014)04-0105-06

An Image Matching Algorithm Based on Hough Transform and SIFT

Miao Caixia¹, Ji Xiaopeng²

(1. College of Information, Qingdao Vocational and Technical College, Qingdao, Shandong 266555, China;

2. College of Information Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao, Shandong 266110, China)

Abstract: Image matching algorithm based on SIFT demands large computation and the amount of matching points is often not reliable. This paper proposes a new image matching method based on Hough transform and SIFT. The building detection algorithm based on Hough transform was presented to confine the area of detecting and matching. Then SIFT algorithm was performed to detect the feature points and match them. Lastly, a new method to avoid mismatching was summarized. This algorithm is invariant to image scale, rotation and change in illumination. The experimental results demonstrate this method can greatly improve computation efficiency and the matching veracity.

Key words: Hough transform; scale invariant feature transform (SIFT); image matching; mismatching removing; digital city

基于图像序列的三维场景重建, 因成本低、效率高而在城市公共设施的管理、建筑设计、建筑物景观模拟等领域具有广泛的应用前景, 成为当前的研究热点。图像匹配是其中的一个重要研究内容, 也是数字城市、计算机视觉和模式识别等领域的一个重要的研究课题^[1-2]。

目前, 图像匹配方法主要有基于灰度的匹配方法^[3-5]和基于特征的匹配方法^[6-12]。基于灰度的匹配方法是最简单的一种图像匹配方法, 该方法用一幅图像中一个窗口区域的信息, 在另一幅图像中搜索匹配, 最典型的如灰度互相关算法等。此类算法精度较高, 但时间复杂度比较高, 因而, Tsai 等^[3], Lewis 等^[4]提出了快速灰度互相关算法; 李强等^[5]通过将图像分块, 定义了一种描述图像局部灰度分布的特征编码, 将计算时间缩短了两个数量级。对于基于灰度相关的匹配方法, 一旦图像比例差异特别大或图像区域扭曲比较严重, 以及进入信息贫乏的区域, 匹配正确率会很小, 甚至匹配失败。基于特征的图像匹配方法是通过灰度导出数学

收稿日期: 2014-03-27

基金项目: 国家自然科学基金项目(61202208)

作者简介: 苗彩霞(1977—)女, 山东青岛人, 讲师, 主要从事模式识别与图像处理方面的研究。

E-mail: miaocx@qtc.edu.cn

纪筱鹏(1978—)女, 山东青岛人, 副教授, 博士, 主要从事软件设计智能图像处理的研究。

E-mail: jxiaopeng@ouc.edu.cn

符号特征来实现匹配,一般要先提取图像中的点、线等特征。如 Huttenlocher 等^[6],Kwon 等^[7]先提取图像边缘信息特征,然后用 Hausdorff 距离匹配图像,可以匹配出平移、旋转、缩放变化甚至遮挡的物体,但是此方法一般用于有基准图像的匹配。Lowe 等^[8-9]首次提出用 SIFT 特征描述符进行匹配,是目前公认的鲁棒性较强的匹配算法,但由于 SIFT(scale invariant feature transform,尺度不变特征转换)算法需要在各个尺度上进行计算,其时间复杂度较高。文献^[10]提出改进的 PCA-SIFT(principal components analysis-SIFT);文献^[11]提出不同于 SIFT 特征的 SURF(speeded-up robust features)特征点,后者的计算速度稍快。另一较有代表性的方法是王年等^[12]将基于图割的匹配方法中的标号从一维推广到二维,适用性更强,并获得了全局能量函数最小。

本研究提出一种基于 Hough 变换和 SIFT 特征提取的建筑物图像匹配方法:基于 Hough 变换得到建筑物所在区域,使得后继操作在建筑物区域进行,以提高效率并减少误匹配的发生;在建筑物所在区域提取 SIFT 特征,对 SIFT 特征进行匹配得到初始匹配结果;根据建筑物的特点,提出基于图像运动方向和移动距离的两级排错机制对初始匹配进行精化。算法流程如图 1 所示。

1 基于 Hough 变换的建筑物区域提取算法

为了正确提取建筑物区域,首先利用平滑技术和 Canny 边缘检测技术对原始图像进行预处理,得到图像中建筑物的边缘信息,再用基于 Hough 变换的方法确定建筑物区域。

1.1 线段的检测方法

Hough 变换法是利用图像空间与参数空间的对应关系,将图像空间的检测问题转化到参数空间,通过在参数空间进行统计来完成检测,它是图像处理中识别几何形状的基本方法之一。考虑到本研究实例的特点以及 Hough 变换计算的复杂度和存储量随参数的增加呈指数增长的特性,采用文献^[13]中改进 Hough 变换算法对图像进行处理,取得较好的检测效果,并可以根据实际需要控制检测结果的精度。

1.2 线段的分析策略

经 1.1 检测得到的线段是不连续的,如图 2(c)所示,为了便于判断,必须对其进行优化^[13],重画不连贯的线段,如图 2(d)所示,然后再从中分析出建筑物区域。

观察建筑物最主要的是它的轮廓信息,一般情况下,建筑物的顶部、底部所在的行区域像素信息较丰富,左右边界是较长的竖直线,以此作为建筑物定位的依据,提出下面的建筑物区域检测算法。

1)对 Hough 变换处理后得到的图像,统计每一行的点数:

$$N_{\text{DotNum}}(i) = \sum_{j=0}^{N_{\text{Col}}-1} P(i, j), i = 0, 1, \dots, N_{\text{Row}} - 1.$$

其中, N_{Row} 为图像的行数, N_{Col} 为图像的列数, $P(i, j)$ 值为 Hough 变换后图像第 i 行第 j 列的灰度值。

2)从上向下遍历图像每一行的点数 $N_{\text{DotNum}}(i)$,若有 $N_{\text{DotNum}}(m) > \epsilon_1$,则设定第 m 行为区域上边界所在的行;找到上边界后继续向下遍历,若有 $N_{\text{DotNum}}(n) > \epsilon_2$,则设定第 n 行为区域下边界所在的行; ϵ_1, ϵ_2 为给定的阈值,实验中 ϵ_1 接近于 $N_{\text{DotNum}}(i)$ 的最小值, ϵ_2 接近于 $N_{\text{DotNum}}(i)$ 的最大值。

3)对建筑物区域左右边界的判断:从左向右遍历 Hough 变换得到的所有直线段,对每一直线段 l_i ,考察它的倾斜角度 θ_i 和长度 $L(i)$,若 $\theta_1 < \theta_i < \theta_2$,且 $L(i) > L_{\text{th}}$,则将 l_i 所在的列确定为左边界所在的列,其中 θ_1, θ_2 为建筑物左右边界直线的倾斜范围,实验中取 $\theta_1 = 85^\circ, \theta_2 = 95^\circ$,设定阈值 L_{th} 的目的是为了去除非建筑物区域线段的干扰,对于不同图像目前尚没有自适应取得最佳值的方法,但对于特定目标,这个参数的最

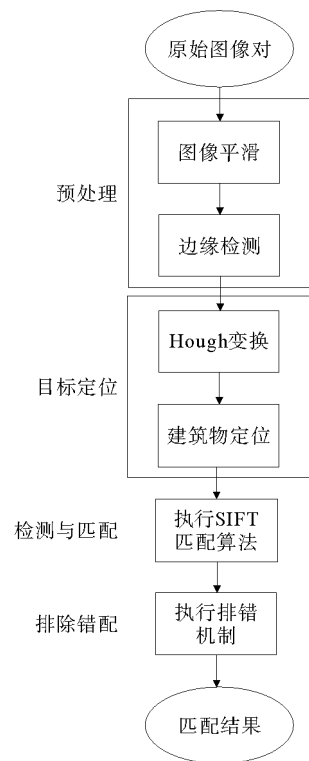


图 1 算法流程图

Fig. 1 Flow chart of the algorithm

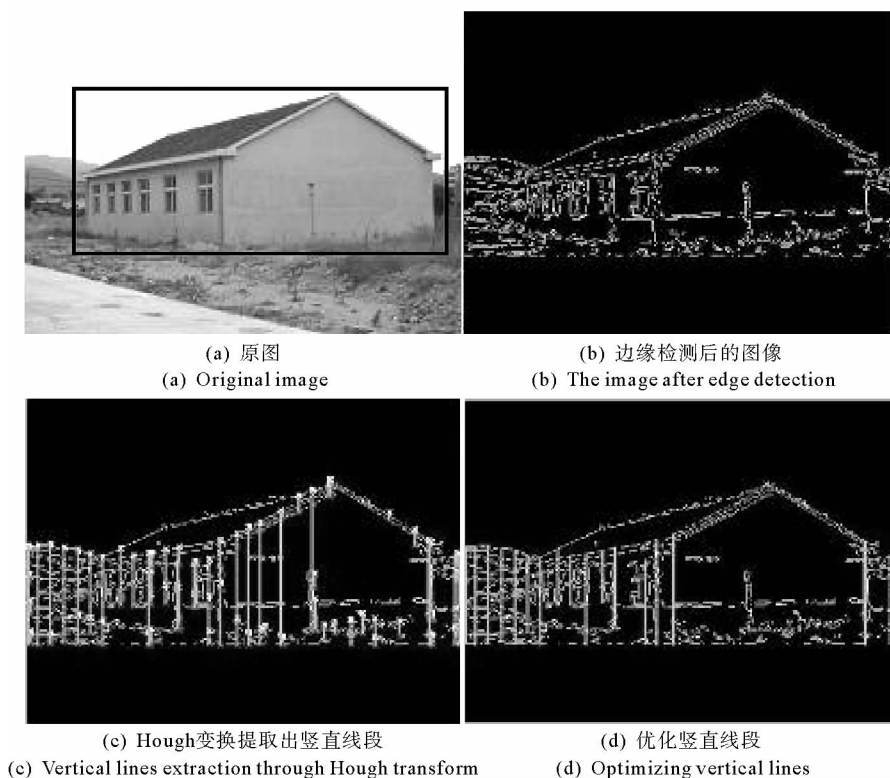


图 2 基于 Hough 变换的建筑物区域提取

Fig. 2 The building area extracting based on Hough transform

佳值基本稳定,本研究中实验取 $L_{th} \approx 10$ 。同理,继续向右遍历,得到建筑物的右边界。

由以上分析得到建筑物的上下左右边界即可确定其大概区域,实验中为得到建筑物的完整区域,通常可将四个边界分别向外扩大 3~5 个像素。图 2(a)中的矩形框圈定区域即为得到的建筑物区域,它占整个图像的约 1/2,大大缩小了后续特征点检测及匹配的范围。

2 SIFT 特征提取

对于建筑物序列图像,由于拍摄角度、光线等条件的变化,图像经常具有仿射变换和几何变形比较严重的情况,如何实现高精确度的匹配是建筑物三维重建的研究难点。基于尺度空间和不变量理论的图像特征检测与描述算子 SIFT 具有对尺度变化、旋转甚至部分三维视角变化和光照变化保持不变的特性,从而成为稳定性和适应性较强的局部特征匹配算子,被广泛应用^[9]。

SIFT 算法首先在多尺度空间进行特征检测,确定关键点的位置和关键点所处的尺度,然后使用关键点邻域梯度的主方向作为该点的方向特征,以实现算子对尺度和方向的无关性。基于 SIFT 方法,本研究提出一种针对建筑物的特征点匹配方法,即在特征点检测阶段,仅在已检测出的建筑物区域执行 SIFT 检测算法。对于图 3 中的图像,通过分析发现,若对整个图像进行 SIFT 特征点的检测,可以得到 132 对特征点,而当仅在建筑物区域进行特征点的提取时,只得到 65 对特征点,可以大大提高系统的效率。同时,由于排除了背景区域,能够进一步提高系统的准确率。

3 去除错误匹配

在匹配过程中有些点的邻域信息确实特别相近,比如建筑物的各个窗角,因为拍摄角度不同,有些相近点的特征描述的匹配程度甚至超过了同一点在两幅图中的相似程度。因此,需要对匹配结果进行后期处理以得到精确的图像匹配结果。现有方法中通常使用 RANSAC(随机抽样一致,random sample consensus)算

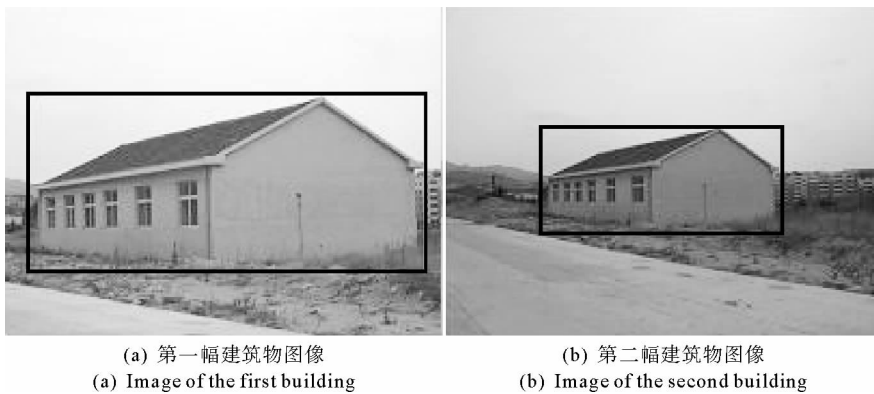


图 3 SIFT 特征提取

Fig. 3 SIFT feature extraction

法^[14]、Hough 聚类法^[15]等去除错配现象。但是该类方法的时间复杂度较高,本研究提出一种简单、高效的两级错误排除机制:移动方向法和移动距离法。

3.1 移动方向法

移动方向法如图 4 所示,关键点 A 在 X 方向上的运动可能为 2 或 4 方向,在 Y 方向上的运动可能为 1 或 3 方向,按式(1)将所有的匹配点在两幅图像序列中的移动方向做统计分析,得到建筑物的整体平移方向:

$$\Delta X = \sum_{i=1}^n \text{sgn}(x_{i2} - x_{i1}), \Delta Y = \sum_{i=1}^n \text{sgn}(y_{i2} - y_{i1}). \quad (1)$$

其中: n 为两幅图像中匹配点的组数; $(x_{i1}, y_{i1}), (x_{i2}, y_{i2})$ 分别为第 i 组匹配点在两幅图像中的位置坐标。显然,若 $\Delta X > 0$, 则目标物体在 X 轴方向是沿方向 2 运动的,若 $\Delta X < 0$, 则目标物体在 X 轴方向是沿方向 4 运动的;若 $\Delta Y > 0$, 则目标物体在 Y 轴方向是沿方向 3 运动的,若 $\Delta Y < 0$, 则目标物体在 Y 轴方向是沿方向 1 运动的。然后比较每对匹配点的移动方向与目标物体的整体移动方向,将与其不一致的匹配点对排除。

移动方向法虽然可以排除一些错配点,但对于一些运动方向一致的错配情况仍无法排除,所以进一步提出移动距离法,对匹配结果进一步优化。

3.2 移动距离法

如式(2)所示,使用欧氏距离计算图像中匹配点的移动距离:

$$D(i) = \sqrt{(x_{i1} - x_{i2})^2 + (y_{i1} - y_{i2})^2}; \bar{D} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D(i). \quad (2)$$

\bar{D} 为匹配点移动距离的平均值,对于第 i 组匹配点,若 $D(i) < t_1 \bar{D}$ 或 $D(i) > t_2 \bar{D}$, 则认为该点的移动距离与平均移动距离相差较大,判断其为错误匹配点。通过实验,本文设定 $t_1 = 0.5, t_2 = 1.5$ 。

4 实验比较

因为本文方法使用 SIFT 中的特征点描述方法,其本质为对矩形区域的梯度值进行描述,选择了有类似原理的文献[3]和文献[5]进行比较。对图 5 所示 4 组图像分别做实验,用实验说明第 3 节中排除错误匹配方法的有效性。

图 5 中第一组图像的点 a 和 a' 的邻域信息特别相似,在关键点匹配算法中将其误匹配成一对,但经过本文提出的两级排除错误匹配方法将其成功排除。排除的错误匹配点对如图 5 中所示,其中点 h, h' 与图像

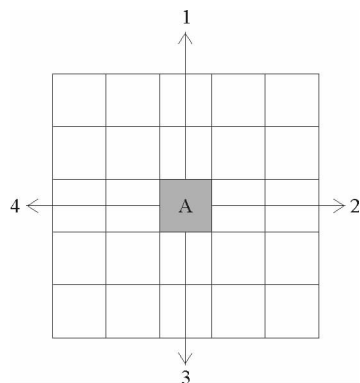


图 4 角点运动方向

Fig. 4 The movement directions of the angular points

的运动方向不一致,用移动方向法排除;点 $a, a'; f, f'; g, g'; i, i'; j, j'; k, k'$ 是用移动距离法被排除。通过大量试验表明本文提出的排除错误匹配方法可以有效排除错误匹配,对图 5 所示的 4 组图像进行实验的结果如表 1 所示。可以看出,本文方法的匹配正确率在 97% 以上,至少高出比较方法 9%, 可以取得最好的结果。

另外,使用相机对建筑物数据集进行了采集,在所采集的 100 组包含多种建筑物的图像序列中进行实验,实验表明本文所提出的方法对于建筑物的序列图像匹配正确率在 96.7% 以上,对于旋转、平移、光照具有较好的特征不变性。用图 3 中(a)和(b)两幅图像对本算法进行测试,(b)相对(a)发生了旋转和平移变换,光照也有明显差别。算法先对两幅图像提取出建筑物区域,进行特征点匹配后,再通过本文的两级排除算法进行筛选,结果得到 53 对点,全部匹配正确。

基于 SIFT 特征描述的图像匹配方法是目前公认的匹配能力较强的特征匹配算法,但由于 SIFT 算法需要在各个尺度进行计算,其时间复杂度相对较高,这主要是由特征点检测与匹配的数量决定的。本研究提出的算法,先用 Hough 变换检测建筑物区域的算法,缩小检测与匹配的范围,而用 Hough 变换进行检测建筑物区域的时间开销与后续的特征点的检测与匹配相比可以忽略,这样就大大减少了基于 SIFT 特征描述的图像匹配方法的时间开销,同时保证了图像匹配的准确率。

5 结论

首先,给出了一种基于 Hough 变换提取建筑物区域的算法,用以减少无效搜索;然后,利用 SIFT 算法对光照强度、平移、旋转的不变性,仅在获取的建筑物区域中进行特征点的提取与匹配,加速了 SIFT 算法的匹配过程;最后,提出了移动方向法和移动距离法的两级排除错误匹配机制,进一步降低了匹配误差。

本方法在建筑物背景较少的情况下,具有较好的检测、匹

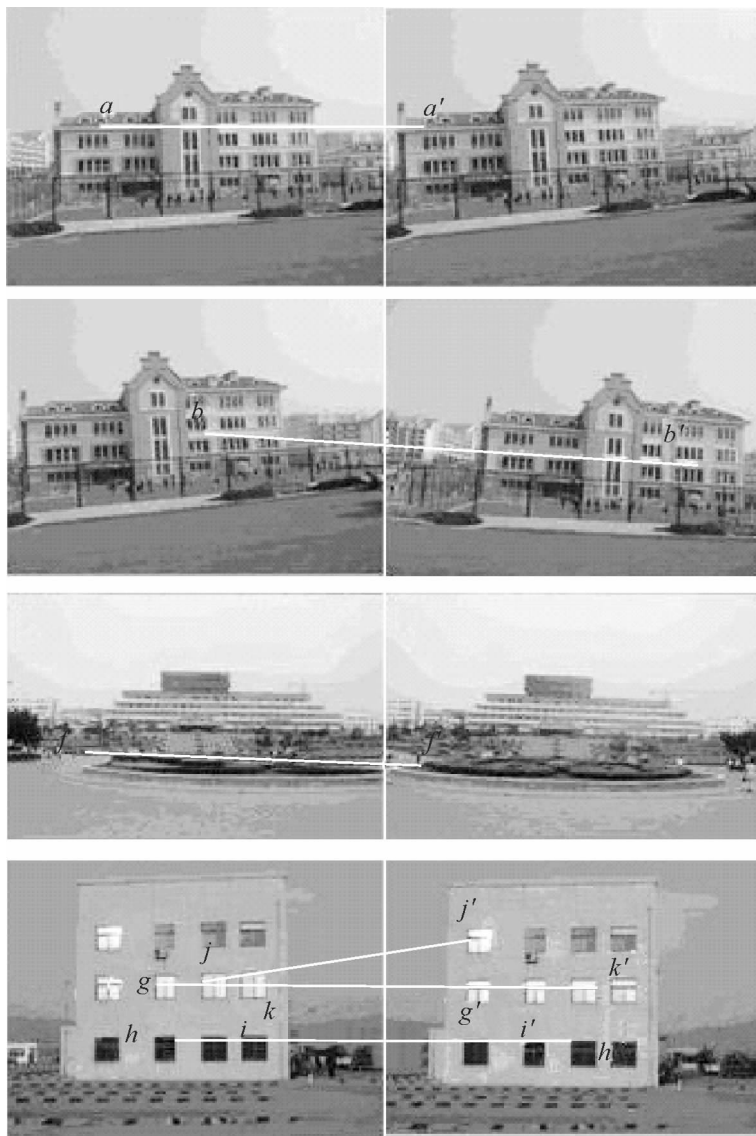


图 5 实验图像及排除错误匹配结果

Fig. 5 Experimental images and the result of mismatch removal

表 1 实验结果比较表
Tab. 1 Experimental result %

组别	匹配正确率		
	本文方法	文献[3]	文献[5]
1	100	84.6	91.8
2	97.2	60.0	53.3
3	100	58.3	61.6
4	100	85.3	90.4

配效果,但对于建筑物处于复杂的背景中目标物体区域的检测,需要进一步研究。

参考文献:

- [1] Agarwal S, Furukawa Y, Snavely N, et al. Building rome in a day[J]. Communications of the ACM, 2011, 54(10): 105-112.
- [2] Musialski P, Wonka P, Aliaga D G, et al. A survey of urban reconstruction[J]. Computer Graphics Forum, 2013, 32(6): 146-177.
- [3] Tsai D M, Lin C T. Fast normalized cross correlation for defect detection[J]. Pattern Recognition Letters, 2003, 24(15): 2625-2631.
- [4] Lewis J P. Fast normalized cross-correlation[EB/OL]. [2013-12-03] <http://www.idiom.com/~zilla/Work/nvisionInter-face/nip.pdf>, 1995.
- [5] 李强, 张钺. 一种基于图像灰度的快速匹配算法[J]. 软件学报, 2006, 17(2): 216-222.
Li Qiang, Zhang Bo. A fast matching algorithm based on image gray value[J]. Journal of Software, 2006, 17(2): 216-222.
- [6] Huttenlocher D P, Klanderman G A, William J R. Comparing images using the Hausdorff distance[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1993, 15(9): 850-863.
- [7] Kwon O K, Sim D G, Park R H. Robust Hausdorff distance matching algorithms using pyramidal structures[J]. Pattern Recognition, 2000, 34(10): 2005-2013.
- [8] Brown M, Lowe D G. Recognising panoramas[C]//9th International Conference on Computer Vision. Nice, France, Oct. 14-17, 2003: 1218-1225.
- [9] Lowe D G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints[J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2): 91-110.
- [10] Ke Y, Sukthankar R. PCA-SIFT: A more distinctive representation for local image descriptors[C]//IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Washington, June 27-July 2, 2004: 506-513.
- [11] Bay H, Tuytelaars T, Cool L. SURF: Speeded up robust features[J]. Computer Vision and Image Understanding, 2008, 110(3): 346-359.
- [12] 王年, 范益政, 鲍文霞, 等. 基于图割的图像匹配算法[J]. 电子学报, 2006, 34(2): 232-236.
Wang Nian, Fan Yizheng, Bao Wenxia, et al. An images matching algorithm based on graph cuts[J]. Acta Electronica Sinica, 2006, 34(2): 232-236.
- [13] 汪哲慎, 李翠华. 基于改进 Hough 变换的建筑目标搜索与识别[J]. 中国图象图形学报, 2005, 10(4): 463-468.
Wang Zheshen, Li Cuihua. The search and identification of building goals based on improved hough transform[J]. Chinese Journal of Image and Graphics, 2005, 10(4): 463-468.
- [14] Fishchler M A. Random sample consensus; A paradigm for model fitting with application to image analysis and automated cartography[J]. Communication Association Machine, 1981, 24(6): 381-395.
- [15] Hough P V C. Method and means for recognizing complex patterns; U. S. 3069654[P]. 1962-12-18.

(责任编辑: 吕文红)