

文章编号: 0258-7025(2004)07-0815-05

基于统计对消的激光水下图像的目标提取法

费佩燕¹, 郭宝龙¹, 孟繁杰¹, 章正宇², 张小龙²

(¹ 西安电子科技大学测控工程系, 陕西 西安 710071; ² 华北光电技术研究所, 北京 100015)

摘要 激光水下目标的识别是一个崭新的研究领域,有许多问题亟待解决,其中目标提取问题是关键。由于激光照射下的水下图像含有大量的散斑噪声,严重影响图像的质量。依据统计规律相同的噪声可以对消图像中的噪声这一原理,结合小波变换和统计方法,提出了一种基于统计对消的水下目标分割方法(SC)。其中,采用小波变换,对低频成分进行特殊处理,以增强图像中的目标信息;采用统计方法来充分抵消图像中的干扰噪声。实验结果表明,水下目标分割方法是有效且可行的。

关键词 图像处理;水下目标;统计对消;散斑噪声;小波变换;形态滤波

中图分类号 TN 911.73 **文献标识码** A

Target Extraction of Underwater Laser Image Based on Statistic Counteraction

FEI Pei-yan¹, GUO Bao-long¹, MENG Fan-jie¹, ZHANG Zheng-yu², ZHANG Xiao-long²

(¹ Department of Measurement & Control Engineering, Xidian University, Xi'an, Shaanxi 710071, China)
(² North China Research Institute of Electronic Optics, Beijing 100015, China)

Abstract The recognition of underwater laser target is a new disquisitive field, in which many problems are open, and extraction is the key problem. To recognize underwater target, extraction must be performed well because there is a lot of speckle noise in underwater laser images. Target segmentation of underwater laser image based on statistic counteraction (SC) principle i. e. noise with identically statistic characteristics can counteract noise in images is proposed to remove speckle noise and extract the target in images with wavelet transform and statistics. Experiments demonstrate that this method is efficient and feasible.

Key words image processing; underwater target; statistic counteraction; speckle noise; wavelet transform; morphological filtering

1 引言

激光水下目标探测技术是一项新的先进探测技术,它集激光技术、通信技术、信号处理与识别、运筹学和 GPS 技术等于一体,有着广阔的应用前景。目前,欧美等发达国家都建立了自己的水下光电探测研究系统,并且已用于军事和民用领域^[1]。但激光水下目标探测技术中还存在一些难点问题亟待解

决,其中之一就是目标的识别问题^[2],而目标识别离不开对激光水下图像的有效分割。

图像分割是图像处理领域的一个基本问题,针对处理对象的不同,可以采用不同的方法,如根据注视点的不同,进行图形与背景区分^[3]。由于海水中悬浮有大量的各种微粒对激光的后向散射作用十分严重,虽然采用距离选通或同步扫描技术来克服后向散射,但成像质量仍然不好,图像中依然存在主要

收稿日期:2003-03-17;收到修改稿日期:2003-05-08

基金项目:国防预研基金(2.3.2.1)资助项目。

作者简介:费佩燕(1974—),女,西安电子科技大学博士研究生,主要从事数字图像处理、小波分析、模式识别方面的研究。

E-mail: feipeiyan@sina.com

由后向散射形成的散斑噪声。这些散斑噪声的存在使图像灰度变化剧烈,降低了图像的可视质量,破坏了图像的细节信息。为了实现有效分割,人们采用过以下几种方法滤除图像中的散斑噪声:1) 基于局部统计滤波的 Lee 方法^[4];2) 基于同态映射的同态滤波法^[5];3) 小波软阈值方法^[6]。研究发现:前两种方法在抑制噪声的同时也使图像的细节信息受损,不利后续处理。第三种方法虽在滤除散斑噪声的同时保留了目标图像的细节信息,但对于噪声严重的图像,其去噪能力不足。本文依据统计规律相同的噪声可以对消有噪图像中的噪声的原理,结合小波变换和统计分析的特点,提出了一种基于统计对消的有噪图像分割方法(target segmentation in underwater laser image based on statistic counteraction,简称 SC),可以有效地实现激光水下图像的去噪和目标提取。

2 散斑噪声的形成

2.1 水下激光成像原理

激光水下图像用距离选通的方法获取,实验框图如图 1 所示。在脉冲激光器输出激光时,将触发信号输入到多功能输入输出盒,多功能输入输出盒再将信号输入到延迟发生器 DG535,计算机通过

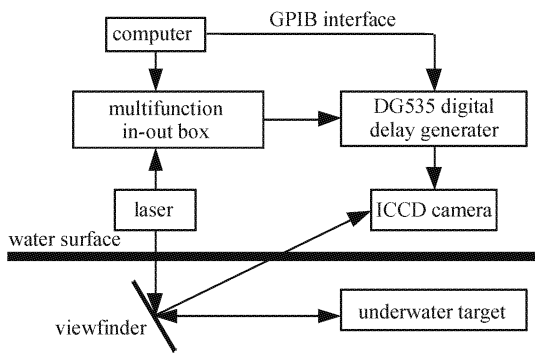


图 1 激光水下成像示意图

Fig. 1 Block diagram of underwater laser imaging experiment

GPIB 控制卡控制 DG535,使其输出带有适当延迟的触发信号到 ICCD(Intensified CCD),使 ICCD 开启并获得成像信息。由于海水对激光的吸收和散射作用引起目标回波的衰减和畸变,加之实验过程中,在 ICCD 开启的时间内,海水的后向散射光进入 ICCD,故得到的图像中有因此导致的散斑噪声。

2.2 散斑噪声的形成

散斑噪声^[7]是在相干成像中,信号光的高度相干性和物面相对光波的粗糙性使其在适中距离的任意观察点处得到散射回波,这些散射回波是由许多来自不同表面的微波区的相干组元和子波组成的,而不同相干子元的光程差可能相差几个 l (l 为波长),因此具有不同相位的相干子波产生干涉,它们可能相长或相消,结果产生了颗粒状的强度图像即散斑噪声。上述的激光水下成像实验中,ICCD 开启时,海水后向散射激光进入 ICCD,从而产生了干涉,进而形成散斑噪声。

3 基于统计对消的目标分割法

水下目标的探测及识别无论是在理论上还是在实际应用中都有着十分重要的应用价值。然而由于激光水下目标成像中散斑噪声的存在,若利用常规的方法消除噪声,然后进行图像分割,其效果不理想。由于相似条件下摄取的水下图像中,噪声的统计规律相近,用无目标的噪声图像提取出噪声特征,然后根据相同统计规律噪声可以对消的原理,去抵消掉目标图像中的噪声,达到图像去噪增强的目的。基于这一思想,在结合小波变换进行图像增强的基础上,对含噪图像进行了噪声对消,形成了 SC 法。此法流程图如图 2 所示。

3.1 图像增强处理

小波变换法^[8]是图像处理领域中经常采用的一种重要的图像处理方法,由于其表达信息具有时频局域性的特点,已广泛应用于信号处理、图像处理、量子场论、地震勘探、雷达等领域。设 $f(x,y)$ 为图像信号,小波分解过程的数学描述如下

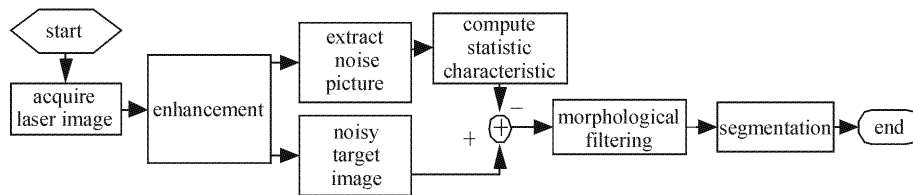


图 2 基于统计对消的目标分割法流程图

Fig. 2 Flowchart of target segmentation from underwater laser image based on statistic counteraction

$$A_{2^j}^d f = \{ [f(x, y) \times \phi_{2^j}(-x)\phi_{2^j}(-y)](2^{-j}n, 2^{-j}m) \}_{(n, m) \in Z^2} \quad (1)$$

$$D_{2^j}^1 f = \{ [f(x, y) \times \phi_{2^j}(-x)\psi_{2^j}(-y)](2^{-j}n, 2^{-j}m) \}_{(n, m) \in Z^2} \quad (2)$$

$$D_{2^j}^2 f = \{ [f(x, y) \times \psi_{2^j}(-x)\phi_{2^j}(-y)](2^{-j}n, 2^{-j}m) \}_{(n, m) \in Z^2} \quad (3)$$

$$D_{2^j}^3 f = \{ [f(x, y) \times \psi_{2^j}(-x)\psi_{2^j}(-y)](2^{-j}n, 2^{-j}m) \}_{(n, m) \in Z^2} \quad (4)$$

其中, $A_{2^j}^d$ 表示图像分解后的低频成分; $D_{2^j}^1$ 表示水平高频成分; $D_{2^j}^2$ 表示垂直高频成分; $D_{2^j}^3$ 表示对角线高频成分; 2^j 表示分辨率, $-J \leq j < 0$, 这里 j 为小波分解的次数, J 表示可进行小波分解的最大次数. $\phi(x)\phi(y)$ 为二维相关尺度函数, $\psi(x)$ 是相应于尺度函数 $\phi(x)$ 的一维小波. $\phi(x)$ 与 $\psi(x)$ 分别为理想低通与带通滤波器, 小波分解可视为频率信道集合中面向空间的信号分解.

采用小波变换方法进行有噪图像的增强处理, 目的是在抑制噪声的同时增强关注的目标. 实际处理过程中, 采用相同距离下的水下图像 A 和无目标的图像 B (即背景图像), 并结合小波分析法来完成图像的增强处理, 图像增强法流程图如图 3 所示, 具体处理过程如下:

- 1) 读取水下图像 F 和背景图像 G ;
- 2) 分别进行一级小波分解, 获得 $F_{LL}, F_{LH}, F_{HL}, F_{HH}$ 和 $G_{LL}, G_{LH}, G_{HL}, G_{HH}$, 其中 F_{LL} 和 G_{LL} 为图像的逼近, $F_{LH}, F_{HL}, F_{HH}, G_{LH}, G_{HL}, G_{HH}$ 分别为图像的细节信息.
- 3) 取 F_{LL}, G_{LL} , 求取二者差的绝对值 DF_{LL} ;
- 4) 将 DF_{LL} 放大 4 倍, 记为 A , 以备后继处理. 进行图像放大的方法很多, 有最近邻插值法、双线性插值法、抛物线插值法、多进制小波变换法^[9]等, 这里采用双线性插值法.

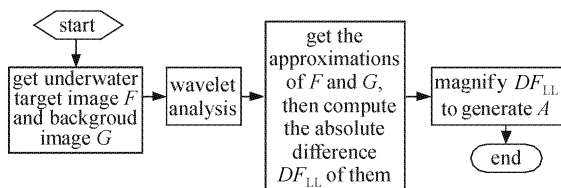


图 3 图像增强过程框图

Fig. 3 Block diagram of image enhancement

这一处理程序中, 舍弃了 F_{LH}, F_{HL}, F_{HH} 和 G_{LH}, G_{HL}, G_{HH} , 这些信中含有大量的细节信息, 而散斑噪声信息的相当一部分就分布在其中, 所以舍弃这些信息, 可达到降噪的目的. 虽然此法会造成目标细节信息的一定损失, 但就实验结果来看, 其对目标的提取是有利的. 因为视觉敏感的信息, 绝大部分都集中在小波变换的低频信息区 F_{LL} 和 G_{LL} , 而

这一区域的图像表现具有使重要信息更加突出的效果.

3.2 统计对消方法

统计方法中的统计量有很多种, 如互相关、自相关、协方差、标准差、均值、方差等等. 水下目标图像中的散斑噪声强度, 从整体上讲, 遵循高斯分布, 但从局部看, 其遵循均匀分布. 本文根据实际图像分割的需要, 采用均值和方差两个统计量. 其数学表达式分别为

$$\text{均值: } \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (5)$$

$$\text{方差: } s = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]^{1/2} \quad (6)$$

其中, x_i 为各像素点的灰度值, n 为像素点总数.

图 4 为统计对消法的算法流程图, 其具体处理过程如下:

- 1) 读取采用小波变换法进行增强处理后的水下图像 A ;
- 2) 在原始图像 A 中取面积一定大小的背景噪声, 然后放大生成与原始图像 A 大小相同的背景图像 B , 这里采用双线性插值法, 因为采用此法, 图像的整体统计特征不变;
- 3) 将原始图像 A 与背景图像 B 分别划分成大小均匀的图像块;
- 4) 求出各图像块的均值 $A\bar{x}_j, B\bar{x}_j$ 和方差 $As_j, Bs_j, j = 1, 2, \dots, J, J$ 为分割图像块的总数;
- 5) 求出原始图像块均值 $A\bar{x}_j$ 的最小值 $\min Am$ 和背景图像块均值 $B\bar{x}_j$ 的最小值 $\min Bm$, 并求出二者差的绝对值 D ;
- 6) 如果 $\min Am$ 大于 $\min Bm$, 则 $B\bar{x}_j + D = A\bar{x}_j, B + D = A$; 否则, $A\bar{x}_j + D = B\bar{x}_j, A + D = B$;
- 7) 分别求原始图像与背景图像各图像块的均值 $A\bar{x}_j, B\bar{x}_j$ 和方差 As_j, Bs_j 的平均值 Ax, Bx, As, Bs , 以及 Bs_j 的最大值 $\max Bs_j$;
- 8) 如果 $(\max Bs_j - Bs)$ 大于 $(A\bar{x}_j - Ax)$, 则各原始图像块 $A\bar{x}_j$ 的值置 0; 否则, 图像块 $A\bar{x}_j$ 的值不变;
- 9) 进行形态滤波后, 输出分割图像结果.

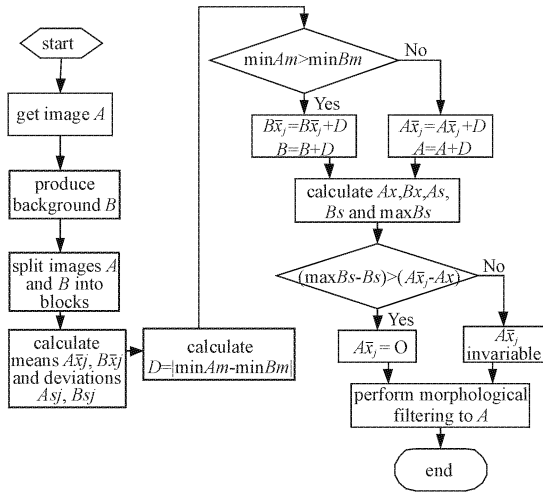


图 4 统计对消法处理过程框图

Fig. 4 Flowchart of statistic counteraction processing

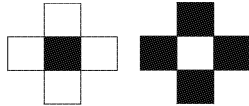


图 5 结构元

Fig. 5 Structure elements

从步骤 6)和 8)可看出,此算法具有自适应性,因为 $\max Bs, Bs, A\bar{x}_j, Ax, \min Am$ 和 $\min Bm$ 都由所处理的图像自主生成,如果图像改变,则它们各自的取值也相应变化。

由于统计对消方法中采用分块处理,所以经统计对消法处理后的图像中会呈现一些分散的、不规则排列的杂散图像块。为了消除这些离散分布的图像块对图像分割的影响,采用了形态滤波的方法进行后处理,即进行了形态开滤波和形态闭滤波。形态滤波法采用的结构元如图 5 所示,图中黑色为 0 图像块,白色为非 0 图像块。

4 实验结果与分析

图 6 为一悬浮在水中的三角形铁板所呈现出的图像,光照条件为蓝绿激光。由图 6 原始图像可看到,目标几乎淹没在背景噪声中,若直接采用通常的滤波方法,很难提取出目标。图 7 为采用 sobel 算子获得的原始图像的边缘信息。从图 7 的边缘信息可看出:如果利用其边缘信息进行目标提取,将很难达到目的。图 8 为采用小波分解得到的增强图像。从这一图像可看出,目标增强的同时,散斑噪声也得到了增强。图 9 为采用 SC 方法得到的目标分割图像,其中图 9(a)是分块为 4×4 的处理结果,图 9(b)

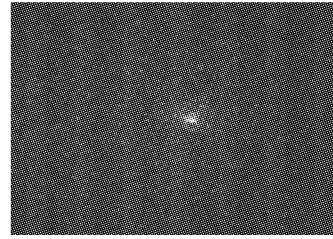


图 6 水下目标图像

Fig. 6 Image of underwater object

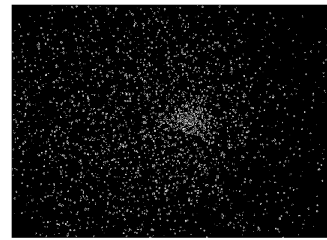


图 7 图 6 的边缘信息

Fig. 7 Edge of Fig. 6

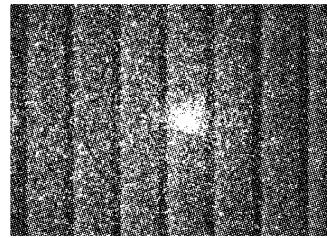


图 8 增强图像

Fig. 8 Enhanced image

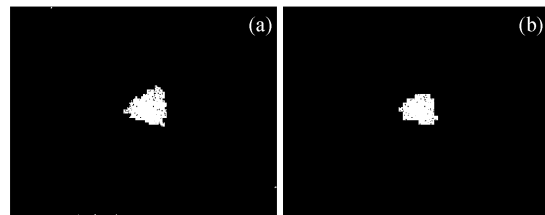


图 9 SC 法分割图像

(a) 分块为 4×4 ; (b) 分块为 8×8

Fig. 9 Image segmentation with SC

(a) blocks 4×4 ; (b) blocks 8×8

是分块为 8×8 的处理结果。

从实验结果可看出:1) SC 方法中,所分图像块的大小直接影响分割图像的边缘信息,见图 9(a)和 (b),所以要使边缘信息表达更准确,所分图像块就不能过大,因为分块过大,SC 方法中各个参数的取值就不够精确,从而影响分割结果,严重情况下会使分割目标发生畸变。2) 此算法有效地滤除了水下激光图像的散斑噪声。由于激光具有良好的单向性,所以当遇到密度较大的阻挡物质时,就在图像中

呈现一个较亮的光斑,同时,这一亮斑的存在也说明激光投射的区域有较大物质存在。

实验证明,采用统计对消方法对激光水下目标图像进行处理,得到了比较好的图像分割结果。而且通过实验也验证了对于不存在目标的激光水下图像,经此法处理,图像将呈现单色:即此法对于有无目标的判定也是非常有效的。图 10~12 是处理无目标水下图像的对比结果。

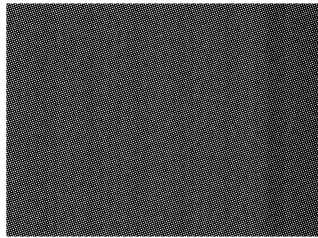


图 10 水下无目标图像

Fig. 10 Underwater image with no object

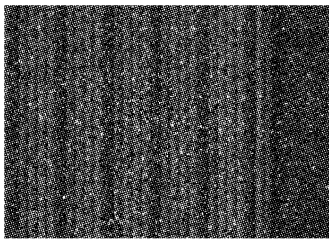


图 11 增强图像

Fig. 11 Enhanced image

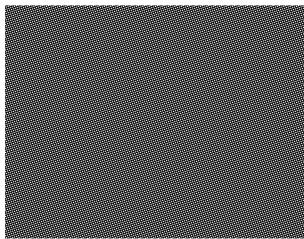


图 12 SC 法分割图像

Fig. 12 Image segmentation with SC

5 结 论

采用基于统计对消激光水下图像目标提取方法

(SC)对水下目标进行了分割,实验证明是有效可行的。其具体特点有:1)对于干扰目标提取的散斑噪声的去除效果良好,对图像中目标的分割也很有效。2)从 3.2 节可知,SC 法的门限选取具有自适应性。3)实验证实,若图像中无目标,采用此法得到的分割结果为单色图像。

与一维信号相比,二维信号(图像)用于水下目标的识别更直观和直接,相信图像用于水下目标的识别将大有发展前景。

参 考 文 献

- 1 Zhang Zhengyu, Zhou Shouhuan. Analysis of key technology and the applications of underwater target detection by laser [J]. *Journal of Xidian University*, 2001, **28**(6):797~801
章正宇,周寿桓. 水下目标探测中的激光技术[J]. *西安电子科技大学学报*, 2001, **28**(6):797~801
- 2 Jin Zhihong, Zhao Junwei, Lin Junqing. Underwater target recognition based on higher-order spectra [J]. *Journal of Ship Engineering*, 1999, **21**(2):57~59
景志宏,赵俊渭,林钧清. 基于高阶谱的水下目标识别[J]. *船舶工程*, 1999, **21**(2):57~59
- 3 Guo Baolong, Guo Lei. Figure-ground separation using a diffusion-concentration network [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1994, **39**(19):1805~1808
郭宝龙,郭雷. 用扩散和集中神经网络区分图形与背景[J]. *科学通报*, 1994, **39**(19):1805~1808
- 4 J. S. Lee. Speckle suppression and analysis for synthetic aperture radar images [J]. *Opt. Eng.*, 1986, **25**(5):636~643
- 5 Runtao Ding, A. N. Venetsanopoulos. Generalized homomorphic and adaptive order statistic filters for the removal of impulsive and signal-dependent noise [J]. *IEEE Trans. on Circuits and Systems*, 1987, **34**(8):948~955
- 6 F. Sattar, L. Floreby, G. Salomonsson *et al.*. Image enhancement based on a nonlinear multiscale method [J]. *IEEE Trans. on Image Processing*, 1997, **6**(6):888~895
- 7 J. W. Goodman. Some fundamental properties of speckle [J]. *J. Opt. Soc. Am.*, 1976, **66**(11):1145~1150
- 8 S. G. Mallat. Multifrequency channel decompositions of images and wavelet models [J]. *IEEE Trans. on ASSP*, 1989, **37**(12):2091~2110
- 9 Zhu Chang-qing, Wang Qian, Chen Hong *et al.*. Image magnification method based on multi-band wavelet transformation [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2002, **7**(A)(3):261~266
朱长清,王倩,陈虹等. 基于多进制小波变换的图像放大方法[J]. *中国图像图形学报*, 2002, **7**(A)(3):261~266