

文章编号: 0258-7025(2010)06-1599-03

激光主动成像图像边缘检测方法

李晓峰¹ 徐军¹ 张胜修¹ 罗积军¹ 朱桂芳² 徐利国²

(¹第二炮兵工程学院, 陕西 西安 710025; ²第二炮兵青州士官学校, 山东 青州 262500)

摘要 针对实际应用中激光主动成像图像的特点, 提出了一种基于小波的非线性增强和多尺度形态学相结合的方法对激光主动成像图像进行边缘检测。从小波多分辨分析出发, 区分噪声和图像的边缘细节, 构造基于小波的非线性增强算法对图像的边缘细节适度增强。引入多尺度形态学对增强后的图像进行边缘提取, 利用大尺度形态算子抑制噪声, 小尺度形态算子提取目标边缘细节信息, 获得了较清晰的图像边缘。实验结果表明, 与传统的边缘检测方法相比, 该方法能够检测到完整清晰的激光主动成像图像边缘, 且抗噪性能良好。

关键词 成像系统; 激光主动成像; 边缘检测; 多分辨分析; 多尺度形态学

中图分类号 TN 958.98 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL20103706.1599

Edge Detection Algorithm of Laser Active Imaging

Li Xiaofeng¹ Xu Jun¹ Zhang Shengxiu¹ Luo Jijun¹ Zhu Guifang² Xu Ligu²

(¹The Second Artillery Engineering College, Xi'an, Shaanxi 710025, China)
(²The Second Artillery Sergeant School, Qingzhou, Shandong 262500, China)

Abstract Laser active imaging system can obtain intensity image, range image and velocity image, and it provides more useful information than other imaging systems. According to the features of laser active imaging, a new edge detection algorithm of laser active image based on wavelet transform and multi-scale morphology is presented. The wavelet multi-resolution analysis is used to differentiate the noise and the edge detail of the image, and then a non-linear algorithm is constructed to strengthen the wake parts of the image. The concept of the multi-scale morphology is introduced to obtain the edge of the processed image, bigger morphology operator eliminating noise and smaller morphology operator is used to pick up image detail, and the better edge of the processed image is obtained. The experimental results indicate that compared with classical edge detection operator, this method has better noise immunity and performance on edge detection of laser active imaging with large noise and blurry edge.

Key words image system; laser active imaging; edge detection; multi-resolution analysis; multi-scale morphology

1 引言

激光主动成像利用激光器作为照明光源, 对目标进行照射, 通过接收系统获取目标的强度、距离和速度信息, 进而获得区别于背景的目标强度图像、距离图像和速度图像。与其他成像探测模式相比, 激光主动成像具有更强的抗干扰能力, 可获得高对比度的目标信息, 因而突破了传统的成像概念, 已成为研究和发展的重点^[1,2]。由于环境背景光、噪声及远作用距离的影响, 使实际获得的主动成像图像轮廓模糊、像质差、信噪比较低, 严重影响了图像中目标的正确识别率^[3~7]。而传统的中值滤波、低通滤波等, 均不能很好地去除背景光及杂波的干扰。近

年来, 小波变换得到了迅速的发展, 且由于其具有良好的时频局部化特性和多分辨分析能力, 在图像处理等领域得到了广泛的应用。另外, 数学形态学已发展成为图像处理的一个重要研究领域, 其中多尺度形态学边缘检测方法, 能在很大程度上抑制噪声和探测真正的边缘。

本文将小波变换和数学形态学相结合的处理方法应用于激光主动成像图像处理, 同时实现图像的去噪和增强。

2 基于小波的激光主动成像图像增强

传统的图像增强算法在改善图像的对比度和增

收稿日期: 2009-07-20; 收到修改稿日期: 2009-09-30

作者简介: 李晓峰(1982—), 男, 博士研究生, 主要从事激光主动成像制导方面的研究。E-mail: xiaofeng_li2006@126.com

导师简介: 徐军(1963—), 男, 教授, 主要从事光电成像、光电对抗和强激光武器方面的研究。E-mail: xujun63@sohu.com

强图像细节的同时放大了噪声,而小波处理方法在增强图像细节的同时抑制了图像的噪声。该方法利用小波变换将一幅图像分解为大小、位置和方向均不相同的分量,在做逆变换前,可根据需要对不同位置、不同方向上的某些分量改变其系数的大小,从而使某些感兴趣的分量放大而使某些不需要的分量减小。就是突出图像的边缘细节,尽可能地消除负面因素,从而达到增强图像的目的。

根据激光主动成像图像的特点,构造基于小波的非线性增强算法如下^[8]:

- 1) 对图像进行小波变换,得到低频和高频部分;
- 2) 计算小波变换的多尺度;
- 3) 边缘细节检测与增强;
- 4) 去噪并增强:通过设计非线性增益函数对图像进行去噪和增强,幅值小于某一函数值的为噪声,对其系数给予抑制,而幅值大于某一函数值的系数给予一定的增益,对相应的边缘细节进行增强;
- 5) 对增强后的小波系数进行小波逆变换,得到增强后的图像。

3 多尺度数学形态学边缘检测

形态学运算中的腐蚀、膨胀、开、闭运算是基于集合的运算。在这些运算中结构元素具有非常关键的作用,它调整图像特征变换的几何结构。下面借助形态运算引入图像边缘检测算子^[9]:

设 $f(x, y)$ 是一个定义在 R^2 或 Z^2 上的图像灰度函数, $b(x, y)$ 是一个定义在 R^2 或 Z^2 上的给定结构元素, $f(x, y)$ 和 $b(x, y)$ 的定义域分别为 D_f 和 D_b , $E(x, y)$ 表示图像的边缘函数,则按照形态膨胀构造的图像边缘检测算子为

$$E_d(x, y) = f(x, y) \oplus b(x, y) - f(x, y), \quad (1)$$

按照形态腐蚀构造的边缘检测算子为

$$E_c(x, y) = f(x, y) - f(x, y) \ominus b(x, y), \quad (2)$$

膨胀腐蚀型边缘检测算子(又称形态学梯度)为

$$G(x, y) = f(x, y) \oplus b(x, y) - f(x, y) \ominus b(x, y). \quad (3)$$

多尺度形态学边缘检测就是利用大小不同的结构元素去提取图像的边缘特征,大尺寸的结构元素去噪声能力强,但检测的边缘较粗糙,小尺寸的结构元素去噪声能力弱,但检测的边缘细节较好。为了有效克服噪声的影响,得到准确的边缘检测信息,必须合理调整结构元素尺度的大小。

经过分析与比较,采用多尺度结构元素,定义为

$$b_n = b \oplus b \oplus b \oplus b \cdots \oplus b, \quad (4)$$

式中 n 为尺度参数,是一正整数; b 为有限结构元素,取 b 为十字形 3×3 结构元。(4)式的含义即大尺度的结构元素由小尺度的结构元素多次膨胀得到。可得多尺度形态学边缘检测算子为

$$E_M(x, y) = \sum_{i=1}^n a_i E_i(x, y), \quad (5)$$

式中 $a_i (i=1, 2, \dots, n)$ 为权系数^[10], $E_i(x, y)$ 为合成的新边缘图像。

根据上述分析,最后得到基于多尺度形态学算子的边缘检测算法步骤如下:

- 1) 用各个小尺度的结构元素分别去检测原始图像的边缘信息,结构元素大小通常为 3×3 ;
- 2) 把以上不同结构元素检测的图像边缘信息进行加权平均,得到在这个尺度下的图像边缘;
- 3) 对小尺度的结构元素分别进行膨胀,用膨胀后的各个结构元素再去检测边缘,重复 2) 得到大尺度下的图像边缘信息,膨胀次数可根据图像而定;
- 4) 把各个尺度下的图像边缘信息再进行加权平均,得到多尺度合成的图像。

4 实验结果及分析

将小波图像增强和多尺度形态学结合起来,设计激光主动成像图像边缘检测算法如下:

- 1) 对图像进行小波变换;
- 2) 计算小波变换的多尺度;
- 3) 利用设计的非线性增强算法对图像进行去噪增强;
- 4) 对增强后的小波系数进行图像重建;
- 5) 利用多尺度形态学对增强后的激光主动成像图像进行边缘检测。

通过上述方法对获得的强度像进行边缘检测,实验结果如图 1 和图 2 所示。

图 1(a) 为对 1 km 外目标所成的强度像原始图,图像分辨率为 $96 \text{ pixel} \times 96 \text{ pixel}$,信噪比(SNR)为 28,图 1(b)、(c) 分别为以 Canny 算子、形态学进行边缘检测后的结果。图 1(d) 为本文方法的边缘检测结果。由实验结果可见,在低噪声的情况下,三种方法均能较好地检测出图像的完整边缘,但形态学和本文方法检测的边缘更加细致,对边缘更为敏感。

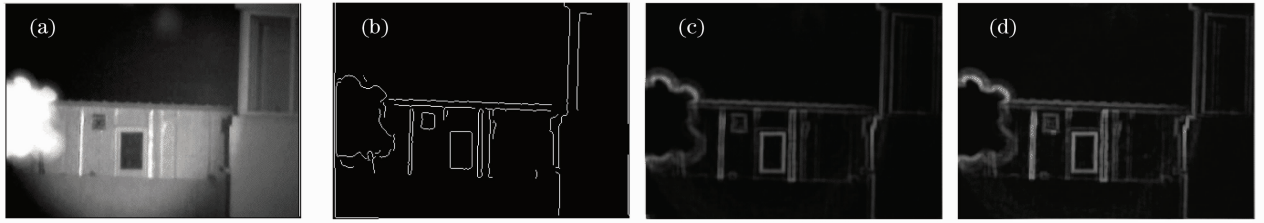


图 1 信噪比为 28 时的对比图。(a) 原始图像, (b) Canny 算子, (c) 形态学, (d) 本文方法

Fig. 1 Contrastive images for SNR is 28. (a) original image, (b) Canny operator, (c) morphology operator, (d) our algorithm

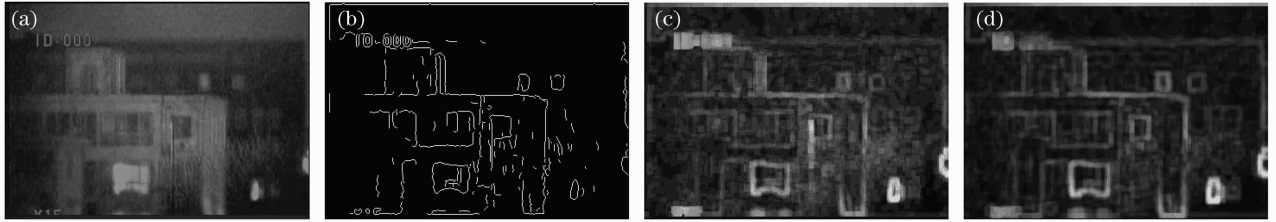


图 2 信噪比为 17 时的对比图。(a) 原始图像, (b) Canny 算子, (c) 形态学, (d) 本文方法

Fig. 2 Contrastive images for SNR is 17. (a) original image, (b) Canny operator, (c) morphology operator, (d) our algorithm

图 2(a)为对 500 m 外建筑物所成的强度像原始图,图像分辨率为 71 pixel \times 71 pixel,信噪比为 17,与图 1(a)相比,噪声强度明显加大,背景更为复杂。图 2(b)~(d)分别为其对应的 Canny 算子、形态学算法以及本文方法的边缘检测结果。其中图 2(b)为了使结果明显,阈值取得较大,检测得到的边缘信息较少。实验结果表明,和低噪声的情况相比,在噪声较大的情况下 Canny 算子虽能检测出大概轮廓,但质量较差,有很多细节信息损失,且存在残断边缘,不能明显地区分出前后两栋建筑物的轮廓;形态学虽然能检测出较完整的边缘,但图像的连贯性和清晰度已经明显不如本文提出的方法;而本文方法虽然也因为噪声强度的变大导致检测质量有所下降,比如细节区分不够明显,但检测结果基本保留了重要边缘信息。因此在噪声较大的情况下,本文方法仍能检测到完整清晰的激光主动成像图像边缘。

5 结 论

提出了一种基于小波的非线性增强和多尺度形态学相结合的方法对激光主动成像图像进行边缘检测。实验结果表明,与传统的边缘检测算法相比,提出的算法不仅能有效地抑制噪声,且检测的边缘更完整,连续性更好,因而更有利于激光主动成像图像的分析与处理。

参 考 文 献

1 M. Vaidyanathan, S. Blask, T. Higgins *et al.*. Jigsaw phase III: A miniaturized airborne 3-D imaging laser radar with photon-counting sensitivity for foliage penetration [C]. *SPIE*, 2007,

6550: 1~12
 2 E. Blanquer. Ladar proximity fuze-system study [D]. Stockholm; Royal Institute of Technology(KTH), 2007
 3 Wang Haihong, Zeng Ni, Lu Wei *et al.*. Edge detection of laser imaging radar based on wavelet transform and mathematical morphology [J]. *Chinese J. Lasers*, 2008, **35**(6): 903~906
 王海虹, 曾妮, 陆威等. 基于小波变换和数学形态学的激光成像雷达图像边缘检测 [J]. *中国激光*, 2008, **35**(6): 903~906
 4 Li Chao, Jiang Baoguang, Xia Mingliang *et al.*. Laser speckle reduction in retina imaging Illumination [J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(12): 2245~2249
 李抄, 姜宝光, 夏明亮等. 用于人眼视网膜成像照明的激光消散斑技术研究 [J]. *光学学报*, 2008, **28**(12): 2245~2249
 5 Sun Jianfeng, Li Qi, Lu Wei *et al.*. Implementing the algorithm of target recognition for laser imaging radar based on digital signal processing [J]. *Chinese J. Lasers*, 2006, **33**(11): 1467~1471
 孙剑峰, 李琦, 陆威等. 基于数字信号处理器的激光成像雷达目标识别算法研究 [J]. *中国激光*, 2006, **33**(11): 1467~1471
 6 Jiang Lihui, Zhao Chunhui, Wang Qi. Algorithm about suppressing speckle noise in coherent laser radar imagery [J]. *Acta Optica Sinica*, 2003, **23**(5): 541~546
 蒋立辉, 赵春晖, 王骐. 相干激光雷达图像散斑噪声抑制算法 [J]. *光学学报*, 2003, **23**(5): 541~546
 7 Li Qi, Wang Yongzhen, Wang Qi *et al.*. Noise suppression algorithm of coherent ladar range image [J]. *Acta Optica Sinica*, 2005, **25**(5): 581~584
 李琦, 王永珍, 王骐等. 相干激光雷达距离像的噪声抑制算法研究 [J]. *光学学报*, 2005, **25**(5): 581~584
 8 Wang Lirong. Research of target detection based on wavelet transform [D]. Jilin: Jilin University, 2006.
 王丽荣. 基于小波变换的目标检测方法研究 [D]. 吉林: 吉林大学, 2006
 9 Cui Qi. Image Processing and Analysis—Methods and Applications of Mathematic Morphologic [M]. Beijing: Science Press, 2000
 崔屹. 图像处理和析——数学形态学方法及应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2000
 10 Fu Yongqing, Wang Yongsheng. An algorithm for edge detection of gray-scale image based on mathematical morphology [J]. *J. Harbin Engineering University*, 2005, **26**(5): 685~687
 付永庆, 王咏胜. 一种基于数学形态学的灰度图像边缘检测算法 [J]. *哈尔滨工程大学学报*, 2005, **26**(5): 685~687