

文章编号: 1001- 2486(2008) 04- 0076- 06

# 基于先验信息的分布式星载单基线 SAR/ATI 方法\*

蔡 斌, 梁甸农, 董 臻, 黄海凤

(国防科技大学 电子科学与工程学院, 湖南 长沙 410073)

**摘要:** 在综述了分布式星载 SAR/ATI 技术的基础上, 阐述了单基线 SAR/ATI 技术的原理和杂波、噪声对检测、测速性能的影响, 给出了一种基于先验信息的单基线 SAR/ATI 检测和测速方法, 最后基于多功能的天基雷达仿真系统进行了仿真实验和性能分析。

**关键词:** 分布式星载 SAR/ATI; 单基线; 先验信息; 多功能的天基雷达仿真系统

中图分类号: TN957 文献标识码: A

## Distributed Spaceborne Single Baseline SAR/ATI Based on a Prior Information

CAI Bin, LIANG Dian-nong, DONG Zhen, HUANG Hai-feng

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

**Abstract:** Based on an overview of the distributed spaceborne SAR/ATI, this paper describes the principle of SAR/ATI and the impact of clutter and noise to the SAR/ATI performance, and proposes a new SAR/ATI method based on a priori information. Based on the multifunctional spaceborne radar simulator, simulation experiment and performance analysis are carried out to verify the effectiveness of the method.

**Key words:** distributed spaceborne SAR/ATI; single baseline; a priori information; multifunctional spaceborne radar simulator

分布式卫星合成孔径雷达系统(SAR)的概念一经提出便受到了广泛的重视, 美国空军实验室(AFRL)、法国宇航局(CNES)、德国宇航中心(DLR)以及国内多所研究机构, 在轨道设计、卫星一体化设计、数据处理等多方面都展开了深入的研究。分布式 SAR/ATI 系统通过星间通信、同步工作、自主队形保持等多种手段, 可获得多个灵活、有效基线, 突破机载/单星平台的几何尺寸限制, 提高了系统自由度和杂波抑制性能; 卫星间形成的较长基线提高了慢速运动目标检测、测速、定位和跟踪能力; 卫星编队所形成的多个灵活、有效的基线, 能够较好地解决盲速问题。同时, 分布式星载 SAR/ATI 系统也对卫星编队构型设计、同步技术、星间状态测量和控制等技术提出了更高的要求, 各国研究机构也针对多项关键技术展开了研究工作, 分布式星载 SAR/ATI 技术将是未来 SAR 技术发展的重要方向之一。

### 1 分布式星载单基线 SAR/ATI 原理

#### 1.1 分布式星载单基线 SAR/ATI 检测和测速原理

分布式星载单基线 SAR/ATI 技术的一种方案是: 卫星沿航向编队, 星下点轨迹重合, 静止地面场景相位在两幅 SAR 图像中相同, 而运动目标在图像中的相位差取决于径向运动产生的斜距差, 通过检测干涉相位可实现运动目标检测。在现有的卫星编队构型中, SAR-Train 构型和 HELIX 构型通过非共面轨道设计和灵活的基线调节等技术, 保证编队卫星的星下点轨迹重合, 实现分布式星载 SAR/ATI 技术。

编队卫星采用紧密编队、一发双收模式(DRA), 主星  $S_1$  发射/接收信号, 辅星  $S_2$  被动接收。令  $S_1$  成像中心时刻为  $t$ ,  $S_2$  采用双站成像模式, 其双站等效相位中心在  $t + \Delta t$  时刻与  $S_1$  位置重合。由于  $\Delta t$  较小, 可假设运动目标在时间  $\Delta t$  内没有跑出一个分辨单元, 对两部雷达回波分别成像并配准, 配准误差

\* 收稿日期: 2007- 12- 18

作者简介: 蔡斌(1979-), 男, 博士生。

应控制在 0.1 个像素之内, 逐个像素点进行相位干涉。假设在地面场景坐标系中, 目标切、沿航迹和垂直地面三维速度分别为  $V_x, V_y, V_z$ , 雷达入射角为  $\theta_{inc}$ , 则动目标斜距域切航迹速度  $V_r = V_x \sin \theta_{inc} - V_z \cos \theta_{inc}$ , 干涉相位为

$$\Phi_t = \frac{2\pi}{\lambda} [R_1(t + \Delta t) + R_2(t + \Delta t) - 2R_1(t)] = \frac{4\pi}{\lambda} V_r \Delta t = \frac{2\pi V_r}{\lambda} \frac{B}{V_s} \quad (1)$$

其中,  $R_1, R_2$  分别为  $S_1, S_2$  至目标的距离,  $V_s$  是卫星速度,  $B$  为星间测量的沿航迹基线。  $V_r$  可由干涉相位得到:

$$V_r = \lambda V_s \Phi_t / (2\pi B) \quad (2)$$

$$\Delta a = \frac{2V_r V_g}{f_r} = \frac{\Phi_t V_g V_s}{\pi f_r B} \quad (3)$$

其他性能指标如最小可检测速度(MDV)  $V_{rmin}$  和最大可检测速度(盲速)  $V_{rang}$  也可相应给出。动目标切航迹速度会引起多普勒中心偏移, 造成动目标图像沿方位向偏移, 偏移量  $\Delta a$  见(3)式。其中,  $V_g$  是卫星波束的地面速度,  $f_r$  是多普勒调频斜率。在传统 ATI 的 CFAR 检测中, 由于目标的概率密度函数难以得到, 一般只利用杂波幅度和相位的概率密度函数进行检测, 一般可采用幅相二级恒虚警检测方法(CFAR), 根据系统设计的虚警概率(一般为  $10^{-6} \sim 10^{-4}$ ) 计算出相应的检测门限。

## 1.2 杂波和图像热噪声对检测和测速的影响

本文以确定性动目标模型为例, 对杂波和噪声的影响进行分析。令成像后动目标幅度峰值为  $\beta_r$ , 则当存在动目标时, 卫星  $S_1, S_2$  图像中对应像素  $k$  可分别表示为

$$z_1(k) = x_1(k) + c_1(k) + n_1(k), \quad z_2(k) = x_2(k) + c_2(k) + n_2(k) \quad (4)$$

对两幅图像进行干涉处理, 进行  $l$  视平均, 可得

$$Z = \sum_{k=1}^l z_1 z_2^* = \beta_r^2 e^{j\Phi} + \frac{1}{l} \sum_{k=1}^l [c_1(k) c_2^*(k) + n_1(k) n_2^*(k)] + \frac{1}{l} \sum_{k=1}^l [c_1^*(k) \beta_r e^{j\Phi} + \beta_r c_2(k)] \quad (5)$$

当视数  $l$  足够大时, 两颗卫星的杂波能量应近似相等, 即  $E_{\nabla} |c_1|^2 = E_{\nabla} |c_2|^2 = P_c$ , 并令  $P_T = \beta_r^2$ , 干涉相位为<sup>[3]</sup>

$$\Phi_T = \arg(Z) = \arctan \left( \frac{P_T \sin \Phi}{P_T \cos \Phi + P_c \rho_c} \right) = \arctan \left( \frac{SCR \cdot \sin \Phi}{SCR \cdot \cos \Phi + \rho_c} \right) \quad (6)$$

其中, 信杂比  $SCR = P_T / P_c = \sigma_r / (\sigma^0 \Delta)$ ,  $\sigma_r$  是目标 RCS,  $\sigma^0$  是杂波平均后向散射系数,  $\Delta$  为分辨单元面积,  $\rho_c$  是杂波相关系数。式(6)表明杂波会造成 ATI 相位偏离真实值,  $SCR$  越小,  $\Phi$  越大,  $\rho_c$  越高,  $\Phi$  偏离真实值  $\Phi$  越远, ATI 性能也随之下降。首先研究杂波对相位的影响, 令  $\rho_c$  为较大的值。

在文献[1-2]中, 在视数  $l \gg 1$  条件下, Gierull 等人基于确定型和高斯型动目标模型, 将像素分为  $H_0$ : 杂波;  $H_1$ : 动目标+杂波。文献[2]还给出  $H_1$  假设下, 像素近似的幅相联合概率密度函数为

$$f_T(\eta_r, \Phi_r) = \frac{2l^{l+1} \eta_r \left\{ \left[ \eta_r - \delta \cos(\Phi_r - \Phi) \right]^2 + \delta^2 \sin^2(\Phi_r - \Phi) \right\}^{\frac{l-1}{2}}}{\pi^l (l) \left( 1 - \rho_c^2 \right)} \cdot \exp \left[ \frac{2l \rho_c \left( \eta_r \cos \Phi_r - \delta \cos \Phi \right)}{1 - \rho_c^2} \right] \cdot K_{l-1} \left\{ \frac{2l \sqrt{\left[ \eta_r - \delta \cos(\Phi_r - \Phi) \right]^2 + \delta^2 \sin^2(\Phi_r - \Phi)}}{1 - \rho_c^2} \right\} \quad (7)$$

其中,  $\eta_r, \Phi_r$  分别表示  $H_1$  条件下的归一化干涉幅度和相位,  $\delta$  是  $SCR$ ,  $K_{l-1}$  是第二类  $l-1$  阶修正贝塞尔函数,  $\Gamma(\cdot)$  是伽马函数。相位和幅度的边缘分布难以得到解析表达式, 可以采用数值积分的方法来解决。

在实际中, 一方面, 图像中不光包括了草地、沥青道路、海面和平整土地等 RCS 较低的区域, 还包含

了陡峭的山区、突兀的建筑物、路边电线杆等地面静止强 RCS 区域,会造成较多虚警,影响 ATI 的性能。另一方面,目标沿航迹速度会改变其回波信号的多普勒调频斜率,造成目标图像方位向散焦,目标图像峰值下降,能量沿方位向扩散,引起 SCR 降低。其次,目标切航迹速度引起的距离污染,目标切/沿航迹加速度引起目标峰值下降、能量扩散和旁瓣不均衡等都会造成 SCR 降低,影响 ATI 性能。

通过上面的分析可以看出,杂波和噪声对单基线 SAR/ATI 技术目标检测和测速性能影响较大,如不采取其他的有效措施,在低 SCR 和 CNR 条件下,单基线 SAR/ATI 技术将难以在实际中应用。本文详细研究了基于先验信息的单基线 SAR/ATI 方法,并利用多功能天基雷达仿真系统进行了仿真实验和性能分析。

## 2 基于先验信息的单基线 SAR/ATI 方法

相比于传统的 ATI 检测方法,根据(5)、(6)式和文献[2]中的“动目标+杂波”先验模型,融合道路交通网、卫星状态测量数据、测绘场景范围、动目标和观测场景的先验 RCS 等先验信息,可以得到一种基于先验信息的单基线 SAR/ATI 方法,提高检测和测速性能。

### 2.1 基于 NP 准则的似然比检验

当已知杂波的概率密度函数时,文献[1-2]提出了一种幅度、相位二级 CFAR 检测方法,即当“幅度大于幅度门限且相位大于相位门限”时,判决为  $H_1$  假设,总的虚警概率为二者虚警概率的乘积。这种二级 CFAR 的实质是假设幅度和相位不相关,联合概率密度函数可简化为各自边缘概率密度函数的乘积,总的虚警概率在二级进行分配,这是一种次优的方法。图 1 给出了  $l=6, \rho_c=0.95$  时,杂波的幅相联合概率密度函数,两条斜直线对应于  $P_{FA}=10^{-4}$  和  $P_{FA}=10^{-6}$  时的幅相检测门限。幅相低于门限区域判为  $H_0$  假设,高于门限区域判为  $H_1$  假设。当确定幅相各自的虚警概率后,幅相门限缩小为图 1 斜直线中的一个点,总的虚警概率为斜直线所对应的虚警概率。实际中,干涉幅度和相位是相关的,幅度可以看作相位的函数  $\eta_c(\Psi_c)$ ,基于幅相联合概率密度函数的 CFAR 方法优于二级 CFAR 方法。参数同前,图 1 中两条曲线是利用联合概率密度函数得到的二维检测门限。采用式(8)、(9)式都可以计算  $P_{FA}$ , (8) 式中乘积 2 表示要对正、负相位域积分。

$$P_{FA} = 2 \int_{|\Psi_c|}^{\pi} \int_{\eta_{th}}^{\infty} f_c(\eta_c, \Psi_c) d\eta_c d\Psi_c \quad (8)$$

$$P_{FA} = \int_{-\pi}^{\pi} \int_{\eta_{th}(\Psi_c)}^{\infty} f_c(\eta_c, \Psi_c) d\eta_c d\Psi_c \quad (9)$$

以上这两种方法应用在任何目标先验信息的条件下,即动目标可以出现在场景任意位置,速度为任意方向,目标 RCS 也无限限制条件,符合一般性的应用条件。实际中,在视数  $l$  一定的条件下,杂波幅相联合概率密度函数随相干系数变化,必须逐点计算,则由  $P_{FA}$  得到的幅相门限也需要逐点计算。

在  $l \gg 1$  条件下,“动目标+杂波”的概率密度函数可以获得,我们可以采用基于 Neyman-Pearson (NP) 准则的似然比检验方法。基于 NP 准则的似然比检验是雷达、声纳等信号检测问题中常用的一种方法,它是最优的恒虚警检测方法之一。

假设前提:  $H_0$ : 杂波;  $H_1$ : 动目标+杂波。对于给定  $P_{FA} = \alpha$ , 使  $P_D$  最大,则似然比函数  $\Lambda(\eta, \Phi) = \frac{f(\eta, \Phi | H_1)}{f(\eta, \Phi | H_0)} > \mu$ , 门限  $\mu$  可由下式确定,

$$P_{FA} = \int_{\Lambda(\eta, \Phi) > \mu} f(\eta, \Phi | H_0) d\eta d\Phi = \int_{\mu}^{\infty} f(\Lambda | H_0) d\Lambda = \alpha \quad (10)$$

实际中,虚警概率和二维门限难以用显式表达,可以用数值积分和查表的方法进行计算。图 2 给出了  $l=3, \rho_c=0.95, SCR=0\text{dB}, \Phi=0.5\text{rad}$  条件下,  $H_0$  和  $H_1$  假设下的概率密度分布函数,实曲线为 NP 似然比准则下的  $P_{FA}=10^{-4}$  的检测门限。

从图 1、2 中可以看出,采用幅相二维联合检测之后,无论是 CFAR 或 NP 似然比,MDV 不仅是相位的

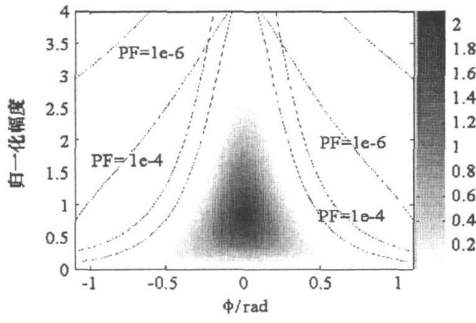


图 1 二级 CFAR 和二维联合 CFAR 门限

Fig. 1 Thresholds of two-stage and two dimensional joint CFAR

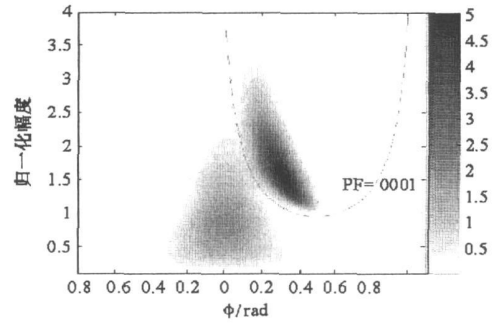


图 2 NP 准则下二维联合 CFAR 门限

Fig. 2 Thresholds of two dimensional joint CFAR

函数, 还与幅度分布和门限选择有关。在幅相联合 CFAR 中, 当虚警概率一定, 相干系数等参数一定, 取定幅度检测门限, 可以得到相位检测门限, 进而得到相应的 MDV。在 NP 检验方法中, MDV 还与 SCR 有关, 当目标和场景 RCS 一定、其他参数一定的情况下, 可以根据 NP 检验的计算过程得到相应的 MDV。

## 2.2 先验信息的获取

式(7)中的概率密度函数需要获取两个先验信息: SCR(等同于目标和场景的先验 RCS 信息)和目标相位。多家研究机构对不同类型地面场景的平均后向散射系数已做过较为深入的研究, $\sigma^0$  随地表类型、极化方式和入射角而变化。地表类型可由 SAR 图像进行判别, 入射角和图像分辨率可由卫星轨道数据和雷达系统参数得到。而地面目标的 RCS 与方位角、入射角、极化方式和波段等因素有关, 在后三项一定的情况下, 目标 RCS 随方位角变化较大, 国内外多家机构已研究了典型军事目标的 RCS 随方位角变化的规律, 在 TerraSAR X 和 SRIM 实验中, 研究人员也对各种汽车 RCS 随方位角变化的规律进行了研究。

在实际应用中, 无论是在城市、郊外、沙漠还是具有复杂地形的山区中, 地面目标大部分情况下都是运动在公路之上的, 在没有任何道路或崎岖的山岭上运动的地面目标较少。在这种前提条件下, 可以充分利用公路交通网和数字高程图的先验信息, 提高动目标检测能力, 道路数据可以由现有的 GIS 数据或者光学、SAR 图像得到。同时, 估算目标 RCS 所需的方位角也可由道路方向与图像距离向的夹角得到<sup>[4]</sup>。

如式(3)所示, 相位  $\Phi_i$  与其图像方位向偏移成确定的比例关系, 式中  $V_s$  和  $B$  由卫星测量数据得到,  $V_g$  为卫星波束在地面的足迹速度,  $V_g = \omega_s (R_s - R' \cos \theta_{mc})$ ,  $R_s$  是卫星距地心距离,  $R'$  是目标斜距。由于分布式卫星采用的是近圆轨道和紧密编队, 系统分析时  $R_s$  可取发射星轨道半长轴,  $\omega_s$  是发射星平角速度,  $R'$  可由距离起始波门和当前像素所在的距离波门关系进行解算。多普勒调频斜率  $f_r$  可以估算, 也可以根据卫星状态进行精确的计算。根据式(3), 可以得到图像中道路沿方位向两侧每一个采样点位置所对应的偏移量  $\Delta a$  和相位  $\Phi$ , 其范围根据动目标盲速范围、公路等级、公路宽度和最大限速等参数进行。图 3(a) 为 SAR 图像; (b) 为图像中提取的三条道路数据, 道路宽 15m, 双向四车道; (c) 是选择

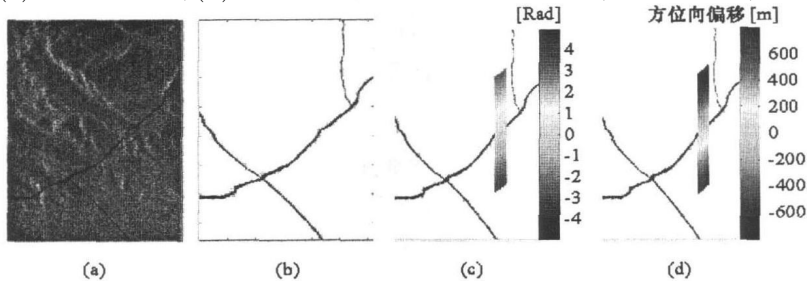


图 3 SAR 图像道路数据及先验信息获取

Fig. 3 The road data of SAR image and the acquisition of a prior information

道路局部区域每个采样点对应的偏移量; (d) 是相同区域采样点对应的  $\Phi$ 。

根据前面流程, 我们可以得到图像中道路两侧每一个点对应的方位向偏移量和先验动目标相位。对于道路交叉或相邻较近的区域, 在简单情况下, 可以根据干涉判断目标所在的道路; 在复杂条件下, 可以采用多元假设检验的方法, 对动目标进行检测。

### 2.3 基于先验信息的切航迹速度测量方法

在传统的 SAR/ATI 方法中, 一般都采用干涉相位测量慢速运动目标的切航迹速度, 如式(2)所示。如前文所述, 由于杂波和噪声的影响, 干涉相位偏离真实值较大, 会造成很大的测速误差。实际上, 可以根据式(3) 偏移量与速度的对应关系, 利用由先验知识得到的偏移量进行测速, 其测速精度会大大提高。

#### 2.3.1 基于相位的测速误差分析

根据(2)式, 对式中各参数求偏导, 就可以得到相应的误差传播系数。设参数误差的根方差分别为  $\sigma_{V_s}$ ,  $\sigma_{\Phi}$ ,  $\sigma_B$ , 则测速误差

$$\sigma_{V_r} = \sqrt{\left(\frac{\partial V_r}{\partial \Phi} \sigma_{\Phi}\right)^2 + \left(\frac{\partial V_r}{\partial V_s} \sigma_{V_s}\right)^2 + \left(\frac{\partial V_r}{\partial B} \sigma_B\right)^2} \quad (11)$$

各误差传递系数为:  $\frac{\partial V_r}{\partial \Phi} = \frac{V_s \lambda}{2\pi B}$ ,  $\frac{\partial V_r}{\partial V_s} = \frac{\lambda \Phi}{2\pi B}$ ,  $\frac{\partial V_r}{\partial B} = -\frac{V_s \Phi}{2\pi B^2}$ 。上式中  $\sigma_{V_s}$ ,  $\sigma_B$  根据实际测量精度确定, 在下述的仿真实验中采用的是误差典型值。  $\sigma_{\Phi}$  包括杂波引起的偏差和噪声引起的随机误差, 在 SCR、视数和相干系数等参数一定的情况下, 可以对  $\sigma_{\Phi}$  进行估算。例如, SCR = 0dB,  $l = 6$ ,  $\rho_c = 0.95$ ,  $\Phi = 1.5\text{rad}$ , 则  $\sigma_{\Phi} \approx 0.717\text{rad}$ ; SCR = 10dB,  $l = 6$ ,  $\rho_c = 0.95$ ,  $\Phi = 1.5\text{rad}$ ,  $\sigma_{\Phi} \approx 0.1\text{rad}$ 。

#### 2.3.2 基于先验知识的测速误差分析

根据(3)式, 类似前述方法, 设参数误差的根方差分别为  $\sigma_{V_g}$ ,  $\sigma_{\Delta a}$ ,  $\sigma_{f_r}$ , 则测速误差为

$$\sigma_{V_r} = \sqrt{\left(\frac{\partial V_r}{\partial \Delta a} \sigma_{\Delta a}\right)^2 + \left(\frac{\partial V_r}{\partial f_r} \sigma_{f_r}\right)^2 + \left(\frac{\partial V_r}{\partial V_g} \sigma_{V_g}\right)^2} \quad (12)$$

各误差传递系数为

$$\frac{\partial V_r}{\partial \Delta a} = \frac{\chi_r}{2V_g}, \quad \frac{\partial V_r}{\partial f_r} = \frac{\lambda \Delta a}{2V_g}, \quad \frac{\partial V_r}{\partial V_g} = -\frac{\Delta a \chi_r}{2V_g^2}$$

$\Delta a$  的误差来源有三个: 图像中公路的定位误差, SAR 成像引起的误差和目标相对定位误差。公路定位可以利用地理信息系统(GIS), 误差降低在 5m 以下; 采用高精度双站成像可以降低图像方位像素间误差; 目标定位可以通过插值的方法达到亚像素级(1/10~1/8 像素)。

## 3 实验结果和性能分析

基于多功能天基雷达仿真系统进行了仿真实验验证和性能分析。主要仿真流程如下: (1) 选定分布式卫星构型(本文采用的是沿航迹编队)、轨道参数、雷达参数和场景数字高程图(DEM)。(2) 根据文献[5]和前述参数, 对地面场景建模并生成回波。(3) 采用星载雷达 MSTAR 数据对运动目标建模, 根据预先设定的目标的大小和速度等参数, 计算出动目标回波, 并加入到地面场景回波中。(4) 对卫星回波分别单/双站成像, 两幅 SAR 图像经通道均衡和亚像素级配准, 直接干涉后可得相应干涉幅度和相位。

### 3.1 检测实验结果和性能分析

如图 4(a) 所示, 地面场景包含了起伏的山脉、平地 and 山间道路, 道路数据提取和先验信息的获取可参见图 3。取图像中间一条道路的局部区域作为实验用道路, 运动目标放置在道路中。运动目标类型: 坦克, 目标大小为  $7.5\text{m} \times 5\text{m}$ 。目标分为 3 组, 每组 3 个目标, 运动速度相同, 目标强度对应的 SCR 分别为 10dB, 0dB 和 -5dB, 沿道路正方向(雷达视角方向为正) 逐个放置。第一组速度:  $2\text{m/s}$ , 第二组速度:  $4\text{m/s}$ , 第三组速度:  $10\text{m/s}$ , 以上速度均为目标地面切航迹速度。图 4(b) 为动目标放置位置的示意图, (c) 是包含动目标的 SAR 图像, 从图像中可以看出动目标偏离道路, 淹没在杂波图像之中, (d) 是 SAR/ATI

干涉相位, (e) 是二级 CFAR 检测方法的结果, (f) 是基于 NP 准则方法的检测结果。对比图 4(e) 和(f) 可以看出, 在 SCR 较大或动目标速度较大的情况下, 二者检测性能相近; 当 SCR 和动目标略小时, 基于 NP 准则的方法由于二级 CFAR 在 SCR 和动目标较小时, 二者检测性能都较差。其次, 二级 CFAR 方法的虚警数量也比基于 NP 准则的方法多。

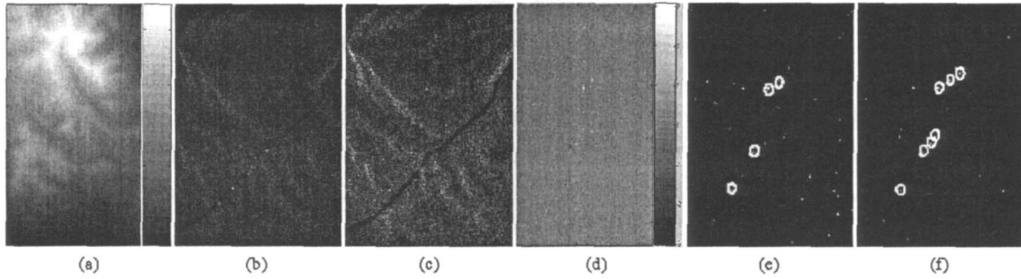


图 4 检测性能实验结果对比

Fig. 4 Experiment results comparison of detection

### 3.2 测速实验结果和性能分析

根据卫星和雷达参数, 分别计算式(11), (12) 中的误差传递系数如表 1 和表 2 所示, 其中设  $SCR = 0\text{dB}$ ,  $l = 6$ ,  $\rho = 0.95$ ,  $V_x = 8\text{m/s}$ ,  $\Phi_t = 1.5\text{rad}$ 。从表中的结果可以看出, 基于先验信息的测速方法的性能较好。

表 1 基于干涉相位的测速误差

| 参数       | 误差传递系数  | 参数误差    | 测速误差      |
|----------|---------|---------|-----------|
| $\Phi_r$ | 2.88    | 0.72rad | 2.0736m/s |
| $V_s$    | 0.00057 | 10m/s   | 0.0057m/s |
| $B$      | 0.04    | 0.005m  | 0.0002m/s |
| 总误差      |         |         | 2.08m/s   |

表 2 基于先验信息的测速误差

| 参数         | 误差传递系数 | 参数误差  | 测速误差     |
|------------|--------|-------|----------|
| $\Delta a$ | 0.012  | 0.5m  | 0.006m/s |
| $V_g$      | 0.005  | 10m/s | 0.05m/s  |
| $f_r$      | 0.0053 | 10Hz  | 0.053m/s |
| 总误差        |        |       | 0.109m/s |

## 4 结论

SAR/ATI 是分布式卫星地面运动目标检测的一种重要的工作模式, 本文阐述了单基线 SAR/ATI 技术的原理和杂波、噪声对检测、测速性能的影响, 给出了一种基于先验信息的 SAR/ATI 检测和测速方法。仿真实验结果表明: 基于先验信息的 SAR/ATI 检测和测速方法, 能够有效抑制杂波和噪声的影响, 提高动目标检测和测速性能, 本文方法也可推广到多基线 SAR/ATI 技术中。

## 参考文献:

- [1] Gienull C H. Statistical Analysis of Multilook SAR Interferograms for CFAR Detection of Ground Moving Targets [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2004, 42(4): 691- 701.
- [2] Gienull C H. Moving Target Detection with Along-track SAR Interferometry: A Theoretical Analysis [R]. Technical Report DRDC OTTAWA- TR - 2002- 084, Defense R&D Canada, 2002.
- [3] Chen C W. Performance Assessment of Along-track Interferometry for Detecting Ground Moving Targets [C]//Proc. IEEE Radar Conference, Philadelphia, U.S., April 26- 29, 2004: 99- 104.
- [4] Meyer F, Hinz S, Laika A. Performance Analysis of the TerraSAR-X Traffic Monitoring Concept [J]. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 2004, 61: 225- 242.
- [5] 王敏, 梁甸农, 董臻, 等. 分布式小卫星 SAR 回波仿真快速算法[J]. 国防科技大学学报, 2007, 29(2):61- 64.