

激光声信号作为通信声源的实验研究

王晓宇,王江安,宗思光,刘涛
(海军工程大学电子工程学院,湖北武汉430033)

摘要:建立了激光声测量实验系统,采用Nd:YAG激光器产生激光声信号,利用水听器测量激光声信号。通过实验分析了单个激光声信号的特征,研究了激光声信号的传输特性,进行了初步的激光声通信实验。结果表明,利用激光声作为通信声源具有可行性。随着传输距离的增加,激光声信号的衰减由快变慢,高频段能量衰减变快,低频段能量衰减变慢。该研究结果有助于激光声在通信领域的发展应用。

关键词:激光声;光击穿;声信号;实验研究

中图分类号:TN249 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2011.08.007

Experimental study on communication using laser-generated sound

WANG Xiao-yu, WANG Jiang-an, ZONG Si-guang, LIU Tao
(Department of Engineering, Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China)

Abstract: An experimental system for measuring the laser-generated sound is set up. Using Nd:YAG lasers to produce the laser-generated sound, a hydrophone is used to measure it. We analyze the characteristics of a single laser-generated sound, research the transmission characteristics of the laser-generated sound and use it to communicate in experiments. The conclusions are as follows: Firstly, it is available to use the laser-generated sound to communicate; Secondly, as the transmission distance increases, the attenuation speed of the laser-generated sound slows down, energy attenuation gets quicker in high frequency and slower in low frequency. The results of research are helpful to the development of laser-generated sound in the field of underwater communication.

Key words: laser-generated sound; optical breakdown; acoustic signal; experiment investigation

1 引言

传统的对水下目标的通信方式主要有超低频,甚低频通信,以及蓝绿激光通信。前两者通信速率低,所采用的设备体积庞大,成本很高。蓝绿激光通信虽然具有较好的海水穿透性,但是由于这种通信方式使用经大气传播的光波,在大气中会引起光散射,造成信号的衰减。并且在海水较浑浊的区域,其传输距离只有几米^[1-3]。

高重频红外波段激光束聚焦于水中,当聚焦区域的激光能量密度达到或超过水的击穿阈值时,会引起水介质的光击穿^[4],光击穿会伴随着等离子体

闪光、空泡脉动和声辐射等现象^[5]。光击穿时等离子体空泡膨胀产生的声波和随后空泡溃灭产生的声波统称为激光声。可以考虑利用激光声作为通信声源,实现由空中至水下目标之间的通信。在空中向水下发射的激光信号,经过激光与水的作用,激光能量转化为在水中传播的声能,水下目标对声信号接

基金项目:国家“863”计划(No. 2009AAJ139); 预研基金(No. 51400010105JB1101)资助。

作者简介:王晓宇(1987-),男,硕士研究生,主要从事激光声方面的研究。E-mail: xiaoyu198725@sina.com

收稿日期:2011-03-02; **修订日期:**2011-03-28

收,从而实现由空中至水下的通信过程。这种通信方式,空中利用激光,水中利用声波,激光和声波分别在空气和水中具有良好的传输性能,两者结合技术优势明显。采用激光声技术为空中至水下平台间的信息传递可提供新的技术途径,在未来的通信、海洋探测中将具有巨大的应用前景。

美国学者 Blackmon 等人对激光声信号应用于水下通信开展了深入的研究,对激光声信号的产生机理,激光声应用于通信时采用的调制方式,空中利用激光检测声信号等进行了理论和实验研究,并取得了一定的成果^[6-7]。

本文通过进行实验,研究了单个激光声信号的特征,从时域频域分析了激光声的传输特性,利用设计的调制器进行了初步的激光声编码通信实验。研究结果可以推进激光声在通信领域中的发展。

2 实验设计

研究激光声作为通信声源的实验系统如图 1 所示,实验采用调 Q Nd:YAG 激光器输出脉冲激光 ($\lambda = 1.06 \mu\text{m}$, 脉冲宽度 8 ns)。激光光束经棱镜转向,经凹透镜扩束,再通过凸透镜形成平行光,最后经过消象差非球面凸透镜聚焦,在聚焦点发生光击穿,对光击穿辐射的激光声信号通过无指向性的水听器进行接收。水听器的线性频带宽度为 2 ~ 600 kHz,灵敏度级为 -216 dB(参考值为 $1 \text{ V}/\mu\text{Pa}$)。利用 Agilent7104A 型示波器显示水听器接收到的激光声信号,并把数据保存到计算机中研究。

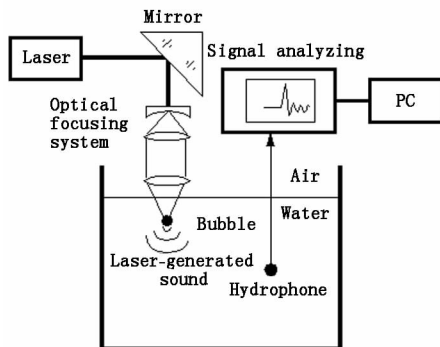


图 1 激光声实验系统图

Fig. 1 diagram of laser-generated sound experiment system

3 实验分析

3.1 单个激光声信号的分析

单个激光声信号的时域波形如图 2 所示,激光击穿水形成激光声的时间序列主要包括两个脉冲。图 1 中标号 1 表示的是激光击穿水形成等离子体空

泡膨胀瞬间辐射的声信号,标号 2 表示的是空泡第一次溃灭时辐射的声信号。空泡膨胀和溃灭时辐射声信号的展开波形如图 3、图 4 所示。从信号的能量来看,激光空泡辐射的声信号能量主要集中在空泡第一次膨胀,溃灭时。从激光空泡第一次膨胀溃灭的时域展开图可以看出,脉冲波形持续的时间非常短,约 $20 \mu\text{s}$,其两次辐射声脉冲具有相似性,能量相差不大。

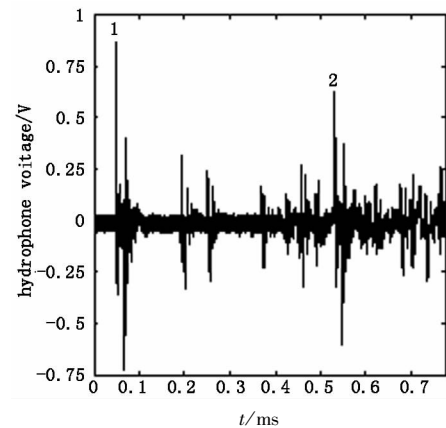


图 2 单个激光声信号

Fig. 2 single laser acoustic signal

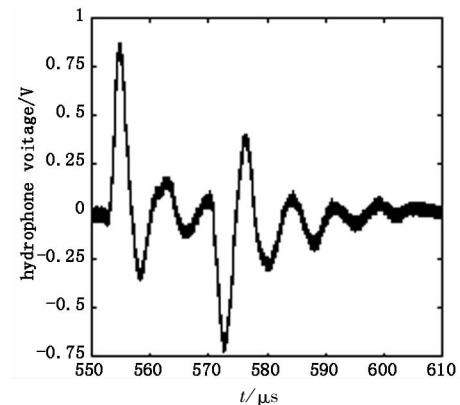


图 3 激光等离子体空泡膨胀辐射声信号

Fig. 3 cavity expansion radiation acoustic signal of laser plasma

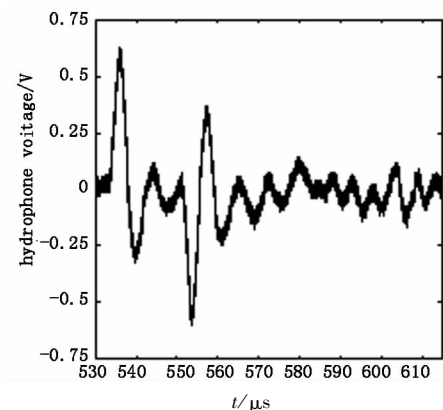


图 4 激光空泡第一个溃灭辐射声信号

Fig. 4 the 1st close radiation acoustic signal of laser cavitation

对图2所示的激光声信号作频谱分析,可得到激光声信号的频率特性,如图5所示。频率分析表明,激光声信号的主频为26 kHz,98 kHz,136 kHz。激光声信号的频谱非常宽,从几赫兹到几百千赫兹,应用于水下通信时有利于提高保密性。

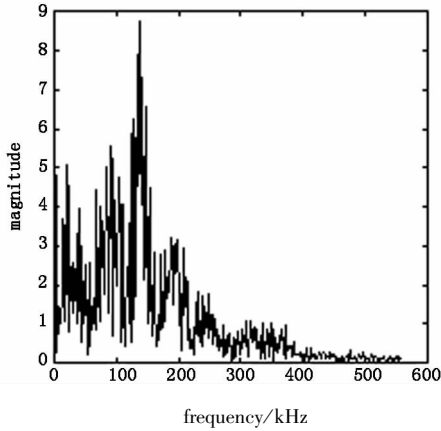


图5 激光声信号频谱图

Fig. 5 spectrum of laser acoustic signal

3.2 激光声信号的传输特性

在实际通信过程中,激光声信号的传输特性是对通信有很大影响的因素,通过进行实验,对激光声信号随着传输距离增加的衰减情况进行了分析,如图6所示,通过分析可知:①激光声传输距离变大时,激光声信号强度衰减速度由快变慢;②等离子体空泡膨胀声波峰值声压高于空泡溃灭声波峰值声压,随着传输距离的增加两者之间的差距变小,当传输距离大于45 cm时,两者差距再次变大。

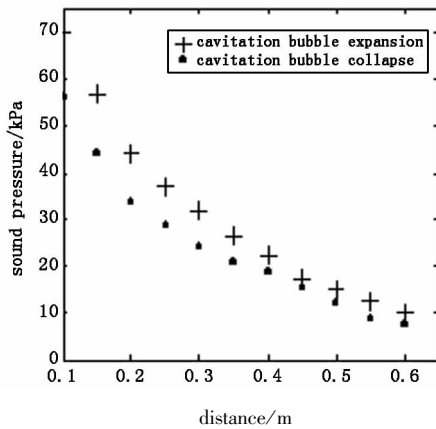


图6 激光声信号强度与传输距离的关系

Fig. 6 relation between laser acoustic signal intensity and transmission distance

对激光声信号进行频谱分析,得到其在15 cm,30 cm,45 cm,60 cm处的频谱分别如图7~图10所示。通过分析可知,激光声信号的主频较稳定,在

30 kHz,140 kHz左右。

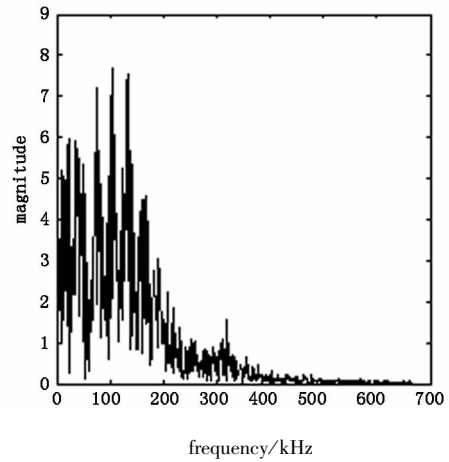


图7 15 cm处激光声信号频谱图

Fig. 7 spectrum of laser-generated sound at distance of 15 cm

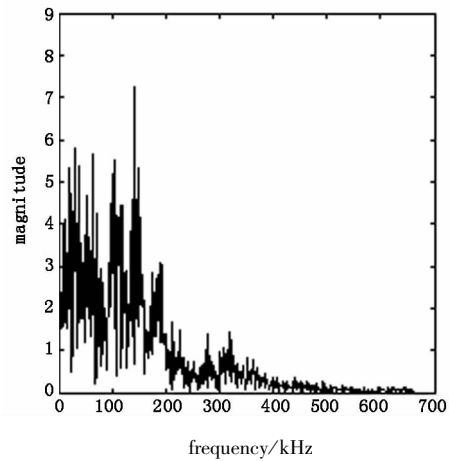


图8 30 cm处激光声信号频谱图

Fig. 8 spectrum of laser-generated sound at distance of 30 cm

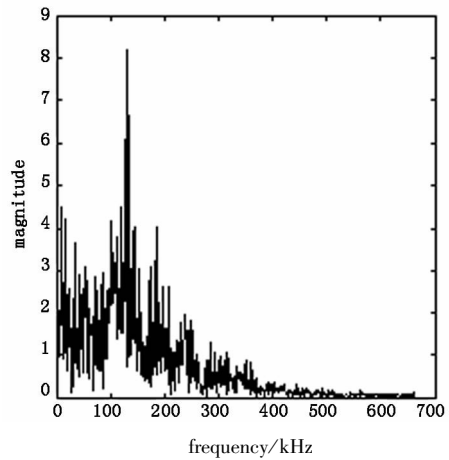


图9 45 cm处激光声信号频谱图

Fig. 9 spectrum of laser-generated sound at distance of 45 cm

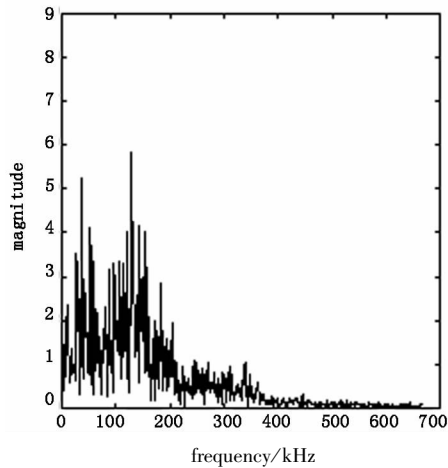


图10 60 cm处激光声信号频谱图

Fig. 10 spectrum of laser-generated sound at distance of 60 cm

为了研究激光声信号在不同频段上能量的变化情况,将激光声信号分为四个频段:0~100 kHz, 100~200 kHz, 200~300 kHz, 300~400 kHz。以激光声信号在15 cm处各频段能量作为基准1,得出随着传输距离的增加,激光声信号在各频段上能量变化如表1所示。经过分析,得出结论如下:①从总体上看,100~200 kHz频段上能量随传输距离增加衰减速度最快;②总体看来,信号高频段(200~400 kHz)能量变化比低频段(0 Hz~200 kHz)能量变化小;③随着传输距离的增加,信号高频段(200~400 kHz)能量衰减变快,低频段(0 Hz~200 kHz)能量衰减变慢。

表1 激光声在不同传输距离上的频谱能量分布
Tab. 1 energy distribution of laser-generated sound in different transmission distances

距离/cm \ 频段/kHz	15	30	45	60
0~100	1.00	0.83	0.52	0.47
100~200	1.00	0.64	0.45	0.41
200~300	1.00	0.91	0.89	0.74
300~400	1.00	0.93	0.92	0.77

由于实验条件的限制,对激光声信号传输距离的研究无法通过实验进行。根据以往学者的实验结论,声源级180 dB、主频25 kHz的声信号在水介质中的传播距离可达上千米^[3]。采用调Q Nd:YAG激光器输出能量500 mJ脉冲激光产生的激光声信号声源级可以达到200.5 dB,主频在30 kHz,140 kHz左右。通过增加激光脉冲能量,可以提高激光声信

号的声源级^[8],并且降低激光声信号的主频^[9]。进而提高其传输距离。随着高功率激光器的使用以及激光声技术的成熟,激光声信号的传输距离达到几千米,几十千米都是有可能实现的。

3.3 激光声通信的实验验证

3.3.1 激光声通信的过程

激光声通信首先要确定采用的调制方式,即使得激光声信号按照一定规律变化,通过其有规律的变化携带不同的编码信息。再对要发送的消息进行编码,即将要传递的消息转化成按照一定规律变化的激光声信号的组合。确定以上步骤后,利用相应的电脉冲驱动激光器,产生相应的激光信号,激光聚焦于液体中,击穿液体产生相应的激光声信号,声信号经过传输后被收音者接收,再通过对激光声信号的解调,最终完成激光声通信。综上所述,激光声通信的过程可以如图11所示。

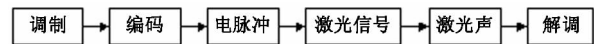


图11 激光声通信流程图

Fig. 11 diagram of communication using laser-generated sound

3.3.2 激光声信号调制方式的研究

激光声通信中可以采用的调制方法有调幅(ASK)和调频(FSK)两种:调幅是指激光的振幅(功率)按一定的规律变化,进而使产生的激光声信号振幅按同样规律变化,通过振幅的变化来携带编码信息;调频就是让激光的产生频率按一定的规律变化,产生频率按同样规律变化的激光声信号,使不同发生频率的激光声信号代表不同的编码信息。在本实验中,采用调幅方式进行激光声通信,由于激光器的能量输出较稳定,产生的激光脉冲能量变化很小,使得产生的激光声信号幅度较稳定。因此利用通断键控方式来实现对激光声信号的调制,即以激光声信号的有无表示不同的编码信息。

3.3.3 激光声通信实验结果分析

在实验中,设计了专门用于激光声通信的激光声信号调制器。利用该调制器可以实现调幅方式进行激光声通信,在接收端利用水听器对信号进行接收,接收的信号送示波器显示。在发送码元为110111010001100011时,示波器接收到的信号波形如图12所示。

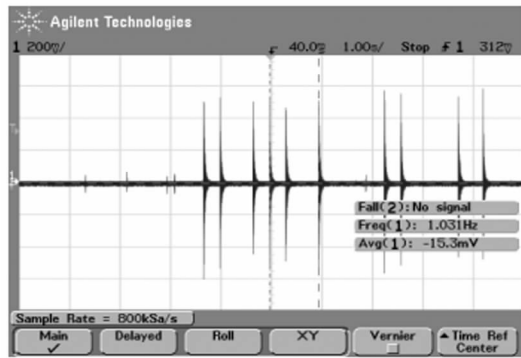


图12 激光声通信实验结果

Fig. 12 results of laser-generated sound communication

从实验结果可以看出,接收端信号较明显,脉冲波形好。信号幅度变化较小,信号之间的时间间隔较稳定,在实验中未发生通信过程中的码元丢失现象,可见激光声通信的可靠性较高。将来随着激光器设备的性能提升,以及对激光声通信技术的深入研究,可以实现更高速率的激光声通信,为激光声通信走向实际应用奠定更坚实的基础。

4 总结

通过实验,研究了利用激光声进行通信的可行性。结论:激光声作为声源进行通信具有可行性;随着激光声传输距离的增加,激光声信号峰值声压逐渐衰减,其衰减速度随着传输距离增加由快变慢;利用调幅方式进行了激光声通信实验,并成功完成了信号的接收,取得了理想的实验结果。由于研究是在实验室完成,通信环境较理想。在实际的通信过程中,由于海面波浪起伏,使得激光声信号的聚焦位置发生变化,进而在接收端可能产生信息的丢失现象。另外,实验中接收端的信息没有进行解调。

在今后的研究中,将会模拟实际的通信环境,并设计相应的激光声信号解调器,对激光声通信进行更深入的研究,使得激光声通信得到更大的发展。

参考文献:

- [1] Zhao Changming, Huang Jie. Development of laser-submarine communication and detection technology in the future [J]. Optical Technique, 2001, 27(1): 53 - 57. (in Chinese)
- [2] Wang Zudian. Airborne anti-submarine non-acoustic detection equipment [J]. Electronics Optics & Control, 2006, 13(4): 6 - 8. (in Chinese)
王祖典. 航空反潜非声探设备[J]. 光电与控制, 2006, 13(4): 6 - 8.
- [3] Li Rongfu, Cui Guihua, Tian Zuoxi, et al. Laser-acoustic remote sensing technique [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2003. (in Chinese)
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.
- [4] Paul K Kennedy, Stephen A Boppart, Daniel X Hammer, et al. A first-order model for computation of laser-induced breakdown thresholds in ocular and aqueous media; Part I Theory [J]. IEEE J. Quantum Electron, 1995, QE-31: 2241 - 2249.
- [5] 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.
- [6] F Blackmon, L Antonelli. Remote, aerial, opto-acoustic communication and sonar [J]. SPIE, 2005, 5778: 800 - 808.
- [7] L Antonelli, F Blackmon. Experiment demonstration of multiple pulse non-linear opto-acoustic signal generation and control [J]. Applied Optics, 2005, 44(1): 103 - 112.
- [8] Wang Yuhong, Wang Jiangan, Zong Siguang, et al. Coincidence relation between laser pulse energy and hydroacoustic speciality [J]. Laser & Infrared, 2008, 38(10): 981 - 984. (in Chinese)
王雨虹, 王江安, 宗思光, 等. 激光声特性与激光脉冲能量对应关系研究 [J]. 激光与红外, 2008, 38(10): 981 - 984.
- [9] Li Shengyong, Hu Shengliang, Liu Xiaoran, et al. Spectrum properties of laser-induced cavitation bubble collapse sound waves [J]. Laser Technology, 2007, 31(3): 281 - 285. (in Chinese)
李胜勇, 胡生亮, 刘晓然, 等. 激光空泡溃灭辐射声波声谱特性研究 [J]. 激光技术, 2007, 31(3): 281 - 285.