

条纹管激光雷达水下目标图像预处理算法

孙剑峰 刘迪 葛明达 王骥

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

摘要 蓝绿激光雷达进行水下目标探测成像时,由于受到后向散射噪声影响,图像信噪比随着距离增大而急剧下降。为解决此问题,通过分析水下目标图像噪声污染,提出一种图像预处理算法,通过在频域进行噪声抑制及改进型巴特沃斯高通滤波等处理,能够实现目标复原,提高图像信噪比。以自研的条纹管激光雷达完成室内水池水雷探测成像实验,分别对5 m和15 m水下水雷目标激光强度像进行频域预处理。结果表明,提出的算法能有效滤除后向散射噪声,提高图像对比度,获得较为清晰的目标轮廓像。

关键词 图像处理; 激光雷达; 水下成像; 后向散射噪声

中图分类号 TP752.2 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL201340.0714002

Image Pre-Processing Algorithm of Underwater Target for Streak Tube Imaging Lidar

Sun Jianfeng Liu Di Ge Mingda Wang Qi

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

Abstract Image signal-to-noise ratio (SNR) will be reduced with the range increasing because of the influence of backscattering noise when blue-green laser radar is detecting and imaging underwater target. In order to solve this problem, by analyzing the noise types for the underwater target image of the laser radar, an algorithm of image pre-processing is presented, which includes the noise suppression in frequency domain and the improved Butterworth high-pass filters. The pre-processing algorithm can realize the image restoration, and improve the image SNR. The experiments of detecting and imaging the mine in indoor pool are carried out with the streak tube imaging lidar. The algorithm is used for the intensity image of the 5 m and 15 m underwater mine. The results show that the pre-processing algorithm can effectively suppress the backscattering noise of water. The contrast of image is improved. The clear object contour is obtained.

Key words image processing; laser radar; underwater imaging; backscattering noise

OCIS codes 280.3640; 100.2980; 110.2970

1 引言

近年来,随着海洋探测需求日益增大,蓝绿激光水下目标成像探测技术越来越受到人们的重视。目前激光水下成像技术主要是扫描体制和距离选通体制^[1-4],其中距离选通体制因其能抑制后向散射而得到广泛研究,主要有增强型电荷耦合器件(ICCD)距离门选通激光成像技术和条纹管激光成像技术。尽管距离选通体制能抑制激光水下后向散射,但在距离选通范围内的后向散射对成像质量影响还是非

常明显的。有鉴于此,激光水下图像预处理算法的研究成为近年来的热点,主要围绕时频两域展开预处理算法研究^[5-7],如直方图统计法、同态滤波法、傅里叶变换、高低通滤波法等,也有部分是小波尺度分解法。

本文利用自制的条纹管激光成像雷达完成激光水下目标探测成像实验,分别获得室内水下5 m和15 m水雷激光四维像(强度像和三维几何距离像),通过实验发现,随着成像距离增大,后向散射噪声成

收稿日期: 2013-02-01; 收到修改稿日期: 2013-03-01

基金项目: 国家自然科学基金(60901046)

作者简介: 孙剑峰(1978-),男,副教授,主要从事激光成像雷达图像处理和目标识别等方面的研究。

E-mail: sjf@hit.edu.cn

为影响图像信噪比(SNR)的主要因素,因此,提出一种基于频域处理的激光水下图像预处理算法,使低SNR模糊图像得到较大改善,能获得较为清晰的目标轮廓像。

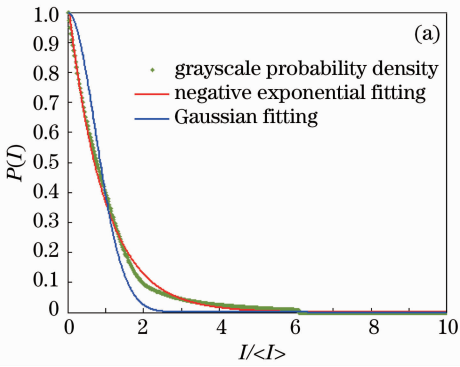
2 激光水下图像预处理算法

2.1 噪声分析

一般来讲,激光强度像中目标主要受到乘性散斑噪声影响,该类型噪声的灰度概率密度表达式为^[8]

$$P(I) = \int_I^\infty p_I(\tau) d\tau = \exp\left(-\frac{I}{\langle I \rangle}\right), \quad (1)$$

式中 $P(I)$ 表示灰度强度大于 I 的概率,是散斑噪声



灰度归一化后的负指数分布。

激光强度像的背景主要受到加性高斯噪声影响,该类型噪声的灰度概率密度表达式为^[8]

$$P(I) = \int_I^\infty P_I(\tau) d\tau = \frac{1}{\alpha} \int_I^\infty \exp\left[-\frac{(\tau - I_0)^2}{2\sigma^2}\right] d\tau, \quad (2)$$

式中 α 为归一化常数

$$\alpha = \int_0^\infty \exp\left[-\frac{(I - I_0)^2}{2\sigma^2}\right] dI, \quad (3)$$

I_0 表示无噪声信号强度,是一常数。

对实际获得的不同深度激光水下目标强度像进行噪声分析,统计目标灰度级概率密度,并与上述两种类型概率密度相比较,得到的结果如图 1 所示。

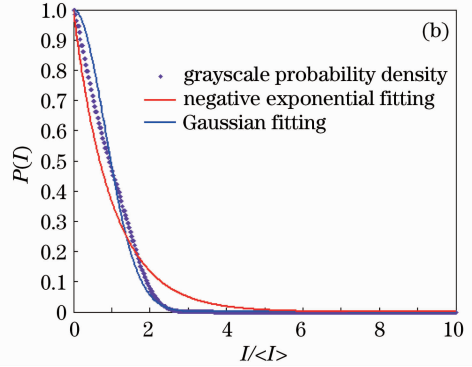


图 1 水下目标灰度概率密度分布。(a) 5 m 深; (b) 15 m 深

Fig. 1 Grayscale probability density distribution of the underwater target. (a) 5 m depth; (b) 15 m depth

图 1(a)为 5 m 深时,水下目标强度像灰度概率密度分布,由统计结果可看出,在后向散射不严重时,目标主要受到散斑噪声影响;图 1(b)为 15 m 深时水下目标强度像灰度级概率密度分布,随着水深度的增加,后向散射逐渐成为目标噪声的主要因素。因此,针对后向散射比较严重的激光水下目标图像,围绕能有效处理加性高斯噪声的预处理算法而展开研究。

2.2 频域处理算法

针对水下激光图像特点,分别从时域和频域两方面展开研究,通过对比多种滤波、目标增强等算法实验结果,选择基于频域的处理算法对条纹图像进行噪声抑制,能有效提高回波信号的 SNR;对重构

后的激光图像进行高通滤波,能提高图像对比度,凸显目标轮廓。由此,提出一种激光水下图像频域预处理算法,该算法流程如图 2 所示。图中 FFT 为快速傅里叶变换,IFFT 为快速傅里叶逆变换。

1) 频域滤波:要在频域内抑制后向散射噪声,保留目标回波信号,提高信噪比,其主要思想是抑制对数频谱图中心附近的较大系数,同时较小的频谱系数不变,具体表达形式为

$$F'(u, v_i) = \begin{cases} \bar{F}, & F(u, v_i) \geq K_1 \bar{F} \\ F(u, v_i), & F(u, v_i) < K_1 \bar{F} \end{cases}, \quad (4)$$

式中 $F(u, v)$ 为图像对数傅里叶变换, $K = F/\bar{F}$, \bar{F} 是对数频谱图的均值; v_i 表示图像频域中的某一列, K_1 是一比例系数。

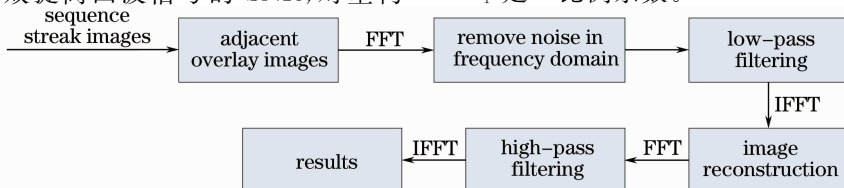


图 2 频域预处理算法流程图

Fig. 2 Chart of pre-processing algorithm on frequency domain

2) 高通滤波选择改进型巴特沃斯高通滤波器。巴特沃斯高通滤波在低截止频率的情况下会使图像的亮度大大降低,所以对其进行改进,表达式为

$$H'(u, v) = a + bH(u, v), \quad (5)$$

式中

$$H(u, v) = \frac{1}{1 + [D_0/D(u, v)]^{2n}}, \quad D(u, v) \neq 0, \quad (6)$$

(5)式中, a, b 为两个常数调节参数。 a 使传递函数产生一个偏移,使 $D(u, v) = 0$ 附近的零频率和低频率信息不会完全被抑制。 b 参数取大于1的值可以将传递函数进行放大,即将高频信息加强。(6)式中,

$$D(u, v) = \sqrt{(u - M/2)^2 + (v - N/2)^2}, \quad (7)$$

表征频率矩形中某傅里叶系数所在点 (u, v) 到频率矩形正中心的距离。 n 为巴特沃斯滤波器的阶数,其取值为正整数。 D_0 称为截止频率,是进行滤波时的重要参数。

3 激光水下图像处理实验

利用课题组自研的条纹管激光成像雷达^[9-11],在中船重工 710 研究所完成室内水下水雷探测实验,水雷实物照片如图 3 所示,在其表面贴有“710”和“HIT”字样。将雷达固定在实验平台上,水雷目标安装在水下升降平台,可任意控制水雷深度。激光通过气水界面照射水下目标,雷达接收水下目标回波信号。



图 3 水雷目标实物照片
Fig. 3 Picture of the mine

水雷深度为 5 m 时,可获得较为清晰的目标强度像,如图 4(a)所示,其中水雷上的字样清晰可见。对 5 m 深水雷图像进行预处理,结果如图 4(b)所示,经改进的巴特沃斯滤波器,提高了字体与目标其他部分的对比度,图像锐度提高。

调整升降机高度,图 5(a)为 15 m 深时水雷目标强度像,可以看到,随着水深增加,后向散射大幅

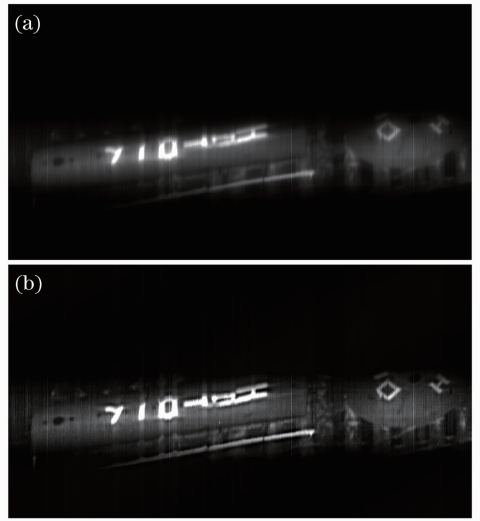


图 4 5 m 深水雷强度像。(a)原始像;(b)预处理的像
Fig. 4 Intensity image of mine in depth of 5 m. (a) Original image; (b) image after pre-processing

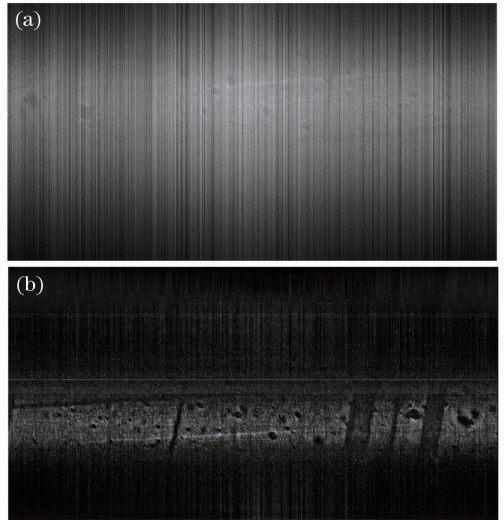


图 5 15 m 深水雷强度像。(a)原始像;(b)预处理的像
Fig. 5 Intensity image of mine in depth of 15 m. (a) Original image; (b) image after pre-processing

度增大,导致目标回波信号淹没在后向散射信号中,图像信噪比急剧下降,水雷目标几乎不可见,这也是目前蓝绿激光在水下应用的瓶颈之一。对 15 m 目标强度像进行预处理,实验结果见图 5(b)所示。可以看到,尽管水雷上的字样不可见,但水雷目标轮廓比较清晰,可用于目标识别判读,表明所提出的预处理算法能较为有效地解决水下后向散射对目标成像的影响,提高目标信噪比,为提高蓝绿激光水下作用距离提供了积极有效的方法。

分别对上述实验结果进行均值和标准差统计,结果如表 1 所示。从表中可以看到,对 5 m 激光强度像,预处理后均值增大,即目标像素点灰度得到有

效增强,提高了图像对比度;对 15 m 激光强度像,预处理后均值减小,即后向散射噪声得到有效抑制,同时保留目标灰度信息,图像对比度明显改善。

表 1 实验结果统计分析

Table 1 Analysis of statistical results

	Mean value	Standard deviation
Original intensity image of 5 m	13.57	13.47
Pre-processed intensity image of 5 m	20.14	16.45
Original intensity image of 15 m	27.26	25.09
Pre-processed intensity image of 15 m	2.55	1.99

4 结 论

水下后向散射严重影响了蓝绿激光水下成像距离和成像质量,导致远距离目标图像模糊不清。提出一套基于频域的预处理算法,抑制后向散射噪声,提高图像信噪比,凸显目标轮廓,为获得远距离激光水下目标图像提供了一种有效的预处理算法。

参 考 文 献

- 1 Duo-Min He, Gerald G L Seet. Underwater lidar imaging in highly turbid waters[C]. SPIE, 2002, 4488: 71-81.
- 2 Zheng Bing, Sun Xiaohe, Su Jing. A new underwater laser imaging method[J]. Periodical of Ocean University of China, 2006, 36(1): 119-122.
郑 冰, 孙晓禾, 粟 京. 一种水下激光成像的新方法[J]. 中国海洋大学学报, 2006, 36(1): 119-122.
- 3 Jens Busck. Underwater 3-D optical imaging with a gated viewing laser radar[J]. Opt. Eng., 2005, 44(11): 116001.
- 4 Sun Jianfeng, Gao Jian, Wei Jingsong, *et al.*. Research

development of under-water detection imaging based on streak tube imaging lidar[J]. Infrared and Laser Engineering, 2010, 39(5): 811-814.

孙剑峰, 郜 键, 魏靖松, 等. 条纹管激光成像雷达水下探测成像研究进展[J]. 红外与激光工程, 2010, 39(5): 811-814.

- 5 Han Hongwei, Zhang Xiaohui. Study of enhancement technology in underwater laser imaging [J]. Laser & Infrared, 2007, 37(10): 1105-1108.
韩宏伟, 张晓辉. 水下激光图像增强方法研究[J]. 激光与红外, 2007, 37(10): 1105-1108.
- 6 J S Jaffe, K D Moore, J. McLean. Underwater optical imaging: status and prospects[J]. Oceanography, 2001, 14(3): 64-75.
- 7 Fei Peiyan, Guo Baolong, Meng Fanjie. Target extraction of underwater laser image based on statistic counteraction [J]. Chinese J Lasers, 2004, 31(7): 815-819.
费佩燕, 郭宝龙, 孟繁杰. 基于统计对消的激光水下图像的目标提取法[J]. 中国激光, 2004, 31(7): 815-819.
- 8 Li Ziqin, Wang Qi, Li Qi. Multiplication model of speckle image and speckle suppression in imaging lidar[J]. Chinese J Lasers, 2003, 30(8): 717-720.
李自勤, 王 骐, 李 琦. 激光成像雷达系统中散斑像的乘法模型及其滤除[J]. 中国激光, 2003, 30(8): 717-720.
- 9 Wei Jingsong, Wang Qi, Sun Jianfeng, *et al.*. Experiment of four-dimensional imaging with single-slit streak tube lidar[J]. Chinese J Lasers, 2010, 37(5): 1231-1235.
魏靖松, 王 骐, 孙剑峰, 等. 单狭缝条纹管激光雷达四维成像实验[J]. 中国激光, 2010, 37(5): 1231-1235.
- 10 Sun Jianfeng, Wei Jingsong, Liu Jinbo, *et al.*. Target reconstruction algorithm for streak tube imaging lidar [J]. Chinese J Lasers, 2010, 37(2): 510-513.
孙剑峰, 魏靖松, 刘金波, 等. 条纹管激光成像雷达目标重构算法[J]. 中国激光, 2010, 37(2): 510-513.
- 11 Sun Jianfeng, Wei Jingsong, Wang Tianjiao, *et al.*. Design of streak tube imaging lidar with wide field of view and research of imaging experiments [J]. Acta Optica Sinica, 2011, 31(s1): s100413.
孙剑峰, 魏靖松, 王天骄, 等. 大视场条纹管激光雷达设计及成像实验研究[J]. 光学学报, 2011, 31(s1): s100413.

栏目编辑: 韩 峰