

一种基于动目标聚焦的 SAR-GMTI 方法

韦北余* 朱岱寅 吴迪
(南京航空航天大学电子信息工程学院 南京 211106)

摘要: 由于输入信杂噪比(Signal to Clutter Noise Ratio, SCNR)较低, 杂波抑制后超高频(Ultra-High Frequency, UHF)波段合成孔径雷达(Synthetic Aperture Radar, SAR)图像中剩余静止目标杂波导致系统虚警概率较高。该文提出一种动目标筛选方法, 能够判断恒虚警概率(Constant False Alarm Rate, CFAR)检测器检测到的目标是否为动目标。提出一种动目标原始数据恢复方法, 能够从整幅 SAR 图像中恢复任意孤立点的多普勒相位历史。采用距离多普勒处理对恢复的数据成像, 然后采用方位自聚焦处理对所成子图像进行重新聚焦。如果子图像中目标为静止目标, 则聚焦前后子图像不变, 否则图像被重新聚集。通过检测图像的变化可以排除虚假动目标。仿真及实测数据处理结果说明了该方法的有效性。

关键词: 合成孔径雷达; ω -K 算法; 地面动目标指示; 超高频波段雷达

中图分类号: TN958.2

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2016)07-1738-07

DOI: 10.11999/JEIT151036

A SAR-GMTI Approach Based on Moving Target Focusing

WEI Beiyu ZHU Daiyin WU Di

(College of Information Science and Technology, Nanjing University of Aeronautics
and Astronautics, Nanjing 211106, China)

Abstract: Due to the low Signal to Clutter Noise Ratio (SCNR), the residual stationary targets in a clutter suppressed multichannel Ultra-High Frequency (UHF) band Synthetic Aperture Radar (SAR) image may lead to an unacceptable false alarm rate. A method of moving target screening is presented in this paper, which can determine whether the target detected by the Constant False Alarm Rate (CFAR) detector is a real moving one. A moving target data recovery method is described, which can recover the Doppler phase history of any isolated target within a full ω -K SAR image. The recovered data is processed again into a sub-image by range Doppler processing, and the sub-image is refocused with azimuth autofocus processing. The sub-image will not change after refocusing if the target in it is a stationary one, and it will be refocused if the target is a moving one. The false moving target can be eliminated by detecting this change. The proposed method is demonstrated on simulated and real SAR Ground Moving Target Indication (GMTI) data.

Key words: Synthetic Aperture Radar (SAR); ω -K algorithm; Ground Moving Target Indication (GMTI); Ultra-High Frequency (UHF) band radar

1 引言

合成孔径雷达(Synthetic Aperture Radar, SAR)

被广泛安装在民用及军用飞行器上^[1-4], 地面动目标指示(Ground Moving Target Indication, GMTI)是 SAR 的一个重要的应用^[1-8]。现存的大多数多通道 SAR GMTI 系统都工作在 X 或 C 波段, 但这两种波段雷达穿透植被的能力与超高频(Ultra-High Frequency, UHF)波段雷达相比较弱。由于 UHF 波段雷达波束宽度较宽, 所以其成像相干积累时间较其他更高频段的雷达成, 相干处理间隔(Coherent Processing Interval, CPI)更长, 动目标在 SAR 图像中散焦更加严重, 导致后续的恒虚警概率(Constant False Alarm Rate, CFAR)检测器的输入信杂噪比(Signal to Clutter Noise Ratio, SCNR)较低, 杂波抑制后残留的静止目标导致虚警概率较高。所以 UHF 波段 SAR 检测动目标较其他更高频率的系统更困难。

收稿日期: 2015-09-14; 改回日期: 2016-02-19; 网络出版: 2016-04-07

*通信作者: 韦北余 weibyboy@126.com

基金项目: 国家自然科学基金(61301212), 国防基础科研计划(B2520110008), 航空科学基金(20132052030), 中国博士后科学基金(2012M511750), 南京航空航天大学基本科研业务费(NS2013023), 江苏高校优势学科建设工程

Foundation Items: The National Natural Science Foundation of China (61301212), Defense Industrial Technology Development Program (B2520110008), Aeronautical Science Foundation of China (20132052030), China Postdoctoral Science Foundation (2012M511750), NUAU Fundamental Research Funds (NS2013023), Priority Academic Program Development of Jiangsu Higher Education Institutions

由于动目标与静止目标回波信号的相位历史不同, 动目标在 SAR 图像呈散焦状态。切向速度及径向加速度导致动目标距离单元徙动(Range Cell Migration, RCM)弯曲, 同时导致动目标的方位向调频频率与静止目标的不同^[9,10], 而且径向速度会引起额外的距离走动。由于回波数据被当做静止目标的回波进行处理, 动目标与静止目标的方位向线性调频信号(Linear Frequency Modulation, LFM)失配, 因此动目标在 SAR 图像中呈散焦状态, 动目标响应的幅值通常比静止杂波的低, 往往淹没在聚焦良好的背景杂波中。导致无法直接从 SAR 图像中检测动目标, 需要先进行杂波抑制处理^[8,11]。杂波抑制之后, 静止杂波得到了抑制, 而动目标的响应被保留了下来, 但同时许多强散射静止点的响应也残留了下来。这些响应都能够被后续 CFAR 检测器检测到, 很难将静止目标与动目标响应区分开来, 因此找到一种能够筛选动目标的方法是一个具有现实意义的问题。但是可供参考的相关文献很少, 现有的多数文献都只是围绕动目标成像及检测技术进行研究, 没有解决区分静止及动目标的问题。为此本文提出了一种动目标筛选方法, 能够判断 CFAR 检测器检测到的目标是否为动目标。

2 UHF 波段多通道 SAR GMTI 原理

信号处理流程如图 1 所示, 采用 ω -K 算法^[12]成像, 与传统的方法相比^[13], 主要增加了动目标数据恢复及聚焦处理, 处理步骤可以归为 3 个阶段。第 1 个阶段为预处理, 包括成像、通道校准^[14]及杂波抑制。此阶段的主要目的是抑制地面静止目标杂波, 保证后续动目标检测的输入 SCNR 足够高。第 2 个阶段可以分为两部分, 第 1 部分为动目标提取及原始数据恢复, 第 2 部分为动目标聚焦。此阶段的主要目的是从检测到的动目标中筛选出动目标。第 3 阶段为传统的动目标参数估计及重定位处理^[15]。

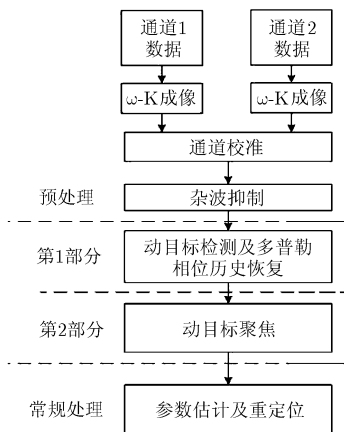


图 1 多通道 SAR GMTI 原理框图

2.1 动目标多普勒相位历史恢复原理

图 2 是动目标多普勒相位历史恢复过程的示意图。首先将动目标从杂波抑制后的 SAR 图像中提取到子图像块中, 然后扩展图像块, 确保方位轴宽度大于动目标方位向信号的多普勒带宽, 距离轴的宽度能够容纳下动目标距离徙动的距离弯曲, 最后采用动目标原始数据恢复方法恢复动目标的多普勒相位历史。

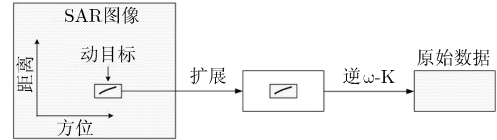


图 2 动目标多普勒相位历史恢复方法

2.2 动目标聚焦原理

假设 SAR 工作在正侧视模式, 则其几何模型如图 3 所示。图中, M 为动目标; v_c 和 a_c 分别表示动目标的径向速度和加速度; v_a 和 a_a 分别是动目标切向速度和加速度; R_0 是雷达与目标之间的最短距离; η 为方位慢时间; $R(0)$ 为零时刻目标与载机间的距离; θ 为动目标到坐标原点的连线与航迹法线方向的夹角。动目标与雷达的实时距离为 $R(\eta)$, 其值为

$$R(\eta) = \left[\left(V_r \eta - \left(y_0 + v_a \eta + \frac{1}{2} a_a \eta^2 \right) \right)^2 + \left(R_0 + v_c \eta + \frac{1}{2} a_c \eta^2 \right)^2 \right]^{1/2} \quad (1)$$

泰勒展开之后, 其近似值为

$$R(\eta) \approx R(0) + \frac{R_0 v_c - y_0 V_r}{R(0)} \eta + \frac{(V_r - v_a)^2 + R_0 a_c}{2R(0)} \eta^2 \quad (2)$$

式中, y_0 是目标的方位向初始位置。当 $y_0 = 0$ 时, 此距离可简化为

$$R(\eta) = R_0 + v_c \eta + \frac{(V_r - v_a)^2 + R_0 a_c}{2R_0} \eta^2 \quad (3)$$

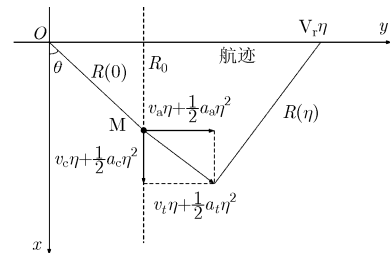


图 3 斜距平面内动目标的数据采集几何模型

其中, 线性项为径向速度所导致的, 会引起动目标多普勒偏移, 使动目标偏离真实位置。二次项与径向加速度及切向速度有关, 会引起距离弯曲及方位向散焦。对于静止目标, 此距离为

$$R(\eta) = R(0) - V_r \sin \theta \eta + \frac{V_r^2}{2R(0)} \eta^2 \quad (4)$$

当 $y_0 = 0$, 式(4)可简化为

$$R(\eta) = R_0 + \frac{V_r^2}{2R_0} \eta^2 \quad (5)$$

式中, 二次项仅与 V_r 和 R_0 有关。距离压缩后的回波数据可表示为

$$S(f_r, \eta) = \text{rect}\left(\frac{\eta}{T_a}\right) \text{rect}\left(\frac{f_r}{B}\right) \cdot \exp\left\{-j \frac{4\pi(f_c + f_r)}{c} R(\eta)\right\} \quad (6)$$

式中, $\text{rect}(x)$ 为矩形窗函数, T_a 为相干积累时间, B 为线性调频信号带宽。

成像之前, 首先以图像中心为参考点对恢复的数据进行运动补偿, 参考函数为

$$S(f_r, \eta) = \exp\left\{-j \frac{4\pi(f_c + f_r)}{c} R_0(\eta)\right\} \quad (7)$$

式中, $R_0(\eta)$ 是雷达与参考点之间的距离, 其值为

$$R_0(\eta) = R_0(0) - V_r \sin \theta_0 \eta + \frac{V_r^2}{2R_0(0)} \eta^2 \quad (8)$$

其中, θ_0 为参考点对应的 θ 值。补偿之后回波信号变为

$$S(f_r, \eta) = \text{rect}\left(\frac{\eta}{T_a}\right) \text{rect}\left(\frac{f_r}{B}\right) \cdot \exp\left\{-j \frac{4\pi(f_c + f_r)}{c} \Delta R(\eta)\right\} \quad (9)$$

其相位由参考点到目标的距离决定。

$$\Delta R(\eta) = R(\eta) - R_0(\eta) \quad (10)$$

这距离正是 RCM 及散焦的原因。对于参考点, 此距离为零, 即参考点完全聚焦。对于参考点周围的静止点, 其相对于参考点的距离是固定值。对于运动目标, 其相对距离是随时间变化的。

假设子图像中任意一点的 $R(\eta)$ 在 $\eta=0$ 处展开为泰勒级数为

$$R(\eta) = a_0 + a_1 \eta + a_2 \eta^2 + \phi(\eta) \quad (11)$$

其中, 常数项 a_0 表示目标的距离信息, 线性项 a_1 为距离走动, 决定了目标的多普勒频率, 二次项 a_2 为距离弯曲, 则参考点到目标的距离可重写为

$$\Delta R(\eta) = \Delta a_0 + \Delta a_1 \eta + \Delta a_2 \eta^2 \quad (12)$$

三次项及更高次项被忽略。

对于静止目标, 式(12)的参数为

$$\left. \begin{aligned} \Delta a_0 &= R(0) - R_0(0) \\ \Delta a_1 &= -V_r(\sin \theta - \sin \theta_0) \\ \Delta a_2 &= \Delta a_0 V_r^2 / [R(0) R_0(0)] \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

由于提取的子图像对应的场景较小, 其半径通常从几米到几十米, 所以 $R(0) R_0(0) \gg \Delta a_0$, 即 $\Delta a_2 \approx 0$, 这意味着参考点周围点的距离弯曲及方位向调频斜率与参考点的几乎相同, 运动补偿之后, 距离弯曲被近似补偿, 方位向线性调频信号被压缩, 只剩下了目标的距离及多普勒信息。由于存在线性的距离走动, RCM 曲线跨越多个距离单元, 为了解除距离频率及方位时间之间的耦合, 需要进行 Keystone 变换, 方位时间变换为

$$\eta = [f_c / (f_c + f_r)] \eta' \quad (14)$$

其中, η' 为变换后的方位时间, 为了简便起见, 仍然使用 η 表示方位时间, 变换后的回波信号为

$$S(f_r, \eta) = A \text{rect}\left(\frac{\eta}{T_a}\right) \text{rect}\left(\frac{f_r}{B}\right) \cdot \exp\left\{-j \left[\frac{4\pi f_r}{c} \Delta a_0 + \frac{4\pi}{\lambda} \Delta a_1 \eta \right]\right\} \quad (15)$$

其中, A 为常数项, 包含一项常数相位项, λ 为波长。距离向逆傅里叶变换及方位向傅里叶变换后回波信号变为

$$S(\tau, f_\eta) = A \text{sinc}\left[B \left(\tau + \frac{2\Delta a_0}{c} \right)\right] \cdot \text{sinc}\left[T_a \left(f_\eta - \frac{2\Delta a_1}{\lambda} \right)\right] \quad (16)$$

此式说明在距离多普勒域静止目标完全聚焦。

对于动目标, 式(12)的参数为

$$\left. \begin{aligned} \Delta a_0 &= R(0) - R_0(0) \\ \Delta a_1 &= \frac{R_0 v_c}{R(0)} - V_r(\sin \theta - \sin \theta_0) \\ \Delta a_2 &= \frac{(V_r - v_a)^2 + R_0 a_c}{2R(0)} - \frac{V_r^2}{2R_0(0)} \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

假设提取的图像块包含一个动目标, 且动目标位于图像的中心, 运动产生的多普勒平移使动目标从真实位置沿方位平移到当前位置, 因此动目标的多普勒频率与当前位置的多普勒频率相等, 即 Δa_1 等于或近似为零, 即使其不为零, 其引起的距离走动影响也会被后续的 Keystone 变换消除。由 Δa_2 的表达式可见, 动目标与静止目标的二次项大不相同, 这是由切向速度及径向加速度所引起的。对于 RCM, 二次项会引起距离弯曲。对于方位聚焦, 会引入二次相位误差(Quadratic Phase Error, QPE),

导致目标在方位向展宽。从另一个角度来看，QPE 是动目标与静止目标的方位向 LFM 信号失配所造成的。文献[13]提出了一种通过迭代估计运动参数来校正距离弯曲的方法，但此方法不适用于本文的情况，因为在成像完成之前不能确定动目标存在。对于不存在动目标的子图像，强行进行运动参数估计会引入人为的 QPE，导致图像散焦。此外通过迭代的方法估计每个目标的运动参数会严重增加计算量。当距离弯曲满足式(18)的条件时可以忽略。

$$\left| \frac{(V_r - v_a)^2 + R_0 a_c}{2R(0)} - \frac{V_r^2}{2R_0(0)} \right| \eta^2 \leq \rho_r \quad (18)$$

其中 ρ_r 是距离分辨率。由于动目标位于子图像中心，可将其距离视为零，即 $\Delta a_0 = 0$ ，则动目标与参考点之间的距离可简化为

$$\Delta R(\eta) = \Delta a_2 \eta^2 \quad (19)$$

由于动目标聚焦的主要目的是确认动目标的存在性，粗聚焦足以确定其存在性，精确的动目标成像反而会增加计算量。不估计运动参数就无法校正距离弯曲，但通过自聚焦的方法仍然能够校正 QPE。

综上所述，动目标聚焦的过程可以归结为一幅流程图，如图 4 所示。

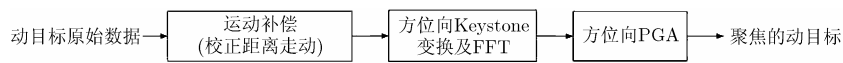


图 4 动目标聚焦流程图

3 仿真及实测数据处理结果

3.1 仿真数据处理结果

通过仿真 UHF 波段 SAR 数据处理结果证明本文方法的有效性。雷达工作在正侧视模式，仿真参数与真实雷达系统参数相同，如表 1 所示。

表 1 UHF 波段 SAR 系统参数

载频	500 MHz
带宽	42 MHz
脉冲重复频率	1000 Hz
载机速度	140 m/s
相干积累时间	32 s
场景中心距离	16 km

点目标布置如图 5 所示，动目标的运动参数如表 2 所示。由于径向加速度对成像的影响与切向速度相同，所以动目标加速度设为零，为了充分验证本文方法的有效性，3 个动目标的速度方向不同。

ω -K 成像结果如图 6 所示，为使得点目标更亮，对原始的 SAR 图像采用了色阶处理。其中水平方向为方位向，垂直方向为距离向，后文图像与此相同，不再赘述。从图中可以看出静止目标聚焦良好，但动目标模糊不清，呈散焦状态。

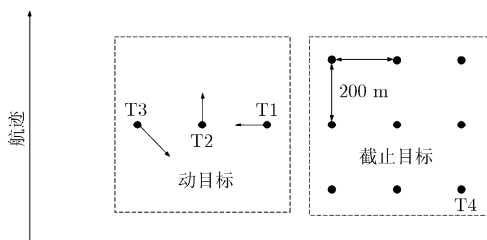


图 5 场景中目标分布图

表 2 动目标运动参数

目标	T1	T2	T3
径向速度(m/s)	20	0	-10
切向速度(m/s)	0	20	-10

成像之后，将目标的像从图像中提取出来，进行逆 ω -K 处理，恢复目标的原始数据。恢复的及原始的数据在距离压缩域的图如图 7 所示，为了更好地说明恢复算法的效果，原数据的方位向被压缩到了与子图像相同的宽度。从图中容易看出恢复的目标 RCM 轨迹与原始的相同，说明恢复的与原始的数据相同。

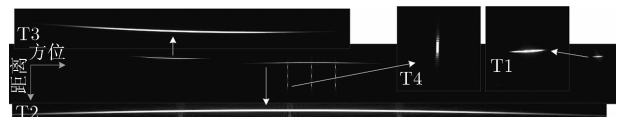


图 6 仿真数据 ω -K 算法处理结果

得到恢复的目标原始数据后可以进行成像处理，图 8 给出了静止目标 T4 成像处理结果，成像参考点为 T4 的位置，从图中可以看出目标完全聚焦，由于成像参考点为 T4 自身，因此运动补偿之后其信号相位为零，因此后续的 Keystone 变换对其无效，变换后的结果与运动补偿后的相同，所以此处没有给出。

图 9 给出了动目标 T1 的成像结果，成像参考点为 T1 的位置。可以看出运动补偿后 T1 的 RCM 轨迹基本位于一个距离单元内，如图 9(c)所示，这与前文的分析结果相同。与静止目标 T4 不同的是，方位向 FFT 后动目标仍然呈散焦状态，这是由二次相位误差造成的。从图 9(d)可以看出方位向 PGA 后动目标完全聚焦，说明 PGA 能够将具有径向速度的动目标聚焦。

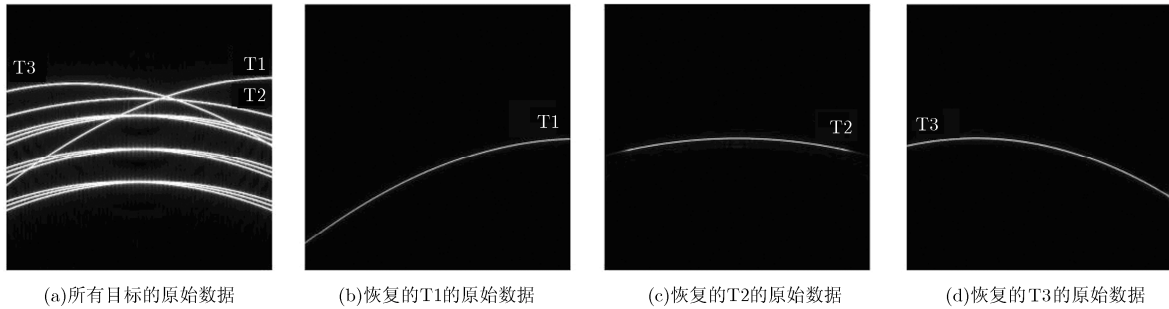


图 7 恢复的及原始的动目标数据

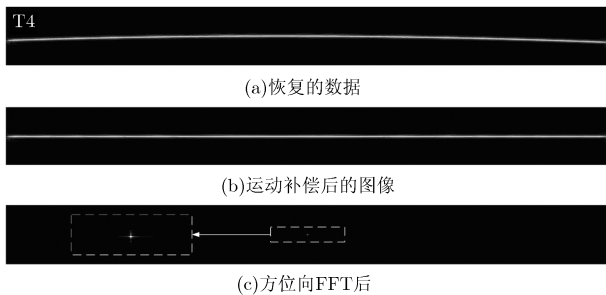


图 8 静止目标T4成像处理结果

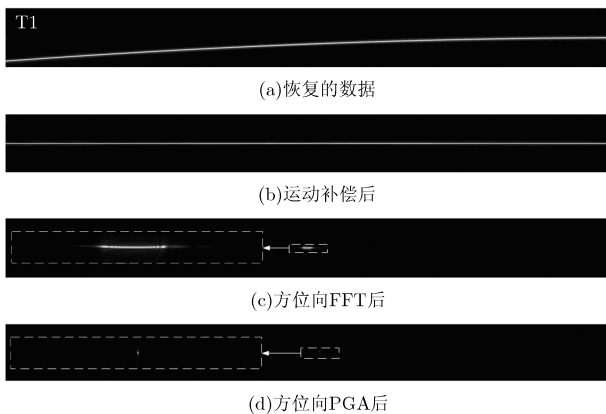


图 9 T1成像处理结果

3.2 实测数据处理结果

本文实测数据为四通道 UHF 波段机载 SAR 数据。图 10 给出了一个真实动目标的处理结果，结果与仿真结果相似。动目标的像跨越多个距离单元，如图 10(a), 10 (b)所示，这主要是由动目标径向速度所导致的，图 10(e)给出了运动补偿及方位向及方位向 FFT 处理之后的图像，从图中可以看出动目标几乎位于一个距离单元以内，图 10(b)及图 10(e)的变化说明距离走动已经被消除。方位向 PGA 后，目标聚为一点。这种聚焦前后明显的变化说明其的确为动目标，有许多方法可以检测这种明显的变化，比如计算图像的清晰度^[9]。图 10(f)的清晰度是图

10(e)的 7.68 倍，但是并不是所有动目标都能够获得如此高的图像清晰度提升。散焦严重的动目标聚焦前的清晰度较低，聚焦后清晰度显著提升，其清晰度改善程度要好于散焦情况一般的动目标。

为了比较动目标及静止目标的不同，对一个静止目标进行处理，其结果如图 11 所示。从图 11(a)中可以看出此强散射点为建筑的房顶。杂波抑制之后仍然有很强的剩余杂波，很容易被 CFAR 检测器当做动目标检测到。与动目标的像相似，这个静止目标的像也跨越多个距离单元。如图 11(e)所示，与图 10(e)不同，运动补偿及方位 FFT 后目标的像仍然跨越多个距离单元，这说明此目标的确为静止目标。如图 11(f)所示，方位向 PGA 后图像无明显变化，图 11(f)的清晰度是图 11(e)的 1.22 倍，这比动目标清晰度改善程度要低很多，进一步说明其为静止目标。

4 结束语

本文提出了一种从检测到的目标中筛选动目标的方法，此方法能够判断被 CFAR 检测器检测到的目标是否为真实动目标。针对子块 SAR 图像给出了动目标原始数据恢复方法，能够从杂波抑制后的 SAR 图像中恢复目标的原始数据。对恢复的数据进行成像处理，方位向进行自聚焦处理，如果目标为动目标，则图像能够重新聚焦，聚焦处理前后图像变化明显，通过检测这种变化能够判断动目标的存在性。这种方法的优点是简单的运动补偿能够将动目标的距离走动去除，且由于采用小块的子图像处理方法，所以计算量很小，符合现代数字处理器并行处理的特点。此方法对于用其他算法所成 SAR 图像同样适用，只要知道原始 SAR 成像所用的算法，就可以进行相应的逆处理。仿真及实测数据处理结果说明了本文方法的有效性。

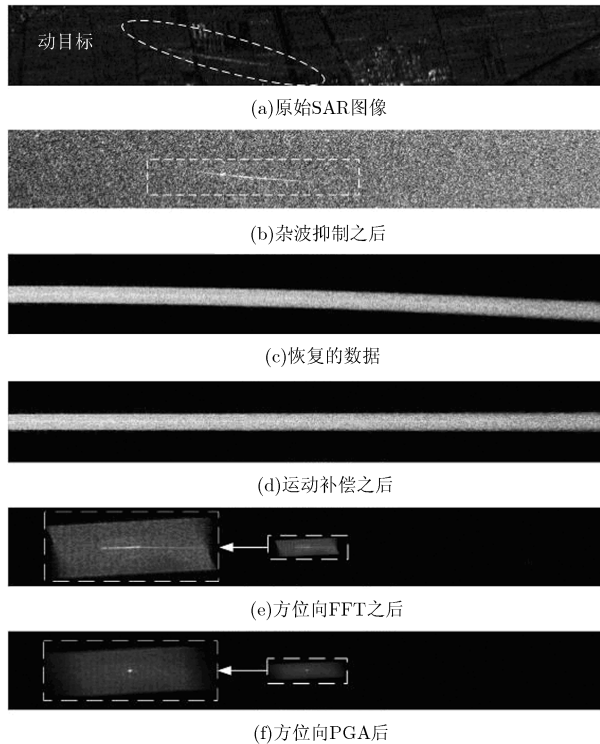


图 10 动目标的成像处理结果

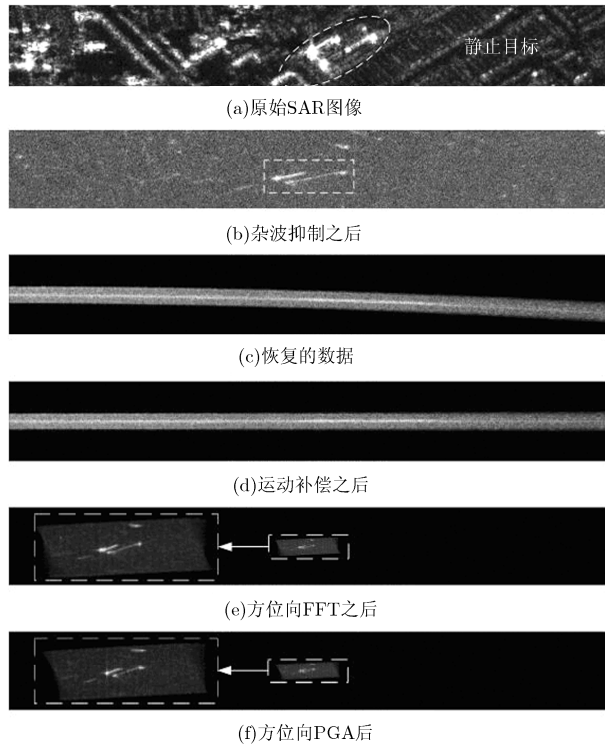


图 11 静止目标的成像处理结果

参 考 文 献

- [1] ENTZMINGER JR J N, FOWLER C A, and KENNEALLY W J. JointSTARS and GMTI: Past, present and future[J]. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 1999, 35(2): 748-761.
- [2] 黄大荣, 孙光才, 吴玉峰, 等. 三通道 TOPSAR-GMTI 技术研究[J]. *电子与信息学报*, 2013, 35(1): 41-48. doi: 10.3724/sp.j.1146.2012.00764.
HUANG D R, SUN G C, WU Y F, *et al.* Research on three-channel TOPSAR-GMTI technology[J]. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2013, 35(1): 41-48. doi: 10.3724/sp.j.1146.2012.00764.
- [3] MAKHOUL E, BROQUETAS A, RUIZ Rodon J, *et al.* A performance evaluation of SAR-GMTI missions for maritime applications[J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2015, 53(5): 2496-2509.
- [4] 张佳佳, 周芳, 孙光才, 等. 基于前向阵雷达的三通道地面快速动目标检测与成像方法[J]. *电子与信息学报*, 2013, 35(1): 8-14. doi: 10.3724/sp.j.1146.2012.00749.
ZHANG J J, ZHOU F, SUN G C, *et al.* Approach for ground fast-moving target detection and imaging based on the three-channel forward-looking radar[J]. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2013, 35(1): 8-14. doi: 10.3724/sp.j.1146.2012.00749.
- [5] 田斌, 朱岱寅, 吴迪, 等. 稳健的多通道 SAR/GMTI 通道盲均衡算法[J]. *电子学报*, 2014, 42(3): 424-431. doi: 10.3969/j.issn.0372-2112.2014.03.002.
- [6] TIAN B, ZHU D Y, WU D, *et al.* Robust channel blind equalization algorithm for multi-channel SAR/GMTI system[J]. *Acta Electronica Sinica*, 2014, 42(3): 424-431. doi: 10.3969/j.issn.0372-2112.2014.03.002.
- [7] MERTENS M, KOCH W, and KIRUBARAJAN T. Exploiting Doppler blind zone information for ground moving target tracking with bistatic airborne radar[J]. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 2014, 50(1): 130-148.
- [8] 刘安娜, 陈力, 赵斐, 等. 基于 DPCA-FrFFT 的三通道 SAR-GMTI 方法[J]. *电子学报*, 2011, 39(9): 2091-2097. doi: 10.3969/j.issn.0372-2112.2011.09.2091.07.
LIU A N, CHEN L, ZHAO F, *et al.* Study on DPCA-FrFFT based multi-channel SAR-GMTI [J]. *Acta Electronica Sinica*, 2011, 39(9): 2091-2097. doi: 10.3969/j.issn.0372-2112.2011.09.2091.07.
- [9] SJOGREN T K, VIET Thuy V, PETERSSON M I, *et al.* Suppression of clutter in multichannel SAR GMTI[J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2014, 52(7): 4005-4013.
- [10] FIENUP J R. Detecting moving targets in SAR imagery by focusing[J]. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 2001, 37(3): 794-809.
- [11] RANEY R K. Synthetic aperture imaging radar and moving targets[J]. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 1971, (3): 499-505.

- [11] SUCHANDT S, RUNGE H, BREIT H, *et al.* Automatic extraction of traffic flows using TerraSAR-X along-track interferometry[J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2010, 48(2): 807-819.
- [12] CUMMING I G and WONG F H. Digital Processing of Synthetic Aperture Radar Data Algorithms and Implementation[M]. Boston London: Artech House, 2005: 324-390.
- [13] PERRY R P, DIPIETRO R C, and FANTE R L. SAR imaging of moving targets[J]. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 1999, 35(1): 188-200.
- [14] ENDER J H G. The airborne experimental multi-channel SAR-system AER-II[C]. EUSAR, Konigswinter, Germany, 1996: 49-52.
- [15] ZHU S, LIAO G, ZHOU Z, *et al.* Robust moving targets detection and velocity estimation using multi-channel and multi-look SAR images[J]. *Signal Processing*, 2010, 90(6): 2009-2019.
- 韦北余: 男, 1988 年生, 博士, 研究方向为合成孔径雷达地面动目标检测技术.
- 朱岱寅: 男, 1974 年生, 教授, 博士生导师, 研究方向为合成孔径雷达信号处理.
- 吴迪: 男, 1982 年生, 讲师, 研究方向为雷达信号处理和地面动目标检测.

“雷达信号处理”专刊征稿通知

在数字信号处理技术飞速发展的今天, 雷达技术在军用和民用领域都得到了广泛应用, 雷达信号处理作为雷达系统的重要组成部分, 始终走在国防科技和电子信息领域技术最前列。鉴于此, 本刊决定在 2016 年 12 月针对雷达信号处理技术出版一期专刊, 公开征集雷达信号处理相关内容的学术论文、研究通讯和综述评论文章。

1 专刊主编

张玉洪教授(西安电子科技大学), 王永良院士(空军预警学院), 许进教授(北京大学), 廖桂生教授(西安电子科技大学), 吴仁彪教授(中国民航大学), 刘宏伟教授(西安电子科技大学)

2 征文选题范围

(1)新体制雷达系统技术; (2)雷达成像技术; (3)雷达目标识别技术; (4)雷达抗干扰技术; (5)雷达预警探测技术; (6)海战场雷达探测技术; (7)高速实时信号处理技术; (8)雷达信号处理共性基础理论等。

所征集的论文内容不限于以上方面, 所有与雷达信号处理相关的高水平论文均接受投稿。为保证专刊文章的质量, 最终录取文章数量由征集到的稿件的质量和审稿情况决定。

3 征文要求

稿件类型要求: 前瞻性的研究论文, 高质量的综述论文。稿件尚未公开发表, 并非一稿多投; 无抄袭、剽窃、侵权等不良行为。

投稿方式: 登录《电子与信息学报》网站(<http://jeit.ie.ac.cn/>)注册投稿。投稿时请在作者留言一栏中注明“雷达信号处理专刊”。

稿件格式: 参照《电子与信息学报》论文模板。

截稿时间: 2016 年 9 月 30 日。