

〈图像处理与仿真〉

基于数学形态学和自动区域生长的红外目标提取

彭智浩，杨风暴，王志社，陈磊

(中北大学 信息与通信工程学院，山西 太原 030051)

摘要：针对具有复杂背景干扰，信噪比低的红外图像目标提取问题，提出了一种结合数学形态学和自动区域生长的红外目标提取方法。首先对图像进行中值滤波和灰度变换预处理，然后利用数学形态学高帽变换去掉大面积背景干扰区域，接着采用基于局部小波系数能量特征的方法找到感兴趣区域，再通过基于窗口均值的方法自动获取种子点进行区域生长分割。实验结果表明：本文方法能有效的消除复杂背景干扰，并很好的提取出目标。

关键词：目标提取；数学形态学；感兴趣区域；自动区域生长

中图分类号：TP391.41 文献标识码：A 文章编号：1001-8891(2014)01-0047-06

Infrared Target Extraction Based on Mathematical Morphology and Automatic Region Growing

PENG Zhi-hao, YANG Feng-bao, WANG Zhi-she, CHEN-Lei

(Information and Communication Engineering College, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: Aiming at the infrared image target extraction with complicated background interference, a method combined with mathematical morphology and region growing is proposed. Firstly, preprocess the image by median filtering and adjusting grey level. Then remove the large background interference area using mathematical morphology transform. Next the region of interest is found by a method based on feature of local energy of wavelet coefficient. Following the seed point is obtained automatically with the method of local average and which is used in region growing segmentation. Experiment results show that this method can effectively remove the background interference and extract the target well.

Key words: target extraction, mathematical morphology, region of interest, automatic region growing

0 引言

红外成像系统由于其具有良好的环境适应性、隐蔽性和作用距离远、反隐身能力强等特点，已被广泛的应用于自动目标识别与跟踪，精确制导等领域，在军事及民事应用中都有着极其重要的作用^[1-3]。但是在某些场景下获取的红外图像信噪比较低，目标和部分背景具有相似的灰度等级，一般方法很难将目标从图像中单独、完整的提取出来。因此如何简单有效地从复杂背景中提取红外目标一直是该领域的难点、热点问题。

目前有多种红外目标提取算法，如基于阈值^[4]、形态学^[5-6]、区域生长^[7-9]、聚类^[10]和随机场模型^[9]等

收稿日期：2013-09-26；修订日期：2013-11-13。

作者简介：彭智浩（1990-），男，湖南常德人，硕士研究生，主要从事红外信息处理的研究。

基金项目：国家自然科学基金项目，编号：61171057；山西省回国留学人员科研资助项目，编号：2012-072；教育部高等学校博士学科点专项科研资助项目（博导类）。

方法。但是上述方法都只针对某一特定场景的图像有一定效果，当背景干扰发生变化时，分割效果也会随之改变。文献[4]结合 otsu 算法和迭代算法提出了一种自适应的阈值分割方法，可以用于复杂背景下的图像分割，但是由于是基于直方图统计，在场景剧烈变化时可能会出现阈值计算错误，影响分割效果。文献[6]运用数学形态学中的高帽变换和形态梯度变换实现了对红外图像复杂背景下的目标提取，但是存在和目标相似的背景干扰时，会出现误提取。文献[8-9]都采用结合边缘和区域生长的方法，该方法能对于连通的目标区域有很好的分割效果，但是并不能直接去除背

景干扰，反而会将某些背景区域也完整地分割出来，要通过后续的分类识别等处理才能将两者分离。文献[10]提出了一种 k 均值聚类和高斯混合模型相结合的阈值分割方法，对于复杂背景下的红外图像目标提取有一定的效果，由于其最终是阈值分割，当背景和目标具有相同的灰度值时，还是会存在误分割问题。

本文提出一种基于数学形态学和区域生长相结合的方法，利用形态学变换去除大面积亮背景干扰，采用自动区域生长完整的分割出目标，实现了两种方法的优势互补，有效地从复杂背景中提取出目标。

1 基本原理

1.1 数学形态学

在图像处理中，数学形态学是一种以形态为基础的图像分析工具。数学形态学以集合论作为理论基础，其检测目标的基本思想为采用具有一定形态结构的元素来度量和提取图像中对应的形状，从而达到识别目标的目的。数学形态学的应用可以简化图像数据，保持它们基本的形状特征，并除去不相干的结构。数学形态学有4种基本运算有：膨胀、腐蚀、开启和闭合。它们在二值图像中和灰度图像中各有特点。通过对基本运算的推导和组合可以形成较为复杂的其它数学形态学算子。在二值图像中腐蚀和膨胀分别定义为：

$$E = A \Theta B = \{x | (B)_x \subseteq A\} \quad (1)$$

$$D = A \oplus B = \{x | (\hat{B})_x \cap A \neq \emptyset\} \quad (2)$$

式中： B 表示结构元素，为要处理的图像。先腐蚀后膨胀的过程称为开运算，记作 $A \circ B$ ，先膨胀后腐蚀的过程称为闭运算，记作 $A \cdot B$ ，定义分别为：

$$A \circ B = (A \Theta B) \oplus B \quad (3)$$

$$A \cdot B = (A \oplus B) \Theta B \quad (4)$$

二值图像数学形态学可方便地推广到灰度图像空间^[6]。只是灰度级形态学算子中用最小值和最大值代替二值形态学中的逻辑与和逻辑或操作。灰度图像的腐蚀和膨胀运算分别定义为：

$$(f \Theta b)(s, t) = \min\{f(s+x, t+y) - b(x, y) | (s+x, t+y) \in D_f; (x, y) \in D_b\} \quad (5)$$

$$(f \oplus b)(s, t) = \max\{f(s-x, t-y) + b(x, y) | (s-x, t-y) \in D_f; (x, y) \in D_b\} \quad (6)$$

式中： $f(x, y)$ 是输入图像； $b(x, y)$ 是结构元素。灰度图像数学形态学中开启和闭合运算的定义与在二值数学形态学中的定义一致。用 b 对 f 进行开启和闭合

运算的定义为：

$$f \circ b = (f \Theta b) \oplus b \quad (7)$$

$$f \cdot b = (f \oplus b) \Theta b \quad (8)$$

1.2 区域生长分割

区域生长的基本思想是将图像中具有相同或相似性质的像素或区域合并成同一区域。首先需要确定的是生长起始点，也就是种子点，然后搜索种子点像素周围邻域，找出与种子点具有相同或相似性质的像素（根据事先确定的生长或相似准则来确定）合并到种子像素所在的区域中。而新的像素继续作为种子点向四周生长，直到生长达到边界或再找不到满足条件的像素，一个区域生长就完成了。

在实际应用中区域生长要解决3个问题：

- 1) 种子点的选取问题，是否正确的选择种子点将直接决定分割结果的好坏；
- 2) 如何确定合并为同一区域的准则，即阈值的选取，这也影响分割结果；
- 3) 如何确定生长停止的条件或规则。

2 算法描述

本文针对具有复杂背景干扰，信噪比较低的红外图像目标提取问题，提出了一种由粗到细分割的方法，首先采用预处理来去除噪声并增强图像对比度；再利用数学形态学变换弱化背景干扰，然后提取感兴趣区域找到目标大致范围，接着在该区域内寻找种子点进行自动区域生长分割。算法流程如图1所示。本文算法具体实现结果如图2所示。

2.1 预处理

任何图像在采集和传输过程中都会受到噪声的干扰，对图像分割之前需要对其进行去噪等预处理。本文采用 3×3 窗口大小的中值滤波器对图像进行去噪，能有效地去除脉冲干扰及椒盐噪声。然后进行像素对比度调整，增强图像灰度对比度。预处理结果如图2(b)所示。

2.2 高帽变换

本文上节提到过由数学形态学4种基本运算的推导和组合可以形成较为复杂的其它数学形态学算子。高帽变换就是其中之一，定义变换从原始图像中减去开启后图像为高帽变换。公式表示如下：

$$h = A - (A \circ B) \quad (9)$$

式中： A 为滤波增强后的图像； B 为结构算子，文中采用 9×9 的圆盘结构算子。通过高帽变换可以去掉大面积背景区域，增强图像对比度，弱化背景干

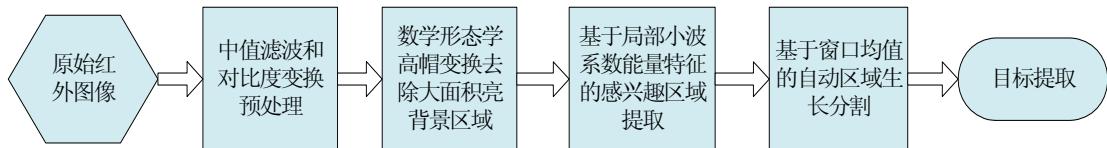


图 1 算法流程图

Fig.1 Algorithm flow chart

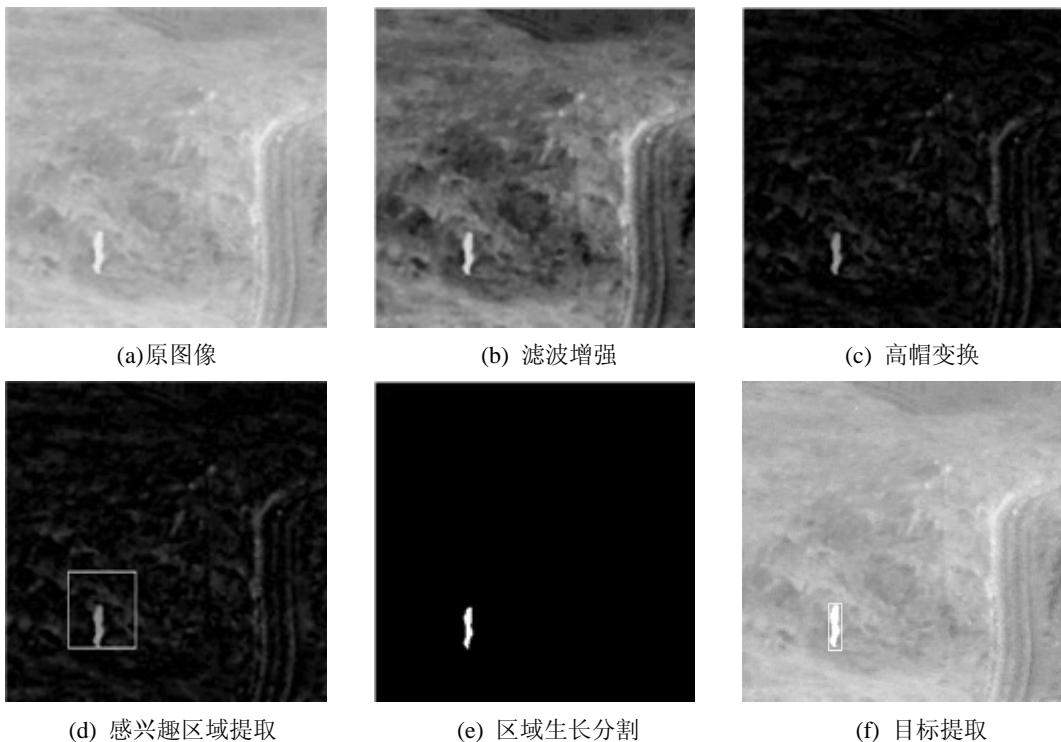


图 2 本文算法实现目标提取的具体过程

Fig.2 The concrete process of the object extraction with proposed algorithm

扰,这样就更有利于较小的真实目标的提取。由于弱化背景干扰后,我们通过后续提出的方法就能有效地找出感兴趣区域,达到粗分割的目的。变换后的结果如图 2(c)所示。

2.3 感兴趣区域提取

我们通过基于小波系数能量特征的方法来提取感兴趣区域。图像经过小波变换后,分解为不同分辨率上的子图像。每一级小波变换,图像都被分解成 4 个子带图像,如图 3 所示。4 个子图像分别为原图像的低频子图像、水平方向高频子图像、垂直方向高频子图像和对角线方向高频子图像。

首先,我们把高帽变换后的图像划分为多个不同的子块,如图 4 所示。

然后分别对各个子块进行一级小波分解,分别计算每一个子块的低频系数能量 $E_L(B_i)$ 和高频系数能量 $E_H(B_i)$ 为:

$$E_L(B_i) = \sum_{(x,y) \in B_i} h_L^2(x,y) \quad (10)$$

$$E_H(B_i) = \sum_{(x,y) \in B_i} h_H^2(x,y) \quad (11)$$

式中: B_i 表示第 i 个子块; $h_L(x,y)$ 、 $h_H(x,y)$ 分别表示图像的低频和高频系数值。本文把图像分为 5×5 个子块,低频系数能量 $E_L(B_i)$ 和高频系数能量 $E_H(B_i)$ 分布如表 1 和表 2 所示。

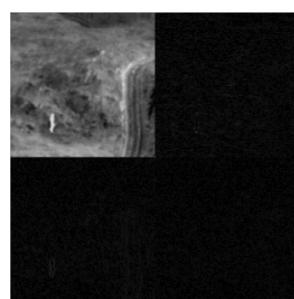


图 3 离散小波分解结构

Fig.3 DWT structure

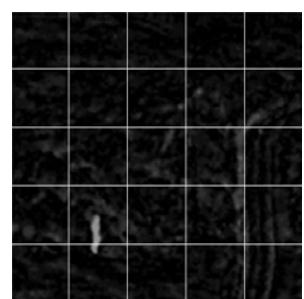


图 4 图像分块

Fig.4 Image block

由表 1 和表 2 可以看出红外图像的能量更集中于

低频部分，其频带的能量分布起伏较大，潜在目标区域能量远大于背景区域。高频带的能量则相对较小，且不同区域间能量差别不大。因此我们只提取低频小波系数能量作为区分背景与目标区域的特征。

表1 低频系数能量分布($\times 10^5$)

Table 1 Distribution of low frequency coefficient energy

7.38	7.16	6.21	2.93	3.52
7.62	4.85	7.27	12.61	14.69
12.24	10.86	17.28	30.61	9.02
15.08	56.13	11.50	22.81	16.62
10.15	19.78	7.85	11.64	16.28

表2 高频系数能量分布($\times 10^4$)

Table 2 Distribution of high frequency coefficient energy

2.77	2.92	2.80	2.67	3.20
3.07	2.98	3.08	3.40	3.98
3.66	3.62	4.01	4.19	4.46
3.57	5.12	3.92	4.45	3.98
3.51	4.95	3.49	3.85	4.63

接着我们计算所有子块图像的低频系数能量均值 \bar{E}_L ：

$$\bar{E}_L = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_L(B_i) \quad (11)$$

式中： n 表示子块个数。设定阈值 $T_e = k \times \bar{E}_L$ ，若 $E_L(B_i) \geq T_e$ ，则把子块 B_i 选作是感兴趣区域。

本文取 $k=3$ 。通过感兴趣区域的提取可以找到目标的大致范围，在进行区域生长寻找种子点时不用遍历整幅图像，只需在该区域寻找，从而提高了算法的准确性和运行速度。感兴趣区域的提取结果如图 2(d) 所示。

2.4 自动区域生长分割

区域生长分割是一种传统的分割方法，对于特征明显且连通性较好的目标区域来说有很好的分割效果，但是种子点的选取需要人工参与，不符合实际情况需要，因此限制该方法的应用。本文针对红外图像中目标的亮度特征突出且多为连通区域的特点，提出一种基于局部均值特征的自动区域生长分割算法。用一个滑动窗口搜索感兴趣区域中各点，通过计算窗口内像素灰度均值的大小，自动确定种子点。我们采用 5×5 大小的滑动窗口 G ，计算感兴趣区域中各点对应窗口的像素均值：

$$M(f(i, j)) = \frac{\sum_{(x, y) \in G} f(x, y)}{N \times N} \quad f(i, j) \in I \quad (12)$$

式中： $f(i, j)$ 为感兴趣区域的像素点； $f(x, y)$ 为窗口内像素点； N 为滑动窗口大小； I 为图像感兴趣区域。

红外图像中目标区域的亮度一般相对较高，像素点的窗口灰度均值表示该点周围目标点的聚集程度，均值越大周围目标点越多，越处于目标区域中心。设定阈值 T_m ，选取窗口均值大于阈值的点作为种子点。

$$T_m = c \cdot \frac{1}{K} \sum_{f(i, j) \in I} M(f(i, j)) \quad (13)$$

式中： c 为常系数，本文取 $c=2$ ； K 为感兴趣区域 I 内像素点总数。

从种子点开始进行区域生长，确定生长条件，由于在红外图像中灰度值是区别目标和背景的主要特征之一，我们就用相邻两像素点之间灰度值差的绝对值 $D = |f_i - f_j|$ 作为相似性判据，设定阈值 T ，搜索种子点周围邻域的像素点，若 $D \leq T$ 则对该点进行生长，并把该点当作种子点继续进行生长，直到生长达到边界或再也没有满足条件的点后停止生长。由于之前的预处理和高帽变换都已经增加了图像的对比度，目标和周围邻近背景的灰度对比度还是较大的，因此阈值 T 可以取得稍大一点，不会导致过分割的问题出现，本文取 $T=35$ 。通过该方法我们能实现自动区域生长分割，并取得很好的分割结果。具体的算法过程：

1) 用 5×5 大小滑动窗口遍历感兴趣区域，计算窗口灰度均值，选取结果大于阈值 T_m 的点作为种子点；

2) 从种子点开始，搜索周围八邻域内未被标记的像素点，判断是否为边界点，是否满足生长条件 $D \leq T$ ，若满足生长条件且不是边界点则标记；

3) 更新种子点，把标记的点都当作是新的种子点，若种子点有增加则回到步骤 2)，若无则继续下一步；

4) 把被标记的点从图像中分离出来，完成分割。自动区域生长分割的结果如图 2(e) 所示。

2.5 目标提取

在原图中找到分割出的目标区域，对应像素值增加，画出外接矩形框，对其进行加亮，加框操作，实现红外图像中目标的提取。最终结果如图 2(f) 所示。

3 实验结果与分析

为了验证本文算法的效果，我们选用了 3 幅红外图像进行实验，并与其它 3 种不同的分割方法进行比较。本次实验都是在 PC 机上采用 Matlab7.0 软件实现。采用 otsu 法^[4]、 k 均值聚类法^[14]、最大熵法^[15]和本文方法的分割效果分别如图 5~图 7 的(b)、(c)、(d)、(e) 所示。由实验效果来看，本文方法能在复杂野外背景下有效地实现对人物和军事目标的提取以及在复杂

海岸背景下有效地实现对水面船舶目标的提取。且相对于其它算法效果明显, 能单独完整地提取出目标。

4 结束语

针对信噪比低, 背景复杂的红外图像, 本文提出了一种由粗到细的目标提取方法。先用数学形态学的高帽变换弱化大面积背景干扰, 接着采用基于局部小

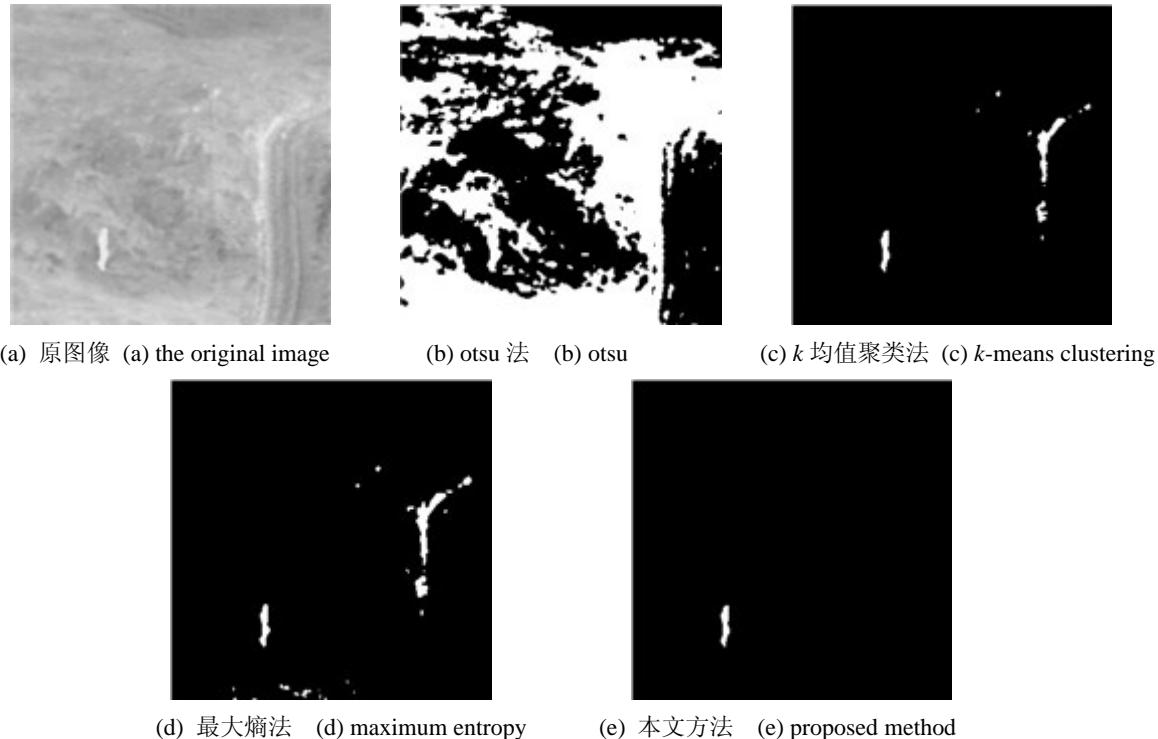


图 5 应用几种不同算法对野外背景下人物目标提取的效果比较

Fig.5 Extraction of human target from field background using different methods

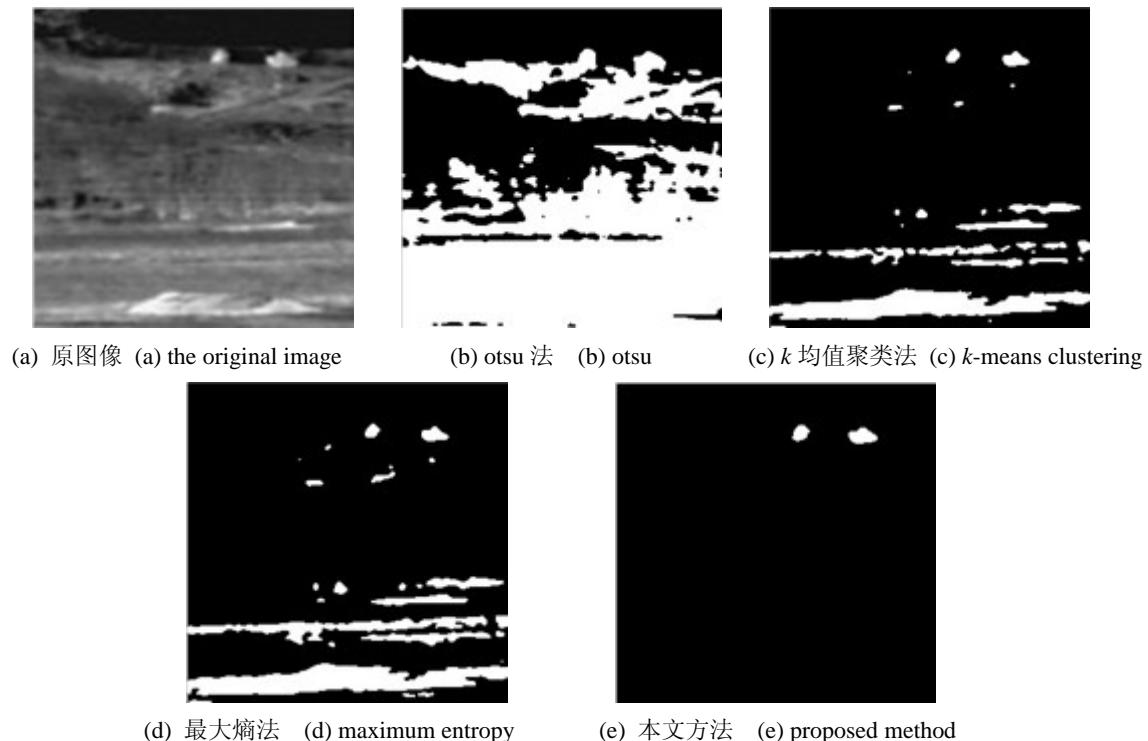


图 6 应用几种不同算法对野外背景下军事目标提取的效果比较

Fig.6 Extraction of military target from field background using different methods

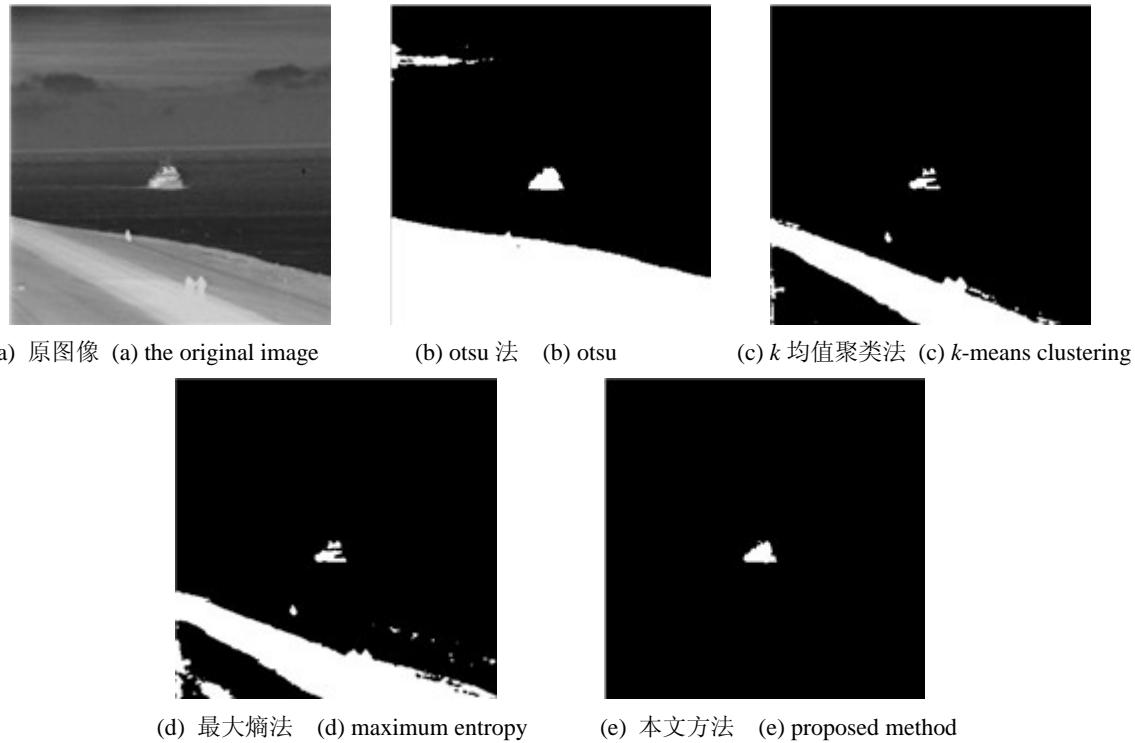


图7 应用几种不同算法对海岸背景下水面目标提取的效果比较

Fig.7 Extraction of water surface target from coast background using different methods

波系数能量特征的方法提取感兴趣区域，最后采用基于窗口均值的方法自动获取种子点进行区域生长来分割出目标。实验结果表明该方法对于复杂背景下红外图像目标提取具有很好的效果，具有较好的鲁棒性。有利于后续的目标识别等处理。

参考文献：

- [1] 姚克明, 宋利权, 张金锁. 基于复杂背景的红外机场目标自动识别算法研究[J]. 红外与激光工程, 2007, **36**(3): 398-402.
- [2] 杨风暴, 薛素珍, 冷敏. 双色中波红外图像的分割支持度变换融合[J]. 红外与毫米波学报, 2010, **29**(5): 362-366.
- [3] 纪利娥, 杨风暴, 王志社, 等. 基于边缘图像和SURF特征的可见光与红外图像的匹配算法[J]. 红外技术, 2012, **34**(11): 629-635.
- [4] 王歆碉, 高旭辉. 一种自适应阈值分割方法[J]. 红外与激光工程, 2006, **35**: 167-171.
- [5] Bai Xiangzhi, Zhou Fugen, Xue Bindang. Infrared dim small target enhancement using toggle contrast operator[J]. *Infrared Physics & Technology*, 2012, **55**: 177-182.
- [6] Wang Yicheng, Yin Songfeng, Wu Xiaodi. The research of infrared image segmentation based on mathematical morphology[C]//Proc.of SPIE, 2011, **8193**: 81933M 1-8.
- [7] Qian Shi, Kaihua Wu. Image segmentation algorithm for wheel set measuring based on region growing[C]//Proc. of SPIE, 2011, **8200**: 82000Y 1-7.
- [8] Ban Yifang, Alexander Jacob. Object-based fusion of multitemporal multiangle envisat asar and hj-1b multispectral data for urban land-cover mapping[J]. *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*, 2013, **51**(4): 1998-2006.
- [9] 王蒙, 吕建平. 基于边缘检测和自动种子区域生长的图像分割算法[J]. 西安邮电学院学报, 2011, **16**(6): 16-19.
- [10] Lee Dong-Su, Yeom Seokwon. Infrared image segmentation with Gaussian mixture modeling[C]//Proc.of SPIE, 2012, **8355**: 83551J 1-5.
- [11] Li Ying, Mao Xingjin, Feng David, et al. Fast and accuracy extraction of infrared target based on Markov random field[J]. *Signal Processing*, 2011, **91**: 1216-1223.
- [12] 陈晓钟, 孙华燕. 基于能量特征的图像目标检测[J]. 红外与激光工程, 2001, **30**(1): 30-36.
- [13] Zhao Jufeng, Feng Huajun, Xu Zhihai, et al. Real-time automatic small target detection using saliency extraction and morphological theory[J]. *Optics & Laser Technology*, 2013, **47**: 268-277.
- [14] 云廷进, 郭永彩, 高潮. K-均值聚类中心分析法实现红外人体目标分割[J]. 光电工程, 2008, **35**(3): 140-144.
- [15] 杜峰, 施文康, 邓勇, 等. 一种快速红外图像分割方法[J]. 红外与毫米波学报, 2005, **24**(3): 370-373.