

基于 DBF-SCORE 的 Ka 滑动聚束 SAR 信号处理方法研究

王帅起^{1,2} 王 辉¹ 禹卫东¹

(1. 中国科学院电子学研究所 北京 100190; 2. 中国科学院大学 北京 100049)

摘要: Ka 毫米波合成孔径雷达(SAR)以其图像分辨率高目标轮廓清晰的特性,得到了国内外学者的广泛关注,近几年随着 Ka 波段器件的发展,Ka SAR 系统成为各国竞相研究的热点。数字波束合成扫描接收技术(DBF-SCORE)可以在避免峰值发射功率过大的前提下提供足够的系统增益,很好的解决了毫米波系统损耗较大的难题,而滑动聚束模式能够不受方位向天线尺寸的限制实现方位向的高分辨率。基于此本文提出了一种基于 DBF-SCORE 的滑动聚束 SAR 工作模式,并给出了成像处理流程,以及信号处理过程中公式的解析表达式。最后,通过仿真实验验证了处理算法的有效性。

关键词: 毫米波;Ka 波段;数字波束合成;扫描接收;滑动聚束

中图分类号: TN957 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.70

Ka-band sliding spotlight SAR signal processing method based on DBF-SCORE

Wang Shuaiqi^{1,2} Wang Hui¹ Yu Weidong¹

(1. Institute of Electronics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Ka-band millimeter-wave SAR with high resolution and clear outline imaging characteristics has drawn great attention among researchers. With the development of Ka-band devices, makes Ka-SAR system a hot research topic in many countries. Digital beam-forming (DBF) scan-on-receive (SCORE) can avoid overlarge peak transmit power, meanwhile provides adequate system gain, which efficiently solves the power consumption issue in millimeter-wave systems. Besides, sliding spotlight mode ensures the high azimuth resolution without restricting the size of the azimuth antenna. According to this, the paper presents a sliding spotlight SAR system based on DBF-SCORE, and then provides the imaging flow diagrams, as well as the analytical expressions. Finally, the effectiveness of the algorithm is verified by simulation experiments.

Keywords: millimeter wave; Ka-band; digital beam-forming (DBF); scan on receive (SCORE); sliding spotlight

1 引言

合成孔径雷达(synthetic aperture radar, SAR)是一种高分辨率相干成像雷达^[1]。它采用以多普勒频移理论为基础的合成孔径技术来提高雷达的方位向分辨率^[2],并通过发射宽频带信号和匹配滤波实现距离向的高分辨率^[3-4]。目前星载 SAR 主要工作在 L、S、C 等中低频波段^[5],但随着军事侦查和民用微波遥感应用对 SAR 性能要求的提高,低频段 SAR 已不能满足日益出现的新的应用需求。Ka 毫米波(30.75 GHz)频谱介于微波与红外之间的特点,使得

Ka 毫米波 SAR 具有体积小、重量轻,分辨率高,俯视角好,目标轮廓效应明显以及电子对抗性能强等优点,逐渐成为雷达成像技术发展的重要方向^[6]。

传统条带 SAR 系统方位向分辨率由雷达天线的方位向尺寸决定,为突破方位向分辨率受天线尺寸的限制,出现了聚束(spotlight)模式^[7-8]。它通过转动雷达波束指向来始终照射成像区域,从而延长合成孔径时间,提高方位分辨率。但这是以牺牲方位向连续测绘带宽来换取方位向分辨率的增加的,方位向测绘带受限于天线波束足迹宽度。滑动聚束模式^[9-10](sliding spotlight SAR)是星载 SAR 的一

种高分辨率对地观测模式,同传统条带模式相比具有更高的空间分辨率,与聚束模式相比,具有更大的方位向测绘带宽度,因此,滑动聚束模式近年来成为星载 SAR 领域研究的热点之一。

对于 KaSAR 系统,由于波长较短,与传统 SAR 系统相比,在实现相同的幅宽时需要较小的天线尺寸。同时由于 Ka 频段系统损耗较高,如果仍采用单发单收工作方式,为满足系统增益要求,就需要非常大的峰值发射功率,这在工程实现上极具难度。为了降低系统工程实现难度,可以采用俯仰向数字波束形成技术增大接收天线增益,在避免峰值发射功率过大的前提下保证足够的系统增益^[11]。

目前国内外在研的 Ka SAR 系统大部分是基于 DBF-SCORE 技术,但国内外文献中对俯仰向 DBF-SCORE 算法进行研究分析时,只在距离维进行了公式推导和仿真分析,并没有对基于 DBF-SCORE 的 SAR 成像进行系统的公式推导与仿真分析。本文针对这一不足,对基于 DBF-SCORE 的滑动聚束 SAR 成像信号处理流程进行了系统的仿真分析,从而有助于更加直观的验证基于 DBF 的滑动聚束成像信号处理方法的有效性。

本文分为 4 节,第 2 节介绍了俯仰向 DBF 和滑动聚束的基本原理,并对基于 DBF-SCORE 的 Ka 滑动聚束 SAR 系统信号处理流程进行了算法推导,并给出了信号处理流程图,第 3 节给出了点目标仿真成像结果及分析,第 4 节总结了全文。

2 俯仰向 DBF-SCORE 滑动聚束 SAR 信号模型

本文提出的基于 DBF-SCORE 的滑动聚束 SAR 系统工作方式如图 1 所示,系统天线收发分置,采用较小的发射天线产生距离向的宽波束,以实现宽的测绘带覆盖,接收端采用大的接收天线俯仰向多孔径接收,通过采用 DBF-SCORE 接收技术,控制接收波束指向,产生高增益的笔状窄波束,对回波进行跟踪、扫描、接收,在抑制 SAR 模糊的同时补偿由于照射大测绘带而带来的发射天线降低的增益;方位向工作在滑动聚束模式下,实现方位向的高分辨率成像。距离向的高分辨率通过大的发射带宽实现。

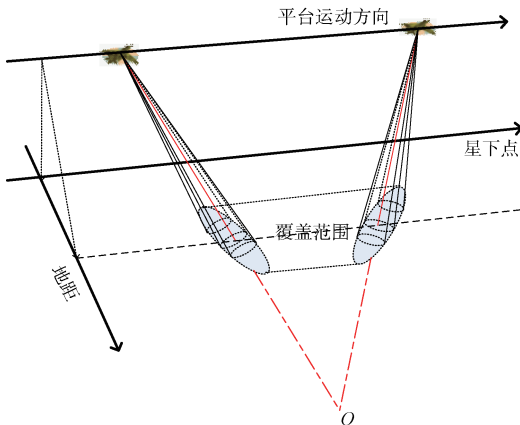


图 1 DBF-SCORE 滑动聚束 SAR 原理示意图

2.1 俯仰向 DBF-SCORE 处理

图 2 为距离向 DBF-SCORE 的工作原理图。为了实现距离向的宽测绘带,采用窄天线发射,形成一个宽波束覆盖的宽测绘带,接收端采用较长的俯仰向天线进行星上实时 DBF-SCORE 处理,将长天线分为多个俯仰向接收子孔径,通过实时计算各子孔径 DBF 加权系数,产生高增益窄波束跟踪地面回波,在保证收发天线增益的同时能有效抑制距离模糊^[12-13]。

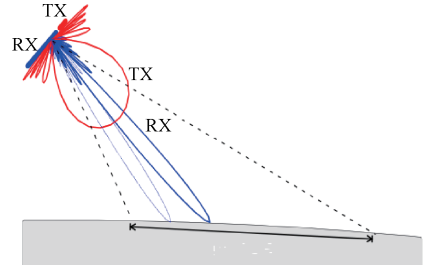


图 2 DBF-SCORE 工作原理

设发射线性调频信号为:

$$s(t) = \text{rect}\left[\frac{t}{T}\right] \cdot \exp\{j2\pi f_c t + j\pi K t^2\} \quad (1)$$

式中: T 为发射脉冲宽度, f_c 为载频, K 为距离向调频率。经过点 $P(x_0, R_0)$ 反射后,时刻 η 俯仰向通道 $n(n = 1, 2, \dots, N)$ 接收的回波信号为:

$$s_n(t, \eta) = \gamma \cdot \text{rect}\left[\frac{t - t_n}{T}\right] \cdot \exp\{j\pi K (t - t_n)^2\} \cdot \exp\{-j2\pi f_c t_n\} \quad (2)$$

式中: t_n 是信号从发射到接收的时间延迟。

图 3 为 DBF-SCORE 收发示意图,如图所示,俯仰向阵列的通道数为 N ,发射天线到最近的接收通道距离为 d_c ,相邻接收通道间隔为 d_0 ,阵列法线方向对应的星下点视角为 β ,时刻 η 场景目标 $P(x_0, R_0)$ 到发射天线的斜距为 $R(\eta) = \sqrt{R_0^2 + (V_a \eta - x_0)^2}$,其中 R_0 是最短斜距, x_0 是目标方位位置, V_a 是平台移动速度,视角为 θ_p ,到第 n 个接收天线的斜距为 $R_n(\eta)$,点 P 的法线偏移角 $\alpha_p = \theta_p - \beta$ 。

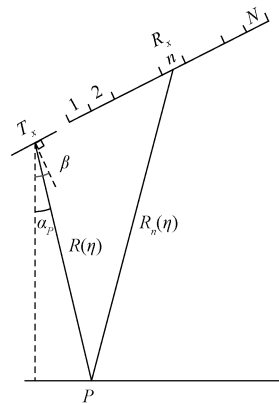


图 3 DBF-SCORE 收发示意图

点目标 P 到接收通道 n 的斜距为:

$$R_n(\eta) = \left(R(\eta)^2 + [d_r + (n-1)d_0]^2 - 2R_p \cdot [d_r + (n-1)d_0] \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} + \beta - \theta_p\right) \right)^{+} = (R(\eta)^2 + [d_r + (n-1)d_0]^2 - 2R_p \cdot [d_r + (n-1)d_0] \cdot \sin\alpha_p)^{+} \approx R(\eta) - [d_r + (n-1)d_0] \cdot \sin\alpha_p \approx R(\eta) - d_r \cdot \sin\alpha_p - (n-1)d_0 \cdot \sin\alpha_p$$

则

$$t_n = \frac{R(\eta) + R_n(\eta)}{c} = \frac{2R(\eta) - d_r \cdot \sin\alpha_p - (n-1)d_0 \cdot \sin\alpha_p}{c} = \frac{2R(\eta) - d_r \cdot \sin\alpha_p}{c} - (n-1) \cdot \frac{d_0}{c} \cdot \sin\alpha_p = \frac{2R(\eta)}{c} - \frac{d_r \cdot \sin\alpha_p}{c} - (n-1) \cdot \frac{d_0}{c} \cdot \sin\alpha_p = t_p - t_0 - (n-1) \cdot \frac{d_0}{c} \cdot \sin\alpha_p$$

根据经典波束形成理论,加权系数 $w_n(t)$ 为:

$$w_n(t) = \exp\left\{-j2\pi \frac{(n-1)d_0}{\lambda} \sin\alpha(t)\right\} \quad (5)$$

把式(4)代入式(2)并与加权系数相乘,得:

$$y_n(t, \eta) = s_n(t, \eta) \cdot w_n(t) = \gamma \cdot \text{rect}\left[\frac{t-t_n}{T}\right] \cdot \exp\{j\pi K(t-t_n)^2\} \cdot \exp\{-j2\pi f_c t_n\} \cdot \exp\left\{-j2\pi \frac{(n-1)d_0}{\lambda} \sin\alpha(t)\right\} = \gamma_1 \cdot \text{rect}\left[\frac{t-t_n}{T}\right] \cdot \exp\{j\pi K(t-t_n)^2\} \cdot \exp\left\{-j2\pi \frac{(n-1)d_0}{\lambda} \sin\alpha(t)\right\} \cdot \exp\left\{-j2\pi f_c \frac{2R(\eta)}{c} + j2\pi \frac{(n-1)d_0}{\lambda} \sin\alpha_p\right\} = \gamma_1 \cdot \text{rect}\left[\frac{t-t_n}{T}\right] \cdot \exp\{j\pi K(t-t_n)^2\} \cdot \exp\left\{-j2\pi f_c \frac{2R(\eta)}{c}\right\} \cdot \exp\left\{-j2\pi \frac{(n-1)d_0}{\lambda} [\sin\alpha(t) - \sin\alpha_p]\right\}$$

通常 $\alpha(t)$ 较小,因此 $\sin\alpha(t) \approx \alpha(t) \approx \alpha(t_p) + \alpha'(t_p) \cdot (t-t_p)$, 则式(6)可写为:

$$y_n(t, \eta) = s_n(t, \eta) \cdot w_n(t) = \gamma_1 \cdot \text{rect}\left[\frac{t-t_n}{T}\right] \cdot \exp\{j\pi K(t-t_n)^2\} \cdot \exp\left\{-j2\pi f_c \frac{2R(\eta)}{c}\right\} \cdot \exp\left\{-j2\pi \frac{(n-1)d_0}{\lambda} \alpha'(t_p) (t-t_p)\right\}$$

把式(7)变换到距离频域,方位时域,得:

$$Y_n(f_r, \eta) = \int y_n(t, \eta) \cdot \exp\{-j2\pi ft\} dt = \gamma_2 \cdot \text{rect}\left[\frac{f_r}{KT}\right] \cdot \exp\left\{-j\pi \frac{f_r^2}{K}\right\} \cdot \exp\left\{-j2\pi f_c \frac{2R(\eta)}{c}\right\} \cdot \exp\{-j2\pi ft_n\} \cdot \exp\left\{-j2\pi \frac{(n-1)d_0}{\lambda} \alpha'(t_p) \left(\frac{f_r}{K} + t_n - t_p\right)\right\} \quad (8)$$

通过计算 $\frac{f_r}{K}$ 在 10^{-6} 量级,而 $t_n - t_p$ 在 10^{-11} 量级,因此可以忽略,则:

$$Y_n(f_r, \eta) \approx \gamma_2 \cdot \text{rect}\left[\frac{f_r}{KT}\right] \cdot \exp\left\{-j\pi \frac{f_r^2}{K}\right\} \cdot \exp\left\{-j4\pi \frac{R(\eta)}{\lambda}\right\} \cdot \exp\{-j2\pi ft_n\} \cdot \exp\left\{-j2\pi \frac{(n-1)d_0}{\lambda} \alpha'(t_p) \frac{f_r}{K}\right\} = \gamma_3 \cdot \text{rect}\left[\frac{f_r}{KT}\right] \cdot \exp\left\{-j\pi \frac{f_r^2}{K}\right\} \cdot \exp\left\{-j4\pi \frac{R(\eta)}{\lambda}\right\} \cdot \exp\{-j2\pi ft_p\} \cdot \exp\left\{j2\pi f \frac{(n-1)d_0}{c} \sin\alpha(t_p)\right\} \cdot \exp\left\{-j2\pi \frac{(n-1)d_0}{\lambda} \alpha'(t_p) \frac{f_r}{K}\right\} \quad (9)$$

为解决直接加权求和后信号频谱被加权的问题,在求和之前对每个孔径信号分别处理,补偿时域加权引起的损失,由式(9)得对每个孔径在频域的加权函数为:

$$W_n(f) = \exp\left\{-j2\pi f(n-1)d_0 \cdot \left[\frac{\sin\alpha_p}{c} - \frac{\alpha'(t_p)}{\lambda K}\right]\right\} \quad (10)$$

加权求和后得:

$$S(f_r, \eta) = \sum_{n=1}^N Y_n(f_r, \eta) \cdot W_n(f_r) = \gamma_4 \cdot \text{rect}\left[\frac{f_r}{KT}\right] \cdot \exp\left\{-j\pi \frac{f_r^2}{K}\right\} \cdot \exp\left\{-j4\pi \frac{R(\eta)}{\lambda}\right\} \cdot \exp\left\{-j4\pi f_r \frac{R(\eta)}{c}\right\} = \gamma_4 \cdot \text{rect}\left[\frac{f_r}{KT}\right] \cdot \exp\left\{-j\pi \frac{f_r^2}{K}\right\} \cdot \exp\left\{-j4\pi (f + f_r) \frac{R(\eta)}{c}\right\} \quad (11)$$

至此,完成了俯仰向 DBF-SCORE 的处理,只需匹配滤波即可完成距离向的聚焦。

2.2 方位向处理

滑动聚束的工作模型如图 4 所示,通过控制波束在地面的移动速度延长了目标的合成孔径时间,提高了方位向分辨率。同时,波束在地面的移动可以获得更大的方位向测绘带长度。但同时由于波束的扫描,使得回波信号的多普勒带宽相比于条带模式大大增加,通常会大于系统 PRF,从而导致方位向频谱混叠问题^[14-15],为了能够运用传统条带成像算法,需要对回波信号进行预处理。

应用 Deramping 操作,来消除波束旋转所带来的频谱

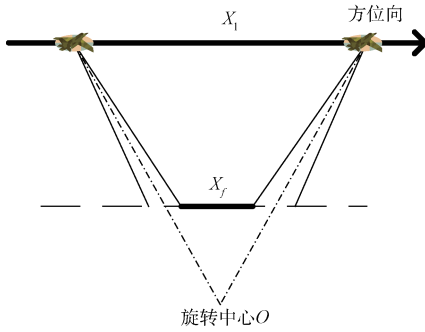


图 4 滑动聚束成像几何示意图

混叠。首先将信号与参考函数相乘，然后做傅里叶变换，最后再补偿一个二次相位^[16]。Deramping 操作后，信号方位标度从 $\Delta\eta$ 变换到 $\Delta\eta'$ ，方位向实现升采样，Deramping 操作可描述为：

$$\bar{S}(f_r, \eta) = H_{22} \cdot \text{FFT} \{ S(f_r, \eta) \cdot H_{21} \} \quad (12)$$

式中： H_{21} 和 H_{22} 能分别通过式(12)、(13)确定：

$$H_{21} = \exp \left\{ j2\pi \frac{V_a^2 (i \cdot \Delta\eta)^2}{\lambda r} \right\}, i = -\frac{1}{2}, \dots, \frac{1}{2} - 1 \quad (13)$$

$$H_{22} = \exp \left\{ j2\pi \frac{V_a^2 (i \cdot \Delta\eta')^2}{\lambda r} \right\}, n = -\frac{P}{2}, \dots, \frac{P}{2} - 1 \quad (14)$$

其中选择参考斜距 \tilde{r} 为平台到旋转中心的最短斜距， I 和 P 分别为原始数据采样点数和输出数据采样点数。输出信号标度满足奈奎斯特采样定律，则 P 由式(15)确定

$$\frac{\lambda \tilde{r}}{2\Delta\eta V_a} = P\Delta\eta' V_a \quad (15)$$

Deramping 操作后整个场景目标被部分聚焦，由于后面采用 RMA 算法聚焦，而该算法只能应用于非聚焦数据，因此需在方位频域补偿一个二次相位，恢复信号的非聚焦属性。补偿相位由式(16)确定

$$H_3 = \exp \left\{ j\pi \frac{f_r^2}{2V_a^2} \right\} \quad (16)$$

2.3 完全聚焦

经过方位向预处理后，信号变换到二维频域为：

$$\begin{aligned} \bar{S}(f_r, f_\eta) &= \int S(f_r, \eta) \cdot \exp \{ -j2\pi f_\eta \eta \} d\eta = \\ &\gamma_4 \cdot \text{rect} \left[\frac{f_r}{KT} \right] \cdot \exp \left\{ -j\pi \frac{f_r^2}{K} \right\} \cdot \\ &\int \exp \left\{ -j4\pi (f + f_r) \frac{R(\eta)}{c} \right\} \cdot \exp \{ -j2\pi f_\eta \eta \} d\eta = \\ &\gamma_4 \cdot \text{rect} \left[\frac{f_r}{KT} \right] \cdot \exp \left\{ -j\pi \frac{f_r^2}{K} \right\} \cdot \exp \left\{ -j2\pi \frac{x_0}{V_a} f_\eta \right\} \cdot \\ &\exp \left\{ -j \frac{4\pi R_0}{c} \sqrt{(f_c + f_r)^2 - \frac{c^2 f_\eta^2}{4V_a^2}} \right\} \end{aligned} \quad (17)$$

RMA 算法的关键是参考函数相乘和 Stolt 插值，参考函数以测绘带中心为参考来计算，它补偿该距离处包括距离向频率调制、距离徙动、距离方位耦合和方位向频率调制

内的各种相位。参考函数的表达式为：

$$H_{\text{RFM}} = \exp \left\{ j\pi \frac{f_r^2}{K} \right\} \cdot$$

$$\exp \left\{ -j \frac{4\pi R_{\text{ref}}}{c} \sqrt{(f_c + f_r)^2 - \frac{c^2 f_\eta^2}{4V_a^2}} \right\} \quad (18)$$

式(17)与参考函数式(18)相乘后得到的二维频谱残余相位为：

$$\begin{aligned} \theta_{\text{res}}(f_r, f_\eta) &= -j \frac{4\pi(R_0 - R_{\text{ref}})}{c} \sqrt{(f_c + f_r)^2 - \frac{c^2 f_\eta^2}{4V_a^2}} - \\ &2\pi \frac{x_0}{V_a} f_\eta \end{aligned} \quad (19)$$

可见参考距离处的目标将得到完全聚焦，而非参考点处的目标仅得到了部分聚焦，存在残余相位。对其它目标的聚焦可以通过 Stolt 映射来完成，其实质是对距离频率的变量替换：

$$\sqrt{(f_c + f_r)^2 - \frac{c^2 f_\eta^2}{4V_a^2}} = f_c + f'_r \quad (20)$$

映射后的相位变为：

$$\theta_{\text{stolt}}(f'_r, f_\eta) = -j \frac{4\pi(R_0 - R_{\text{ref}})}{c} (f_c + f'_r) - 2\pi$$

$$\frac{x_0}{V_a} f_\eta \quad (21)$$

这一映射改变了二维频域中的数据相位，由于它同时调整了方位相位和距离相位，所以该操作消除了二维频谱残余相位中二阶以上的残余相位调制，进而完成了残余 RCMC、残余 SRC 和残余方位压缩。上式中的线性相位项确定了点目标的位置，二维傅里叶逆变换后便能得到最终的雷达图像。

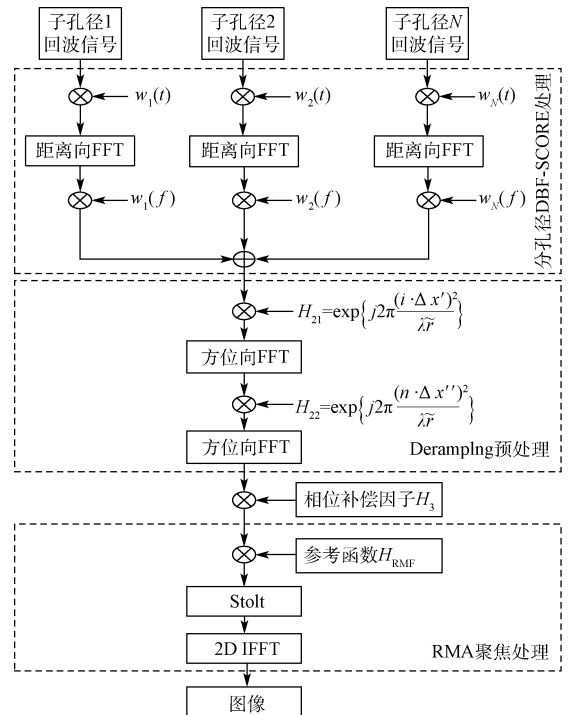


图 5 成像算法处理框图

3 仿真结果及分析

为了验证算法的有效性,本节设计了如图 6 所示的成像场景,计算机仿真参数如表 1 所示,仿真结果如图 7 所示。

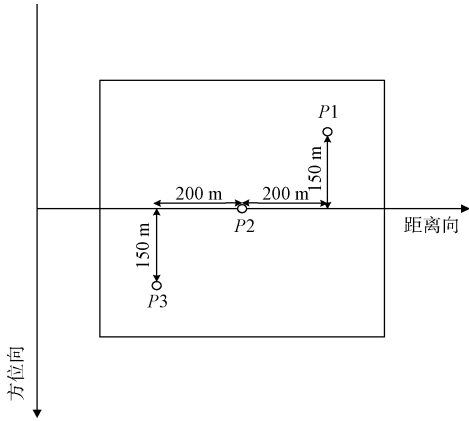
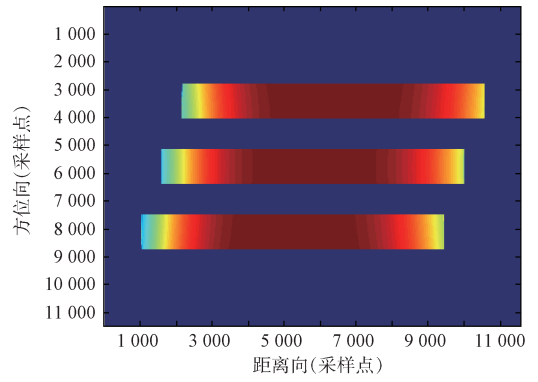


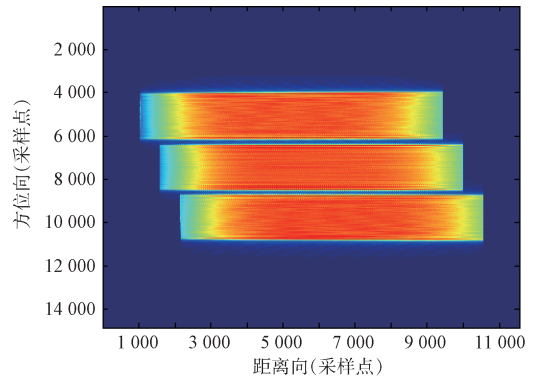
图 6 成像场景

表 1 仿真参数

参数名称	数值	参数名称	数值
载频/GHz	35.75	脉冲宽度/ μs	5
飞行速度/ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	100	信号带宽/ MHz	700
飞行高度/km	3	PRF/Hz	1000
视角范围/ $(^\circ)$	60~62.8	方位分辨率/ m	≤ 0.3
方位扫描角/ $(^\circ)$	± 3	场景覆盖 范围/m	500×500
发射天线尺寸	1 m(A)× 0.15 m(R)	接收天线 尺寸	1 m(A)× 0.075 m(R)×8



(b) DBF处理后回波幅度谱

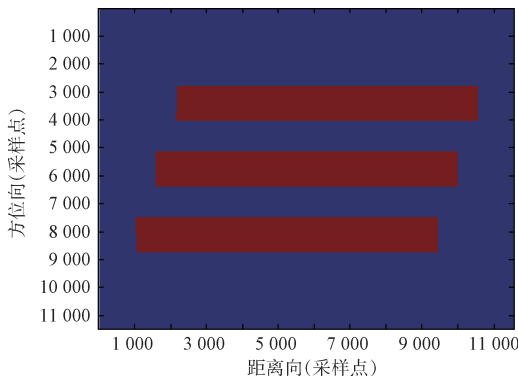


(c) 方位预处理后的幅度谱

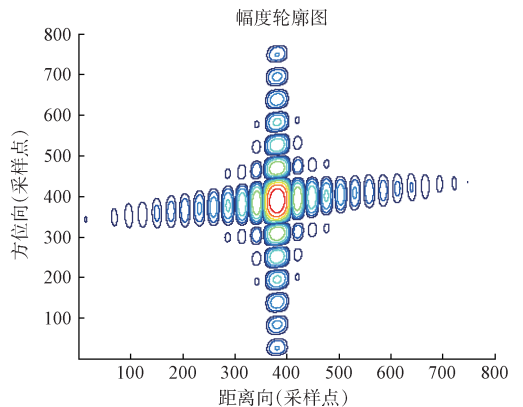
图 7 回波仿真结果

对图 6 所示场景的 3 个点目标进行仿真,图 7(a)是单个子孔径天线收到的回波信号幅度谱;图 7(b)是经过第一步 DBF-SCORE 实时加权处理后的回波信号幅度;图 7(c)是经过第二步方位向 Deramping 预处理后的回波信号。

经过图 5 中第三步的聚焦处理,点目标成像结果如图 8(b)所示。图 8(c)、(e)、(a)分别为点目标 P1、P2、P3 升采样后的示意图。为评估算法的聚焦性能,对聚焦后的点目标进行了分析,点目标聚焦性能评估结果在表 2 中列出,由此可知所有的点目标都能被很好的聚焦。



(a) 子孔径回波幅度谱



(a) P1

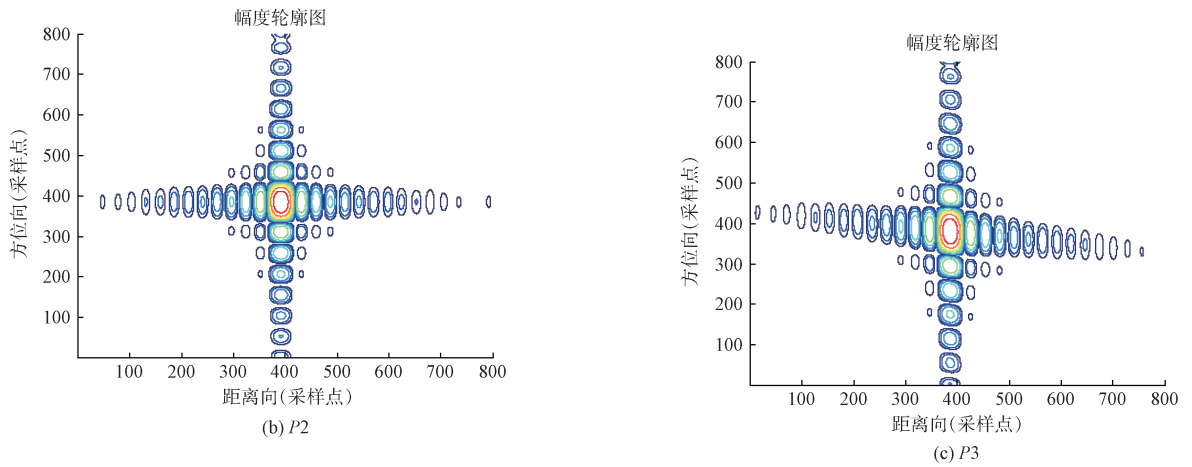


图 8 点目标分析

表 2 点目标聚焦性能评估结果

	距离向			方位向		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3
分辨率/m	0.21	0.21	0.20	0.19	0.19	0.18
PSLR/dB	-13.095	-13.086	-13.015	-13.267	-13.264	-13.259
ISLR/dB	-10.149	-11.328	-11.977	-10.435	-10.622	-10.726

4 结 论

Ka 频段 SAR 以其频段高、波长短、成像结果类光学的特点使其具有良好的发展前景,但毫米波系统损耗较大,为了使系统信噪比满足应用需求,需要极高的峰值发射功率,工程实现难度非常大。而 DBF-SCORE 技术可以在避免峰值发射功率过大的前提下提供足够的系统增益,能够极大的降低系统工程实现难度。结合距离向 DBF-SCORE 技术和方位向滑动聚束模式的 KaSAR 系统,在获得宽测绘带内高质量图像方面极具潜力。针对上述工作模式本文提出了一套基于 DBF-SCORE 的 Ka 滑动聚束 SAR 成像处理流程。最后,通过仿真实验验证了处理算法的有效性。

参考文献

- [1] 傅翀,雷斌,韩冰,等. 基于切比雪夫多项式的 HRWS 星载 SAR 成像算法[J]. 国外电子测量技术, 2015, 34(8):40-46.
- [2] 史洪印,赵欣悦. 基于 CS 的 SAR 旋转微动目标检测方法研究[J]. 仪器仪表学报, 2015, 36(6): 1342-1349.
- [3] 邓云凯,赵凤军,王宇. 星载 SAR 技术的发展趋势及应用浅析[J]. 雷达学报, 2012, 1(1):1-9.
- [4] 宋晓琳 张三林 张伟伟. 应用匹配滤波器的车道线恒虚警率识别方法[J]. 电子测量与仪器学报, 2015,

29(3):328-336.

- [5] 王辉,赵凤军,邓云凯. 毫米波合成孔径雷达的发展及其应用[J]. 红外与毫米波学报, 2015, 34(4): 452-459.
- [6] 邢涛,胡庆荣,李军,等. 毫米波高分辨 SAR 成像算法性能分析[J]. 现代防御技术, 2015, 43(1).
- [7] 罗绣莲,徐伟,郭磊. 捷变 PRF 技术在斜视聚束 SAR 中的应用[J]. 雷达学报, 2015, 4(1): 70-77.
- [8] 邓海涛,董友彤,王金峰. 星载聚束 SAR 系统顶层参数优化设计[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2015, 13(1):40-45.
- [9] 蒋为,李敏慧. 星载 SAR 滑动聚束模式研究[J]. 现代雷达, 2011, 33(3):17-19.
- [10] 韩冰,张永军,胡东辉,等. 星载滑动聚束 SAR 成像模型误差校正方法研究[J]. 电子与信息学报, 2011, 33(7):1694-1699.
- [11] GEBERT N, KRIEGER G, MOREIRA A. Digital beamforming on receive: techniques and optimization strategies for high-resolution wide-swath SAR imaging [J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2009, 45(2): 564-592.
- [12] WANG M, YU W, WANG R. Range DBF SAR imaging based on compressed sensing [C]. Proceedings of 10th European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR 2014), VDE, 2014:1-4.

- [13] 冯帆,李世强,禹卫东. 一种改进的星载 SAR 俯仰向 DBF 处理技术[J]. 电子与信息学报, 2011, 33(6):1465-1470.
- [14] DING Z G, LIU F F, ZENG T. Study on two-step imaging based on azimuthal dechirp in space-borne sliding spotlight SAR[J]. Acta Armamentarii, 2012.
- [15] 丁泽刚,刘飞峰,曾涛. 基于方位向去斜的星载滑动聚束两步成像处理算法研究[J]. 兵工学报, 2012, 33(1):95-102.
- [16] LUO X, DENG Y, WANG R, et al. Image formation processing for sliding spotlight sar with stepped frequency chirps[J]. IEEE Geoscience & Remote Sensing Letters, 2014, 11(10):1692-1696.

作者简介

王帅起,1988 年出生,中国科学院电子学研究所研究生,主要研究方向为星载 SAR 系统与信号处理。

E-mail: zzu_wsq@163.com

王辉,1972 年出生,2009 年获哈尔滨工业大学博士学位,现工作于中国科学院电子学研究所,副研究员,硕士生导师,长期从事毫米波合成孔径雷达信号处理技术研究。

E-mail: wanghui@mail.ie.ac.cn

禹卫东,1969 年出生,1997 年获南京航空航天大学博士学位,现工作于中国科学院电子学研究所,研究员,博士生导师,长期从事合成孔径雷达信号处理技术研究。

E-mail: ywd@mail.ie.ac.cn

NI 展示了全新的 mmWave 802.11ad 无线测试技术

全新的 NI WiGig 测试解决方案有助于推动数千兆位低延迟无线芯片组的开发

新闻发布—2016 年 10 月 25 日—NI(美国国家仪器公司, National Instruments, 简称 NI) 作为致力于为工程师和科学家提供解决方案来应对全球最严峻的工程挑战的供应商,近日推出全新的 802.11ad 或者 WiGig 测试解决方案的技术预览,该解决方案专门针对毫米波测试这一新兴领域开发了诸多新功能。

全新的 802.11ad 测试解决方案是基于 NI 宽带毫米波收发仪技术开发的,这一技术正被汽车和无线基础设施领域的顶尖研究人员用于先进雷达和 5G 系统的原型验证。该解决方案由一个矢量信号发生器和矢量信号分析仪组成,工作频率范围为 55~68 GHz,具有超过 2 GHz 的瞬时带宽。新的 802.11ad 测试技术进一步完善了 NI 无线测试产品系列,现已有 802.11a/b/h/j/n/p/ac/ax、蓝牙、GSM、UMTS、LTE/LTE-A、FM/RDS、GNSS 等的测试解决方案。

NI 的毫米波收发仪技术引入了一种新的 802.11ad 测试方法,为客户提供了另一种选择来替代运行缓慢、价格昂贵且低性能的仪器。为了进一步完善该技术,NI 正在与领先的半导体供应商合作,作为领先用户计划的一部分。

802.11ad 测试解决方案是 NI 平台和生态系统的重要组成部分,可帮助工程师构建更智能的测试系统。这些测试系统将受益于从直流到毫米波等不同工作频率范围的 600 多个 PXI 产品。它们采用 PCI Express 第三代总线接口,具有高吞吐量数据移动,同时具有亚纳秒级同步以及集成的定时和触发。LabVIEW 和 TestStand 软件环境的高效性以及交互式软件前面板的现成即用体验可帮助工程师进行基本的测量和调试。NI 平台通过一个由合作伙伴、附加 IP 和应用工程师组成的生态系统的支持,可帮助工程师大幅降低测试成本,缩短上市时间以及确保测试装置能够适应未来需求,解决未来挑战。