

文章编号:1001-5078(2007)03-0211-03

低信噪比激光弱小回波信号的数字化检测和仿真

张海武,李松山,耿 林
(华北光电技术研究所,北京 100015)

摘 要:文章针对激光弱小回波信号的低信噪比,提出了运用数字信号处理技术对回波信号进行处理的方法,并进行了一系列仿真和计算。

关键词:激光测距;多脉冲;数字信号处理

中图分类号:P225.2;TN957.52 **文献标识码:**A

Digital Signal Detection and Simulating of Laser Weak Echo Based on Low SNR

ZHANG Hai-wu, LI Song-shan, GENG Lin
(North China Research Institute of Electro-optics, Beijing 100015, China)

Abstract: In the paper the methods to process weak echo by using DSP technology based on low SNR of laser weak echo are presented. And the methods are simulated and calculated.

Key words: laser ranging; multi pulse; digital signal processing

1 引 言

常规激光测距采用单脉冲发射方式,接收检测采用直接阈值检测方法来提取目标回波,信号检测采用模拟电路来实现^[1]。由于激光在大气中衰减非常快,在能见度较差、同时要求测距距离较远的条件下,常规激光测距常常不能满足要求。本文采用多脉冲测距体制的回波信号数字化检测方法,大大提高了激光测距的探测灵敏度,增大了作用距离,并对回波信号数字化检测进行仿真和计算。

2 数字化检测方法

2.1 数字化检测的优点

信号数字化检测与传统模拟电路检测相比精度高、灵活性大,可靠性也相应提高。但与其他波段信号相比,脉冲激光雷达脉宽很窄,将其进行 A/D 转换变为数字信号较为困难。但近年来,随着高采样率高带宽 A/D 器件的出现和大规模数字并行处理产品的高速发展,激光雷达信号数字处理技术逐渐走向实用。运用高采样率高带宽的 A/D 器件,现已能够实现脉冲激光回波信号的高保真数字化,高速 FPGA 和 DSP 可以直接通过并行算法实时处理大量数据。这样在传统模拟域中无法解决的弱信号探测问题有望在数字域中应用数字处理技术加以解决。

2.2 数字信号处理方法和仿真分析

在通常情况下,激光回波信号总是受到杂波和噪声干扰,因此在杂波中有效地提取目标信号,是信号处理器提高检测能力的关键^[2]。

2.2.1 三脉冲信号累积处理^[3]

由于三脉冲激光脉冲串内相邻两脉冲的时间间隔是接收系统响应时间的 10^4 倍,认为每次主波至回波之间的随机过程是相互独立的,而回波相对主波的时间间隔变化量是回波脉宽的数分之一。因此,可将激光脉冲串内相邻两脉冲间隔作为独立的检测时间,采用信号累积法对回波信号进行处理。三脉冲串激光累积后的信噪比是单个脉冲情况的 1.73 倍,也就是说在虚警率、探测率相同的条件下,所需的信噪比,后者是前者的 1.73 倍。多脉冲信号处理第一步采用的是本方法。

2.2.2 三脉冲视频回波信号累积处理仿真

图 1~3 分别为对同一目标的激光测距机短期三次视频回波信号,图 4 为通过三次累积处理的结果,图中纵坐标轴为回波强度轴,6mV/点,横坐标轴为时

作者简介:张海武,男,助工,华北光电技术研究所在读硕士生,主要从事激光测距系统的数字信号处理方面的研究工作。

收稿日期:2006-08-31; **修订日期:**2006-09-06

间轴,5ns/点,目标出现在时间为249点处。可以看出,在单次回波信号图中,其信噪比约为 $SNR = 1.5 \sim 2.0$;通过3次累加后,其信噪比提高为 $SNR = 2.8$ 。

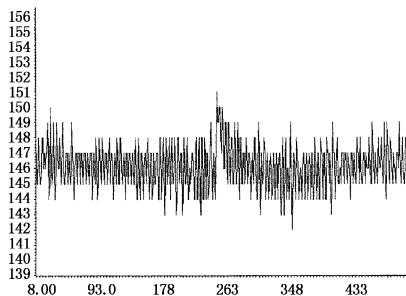


图1 激光测距机视频回波信号1($SNR = 1.6$)

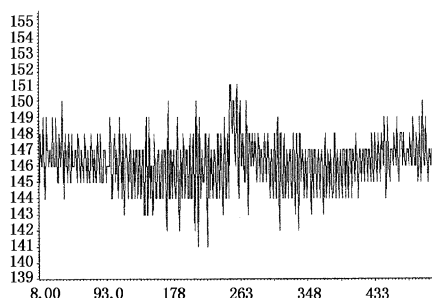


图2 激光测距机视频回波信号2($SNR = 1.5$)

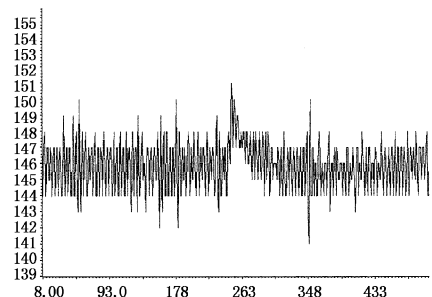


图3 激光测距机视频回波信号3($SNR = 2.0$)

2.2.3 数字匹配滤波^[4]

根据概率和统计准则^[5],最佳线性滤波器是匹配滤波器。它以输出信噪比最大为准则,可以有效地提高目标的信噪比。

设激光回波信号波形 $X(t)$ 是目标回波信号和有色噪声之和,即:

$$X(t) = S(t) + n(t) \quad (1)$$

式中, $S(t)$ 为目标回波; $n(t)$ 为有色噪声。并设有色噪声功率 $G(f)$ 已知。将激光回波信号通过频率特性为 $H_1(f)$ 的线性滤波器(白化滤波器),如图5所示,通过 $H_1(f)$ 的处理,实现激光回波信号的白化处理。即

$$X'(t) = X(t) \cdot H_1(f) = S'(t) + n'(t) \quad (2)$$

式中, $S'(t)$ 为白化处理后的目标回波; $n'(t)$ 为白噪声,其功率谱为常数,应满足如下条件:

$$|H_1(f)|^2 = \frac{K}{G(f)} \quad (3)$$

式中, K 为 $H_1(f)$ 滤波器的静态增益系数。通过

$H_1(f)$ 滤波器,有色噪声 $n(t)$ 转换成了白噪声 $n'(t)$ 。因此信号在白噪声条件下进行匹配滤波。匹配滤波器 $H(f)$ 为:

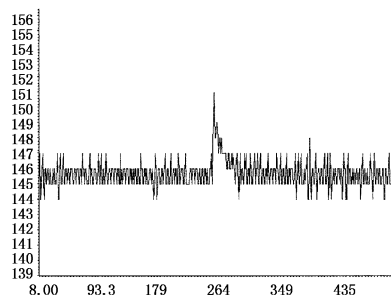


图4 三次累加处理结果($SNR = 2.8$)

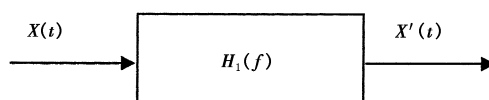


图5 白化滤波器

$$H(f) = KS^*(f) e^{-j2\pi ft_0} \quad (4)$$

匹配滤波器的冲击响应为:

$$h(t) = KS(t_0 - t) \quad (5)$$

由于目标回波信号为随距离变化的单脉冲,所以匹配滤波器的冲击响应宽度应与回波脉冲宽度相匹配。为了兼顾放大和除噪的目的,匹配滑窗的宽度取3倍目标回波宽度,中间部分的加权系数与理想回波形状成正比,所有系数之和为0。

采用匹配滤波器会使信噪比提高很多,作为保守估计,可近似按非相参积累估算,约 $\sqrt{m}$ ($m \approx 8 \sim 10$ 为响应宽度)。

2.2.4 匹配滤波处理仿真

图6为图4信号通过匹配滤波处理后得到的结果。

从图6中可以看出,信噪比有大幅度提高,保守估计可按非相参积累估算为 $\sqrt{25} = 5$,并且试验表明实际提高为3.37~3.9,理论与实际基本相符。

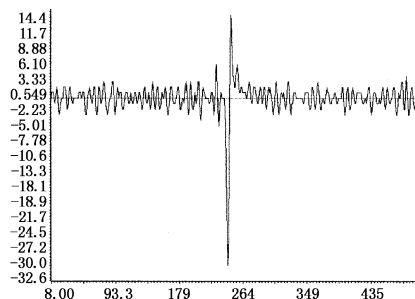


图6 匹配滤波处理后信号

2.2.5 预选目标的分割

在经过累积和匹配滤波处理后,提高了目标回波信号的信噪比,通过分析目标的信噪比及强度变化,根据上述处理后的强度我们用门限对目标进行分割,得到建立目标链所需要的预选目标。

图7为根据图6的信号强度,用门限对目标进行分割处理后的预选目标仿真波形。

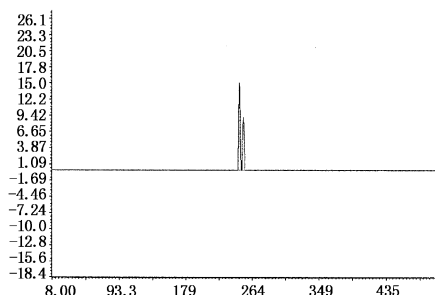


图7 分割处理后的预选目标

2.2.6 目标链的建立

预选目标与景物中的特定物体有一定的对应关系。目标链的建立可以随时监控这些目标的运动变化,移入或移出视场的情况。目标链为每一个预选目标开辟了一个记录单元,这些单元记录了预选目标的特征参数,它们包括:位置、强度变化率、速度、置信度 D 。

2.2.7 目标匹配

目标匹配过程是将当前预选目标的特征参数与目标链中存储的以往检测到的各潜在目标参数进行比较的过程。若当前预选目标与目标链中的某一潜在目标特征参数之差小于允许门限,则认为两者是匹配的,属于同一目标,将该目标的置信度增加。当目标的置信度达到一定值时,这个目标就是可信的,即可确定目标的距离。在正确识别出目标之前,每个预选目标都可能是目标,不能丢。目标的匹配主要是指速度匹配和位置匹配等,现以位置匹配进行说明。

设 X_j 是某潜在目标 P_j 在第 j 帧的位置, X_i 是当前帧(第 i 帧)某潜在目标 P_i 的位置,若满足

$$X_i \in \{X_j, X_j + V_{\max}(i-j)T\} \quad (6)$$

则认为 P_j 与 P_i 相匹配。式中, $V_{\max}$ 为目标最大速度; T 为激光重复周期。

2.2.8 目标数据的刷新

由于目标在不断的运动,背景也在不断的变化,噪声点也会由于其随机性在一段时间内经常超过强度门限而成为潜在目标,这就需要对每个区域的记录不断更新。对于匹配成功的目标记录,用新区域参数代替原有的目标记录。对于置信度降为0的区域,则从目标链中剔除它的记录。

2.2.9 目标确认

目标确认过程是根据所提供的能够准确反映目标特性的各种参数,与目标链中的各潜在目标特征参数进行匹配的过程。确认的主要依据是目标运动速度、强度变化率及其位置,为此需要计算出这些参数。

目标的运动速度定义为:

$$V_p = |X_{t_2} - X_{t_1}| / (t_2 - t_1) \quad (7)$$

式中, X_{t_1} 和 X_{t_2} 分别表示目标链某一潜在目标 P 在第 t_1 帧和第 t_2 帧的位置。

强度变化率定义为:

$$G_{vp} = \frac{g_{t_2} - g_{t_1}}{g_{t_1}} \quad (8)$$

式中, g_t 表示目标链中某一潜在目标在 t 时刻的强度。

实际上, $\hat{g}_t$ 是潜在目标在 t 时刻的平均强度(包括 t 时刻在内的前 N 帧回波中该目标的平均强度),即:

$$\hat{g}_{t_i} = \frac{1}{N} \sum_{k=t_i-N+1}^{t_i} g_k \quad (9)$$

考虑到强度变化的随机性, $(t_2 - t_1)$ 应大于一定的值。

只有当运动速度、强度变化率和位置同时满足上述条件时,潜在目标才能被认定为真实目标;而不符合上述任一条件的潜在目标则被认为是假目标。值得注意的是,当一个潜在目标被识别出来以后,目标的确认过程仍然需要进行一段时间,以进一步确认真实目标,从而降低目标漏检概率。2.2.6~2.2.8的方法对信噪比的提高也按非相参积累进行估计,提高为 $\sqrt{N}$ 。通过上述信号处理,总信噪比提高为 $\sqrt{m} \cdot \sqrt{N}$ 。

从以上处理方法和仿真结果可以看出,累积和匹配滤波处理后信噪比提高为3.37~3.9,如果激光发射频率为10Hz,检测识别时间为3s,则轨迹相关为30次,2.2.6~2.2.8的方法对信噪比的提高为 $\sqrt{30}=5.48$ 。总的信噪比提高为 $3.37 \times 5.48 \times 0.67=12.40$ 倍。所以采用回波数字化检测方法,探测信噪比可以提高10倍以上,大大提高了测距能力,解决了低信噪比激光弱小回波信号难以检测的困难。

3 结论

本文针对低信噪比弱小回波信号难以提取的困难,运用数字信号处理技术进行处理,并作了分析和仿真,收到良好的效果。清楚地表明:数字信号处理技术对激光回波弱信号检测具有稳定性好、实用性强等特点,有助于大幅提高目前激光雷达的测距能力和远程探测概率,有效拓宽激光测距的应用范围。

参考文献:

- [1] 章正宇,睦晓林. 激光测距弱信号数字相关检测技术的研究和仿真[J]. 中国激光,2002,(07):661-665.
- [2] 平庆伟,等. 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.
- [3] 钟声远,李松山. 脉冲串激光测距技术研究[J]. 激光与红外,2006,36(增刊):797-799.
- [4] 王世一. 数字信号处理[M]. 北京:北京理工大学出版社,2000.
- [5] 范大茵,陈永华. 概率论与数理统计[M]. 杭州:浙江大学出版社,2000.