

# 基于背景特征参数的激光雷达目标检测

平庆伟

(北京理工大学电子工程系, 北京 100081)

**摘要** 激光雷达的弱小目标检测是激光雷达的关键技术,其主要研究难点之一是在低信噪比下,可用于区分目标与背景噪声的特征少。研究的对象是激光雷达的远距离目标回波,主要指空中飞机目标。根据试验得到的数据,发现目标点在背景中往往是一些孤立的点,与背景的相关性较小。而背景中的任一点与前后背景点相关性较强,可以用周围的点进行线形或非线形表示。为解决低信噪比下激光雷达的目标检测问题,提出了基于背景特征参数的目标检测算法。运用高阶统计量作为背景特征值对杂波数据进行处理。在一个小区域内,背景的高阶统计量不会有大的起伏,而目标在它所在的区域内具有相对突出的变化。信噪比得以提高,然后通过恒虚警检测和多帧相关检测,获取真正的目标。试验结果表明该方法非常有效,实时性强,具有较高的实用价值。

**关键词** 激光雷达;均方差;目标检测;多帧相关;目标匹配

**中图分类号** TN958.98 **文献标识码** A **doi:** 10.3788/AOS200828s2.0304

## Signal Detection of Laser Radar Based on the Background Character Parameter

Ping Qingwei

(Department of Electronic Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

**Abstract** The detection of the faint target in the lidar is one of the key technologies of the lidar. One of its difficulties is that the characteristic distinguishing the target and the noise is very lacking. The target this paper researches is the plane. After researching the practical echo signal, we find that the target often is the isolated dot in the echo signal. The target is irrelevant with the noise. However, the noise is expressed with the neighboring dot. To resolve the problem of the target detection in low signal-to-noise, an algorithm of the target detection based on the background characteristic parameter is presented. The clutter is processed using the background characteristic parameter of mean variance. In the small region, the mean variance of the background is steady. However, the mean variance of the target is distinct. Therefore, the signal-to-noise is improved greatly. Then with CFAR detection and multi-frame relative detection, the true target is captured. The experimentation had proved this algorithm improved the performance of the lidar. This algorithm is effective and does well on real time, it is valuable in practice.

**Key words** laser radar; mean variance; target detection; multi-frame relative; target match

## 1 引 言

激光雷达的弱小目标检测是激光雷达的关键技术,其主要研究难点之一是在低信噪比下,激光回波闪烁严重,目标强度小,可用于区分目标与背景噪声的特征少。激光雷达脉冲重复频率低,一般在10 Hz以下,不能采用微波雷达的信号积累技术来提高信噪比。采用数字信号处理技术研制出激光测距机的数字信号处理器<sup>[1]</sup>,提高了激光雷达的探测能力。在数字信号处理技术方面,提出了差分滤波的算法<sup>[2]</sup>,在信号的波形保持不变的情况下滤波效果比较好。但是该方法不具有自适应性,当信号变化较大时,参数要做调整,实际应用中存在不足。采用神

经网络预测方法<sup>[3~5]</sup>、分形方法检测激光水下小目标,取得了较好的效果,但是神经网络训练时间长,难以实时。

背景预测算法是目标检测算法中常见的方法。目标点在背景中往往是一些孤立的点,与背景的相关性较小,而背景中的任一点与前后背景点相关性较强,可以用周围的点进行线形或非线形表示。利用目标与背景点的这种差异对目标进行分离是背景预测算法的基本思想。基于背景预测的算法很多,经典的如基于自回归(AR)模型的自适应线形预测器,基于 Volterra 滤波器的非线形滤波。陈凤东等采用基于动态阈值的背景差分算法进行目标检测,

取得了较好的效果<sup>[3,6~8]</sup>；徐军等利用背景灰度的分布和背景灰度的起伏情况构造背景预测特征参数作为识别目标的特征量应用于目标检测达到了满意的效果<sup>[3]</sup>。本文将背景预测思想用于激光雷达回波信号的检测中,运用均方差作为背景估计量对激光杂波数据进行预处理,信噪比得以提高,然后根据多帧相关检测对目标进行检测。

## 2 背景预测思想

在目标检测中,当信号比较大时,一般通过强度信息和几何特征就可以检测到目标。但是当目标较小时,很难找出用来区分噪声和信号的特征。因此,研究者采用目标周围的灰度分布和强度起伏特征进行目标的分离,这就是背景预测方法的基本思想。背景在一个小区域内不会有大的起伏,而目标在它所在的区域内具有相对突出的变化。因此杂波中的任一点,用其周围点统计特征量进行预测,则目标点的预测值与背景中的点将会有较大的差别,从而可以提取出目标。

空中飞机目标往往具有以下特点:1) 目标强度比较小,信噪比较低;2) 空中背景中含有云等杂波干扰;3) 一维信号,区分噪声与信号的特征少。

因此,可以考虑用背景预测思想对激光雷达数据进行处理,选取均方差作为背景特征量对激光杂波进行预处理,然后采用多帧相关检测对目标检测。

## 3 均方差值预测算法

方差是用来度量随机变量偏离其数学期望的程度,或者说是随机变量在数学期望附近的离散程度<sup>[9]</sup>。对于离散的随机序列 $\{x_1, x_2, \dots, x_N\}$ ,方差为

$$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (x_n - \mu)^2, \quad (1)$$

相应的均方差为

$$\sigma = \left[ \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (x_n - \mu)^2 \right]^{1/2}, \quad (2)$$

式中  $\mu$  为均值,且

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_n. \quad (3)$$

均方差一般通常被应用在目标检测中门限的设置。当  $N$  足够大时,在同一帧数据中,方差基本是平稳的。取一组 20000 点激光回波序列如图 1 所示。分为 20 段,即  $N$  取 1000,对每段进行均方差统计,统计结果如图 2(a)所示。由结果可以看出,均方差值波动比较小,所以通常用作门限进行目标检测。

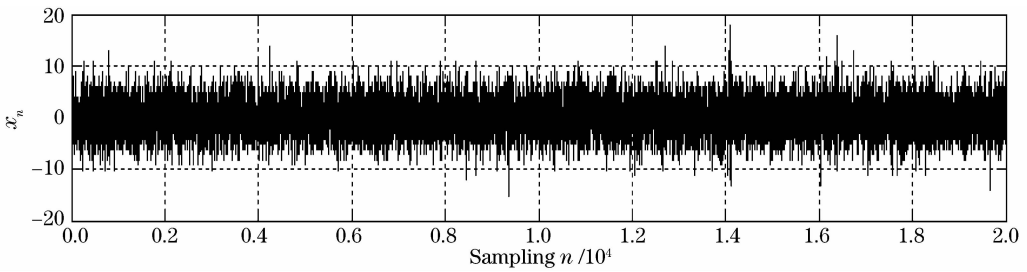


图 1 激光雷达回波序列

Fig. 1 Echo of the lidar

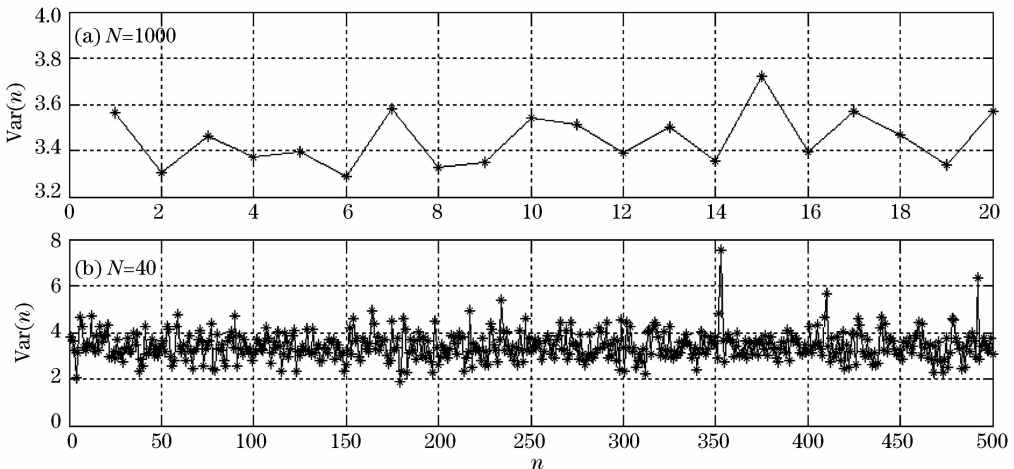


图 2 均方差统计图

Fig. 2 Statistical chart of the mean variance

当  $N$  值取得较小时,如取为 40 个点,则结果如图 2(b)所示,由图可知,所得的均方值波动比较大,并且目标点处均方差值明显高于背景对应的均方差值。

可以考虑运用均方差这一特征量进行目标检测。对数据中的每一点用其前后点计算的均方值作为这一点的估计值,称为该点的均方差估计值。根据目标处的均方差估计值高于背景点的均方差估计

值可以检测出目标。

利用该方法对一组信噪比较小的激光回波数据(图 3)进行实验,结果如图 4 所示,原始信号信噪比为 3.18,处理后信噪比为 6.75,信噪比提高 2.12 倍。

对多组数据进行实验,效果都比较好,对原始数据和处理后的数据的信噪比统计结果如图 5 所示。由图 5 可以看出,通过均方差值预测算法,信噪比明显提高,提高了对弱小目标的检测概率。

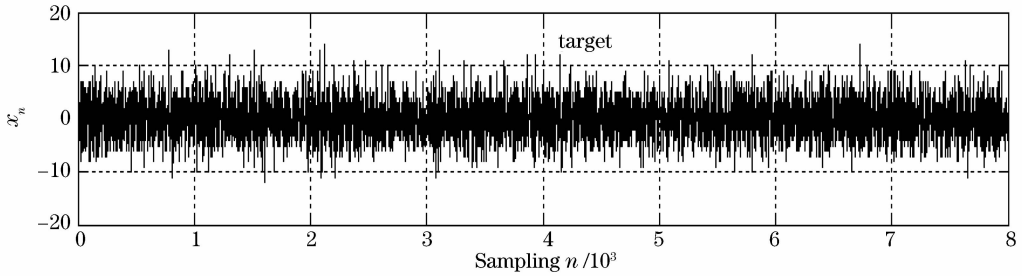


图 3 含有弱目标的激光雷达回波原始数据

Fig. 3 There is the weak target in the echo data of the lidar

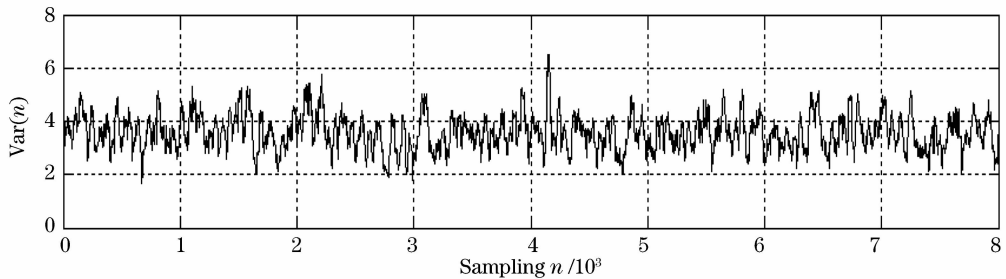


图 4 运用均方差值预测算法处理后的数据

Fig. 4 Data processed with the mean variance algorithm

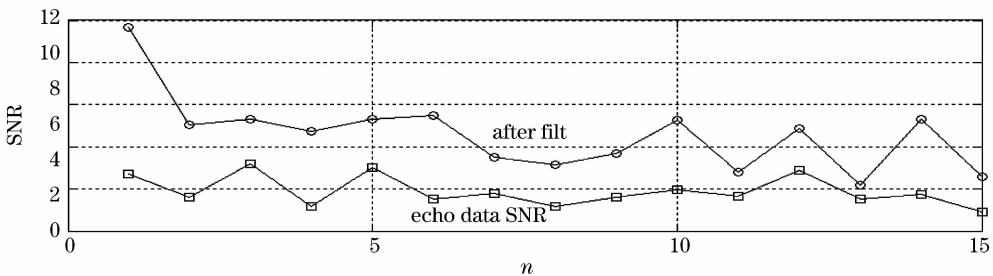


图 5 均方差值预测算法效果统计

Fig. 5 Effect statistical chart of the mean variance algorithm

### 4 目标检测

采用均方差值预测算法相当于对信号做滤波处理,然后要进行恒虚警检测<sup>[10]</sup>。由于背景噪声的强度是随着外界环境变换的,为了让信号处理机保持恒定的虚警概率,需要使信号检测门限根据噪声电平自动调节。

将目标检测门限定为

$$\nu = \mu_1 + k\sigma_1, \tag{4}$$

式中  $\mu_1$  为背景噪声的均值,  $\sigma_1$  为背景噪声的方差,  $k$  为门限系数。则通过门限后,输出结果为

$$o(n) = \begin{cases} \text{Var}(n) & \text{Var}(n) \geq \text{th} \\ 0 & \text{Var}(n) < \text{th} \end{cases} \tag{5}$$

对图 4 进行门限检测,检测结果如图 6 所示。

图 6 中前者是虚警,后者是真正的目标。为了剔除假目标,可以通过多帧相关检测<sup>[2]</sup>,检测到真正的目标。在单脉冲回波信号检测时,为了获得足够

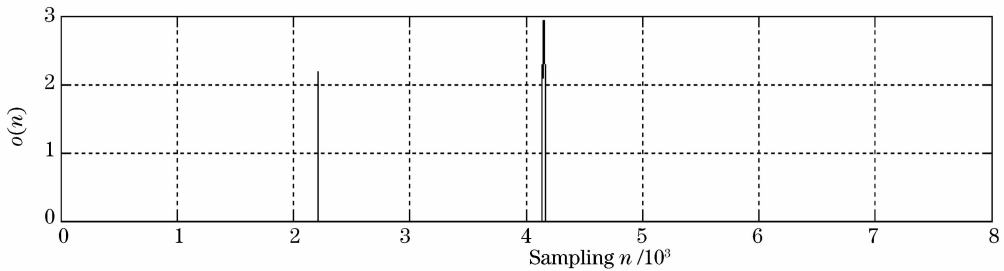


图6 目标检测结果

Fig. 6 Result of the target detection

的检测概率,需要将阈值降低。这时,虚警概率会上升。然而,真实的目标回波之间存在相关性,如目标速度、回波强度、距离等。对于真实的目标,每一次都应该被检测到。而噪声、干扰产生的虚假目标,则不会是这样。所以,通过多帧相关检测,连续多次对目标观测,可以剔除虚假目标,而保留真实的目标。

多帧相关检测的核心思想就是目标匹配,即根据当前帧新目标链中预选目标的特征参数与旧的目标链中存储的上一帧检测到的各潜在目标参数进行比较的过程。主要是进行位置匹配。设  $X_{k-1}$  为目标链中某一潜在目标  $P_{k-1}$  在第  $k-1$  帧时的位置,  $X_k$  为当前帧(第  $k$  帧)某一潜在目标  $P_k$  的位置,若

$$X_k \in \{X_{k-1} + V - N, X_{k-1} + V + N\}, \quad (6)$$

则认为  $P_{k-1}$  和  $P_k$  相匹配。其中  $N$  为相关度,  $V$  为帧目标间位移,对其进行了滤波处理。当没有旧目标链时,无速度信息,则  $V$  取零,  $N$  取得比较大,为目标的最大速度,即帧目标间最大位移。

如果某一个潜在目标在  $n$  个激光脉冲回波信号中被检测并匹配  $M$  次以上,则判定该潜在目标为真实目标;否则,还需要继续做匹配相关处理。

从理论角度看,多帧相关检测根据目标的相关性进行目标与虚警的筛选,只要相关次数足够大,时间足够长,在低门限下,弱小的目标都能被检测出来;但是另一方面,相关次数多,捕获目标所需的时间比较长,影响系统对运动目标的迎头截获能力,同时,门限低,虚警个数比较多,往往超过信号系统的处理能力,实现起来比较困难。

## 5 结 论

提出的基于背景特征参数——均方差值算法是一种有效的算法,实现简单,对信噪比有较大的改善作用,对大小信号都具有很好的效果,自适应性强。通过多帧相关检测,剔除假目标,检测到真正的目标。该方法实时性强,具有较高的实用价值。

## 参 考 文 献

- Ping Qingwei. Digital signal processor study of the laser ranger [D]. Ph. D. dissertation, Beijing Institute of Technology, 2003. 60~65  
平庆伟. 激光测距机的数字信号处理器研究[D]. 北京理工大学博士论文, 2003. 60~65
- Ping Qingwei. Study on digital signal processor of the high resolution middle and long range laser ranger [J]. *Laser and Infrared*, 2003, **33**(4):261~264  
平庆伟. 高分辨中远程激光测距机的数字信号处理研究[J]. *激光与红外*, 2003, **33**(4):261~264
- Xu Jun, Xiang Jianyong. Application of background forecast in detection and acquisition of the aerial infrared small and weak targets [J]. *Journal of Xidian University*, 1998, **25**(4):471~473  
徐 军, 向健勇. 背景预测方法在空中红外弱小目标检测、识别中的应用[J]. *西安电子科技大学学报*, 1998, **25**(4):471~473
- Wang Fan. Multiscale fractal dimension based I/F segmentation for mandarin speech [J]. *J. Tsinghua Univ. (Sci. & Tech.)*, 2002, **42**(1):68~71  
王 帆. 基于多尺度分形维数的汉语语音声韵切分[J]. *清华大学学报*, 2002, **42**(1):68~71
- Du Gan, Zhang Shouhong. Radar ship targets detection based on fractal characteristics [J]. *Journal of Xidian University*, 1999, **26**(4):498~501  
杜 干, 张守宏. 基于分维特征的舰船目标的检测[J]. *西安电子科技大学学报*, 1999, **26**(4):498~501
- Chen Fengdong, Hong Bingrong. Object detecting method based on background image difference using dynamic threshold [J]. *Journal of Harbin Institute of Technology*, 2005, **37**(7):883~884  
陈凤东, 洪炳镭. 基于动态阈值背景差分算法的目标检测方法[J]. *哈尔滨工业大学学报*, 2005, **37**(7):883~884
- Li Ziqin, Li Jinxin, Wang Qi. Suppressed algorithm of lidar's range image background [J]. *Chinese J. 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
- Zhong Liyun, Zhang Yimo, Lü Xiaoxu. Recording and reconstruction of synthetic aperture digital holography [J]. *Chinese J. Lasers*, 2004, **31**(10):1207~1211  
钟丽云, 张以谟, 吕晓旭. 合成孔径数字全息图的记录、再现及实现[J]. *中国激光*, 2004, **31**(10):1207~1211
- Wu Huaiyu. Time Sequence Analysis and Synthesis [M]. Wuchang: Wuhan University Publishing Company, 2004  
吴怀宇. 时间序列分析与综合[M]. 武昌: 武汉大学出版社, 2004
- Biao Chen, P. K. Varshney, J. H. Michels. Adaptive CFAR detection for clutter-edge heterogeneity using Bayesian inference [J]. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 2003, **39**(4):1462~1470