

# 逆合成孔径(ISAR)雷达目标检测方法

陆林根

(北京无线电测量研究所,北京 100854)

**摘 要:** 本文研究 ISAR 雷达目标回波的信号检测方法. 由于 ISAR 雷达目标检测实质上是延伸目标检测(Extended target detection),其目标散射模型不是低分辨率雷达(LRR)中的等效点目标. 在距离维上呈现出多个强散射点<sup>[1,9,10]</sup>. 本文提出的目标回波的检测方法是对同一目标的距离维上各散射点进行相关积累,以提高雷达目标信噪比. 分析和实际结果表明:利用本文所提出的雷达目标检测方法比低距离分辨(LRR)雷达的性能有很大的改进.

**关键词:** 高分辨雷达; 雷达信号处理; 雷达信号检测; 逆合成孔径雷达

**中图分类号:** TN953<sup>+</sup>.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112(2000)03-0029-03

## The Methods of Signal Detection for ISAR Radar

LU Lin-gen

(Beijing Institute of Radio Measurement, Beijing 100854, China)

**Abstract:** This paper deals with feature of extraction target signal with ISAR radar. Since the size of the target is larger than range resolution of ISAR radar, the back-scattered power of the target is represented as a function of time. The method of improved detection performance with ISAR are FFT and signal amplitude integration of each range cell, which presents the signal of the target. But in LRR the signal integration is vectorized integration, the output forms of the methods are given by this paper and theoretical calculation agrees with experimental measurement satisfactorily.

**Key words:** high-resolution radar; radar signal processing; radar signal detection; ISAR

### 1 引言

单个目标回波信号主要是由目标各强散射点的散射特性和雷达照射目标信号形式决定的. ISAR 雷达是用宽带信号照射目标后,因目标的尺寸远大于雷达所用的工作波长和距离单元,所以雷达一次回波信号在时间上的波形为目标的各强散射点在径向距离上的投影,即目标距离像. 由于 ISAR 雷达距离上所得的是高距离分辨率波形,所以有时也称高距离分辨率雷达(HRR)波形.

由于目标实际尺寸远大于 ISAR 雷达的距离单元,所以其目标回波并不是单独存在于一个距离单元内,而存在于许多距离单元内. 例如,雷达距离分辨率为 0.5m,而实际目标的尺寸为 30m,假设目标背向雷达飞行,原则上,雷达目标回波将在 60 个距离单元间隔内都可能出现. 对于 LRR 雷达,目标实际尺寸远小于距离单元值,此时,目标的各强散射点按不同的幅度和相位可综合成一个等效散射点,此散射点作为 LRR 的等效点目标. 由于以上特点,检测空中是否存在目标(目标检测)是有许多不同的.

ISAR 雷达距离分辨率  $k$  与雷达带宽  $B$  之间的关系如下:

$$k = C / (2B) \quad (1)$$

式中  $C$  为光速. 而信号检测系统则依据雷达接收的信号加以判别以下的假设:

$H_0$  假设:噪声 (2)

$H_1$  假设:信号 + 噪声

在 LRR 中有一套较为成熟的理论:即先求出两类假设条件下的似然比,将此似然比与一个固定门限  $T_0$  作比较,如大于则认为有目标,否则认为无目标. 选择不同固定的门限后,系统可得到不同的发现概率( $P_d$ )与虚警概率( $P_{fa}$ ). 对于延伸目标检测,国内、外学者进行大量工作<sup>[1~5]</sup>. 本文首先提出实现 ISAR 雷达信号检测的具体方法,此方法没有见到其它文献报道. 本文把此方法与 LRR 检测方法作比较,得到较为肯定的结论. 结果表明:ISAR 雷达单个目标回波检测性能较 LRR 更好得多.

### 2 ISAR 雷达目标回波

ISAR 雷达发射信号为宽带信号,形式为线性调频波形(LFM),其表达式为<sup>[11]</sup>:

$$U_T = U_0 \text{rect}(t/\tau) \cos(2\pi f_0 t + Bt^2/2) \quad (3)$$

式中  $\tau$  为信号持续时间,信号调制斜率为  $B/\tau$ ,  $U_0$  为发射信号幅度,  $f_0$  为载频,而

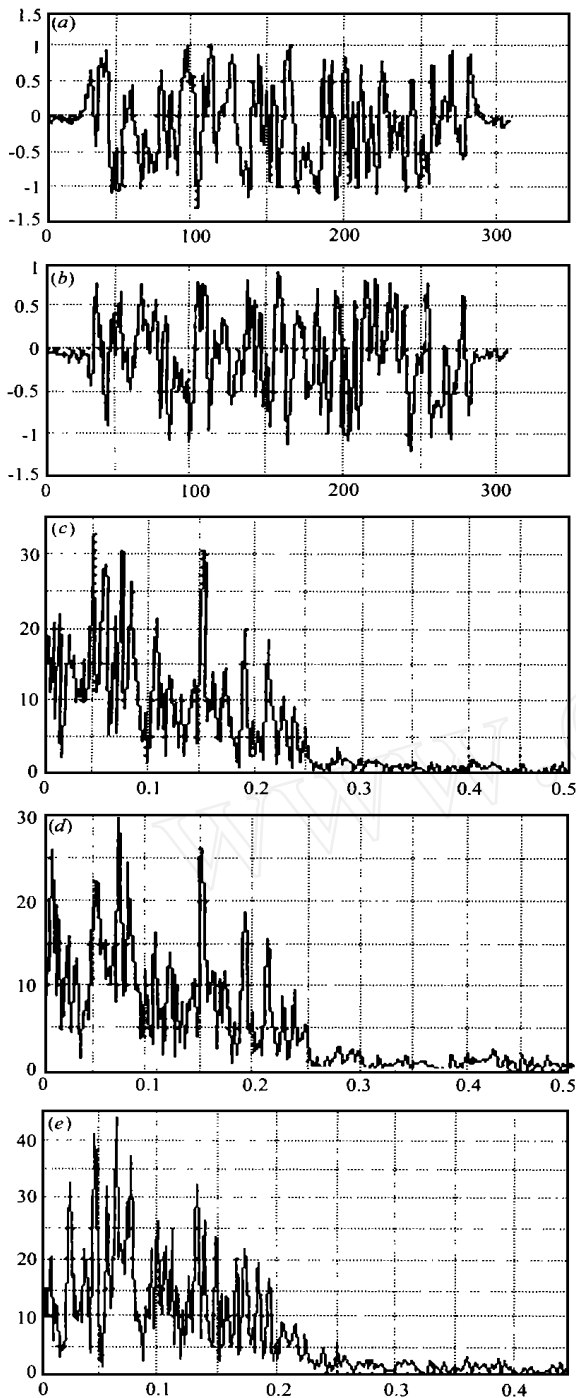


图1 实测 ISAR 雷达波形图

$$\text{rect}(t) = \begin{cases} 1, & -T/2 \leq t \leq T/2 \\ 0, & |t| > T/2 \end{cases} \quad (4)$$

此发射信号经过目标的各强散射点反射后,雷达接收的信号表达式为:

$$U_r = \sum_{i=1}^m K_i \cdot U_0 \cdot \text{rect}\left(\frac{t-t_i}{T}\right) \cdot \cos\left[2(f_0 - f_{d_i}) \cdot (t-t_i) + \left(\frac{B}{f_0} \cdot (t-t_i)^2 + \phi_{0i}\right)\right] \quad (5)$$

式(5)中  $i$  为强散射点数,  $m$  为总点数,  $t_i$  为各强散射点相对

于雷达距离的延迟,  $K_i$  各强散射点的散射系数,  $f_{d_i}$  为散射点相对于雷达的多普勒频率,  $\phi_{0i}$  为各散射点的相移. 对回波信号经全去斜率混频器,在正交鉴相输出的正交回波信号<sup>[9]</sup>:

$$U_m = \sum_{i=1}^m K_i \cdot U_0^2 \cdot \text{rect}\left(\frac{t-t_i}{T}\right) \cdot \sin\left\{2f_0(t-t_i) + 2f_{d_i} \cdot (t-t_i) + \left[\frac{B}{f_0} \cdot (t-t_i)^2 + \phi_{0i}\right]\right\} \quad (6)$$

其中  $t_i = t - t_0$ ,  $t_0$  为本振去斜率延迟时间.  $f_{d_i}$  表示多强散射点的多普勒频移. 由式(6)看出,其延迟信息包含在  $t_i$ , 而

又在相位内,所以对式(6)实行快速傅氏变换,可得各散射点的距离信息. 图1表示 ISAR 雷达实测的波形与经傅氏变换后的各散射点的距离信息. 其中(a) I 支路信号, (b) Q 支路信号, (c) I 支路 FFT 后信号, (d) Q 支路 FFT 后的信号, (e) 双路求模后的信号. 从图1(e)中看出: (1) 强散射点超过噪声很多波形是很明显可以区分的. 如只按某个距离单元中的散射点作为整个目标回波的检测,这是不完全合理的. (2) 从图1(e)中可以初步看出目标强散射点所在位置,头部有两个点,机翼约有4~6点,机身也有3个密集点,然后是机尾部分<sup>[8]</sup>. (3) 这是一幅特定的目标所在位置是所得距离像. 目标的实际尺寸约为 24 × 29.2m. 斜距 32km; 按以上位置的目标可以得到三种方法检测目标是否存在:

$$A、U_1 = \text{MAX} |V_i| : i = 1, 2, \dots, n;$$

$$B、U_2 = \left| \sum_{j=1}^n V_j \right| : j = 1, 2, \dots, n;$$

$$C、U_3 = \left\{ \sum_{i=1}^{n-r} V_i + \sum_{l=1}^r V_l \right\}$$

式中,  $n$  为距离单元数,  $r$  是同一距离单元内存在多个散射点的总数.  $A$  方法是按最大脉冲幅度位置检测是否存在目标,即按图1(e)中在横坐标处有一最大幅度值而确定.  $B$  方法是 LRR 的目标质心方法检测是否存在目标,即根据目标的各散射点所在位置和雷达视线相交时散射的幅度与相位,由于相位各有不同,所以其等效散射点是矢量相加后得出的.  $C$  方法是各散射点模值相加的 HRR 雷达检测方法,即观察散射点是否在同一距离内,此时假设距离分辨单元为 0.5m; 在同一距离单元内散射点是矢量相加,而不同距离单元内的散射点则用其模相加,只要用幅度相加即可. 不同方法可以得到不同的目标检测特性<sup>[9]</sup>.

设  $U_1, U_2, U_3$  是不同检测目标的方法所得的结果,

$$S_{21} = 20 \log \left( \frac{U_2}{U_1} \right) \quad (7)$$

$$S_{32} = 20 \log \left( \frac{U_3}{U_2} \right) \quad (8)$$

$$\log r = (C_0 - S) / 4 \quad (9)$$

式中  $C_0$  和雷达有关的常数.  $r$  为增加或减少的雷达的作用距离,  $S$  为增加或减少的雷达的信噪比值. 由此可见,同一目标因其所处位置不一样,其输出的波形也不一样,但对其所用的检测方法则是一样的.

### 3 不同目标方向位置时检测特性

第2节只是讨论目标处于某一位置时的结果,当目标处于不同位置时,这些结果会有变化,本节将讨论这些内容. 当

目标环绕雷达站作圆周运动时<sup>[6,7]</sup>, 其各强散射点的位置相对于雷达站也会作相应的变化, 这些变化会使 LRR 的目标特性同样发生激烈的变化 (如检测方法还依上节所示), 此时的结果见图 2.

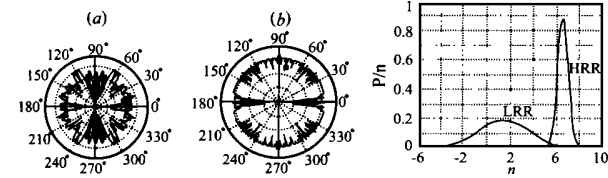


图 2 不同检测方法在不同方向时所得目标的 RCS 图形

图 3 LRR 和 HRR 所得处理数据

图 2 中 (a) 为低分辨雷达有强散射点时的 RCS, 而 (b) 为 ISAR 雷达按在同一距离单元内矢量相加, 而在不同距离单元时, 则模值相加, 所得的结果. 如图 3 所示, 把图 2 中所有点综合求出其平均值  $S$  和均方差, 其图形可见图 3. 而不同目标散射特性所得结果见表 1. 如图所示, 各散射点的幅度相同,

表 1 不同目标特性时雷达所得值变化

	目标形式	LRR		ISAR		平均得益 $20 \log \frac{S_1}{S_0}$
		$S_0$ 平均值	$\sigma_0$ 均方差	$S_1$ 平均值	$\sigma_1$ 均方差	
1	8 点散射 (标准)	1.427646	2.117484	6.516406	0.452451	14.1323
2	8 点散射 (非标准)	2.309035	1.892866	7.481972	0.650014	14.27474
3	14 点散射 (标准)	2.39263	1.8635	7.4831	0.6153	14.1351
4	14 点散射 (非标准)	2.1842	1.9458	7.3287	0.5871	14.22686
5	14 点散射 (幅、非标准)	2.0047	2.0974	7.6721	0.6078	15.0676

目标处于 8 个强散射点时结果 :LRR, 其均值  $S$  为 1.427646,  $\sigma_0$  (均方差) 为 2.117484, 而对 HRR, 其均值  $S_1 = 6.518406$ ,  $\sigma_1$  为 0.452451.

表 1 中表明 8 个散射与 14 个散射点的处理方法相同, 而得到的平均得益和均方差也有差别.

结论 :采用 ISAR 雷达的检测方法不同于 LRR 的检测方法, 将各距离单元值用简单方法积累起来就可以得到较好的检测性能.

参考文献

[ 1 ] P. k. Hughes. High resolution radar detection strategy. TIEEE AES-19 (5), Sep. 1983

[ 2 ] A. Farina ,et al. Target detection and classification with very range resolution radar. 89 Radar Int.

[ 3 ] A. Farina. Detection with high resolution radar : Great promise big challenge. Microwave Journal ,1991 ,5 :263

[ 4 ] A. Farina. High resolution radar for enhanced target detection. Int. Radar 92

[ 5 ] CIE/ R 中国电子学会雷达分会. 雷达目标成像技术交流讨论会论文集. 1995 ,11 ,北京

[ 6 ] K. K. Eerland. Application of ISAR on aircraft. IEEE Inter. Radar Confer. 1980

[ 7 ] B. D. Steinberg. Microwave Imaging of Aircraft. PIEEE Dec. 1998 ,76 (12)

[ 8 ] 唐劲松, 朱兆达. 改善高分辨雷达检测性能方法. 1993 年全国反隐身研讨会文集

[ 9 ] 陆林根. 高分辨雷达的目标自动检测器. 电子科学学刊, 1997 , 3 :195

[ 10 ] 陆林根. 高距离分辨雷达用相关滤波提高目标检测性能. 系统工程与电子技术, 1995 ,9

[ 11 ] 孙以平, 陆林根. 距离扩展目标检测的研究. 系统工程与电子技术 ,1994 ,8 :36 ~ 45