

水下气泡幕激光后向探测中的信号起伏和干扰抑制

马治国^{1,2}, 王江安¹, 余 扬¹, 梁善勇¹

(1. 海军工程大学电子工程学院, 湖北 武汉 430033; 2. 海军工程大学兵器工程系, 湖北 武汉 430033)

摘 要: 水下气泡幕的激光后向探测实验中发现, 由于气泡幕的存在, 信号有时得到增强, 有时会减弱。对该问题进行分析, 将探测区域分为三个组成部分, 对三部分信号进行比较分析, 从而找出影响信号强度的因素, 并通过实验进行验证。结果表明, 信号的强度是增强还是减弱, 主要取决于气泡幕本身的信号强度, 它与气泡幕的距离以及气泡密度等因素有关。对同一距离上相同密度的气泡幕进行探测, 适当增大探测器和发射器之间的距离, 可以提高有无气泡时的差异, 从而提高系统探测性能。

关键词: 气泡幕; 激光探测; 后向光散射; 功率

中图分类号: TN216

文献标识码: A

Signal Fluctuating in Laser Backward Detection of Bubble Films in Water and Restraint of Water Interference

MA Zhi-guo^{1,2}, WANG Jiang-an¹, YU Yang¹, LIANG Shan-yong¹

(1. College of Electronic Engineering, Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China;

2. Department of Weaponry Engineering, Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China)

Abstract: Signals sometimes increase and sometimes decrease on the experiment of laser backward detection of bubble films. To analyze this question, the detection section is divided into three parts, and three portions of signals are analyzed comparatively. So the factors which influence the signal intensity are ascertained, and the validating experiment is carried out. The results shows that the intensity of signals lie on the intensity of light backward scattering from bubble film which is related to distance and density, etc. To detect bubble film in the same distance and the same density, augmenting the distance between the laser and detector properly will favor the difference between signals having and having no bubbles, so it will favor laser backward detection of bubble films in water.

Key words: bubble film; laser detection; light backward scattering; power

1 引 言

舰船在航行过程中产生了大量的气泡,并在很长时间内存在^[1]。由于气泡的存在,海水的特性与无气泡时会有显著的区别,这就为通过测量激光在水下的传输特性来探测和跟踪舰船提供了可能。因此,近年来气泡的光学特性逐渐成为一个研究热点^[2-6]。适用于水下的舰船尾流激光探测系统可采用后向探测方式,通过接收后向光散射信号来对气泡幕进行探测^[7-8]。后向光散射信号的强度是

一个重要的特征量。在实验中发现,与无气泡幕存在时后向光散射信号相比,由于气泡幕的存在,信号强度有时增大,有时减弱,引起很多的疑惑。另外,近距离水体后向光散射信号较强,对气泡的后向光散射信号造成了干扰,给尾流气泡的探测带来了极大的困难。因此,必须对水体尤其是近距离水体的

作者简介: 马治国(1978-),男,博士研究生,主要研究方向为激光水下目标探测。E-mail: madaoh@163.com

收稿日期: 2008-07-28; **修订日期:** 2008-09-21

后向光散射信号进行抑制。

本文对水下气泡幕激光后向探测中的信号强度起伏原因进行了分析,并提出了抑制近距离水体后向散射光信号的一种简单方法。

2 理论分析

2.1 后向探测中的信号起伏

设没有气泡幕时探测器接收到的后向散射光信号强度为 P_0 ,有气泡幕时的信号强度为 P 。又设 $HNR = P/P_0$,则当 $HNR > 1$ 时,由于气泡幕的存在,信号得到了增强;当 $HNR = 1$ 时,信号强度不变;当 $HNR < 1$ 时,由于气泡幕的存在,信号反而变弱。

如图1所示,光电探测器与激光发射器光轴平行,相距 D 。探测器视场与激光器照射区交叉,按照图1所示分为三个区域,靠近接收器水体所在区域为1区,气泡幕所在区域为2区,气泡幕后水体所在区域为3区。

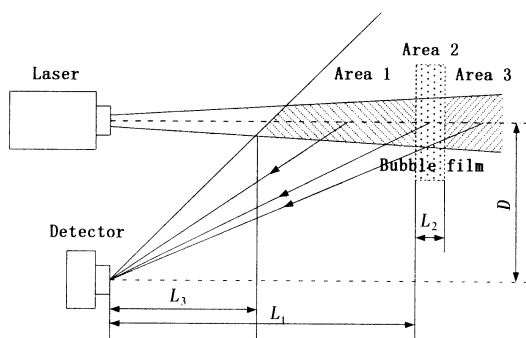


图1 原理示意图

按照这种分区,将信号也分为三个部分。当没有气泡幕存在时,光电探测器接收到的是激光照射区与接收器视场交叉区内水体的后向散射光信号, $P_0 = P_{10} + P_{20} + P_{30}$;当有气泡幕时,接收器接收到的是气泡幕后向光散射信号以及气泡幕前、后水体后向散射光信号之和, $P = P_1 + P_2 + P_3$ 。这里,1区的后向散射光信号受气泡幕的影响很小,可忽略不计,则 $P_{10} = P_1$;3区的水体照射光以及后向散射光均受到气泡幕的衰减,因此, $P_{30} > P_3$;2区气泡幕的后向光散射信号强度与气泡大小、密度、气泡幕厚度以及气泡幕与探测器之间的距离有关,气泡幕密度越大,厚度越大,与探测器之间的距离越近,则气泡幕的后向光散射信号越强。

因此,有气泡幕存在时后向光散射信号是否会得到增强,主要取决于气泡幕的后向光散射信号强度。当气泡幕信号较强, $P_2 + P_3 > P_{20} + P_{30}$ 时, $HNR > 1$ 信号得到增强;当 $P_2 + P_3 = P_{20} + P_{30}$ 时,

$HNR = 1$,信号强度不变;当气泡幕信号较弱, $P_2 + P_3 < P_{20} + P_{30}$ 时, $HNR < 1$,信号反而会减弱。

2.2 水体后向光散射干扰抑制

从光学遮挡这一思路出发,考虑从光学设计上实现对近距离水体的后向光散射信号进行抑制,从而提高系统对气泡幕的探测能力。激光器和接收器都有一定的视场,如将激光器和接收器分开一定的距离,则在近距离内将存在一定的盲区,在此范围内的水体所散射的光信号将不能进入接收器,从而实现了对近距离水体后向光散射信号的屏蔽。

如图2所示,探测器和激光器光轴平行,其间距为 D ,激光器的发散角为 θ_1 ,探测器的视场角为 θ_2 ,激光器与探测器的视场在距离 L 处交汇,则根据几何关系可得:

$$L = D / (\tan \frac{\theta_1}{2} + \tan \frac{\theta_2}{2}) \quad (1)$$

从式(1)可以看出, L 与 D 成正比。因此,在激光器发散角和接收器视场角一定的情况下,随着探测器与接收器之间距离的增大,所屏蔽的距离越远,近距离水体后向散射光将不能进入接收器的视场,从而实现了近距离水体后向光散射信号的抑制。

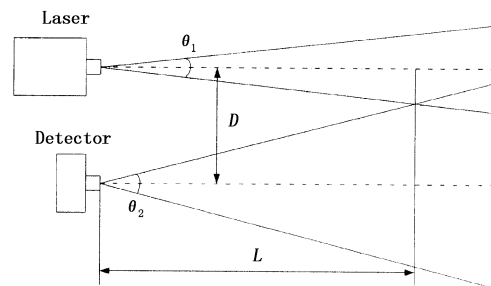


图2 原理示意图

3 实验结果及分析

3.1 实验系统

实验系统由激光器、气泡发生器和激光功率计三部分组成。气泡幕由置于水槽底部的微孔陶瓷管阵列产生,通过调节进入微孔陶瓷管阵列空气的压强来控制产生气泡的密度,气压越大,产生的气泡密度越大。采用半导体激光器作为照明光源,激光器输出功率为 100mW,波长为 532nm。采用高精度激光功率计对后向散射光进行接收,激光功率计探头面积为 1.0cm^2 ,精度为 1nW。功率计与激光器光轴平行,之间距离可以调整。为减小随机因素的影响,对 10s 内 2000 个测量值进行平均,作为相应条件下的后向散射光功率。

3.2 实验结果

在没有开启气泡幕的情况下,逐渐增大激光功率计与激光器之间的距离 D ,测量水体的后向散射光信号功率。然后,将气泡发生器分别放置于 2m, 4m, 6m 处,打开气泡幕并保持供气气压为 15kPa,对气泡幕的后向散射光信号功率进行测量,结果如图 3 所示。可以看出,当没有气泡幕时,后向散射光功率随距离的变化曲线是相当平滑的单调递减曲线,距离越近,水体后向散射光信号越强。随着激光功率计与激光器之间距离的增大,水体后向散射光信号迅速变弱,当距离从 3cm 增加到 43cm 时,后向散射光功率从 21.8nW 减小到 2.3nW。当有气泡幕存在时,随着探测器与激光器之间距离的增大,后向光散射信号功率大体上是逐渐减小的,但在局部区域会有起伏。当探测器与激光器之间的距离一定时,气泡幕距离越远,信号光功率越小,信号越弱。

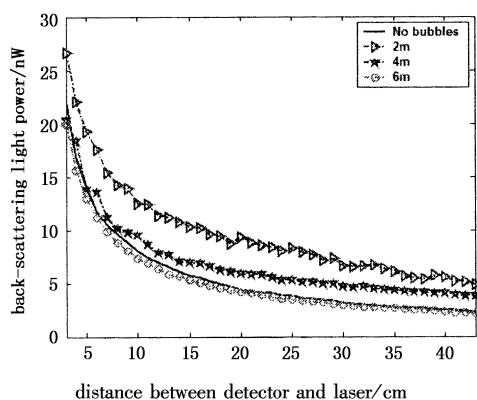


图3 后向散射光功率随距离的变化

将测得的信号与无气泡幕时的信号相比,求出各种条件下的 HNR,结果如图 4 所示。可以看出,当气泡幕距离为 2m 时,由于气泡幕的后向光散射信号较强,无论 D 大小, HNR 均大于 1,接收到的信号强度要大于没有气泡幕时的信号强度;当气泡幕距离为 4m 时, D 较小时, HNR 会在 1 上下浮动,当 D 稍大时, HNR 大于 1;当气泡幕距离为 6m 时,气泡幕的后向光散射信号较弱,无论 D 大小, HNR 均小于 1,接收到的信号强度要小于没有气泡幕时的信号强度。分析其原因,主要是因为气泡幕本身的后向光散射信号的强度与气泡幕的距离密切相关。当气泡幕距离较近时,气泡幕本身信号较强, $P_2 \gg P_{20}$, 从而 $P_2 + P_3 > P_{20} + P_{30}$, 所以 $\text{HNR} > 1$, 信号得到增强;当气泡幕距离较远时,气泡幕本身信号较弱, $P_2 < P_{20}$, 从而 $P_2 + P_3 < P_{20} + P_{30}$, 所以 $\text{HNR} < 1$, 信号减弱。

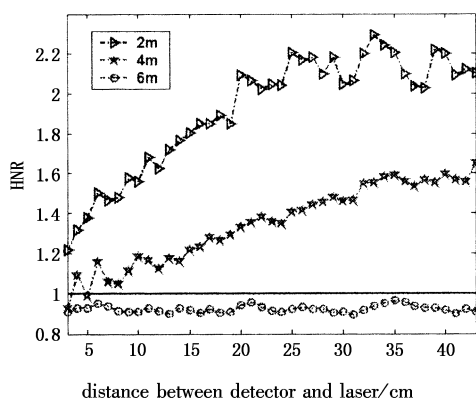


图4 有无气泡的差值随距离的变化

将气泡幕置于 4m 处,改变供气气压,求出不同气压下的 HNR,结果如图 5 所示。可以看出,当供气气压为 11kPa, 13kPa 时, HNR 在 1 上下浮动,当 D 较小时 HNR 小于 1,当 D 较大时 HNR 大于 1;当供气气压为 15kPa 时, $\text{HNR} > 1$,有气泡幕时的信号强度要明显大于无气泡幕时的信号强度。这是因为,当供气气压较大时,气泡密度较大,气泡幕的后向光散射信号较强,要远大于同一位置处水体的后向光散射信号,即 $P_2 \gg P_{20}$, 从而 $P_2 + P_3 > P_{20} + P_{30}$, 所以 $\text{HNR} > 1$, 信号得到增强;当供气气压较小时,气泡密度较小,气泡幕的后向光散射信号较弱, P_2 与 P_{20} 之间差别不大,从而 $P_2 + P_3$ 与 $P_{20} + P_{30}$ 之间差别不大,所以 HNR 在 1 上下浮动,信号有增强,有减弱,也有不变的。

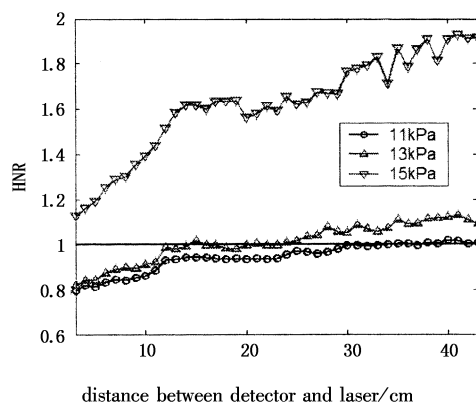


图5 有无气泡的差值随距离的变化

4 结论

理论和实验研究结果表明,由于水下气泡幕的存在,水体后向散射光强度不一定会增强。强度的变化主要取决于气泡幕本身的后向光散射信号强度,即取决于气泡幕的距离、密度、厚度以及探测器与发射器之间的距离等因素。因此,单纯采用强度测量的方法对气泡幕进行探测是不可靠的,需要从 (下转第 250 页)

在计算机对采集到的数据进行曲线绘制时,采用了 VC++6.0 进行编程,界面如图 10 所示。

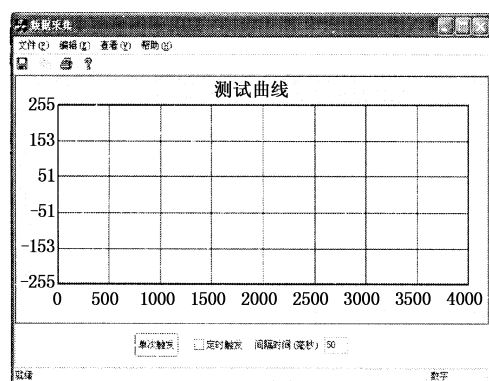


图 10 数据曲线绘制程序界面

图 11 和图 12 分别为 120ns 脉冲放大波形与采集到的波形。通道 2 为 DG535 产生的 120ns 脉冲波形,通道 3 为经过可变增益放大电路后的脉冲波形。通过对各个采样点的误差分析,电压幅度误差基本保持在 $\pm 30\text{mV}$ 以内。

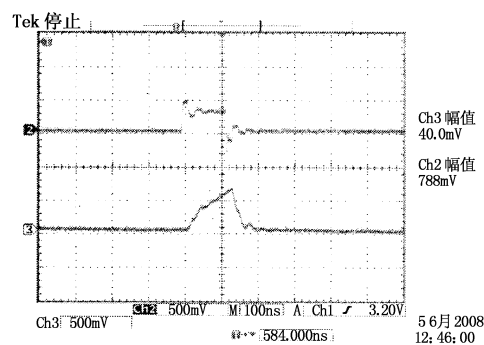


图 11 120ns 脉冲放大波形

(上接第 246 页)

其他方面如信号的时间特征、空间特征等寻找信号特征。另外,对同一距离上相同密度的气泡幕进行探测,适当增大探测器和发射器之间的距离,可以对水体的后向散射光信号进行抑制,提高有无气泡时的差异,从而提高系统探测性能。

参考文献:

- [1] Pereira F, Gharib M, Dabiri D, et al. Instantaneous whole field measurement of velocity and size of air microbubbles [C]//Tenth International Symposium on Application of Laser Techniques to Fluid Mechanics, Portugal, 2000, 38 (4): 1-11.
- [2] Zhang Xiaodong, Marlon Lewis. The volume scattering function of natural bubble populations [J]. Limnology & Oceanography, 2002, 47(5): 1273-1282.

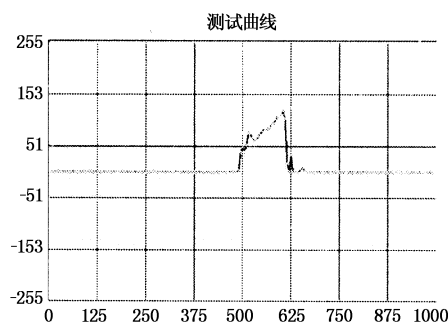


图 12 系统采样波形

5 结论

根据水下目标激光探测的特殊情况,设计并实现了一种水下脉冲激光回波信号采集系统。方案主要通过 AD603 可变增益放大电路减小了水体后向散射和目标回波信号幅度差;采用 FPGA 完成 A/D 高速数据流的缓冲,增强了系统的可靠性;在系统控制及数据传输方面采用 C8051F 系列高速单片机,提升了系统的整体性能。从数据采集测试结果来看,达到了预期目标并能够应用在实际的水下脉冲激光信号采集系统中。

参考文献:

- [1] 何乐生,王顺. AD603 在振动信号采集系统中的应用 [J]. 电子产品世界, 2002, 10: 26-28.
- [2] 汤少维. 基于 FPGA 控制的高速数据采集系统设计与实现 [D]. 成都: 电子科技大学, 2007: 33-67.
- [3] 张雪萍, 童子权, 等. 高速数据采集系统中时钟的设计 [J]. 国外电子测量技术, 25(9): 12-15.
- [3] Zhang Xiaodong, Marlon Lewis, Bruce Johnson. Influence of bubbles on scattering of light in the ocean [J]. Applied Optics, 1998, 37(27): 6525-6536.
- [4] Alexander A Kokhanovsky. Optical properties of bubbles [J]. Journal of Optics A. 2003, 5: 47-52.
- [5] Alexander A Kokhanovsky. Single light scattering: bubbles versus droplets [J]. America Journal of Physics, 2004, 72 (2): 258-263.
- [6] 刘继芳, 雷卫宁, 冀邦杰. 光检测尾流特征中抑制背景干扰的方法 [J]. 鱼雷技术, 2007, 15(2): 24-27.
- [7] 马治国, 王江安, 蒋兴舟. 水体散射对气泡后向光散射特性的影响 [J]. 激光与红外, 2007, 37(11): 1153-1155.
- [8] 马治国, 王江安, 石晟玮. 水中气泡激光后向散射衰减特性研究 [J]. 激光与红外, 2008, 38(1): 14-16.