

信号延时叠加提高激光雷达探测信噪比

姜海娇, 来建成, 王春勇[†], 卞保民, 李振华

(南京理工大学 理学院, 南京 210094)

摘 要:以激光雷达回波信号的频谱特征为基础,提出了用信号延时叠加来提高激光雷达探测信噪比的方法.通过实验测量获取了大量激光雷达回波信号,并以此为基础,讨论了信号延时叠加提高激光雷达探测信噪比的可行性.结果表明:在系统带宽 50 MHz、回波脉宽 30 ns 的条件下,通过信号延时叠加可提高激光雷达的探测信噪比在 40% 以上,且存在最佳的延时时间.

关键词:激光雷达;信噪比;信号延时叠加

中图分类号: TN958.98

文献标识码: A

文章编号: 1004-4213(2009)08-1897-4

0 引言

激光雷达是一项非常重要的军民两用技术,它在大地测量、大气测量、数字化城市、立体视觉和地质勘测等民用领域^[1-4]有着重要的应用.在军事上,它通常用作灵巧弹药的末端敏感器^[5]、新型寻的器以及障碍物回避^[5-6]等.例如,洛克希德·马丁·沃尔特公司的小型有翼制导子弹药和美国的 AGM-129A 先进巡航导弹上均装备了激光雷达寻的器.这些应用促使激光雷达向着小型化的方向发展,因此如何在小型化条件尽可能提高激光雷达的探测能力成为激光雷达领域的一个重要研究内容.

由激光雷达的信噪比方程可知,信噪比可以用于直接衡量激光雷达的探测能力,通过提高探测信噪比可以提高激光雷达的探测能力.探测信噪比每提高 1 dB 激光雷达最大测程提高 0.5 dB,因此提高激光雷达的探测信噪比是提高探测能力的核心所在.为此,各种先进的信号处理方法被用来提高激光雷达的探测信噪比^[7-11],例如信号累积^[7-8]和相关检测^[9-11]等.现有研究表明,信号累积探测后的信噪比与累加次数成平方根关系,是提高激光雷达探测信噪比的有效方法,但是这种方法难以实现实时测量;相关检测在很大程度上可解决实时性问题,但是其运算复杂、需耗费巨大的软硬件资源.为此,本文提出了利用信号延时叠加提高激光雷达探测信噪比的新方法,该方法具有实时性好、硬件实现简单等突出优点.

1 实验装置

激光雷达回波获取装置见图 1.

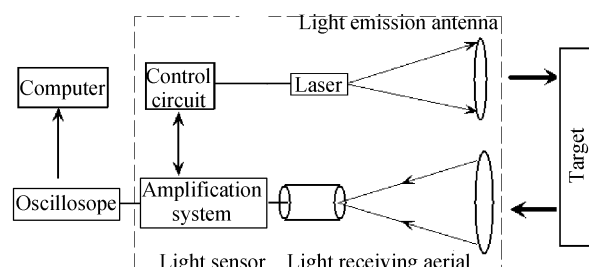


图 1 激光雷达回波信号获取装置

Fig. 1 Experimental setup of laser radar echo signal acquisition

如图 1,控制电路控制激光器发射一探测激光脉冲,经光学发射天线准直后垂直入射到探测物体表面;反射光信号被接收光学系统聚焦到光电探测器上转化为电信号,并由后继放大电路放大后被示波器采样并保存,交由计算机处理.该装置包括激光雷达样机、目标和信号采集装置三个部分.图中虚线框部分为激光雷达样机,该样机的工作频率为 10 kHz,激光发射功率 70 W、脉宽为 30 ns,发射有效口径 12 mm,接收有效口径 14 mm,电路系统带宽 50 MHz.实验中的激光雷达目标为 5 m×8 m 白墙,在 905 nm 处的目标反射率为 80%,目标距离为 150 m.实验中使用 Tektronix 2.5 GHz 型示波器采集和保存数据.示波器带宽 500 M,采样率 2.5 GHz.

2 激光雷达的回波特征与延时叠加技术

利用图 1 所示的实验装置,分别在不同信噪比条件下,采集了 20 组白墙目标的激光雷达回波信号.图 2 给出了其中一幅典型回波信号波形.

由图 2 可知,在 0.0 ns 到 400 ns 区间内是激光发射过程引起的干扰信号,可以通过距离选通消除对测距过程的影响;在 1 μs 处的脉冲是从目标返回

[†] Tel: 025-84315019 Email: wangcyong@mail.njust.edu.cn
收稿日期: 2008-06-08 修回日期: 2008-09-09

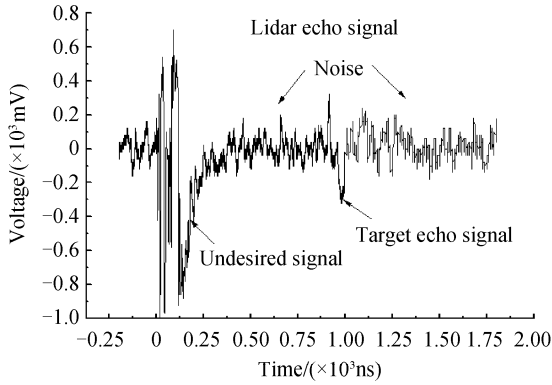


图2 150 m 典型激光雷达目标回波信号
Fig.2 150 m typical target echo signal of laser radar

的激光回波信号,其脉宽为 30 ns、峰值电压为 -480 mV;其余时间段内是背景噪音信号小于 300 mV.用功率信噪比来分析该类信号的信噪比值,其定义为

$$SNR = \frac{P_{sm}}{P_n} = \frac{V_{sm}^2}{\frac{1}{T_2} \int_{t=0}^{t=T_2} V_n^2(t) dt} \quad (1)$$

根据式(2),可得图 2 所示探测信号的信噪比值为 17.56.

为了能更好地反映激光雷达探测信号的特征,对 400 ns 之后的探测信号进行了频谱分析,结果如图 3 和 4.图 3 为激光回波的振幅谱和相位谱,图 4 为噪音信号的振幅谱和相位谱.从振幅谱看,激光回波的频谱宽度大约为 25 MHz,噪音信号的频谱宽度大约为 50 MHz,噪音信号频带宽度大于激光雷达目标回波信号频带宽度.这里频谱宽度是指集中信号 90% 以上能量范围的频带宽度^[12].另外,激光回波的相位谱具有较好的相关性,而噪音具有随机性.激光回波和噪音在相位谱上的这种特性正是信号累加提高探测信噪比的物理基础.

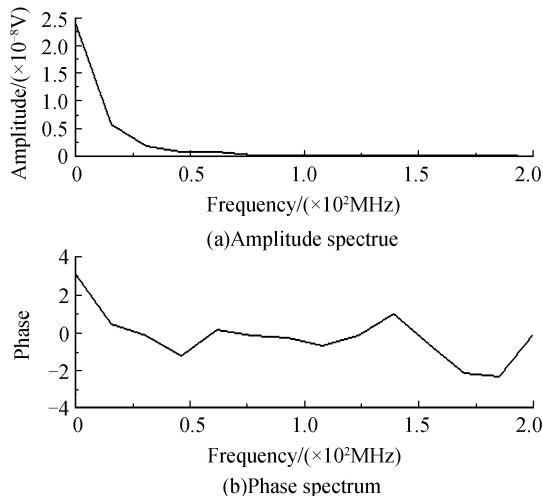


图3 激光雷达目标回波信号的振幅谱与相位谱
Fig.3 Amplitude spectrum and phase spectrum of target echo signal of laser radar

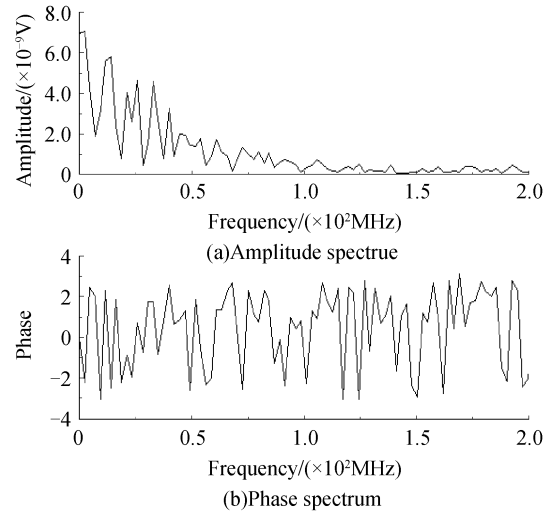


图4 噪音信号的振幅谱与相位谱
Fig.4 Amplitude spectrum and phase spectrum of noise signal

考虑到噪音频谱宽度大于激光回波的谱宽这一信号特征,将激光回波与噪音信号同时经适当延时后叠加,考察各独立谱分量对应叠加后的结果.就每个独立谱分量的叠加而言,有类似光学干涉的现象,随着延时时间增加,将会逐渐出现相消的现象.因此,只要延迟时间合适,就可使噪音的减小明显大于信号的减小量.

图 5 信号延时叠加的原理框图,设 $s(t) + n(t)$ 为放大器输出端的原始信号,其中 $s(t)$ 为激光回波

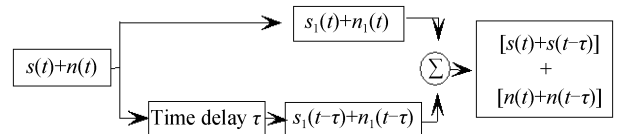


图5 信号延时叠加原理
Fig.5 Schematic diagram of time-delay superimposition

信号, $n(t)$ 为噪音信号.将该原始信号分为两路,使其产生相对延时 τ ,则有 $s_1(t) + n_1(t)$ 和 $s_2(t) + n_2(t) = s_1(t - \tau) + n_1(t - \tau)$.因此将信号延时叠加之后,产生新的信号波形

$$S(t) = [s(t) + s(t - \tau)] + [n(t) + n(t - \tau)] \quad (2)$$

3 信号延时叠加在提高激光雷达探测信噪比中的应用

以实验信号、式(1)和第 2 节中的实验数据为基础进行了计算分析.考察不同延时时间对信噪比提高的影响,延时时间以 0.4 ns 成倍增加,最大延时时间小于激光回波信号的宽度.图 6 是图 2 所示探测信号经 14.8 ns 延迟叠加后的信号波形,此时的信噪比为 25.57,高于延迟叠加之前信号的信噪比 45.6%.

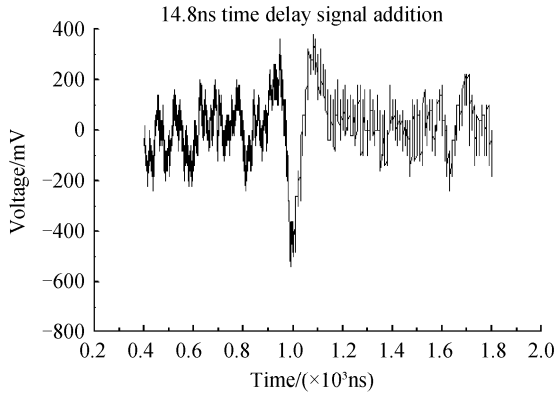


图 6 延时 14.8ns 叠加波形

Fig. 6 Superimposing waveform with 14.8ns time delay

图 7 给出了不同初始信噪比条件下,延时叠加后的探测信噪比随延迟时间的变化曲线.图 8 给出了延时叠加后探测信噪比相对于初始探测信噪比的提高量.从图 7 和 8 中的曲线可以看出,随着延时时间的增加,激光雷达信噪比先增大,到达最大值之后,开始减小.表 1 给出了信噪比情况下,经延时叠

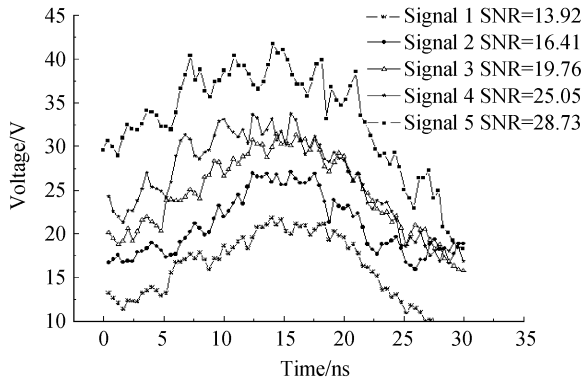


图 7 延时叠加信噪比随延迟时间的变化

Fig. 7 Time-delay SNR variety along with delay time

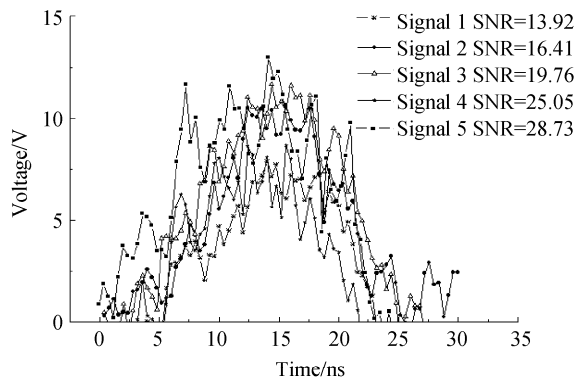


图 8 延时叠加信噪比相对于初始信噪比的提高量

Fig. 8 Time-delay SNR improvement contract to original SNR

表 1 延时叠加激光雷达最佳探测信噪比

序 号	初始信 噪比	方 差	延时叠加最佳 SNR 平均值	方 差	平均提 高比例 /%	最佳延 时时间	方 差
1	20.98	4.8	32.63	7.90	55.61%	18.28	14.77
2	21.11	6.5	30.52	7.45	49.60%	18.30	14.66
3	22.45	5.4	31.82	6.78	44.21%	21.70	14.45
4	22.75	5.1	31.94	6.25	42.94%	21.60	14.97

加之后的最大探测信噪比值及其对应的延迟时间(该延迟时间称为最佳延迟时间)。

从表 1 中的数据可以看出,通过信号延时叠加可将激光雷达的探测信噪比提高 40% 以上.比较不同初始信噪比条件下的信噪比提高量曲线可以看出,随着初始信噪比的降低,延时叠加的信噪比提高百分比也相应增加,但是最佳延迟时间基本保持不变,且与初始信噪比无关.通过延时叠加可提高激光雷达的探测信噪比在 40% 以上,且最佳延迟时间几乎是激光回波宽度的一半。

4 结论

本文建立了获取激光雷达回波信号的实验装置,并以此为基础,获取了大量的激光雷达探测信号数据.通过对探测信号的频率域特征进行分析,提出了用信号延时叠加来提高激光雷达探测信噪比的方法,并对其进行分析讨论.结果表明,信号延时叠加可有效提高激光雷达的探测信噪比,且存在最佳延迟时间.此外,该方法还具有实时性好、硬件实现简单等突出优点。

参考文献

- [1] LI Qing-quan, LI Bi-jun, CHEN Jing. Research on laser range scanning and its application[J]. *Journal of Wuhan Technical University of Surveying and Mapping*, 2000, **25**(5): 387-292. 李清全, 李必军, 陈静. 激光雷达测量技术及其应用研究[J]. 武汉测绘科技大学学报, 2000, **25**(5): 387-292.
- [2] LIU Jun, HUA Deng-xin, LI Yan. Ultraviolet lidar for profiling of the Urban atmospheric aerosol in spatial and temporal at Xi'an[J]. *Acta Phononica Sinica*, 2007, **36**(8): 1534-1537. 刘君, 华灯鑫, 李言. 紫外域激光雷达探测西安城区上空大气溶胶时空剖面[J]. 光子学报, 2007, **36**(8): 1534-1537.
- [3] WANG Hong-bo, WANG Zhi-hua, HE Jie, et al. Lidar measurements of the lower cloud in chengdu [J]. *Acta Phononica Sinica*, 2007, **36**(2): 350-354. 王宏波, 王治华, 何捷, 等. 成都地区中低云层的激光雷达探测[J]. 光子学报, 2007, **36**(2): 350-354.
- [4] WU Dong, LIU Zhi-shen, ZHANG Kai-lin, et al. Lidar measurement of ocean suspended matter [J]. *Acta Optica Sinica*, 2003, **23**(2): 245-247. 吴东, 刘智深, 张凯临, 等. 海洋激光雷达测量海中悬移质[J]. 光学学报, 2003, **23**(2): 245-247.
- [5] KLASSEN L, ANDERSSON P, LARSSON H, et al. Aided target recognition from 3-D Laser radar data[C]. *SPIE*, **5412**: 321-332.
- [6] XI Jian-xiang, YANG Bai-long. Application of CO₂ laser coherent imaging radar in the navigation of the cruising missile and the terminal guidance of tactics ballistic missile [J]. *Microcomputer Information (Control & Automation)*, 2006, **22**(8-1): 41-42, 52. 席见祥, 杨百龙. CO₂ 激光相干成像雷达在巡航导弹导航及战术弹道导弹末制导中的应用[J]. 微计算机信息(测控自动化),

- 2006, **22**(8-1):41-42,52.
- [7] LI Zi-qin, LI Jin-xin, WANG Qi. Suppressed algorithm of Lidar's range image background [J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2005, **32**(11):1469-1472.
李自勤, 李金新, 王骥. 激光雷达距离像背景抑制算法研究[J]. 中国激光, 2005, **32**(11):1469-1472.
- [8] ROBERT N M, ANTHONY D W. Detection of signals in noise [M]. WANG De-shi, transl. 2nd ed. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2006.
ROBERT N M, ANTHONY D W. 噪音中的信号检测[M]. 王德石, 译. 2 版. 北京: 电子工业出版社, 2006.
- [9] NING H L, BRUCE A E. Detection of weak signals in non-Gaussian noise [J]. *IEEE Transactions of Information Theory*, 1981, **IT-27**(6):755-788.
- [10] KAI M H. Narrowband weak signal detection by higher order spectrum [J]. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 1996, **44**(4):874-879.
- [11] WANG Chun-hui, ZHANG Jian, LI Ming-zhuo, et al. Characteristic of multiply backscattered signal of meteorological lidar [J]. *Acta Phononica Sinica*, 2007, **36**(10):1881-1883.
王春晖, 张建, 李明卓, 等. 激光气象雷达多次后向散射信号特性分析[J]. 光子学报, 2007, **36**(10):1881-1883.
- [12] JOHN G P, DIMITRIS G M. Digital signal processing [M]. FANG Yan-mei, transl. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2007.
JOHN G P, DIMITRIS G M. 数字信号处理[M]. 方艳梅, 译. 北京: 电子工业出版社, 2007.

Improvement of Detecting SNR of Laser Radar by Time-Delay Superimposition

JIANG Hai-jiao, LAI Jian-cheng, WANG Chun-yong, BIAN Bao-min, LI Zhen-hua
(School of Science, Nanjing university of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: A new method of by time-delay superimposition was developed which could effectively improve the detecting signal-noise-rate of laser radar on the basis of spectral characteristic analysis. A larger number of laser radar echo signal was obtain by experiment. And the practicability of using time-delay superimposition to improve the detecting signal-noise-rate of laser radar was discussed on the basis of it. The results show that on the condition of 50 MHz system bandwidth and 30 ns impulse width of echo wave, time-delay superimposition could improve the detecting SNR of Laser radar more than 40%. Also the optimally time also was existence.

Key words: Laser radar; Signal-noise-rate; Time-delay superimposition



JIANG Hai-jiao is a Ph. D. degree candidate, and his research interests focus on imaging laser radar.