文章编号:1001-5078(2016)03-0308-05 ·红外技术及应用·

基于区域特征分割的红外弱小目标提取算法

赵慧青
(中山大学新华学院信息科学系,广东 广州 510520)

摘 要:针对现有的红外图像中目标分辨率低且边缘弱等问题,提出了一种基于区域特征分割的红外弱小目标提取算法;该算法根据灰度形态学理论,利用红外背景与目标轮廓信息来提取图像的目标信号;其中算法先根据红外图像的灰度与形状的相似度进行归属度处理,来分类出图像中的目标区与背景区;接着,根据边缘检测算法,该算法对目标区的目标的进行轮廓提取;实验结果表明,该算法能够有效的进行目标提取针对红外图像的不同性质;具有精度高,抗干扰能力强的分割优势。

关键词:红外目标;区域特征;目标提取;轮廓;相似度
中图分类号:TP391 **文献标识码**:A **DOI**:10.3969/j.issn.1001-5078.2016.03.013

Infrared dim target extraction algorithm based on region characteristic segmentation

ZHAO Hui-qing
(Department of Information Science,Xinhua College of Sun Yat-sen University,Guangzhou 510520,China)

Abstract:Existing infrared images have some problems such as low resolution and weak edge. To solve these problems,an infrared dim target extraction algorithm based on region characteristic segmentation is proposed. The target signals are extracted through infrared background and target contour according to the theory of gray morphology. Firstly,the object area and the background area in the image are separated according to the similarity of the gray and shape in the infrared images. Then,the target contour in the target area is extracted by using the edge detection algorithm. The results show that this algorithm can effectively extract the targets in the infrared image. It has the advantages of high precision and the strong ability of anti-interference.

Key words:infrared target;regional characteristics;target extraction;contour;similarity

1 引 言

红外图像的目标识别技术一直以来都是图像处理的一个研究难点;这是由于红外图像在获取过程中容易受到自身设备以及外界的干扰,使得采集到的红外图像往往分辨率较低而且含有较多的干扰信号,这无疑给红外的目标提取增加了许多难度。为此,国内外许多研究学者纷纷提出了解决方案,如传统的阈值分割算法(Otsu方法)[1-2]、基于二维直方图的分割算法[3-4]以及基于迭代分割算法[5-6]等。这些算法虽然很大程度提高了目标提取的效率与效果,但其提取出来的红外目标信号中依然存在较多问题,如目标的过大分割、背景干扰严重等问题,且这些算法对所检测的红外图像其目标的大小以及亮度满足一定的

作者简介:赵慧青(1978-),女,助教,硕士,主要研究领域为计算机网络通信,多媒体信息处理。E-mail:461539139@qq.com
收稿日期:2015-06-01;**修订日期**:2015-07-06

要求,如传统的阈值分割算法对目标的大小要求占图像整体的30%以上,否则其目标提取效果大大减弱。但在实际的运用过程中,红外目标多显得比较弱小,其目标信号往往与背景的分界模糊。

针对这一问题,提出了一种基于区域特征分割的红外弱小目标提取算法;该算法通过图像的预处理,根据红外图像区域间的相关性[7],将图像中的目标区域与背景区域进行分离;然后,根据边缘检测算法[8],对提取出来的目标区中的信号进行红外目标轮廓提取;最后,结合上述分割出来的红外背景信号,根据灰度形态学理论,对红外目标进行精确提取。经实验,该算法能够针对不同的亮度与大小的红外目标进行精确定位与提取。

2　红外图像的分类处理

通过剔除红外图像中的过大过小无关区域,在不损失目标信息的同时增强目标像素间的连通性,并减少噪声的影响。本文通过对红外图像的灰度与形状两个方面进行相似度计算[9],来对目标信号进行预处理,其方法如图1所示。

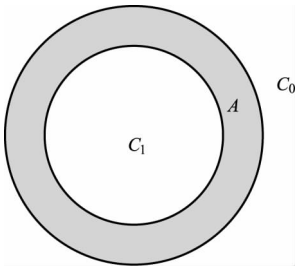

图1　红外图像结构元形状图

Fig. 1 Shape schematic of structural element in IR image

2.1　灰度相似度计算

在灰度级为 $L \in [0\ 255]$ 的图像中,其像素点数为 N,即 $m \times n$ 个。现假设 $f(i,j)$ 为像素点数,并满足二维随机向量 (i,j) 服从联合离散概率分布[10]。则可以假设 $p(i,j)$ 为 (i,j) 的发生概率;则目标与背景的熵函数满足如下函数式。

目标的熵函数式为:

$$H_1 = -\sum_{i=1}^{s}\sum_{j=1}^{t}\left[\frac{p(i,j)}{P_1}\right]\lg\left[\frac{p(i,j)}{P_1}\right] \tag{1}$$

背景的熵函数式为:

$$H_0 = -\sum_{i=s+1}^{255}\sum_{j=t+1}^{255}\left[\frac{p(i,j)}{P_0}\right]lg\left[\frac{p(i,j)}{P_0}\right] \tag{2}$$

则可以得到图像灰度的相似性:

$$\mathrm{Sim}_{\mathrm{entropy}} = 1 - \min\sum_{k=0}^{16}[H_1(k), H'_1(k)] \tag{3}$$

其中,目标的概率为 P_1;背景的概率为 P_0;$H_1(k)$、$H'_1(k)$ 分别表示是区域 R 与区域 R' 中第 k 个的目标熵。

2.2　形状相似度计算

而对于两个区域的形状相似性,根据欧氏距离公式进行计算,采用最近邻算法来匹配特征向量,其方式如下:

已知欧氏距离公式为:

$$\mathrm{dis} = \sqrt{(i-i')^2 + (j-j')^2} \tag{4}$$

令 $c_1(k)$、$c'_1(k)$ 为区域 R 与区域 R' 的广义特征值,其中 $c_1(k)$、$c'_1(k)$ 满足以下函数式:

$$\eta_{ij} \cdot c_1(k) \cdot x_{ij} - c'_1(k) \cdot x'_{ij} = 0 \tag{5}$$

$x_{ij} \neq 0$ 为区域 R 的广义特征向量,$x'_{ij} \neq 0$ 为区域 R' 的广义特征向量。

则:

$$\mathrm{Sim}_{\mathrm{shape}} = \sum_{k=1}^{16}\sqrt{[c_1(k)]^2 - [c'_1(k)]^2} \tag{6}$$

2.3　归属度计算

通过计算出当前点与种子点是否为同一类的隶属度,来判断该点位背景还是目标。

归属度:

$$\lambda = \beta \times \mathrm{Sim}_{\mathrm{entropy}} + (1-\beta) \times \mathrm{Sim}_{\mathrm{shape}} \tag{7}$$

其中,β 为可定参数,用于控制信号的判别强度。

当 $\lambda \geqslant 0.4$ 时,则可以将该点定义为目标类 C_1;

当 $\lambda < 0.4$ 时,则可以将该点定义为背景类 C_0。

3　轮廓的确定

通过上述的红外图像区域分类处理,设定水平集函数满足以下函数:

$$\begin{cases} C_1 = \{i,j \in \Omega : \lambda \geqslant 0.4\} \\ C_0 = \{i,j \in \Omega : \lambda < 0.4\} \end{cases} \tag{8}$$

在实际采集的红外图像中,红外目标往往会由于设备自身的问题以及外界的干扰,使得采集到的目标图像轮廓模糊,甚至导致与背景难以分辨;为此,为了进一步对红外图像中的目标进行提取,本文通过结合传统的边缘检测算法[11-12],对目标区域 C_1 内的红外目标进行轮廓的检查。

假设 $\theta(i,j)$ 为目标区域 C_1 中的二元边缘平滑函数,且 $\theta(i,j)$ 满足以下条件:

(1) $\theta(i,j) \in C_1$

(2) $\int\int_{C_1}\theta(i,j)didj = 1$

(3) $\lim_{i,j\to\Omega:\lambda\geqslant 0.4}\theta(i,j) = 0$

通过根据边缘检测可以获得边缘函数：

$$\begin{cases}\psi^1(i,j) = \dfrac{\partial\theta(i,j)}{\partial i}\\ \psi^2(i,j) = \dfrac{\partial\theta(i,j)}{\partial j}\end{cases}$$

则在目标区域 C_1 中的像素函数 $f'(i,j)\in C_1$ 沿水平方向和垂直方向的边缘信号为：

$$\begin{cases}W^1f'(i,j) = f*\psi^1(i,j)\\ W^2f'(i,j) = f*\psi^2(i,j)\end{cases}$$

则函数 $f(x,y)$ 的数模与幅角表示函数如下所示。

模：

$$Mf'(i,j) = \sqrt{|W^1f'(i,j)|^2+|W^2f'(i,j)|^2} \tag{9}$$

幅角：

$$Af'(i,j) = \arctan\left(\frac{W^1f'(i,j)}{W^2f'(i,j)}\right) \tag{10}$$

而对于红外图像，图像的边缘信号一般比较模糊，且本文只需查找目标的轮廓信号，无需对目标内部的弱边缘进行求取。为此，需要对红外目标的轮廓进行修正处理，以便于下文算法对目标的精确分割。

即，图像的轮廓：

$$A_{\text{Contour}} = \begin{cases}1 & ,\lambda < Mf'(i,j)\\ 0 & ,Mf'(i,j)\leqslant\lambda\end{cases} \tag{11}$$

其中，λ 为上述图像目标域提取的阈值函数；

4 目标的分割

根据灰度形态学基本运算中的开、闭滤波操作对图像 $z(i,j)$ 目标处理和目标特性 d_{tag}（亮度方差）的获取，其中形态学基本运算中的开、闭运行描述如下所示。

$$\text{open}(A,B) = A_B = A\circ B = (A\otimes B)\oplus B$$

$$\text{close}(A,B) = A^B = A\cdot B = (A\oplus B)\otimes B$$

式中，$A\otimes B$ 表示的是形态学运算中的腐蚀，$A\oplus B$ 表示的是形态学运算中的膨胀。

而形态学运算中的开运算实际上是 A 先被 B 腐蚀，然后再被 B 膨胀的结果。而闭运算是开运算的对偶运算，定义为先作膨胀然后再作腐蚀。

通过结合上述所求得的背景集 C_0 与轮廓 A_{Contour} 得以下目标函数。其中，针对两种不同的情况，本文进行了分类处理，其方法如下所示。

暗背景中亮目标的情况：

$$z_{\text{dak}}(i,j) = \min\{\text{close}[\text{open}(f(i,j),A_{\text{Contour}}),C_0](i,j),f(i,j)\} \tag{12}$$

$$d_{\text{tag}}(i,j) = f(i,j) - z_{\text{dak}}(i,j) \tag{13}$$

亮背景中暗目标的情况：

$$z_{\text{brt}}(i,j) = \max\{\text{open}[\text{close}(f(i,j),A_{\text{Contour}}),C_0](i,j),f(i,j)\} \tag{14}$$

$$d_{\text{tag}}(i,j) = f(i,j) - z_{\text{brt}}(i,j) \tag{15}$$

为此，针对这两种情况，为使算法具体自适应的目标提取效果，其最终的红外目标特征 $d_{\text{tag}}(i,j)$ 函数：

$$d_{\text{tag}}(i,j) = \max\{f(i,j) - z_{\text{dak}}(i,j),z_{\text{brt}}(i,j) - f(i,j)\} \tag{16}$$

5 仿真算法

为了验证本文所提出的算法，进行了多组实验。其中算法的开发环境采用 MATLAB 2014a，并选用传统的阈值分割算法[1]、文献[13]算法以及文献[14]算法进行比较；其中文献[13]算法根据红外图像的热异常进行目标分割，而文献[14]算法则是针对弱小目标进行目标提取的算法。为了获得更佳的实验效果，需用两组具有代表性的进行实验。最后，通过算法的目标信噪比实验、耗时实验进行对比，进一步对实验进行深入分析，其实验结果如下所示。

5.1 实验一：亮目标实验

为了验证算法在暗背景、亮目标的红外图像中的目标分割效果，本文选用如下图2(a)的红外行人图像作为实验对象；通过采用上述提供的算法，得到各算法的仿真效果图，如图2所示。

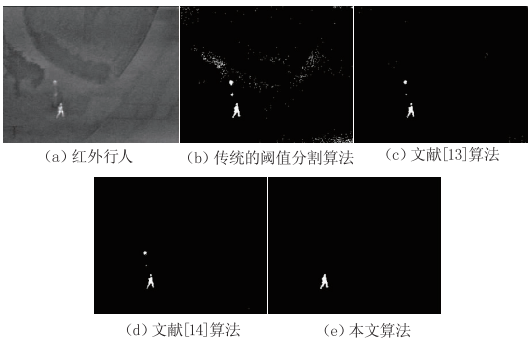

图2 亮目标情况下的各算法分割图

Fig. 2 Segmentation map under bright objective case

通过观察可以看到,本文算法抗背景干扰的能力最佳,而对于各算法所获得的红外目标图像,其中文献[13]算法与文献[14]算法的效果相差无几,均能很好地根据目标的细节进行刻画;而对于本文算法所获得的红外目标,尽管目标无较多的细节变化,但其目标轮廓以及内容都相对其他的更为饱满,能够较好地保护目标信号内容。

5.2　实验二:暗目标实验

同样,为了验证算法在亮背景、暗目标中的红外目标分割效果,本文选用如下图3(a)的红外飞机图像作为实验对象,并采用上述几种算法对其进行分割处理,最终得到各算法的仿真效果图,如图3所示。

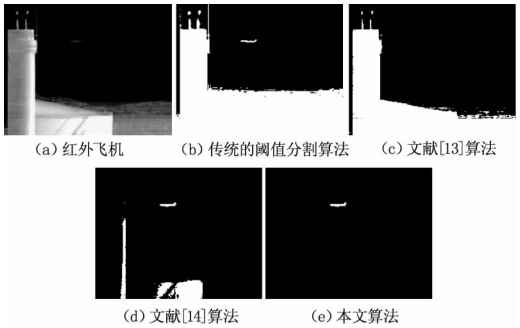

图3　暗目标情况下的各算法分割图

Fig. 3 Segmentation map under dark objective case

通过观察可以看到,对于暗目标的红外图像,本文算法依然能够保持良好的抗干扰能力,其中文献[13]算法将背景信号错认为目标信号,错将暗目标当背景去除;而文献[14]算法虽然能够有效地识别出目标信号,但却依然残留较多的背景信号。而本文算法依然保持较好的目标搜索效果,将背景信号准确去除。

5.3　实验三:信噪比与时间的对比实验

为了深入对本文算法的分割效果进行分析,通过图像的信噪比以及算法的耗时两个方面进行对比分析,并依然采用上述两种红外图像进行检验,经测试,得到如表1所示数据。

通过观察可以看到,本文算法所测得的图像信噪比高于其他算法,其中红外行人图像中,本文算法高出文献[14]算法4.31 dB,高出文献[13]算法6.97 dB;而红外飞机图像中,本文算法高出文献[14]算法6.00 dB,高出文献[13]算法14.54 dB。但从耗时方面可以看到,本文算法其耗时量却是最多的。

表1　各算法的信噪比与运行时间数据表

Tab. 1　SNR and runtime data of each method

算法	行人		飞机	
	运行时间/s	信噪比/dB	运行时间/s	信噪比/dB
传统的阈值分割算法	1.41	38.37	1.64	24.64
文献[13]算法	1.23	42.55	1.38	21.58
文献[14]算法	1.36	45.21	1.51	30.12
本文算法	1.47	49.52	1.73	36.12

6　结束语

提出了一种适用于多变环境下的红外目标提取算法,根据红外图像的区域特征先对图像进行目标与背景的分类处理,然后针对所得的目标类进行轮廓提取;最终采用形态学理论,通过背景与目标轮廓信号对红外目标进行提取。经实验,该算法能够有效地对红外目标进行定位与提取,其提取信号轮廓清晰,内容饱满;但在耗时方面依然存在很大的不足,这将作为下一个重点研究内容,深入对其进行研究。

参考文献:

[1]　Wang X S, Liu Y, Jing H. Automatic segmentation of infrared image based on chi(2) Distribution[J]. Intelligent Automation and Soft Computing, 2011, 17(5): 509 - 517.

[2]　Xiong H Q, Gao J J, Zhu C J, et al. An Interleaved Otsu Segmentation for MR Images with Intensity Inhomogeneity [J]. Ieice Transactions on Information and Systems, 2014, E97D(11): 2974 - 2978.

[3]　Liu S T, Gao D H, Yin F L. Infrared image segmentation method based on 2D histogram shape modification and optimal objective function[J]. Journal of Systems Engineering and Electronics, 2013, 24(3): 528 - 536.

[4]　Liu S T, Gao D H, Yin F L. Infrared image segmentation method based on 2D histogram shape modification and optimal objective function[J]. Journal of Systems Engineering and Electronics, 2013, 24(3): 528 - 536.

[5]　Liu Z Y, Zhou F G, Chen X W, et al. Iterative infrared ship target segmentation based on multiple features[J]. Pattern Recognition, 2014, 47(9): 2839 - 2852.

[6]　Wu J L, Li T J. Image segmentation by using the localized subspace iteration algorithm[J]. Science in China Series a-mathematics, 2008, 51(8): 1495 - 1509.

[7] Kim Sungho, Lee Joohyoung. Small infrared target detection by region-adaptive clutter rejection for sea-based infrared search and track[J]. Sensors, 2014, 14(7): 13210 – 13242.

[8] Kmiec M, Glowacz A. Object detection in security applications using dominant edge directions[J]. Pattern Recognition Letters, 2015, 52: 72 – 79.

[9] Gong J L, Fan G L, Yu L J, et al. Joint target tracking, recognition and segmentation for infrared imagery using a shape manifold-based level set[J]. Sensors, 2014, 14(6): 10124 – 10145.

[10] WANG Yingying, HE Ping, Li Yongbin, et al. Fast IR target-detecting method using Otsu algorithm based on bound histogram[J]. Laser & Infrared, 2014, 44(5): 577 – 581. (in Chinese)
王莹莹,何苹,李永宾,等. 基于属性直方图的快速 Otsu 红外目标检测算法[J]. 激光与红外, 2014, 44(5): 577 – 581.

[11] Liu J Y, Tang Q J, Wang Y, et al. Defects' geometric feature recognition based on infrared image edge detection[J]. Infrared Physics & Technology, 2014, 67: 387 – 390.

[12] WANG Xiaojuan, WEI Xuefeng. Infrared imagery edge examination based on threshold and three-direction improves the Hough transformation[J]. Laser & Infrared, 2011, 41(3): 319 – 323. (in Chinese)
王晓涓,魏雪峰. 基于阈值三方向改进 Hough 变换的红外图像边缘检测[J]. 激光与红外, 2011, 41(3): 319 – 323.

[13] Jadin M S, Taib S. Infrared image enhancement and segmentation for extracting the thermal anomalies in electrical equipment[J]. Elektronika Ir Elektrotechnika, 2012, 4: 107 – 112.

[14] Wang X P, Zhang T X. Clutter-adaptive infrared small target detection in infrared maritime scenarios[J]. Optical Engineering, 2011, 50(6): 067001.