

文章编号: 1001-5078 (2006) 010-0985-03

## 基于动态规划的激光雷达信号检测

平庆伟, 夏桂芬, 赵保军

(北京理工大学电子工程系, 北京 100081)

**摘要:**为解决低信噪比下激光微弱回波的检测问题,提出了一种新的小目标检测算法。采用动态规划方法克服了低信噪比下激光回波闪烁对目标检测的影响。仿真结果表明:该方法较传统的检测方法性能有很大提高。

**关键词:**动态规划方法;激光回波检测;能量积累

**中图分类号:** TN958.98

**文献标识码:** A

## The Signal Detection of Laser Radar Based on Dynamic Programming

PING Qing-wei, XIA Gui-fen, ZHAO Bao-jun

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

**Abstract:** To solve the laser weak echo detection under the clutter background, A dynamic programming (DP) technique has been developed for the detection of weak targets. The primary advantages of DP are its sensitivity to weak targets along with its robustness to laser echo glitter. Theory analysis and the simulated results indicate a sensitivity improvement of detection performance over conventional detection approaches.

**Key words:** dynamic programming; laser echo detection; energy accumulate

### 1 引言

对弱小运动目标检测是激光雷达的关键技术,其主要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;另一个难点是激光雷达脉冲重复频率低,一般在 10Hz 以下,不能采用微波雷达的信号积累技术来提高信噪比。传统的模拟激光器采用阈值方法对信号进行检测,激光雷达只能工作在大信噪比条件下,信噪比一般高于 7。文献 [1] 中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,这一技术大大提高了激光雷达的探测能力。根据数字信号处理技术,文献 [2] 提出了差分滤波的算法和多帧相关检测算法。差分滤波算法在信号的波形保持

不变的情况下滤波效果比较好,但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。多帧相关检测方法克服了单帧检测中存在的虚警率高检测率低的缺点,是小目标检测中常用的方法。而激光回波具有闪烁的特点,对相关匹配具有失配和误配的缺点,影响检测效果。文献 [3] 提出神经网络预测方法检测激光水下小目标,该方法对混沌信号比较有效,只是神经网络训练时间长,难以实时。动态规划思路是由 Barniv 首先

作者简介:平庆伟 (1971 - ), 讲师,博士,主要研究方向为激光信号处理视频运动目标的检测与跟踪。E-mail: pingqingwei@bit.edu.cn

收稿日期: 2006-06-02

提出的<sup>[4]</sup>,它利用了动态规划方法分段优化的思路,将目标轨迹搜索问题分解分级优化的问题。该方法依据最大概率准则设定一个评价函数,对评价函数作了一定阶段的递推后,找到所有可能的轨迹片断,然后逆向反推,得到所有可能目标运动轨迹,然后对轨迹进行直线拟和,得出非直线轨迹,并把同一目标产生的轨迹合并,得到最后检测结果。该方法广泛应用在二维图像中弱小目标的检测<sup>[5-6]</sup>,本文将该思路应用在一维图像激光回波图像上,在算法上大大简化。

### 2 激光回波信号

激光雷达的远距离目标回波往往具有以下特点:(1)目标成像比较小,可以认为是点目标;(2)目标能量小,影响观测的主要因素是探测器内部的热噪声,SNR很低,因此目标检测归结为在时间空间均不相关的白噪声背景中低信噪比点目标;(3)由于伺服系统的影响,回波伴有闪烁的特点。

图 1 是一组激光回波信号,目标淹没在噪声中,图 2 是放大后的信号。

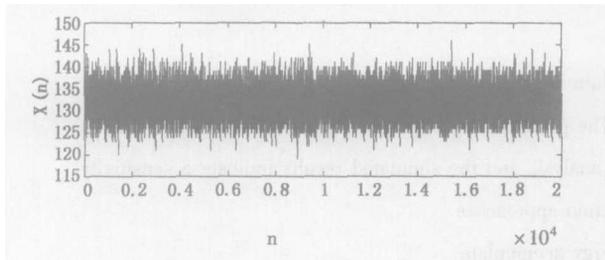


图 1 一组回波信号

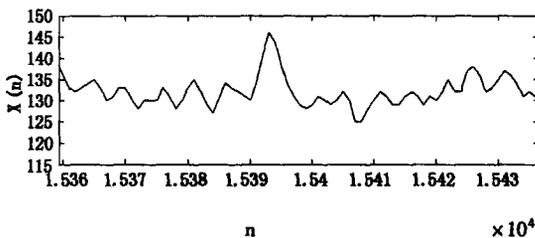


图 2 信号放大后

由于单帧回波信号中,信噪比低,因此运用单帧数据进行目标的检测是难以实现的。有效的方法是在多帧回波数据中沿轨迹进行能量积累,由于目标的能量在不同帧之间是相关的,而噪声的能量在不同帧之间是不相关的,因此积累后的信号将有较高的信噪比。本文就是根据动态规划的思路对回波进行积累,然后根据积累的结果进行检测判决。

### 3 动态规划检测

用  $n(i, k)$  表示噪声序列,其均值为 0,方差为  $\sigma^2$ ;用  $s(i, k)$  表示无噪声的回波信号,且:

$$s(i, k) = \begin{cases} S, & i \text{ 为目标点时} \\ 0, & i \text{ 不为目标点时} \end{cases} \quad (1)$$

用  $I(i, k)$  表示接收到的回波信号,则

$$I(i, k) = \begin{cases} s(i, k) + n(i, k), & \text{有目标 } H_1 \\ n(i, k), & \text{无目标 } H_0 \end{cases} \quad (2)$$

定义 M 帧回波中,目标的轨迹为:

$$P(M) = \{p_m / m = 1, 2, 3, 4, \dots, M\} \quad (3)$$

其中,  $p_m$  为轨迹上的点。

噪声为正态分布的情况,当  $P(M)$  为目标轨迹时:

$$P_{H_1}[P(M)] = A \cdot \prod_{m=1}^M \exp \left\{ -\frac{[I(i_p, m) - S]^2}{2} \right\} \quad (4)$$

当  $P(M)$  为非目标轨迹时:

$$P_{H_0}[P(M)] = A \cdot \prod_{m=1}^M \exp \left\{ -\frac{I^2(i_p, m)}{2} \right\} \quad (5)$$

一条轨迹为目标轨迹的似然比定义为:

$$L[P(M)] = \frac{P_{H_1}(p_m)}{P_{H_0}(p_m)} = \exp \left[ \frac{2S}{\sigma^2} \sum_{m=1}^M I(i_p, m) - \frac{MS^2}{\sigma^2} \right] \quad (6)$$

根据检测理论 Neyman-Pearson 定理<sup>[7]</sup>,当目标存在时,似然比函数  $L[P(M)]$  取得最大值的轨迹为目标轨迹;当不能确定是否有目标时,可根据一定的准则对  $L[P(M)]$  取门限获得可疑目标点,然后再根据相关检测来判决有无目标<sup>[8]</sup>。

由 (6) 式易知,求  $L[P(M)]$  的最大值等同于求  $E[P(M)] = \prod_{m=1}^M I(i_p, m)$  的最大值。设目标的运动速度为  $N$  点/帧,则到达第  $m$  帧点  $i$  的所有轨迹中能量最大轨迹的累加和为:

$$E_{\max}(i, m) = \max_{0 < n < N} E(n, m-1) + I(i, m) \quad (7)$$

即第  $m$  帧回波数据中经过点  $i$  的能量最大轨迹,等于前  $m-1$  帧回波数据中能量最大轨迹加上第  $m$  帧回波数据中点  $i$  的强度值,依次类推,直到第一帧回波数据。对第  $m$  帧的回波数据所有点进行处理,得到新的一组数据:

$$G(i, m) = E_{\max}(i, m) \quad (i = 1, 2, 3, \dots, L) \quad (8)$$

其中,  $L$  为回波数据长度。

通过取门限,可以从  $G(i, m)$  获得可疑目标点,通过相关检测可以判决有无目标。

#### 4 仿真结果及性能分析

为方便计算,令  $g(i, M) = G(i, M) / M$ 。

选 4 组原始数据,每组原始数据 8 帧,递推层数分别取 8, 6, 4。原始数据与累加后的数据信噪比比如表 1 所示。

表 1 4 组数据的信噪比及积累后的信噪比

序号	1	2	3	4
$I(i, 1)$	2.20	3.12	5.62	2.22
$I(i, 2)$	5.25	2.28	3.23	2.84
$I(i, 3)$	2.51	5.61	2.12	4.86
$I(i, 4)$	5.41	1.82	3.68	5.85
$I(i, 5)$	3.42	6.43	2.36	2.92
$I(i, 6)$	4.38	5.22	4.65	3.48
$I(i, 7)$	4.12	3.21	1.69	2.76
$I(i, 8)$	2.72	2.24	5.61	4.63
$g(i, 4)$	8.72	7.82	8.24	7.26
$g(i, 6)$	9.86	8.24	9.43	8.65
$g(i, 8)$	11.67	10.42	11.52	10.86

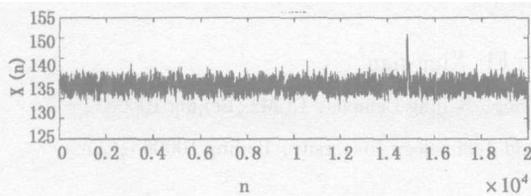


图 3 处理结果  $g(i, 4)$

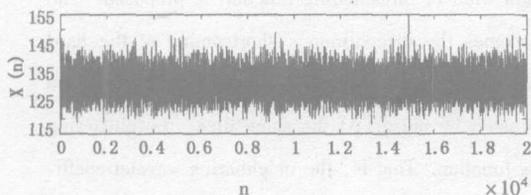


图 4 原始数据 1

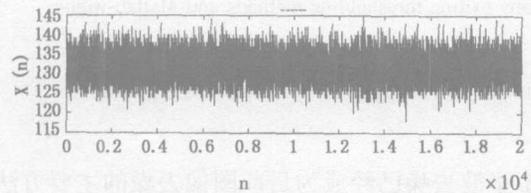


图 5 原始数据 2

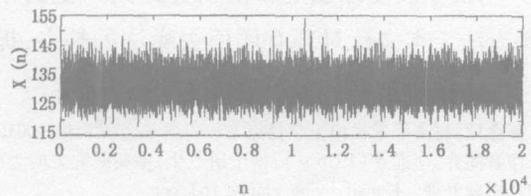


图 6 原始数据 3

从表 1 中可以看出,激光回波闪烁比较严重,相邻帧间信号起伏比较大。只用相关检测方法,检测概率不高。采用动态规划,运用多帧能量积累,效果比较显著,平均信噪比得以提高约 3 倍。另一方面可以看出,递推层数越高,信噪比提高越大。但是,递推层数高,即  $M$  取值越大,计算量也迅速增大。实际应用中,我们可以根据检测性能,在满足检测信噪比的条件下,适当选取  $M$  的值,达到最优的效果。在图 3~图 6 中, $M$  取 4。图 3 为 4 帧积累的结果,图 4~6 为原始的 4 帧回波数据。由此看出,通过积累后,信噪比明显提高,通过门限检测可以检测出目标。然后再利用目标相关检测可以准确地确定目标。

#### 5 结论

本文提出的基于动态规划检测是一种有效的检测方法。动态规划方法能在低信噪比下检测出目标,且计算量小,但目标速度未知时,计算过程中所需速度窗的参数放宽时,计算量将迅速增大,并导致算法检测性能降低,同时对目标轨迹进行反向跟踪时需要较大的存储量。因此运用动态规划对信号进行实时处理是进一步需要研究的课题。

#### 参考文献:

- [1] 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, 12: 60 - 65.
- [2] 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): 161 - 164.
- [3] 沈春蕾, 杨宗凯. 激光水下目标探测中混沌背景信号重构的研究 [J]. 华中理工大学学报, 1997, 25(4): 63 - 65.
- [4] Bamiv Y, et al Dynamic Programming Solution for Detecting Dim Moving Targets [J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems 1987, 23(6): 776 - 788.
- [5] R Succary, S R Rotman, S Nadav. Infrared point target detection [A]. Proc SPIE, 2002, 4820.
- [6] R Succary, A Cohen, P Yaractzi, et al Dynamic Programming Detection: Practical Parameters for DPA [A]. Proc SPIE, 2001, 4473: 96 - 100.
- [7] Steven M Kay 统计信号处理基础——估计与检测理论 [M]. 罗鹏飞, 等译. 北京: 电子工业出版社, 2003, 8: 524.
- [8] 夏桂芬, 赵保军, 韩月秋. 激光雷达的目标检测性能分析 [J]. 系统工程于电子技术, 2005, 27(12): 1994 - 1996.