

# 异源图像特征点边缘描述与匹配

朱英宏<sup>1,2</sup> 李俊山<sup>2</sup> 杨威<sup>3</sup> 杨亚威<sup>2</sup> 朱艺娟<sup>4</sup>

(武警福建总队厦门支队 厦门 361000)<sup>1</sup> (第二炮兵工程大学 402室 西安 710025)<sup>2</sup>  
(第二炮兵指挥学院工程保障系 武汉 430012)<sup>3</sup> (武警福建总队漳州支队 漳州 363100)<sup>4</sup>

**摘要** 针对红外与可见光图像中特征点匹配的难题,提出一种基于特征点邻域边缘的描述与匹配算法。首先采用基于曲率尺度空间的角点检测算法进行特征点提取;再对特征点邻域的边缘进行重组;其次求取特征点所在曲线的法线作为主方向,以避免图像的旋转代价;计算特征点邻域像素点的B-LBP算子的加权分布直方图;然后搜索相同边缘上最近的特征点并计算相应的直方图信息;再对两个直方图进行级联,构造出512维的UB-LBP联合描述子,并将其归一化;最后采用最近邻算法实现特征点匹配。实验结果表明,这两种描述子在红外与可见光图像特征点匹配方面较SIFT算法具有较高的正确匹配率,能够实现两种图像的精确匹配。

**关键词** 红外图像,可见光图像,CSS角点检测,局部二进制模式

中图分类号 TP391 文献标识码 A

## Edges Description and Matching Algorithm for Different-source Images

ZHU Ying-hong<sup>1,2</sup> LI Jun-shan<sup>2</sup> YANG Wei<sup>3</sup> YANG Ya-wei<sup>2</sup> ZHU Yi-juan<sup>4</sup>

(Xiamen Regiment, Fujian Division of the Chinese People's Armed Police Force, Xiamen 361000, China)<sup>1</sup>

(402 Depart, Second Artillery Engineering University, Xi'an 710025, China)<sup>2</sup>

(Engineering Support Depart, Second Artillery Command College, Wuhan 430012, China)<sup>3</sup>

(Zhangzhou Regiment, Fujian Division of the Chinese People's Armed Police Force, Zhangzhou 363100, China)<sup>4</sup>

**Abstract** A point matching algorithm based on edges of key points region was proposed to resolve the problem of IR and visible images matching. Firstly, the feature points were extracted by the CSS corner detector. Edges of key points region were reconstructed. Secondly, the normal direction of each feature point on the curve was adopted as the main direction of the point, making the point descriptor rotation invariant. Thirdly, through calculating the B-LBP weight histogram in interesting points' neighborhood, the nearest feature point of each extracted one on the same edge was searched and the histograms of edge pixels of the two key points region were constructed. Then a 512-dimensional UB-LBP joint descriptor combining with two histograms was constructed and normalized. Finally, the feature matching was realized via the nearest neighbor algorithm. Experimental results show that the proposed algorithm can match the feature points in the IR and visible images more efficiently than the original SIFT.

**Keywords** Infrared image, Visual image, CSS corner detecting, Local binary patterns

## 1 引言

在现代的医疗图像处理、目标识别跟踪、军事应用等领域,依靠单一传感器获取的图像信息已无法满足用户需求,需采用多种传感器来获取观测信息。多传感器图像更具有冗余性、多样性、可靠性、互补性。

可见光传感器和红外传感器作为两种常见的图像获取手段已被广泛应用于许多领域。将两种图像进行有效的匹配、配准、融合可改善图像的性噪比,获取可靠的信息,得到丰富的细节信息。然而红外与可见光成像机制不同,许多同源图像匹配算法在该领域已无能为力,一些基于多源图像匹配算法也失去效果<sup>[1]</sup>。因此,研究红外与可见光图像匹配算法具

有重要的意义。

在红外与可见光图像中灰度表现差异较大,红外图像一般被认为是可见光图像的负像<sup>[2]</sup>,因此,在特征点邻域中采用基于灰度信息对特征点进行描述将会遇到较大的困难。尽管红外与可见光成像机理不同,但是在两种图像中,物体的边缘特征具有较大的相似性。局部二进制模式(Local Binary Patterns, LBP)<sup>[3]</sup>是一种有效的纹理描述算子,其本质上是提取了角点、边缘的局部变化特征。LBP算子已广泛应用于纹理分类<sup>[4]</sup>、人脸分析<sup>[5]</sup>、纹理分割<sup>[6]</sup>和图像匹配<sup>[7]</sup>等领域。因此,本文将改进基于曲率尺度空间(Curvature Scale Space, CSS)<sup>[8]</sup>的角点提取算法,在此基础上提出基于LBP的联合描述子来对红外与可见光图像特征点邻域边缘信息进行描述。

到稿日期:2012-09-01 返修日期:2012-11-27 本文受国家自然科学基金(61075025,61175120)资助。

朱英宏(1983-),男,博士生,主要研究方向为红外图像处理,E-mail:waxinggy@163.com;李俊山(1956-),男,博士,教授,博士生导师,主要研究方向为图像处理与目标识别、网络信息安全、电子对抗模拟与仿真;杨威(1981-),男,博士,主要研究方向为目标跟踪;杨亚威(1986-),男,博士生,主要研究方向为图像复原;朱艺娟(1981-),女,主要研究方向为目标跟踪。

## 2 CSS 角点提取算法

本文采用 CSS 角点算法提取特征点。在 CSS 算法中首先采用 Canny 算法进行边缘提取,由于红外图像较可见光图像具有低对比度的特点,因此,本文采用较小尺度的 Canny 算法对红外图像进行边缘提取;再对红外与可见光边缘图像进行遍历,通过判断剔除长度小于  $L_{th}$  的边缘;然后,在较大尺度  $\sigma_{high}$  下采用曲率公式计算边缘的曲率,求取局部极值点;再利用全局阈值确定初始角点;最后在较小尺度  $\sigma$  下确定角点的坐标  $(x, y)$ 。

通过设置合理的阈值  $L_{th}$ ,剔除短边缘,可有效地提高角点的可重复率,为进一步提高算法的匹配精度提供了必要的前提。

## 3 特征点上边缘的重组

由于红外与可见光图像成像机制不同,通过 Canny 算法在两种图像中提取的边缘也可能存在差异。如图 1 所示,其中图 1(a)、(d)为相同物体的红外与可见光图。图 1(c)、(f)为边缘图像(b)、(e)的局部图。

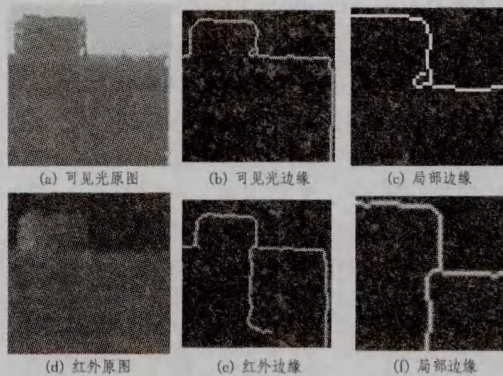


图 1 红外与可见光图像边缘

通过对图 1(c)、(f)的观察可以发现,红外与可见光图像局部边缘图仍然存在一定的差异,为本文拟提出的边缘描述子造成一定的障碍。因此,需对角点所在的局部边缘图像进行预处理。设:某角点的坐标及尺度因子为  $(x(i), y(i), \sigma(i))$ ,其在相应尺度下的  $16 \times 16$  的局部边缘图像为  $region(i)$ 。预处理如下:

Step 1 以角点为起点提取  $region(i)$  上各边缘分支的图像  $img_1, img_2, \dots, img_k$ ;

Step 2 当  $k \leq 2$  时,  $region(i)$  保持不变;当  $k > 2$  时,将  $img_1, img_2, \dots, img_k$  两两相加得到重构后的边缘图像  $region(i, j) = img_a + img_b, a, b \in k, j = 1, 2, \dots, C_k^2$ 。

以图 1(c)、(f)为例,对其进行边缘重构处理,可得到重组后的特征点边缘子邻域,如图 2 所示。

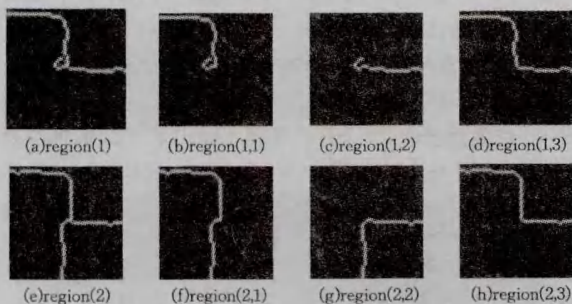


图 2 边缘的拆分/重组

从图 2 可以看出,重组之后的边缘图像将可能出现具有较高相似度的边缘子邻域(见图 2(d)和图 2(h)),为进一步构造鲁棒的边缘描述子提供了重要的依据。

## 4 基于 B-LBP 的联合描述子

### 4.1 确定特征点主方向

为保证构造的描述子具有旋转不变性,提高算法的鲁棒性,需为特征点确定主方向,当待匹配图像发生旋转时,可根据特征点主方向选取正确的特征邻域,以减小图像旋转对算法的影响。因此,本文采用计算特征点子邻域中的边缘的法线作为主方向。设特征点为  $p(i)$ ,其坐标为  $(x(i), y(i))$ ,其重组后的某一子邻域边缘上距离为  $k$  的两个点为  $p(i-k), p(i+k)$ ,特征点法线  $\alpha$  通过下式计算可得:

$$\alpha = \arctan \frac{\Delta x}{\Delta y} + \frac{\pi}{2}, \text{当 } y(i) \geq \frac{\Delta y}{2}$$

$$\alpha = \arctan \frac{\Delta x}{\Delta y} + \frac{3\pi}{2}, \text{当 } y(i) < \frac{\Delta y}{2}$$
(1)

式中,  $\Delta x = x(i-k) - x(i+k), \Delta y = y(i-k) - y(i+k)$ 。则特征点在该子邻域的主方向为  $\alpha$ 。

### 4.2 基于 B-LBP 的联合描述子构造

为全面有效地对特征点邻域的边缘信息进行描述,需对特征点所有的重组之后的子邻域进行描述。以图 2(h)为例,提取一个  $16 \times 16$  的边缘图像为特征点子邻域,如图 3 所示。设特征点为原点,特征点主方向为  $g_L$ ,顺时针旋转  $90^\circ$  为  $g_\perp$  方向,构造新的坐标系。

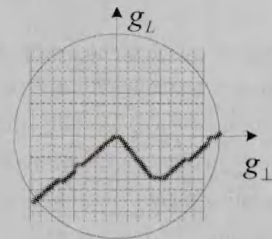


图 3 B-LBP 描述子的生成

在该邻域中以  $4 \times 4$  个像素点为一个子区域,将  $16 \times 16$  像素点的邻域划分为  $4 \times 4$  个子区域。由于边缘图像为二值图像,因此本文构造一种新的 B-LBP(Binary LBP)算子对每个子区域中的各个像素点进行描述,如图 4 所示,假设中心像素点为  $g_c$ ,选取其邻域的  $3 \times 3$  个像素点,把  $g_c$  与成对角线上的点  $g_{(i+p/2)}$  逐个比较,满足如下判断标准:

$$s_i = \begin{cases} 1, & g_i - g_{(i+p/2)} = 1 \\ 0, & g_i - g_{(i+p/2)} = -1 \end{cases}$$
(2)

如果对每个  $s_i$  分配一个权值  $2^i$ ,那么可以得到像素点  $g_c$  的唯一 B-LBP 编码,见式(2):

$$B-LBP = \sum_{i=0}^4 s_i \cdot 2^i$$
(3)

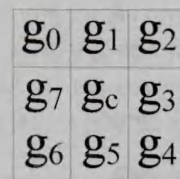


图 4 B-LBP 算子

作为基础的像素点描述算子,由式(3)可以看出,本文构造的 B-LBP 算子可在  $[0, 15]$  的范围内生成一个编码对像素

点进行描述,相对于经典 LBP 在 $[0, 127]$ 的编码体制来说,本文算子计算复杂度低、存储空间小、计算时间短,同时也降低了后续将采用直方图统计特征点邻域边缘信息的计算复杂度。

而后采用直方图统计每个子区域的 B-LBP 值在 $[0, 15]$ 区间的分布信息,统计过程中,采用高斯权重方程对 $16 \times 16$ 邻域上每个点的统计信息进行加权。最后,将 $4 \times 4$ 子区域的直方图级联,对特征向量进行归一化,构造出 256 维的特征点邻域边缘的描述子  $des_{B-LBP}(i, j)$ 。

红外与可见光特征点边缘图像重组算法可提高两种边缘图像的相似度,但降低了边缘描述子的独特性和鲁棒性。本文通过以下思路构造联合描述子:

Step 1 设特征点  $p(i)$  的某一子邻域为  $region(i, j)$ , 计算该子邻域的描述子为  $des_{B-LBP}(i, j)$ ;

Step 2 通过  $region(i, j)$  的边缘分支搜索距离最近的特征点  $p(r)$ ;

Step 3 计算  $p(r)$  上具有与  $region(i, j)$  相同边缘分支的子邻域  $region(r, s)$  和描述子  $des_{B-LBP}(r, s)$ ;

Step 4 将描述子  $des_{B-LBP}(i, j)$  和  $des_{B-LBP}(r, s)$  级联起来构造特征点  $p(i)$  在子邻域为  $region(i, j)$  的联合描述子  $des_{SUB-LBP}(i, j)$ 。

通过构造联合描述子将增强描述子的鲁棒性,并增加特征点之间的位置信息。

### 4.3 匹配算法

描述子的匹配方法已经有大量研究,其中,最近邻算法(Nearest Neighbor Distance Ratio, NNDR)是一种简单有效的匹配算法。本文采用该算法进行特征匹配,其主要思路是采用计算描述子的欧式距离,用式(4)进行判断:

$$\frac{NN}{SCN} \leq thre \quad (4)$$

其中, NN 为最近邻(Nearest Neighbor), SCN 为次近邻(Second-Nearest Neighbor),  $thre$  为判断阈值。通过设置  $thre$  实现特征点的精确判断。

## 5 实验结果与分析

### 5.1 实验阈值设置

为了验证本文算法的有效性,在软硬件环境为 CPU Dual Core 2.5GHz, 内存 2GB, WindowsXP + SP3, Matlab 2010 的条件下进行仿真实验,仿真实验使用了大小为  $400 \times 300$  的图像。

本文采用最近邻匹配算法对特征点描述子的相似度进行判断,当描述子之间的最近欧式距离与次近距离的比值小于  $thre$  时,即为正确匹配点对。 $thre$  的合理选择,直接关系匹配算法的匹配精度。本文通过对视角、旋转和尺度变化以及相同尺度视角条件的异源图像进行大量实验,统计出阈值  $thre$  变化与图像正确匹配率之间的关系,如图 5 所示。

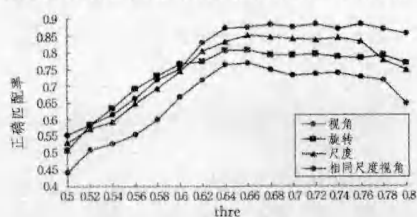


图 5  $thre$  与正确匹配率关系图

通过分析实验结果可知,当  $thre=0.66$  时,本文算法将取得较好的实验结果。因此,本文将  $thre$  设置为 0.66。

为保证较高的匹配精度,对大量的对比实验结果进行了分析,结果显示当  $L_n=40$  时,在红外与可见光图像中 CSS 角点算法提取的特征点具有最高的可重复率。

### 5.2 实验结果分析

通过大量的对比实验,图 6 给出了一组红外与可见光图像匹配的实验结果。由于学术界还没有一个公认的、通用的图像库,为提高实验难度,本文选取了具有较多相似结构、低对比度、高噪声、模糊的红外图像进行实验。图 6(a) 给出了一组相同尺度和视角的匹配结果,从图中可以看出,尽管在图中存在部分的相似结构,本文算法仍能有效地实现图像的匹配。在统计特征点邻域特征信息时,本文算法对描述子进行了高斯加权,使特征点邻域中心区域的特征信息对描述子贡献大,子邻域外围区域的信息贡献小,使构造的描述子可具有一定的仿射不变性。图 6(b) 给出了一组不同视角的异源图像实验结果,从中可以看出,虽然存在少量的误匹配点,但仍能有效匹配。本文算法采用计算特征点邻域边缘的法线作为该子邻域的主方向,并以此构造描述子,使得描述子具有旋转不变性,图 6(c) 为一组旋转  $45^\circ$  的异源图像实验结果图,从中可以看出本文提出的描述子具有旋转不变性。图 6(d) 中,红外图像为可见光图像的 0.8 倍,从实验结果可以看出本文算法具有尺度不变性,且对模糊图像具有一定的鲁棒性。

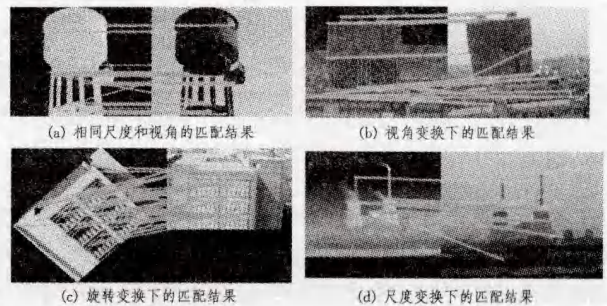


图 6 本文算法的匹配结果

### 5.3 对比实验分析

在基于特征点的图像匹配算法中,尺度不变特征变换算法(Scale Invariant Feature Transform, SIFT)<sup>[9]</sup>以其优异的性能在许多领域得到了广泛应用。Mikolajczyk 对 10 种具有代表性的描述子进行对比实验后指出:SIFT 描述子的性能最好。本文采用 SIFT 算法对以上 4 组图像进行对比实验,实验结果如表 1 所列。从表 1 可以看出,与 SIFT 算法相比,本文算法在异源图像匹配中具有较多的匹配对数和较高的正确匹配率。

表 1 SIFT 和本文算法实验数据比较

组别	应用算法	匹配对数	正确匹配对数	正确匹配率(%)
(a)	SIFT	44	18	40.09
	本文算法	25	21	84.00
(b)	SIFT	17	5	29.40
	本文算法	20	15	75.00
(c)	SIFT	42	12	28.57
	本文算法	29	23	79.31
(d)	SIFT	27	7	25.93
	本文算法	13	11	84.62

(下转第 282 页)

的特征, + 表示芝麻的特征,  $\Delta$  表示绿豆的特征。

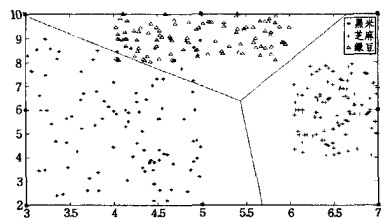


图5 分类器训练结果

黑实线是获得的分类界面,横坐标表示降维后的第一个特征,纵坐标表示降维后的第二个特征,是无量纲的量。利用分类面测试数据库中的样本,每类 100 个样本,黑米、芝麻和绿豆的识别率分别为:93%、94%和 97%,这证明了本文的粮食分类方法有效,分类结果较好。

**结束语** 本文提出了一种基于物体边缘的特征表示方法。首先利用水平集理论得到物体的边缘,再计算边缘到物体重心的距离,得到边缘对应的特征向量。利用得到的特征向量训练 SVM 分类器。最后利用建立的黑米、芝麻和绿豆样本库对样本进行分类,实现粮食识别。实验证明,本文方法取得了较高的正确率,是一种行之有效的办法。

### 参 考 文 献

[1] Nikolova M. A Variational Approach to Remove Outliers and Impulse Noise[J]. Journal of Mathematical Imaging and Vision, 2004, 20(1): 99-120

[2] Torralba A, Fergus R, Freeman W. Million tiny images: A large data set for nonparametric object and scene recognition[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2007, 30(11): 1958-1970

[3] Shen Z. Wavelet Frames and Image Restorations[C]//Rajendra B. Proceedings of the International Congress of Mathematicians 2010. ICM 2010. Hyderabad, India; World Scientific Publishing, 2010; 2834-2863

[4] Ricard J, Coeurjolly D, Baskurt A. Generalizations of angular radial transform for 2D and 3D shape retrieval[J]. Pattern Recognition Letters, 2005, 26(14): 2174-2186

[5] Tello R. Fourier descriptors for computer graphics [J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1995, 25(5): 861-865

[6] Li C, Xu C, Gui C, et al. Distance regularized level set evolution and its application to image segmentation[J]. IEEE transactions on image processing, 2010, 19(12): 3243-3254

[7] Zhao H, Chan T, Merriman B, et al. A variational level set approach to multiphase motion[J]. Journal of computational physics, 1996, 127(1): 179-195

[8] Li C, Xu C, Gui C, et al. Level set evolution without re-initialization: A new variational formulation[C]//Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. San Diego: IEEE Conference Publications, 2005: 430-436

[9] Laptev I, Caputo B. Recognizing human actions: A local SVM approach[C]//Kittler J. Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition. Cambridge: IEEE CS Press, 2004: 32-36

[10] Chapelle O. Support vector machines: Induction Principles, adaptive tuning and prior knowledge[D]. Laboratoire d'Informatique, Univ. Paris 6, Paris, France, 2002

[11] Inoue T, Abe S. Fuzzy support vector machines for pattern classification[C]//Proc. IEEE Int. Joint Conf. Neural Networks. 2001; 1449-1454

[12] Platt J. Probabilistic outputs for SVMs and comparisons to regularized likelihood methods[M]. Advances in Large Margin Classifiers, Cambridge, MA: MIT Press, 2000; 61-74

[13] Cortes C, Vapnik V N. Support vector networks [J]. Mach. Learn., 1995, 20(3): 273-297

[14] Chang C, Lin C. LIBSVM -A Library for Support Vector Machines[EB/OL]. <http://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm>, 2012-04-01

[15] Goh K, Chang E, Li B. Using one-class and two-class SVMs for multiclass image annotation [J]. IEEE Trans. Knowl. Data Eng., 2005, 17(10): 1333-1346

[16] 程仁贵, 刘书妍. 基于边缘检测的影像多线自动测量算法[J]. 重庆理工大学学报: 自然科学版, 2013, 27(2): 89-92

(上接第 279 页)

**结束语** 本文针对红外与可见光图像点匹配的难题,提出一种基于 B-LBP 的特征点匹配算法。通过角点提取、边缘重组、主方向确定等方法确定了特征点子邻域,再对子邻域中各像素点的 B-LBP 值进行统计,然后通过边缘搜索将相邻两个子邻域的 B-LBP 值进行级联,生成一个 512 维的联合描述子,最后采用最近邻匹配算法进行匹配。实验结果表明,本文提出的算法可实现红外与可见光图像在旋转、视角、尺度变换中的有效匹配,匹配精度较 SIFT 算法有较大的提高。

### 参 考 文 献

[1] 王鲲鹏,徐一丹,于起峰. 红外与可见光图像配准方法分类及现状[J]. 红外技术, 2009, 31(5): 270-275

[2] 田裕鹏. 红外检测与诊断技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006: 140-145

[3] Ojala T, Pietikainen M, Maenpaa T. Multiresolution gray-scale and rotation invariant texture classification with local binary patterns[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Ma-

chine Intelligence, 2002, 24(7): 971-987

[4] Nanni L, Lumini A, Brabnam S. Survey on LBP based texture descriptors for image classification[J]. Expert Systems with Applications, 2012(39): 3634-3641

[5] Lee H, Chung Y, Kim J, et al. Face Image Retrieval Using Sparse Representation Classifier with Gabor-LBP Histogram [J]. Computer Science, 2011, 6513: 273-280

[6] Yue Y, An Z, Wu H. Adaptive Targets-detecting Algorithm based on LBP and Background Modeling under Complex Scenes [J]. Procedia Engineering, 2011, 15: 2489-2494

[7] Arashloo S R, Kittler J. Energy Normalization for Pose-Invariant Face Recognition Based on MRF Model Image Matching [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2011, 33(6): 1274-1280

[8] Mokhtarian F, Suomela R. Robust image corner detection through curvature scale space[J]. Proceedings of Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1998, 20(12): 1376-1381

[9] Lowe D. Distinctive image features from scale-invariant keypoints[J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2): 91-110