文章编号:1001-5078(2009)05-0477-03

· 激光技术与应用 ·

激光致声信号分析

王雨虹,王江安,马治国 (武汉海军工程大学电子工程学院光电研究所,湖北武汉 430033)

摘 要:对激光声的信号特征进行分析。设计激光声产生系统,获取并测量激光声信号,求出 激光声信号的功率谱、模糊函数、水中的距离分辨力和多普勒分辨常数,从理论上初步证明了 激光声信号的距离分辨力达到3.3mm,比现有图像声呐的分米级的距离分辨力高;激光声信 号的频率分辨常数大,适合于探测静止或速度低的目标。因此,激光声可作为对多普勒频率不 敏感图像声呐的声源。

关键词:激光致声;声呐;声源

中图分类号:0426.3 文献标识码:A

Analysis of the laser induced sound

WANG Yu-hong, WANG Jiang-an, MA Zhi-guo

(College of electronic Engineering, Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China)

Abstract: The characteristics of laser induced sound are analyzed. An experimental system is developed for producing the laser induced sound. The power spectrum and the ambiguity function are analyzed. The range resolution and the Doppler resolution constant of the laser induced sound are determined. It is basically proved in theory that the range resolution is 3.3mm and the Doppler resolution constant is large. The laser induced sound can be a kind of sound sources as high resolution image sonars which are not sensitive to Doppler frequency.

Key words: laser induced sound; sonar; sound source

1 引 言

在透明液体中,当激光脉冲在能量和功率上达 到或超过液体的击穿阈值时,会引起光击穿^[1-2]。 光击穿会伴随着光、声和空泡脉动等现象^[2-3],其 中击穿时等离子体膨胀产生的声和随后的空泡脉 动产生的声统称为激光声。把激光声作为探测声 源在国内外均有研究,但是对激光声特性的分析 较少^[4-5]。

本文通过实测数据对激光声信号的距离分辨力 和频率分辨力进行分析,从理论上对激光声作为高 分辨力图像声呐的声源。

2 实验系统

如图 1 所示,激光脉冲宽度 8ns,波长 1064nm, 能量在 428~663mJ 范围内可调,水听器的线性响 应频带为(2~600)kHz。发射的激光脉冲经过非 球面透镜会聚后,通过消声水槽的玻璃窗口聚焦 到水中,产生光击穿效应。除透光玻璃外,消声水



基金项目:预研基金项目(No. 51400010105JB1101);预研重点 基金项目(No. 9140A14060207JB11)资助。

作者简介:王雨虹(1974 -),博士,专业方向为数字通信理论与 技术。E-mail:wyhlgx230@126.com

收稿日期:2008-10-22

槽的六个面上均布满吸声尖劈,这样可大大减少壁 面反射的影响。激光脉冲能量 600mJ,水听器距离 击穿点 15cm。

3 激光声信号特征

3.1 激光声信号的时域特征

测得的激光声信号如图 2 所示,第一个尖峰是 等离子体膨胀声波,第二个尖峰是空泡溃灭声波。 由于速度测量精度和分辨力取决于信号的时域结 构,可见,该激光声信号的持续时宽窄,速度分辨 力差。



3.2 激光声信号的频域特征

图 3 是信号的功率谱图,超过归一化功率 0.5 的频率按照归一化功率值从大到小的顺序排列为 134.39 kHz,18.41 kHz,1.84 kHz 和 117.82 kHz。 134.39 kHz 频率分量由空泡溃灭声波产生, 117.82 kHz频率分量主要由等离子体声波产生, 1.84 kHz频率分量主要由等离子体声波和空泡声波 之间的时间间隔产生。整个激光声声波的能量集中 在 250 kHz 以下,信号频率的总宽度达 200 kHz,距 离分辨力高。



3.3 激光声信号的距离分辨力和多普勒分辨常数 设:

$$\chi(\tau,\xi) = \int_{-\infty}^{\infty} u(t) u^* (t+\tau) e^{j2\pi\xi t} dt$$
(1)
则模糊函数^[6]:

 $\psi(\tau,\xi) = |\chi(\tau,\xi)|^2$ (2)

全面考虑主瓣和旁瓣,则时延分辨常数为^[6]:

$$A_{\tau} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} |\chi(\tau,0)|^2 d\tau}{|\chi(0,0)|^2} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} |U(f)|^4 df}{\left[\int_{-\infty}^{\infty} |U(f)|^2 df\right]^2} \quad (3)$$

多普勒分辨常数^[6]为:

$$A_{\xi} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} |\chi(0,\xi)|^2 d\xi}{|\chi(0,0)|^2} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} |U(t)|^4 dt}{\left[\int_{-\infty}^{\infty} |U(t)|^2 dt\right]^2}$$
(4)

声呐的距离分辨力为^[6]:

$$\Delta R = cA_{\tau}/2 \tag{5}$$

其中, $\chi(\tau,\xi)$ 为模糊函数; τ 为时间延迟; ξ 为多普勒 频移;U(t)为信号波形;t为时间;U(f)为信号的傅 里叶变换;f为信号频率; A_{τ} 为时延分辨常数; A_{ξ} 为 多普勒分辨常数; ΔR 为距离分辨力;c为水中声速。

图 4 是模糊函数的立体图,图 5 为模糊函数 $\psi(\tau,\xi) = 0.5 即模糊函数在 3dB 处截取的等高线$ 图,图 6 是图 5 的局部放大图,图 6 中类似菱形的区域为模糊区。模糊函数给相邻目标的距离 – 速度联合分辨提供了一个保守的估计,把检测阈设为 0.5, $目标 1 的 <math>\tau = 0, \xi = 0, 把目标 1 作为参考目标,则目$ 标 2、目标 3 与目标 1 混在一起难以分辨,而可以分辨目标 1 与目标 4。



行分辨。



图 7 是距离模糊函数 $\psi(\tau, 0)$ 视图,表示观测目标相对观测点的径向速度等于 0 时情况,如果以归一化幅值等于 0.5 为阈值,在同一径向上两目标之间的时间延迟为几微秒时就能把目标在距离上区分开。图 2 信号的 A_{τ} = 4.4 µs,水中的最小距离分辨力 ΔR = 3.3 mm,该信号对水中目标的距离分辨力极高,适合对小目标或大目标的细微特征在距离上进



图 8 是速度模糊函数 ψ(0,ξ)的视图,当目标在 同一径向上距离相同即时间延迟等于 0 的情况,如 果以归一化幅值等于 0.5 为阈值,可知当在同一径 向上的两个目标之间的多普勒频率相差 150kHz 左 右才能把不同目标区分开。



根据计算 A_ε = 146. 2kHz, 多普勒分辨频率过 大, 不适于对目标的速度进行测量, 但激光声信号可 作为对多普勒频率不敏感声呐的声源。

4 结 论

对实测的激光声信号进行分析,结果表明:激光 声信号的距离分辨力达到3.3mm,满足作为高分辨 力图像声呐声源的要求。另外,激光声信号的多普 勒分辨频率过大,不适于对目标的速度进行测量,但 可作为对多普勒频率不敏感图像声呐例如猎雷声呐 的声源。

激光声是激光应用的一个重要方面。激光声信 号适合于探测静止小目标如海底光缆、水雷以及飞 机失事时的黑匣子等,也适合探测大目标的细微特 征^[7],具有较大的军事和民用应用潜力。

参考文献:

- Brujan E A, Vogel A. Stress wave emission and cavitation bubble dynamics by nanosecond optical breakdown in a tissue phantom [J]. J. Fluid Mech., 2006, 558: 281-308.
- [2] A Vogel, J Noack, K Nahen, et al. Energy balance of optical breakdown in water at nanosecond to femtosecond time scales [J]. Appl. phys. B, 1999, 68:271 – 280.
- [3] Vogel A, Bush S, Parlitz U. Shock wave emission and cavitation bubble generation by picosecond and nanosecond optical breakdown in water [J]. J. Acoustic. Soc. Am, 1996,100(1):148-165.
- [4] 李荣福,崔桂华,田作喜,等.激光声遥感技术[M].北 京:国防工业出版社,2003:3-64.
- [5] F Blackmon, L Antonelli, A Kalinowski. A remote optical system for port and harbor defense [J]. Proc. of SPIE, 2005, 5780:99 - 106.
- [6] 林茂庸,柯有安. 雷达信号理论[M]. 北京:国防工业 出版社,1984:93-127.
- [7] 刘孟庵.水声工程[M].杭州:浙江科学技术出版社. 2002:341-371.