

文章编号:1001-2486(2005)04-0053-04

基于双站定位的 SAR 场景欺骗干扰技术研究*

李 伟,梁甸农,董 臻

(国防科技大学 电子科学与工程学院,湖南 长沙 410073)

摘 要:针对星载 SAR 系统中虚假场景干扰的信号形式和产生方法这一问题,提出了基于双站定位的欺骗干扰方法,该方法首先对雷达进行无源定位,并对其轨迹进行平滑,然后再产生干扰信号,满足了欺骗干扰对被干扰源准确位置信息的要求,消除了定位时随机误差对成像的影响。研究了雷达定位误差的变化范围及其对欺骗干扰效果的影响,解决了虚假场景干扰技术实施中会遇到的重要问题。仿真结果表明,该方法可以实现实时有效的欺骗干扰。

关键词:场景欺骗干扰;合成孔径雷达;双站定位

中图分类号:TN957.52 文献标识码:A

A Study of SAR Deceptive Scene Jamming Technique Based on Bistatic Location

LI Wei, LIANG Dian-nong, DONG Zhen

(College of Electronic Science and Engineering, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: Aiming at the signal form and the generating method of the deceptive scene jamming for spaceborne SAR system. This paper proposes the method of jamming based on bistatic location. This method first uses bistatic passive detectors to locate the jammed radar, then smoothes the track and produces jamming signal. It provides accurate position info of the jammed radar, eliminates the effect of random location error on imaging. The bound of location error and its effect on jamming result are studied, so the important problem in implementation of the deceptive scene jamming technique is resolved. The simulation result shows that this method can provide effective jamming.

Key words: deceptive scene jamming; SAR; bistatic location

合成孔径雷达(SAR)作为一种微波遥感仪器,不受天气、地理和时间等因素的影响,可对地球表面进行高分辨率成像,通过选择一定的雷达波长,可透过植被对隐蔽的地下目标成像,同时还可以进行活动目标检测,提供非常有价值的陆地、海洋地理信息和军事情报。因此,对其进行干扰是非常必要的。

目前针对 SAR 的干扰方法主要集中于噪声干扰^[1]和虚假场景干扰^[2,3],由于 SAR 具有很高的处理增益,因此,不能采用相干累积的噪声干扰技术。场景欺骗干扰获得的处理增益与真实回波相同,需要功率较小,因此,目前对于虚假场景干扰技术的研究较多,但都是建立在已知雷达的准确位置信息的基础之上,实际进行干扰时,被干扰雷达通常处于机动工作状态,很难根据预知轨道信息进行干扰。本文提出的基于双站定位的欺骗干扰方法,将雷达定位和干扰结合在一起,考虑了定位误差对干扰效果的影响。

1 干扰原理和信号形式

星载 SAR 几何关系如图 1 所示,卫星沿轨道飞行,采用正侧视方式。在 (H, r, a) 坐标系中,原点为某特定时刻卫星的地面投影点,卫星位置为 $(H_0, 0, 0)$,速度为 v_a ,干扰机和要实现的虚假场景同时处于测绘带内,假定第 i 个欺骗干扰单元的位置为 $(0, r_i, a_i)$,干扰机位置为 $(0, r_0, a_0)$ 。

设 SAR 系统发射信号形式为

* 收稿日期:2004-12-12

基金项目:国家部委基金资助项目(41307020203)

作者简介:李伟(1978—),男,博士生。

$$pp(\tau, t; r) = a(t, r) \exp(-j2\pi \frac{K}{2} \tau^2) \exp(j\omega_c \tau) \quad (1)$$

接收回波形式(去载频后)为

$$pp(\tau, t; r) = a(t, r) \exp(-j2\pi \frac{K}{2} (\tau - \frac{2R(t, r, a)}{c})^2) \exp(-j \frac{4\pi}{\lambda} R(t, r, a)) \quad (2)$$

其中, $R(t, r, a)$ 为雷达与目标之间的距离, 来自于任意目标的延迟为 $\tau_n = \frac{2R(t, r, a)}{c}$, c 为光速, K 为调频斜率, ω_c 为载频。

根据图 1 所示几何关系, 干扰机到达雷达的距离为

$$R_0(t, r_0, a_0) = \sqrt{H_0^2 + r_0^2 + (a_0 - v_a t)^2} \quad (3)$$

而第 i 个虚假单元到雷达的距离可表示为

$$R_i(t, r_i, a_i) = \sqrt{H_0^2 + r_i^2 + (a_i - v_a t)^2} = \sqrt{R_0^2(t, r_0, a_0) + (a_i - a_0)(a_i + a_0 - 2v_a t) + r_i^2 - r_0^2} \\ = R_0(t, r_0, a_0) + \frac{(a_i - a_0)(a_i + a_0 - 2v_a t)}{2R_0(t, r_0, a_0)} + \frac{r_i^2 - r_0^2}{2R_0(t, r_0, a_0)} \quad (4)$$

因此虚假场景中第 i 个单元与干扰机之间的相对延迟为

$$\Delta\tau_i = \frac{2R_i(t, r_i, a_i)}{c} - \frac{2R_0(t, r_0, a_0)}{c} = \frac{(a_i - a_0)(a_i + a_0 - 2v_a t)}{R_0(t, r_0, a_0)c} + \frac{r_i^2 - r_0^2}{R_0(t, r_0, a_0)c} \quad (5)$$

由于干扰机处回波去载频后为

$$s_0 = \exp(-j2\pi f_0 \frac{2R_0}{c}) \cdot \exp[j\pi K(\tau - \frac{2R_0}{c})^2] \cdot g(\tau - \frac{2R_0}{c}) \quad (6)$$

而场景中第 i 个单元的回波去载频后可以表示为:

$$s_i = \sigma_i \exp[-j2\pi f_0 (\frac{2R_0}{c} + \Delta\tau_i)] \cdot \exp[j\pi K(\tau - \frac{2R_0}{c} - \Delta\tau_i)^2] \cdot g(\tau - \frac{2R_0}{c} - \Delta\tau_i) \quad (7)$$

设 s_0 和 s_i 的距离向傅立叶变换结果分别为 $S_0(\omega, t)$ 和 $S_i(\omega, t)$, 可以看出

$$S_i(\omega, t) = S_0(\omega, t) \sigma_i \exp(-j2\pi f \Delta\tau_i) \exp(-j2\pi f_0 \Delta\tau_i) \quad (8)$$

假设待实现的整幅干扰场景由 N 个单元组成, 对于整幅干扰场景则有

$$S(\omega, t) = \sum_{i=1}^N S_i(\omega, t) = \sum_{i=1}^N S_0(\omega, t) * \sigma_i \exp[-j2\pi(f_0 + f)\Delta\tau_i] \quad (9)$$

做距离向逆变换得时域信号 $s(\tau, t) = \sum_{i=1}^N s_i(\tau, t)$, 加上载频发射出去, 即可产生模拟的虚假场景信号。

上述的频域算法首先需要将信号解调, 变换到距离图像-方位信号域, 然后乘以相应的延迟相位和散射强度, 再做距离向逆变换, 进行调制后发射出去。

2 雷达定位及对干扰效果的影响

实际实施干扰时, 首先应该确定雷达位置, 给出波束指向, 然后根据雷达位置计算干扰所需相位信息, 产生干扰信号。因此, 实际中需要解决的主要问题是针对被干扰雷达进行定位。

2.1 对雷达的定位

具体实施干扰的时候, 因为被干扰雷达可能处于机动工作之中, 因此, 很难提前知道雷达平台位置, 这时就要对雷达定位。

当前定位方法有很多种, 根据被定位 SAR 是辐射源的前提条件, 无源定位是一个很好的选择。无源定位中又有双/多站定位和单站定位, 单站定位发展较晚, 主要利用多次测量信息来获得雷达的位置, 这样做的缺点就是定位时间较长; 相比之下, 双站定位方法设备较复杂, 但是定位速度快, 精度较高。

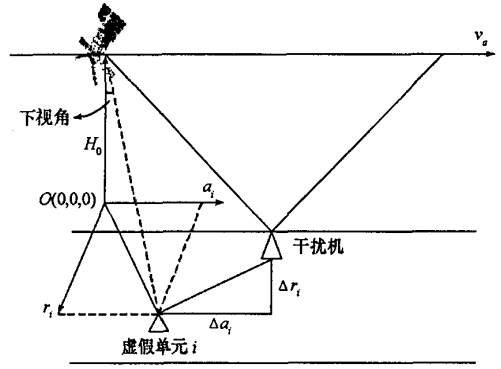


图 1 干扰几何模型

Fig.1 Geometry of jamming

在机载情况下, SAR 平台运动速度较低,使用单站定位可以实现先定位再干扰的过程,以某机载 SAR 为例,其中 SAR 平台飞行高度为 5km,合成孔径时间为 12s,设单站定位首次所需时间为 5s,则可以获得的干扰数据长度为完整合成孔径长度的 7/12;若采用双站定位,设定位时间为 0.5s,虽然设备较复杂,但是可以获得更长的有效干扰时间,进而可以获得更好的干扰效果。

对于星载 SAR 系统,由于合成孔径时间较短,对定位方法提出了限制。以 PALSAR 为例,合成孔径时间小于 1s,卫星平台速度为 7km/s,单站定位时间为 5s,则在定位过程中雷达平台已经前进了 35km,而 SAR 合成孔径长度为 7km,可见这样就不可能再从主瓣进行干扰,从而无法取得预期干扰效果;相比之下,双站定位时间较短,可满足定位之后再干扰的时间要求。

从上面的分析可以看出,在机载情况下, SAR 平台运动速度较低,使用单站和双站定位都可以实现先定位再干扰的过程;而对于星载 SAR 来说,则需要使用双站定位的方法^[4]。

2.2 定位误差的影响

由于对雷达平台定位的精度影响,产生干扰信号时使用的雷达位置与真实值之间存在偏差,导致产生的虚假场景单元的位置与期望位置之间亦存在偏差,且该偏差无法通过校准修正^[5],因此,需要考虑雷达位置测量值与真实值之间的偏差对于虚假场景位置的影响。

被干扰雷达的坐标 (H, r, α) 的随机测量误差导致 SAR 接收到的相邻脉冲在高度、距离向和方位向均有随机偏移,这种偏移导致 SAR 并不能得到一个平滑的完整的关于某个干扰单元的数据曲线,从而也就无法实现聚焦。

本文在对雷达定位之后对轨迹进行了平滑^[6],使得根据任一时刻雷达位置而得到的干扰信号不会在三个方向上发生随机偏移,因而可以实现聚焦,减小了测量误差的随机性对成像效果的影响,这样做的缺点是平滑后的航迹很可能与真实航迹并不完全吻合,因此,会导致干扰位置与期望位置之间存在一定的偏差。下面研究平滑后的被干扰雷达轨迹与真实轨迹之间误差对干扰单元出现位置的影响。

载机位置误差范围与虚假场景位置的偏移之间的关系如式(10)所示,其中 $\Delta\tau_i$ 为干扰机与虚假干扰单元之间相对位置对应的转发延迟, dr, da, dH_0 分别为雷达平台位置的测定值与实际值之间的偏差。

$$d(\Delta\tau_i) = \frac{\partial\Delta\tau_i}{\partial r} dr + \frac{\partial\Delta\tau_i}{\partial a} da + \frac{\partial\Delta\tau_i}{\partial H_0} dH_0 \quad (10)$$

则由式(5)可得虚假场景单元位置误差:

$$d(R) = \left[-\frac{r_i}{R_i(t, r_i, a_i)} + \frac{r_0}{R_0(t, r_0, a_0)} \right] dr + \left[-\frac{(a_i - v_a t)}{R_i(t, r_i, a_i)} + \frac{(a_0 - v_a t)}{R_0(t, r_0, a_0)} \right] da + \left[-\frac{H_0}{R_i(t, r_i, a_i)} + \frac{H_0}{R_0(t, r_0, a_0)} \right] dH_0 \quad (11)$$

图 2 显示了在测向误差为 0.1° 时雷达平台的三个坐标的偏移与所导致的地面干扰场景位置的位移量之间的变化关系,其中雷达测绘带中心距离约为 700km。图中横坐标为测向误差,纵坐标为对雷达测向的偏差造成的某干扰单元的位置偏移。侦察机测向精度达到 0.1° 时,在对雷达航迹进行平滑以后,雷达的测量偏差对干扰的位置影响很小,只需根据干扰的偏移程度适当增大干扰覆盖区域即可。

3 仿真

以 PALSAR 为例,雷达采用正侧视,波长 24cm,带宽 28MHz,轨道高度约 691km,脉冲重复频率 1950Hz,天线方位向尺寸为 8.9m,干扰目标散射强度为点目标散射强度的 10 倍,仿真结果如图 3、图 4 所示。

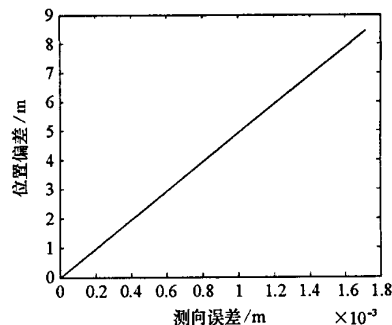


图 2 虚假场景位置偏移与雷达测向误差的关系

Fig.2 Relation between shift of scene position and error of direction measurement

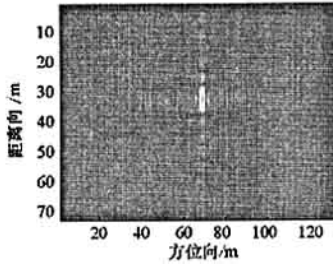


图3 点目标成像

Fig.3 Image of point target

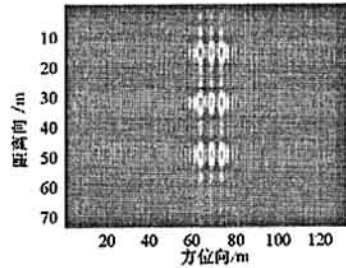


图4 被干扰后成像效果

Fig.4 Image under jamming

在测得雷达各点位置信息后,为消除随机误差对成像效果的影响,首先对雷达航迹进行了平滑,平滑前后雷达航迹和真实航迹的比较见图5,其中随机起伏幅度最大的是实际测量值,而航迹平滑前的干扰单元成像效果如图6所示,其中的单个干扰单元位于成像区域的中心位置。

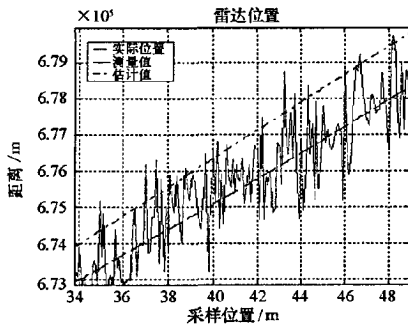


图5 雷达航迹平滑前后对比图

Fig.5 Comparison between tracks with and without smoothing

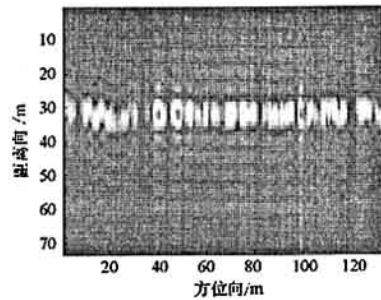


图6 雷达航迹平滑前的干扰单元成像效果

Fig.6 Jamming result before track smoothing

通过仿真可以看出,如果在产生干扰信号时,直接使用测得的雷达位置信息,则会由于每一时刻的雷达位置存在随机测量误差而出现干扰单元不能聚焦的现象,图6中的成像结果证明了这一点,因此,对所测得的雷达航迹进行平滑是必要的;平滑之后,欺骗干扰场景可以成像,只是由于所使用航迹与真实航迹存在一定偏移,会导致干扰与期望位置之间也存在一定偏移。如果在实际中能提供雷达较为准确的位置信息,则采用虚假场景方法可以对SAR成像造成较为理想的干扰效果,且由于其从主瓣进入,模拟了真实回波,因此需要功率很小。

4 结论

SAR对未来军事应用具有极其重要的意义,研究对其的干扰技术是非常必要的。本文正是从SAR的几何关系和信号模型出发,首先对雷达进行双站定位,然后再利用平滑后的航迹信息产生干扰信号,研究了定位方法的选择、定位误差带来的影响,并给出了仿真分析。结果证明,对SAR进行场景转发干扰是可行的,并可以在干扰功率较小的情况下取得较为理想的效果。从长远来看,随着SAR应用的推广,欺骗干扰方法有着非常广阔的利用前景。

参考文献:

- [1] Dunper K, Cooper P S, Wons A F, et al. Spaceborne Synthetic Aperture Radar and Noise Jamming[A]. Radar 97, Oct. 14-16 1997: 411-414.
- [2] 王盛利,等. 合成孔径雷达的有源欺骗干扰方法研究[J],电子学报,2003,(12): 1900-1902.
- [3] Li W, Liang D, Fang X. Some Jamming Techniques on Multi-Satellite SAR System[A], EUSAR2004: 875-878.
- [4] 孙仲康,周一宇,何黎星. 单多基地有源无源定位技术[M].北京:国防工业出版社,1996.
- [5] 邹鲲,梁向农,董臻. 低频 UWBR 的辐射校准[J].国防科技大学学报,2004,26(6):58-60.
- [6] Gershanoff H. Experimental Passive Range and AOA System Shows Promise [J]. Journal of Electronic Defense, Dec., 1992: 31-33.

