

文章编号: 1672-8785(2018)11-0021-07

基于结构形态几何生长的 模糊红外光谱图像分割

高 强 周子杰 于 晓*

(天津理工大学电气工程学院, 复杂系统控制理论与应用重点实验室, 天津 300384)

摘 要: 针对局部目标与背景的低对比度、目标边缘模糊红外手印的分割问题, 提出了一种基于结构形态几何生长的边缘模糊红外目标提取算法。该算法首先利用最大熵法及阈值扩展将图像进行粗分割; 在粗分割的目标区域中提取区域块特征点, 构筑手的结构形态; 通过区域块特征点寻找种子点, 并以种子点与对应特征点的距离关系作为生长判决条件进行几何生长, 最终提取得到目标图像。与常用提取算法进行比对实验, 结果表明, 针对边缘模糊的红外手印图像, 本文算法能更有效地提取出完整目标。

关键词: 目标提取; 几何生长; 红外图像

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2018.11.005

Fuzzy Infrared Spectral Image Segmentation Based on Geometric Growth with Structural Morphology

GAO Qiang, ZHOU Zi-jie, YU Xiao*

(Tianjin Key Laboratory for Control Theory & Applications in Complicated Systems, School of Electrical and Electronic Engineering, Tianjin University of Technology, Tianjin 300384, China)

Abstract: To solve the problems of low contrast between a local target and its background and segmentation of an infrared handprint image with blurred edge, an edge blurred infrared target extraction algorithm based on geometric growth with structural morphology is proposed. Firstly, the maximum entropy method and threshold extension are used to segment the image roughly. Secondly, the feature points of the regional blocks in the roughly segmented target area are extracted to construct the structural morphology of the hand. Finally, by using the regional block feature point to find the seed point and using the distance relationship between the seed points and the corresponding feature points as the growth decision condition for geometric growth, the target area is obtained from the image. The method is compared with the conventional extraction algorithm experimentally. The results show that the proposed method can extract the complete target more effectively for the blurred infrared images with blurred edge.

Key words: target extraction; geometric growth; infrared image

收稿日期: 2018-10-17

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61502340); 天津市自然科学基金资助项目(18JCQNJC01000)

作者简介: 高强(1968-), 男, 天津人, 教授, 研究方向为智能控制、复杂系统的故障诊断、半实物仿真。

*通讯作者: 于晓, 讲师, 主要研究方向为机器视觉与人工智能。E-mail: yx_tjut@163.com

0 引言

红外成像技术依靠热辐射差异能够避免恶劣天气和人为躲藏等因素的影响,实现目标图像特征的捕捉^[1-2]。当手与物体接触时会发生热传递,物体表面被手覆盖区域的温度即使在手离开后依旧能够残留一段时间。红外探测仪能将这一肉眼无法观测的信息进行采集。这种方法通常用于刑侦犯罪现场的证据检测,通过提取红外手印特征,寻找犯罪嫌疑对象^[3]。实际中,由于手与物体不完全接触,红外手印图像目标边缘模糊,内部局部区域与背景的特征相似。因此,如何从边缘模糊的红外图像中准确提取目标区域是一个需要解决的问题。

目标提取是机器视觉领域的一个经典问题。经过多年研究发展,根据图像特征的差异设计出了不同类型的目标提取算法。常用的提取算法取决于图像的颜色特征或灰度分布,如阈值分割法^[4-5]和区域生长法^[6]。另外一些提取算法通过学习和训练样本中的目标特征、设计分类器实现目标提取,如支持向量机(Support Vector Machine, SVM)^[7]、模板匹配方法^[8]和神经网络^[9-10]等。

由于红外成像和接触表面的热迹易随时间推移而扩散,所以红外图像通常具有分辨率低、目标边缘模糊等特点^[11]。针对边缘模糊问题,张婕等^[12]用距离作为空间信息对灰度进行补偿,改善了边缘模糊的不利影响,实现了快速提取;王莹莹等^[13]针对红外目标内部分布不均问题,结合信息熵分割算法和区域生长,由局部目标特征区域生长提取完整目标。但是红外手印图像在具备边缘模糊特点的同时,由于手的指腹及手掌局部区域与接触面不完全接触,指腹及手掌所在的区域特征与背景相似,传统提取算法无法对其实现目标的准确分割。因此,本文提出一种基于结构形态几何生长的边缘模糊红外目标提取算法。首先利用最大熵阈值分割法对红外图像进行粗分割,标记粗分割的目标区域,并寻找各区域的特征点,构建手掌的结构形态。然后根据特征点选

择种子点,以特征点与待生长点的位置几何关系作为区域生长的判决条件,实现对像素点的几何生长。最终几何生长完毕的区域即为提取的目标。

1 算法描述

以专用红外设备拍摄的大量红外手印图像作为研究材料,图 1 给出了一种典型的红外手印图像。由图像红色框选区域能够发现,通常手掌与对象接触时,并非整体均匀接触,掌心及指腹部分相对指尖与对象接触较不充分,由此产生了此类目标内部局部区域与背景具有较低对比度的问题。



图 1 典型红外手印图像

因此,本文提出了一种基于结构形态几何生长的边缘模糊红外目标提取算法。考虑到手掌与对象的不完全接触,算法在对图像进行中值滤波预处理后,采用最大熵法对图像进行粗分割,将其划分为目标与背景两部分。通过阈值扩展,细化分割区域。在细化后的目标区域中提取各区域块的特征点,由此建立手的结构特征。然后利用区域生长,以待生长像素点与目标区域块特征点的位置关系作为生长判决条件进行几何生长。这种生长方式在一定程度上增大了指尖与手掌之间像素点的生长趋势,使得生长过程中像素点靠近指腹区域时,能对对应较小的生长阈值来支持其满足条件,从而实现指腹区域的目标生长。算法的流程如图 2 所示。

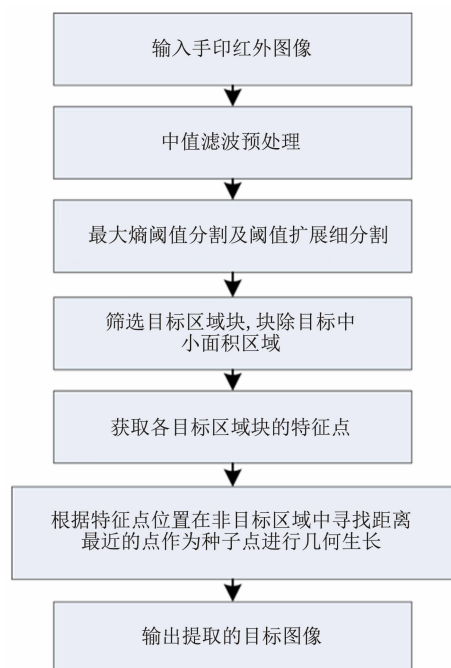


图 2 算法流程图

2 基于结构形态几何生长的红外目标提取算法

2.1 最大熵阈值计算

最大熵法^[14]将图像直方图分为不同独立的类, 计算这些类之和, 达到最大值。根据图像目标与背景分布的信息量差异, 分析灰度直方图的熵, 从而获取图像的最佳阈值。本算法中, 首先采用最大熵阈值法将图像进行粗分割, 获取一个最佳单阈值, 将图像分割为目标 C_A 与背景 C_B 两部分。但由于目标图像存在边缘模糊特性, 单一阈值无法将其准确分割。因此以最佳阈值灰度为中心, 选择一定比例范围扩展阈值, 将图像分为目标区域 C_a 、背景区域 C_b 和待细分区域 C_x 。

设一幅大小为 $M \times N$ 的图像的灰度取值范围为 $0 \sim (L-1)$, 灰度值为 k 的像素点数量为 n_k , 则总像素点数为 $S = \sum_{k=0}^{L-1} n_k$ 。 q_k 表示像素灰度值 k 的概率, 则有

$$q_k = \frac{n_k}{S} (k=0, 1, \dots, L-1) \quad (1)$$

若存在 $t(0 < t < L-1)$ 能将图像中的灰度

级划分为目标 C_A 和背景 C_B 两类, 那么根据两类的概率分布可知, C_A 和 C_B 的熵分别为

$$C_A: H_A = - \sum_{k=t+1}^{L-1} q_{c_a}(m) \lg(q_{c_a}(m)) \quad (2)$$

$$C_B: H_B = - \sum_{k=0}^t q_{c_b}(k) \lg(q_{c_b}(k)) \quad (3)$$

式中, $q_{c_a}(m) = \frac{q_m}{Q_{DA}}, m=t+1, t+2, \dots, L-1$,

$$q_{c_b}(k) = \frac{q_k}{Q_{DB}}, k=0, 1, \dots, t, Q_{DA} = \sum_{i=t+1}^{L-1} q_i,$$

$Q_{DB} = 1 - Q_{DA} = \sum_{i=0}^t q_i$ 。当 $H_A + H_B$ 取最大值时, 对应的 t 为最佳阈值。

根据最佳阈值, 选择扩展比例范围 α , 获得 t_a 和 t_b :

$$t_a = t + (L-1-t) \times \alpha \quad (4)$$

$$t_b = (1-\alpha) \times t \quad (5)$$

最终将图像划分为目标区域 C_a 、背景区域 C_b 和待细分区域 C_x 。

2.2 目标区域块特征点获取

通过最佳单阈值拓展得到的双阈值, 将粗分割后的图像进行细分, 由此获得的新目标区域 C_a 能确定全部包含于真实目标的区域。考虑到对象与目标手掌局部不充分接触的特点, 我们将各个目标区域进行标记, 并将各区域中灰度最高即手与对象最充分接触的部分进行筛选, 从而寻找到各目标区域块的特征点。示意结果如图 3 所示, 红色点为各区域特征点 (包含像素点最多的区域块称为主区域块)。



图 3 目标区域块特征点的示意图

2.3 区域几何生长

区域生长算法^[15]作为一种像素级的图像分割方法, 能将目标高相似的像素点提取出来, 从而实现目标的高精度分割。而在此过程

中种子点的选取和生长准则的制定, 会直接影响最终目标提取的结果。

2.3.1 种子点的获取

种子的选择与区域生长结果的准确性直接相关。通常种子点由区域中的一个或一组像素构成。本算法中, 我们将在待细分区域 C_x 中距离各区域块特征点最近的像素点作为种子点。

2.3.2 生长准则

初始已生长区域为 $R=C_a$, 设区域块的特征点为 $G_1(g1.x, gl.y)$, 主区域块的特征点为 $G_K(gk.x, gk.y)$ 。该区域块特征点对应种子点邻域的待生长像素点 $f(x, y)$ 与已生长区域的关系用 γ 来表示:

$$\gamma = ((G_1 - f)^2 + (G_K - f)^2) / (G_1 - G_K)^2 \quad (6)$$

生长准则为

$$\begin{cases} f(x, y) \geq t_a + (t - t_a) / \gamma & \gamma > 1 \\ f(x, y) \geq t_b - (t_b - t) \times \gamma & \gamma \leq 1 \end{cases} \quad (7)$$

式中, t_a 、 t_b 为通过最大熵最佳阈值拓展获取的双阈值, 根据待生长像素点与两个区域块特征点的不同位置关系进行生长判决。当两个区域块都为主区域块时, 设置 γ 为常数。将满足式(7)的像素点作为新种子点合并到区域 R 中。若不满足公式条件, 则停止当前像素点的生长, 继续其他待生长点的判断, 直到所有种子点均生长完毕, 实现目标的完全分割。

3 实验结果与分析

为了对算法设计的合理性和手掌目标提取

的完整度进行分析验证, 在相同环境条件下, 使用 TiX1000 Thermal Imagers 热像仪采集了不同接触材质对象的红外手印图像数据, 图像大小为 640×480 。我们从采集的图像中筛选出 5 幅具备较强典型红外手印图像特征的图像进行实验。这 5 幅图像是 5 名实验对象在墙面遗留手印后的 0~15 s 内拍摄获取的。

我们采用 4 种方式(最大熵阈值分割法、典型区域生长算法、最大类间差分算法、SVM)进行图像目标提取算法的比对实验。图 4 是实验分割结果。从图 4 能够发现, 指腹与接触面的不充分接触导致目标图像区域不连通, 传统区域生长算法的分割目标区域不完整。而 SVM 虽然能够提取到目标完整区域, 但是背景误选区域较多, 以至于无法提取到手印目标的正确信息。最大熵阈值分割法和最大类间差分算法获取的目标完整性较好; 关于细节部分, 最大类间差分算法包含的区域信息稍微多些。

本文提出的算法基于手的结构形态进行几何生长, 在包含目标完整性的同时, 加强了指腹部分的提取效果。比较最大类间差分法与本文算法的实验结果可以发现, 图 3 和图 4 的实验结果中, 本文算法实现了一部分指腹区域的连通, 提高了目标提取的完整性和准确性。

为了对实验结果进行更精确的评价, 我们对实验结果进行真阳率和假阳率的定量实验分析。由表 1 的数据能够发现, SVM 虽然能够提

表 1 对比实验的定量分析

图像	指标	最大熵	区域生长	最大类间 差分	SVM	本文算法
1	TPR	1.0000	0.7845	0.9974	1.0000	0.9925
	FPR	0.0509	0.0023	0.0128	0.2291	0.0098
2	TPR	0.9525	0.5528	0.9259	0.9999	0.9629
	FPR	0.0085	0.0000	0.0048	0.1371	0.0000
3	TPR	0.9076	0.5324	0.8412	1.0000	0.9390
	FPR	0.0114	0.0004	0.0041	0.1047	0.0142
4	TPR	0.9272	0.4634	0.8119	1.0000	0.9558
	FPR	0.0000	0.0000	0.0000	0.1559	0.0016
5	TPR	0.7061	0.4346	0.6285	1.0000	0.7347
	FPR	0.0044	0.0007	0.0021	0.1559	0.0000

取到完整的真实目标, 但是其假阳率较高, 常误选目标区域, 无法保证目标提取的准确性。区域生长的真阳率普遍较低, 5 幅图的平均真阳率仅达到 55.35%, 无法完整分割出目标区域。而最大熵和最大类间差分算法和本文提出的算法定量实验数据都相对比较理想。与最大类间差分算法相比, 最大熵阈值分割法能提取到较完整的区域, 但假阳率

的误选几率相较更大。本文提出的算法中, 虽然部分图像数据略低于前两种算法, 但其平均真阳率达到 91.7%, 高于最大熵的 89.87% 和最大类间差分算法的 84.1%; 平均假阳率为 0.512%, 与最大类间差分法的 0.476% 相近, 优于最大熵算法的 1.504%。这些结果说明针对红外手印图像, 本文提出的算法提高了目标图像的分割准确性。

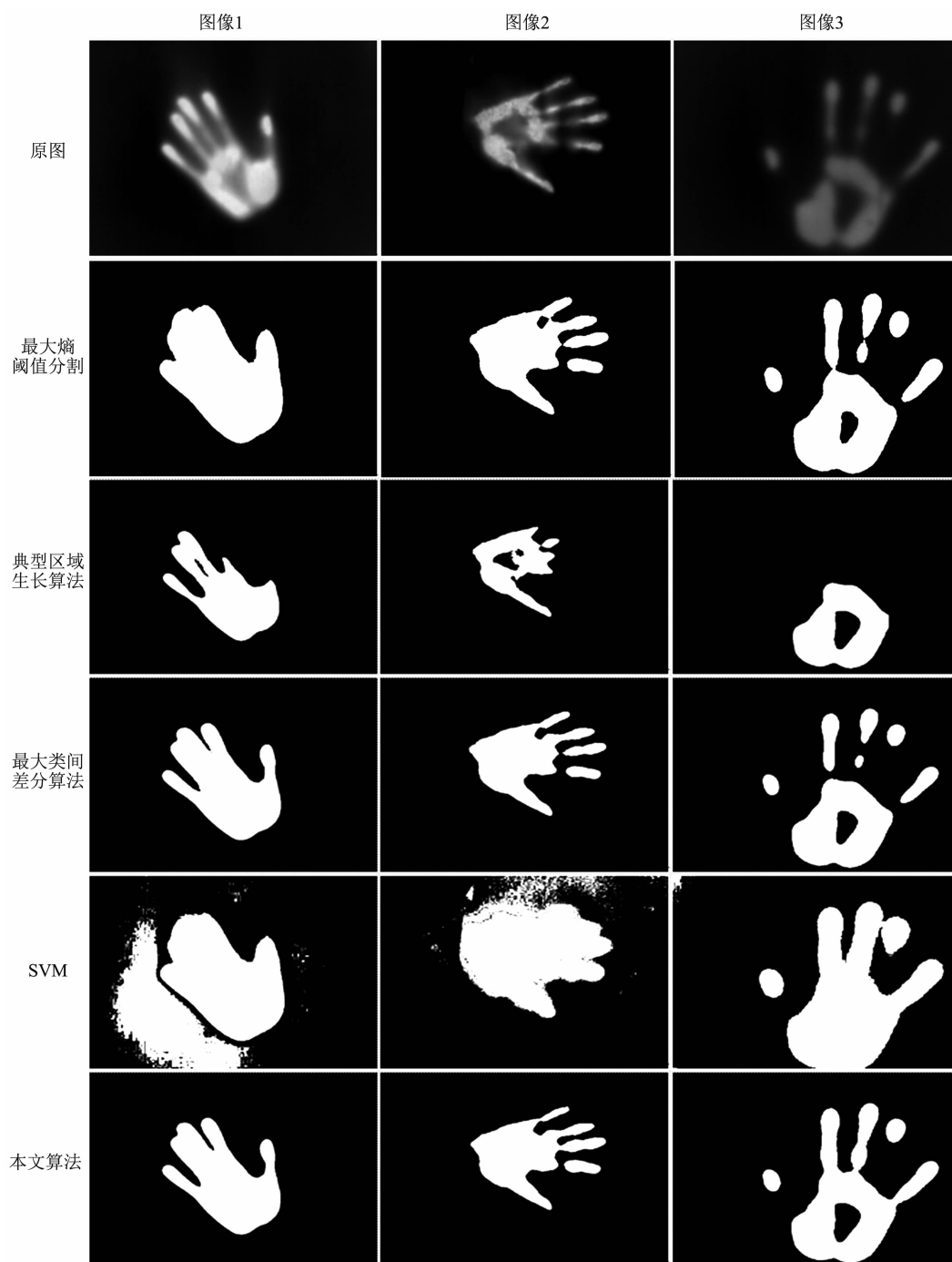




图 4 对比实验结果图

4 结论

提出了一种基于结构形态几何生长的边缘模糊红外目标提取方法。在对图像进行中值滤波预处理后, 首先采用最大熵法和阈值扩展获取双阈值, 完成粗分割; 然后通过目标区域的筛选和区域块特征处理得到目标结构形态的特征点; 最后根据特征点获取种子点, 并根据特征点和种子点的位置关系进行几何生长, 完成目标的提取。与不同经典算法的对比实验表明, 针对边缘模糊的红外手印图像, 本方法能够有效进行目标的完整提取, 尤其是与背景对比度低的指腹部分, 算法效果显著。

参考文献

- [1] Li L, Zhou F, Bai X. Infrared Pedestrian Segmentation Through Background Likelihood and Object-Biased Saliency [J]. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2018, **19**(9): 2826–2844.
- [2] Bai X, Wang Y, Liu H, et al. Symmetry Information Based Fuzzy Clustering for Infrared Pedestrian Segmentation [J]. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 2018, **26**(4): 1946–1959.
- [3] Lersel M V. Infrared Photography Aids Forensic Research [J]. *TNO Magazine*, 2010: 6–7.
- [4] Elyounsi A, Tlijani H, Bouhlel M S. Combining top-hat, Thresholding and Watershed Transformation for 3D Inverse Synthetic Aperture Radar Image Segmentation [C]. Hammamet: IEEE International Conference on Sciences of Electronics, Technologies of Information and Telecommunications, 2017.
- [5] 王东阳, 时磊, 赵军. 一种用于红外图像分割的改进型 Otsu 方法 [J]. *红外*, 2013, **34**(7): 31–33.
- [6] 蒋秋霖, 王昕. 基于电势能改进的区域生长脑肿瘤图像分割 [J]. *软件工程*, 2018, **21**(8): 1–3.
- [7] Demirhan M E, Özgül Salor. Classification of Targets in SAR Images Using SVM and k-NN Techniques [C]. Zonguldak: IEEE Signal Processing and Communication Application Conference, 2016.
- [8] Wang R, Qu H, Sui Y, et al. Research of Contour Extraction Algorithm Based on Gray Scale Difference and Polarity Change [C]. Chengdu: IEEE, Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference, 2017.
- [9] Fan J, Zhao D, Wang J. Oil spill GF-1 Remote Sensing Image Segmentation Using an Evolutionary Feedforward Neural Network [C]. Beijing: IEEE International Joint Conference on Neural Networks, 2014.
- [10] 卢艺帆, 张松海. 基于卷积神经网络的光学遥感图像目标检测 [J]. *中国科技论文*, 2017, **12**(14): 1583–1589.
- [11] Li H, Fu D, Yang T. Hand Target Extraction from Infrared Images with Descriptor Based on Pixel Temporal Characteristics [C]. Datong: IEEE International Congress on Image and Signal Processing, 2016.
- [12] 张婕, 王颖. 基于距离灰度补偿的改进最大熵红外图像分割 [J]. *半导体光电*, 2016, **37**(1): 126–130.
- [13] 王莹莹, 何苹, 贺波, 等. 起伏背景下红外目标检测算法研究 [J]. *电光与控制*, 2016, **23**(1): 25–28.
- [14] 陈洪科, 杨晓玲. 基于分形理论的改进型二维最大熵红外图像分割算法 [J]. *红外*, 2012, **33**(8): 27–31.
- [15] 刘颖彬. 红外弱小目标实时检测处理系统 [J]. *红外*, 2016, **37**(5): 22–26.