

文章编号: 0258-7025(2008)06-0903-04

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

王海虹 曾妮 陆威 王琪

(哈尔滨工业大学可调谐激光技术国家级重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150080)

摘要 边缘检测是激光雷达图像处理的重要组成部分,其性能直接影响雷达系统的精度和性能。针对激光雷达图像的特点,提出了一种基于小波变换和数学形态学方法结合算法对激光成像雷达图像进行边缘检测。首先从小波理论出发,从小波多尺度分解入手,对图像分解的弱边缘信息适当加强,然后对加强边缘信息的图像从灰度形态学的角度出发,对图像进行腐蚀或膨胀,进行边缘提取,而后得到其边缘。用 Matlab 进行仿真实验,结果表明:结合算法边缘算子对激光雷达图像检测效果优于仅用小波或仅用形态学进行边缘提取的效果;在边缘精度、强弱边缘提取和噪声抑制方面,证明所提方法是有效的。

关键词 图像处理;激光雷达;边缘检测;数学形态学;小波变换

中图分类号 TN 958.98 文献标识码 A

Edge Detection of Laser Imaging Radar Based on Wavelet Transform and Mathematical Morphology

Wang Haihong Zeng Ni Lu Wei Wang Qi

(National Key Laboratory of Tunable Laser Technology,
Harbin Institute of Technology, Harbin, Heilongjiang 150080, China)

Abstract Edge detection plays an important role in laser radar image processing. Its capability has direct influence on precision and performance of radar imaging system. Considering the features of laser radar image, this paper raises a method based on wavelet transform and mathematical morphology to process the laser radar image. Firstly, using the wavelet theory and the multi-scale wavelet decomposition strengthens the weak parts of the image edge appropriately. Then, we do edge detection from the perspective of gray morphological and get the edge information. Matlab is used to perform the experimental simulation. The results show that adding edge detection operators in laser radar image processing gets better effects than only using wavelet or morphology. The theory proposed in the paper has great effects in edge accuracy, strong and weak edge extraction and noise suppression.

Key words imaging processing; radar; edge detection; mathematic morphology; wavelet transform

1 引言

激光成像雷达除了具有高分辨率、强抗干扰能力以外,其区别于传统雷达的特点在于能同时成强度像和距离像,强度信息和距离信息构成了目标完整的三维信息。这使得其在目标识别和定位方面具有重要的应用前景,在图像处理领域中,经过有效边缘检测处理过的图像能为目标分割、形状提取和图像识别奠定良好的基础,并且边缘检测过的图像具

有数据量少的优点,有利于进一步处理,因此成为近年来国际上研究的热点^[1,2]。小波变换具有检测局域突变的能力,因此是检测边缘的良好工具。利用小波变换检测图像边缘的方法是基于小波变换在图像处理领域中表现出的独特特征——多尺度分析,可为图像提供一个由粗到细的多分辨率表示,应用这些特征可实现对图像的特征提取。数学形态学的图像处理是应用具有一定形态的结构元素去量度和提取图像中的对应形状,以达到对图像分析和识别

收稿日期:2007-08-28;收到修改稿日期:2007-11-12

作者简介:王海虹(1970—),女,浙江人,助理研究员,主要从事激光空间信息技术方面的研究。

E-mail:hit_whh@yahoo.com.cn

的目的。数学形态学对信号的处理具有直观上的简单性和数学上的严谨性,在描述信号形态特征上具有独特的优势。将数学形态学用于边缘检测,检测出来的边缘特别准确,又能有效地滤除噪声,是边缘检测技术的一个重大突破^[3]。

国内对实际激光雷达距离像的研究起步较晚^[4~6],由于激光雷达直接采集到的图像往往带有噪声,如散斑噪声、散粒噪声等,严重降低了目标识别精度,因此本文提出了结合小波变换和抗噪型算子的数学形态学方法,对仿真的雷达距离像进行边缘检测,并给出处理结果。

2 小波变换与图像加强

图像 $f(x, y)$ 可以依据二维小波按图 1 进行分解,就是把每个尺度下的低频信息都分解成四个部分(水平高频、垂直高频、斜高频和下一层的低频),每个尺度下的水平方向边缘信息主要分布在水平子像中,而垂直方向边缘信息主要分布在垂直子像中。

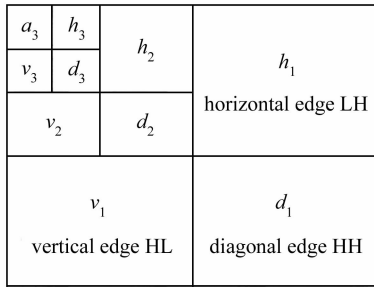


图 1 图像的二维小波分解

Fig. 1 Two-dimensional (2D) wavelet decomposition

图像的较多较细致的边缘信息主要反映在 h 和 v 这两个子图中,而较少较弱的边缘信息主要集中在 h_2 和 v_2 (甚至 h_3 和 v_3) 子图中。于是,在实际应用中,可以根据个人的需要,在不同尺度下提取出图像的边缘信息。这就体现了在多尺度下提取图像边缘的优越性,它比其他边缘提取方法更具灵活性,更有针对性。当然,如果觉得提取出的某些边缘信息不够强,可以采用高频系数加权的方法,即对 i 尺度下的两个子图 h_i 和 v_i 系数进行加权处理,这样就突出了 i 尺度下高频边缘的信息^[5]。

假设 $s_{i,l}^0$ 为 0 尺度空间的尺度系数序列,令 h_0 和 h_1 分别为小波低通和高通滤波器,则二维小波变换的快速公式同样也是一个塔形算法,如图 2 所示。图 3 中 $h = h_0, g = h_1$,下标 x 表示沿行方向滤波,下标 y 表示沿列方向滤波。 h 具有低通性质, g 具有高通性质,若初始输入矩阵为二维离散图像,则一次分解

所得到的四个部分分别经过了不同的滤波器,其中:

$$\alpha_{i,l}^j = \sum_{k,m} h_1(k-2i)h_0(m-2l)s_{k,m}^{j-1}, \quad (1)$$

$$\beta_{i,l}^j = \sum_{k,m} h_0(k-2i)h_1(m-2l)s_{k,m}^{j-1}, \quad (2)$$

$$\gamma_{i,l}^j = \sum_{k,m} h_1(k-2i)h_1(m-2l)s_{k,m}^{j-1}, \quad (3)$$

$$s_{i,l}^j = \sum_{k,m} h_0(k-2i)h_0(m-2l)s_{k,m}^{j-1}, \quad (4)$$

其重构公式为

$$s_{k,m}^{j-1} = \sum_{i,j} s_{i,l}^j h_0(k-2i)h_0(m-2l) + \sum_{i,j} \alpha_{i,l}^j h_1(k-2i)h_0(m-2l) + \sum_{i,j} \beta_{i,l}^j h_0(k-2i)h_1(m-2l) + \sum_{i,j} \gamma_{i,l}^j h_1(k-2i)h_1(m-2l). \quad (5)$$

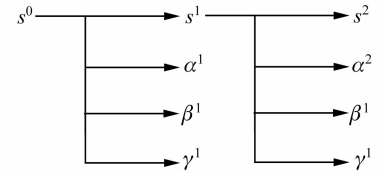


图 2 二维小波变换的塔形算法

Fig. 2 Pyramid operator of 2D wavelet transform

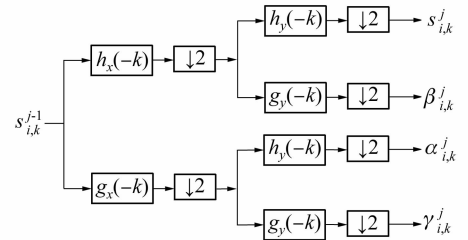


图 3 二维小波分解图

Fig. 3 2D wavelet decomposition

3 灰度形态学边缘提取

灰度值形态学(Gray Scale Morphology)是二值形态学的一个自然的扩展。

结构元素 g 对信号 f 的腐蚀定义为^[6]

$$(f \ominus g)(x) = \max\{y; g_x + y \ll f\}, \quad (6)$$

信号 f 被结构元素 g 灰度膨胀的定义为

$$(f \oplus g)(x) = \min\{y; (g^{\sim})_x + y \gg f\}. \quad (7)$$

通过对比腐蚀(图 4)和膨胀(图 5)的图像可知:对图像作用时,腐蚀使图像朝灰度值变小的方向收缩,膨胀使图像向灰度值高的区域延伸。而图像边缘点是灰度值局部变化最大的点,故两种运算对边缘点引起的变化最大。正是基于这一点,将腐蚀和

膨胀以后的图像与原图像作差,就可以得到局部变化最大的点,即为边缘点。

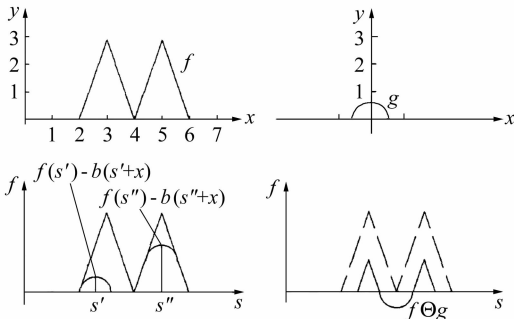


图4 半圆结构元素的灰度值腐蚀示意图
Fig. 4 Gray eroding results of semi-circle structuring elements

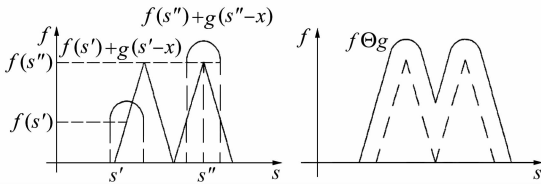


图5 半圆形结构元素的灰度值膨胀示意图
Fig. 5 Gray expanding results of semi-circle structuring elements

在实际激光雷达图像中,目标信息被噪声严重污染,即时经过抑噪处理后仍含有不少噪声,这对激光雷达图像的后续处理很不利。因此,为了能有效地对激光雷达图像进行边缘提取,设计的算子应该具有较强抗噪能力。

采用结合开启和闭合运算的抗噪型形态学算子来对图像进行抗噪处理

$$BW = [(f \circ g) \cdot g] \oplus g - (f \circ g) \cdot g. \quad (8)$$

4 实验结果及分析

根据前面的介绍,将小波变换和形态学方法结合起来,提出下列边缘检测算法:

- 1) 设定小波函数;
- 2) 设置分解级数,对图像进行小波变换;
- 3) 由分解系数重建小波图像;
- 4) 对增强后的图像采用数学形态学的方法进行边缘提取。

激光雷达距离像一直是激光雷达图像处理中的难点。在形态学检测中,采用 3×3 的结构单元,在小波分解中,采用 db3 小波对图像进行分解,2² 分解尺度。图 6 给出的是货车激光雷达距离像不含噪声原图的三种边缘检测方法效果对比图。

通过图 6 图像的对比,可以看出小波算法监测

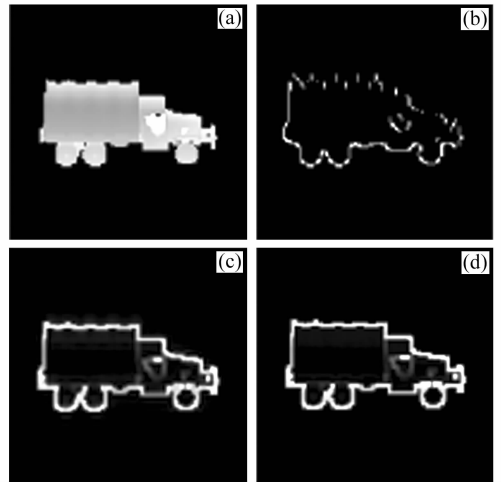


图6 三种边缘检测效果对比图。(a) 车距离像原图;(b) 小波算法边缘检测;(c) 形态学算法边缘检测;(d) 小波和形态学结合算法边缘检测

Fig. 6 Three contrasted results of edge detection. (a) simulated original range imag of truck; (b) edge detection of wavelet operator; (c) edge detection of morphology operator; (d) edge detection consist of wavelet and morphology

的边缘有明显的边缘丢失;仅用形态学算法或小波和形态学结合算法都很好监测出了目标物体边缘,而且再进一步观察,小波和形态学结合算法在车身里面有一些颜色比较浅的线,再观察车距离像原图不难发现这些线的产生是因为车身灰度不同造成的。所以通过以上对比可以看出,小波和形态学结合算法监测出来的边缘更加细致,对边缘更为敏感。

因为用小波变换提取的边缘有明显的边缘丢失,所以图 7 和图 8 分别给出信噪比(SNR)在 10, 12 时的含噪距离像仅用形态学算法边缘检测和小波与形态学结合的边缘检测方法的处理结果。

通过对图 7 和图 8 对比发现:

当噪声增大,信噪比为 12 的时候,形态学、小波和形态学结合算法都很好检测出了边缘。

当噪声较大,信噪比为 10 的时候,运用抗噪型

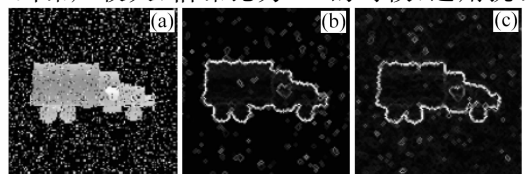


图7 信噪比为 12 时的对比图。(a) 信噪比 12 原图;(b) 形态学;(c) 小波和形态学

Fig. 7 Contrastive images of SNR = 12. (a) original image of SNR = 12; (b) morphology; (c) morphology and wavelet

算子的形态学方法检测出来的边缘已经开始模糊,而且在连贯性和清晰度上已经明显不如小波和形态学结合算法。

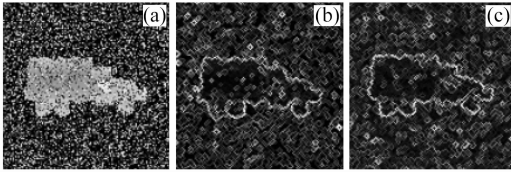


图 8 信噪比为 10 时的对比图。(a) 信噪比 10 原图;
(b) 形态学;(c) 小波和形态学

Fig. 8 Contrastive images of SNR = 10. (a) original image of SNR = 10; (b) morphology; (c) morphology and wavelet

5 结 论

理论上研究了用小波变换和数学形态学算法进行激光雷达图像边缘提取的算法,并且用 Matlab 编程实现,然后对其进行了改进,研究了用小波变换和数学形态学结合进行边缘检测的理论,对比发现小波和形态学结合算法因为运用了小波进行了边缘的增强,所以在噪声较大时能比仅用形态学算法更准确、清晰、连贯的检出边缘。

参 考 文 献

- 1 S. Belfiore, R. Scopigno, M. Grangetto *et al.*. Joint despeckling and edge detection of SAR images based on the Mumford-Shah functional [J]. *Proc. IEEE*, 2004, (6):3915~3918
- 2 R. Gurcan, I. Ezer, S. Kent. An edge detection method using 2-D autoregressive lattice prediction filters for remotely sensed images [J]. *Proc. IEEE*, 2004, (6):4219~4222
- 3 Lei Yanmin, Huang Qiuyuan. Morphological edge detection in digital image processing [J]. *Journal of WUT (Information & Management Engineering)*, 2005, **27**(5):25~27
雷艳敏,黄秋元. 基于数学形态学的图像边缘检测[J]. 武汉理工大学学报(信息与管理工程版), 2005, **27**(5):25~27
- 4 Qi Wang, Ziqin Li, Qi Li *et al.*. An edge detection algorithm for imaging lidar [J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2003, **1**(5):272~274
- 5 Li Qi, Wang Yongzhen, Wang Qi *et al.*. Noise suppression algorithm of coherent lidar 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
- 6 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实现[J]. 中国激光, 2006, **33**(11):1467~1471