

# 一种新的合成孔径雷达压制干扰方法<sup>1</sup>

吴一戎 胡东辉

(中国科学院电子学研究所 北京 100080)

**摘要** 该文提出一种新的合成孔径雷达 (SAR) 压制干扰方法。讨论了这种干扰方法对合成孔径雷达图像的干扰效果。从 SAR 系统信干比增益和系统干扰功率增益出发, 与传统的噪声调制干扰方法进行了比较, 并给出了仿真结果。

**关键词** 合成孔径雷达, 压制干扰

**中图分类号** TN958, TN951

## 1 引言

合成孔径雷达 (SAR) 是从 20 世纪 50 年代发展起来的一种崭新的高分辨成像雷达。它被广泛应用于各遥感领域。在军事遥感领域, 在对早期战略、战术情报的侦察获取方面, 合成孔径雷达表现出了强大的威力。因此, 开展对合成孔径雷达干扰技术的研究是十分必要的。

压制干扰是雷达对抗中常见的干扰手段。其基本原理是通过干扰机向雷达发射噪声或似噪信号并混入雷达原始回波中, 对回波信息起到遮盖或淹没的干扰效果。其中噪声调制干扰是较为常见的压制干扰实现方式。其基本原理是通过将噪声调制在载波的幅度、相位、频率上来实现对雷达的压制干扰<sup>[1-3]</sup>。由于合成孔径雷达的高信噪比特性, 因此对噪声调制干扰方法提出了很高的功率要求, 使其应用受到限制。

本文提出一种新的合成孔径雷达压制干扰方法——调频率失配脉间去相干法。同噪声调制干扰相比, 新方法利用了 SAR 信号的距离相干特性, 因而可以得到较高的 SAR 系统干扰功率处理增益, 在同样的干扰条件下, 压制干扰效果强于噪声调制干扰。

## 2 噪声调制干扰对 SAR 的影响

合成孔径雷达的目的是通过对其接收到的地物后向散射回波进行处理来重建地域图像。这种重建从原理上可以视为一距离向和方位向耦合在一起的二维匹配滤波过程。它通过发射线形调频信号得到高的距离分辨率, 通过运动孔径综合得到高的方位分辨率。

雷达原始回波其实是受到各种干扰信号污染的地物回波。干扰信号对 SAR 的影响可以通过 SAR 系统信干比增益  $K$  和 SAR 系统干扰功率增益  $K_d$  体现出来。

$$K = (S/J)_o / (S/J)_i \quad (1)$$

$$K_d = J_o / J_i \quad (2)$$

式中  $J_i$  代表 SAR 系统干扰输入功率,  $J_o$  代表 SAR 系统干扰输出功率。由于不同干扰方法中的干扰信号特性不同, 因此它们的系统信干比增益和系统干扰功率增益也不同, 通过对  $K$  或  $K_d$  加以比较, 能够客观地反映不同干扰方法对 SAR 的干扰影响。

当 SAR 系统的干扰输入为噪声调制信号时, 合成孔径雷达对其进行非相干处理, 而对地物回波的则是相干处理, 因此 SAR 在得到高图像分辨率的同时, 还能得到很强的图像信干比<sup>[4]</sup>。

以理想点目标为例, 由分析可知, 成像处理前后的信号功率关系为

$$S_o = S_i \gamma_r^2 \gamma_a^2 \quad (3)$$

<sup>1</sup> 2001-03-14 收到, 2001-07-09 定稿

式中  $S_i$  为点目标系统输入功率,  $S_o$  为点目标系统输出功率,  $\gamma_r$  为距离压缩比,  $\gamma_a$  方位压缩比。对已经数字化的雷达回波, 它们在数值上分别为距离采样点数和方位采样点数。可见, 经过二维相干处理后, 与输入信号相比, 点目标系统输出功率增大到距离压缩比和方位压缩比乘积的平方倍。

对于噪声调制信号, 成像处理前后的功率关系为

$$J_o = J_i \gamma_r \gamma_a \quad (4)$$

可见与输入相比, 系统输出噪声功率只提高了距离压缩比和方位压缩比乘积倍。由此可得到干扰为噪声调制信号时的 SAR 系统信干比增益  $K$  和 SAR 系统干扰功率增益  $K_d$  为

$$K = \gamma_r \gamma_a \quad (5)$$

$$K_d = \gamma_r \gamma_a \quad (6)$$

对于大多数合成孔径雷达,  $\gamma_r$  和  $\gamma_a$  一般在数百到数千之间, 因此噪声调制干扰中的图像信干比是相当高的。这严重制约了噪声调制干扰的干扰效果。为此我们提出了一种新的基于合成孔径雷达信号特性的压制干扰方法——距离调频率失配脉间去相干干扰法。

### 3 距离调频率失配脉间去相干干扰法

距离调频率失配脉间去相干干扰法的基本思想是在干扰机接收并转发雷达发射脉冲的过程中, 通过改变脉冲调频率且不保留脉冲间的相位相关性来形成干扰脉冲。

由 SAR 信号的相参本质可以知道, 当干扰机转发后的干扰脉冲仅仅失去方位脉冲间的相位相关性而完全保留了脉内相位特性(脉冲宽度、频带宽度、线形调频率等)时, SAR 在距离向对其进行相干处理, 在方位向仍为非相干处理, 它对 SAR 图像的干扰效果为在距离向被完全压缩的方位线条干扰, 此时其系统信干比增益和干扰功率增益为

$$K = \gamma_a \quad (7)$$

$$K_d = \gamma_r^2 \gamma_a \quad (8)$$

而当干扰机转发后的干扰信号与转发前的雷达信号存在调频率失配时, 干扰脉冲经成像处理器后的输出波形在距离向上将出现扩散现象, 如图 1 和图 2 所示。

可见, 距离调频率失配脉间去相干干扰法对图像的干扰影响不再是线条干扰, 而是在距离向占有一定宽度的条带状似噪干扰。干扰宽度  $L_d$  与距离调频率失配量  $\Delta k_r$  成正比, 距离调频

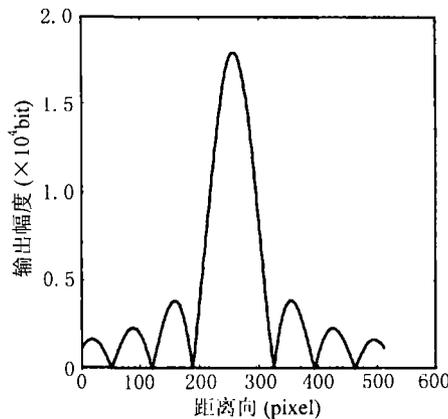


图 1 距离调频率匹配压缩结果

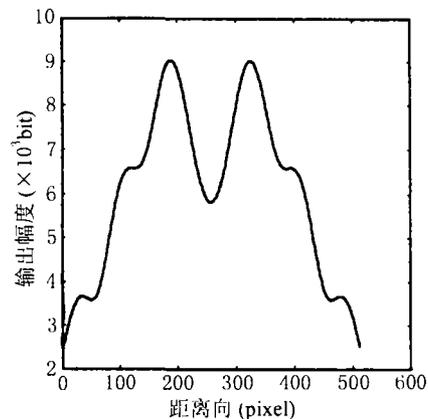


图 2 距离调频率失配 0.5% 压缩结果

率失配  $\Delta k_r$  越大, 距离干扰宽度越宽。但是, 距离调频率失配在扩大干扰范围的同时, 也会造成系统干扰功率增益的下降, 系统干扰功率增益的下降也与距离调频率失配  $\Delta k_r$  成正比, 即距离调频率失配  $\Delta k_r$  越大, 系统干扰功率增益下降越大, 与此同时, 系统信干比增益则相应增强, 上述结论可表示为

$$L_d = \delta r L_r(\Delta k_r) \quad (9)$$

$$K_d = \gamma_r^2 \gamma_a K_r(\Delta k_r) \quad (10)$$

$$K = \gamma_a / K_r(\Delta k_r) \quad (11)$$

式中,  $\delta r$  为距离分辨单元,  $L_r$  为干扰距离扩散因子,  $K_r$  为干扰功率损耗因子。它们是距离调频率失配量  $\Delta k_r$  的函数。

这种干扰方法中系统干扰功率增益损失与干扰距离扩展之间的矛盾是不可避免的。在实际中, 应该从一定的干扰要求和合成孔径雷达体制出发, 在综合考虑干扰距离范围和干扰功率增益的基础上, 对可能的距离调频率失配量  $\Delta k_r$  的取值作出选择。

虽然距离调频率失配脉间去相干干扰法不能得到完全的距离处理增益, 但与噪声调制干扰方法相比仍具有较高的干扰强度。在同样的干扰效果下, 可降低对干扰机发射功率的要求。

#### 4 仿真实验

我们以加拿大 RADARSAT 精模式典型参数为例, 进行了噪声调制干扰和距离调频率失配脉间去相干干扰法的仿真实验, 在距离调频率失配量  $\Delta k_r$  为 3% 的情况下对比了两者的系统信干比增益和干扰功率增益。仿真实验参数如表 1 所示。仿真结果如表 2 所示。

表 1 仿真实验参数表

雷达波长 $\lambda$	0.056m
线形调频信号脉宽 $\tau$	42 $\mu$ s
距离带宽 $B_r(B_r = 1/\delta t_r)$	32.32MHz
距离调频率 $k_r$	0.72MHz/ $\mu$ s
合成孔径时宽 $T$	0.68s
方位带宽 PRF(PRFF=1/ $\delta t_a$ )	1257Hz
多普勒中心频率 $f_0$	-8225.3 Hz
多普勒调频率 $f_r$	-1772.3Hz/s
距离压缩比 $\gamma_r$	1357
方位压缩比 $\gamma_a$	857

表 2 噪声调制干扰和距离调频率失配脉间去相干干扰仿真实验结果

项目	噪声调制干扰 (dB)	距离调频率失配脉间去相干干扰 ( $\Delta k_r = 3\%$ ) (dB)
系统信干比增益	60.555	44.86
系统干扰功率增益	60.63	76.25

由仿真结果可以看到, 对选用的合成孔径雷达系统, 噪声调制干扰的点目标系统信干比增益大约有 60dB 左右。而  $\Delta k_r$  为 3% 时的距离调频率失配脉间去相干干扰法的点目标系统信干比增益则下降了将近 16dB, 同时系统干扰功率增益相应增大, 因此同噪声调制干扰相比, 新方法在干扰强度上具有优势。

同时, 我们还对干扰距离扩散因子  $L_r$  和干扰功率损耗因子  $K_r$  随距离调配量  $\Delta k_r$  的变化趋势进行了仿真实验, 结果如图 3 和图 4 所示。

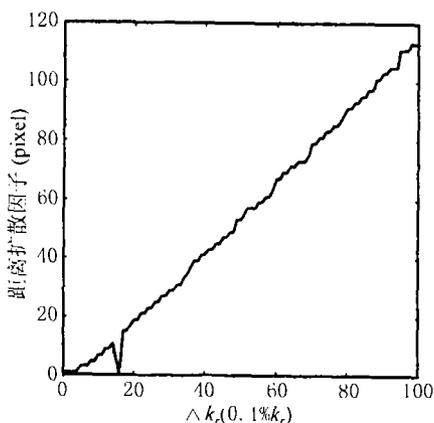
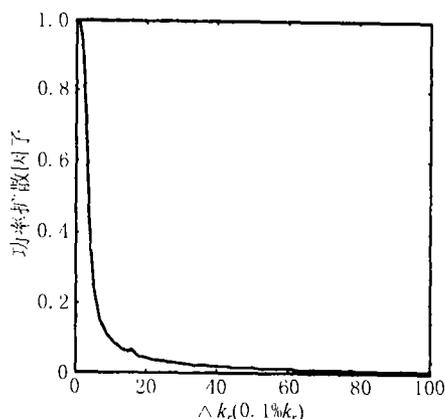
图3  $L_r$  随  $\Delta k_r$  的变化趋势图4  $K_r$  随  $\Delta k_r$  的变化趋势

图3和图4中, 每单位距离调频率失配量为0.1%。可见,  $L_r$  随  $\Delta k_r$  变化规律近似为线形增长, 而  $K_r$  在  $\Delta k_r$  小于2%时衰减剧烈, 当  $\Delta k_r$  大于2%时, 其衰减趋势趋于平缓。这也说明在我们的点目标仿真系统中, 距离调频率失配量超出2%以外的区段, 系统干扰功率增益损失与干扰距离扩展的矛盾基本消失。亦即这时可以在不过多提高干扰功率的条件下随  $\Delta k_r$  的增大而不断扩展干扰距离。当然, 这一结论是在特定的合成孔径雷达系统下得到的。对于其他的合成孔径雷达系统必须进行具体的研究。

## 5 结 论

由上述讨论知道, 由于噪声调制干扰对 SAR 而言是不相干的, 因此其系统干扰功率增益较低, 对 SAR 图像的干扰效果受到限制, 而本文提出的距离调频率失配脉间去相干法由于在距离向保持了与 SAR 信号一定程度的相干性, 因此可以得到较噪声调制干扰为高的系统干扰功率增益, 压制干扰效果强于噪声调制干扰。

## 参 考 文 献

- [1] 刘德树, 雷达反对抗的基本理论和技术, 北京, 北京理工大学出版社, 1989, 第一章.
- [2] 赵国庆, 雷达对抗原理, 西安, 西安电子科技大学出版社, 1999, 第六章.
- [3] Golden 著, 总参五十四所译, 雷达电子战, 1992, 第三章.
- [4] W. W. GOJ 著, 总参五十四所译, 合成孔径雷达与电子战, 1994, 第二章.

## A NEW NOISE JAMMING APPROACH TO SAR

Wu Yirong    Hu Donghui

(Institute of Electronics, Chinese Academy of Science, Beijing 100080, China)

**Abstract** In this paper, a new blanket jamming approach to Synthetic Aperture Radar (SAR) is proposed, and its effect to SAR image is analyzed. This method is compared with classical noise jamming technique by means of SJR (Signal to Jamming Ratio) gain and jamming power gain of SAR system. In addition, the simulation results are given.

**Key words** Synthetic aperture radar, Blanket jamming

吴一戎: 男, 1963年生, 研究员, 研究方向为合成孔径雷达数据处理.  
胡东辉: 男, 1970年生, 助研, 研究方向为合成孔径雷达信号处理.