

基于目标距离像的地面目标检测和跟踪

何松华 郭桂蓉 郭修煌

(电子技术系)

摘要 本文阐述了高分辨率一维距离成像的原理,提出了一种基于目标距离像的目标信号检测和跟踪方法。理论分析与模拟结果表明,通过目标距离像可以测量出目标的一部分强散射中心;强散射中心信息的综合利用,可以提高信干比并改善检测和跟踪性能。因此利用目标距离像可以较好地解决强地物杂波背景下目标信号的检测和跟踪问题。

关键词 检测,跟踪,精确制导,高分辨率

分类号 TN957.51

如何实现强地物杂波背景中目标信号的检测和跟踪是武器系统实战过程中要解决的一个主要问题。提高分辨率,从而提高信干比,是解决上述问题的合理途径。例如,采用宽带 LFM CW 毫米波工作体制获得较高的距离分辨率。当分辨单元远小于目标尺寸时,目标将作为扩展(分布式)目标看待,因此,目标检测和跟踪方法与传统的点目标检测和跟踪方法相比,有其本身特点。本文针对这些特点加以探讨。

1 基本原理

在毫米波照射下,目标特性可表征为目标物体各散射中心在目标物体上的空间分布及其散射截面积的相对大小关系。所谓散射中心是指目标物体上散射强度较大的部位,一般为边缘、拐角及联接部位等。实验证明,在光学区(工作波长远小于目标尺寸),散射中心确实存在^[1]。根据这种目标散射强度在目标物体上不均匀分布理论容易推知:提高分辨率,可以提高信干比,改善检测和跟踪性能。例如,当分辨单元约等于目标尺寸时,做到了单元内目标信号能量不减少情况下使信干比最大。在进一步提高分辨率时,虽然目标信号能量分散到不同单元内,但主要集中在强散射中心对应的单元内,而杂波或噪声的能量被认为是均匀分散和减少的。这样就进一步提高了强散射中心处的单元信干比。

当目标占据多个分辨单元时,不仅可以利用单个分辨单元在时间轴上进行纵向相关和积累,还可以利用不同单元内的强散射中心进行横向的相关和积累。

2 实时高分辨率一维距离成像

设采用 LFM CW (线性调频连续波)工作波形,用两种天线分别用于发射和接收,

发射信号的频率特征如图 1 所示。又设： t 为时间变量， t_n 为以第 n 次扫频开始时间为起点的的时间变量，则第 n 个扫频调制周期内，发射信号可写成：

$$e_i(n, t_n) = A \cdot \cos[(f_0 + \frac{\Delta F}{2 \cdot T_p} \cdot t_n) \cdot t_n + \phi_n] \quad (1)$$

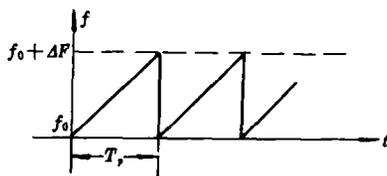


图 1 发射信号的频率特征
频宽 ΔF ，扫频周期 T_p

设目标有 M 个散射中心，第 m 个散射中心相对于接收点的初始距离为 R_{om} ，则当观测时间 $N \cdot T_p$ 足够小（在此时间内设目标运动不超出一个距离单元）时，根据文献^[2]，经混频（本振信号与发射信号同步）后，回波信号可以写成：

$$x(n, t_n) = \sum_{m=1}^M x_m(n, t_n) \quad (2)$$

$$x_m(n, t_n) = A_m \cdot \cos 2\pi(f_m \cdot t_n + \theta_{mn}) \quad (3)$$

$$f_m \approx \frac{\Delta F}{T_p} \cdot \frac{2R_{om}}{c} \quad (4)$$

当 n, m 一定时， θ_{mn} 为常量。对(3)式所示信号经多次混频（降低频率）后作 FFT 谱估计，并设谱估计有足够的精度，则可根据谱峰的位置求出 R_{om} ，这样就得到了目标物体各散射中心在径向距离轴上的投影分布图，称为目标的一维距离像（Range Profile）。

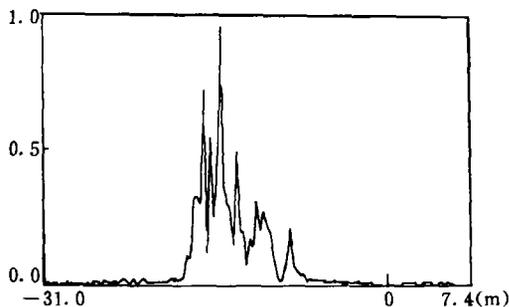


图 2 坦克目标的一维距离像

根据文献^[3]，FFT 处理所能实现的距离分辨率为：

$$\Delta = c / (2 \cdot \Delta F) \quad (5)$$

c 为光速。宽带波形是实现高分辨率的必要条件。如果要求实时成像，则还要有一个必要条件：超高速信号处理。设照射波束在目标处的驻留时间为 T_r ，分辨率为 Δ 时完成目标信号检测需要 N_r 次积累，实现 Δ 所需数据样本点数为 N_s ， N_s 点 FFT 处理及恒虚警检测时间为 T_B ，则有 $N_r \cdot T_B < T_r$ ，

$$(6)$$

在本文的计算机仿真实验中，采用电子技术系资料提供的坦克目标散射中心分布模型及截面积模型，得到了不同姿态角情况下坦克目标的一维距离像。图 2 给出了某一姿态角下的一幅距离像，图中 $\Delta = 0.3m$ ($\Delta F = 500MHz$)。结果表明，当 $\Delta = 0.3m$ 时，已能测量出目标的几个强散射中心。如果要对弱散射中心亦进行测量，则要求更高的距离分辨力。由于有限点 FFT 的影响，散射中心在谱中不是单根谱线，而是扩散到好几个分辨单元，每个谱峰对应一个强散射中心。

3 基于一维距离像的目标信号检测

设 $\Delta = 0.3m$ ，地面目标的径向长度一般为 3~10m，因此目标将占据十到几十个单

元。

3.1 单元信干比

根据文献[4]提供的毫米波地物杂波模型,当工作频率 $f_0=35\text{GHz}$,波束入射角 $\beta=10^\circ$,主瓣照射波束宽度 $\theta_B=4^\circ$ 时,0.3m 分辨单元内杂波雷达截面积为 $\sigma_c=0.7\text{m}^2$ 。设接收机噪声系数小于 9dB,则当目标存在 $\sigma_T>5.0\text{m}^2$ 的强散射中心时,单元信干比可超过 8dB^[2]。

3.2 单元单次检测

杂波幅度(谱线高度)在时间 t 及分辨单元 l 上的统计分布是恒虚警检测的依据。根据文献[3],单元内杂波幅度分布采用瑞利分布拟合,杂波平均功率在单元间的分布用韦伯分布拟合。若以 FFT 输出谱线幅度 $|X(l)|$ 作为检测变量,并设门限电平为 x_0 ,则第 l 个单元的虚警率为

$$p_f(l) = \exp[-x_0^2/(2\sigma^2(l))] \quad (7)$$

根据 N. C. Currie 等人的结论, $\sigma^2(l)$ 在单元 l 间服从 $b=1$ 的韦伯分布

$$p(\sigma) = \frac{b\sigma^{(b-1)}}{\alpha} \cdot \exp(-\sigma^b/\alpha) \quad (8)$$

根据(7)、(8)式可得平均虚警率(期望值)为

$$p_f = \int_0^{+\infty} \exp[-v_0^2/(2 \cdot z) \cdot \exp(-z)] d_z \quad (9)$$

式中 $v_0=x_0/\sqrt{\alpha}$ 为相对电平, α 可根据 L 根有效谱线估计

$$\alpha = (1/L) \cdot \sum_{l=1}^L |X(l)|^2 \quad (10)$$

设单元信干比为 $s/J=\delta$,同理,可推出该单元对应的发现概率为

$$p_d = \int_0^{+\infty} \int_{v_0}^{+\infty} \frac{x}{y} \exp\left[-\frac{x^2+2\delta}{2y}\right] \cdot I_0\left(\frac{\sqrt{2\delta} \cdot x}{y}\right) \cdot \exp(-y) \cdot dx dy \quad (11)$$

式中 v_0 为常量,即由 α 调整 x_0 ,实现恒虚警。令 $v_0=2.5$, $\delta=8\text{dB}$,可得 $P_d=86\%$, $P_f=7.55\%$ 。

3.3 单元积累检测、多单元联合检测

单元积累检测是利用多幅距离像对同一距离单元进行多次积累检测。多单元联合检测是利用同幅距离像的多个单元进行联合检测,如 m/N 检测(m out of N detector),距离单元间积分检测(Integrated cell detector)等。模拟结果表明,目标存在多个强散射中心时,ICD 优于 m/N 制。对分布式目标,多散射中心联合检测可提高目标发现概率,降低虚警。

4 基于距离像的目标信号跟踪

(1) 距离跟踪。跟踪状态下目标检测仍采用恒虚警积累联合检测,一般能求得多个强散射中心的距离位置,据此求出目标径向中心位置。只要改变某一级混频本振频率,使跟踪波门中心跟随目标距离中心移动,即可实现距离跟踪。显然,跟踪误差小于目标尺寸。

(2) 角度跟踪。通过比较(同时或顺序)接收波束在不同角位置时的距离像幅度信息,可求出每个强散射中心的角坐标 $(\alpha_i, \beta_i | i=1, 2, \dots, P)$, 据此推测出目标角度中心姿态角 (α_0, β_0) 。多散射中心角度信息的综合,在一定程度上可挖掘出精度潜力。这是因为:(1) 舍弃弱散射中心参与测角, 突出强散射中心作用, 减少噪声及杂波起伏的影响。(2) 各强散射中心彼此分开, 减少了因彼此之间干涉现象引起的起伏。(3) 多散射中心信息综合, 起平滑作用, 减少随机误差。(4) 由于距离上的高分辨, 可选择跟踪波门约等于目标尺寸, 减少多径回波对测角的影响(多径回波与直接回波路程差一般大于目标尺寸)。

5 结 论

在高距离分辨率情况下, 能够测量出目标的多个强散射中心, 从而不仅单元信干比提高, 目标的距离维精细结构及距离相关信息也有体现, 因而有助于解决强地物杂波背景下慢速运动或静止目标的检测和跟踪等问题。

参 考 文 献

- 1 Hurst M P. Scattering Center Analysis Via Prony's Method. IEEE T-AP, Aug. 1987, 35(8)
- 2 Dean L Mensa. High Resolution Radar Imaging. Artech House Inc. 1981, 38
- 3 Currie N C, et al. Mm-Wave Land Clutter Update. International Radar Conference-87. 217~221

Ground Target Detection and Tracking Based on Target Range Profiles

He Songhua Guo Guirong Guo Xiuhuang
(Department of Electronic Technology)

Abstract

The principle of obtaining one dimensional high resolution range profiles(HRRP)of a target is introduced, and a method of target detection and tracking based on HRRP is presented. Theoretical analysis and simulation results show that some of the strong scattering centers of the target can be measured with HRRP. By synthetically using the information of strong scattering centers, S/J ratio can be increased and detection or tracking performance can be enhanced. The method proposed here can solve the problem of target detection and tracking under strong ground clutter backgrounds.

Key words detection, tracking, precision guidance, high resolution