

文章编号:1001-5078(2007)10-1105-04

水下激光图像增强方法研究

韩宏伟, 张晓晖

(海军工程大学兵器工程系, 湖北 武汉 430033)

摘要: 由于水体对光存在着不可克服的吸收和散射效应, 距离选通水下激光成像系统所获得的图像存在不同程度的劣化问题。为提高图像质量, 在分析水下激光图像特点的基础上, 针对常规直方图均衡化的不足, 提出了用阈值分割直方图, 高灰度区和低灰度区分别进行均衡化, 再压缩组合的分段的直方图均衡化方法, 并和边缘保护平滑滤波结合应用于水下激光图像增强。通过实验, 验证了该算法能达到抑制背景噪声、突出目标细节、提高对比度的效果, 对水下激光图像增强十分有效。

关键词: 水下激光成像; 图像增强; 边缘保护平滑滤波; 分段直方图均衡化

中图分类号: TP391

文献标识码: A

Study of Enhancement Technology in Underwater Laser Imaging

HAN Hong-wei, ZHANG Xiao-hui

(Dept. of Weaponry Engineering, Navy University of Engineering, Wuhan 430033, China)

Abstract: The images which were acquired by underwater range-gated imaging system have degradation for the reasons of scattering and absorption of water. To advance the quality and overcome the disadvantage of common histogram equalization, a new method was proposed based on analysis of characteristic of underwater laser imaging. After filtering by edge-preserving smoothing, it split the histogram, the parts of high gray and low gray were equalized separately, and then combined. The experiment shows that the method proposed above is very effective in enhancement of underwater laser imaging to restrain background noise, clear object details and advance contrast.

Key words: underwater laser imaging; image enhancement; edge-preserving smoothing; subsection histogram equalization

1 引言

激光水下目标成像探测是一种新的探测技术, 它不仅具有比声探测更高的分辨率, 还具有比普通光成像更远的探测距离, 然而, 由于水体对其中传输的激光存在着比较强烈的衰减和散射效应, 水下激光图像存在着比较严重的图像劣化的问题^[1-4], 特别是视场中较近距离范围内水体的后向散射光会增强背景光噪声, 大大降低目标图像的信噪比。虽然可以利用激光所独有的时间特性和空间特性, 采用距离选通或同步扫描成像的方式来减小后向散射光噪声的影响^[5], 但由此所获得的激光图像的质量仍

然不好, 目标边界模糊, 细节不可分辨, 必须采用图像处理技术进行图像增强, 才能获得轮廓分明的图像。

直方图均衡化是一种常用的图像增强方法, 它通过修改图像的直方图来达到提高对比度的目的, 但传统的直方图均衡化对噪声非常敏感, 容易造成平坦区域噪声的过增强^[6], 不适用于水下激光图像处理。针对这一问题, 本文提出了改进的分段直方

作者简介: 韩宏伟(1983-), 男, 硕士, 主要从事水下图像处理方面的研究工作。E-mail: fire_power_ice@yahoo.com.cn

收稿日期: 2007-04-30; **修订日期:** 2007-06-10

图均衡化——首先用一个全局阈值把图像直方图分成两部分,高灰度区含有绝大部分的目标信息,再对两部分分别进行均衡化,最后进行不同程度的压缩以组合成一幅完整的图像。为了更好地抑制噪声的影响,在用分段直方图均衡化处理之前,选用边缘保护平滑滤波对图像进行去噪处理。文章最后设计实验验证该算法对不同距离和不同视场目标图像的增强效果,结果表明,背景噪声得到抑制,目标细节突出,图像对比度有很大提高,证明了该算法在水下激光图像增强中的适用性。

2 水下激光图像的特点分析

图1(a)是距离选通水下激光成像系统所获得的图像。从图像上可以看出,由于水体的散射效应,被激光所直接照明的水体中的悬浮颗粒会在水下激光图像中造成“水下雪花”,而未被激光所直接照明的水体也会因散射光的间接照射而产生“雾化效应”^[7],它们增加了背景光噪声的幅度,降低了图像的信噪比,使得图像看起来灰蒙蒙的,其中的目标轮廓模糊,细节难于识别。

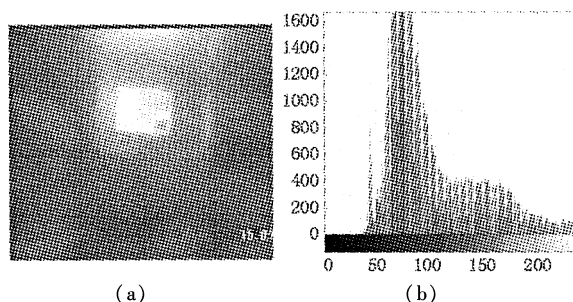


图1 水下激光图像及其直方图

Fig.1 underwater laser image and its histogram

图1(b)是该水下激光图像的直方图,显然,图像灰度的变化并没有达到整个动态范围,灰度0到45之间极少有像素分布,这占了整个动态范围的20%;像元灰度分布不均,大部分集中在55到100的范围之内。另外,目标灰度区和背景噪声灰度区部分交叉混叠,使目标细节难以分辨。

3 水下激光图像增强方法的研究

针对水下激光图像的特点,本文先采用边缘保护平滑滤波对图像噪声进行滤除,再在此基础上利用分段直方图均衡化锐化目标细节,提高对比度,达到图像增强的目的。

3.1 边缘保护平滑滤波

边缘保护平滑滤波^[8]基于递归有理数滤波(RRF),其一维基本形式为:

$$y(n) = (1 - a(x, n)) \times x(n) + a(x, n) \times y(n-1) \quad (1)$$

其中, $x(n)$ 、 $y(n)$ 分别是输入和输出采样序列; $a(x, n)$ 称为滤波带宽(当 $a(x, n) \rightarrow 1$ 时, $y(n) \rightarrow y(n-1)$;当 $a(x, n) \rightarrow 0$ 时, $y(n) \rightarrow x(n)$), $a(x, n)$ 与采样值的大小和位置有关,定义为: $a(x, n) = k \times \frac{S(x, n)}{S(x, n) + 1}$,其中, $S(x, n) = H / (\log \frac{1+x(n-1)}{1+x(n+1)})^2 + \text{esp}$, k 为 $a(x, n)$ 变化范围的最大值,即 $k \leq 1$,esp为一极小正数以保证分母非零。

当对图像二维数据矩阵进行处理时,可以先对行数据进行处理,再对列数据进行处理。另外,因为空间递归会产生相位失真,所以每一维必须进行四次滤波。

该算法有 k 和 H 两个参数需要确定,当它们比较小时,滤波器的去噪能力弱,边缘保护能力强;当它们取值比较大时,滤波器去噪能力强,但对边缘的伤害也大。经多次实验,发现当 $k < 0.5$, $H < 10$ 时,滤波器在去噪和边缘保护之间能达到比较好的平衡。对于本文处理的图像,固定 $k = 0.2$, $H = 5$ 。用上述方法对图1(a)处理的结果及其直方图示于图2。经过滤波,噪声得到抑制,图像质量有了初步改善,直方图反映出图像灰度级扩展到了整个动态范围。但目标的细节依然不可分辨,甚至因为滤波器的平滑作用而变得更加模糊,因而需要对图像进行进一步处理以再现模糊的目标细节。

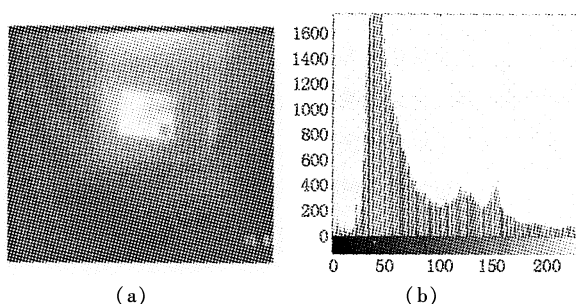


图2 RRF滤波效果及其直方图

Fig.2 the effect of RRF tilting and its histogram

3.2 分段直方图均衡化

图3(a)是用传统直方图均衡化对图2(a)处理的结果,图像的质量不仅没有得到改善,增强了的背景噪声反而“淹没”了目标。针对这一问题,本文提出了分段直方图均衡化。其基本思想是根据 Weszka 提出的模型认为图像直方图是由分别对应目标和背景的2个单峰直方图混合而成。此时如果这2个分布大小(数量)接近且均值相距足够远,而且均

方差也足够小,则直方图是双峰的^[9]。但背景噪声的存在修改图像的直方图,目标和背景噪声的混叠程度加大,使目标细节难于区分。基于这一认识,我们选取一个域值把图像直方图分成高灰度区和低灰度区,高灰度区包含了大部分的目标信息,然后对两段直方图分别进行均衡化使它们都扩展到全动态范围,最后依给定的结合点分别压缩两段直方图使它们在结合点连接成新的直方图。算法具体描述如下:

设 S 代表原图像的灰度级,且 $0 \leq S \leq L-1$, r 为输出灰度级, t 为中间结果。首先分别统计图像中高于、低于某一域值的直方图的灰度分布:

$$p_s^1(S_k) = n_k/N_1 \quad k = LD, LD+1, \dots, L-1 \quad (2)$$

$$p_s^2(S_k) = n_k/N_2 \quad k = 0, 1, \dots, LD-1 \quad (3)$$

其中, n_k 为各灰度级的像素数; L 为灰度级数; LD 为域值对应的灰度级; N_1, N_2 分别为高于、低于域值的像素总数。

再分别对这两段直方图进行均衡化:

$$t_k^1 = \sum_{i=LD}^k p_s^1(S_i) \quad k = LD, LD+1, \dots, L-1 \quad (4)$$

$$t_k^2 = \sum_{i=0}^k p_s^2(S_i) \quad k = 0, 1, \dots, LD-1 \quad (5)$$

然后依据给定的结合点 LJ 对 t^1, t^2 进行线性压缩:

$$r_k^1 = \frac{1-LJ}{t_{L-1}^1 - t_{LD}^1} \times (t_k^1 - t_{LD}^1) + LJ, k = LD, LD+1, \dots, L-1 \quad (6)$$

$$r_k^2 = \frac{LJ}{t_{LD-1}^2 - t_0^2} \times (t_k^2 - t_0^2) \quad k = 0, 1, \dots, LD-1 \quad (7)$$

最后把 r^1, r^2 组合成一个统一的直方图:

$$r_k = \begin{cases} r_k^1 & LD \leq k \leq L-1 \\ r_k^2 & 0 \leq k \leq LD-1 \end{cases} \quad (8)$$

由上面的论述可知,域值和结合点的选择非常重要,它直接决定图像的最终增强效果。域值类似于图像分割中的全局门限,当域值取值较高时,较多的目标像素进入低灰度区参与统计,造成目标信息的丢失;当域值取值较低时,较多的背景噪声进入高灰度区参与统计,不仅改变了目标区的特性,而且增强了噪声。为保证图像质量,一般域值取值较高,结合点取值较低,从而压缩背景,扩大目标区的动态范

围,也就是以少部分目标信息的损失来换取大部分目标对比度的改善。

用上述方法对图 2(a) 处理的结果示于图 3(b),其中域值取为图像全局均值的 2 倍,结合点为 46。图 3(c) 是图 3(b) 的直方图。经过分段直方图均衡化,图像对比度得到较大提高,目标细节得到清晰再现。直方图上,背景被压缩在很窄的区域,目标灰度则均匀的分布在很宽的范围内,且与背景的区别十分明显。

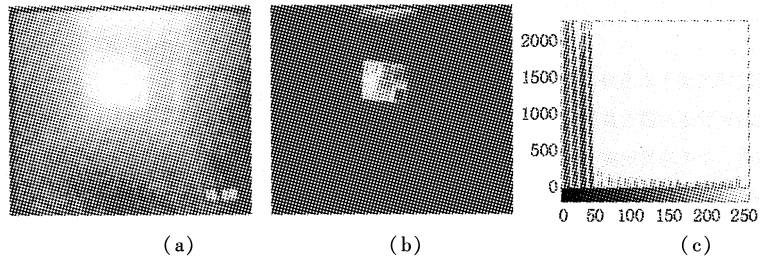


图3 传统直方图均衡化与分段直方图均衡化效果比较

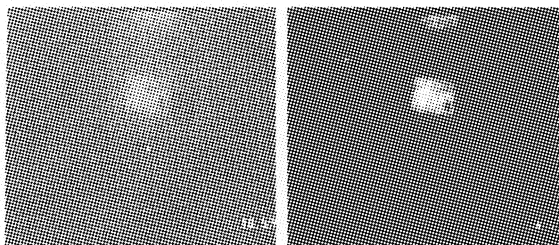
Fig.3 effect compare of common histogram equalization and subsection histogram equalization

4 实验结果与分析

在实际使用中,水下激光成像系统所面对的目标情况是动态变化的,距离选通激光成像系统对不同目标所成图像的特征因目标的激光反射率不同而不同,而由于水体对激光存在着吸收和散射效应,同一目标处于不同的成像距离时所获得的图像的特征也不相同,当目标和成像系统距离较远时,图像整体灰度比较低,信噪比差,目标只占整幅图像很小一部分;当目标逐渐接近成像系统时,图像的噪声水平有所下降,目标占图像的比例也逐渐增大;而当成像系统的视场发生改变时,相同距离处的同一目标占据整个图像的面积以及图像的噪声也会发生改变。因此,一种有效地水下激光图像增强算法应该能对具有不同视场的激光成像系统所采集的不同距离的目标图像都获得较好地处理效果。

为了验证本文所提出的图像增强算法对距离选通水下激光成像系统所获得的图像的普适性,我们搭建了距离选通激光成像实验系统,获取了视场较大时某目标位于不同成像距离处的两幅图像(图 4(a),图 2(a)) 和视场较小时某一目标不同距离处的两幅图像(图 5(a),图 6(a)),这四幅图像经本文所提出的图像增强算法处理后的效果如图 3(b)、图 4(b)、图 5(b)、图 6(b) 所示。显然,这些图像的噪声得到了抑制,对比度得到提

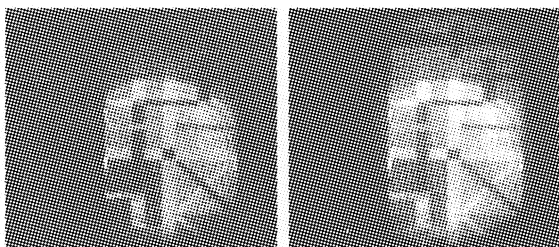
高,取得了图像增强的效果,实验结果证实了本文所提出的图像增强算法是一种对水下激光图像行之有效的增强算法。



(a) (b)

图4 大视场远距离目标图像及处理效果

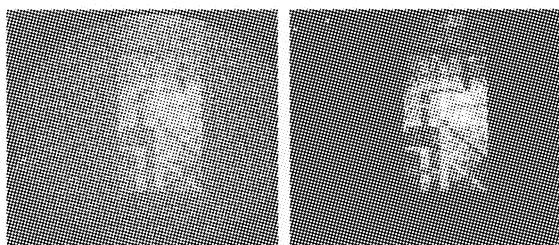
Fig.4 image of object with long distance and large view and the process result



(a) (b)

图5 小视场近距离目标图像及处理效果

Fig.5 image of object with close distance and small view and the process result



(a) (b)

图6 小视场远距离目标图像及处理效果

Fig.6 image of object with long distance and small view and the process result

需要说明的是,以上图像在用本文的算法进行处理时所选择的域值和结合点等参数是不同的,处理图4(a)时选用的参数与处理图2(a)时相同,而处理图5(a)、图6(a)时选用的参数则不同,其中图5(a)的参数是:域值为1倍全局均值,结合点为100;图6(a)的参数是:域值为2倍全局均值,结合点为0(即只增强域值之上的灰度区)。

这表明,本文所提出的这种算法的图像增强效果与域值和结合点的选择密切相关;当目标占图像的比例较小时,参数选择的变化范围不大,但当目标占图像的比例较大时,为了得到更好的图像效果,参

数的变化范围较大:图5(a)噪声较小,为了再现暗处的细节,域值取得较低,结合点取得较高;而图6(a),为了避免增强噪声以保护大部分细节,提高了域值,降低了结合点,从而也失去目标顶部的部分细节。

5 结论

对传统直方图均衡化在水下激光图像处理中的不足,提出了改进的分段直方图均衡化方法。实验验证了该算法能抑制噪声、突出目标细节、提高图像对比度。其中域值和结合点的选择决定了最终的增强效果,不同的目标图像情况和不同的增强目的需要不同的参数,如何根据情况和任务自适应的选择域值和结合点是下一步研究的重点。

参考文献:

- [1] Michael P. Imaging model for underwater range-gated imaging systems[C]//Proceeding of SPIE, 1991, 1537: 151 - 160.
- [2] Kong Jie, Zhang Bao-wei. The review of underwater laser imaging technology and its development[J]. Optoelectronic Technology, 2006, 26(2): 129 - 132. (in Chinese)
- [3] Chang Yan-jun, Peng Fu-yuan, Luo Lin, et al. Laser imaging for the underwater object and the image segmentation based on fractal[C]//Proceeding of SPIE, 2003, 5286: 668 - 671.
- [4] Chang Yan-jun, Peng Fu-yuan, Zhu Guang-xi, et al. Target detection for the underwater laser image[C]//Proceeding of SPIE, 2002, 4790: 499 - 502.
- [5] Fei Pei-yan, Guo Bao-long, Meng Fan-jie, et al. Target extraction of underwater laser image based on statistic counteraction[J]. Chinese Journal of Lasers, 2004, 31(7): 815 - 819. (in Chinese)
- [6] Zhu Kai-jun, Zhou yan, Lan Zu-song. Enhancement algorithm of misty image based on region segmentation[J]. Computer Measurement & Control, 2006, 14(5): 661 - 663. (in Chinese)
- [7] Wang Yi-feng, Liu Zhi-shen. A denoising method for underwater laser image based on mathematical morphology[J]. Electro-optic technology application, 2006, 21(3): 51 - 53. (in Chinese)
- [8] Impoco G, Marsi S, Ramponi G. Adaptive reduction of the dynamics of HDR video sequences[J]. IEEE CNF, 2005, 1(11 - 14): 1 - 945 - 8.
- [9] Zhang Yu-jin. Image Engineering[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1999. (in Chinese)