

一种改进的对 SAR 的弹射式干扰方式

甘荣兵 王建国 何川* 徐美林

(电子科技大学电子工程学院 成都 610054)

*(电子对抗国防科技重点实验室 成都 610036)

摘要: 根据普通对 SAR 的弹射式干扰的不足, 提出了一种改进的弹射式干扰。改进的弹射式干扰将干扰机转发时延设置成随机变量, 这样干扰信号在方位上就不再是线性调频信号, 干扰信号在方位压缩处理过程中就不会被压缩。改进的弹射式干扰将覆盖整个成像区域, 而普通的弹射式干扰只能覆盖部分区域, 因此改进的弹射式干扰具有明显的优越性。通过计算机仿真得到了干扰效果图, 得到的干扰图像类似噪声干扰, 很好地验证了理论的正确性。最后具体分析了改进的干扰方式的优越性。

关键词: SAR, 干扰, RD 算法

中图分类号: TN974

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2005)02-0256-03

An Improved Rebound Jamming to SAR

Gan Rong-bing Wang Jian-guo He Chuan* Xu Mei-lin

(College of Electronic Engineering, UESTC, Chengdu, 610054, China)

*(National Electronic Warfare Laboratory, Chengdu, 610036, China)

Abstract An improved rebound jamming way named Random Delay Rebound Jamming (RDRJ) to SAR (Synthetic Aperture Radar) is investigated. Not like the normal rebound jamming, the jammer's delay time is set randomly between every pulse. The disturbing signal is Linearly Frequency Modulated (LFM) in range direction and not in azimuth direction. The analyses and computer simulation show that the RDRJ method provides a good way to jamming SAR. The advantage of the RDRJ is analyzed finally.

Key words Synthetic aperture radar, Jamming, RD algorithm

1 引言

弹射式干扰最初应用于对一般雷达的干扰, 利用转发雷达发射的信号对雷达进行干扰, 取得了较好的效果。最近有专家提出将弹射式干扰用于对 SAR 的干扰。中国科学院电子学研究所也对弹射式干扰作了研究^[1], 得到了一些结果。作者也分析了普通对 SAR 的弹射式干扰的原理和作用结果, 对其性能作了研究, 同时也提出了几种对抗弹射干扰的方法^[2]。

传统的弹射式干扰方式中, 干扰机接收雷达信号, 在固定的时间延迟下转发信号到目标区域, 目标散射干扰信号被雷达接收而形成干扰像。由于采用固定转发时延, 干扰信号在距离和方位上都被压缩成像。其不足在于形成的干扰像不能覆盖整个目标区域, 存在未被干扰的侦察区域。

本文在传统的弹射式干扰中, 采用随机的干扰机转发时延。由于采用随机时延, 干扰信号的距离向的压缩虽能成像, 但已经是随机分布的; 方位向因为不同回波的时延不同, 不能被压缩。改进后的弹射式干扰能够覆盖整个目标区域, 取

得了很好的效果。而且用于抑制普通的弹射式干扰的有效方式, 用来抑制改进的弹射式干扰的效果不好。为了描述方便, 以下将随机转发时延的弹射式干扰记为 RDRJ (Random Delay Rebound Jamming), 将普通的弹射式干扰记为 NRJ (Normal Rebound Jamming)。

2 RDRJ 的工作原理

普通的弹射式干扰 (NRJ) 的工作原理是: 干扰机接收 SAR 信号, 将信号放大并转发到目标区域。干扰信号通过目标的散射一部分被 SAR 接收。这样 SAR 接收到的信号不仅包含了目标对 SAR 发射波的后向散射波, 而且包含了目标对干扰机产生的干扰信号的散射波。图 1 给出了在点目标的情况下, 雷达, 干扰机和目标的空间分布图。NRJ 由于采用固定转发时延, 干扰信号在距离向和方位向均能被压缩而形成干扰像。参见参考文献[2]。RDRJ 的工作方式与 NRJ 基本相同, 不同的只是 RDRJ 模式中干扰机采用随机转发时延, 而不是 NRJ 模式中的固定转发时延。以下将重点分析 RDRJ 在 SAR 成像处理中的作用。

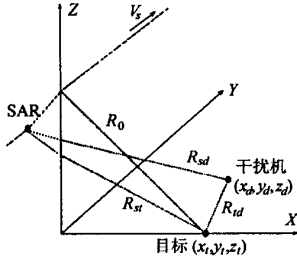


图1 弹射式干扰空间区域模型图

2.1 在 RDRJ 下雷达回波信号

假设 SAR 发射线性调频信号是

$$p(t) = a(t)\exp(j\beta t + j\alpha t^2) \tag{1}$$

弹射式干扰后雷达接收到的回波信号可以表示成^[3]

$$\begin{aligned} s(t) &= \sigma_t p(t - R_t/c) + \sigma_d p(t - R_d/c - \tau_d) \\ &= \sigma_t a(t - R_t/c) \exp[j\beta(t - R_t/c) + j\alpha(t - R_t/c)^2] \\ &\quad + \sigma_d a(t - R_d/c - \tau_d) \\ &\quad \cdot \exp[j\beta(t - R_d/c - \tau_d) + j\alpha(t - R_d/c - \tau_d)^2] \end{aligned} \tag{2}$$

其中 τ_d 是干扰机转发信号的延迟时间, 是针对不同脉冲的随机变化量。 R_d 是从天线到干扰机, 再到目标点, 最后回到雷达天线的总距离。 R_t 是天线到目标距离的两倍, 也就是目标信号经过的路程。 σ_t 和 σ_d 分别代表回波中目标信号和干扰信号的强度。接收信号经混频、正交通道分离后得到复基带信号是

$$\begin{aligned} \hat{s}(t) &= \sigma_t a(t - R_t/c) \exp(-j2\pi R_t/\lambda) \exp[j\alpha(t - R_t/c)^2] \\ &\quad + \sigma_d a(t - R_d/c - \tau_d) \exp(-j2\pi R_d/\lambda) \\ &\quad \cdot \exp[j\alpha(t - R_d/c - \tau_d)^2] \exp(-j\beta\tau_d) \end{aligned} \tag{3}$$

2.2 回波信号的压缩处理

雷达回波信号式 (3) 进行距离压缩处理后的表达式是

$$\begin{aligned} \hat{g}(s, R) &= \sigma_t \exp[-j4\pi R_t(s)/\lambda] \text{sinc}\{(2\pi B_R)/c[R - R_t(s)/2]\} \\ &\quad + \sigma_d \exp[-j4\pi R_d(s)/\lambda] \exp(-j\beta\tau_d) \\ &\quad \cdot \text{sinc}\{(2\pi B_R/c)[R - (R_d(s)/2 + \tau_d/2)]\} \end{aligned} \tag{4}$$

从式(4)可见, 在距离压缩处理中, 回波信号的真实目标信号和干扰信号都被压缩。干扰信号压缩后成像的位置是

$$R = R_d(s)/2 + \tau_d/2 \tag{5}$$

可见干扰像的位置不仅与 R_d 有关, 还与干扰机的转发时延 τ_d 有关。由于干扰机的转发时延是随机分布的, 因此干扰信号的距离像也是随机的。同时, 不同脉冲中, 同一目标的干扰像的位置也是不相同的, 是随机分布的。

若再对距离压缩后的信号进行方位压缩, 真实目标信号能够被压缩成像, 干扰信号部分存在一个随机相位因子 $\exp(-j\beta\tau_d)$, 因此干扰信号的方位频谱将表现为随机噪声。图2给出了点目标情况下 RDRJ 和 NRJ 两种干扰信号的方位频谱图。从图中可见, NRJ 的方位频谱是线性调频的, 只是多普勒质心有所移动; 而 RDRJ 的方位频谱是随机噪声似的。图3给出了单点目标在两种干扰下方位成像结果。可见在 NRJ 干扰下方位向出现两个干扰像, 而 RDRJ 的干扰信号在方位上不能成像, 形成随机干扰。

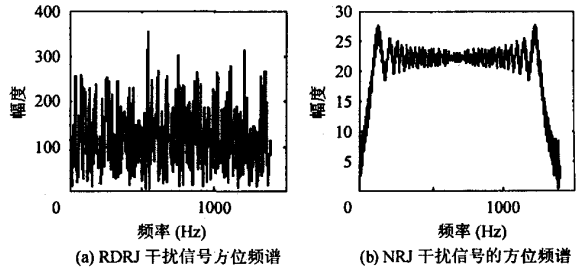


图2 单点目标 RDRJ 与 NRJ 信号方位频谱图

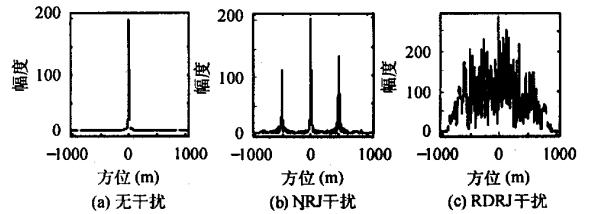


图3 单点目标的方位压缩结果比较图

3 实验仿真

3.1 RDRJ 干扰仿真结果

对 RDRJ 作了仿真试验。首先我们对一幅真实的 SAR 场景, 模拟生成 SAR 原始回波信号和干扰信号, 然后用 RD 算法对仿真的原始信号进行压缩处理^[4], 得到原始图像与干扰后的图像, 如图4所示。从干扰图可见, 0dB 的干扰给图像带来了斑点噪声, 当干扰信号达到 9.5dB 时, 干扰几乎掩盖掉了所有目标, 其效果与白噪声干扰类似。经过作者的多次实验表明, 干扰信号所需的强度与场景有关, 要得到一个客观的衡量干扰性能的指标需要建立客观的评价标准, 这是作者接下来的工作之一。

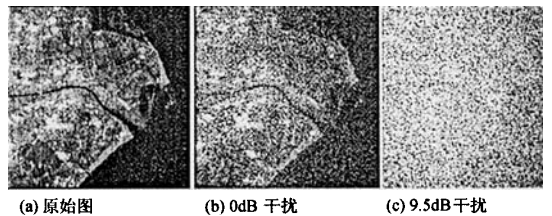


图4 随机转发时延的弹射式干扰结果图

3.2 RDRJ 与 NRJ 的效果比较

普通的弹射式干扰 (NRJ) 因为采用固定的转发时延, 因此干扰信号不仅在距离向上可以被压缩成像, 在方位向上也能被压缩成像。而且干扰像的距离向位置与干扰机的位置, 目标位置, 转发时延有关。调整这个固定的转发时延, 可以调整干扰像在距离维的位置, 使干扰像覆盖到要保护的目标上。干扰像的方位维的位置与干扰机和目标的位置有关, 与转发时延无关。具体的理论分析见参考文献[1]。从面目标的普通弹射式干扰仿真可见, 普通弹射式干扰的结果相当于真实目标图像叠加上一个干扰图像, 干扰图像不能完全覆盖目标图像。

对 RDRJ, 干扰信号在距离维可以被压缩成干扰像, 在方位维不能被压缩成像。在距离维的干扰像位置是随机分布的, 可以覆盖整个目标区域。

图 5 给出了同一场景在 NRJ 和在 RDRJ 情况下的干扰效果比较。从图中可见, 随机转发时延的弹射式干扰能够很好地覆盖整个目标区域, 而普通的弹射式干扰仅能覆盖部分区域。从干扰信号的强度上看, 要很好的覆盖目标, 普通弹射干扰要求雷达接收的干扰信号相对目标信号为大于零分贝, 而随机转发时延要求的干扰信号强度为接近 10dB。可见, 随机时延的覆盖整个区域是以提高干扰信号强度为代价的。

由普通弹射式干扰的干扰图像的特性, 可以估计干扰机的位置。而改进的利用随机时延的弹射式干扰中图像无法估计干扰机的位置。

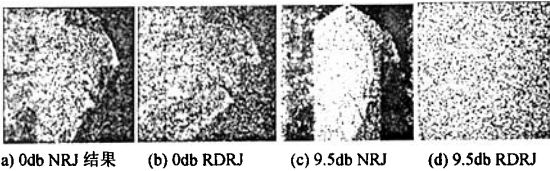


图 5 普通弹射式干扰与随机转发时延的弹射式干扰效果比较图

4 RDRJ 对抗抑制干扰的效果

对普通的弹射式干扰, 有几种抑制干扰的措施, 如: 提高 PRF, 采用部分方位频谱成像, 采用双天线对消技术等, 并且都有一定的抑制作用。这在作者的另一文章中有深入的研究。通过比较这些抗干扰措施对 NRJ 和 RDRJ 的作用, 可以更深入地了解 RDRJ 的优越性。

4.1 提高 PRF 的影响

普通弹射式干扰因为干扰信号的方位频谱相对于目标信号有移动, 超过 PRF 的限制而形成新的干扰像。用提高 PRF 的方法可以抑制干扰。对于 RDRJ, 方位向不再是线性调频信号, 因此提高 PRF 从这个角度不能抑制干扰。但是由于提高 PRF 将会提高系统增益, 对干扰有一定的抑制作用, 但是不如在普通弹射式干扰中作用大。对比结果如图 6 所示。从图中可见, 提高 PRF 对随机转发时延的弹射式干扰的抑制作用不如对普通弹射干扰的抑制作用。

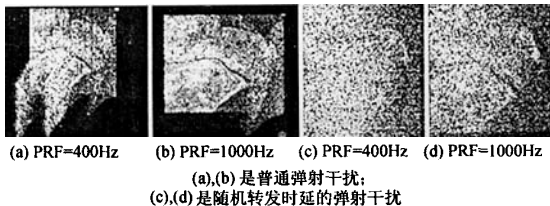


图 6 不同 PRF 时的干扰图像比较图

4.2 部分方位频谱成像的结果

NRJ 由于干扰信号在方位向的频谱相对于目标信号有一个位移, 因此采用较低频率部分成像将对干扰有抑制作用。而 RDRJ, 干扰信号频谱是均匀分布的, 采用部分方位频谱成像不但不能抑制干扰, 反而降低了图像的质量。计算机仿

真结果如图 7 所示。可见采用部分方位频谱成像不能抑制随机转发时延的弹射式干扰。

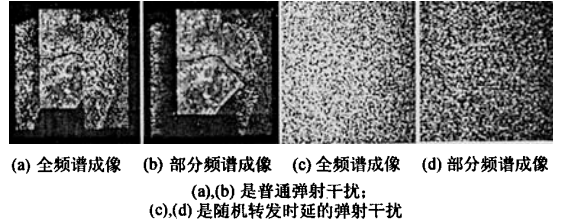


图 7 全频谱成像与部分方位频谱成像对比图

4.3 双天线对消的结果

采用双天线对消的方式可以抑制普通的弹射式干扰, 同时使部分目标信号被消去。双天线对消是利用干扰信号与目标信号在两个天线的不同脉冲之间的相位差不同来消除干扰信号。如果干扰机对不同脉冲的转发时延是随机的, 就无法估计相邻两个脉冲的干扰信号相位差, 因此不能很好消除干扰。同时, 由于干扰图像是类似白噪声干扰的图像, 无法从图像中估计干扰机位置, 有利于保护干扰机。

5 结束语

随机转发时延的弹射式干扰 (RDRJ) 是在普通弹射式干扰 (NRJ) 基础上作的改进, 它有普通弹射式干扰的优良性能: 属于主瓣干扰, 用传统的去旁瓣干扰方法不能抑制; 由于干扰信号与目标信号是相同的线性调频信号, 一般的基于干扰信号与目标信号的非相关性的抑制干扰的方法也不适用。

RDRJ 比 NRJ 还有更多的优越性: 干扰可以覆盖整个目标区域, 形成类似白噪声的干扰, 干扰效果更明显; 从干扰图像中不能分析出干扰机的大概位置, 对干扰机有保护作用; 对普通弹射式干扰的几种有效的抑制方式对随机时延的弹射式干扰作用不大。

对 RDRJ, 因为干扰信号在距离维被压缩, 在方位维没有压缩。而普通的弹射式干扰的干扰信号在距离向和方位向都很好地压缩成像, 所以 RDRJ 比 NRJ 需要能量更大, 以抑制 SAR 的增益。但它比一般白噪声干扰需要的能量小。

参考文献

- [1] 胡东辉, 吴一戎. 合成孔径雷达散射波干扰研究. 电子学报, 2002, 30 (12): 1882 - 1884.
- [2] 甘荣兵, 王建国, 何川. 对合成孔径雷达的弹射式干扰性能分析. 信号处理, 2003, 19(增): 382 - 385.
- [3] 刘永坦. 雷达成像技术. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1999, 第 3.1 节.
- [4] Mehrdad Soumekh. Synthetic Aperture Radar Signal Processing with MATLAB Algorithms. New York: J. Wiley, 1999, Chapter 1, 2.

甘荣兵: 男, 1975 年生, 博士生, 研究方向为雷达信号处理。
王建国: 男, 1954 年生, 教授, 主要研究合成孔径雷达成像、雷达对抗、雷达目标识别等方向。