

基于相关系数的ISAR干扰效果评估方法

李源, 陈惠连

(中国工程物理研究院电子工程研究所 四川 绵阳 621900)

【摘要】从二维相关系数的角度出发,提出了一种对ISAR压制干扰效果的评估方法。该方法能清楚地反映受干扰目标从临界干扰到严重干扰整个干扰过程中目标ISAR图像失真程度;并将干扰效果评估量化在0~1之间,具有归一化的优点。就射频噪声干扰模式和调相噪声干扰模式对ISAR进行了干扰仿真,仿真结果证明了该评估方法的有效性。

关键词 逆合成孔径雷达; 压制干扰; 评估方法; 相关系数; 临界干扰; 严重干扰
中图分类号 TN974 文献标识码 A

Evaluation Method of Jamming Effect on ISAR Based on Correlation Coefficient

LI Yuan, CHEN Hui-lian

(Institute of Electronic Engineering, Chinese Academy of Engineering Physics Mianyang Sichuan 621900)

Abstract Based on the concept of correlation coefficient, this paper introduces an evaluation method of barrage jamming effect on ISAR. This method can reflect clearly distortion degree of the jammed target during the whole jamming process. Also, it make the evaluation of jamming effect quantify from zero to one. it has the merit of unitary. Furthermore, Two typical noise barrage jamming modes are employed in computer simulation of interference with ISAR. The result shows the method proposed is effective.

Key words inverse synthetic aperture radar; barrage jamming; evaluation technique; correlation coefficient; critical jamming; severe jamming

逆合成孔径雷达(Inverse Synthetic Aperture Radar, ISAR)^[1-2]是一种二维成像雷达,它具有全天时、全天候、强透射性、高分辨率等优点。干扰效果是衡量干扰模式有效性以及雷达干扰设备性能的一项重要综合性指标。定量地评估干扰效果非常重要,但目前对ISAR干扰效果的评估,定量的方法和标准很少。本文把二维相关系数概念引入对ISAR干扰效果的评估,得出了ISAR压制干扰效果的定量评估方法。

1 基于二维相关系数的干扰评估方法

受干扰的ISAR二维图像和真实图像有所差异,根据干扰程度的不同,干扰图像或多或少保留原真实图像中的一些信息。ISAR目标在临界干扰以前,干扰图像和真实图像相似性很大;临界干扰时,干扰图像和真实图像有某种程度的相似;随着干扰强度逐渐增大,干扰图像和真实图像之间的相似性逐渐减小;严重干扰时,干扰图像和真实图像完全没有相似性。在干信比相同的前提下,不同的干扰模式对ISAR二维成像的干扰程度是不同的,受干扰的ISAR二维图像与原真实图像的二维相关系数将随干扰模式的不同而不同。

一维数字信号的相关系数定义为^[3] $\rho_{x,y} = \frac{\sum_{n=0}^{\infty} x(n)y(n)}{\left[\sum_{n=0}^{\infty} x^2(n) \sum_{n=0}^{\infty} y^2(n) \right]^{1/2}}$,其中 $x(n)$, $y(n)$ 是两个能量有限的确定性信号。由许瓦兹不等式知 $|\rho_{x,y}| \leq 1$, $\rho_{x,y}$ 的大小反映了 $x(n)$, $y(n)$ 之间的相关(相似)程度。

从信号处理的角度来看,一幅二维图像就是1个二维信号,一幅数字化了的图像就是1个离散的二维序列^[3-5]。根据一维数字信号相关系数的定义,推导两幅数字图像即两个二维数字信号的相关系数。

设二维数字信号 $s_{\text{ideal}}(m, n)$ 和 $s_{\text{jam}}(m, n)$ 分别表示目标的真实图像矩阵和受干扰目标的图像矩阵,均值分

别为 \bar{s}'_{ideal} 和 \bar{s}'_{jam} , 则可得零均值信号 $s'_{ideal}(m, n) = s_{ideal}(m, n) - \bar{s}_{ideal}$ 和 $s'_{jam}(m, n) = s_{jam}(m, n) - \bar{s}_{jam}$ 。如果令 $r_1 = \sum_{m=0}^{N_r-1} \sum_{n=0}^{N_p-1} s'_{ideal}(m, n) s'_{jam}(m, n)$, $r_2 = \sum_{m=0}^{N_r-1} \sum_{n=0}^{N_p-1} (s'_{ideal}(m, n))^2$, 和 $r_3 = \sum_{m=0}^{N_r-1} \sum_{n=0}^{N_p-1} (s'_{jam}(m, n))^2$, 其中 N_r 和 N_p 分别表示图像矩阵的行数与列数, 两幅图像对应的二维信号 $s_{ideal}(m, n)$, $s_{jam}(m, n)$ 的二维相关系数为:

$$r = \frac{r_1}{\sqrt{r_2 r_3}} = \frac{\sum_{m=0}^{N_r-1} \sum_{n=0}^{N_p-1} (s_{ideal}(m, n) - \bar{s}_{ideal})(s_{jam}(m, n) - \bar{s}_{jam})}{\sqrt{\left(\sum_{m=0}^{N_r-1} \sum_{n=0}^{N_p-1} (s_{ideal}(m, n) - \bar{s}_{ideal})^2\right) \left(\sum_{m=0}^{N_r-1} \sum_{n=0}^{N_p-1} (s_{jam}(m, n) - \bar{s}_{jam})^2\right)}} \quad (1)$$

由许瓦兹不等式知 $|r| \leq 1$ 。对同一种干扰模式来说, $|r|$ 越接近1, 表示受到的干扰越小, 说明受干扰的图像越接近真实目标图像; 随着干扰程度逐渐加大, $|r|$ 由1逐渐变为0。在干信比(JSR)相同的前提下, 对不同干扰模式来说, 如果干扰样式1和干扰样式2的关系满足 $|r_{1, JSR}| < |r_{2, JSR}|$, 则认为干扰样式1的干扰效果优于干扰样式2。其中 $r_{1, JSR}$ 和 $r_{2, JSR}$ 分别为干扰样式1和干扰样式2对应的干扰图像按式(1)计算的相关系数 r 。

2 ISAR的成像处理仿真及干扰效果评估流程

仿真数据以雅克44飞机回波数据为原始输入, 所用的仿真参数载频为5 520 MHz; 带宽为400 MHz; 脉冲宽为25.6μs; 脉冲重复频率400 Hz; 分辨率为0.375 m; 成像总转角为0.04 rad; 距离维增益为23 dB; 方位维增益为10 dB。ISAR成像处理仿真流程图如图1所示, 采用限幅积累互相关的运动补偿算法。图2给出了ISAR干扰效果评估流程图。

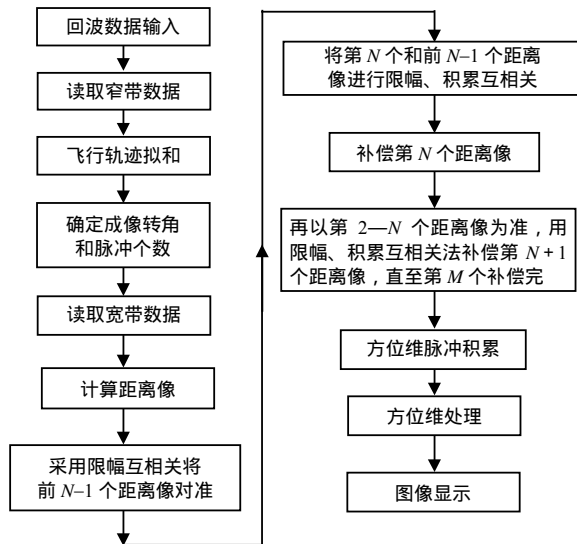


图1 ISAR成像处理流程图

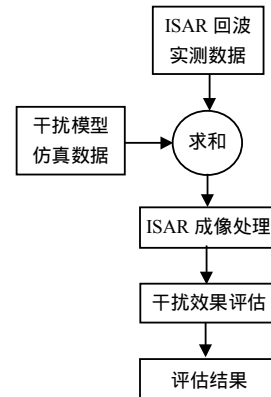


图2 ISAR压制干扰效果评估仿真流程图

仿真采用射频噪声干扰和调相噪声干扰。射频噪声干扰为一窄带高斯过程, 其信号模型为:

$$J(t) = u_n(t) e^{j[\omega_j t + \phi(t)]} \quad (2)$$

式中 包络函数 $u_n(t)$ 服从瑞利分布, 相位函数 $\phi(t)$ 服从 $[0, 2\pi]$ 均匀分布, 与 $u_n(t)$ 相互独立, 载频 ω_j 为常数, 远大于 $J(t)$ 的谱宽。调相噪声干扰为一广义平稳随机过程, 其信号模型为:

$$J(t) = u_j e^{j[\omega_j t + K_{PM} u(t) + \phi]} \quad (3)$$

式中 调制噪声 $u(t)$ 为零均值、广义平稳随机过程; ϕ 为 $[0, 2\pi]$ 均匀分布、与 $u(t)$ 独立的随机变量; u_j 和 ω_j 为常数; K_{PM} 为调相斜率。

目标真实图像如图3a所示; 图3b和图3c分别为相同干信比时, 目标在上述两种干扰模式下的受干扰成像图。由图3b可知, 虽然目标受到了干扰, 但还能分辨出飞机来; 图3c中飞机图像已经受到严重破坏。由此可知射频噪声干扰模式优于调相噪声干扰模式。

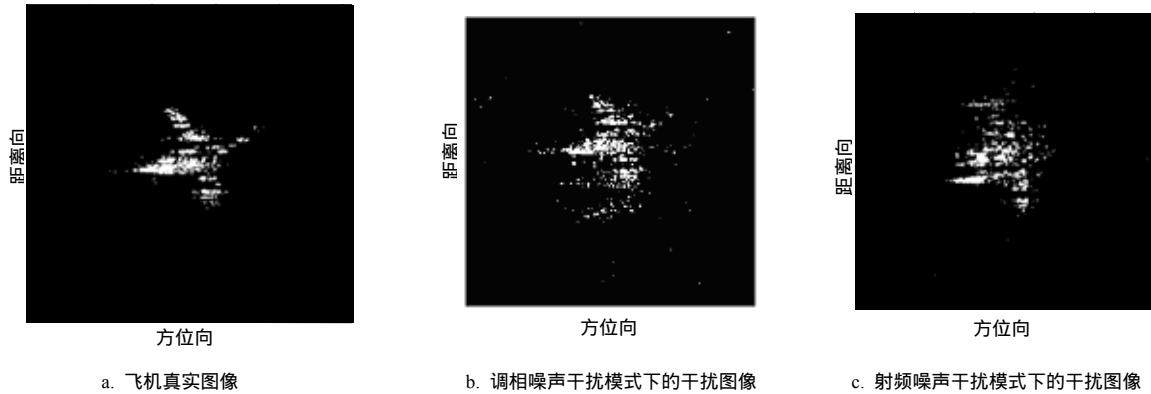


图3 飞机真实图像及在相同干信比、不同干扰模式下飞机受干扰图像

3 定量的干扰效果评估

以式(2)和式(3)表示的两种干扰模式分别对ISAR进行干扰仿真,并按公式(1)计算不同干信比下两种干扰

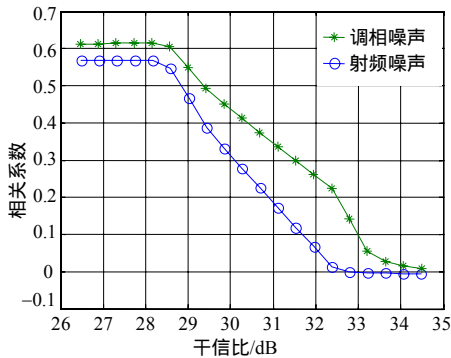


图4 两种干扰模式下的相关系数曲线

图像与目标真实图像之间的相关系数。相关系数随干信比变化的曲线如图4所示。由图4可知,整个干扰过程中射频噪声干扰对应的曲线始终小于调相噪声对应的相关系数。按相关系数评估标准可得出:在相同的干信比下,射频噪声干扰的干扰效果优于噪声调相干扰的干扰效果。这与图3b和图3c所给出的直观干扰效果一致。同时由信息论知,在各种干扰信号中高斯白噪声的熵最大,所以在理论上射频噪声干扰的效果应优于噪声调相干扰的效果。本文给出的结论与该理论也是一致的,从而证明了提出的基于相关系数的ISAR干扰效果评估方法是正确的。从图4还可看出,任一相关系数曲线先由平坦、接着呈下降、最后又趋于平坦。这是因为在限幅积累互相关的运动补偿算法下,在距离维增益为23

dB时,由仿真实验知在干信比27 dB附近目标处于临界干扰,在26.5~28 dB受干扰图像几乎没有发生变化,故相关系数先保持不变;当干信比大于28 dB以后,目标由临界干扰向严重干扰过渡,故相关系数又逐渐减小最终趋于零。整条相关系数曲线反映了目标在整个干扰过程中图像的失真程度。

4 结束语

本文从相关系数的角度出发,提出了一种对ISAR干扰效果的定量评估方法。该评估方法不仅具有归一化的优点,而且能清楚地反映受干扰目标从临界干扰到严重干扰整个干扰过程中目标ISAR图像的失真程度:临界干扰状态、严重干扰状态。其具有的这两个优点是目前其他方法^[6]所不能比拟的。

参 考 文 献

- [1] Wehner D R. High resolution radar[M]. Boston: Artech House, 1987.
- [2] Prickett M J, Chen C.C. Principle of inverse synthetic aperture radar (ISAR) imaging[J]. IEEE . EASCON Record, 1980, 14(6): 340-345.
- [3] 胡广书. 数字信号处理 - 理论、算法与实现[M]. 北京: 清华大学出版社, 1997.
- [4] 何振亚. 多维数字信号处理[M]. 北京: 国防工业出版社, 1995.
- [5] 达吉恩D E, 默塞里奥R M. 多维数字信号处理[M]. 北京: 科学出版社, 1991.
- [6] 马俊霞, 蔡英武, 张 海. 一种SAR压制干扰效果评估方法[J]. 现代雷达, 2004, 26(10): 4-6.

编 辑 熊思亮