

三孔径天线 DPCA 实现星载 SAR 动目标检测的方法

孙 娜, 周荫清, 李景文

(北京航空航天大学电子信息工程学院, 北京 100083)

摘要: 地杂波抑制是实现星载合成孔径雷达地面运动目标检测的一个关键问题。本文给出了对 DPCA 条件下的三孔径天线回波数据, 利用类似动目标显示(MTI)雷达中三脉冲对消滤波器的原理来抑制地杂波, 从而实现星载合成孔径雷达(SAR)动目标检测的方法。首先介绍了三脉冲对消器的原理及其频率响应特性, 然后在建立星载 SAR 沿航迹向三孔径天线空间几何模型和机理分析的基础上, 推导了对三孔径天线回波用三脉冲对消实现被地面背景杂波淹没的运动目标的检测方法。最后, 用计算机仿真结果验证了其有效性。

关键词: 星载合成孔径雷达; GMTI; 杂波对消

中图分类号: TN957 文献标识码: A 文章编号: 1672-2337(2004)03-0147-06

An Algorithm of Spaceborne SAR Moving Target Detection Based on Three-Antenna DPCA

SUN Na, ZHOU Yin-qing, LI Jing-wen

(School of Electronics and Information Engineering, BUAA, Beijing 100083, China)

Abstract: Clutter suppression is a key problem for spaceborne SAR moving target detection. An algorithm of spaceborne SAR moving target detection based on three-pulse canceller under DPCA(Displaced Phase Center Antenna) condition is presented. Firstly, the principle and frequency response property of three-pulse canceller in MTI radar are introduced, then on the basis of spatial geometric model of three-antenna for linear along-track arrangement spaceborne SAR and its principle analysis, a spaceborne SAR/GMTI algorithm is analyzed and derived based on three-pulse canceller. This algorithm can make the detection of moving targets masked by ground clutter. Finally, computer simulation results validate its effectiveness.

Key words: spaceborne synthetic aperture radar; ground moving target indication; clutter cancellation

1 引言

星载合成孔径雷达飞行高度高、速度快、作用距离远、覆盖范围广, 而且不受政治、地理因素的限制, 在军事侦察、灾害监测、地形测绘、海洋研究、资源勘探等军事、民用及科研领域得到广泛应用^[1]。随着现代军事的日益发展, 人们希望能够检测地面运动目标并在静止图像上标注出来。因此, 动目标检测与成像的研究对于目标监视与攻

击、作战部署、打击效果评估等尤为重要。星载 SAR/GMTI 能够从高空实现广域监视, 对世界热点地区的军事活动进行侦察, 及时发现高价值军事目标, 十分利于指挥者掌握战场态势并作出正确的军事决策。1971 年, 美国的 R. Keith Raney 首先开始研究 SAR 动目标检测与成像^[2]。美国的联合监视目标攻击雷达系统(JSTARS)^[3]在 1991 年海湾战争中战绩卓越, 可以提供全天候大区域战场监视和动目标检测, 在高分辨率雷达图像上能同时显示地面静止目标和场景中的低速运动目

标。JSTARS 采用三孔径杂波抑制干涉(Clutter Suppression Interferometry, CSI)对消杂波并定位动目标^[3,4]。在星载 SAR/GMTI 研究方面,美国于 1998 年年底启动的 Discoverer II 计划^[5]以及加拿大的 Radarsat 2 卫星^[6]都具有 GMTI 功能,但无从知道其具体实现。地杂波的抑制是星载 SAR/GMTI 中的关键问题。偏置相位中心天线(DPCA)技术可用于星载 SAR/GMTI 中地杂波的抑制^[7]。

本文给出了对满足 DPCA 条件下的星载 SAR 三孔径天线回波数据,采用类似动目标显示(MTI)雷达中三脉冲对消滤波器的原理来进行地杂波对消,从而实现动目标检测的方法。文中首先介绍 MTI 三脉冲对消器的原理及其频率响应特性,然后在建立星载 SAR 沿航迹向三孔径天线空间几何模型和机理分析的基础上,推导了对三孔径天线回波用三脉冲对消实现被地面背景杂波淹没的运动目标的检测方法。

2 三脉冲对消器及其频率响应特性

动目标显示(MTI)基于运动目标的多普勒效应,采用脉冲对消器来对消地杂波,而保留运动目标回波。图 1 给出了由两个双脉冲对消器级联而成的三脉冲对消器^[8]的结构,其频率响应特性为

$$H(\omega) = -4 \sin^2\left(\frac{\omega T}{2}\right) \cdot \exp(j\omega T)$$

而功率增益为 $|H(\omega)|^2 = 16 \sin^4\left(\frac{\omega T}{2}\right)$

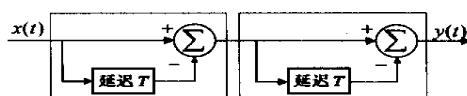


图 1 三脉冲对消器的结构

3 星载 SAR 三孔径天线的信号模型与机理

星载 SAR 三孔径天线的空间几何关系如图 2 所示。其中, S_1, S_2, S_3 为卫星雷达传感器上沿航迹向线性排列的双孔径天线, 天线孔径为 D , 间隔为 L ; θ_L 为天线视角, 指波束中心与卫星星下点之

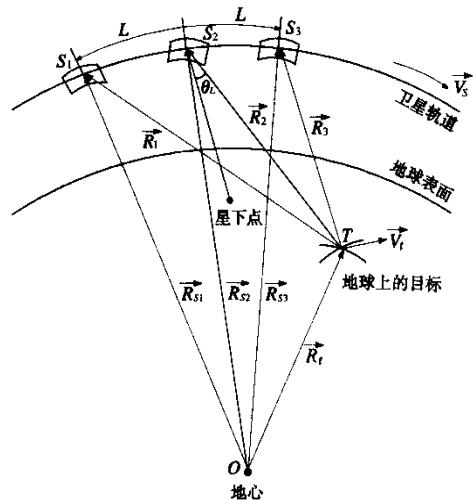


图 2 星载 SAR 三孔径天线的空间几何关系

间的夹角;设 $\vec{R}_s, \vec{V}_s, \vec{A}_s$ 分别为卫星雷达传感器的位置、速度和加速度矢量, $\vec{R}_t, \vec{V}_t, \vec{A}_t$ 分别为地面点目标的位置、速度和加速度矢量;天线 S_2 发射脉冲宽度为 T_p 、调频率为 b 的线性调频信号, 天线 S_1, S_2, S_3 同时接收回波信号;假设 \vec{R}_2 为天线 2 波束中心照射地面点目标时的斜距距离, 设此时刻为 $t = 0$, 发射天线到目标 T 的初始距离为 R_0 ; \vec{R}_1, \vec{R}_3 分别为 $t = 0$ 时刻接收天线 1 和天线 3 到目标点的斜距距离; $\vec{R}_t(t)$ 表示地面点目标的位置;设 t 时刻目标 T 到三个天线的距离矢量分别为 $\vec{R}_{s1t}(t), \vec{R}_{s2t}(t)$ 和 $\vec{R}_{s3t}(t)$, 则

$$\begin{aligned} \vec{R}_{s1t}(t) &= \vec{R}_{s1}(t) - \vec{R}_t(t) \\ \vec{R}_{s2t}(t) &= \vec{R}_{s2}(t) - \vec{R}_t(t) \\ \vec{R}_{s3t}(t) &= \vec{R}_{s3}(t) - \vec{R}_t(t) \end{aligned} \quad (1)$$

卫星到地面目标的相对速度矢量和加速度矢量分别为 \vec{V}_{st} 和 \vec{A}_{st} 。

在合成孔径时间这一较短的时间内, t 时刻目标与雷达接收天线之间的相对运动可表示为^[9]

$$\vec{R}(t) = \vec{R} + \vec{V}_t + \frac{1}{2} \vec{A}_t t^2 \quad (2)$$

其中, $\vec{R}, \vec{V}, \vec{A}$ 分别为 $t = 0$ 时刻雷达与地面目标点之间的相对距离矢量、速度矢量和加速度矢量。

$$\text{即 } \vec{R}_1(t) = \vec{R}_1 + \vec{V}_{st} t + \frac{1}{2} \vec{A}_{st} t^2$$

$$\vec{R}_2(t) = \vec{R}_2 + \vec{V}_{st} t + \frac{1}{2} \vec{A}_{st} t^2$$

$$\vec{R}_3(t) = \vec{R}_3 + \vec{V}_{st} t + \frac{1}{2} \vec{A}_{st} t^2 \quad (3)$$

其中, $\vec{R}_2 = \vec{R}_1 + \overrightarrow{S_2 S_1}$, $\vec{R}_3 = \vec{R}_2 + \overrightarrow{S_3 S_2}$, $\overrightarrow{S_2 S_1}$ 和 $\overrightarrow{S_3 S_2}$ 为两天线相位中心间隔矢量。在 $t = 0$ 处进行泰勒级数展开, 得:

$$\left\{ \begin{aligned} |\vec{R}_1(t)| &= \left| \vec{R}_1 + \vec{V}_n t + \frac{1}{2} \vec{A}_n t^2 \right| \\ &\approx |\vec{R}_1| + \frac{\vec{R}_1 \cdot \vec{V}_n}{|\vec{R}_1|} t \\ &\quad + \frac{1}{2} \left[\frac{\vec{V}_n \cdot \vec{V}_n}{|\vec{R}_1|} + \frac{\vec{R}_1 \cdot \vec{A}_n}{|\vec{R}_1|} - \frac{(\vec{R}_1 \cdot \vec{V}_n)^2}{|\vec{R}_1|^3} \right] t^2 \\ |\vec{R}_2(t)| &= \left| \vec{R}_2 + \vec{V}_n t + \frac{1}{2} \vec{A}_n t^2 \right| \\ &\approx |\vec{R}_2| + \frac{\vec{R}_2 \cdot \vec{V}_n}{|\vec{R}_2|} t \\ &\quad + \frac{1}{2} \left[\frac{\vec{V}_n \cdot \vec{V}_n}{|\vec{R}_2|} + \frac{\vec{R}_2 \cdot \vec{A}_n}{|\vec{R}_2|} - \frac{(\vec{R}_2 \cdot \vec{V}_n)^2}{|\vec{R}_2|^3} \right] t^2 \\ |\vec{R}_3(t)| &= \left| \vec{R}_3 + \vec{V}_n t + \frac{1}{2} \vec{A}_n t^2 \right| \\ &\approx |\vec{R}_3| + \frac{\vec{R}_3 \cdot \vec{V}_n}{|\vec{R}_3|} t \\ &\quad + \frac{1}{2} \left[\frac{\vec{V}_n \cdot \vec{V}_n}{|\vec{R}_3|} + \frac{\vec{R}_3 \cdot \vec{A}_n}{|\vec{R}_3|} - \frac{(\vec{R}_3 \cdot \vec{V}_n)^2}{|\vec{R}_3|^3} \right] t^2 \end{aligned} \right. \quad (4)$$

经推导, 得瞬时频率为

$$\left\{ \begin{aligned} f_1(t) &= -(f_{d_1} + f_{r_1} \cdot t) \\ f_2(t) &= -(f_{d_2} + f_{r_2} \cdot t) \\ f_3(t) &= -(f_{d_3} + f_{r_3} \cdot t) \end{aligned} \right. \quad (5)$$

这说明回波信号在方位向频率具有线性调频特性。由接收天线存在方位位置偏差 L 引起的多普勒中心频率偏差 Δf_d 和距离差为

$$\begin{aligned} \Delta f_d &= f_{d_2} - f_{d_1} = f_{d_3} - f_{d_2} \approx \frac{\vec{V}_n}{\lambda R} (\vec{R}_2 - \vec{R}_1) \\ &= \frac{\vec{V}_n}{\lambda R} \cdot \overrightarrow{S_1 S_2} = -\frac{V \cdot L}{\lambda R} \end{aligned}$$

$$\Delta R_{12} = |\vec{R}_1| - |\vec{R}_2| \approx L \cdot \frac{X_0 - \frac{L}{2}}{R}$$

$$\Delta R_{32} = |\vec{R}_3| - |\vec{R}_2| \approx L \cdot \frac{X_0 + \frac{L}{2}}{R}$$

其中, R 为不同距离上 $t = 0$ 方位波束中心照射时的斜距, X_0 为地面点目标方位向的位置。于是, 距离脉压后, 收发分置三孔径天线接收信号在方位向的表达式为

$$\left\{ \begin{aligned} S_1(t) &= G \cdot \exp \left\{ -j2\pi \cdot \frac{L^2 - 2X_0 L}{2\lambda R} \right\} \\ &\quad \cdot \exp \left\{ -j2\pi \left[f_{d_1} \cdot t + \frac{1}{2} f_{r_1} \cdot t^2 \right] \right\} \\ &\quad \cdot \exp \left\{ -j2\pi \frac{VL}{\lambda R} \cdot t \right\} \\ S_2(t) &= G \cdot \exp \left\{ -j2\pi \left[f_{d_2} \cdot t + \frac{1}{2} f_{r_2} \cdot t^2 \right] \right\} \quad (6) \\ S_3(t) &= G \cdot \exp \left\{ -j2\pi \cdot \frac{L^2 + 2X_0 L}{2\lambda R} \right\} \\ &\quad \cdot \exp \left\{ -j2\pi \left[f_{d_3} \cdot t + \frac{1}{2} f_{r_3} \cdot t^2 \right] \right\} \\ &\quad \cdot \exp \left\{ j2\pi \frac{VL}{\lambda R} \cdot t \right\} \end{aligned} \right.$$

4 实现方法

由于 $f_{r_1} \approx f_{r_2} \approx f_{r_3} = \frac{2[(V - V_x)^2 + V_y^2]}{\lambda R}$, $f_{d_2} = \frac{2V_y}{\lambda}$, 当满足 DPCA 条件时, $\Delta t = \frac{L}{2V}$, 于是有:

$$\left\{ \begin{aligned} S_1(t - \Delta t) &= G \cdot \exp \left\{ -j2\pi \left[f_{d_1} \cdot t + \frac{1}{2} f_{r_1} \cdot t^2 \right] \right\} \\ &\quad \cdot \exp \left\{ \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{L}{V} \cdot V_y \right\} \\ S_2(t) &= G \cdot \exp \left\{ -j2\pi \left[f_{d_2} \cdot t + \frac{1}{2} f_{r_2} \cdot t^2 \right] \right\} \quad (7) \\ S_3(t + \Delta t) &= G \cdot \exp \left\{ -j2\pi \left[f_{d_3} \cdot t + \frac{1}{2} f_{r_3} \cdot t^2 \right] \right\} \\ &\quad \cdot \exp \left\{ -\frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{L}{V} \cdot V_y \right\} \end{aligned} \right.$$

其中, V_y 表示运动目标的径向速度, V 表示等效星速。 $V_y = 0$ 时, 这相当于地面静止目标的回波。

处理时, 要对前后两孔径天线的回波信号补偿由天线间隔引起的固定相位, 同时补偿由载机运动产生的线性调频项, 即构造参考函数:

$$\left\{ \begin{aligned} C_1(t) &= \exp \left\{ j \frac{\pi L^2}{\lambda R} \right\} \exp \left\{ j \pi \frac{2V^2}{\lambda R} \cdot t^2 \right\} \\ C_2(t) &= \exp \left\{ j \pi \frac{2V^2}{\lambda R} \cdot t^2 \right\} \\ C_3(t) &= \exp \left\{ j \frac{\pi L^2}{\lambda R} \right\} \exp \left\{ j \pi \frac{2V^2}{\lambda R} \cdot t^2 \right\} \quad (8) \end{aligned} \right.$$

忽略系统噪声, 将三天线回波信号与参考函数相乘后, 经傅里叶变换得到频域图像:

$$\left\{ \begin{array}{l} S_1(f) = \sum_{n=0}^{N-1} S_1(t - \Delta t) \cdot C_1(t) \exp(-j2\pi ft) \\ = G \cdot \exp\left(j\frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{L}{V} \cdot V_y\right) S(f) \\ S_2(f) = \sum_{n=0}^{N-1} S_2(t) \cdot C_2(t) \exp(-j2\pi ft) \\ = G \cdot S(f) \\ S_3(f) = \sum_{n=0}^{N-1} S_3(t + \Delta t) \cdot C_3(t) \exp(-j2\pi ft) \\ = G \cdot \exp\left(-j\frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{L}{V} \cdot V_y\right) S(f) \end{array} \right. \quad (9)$$

其中, $S(f) = \sum_{n=0}^{N-1} \exp\{-j2\pi \cdot f_{d_2} \cdot nT\} \cdot \exp\{-j\varphi(n)\} \cdot \exp\{-j2\pi fnT\}$ (10)

$$\varphi(n) = \pi \cdot \left[f_{r_i} - \frac{2V^2}{\lambda R_0} \right] (nT)^2$$

当检测被主瓣杂波掩盖的运动目标时, 满足 $V \gg V_x, V \gg V_y$ 条件, 故式(10)近似为

$$\begin{aligned} S(f) &= \sum_{n=0}^{N-1} \exp\{-j2\pi f_{d_2}(nT)\} \exp\{-j2\pi fnT\} \\ &= -\exp\left\{j2\pi\left(\frac{N-1}{2}\right)\beta\right\} \frac{\sin(N\pi\beta)}{\sin(\pi\beta)} \end{aligned} \quad (11)$$

其中, $\beta = (-f_{d_2} - f) \cdot T$, 当 $f = -f_{d_2}$ 时, $|S(f)|_{\max}^2 = N^2$ 。

对前中孔径和中后孔径图像分别进行杂波抑制处理, 得到:

$$\left\{ \begin{array}{l} S_{12}(f) = S_1(f) - S_2(f) \\ = G \cdot 2j\sin\left(\frac{\pi}{\lambda} \cdot \frac{L}{V_a} \cdot V_y\right) \\ \cdot \exp\left\{j\frac{\pi}{\lambda} \cdot \frac{L}{V_a} \cdot V_y\right\} S(f) \\ S_{23}(f) = S_2(f) - S_3(f) \\ = G \cdot 2j\sin\left(\frac{\pi}{\lambda} \cdot \frac{L}{V_a} \cdot V_y\right) \\ \cdot \exp\left\{-j\frac{\pi}{\lambda} \cdot \frac{L}{V_a} \cdot V_y\right\} S(f) \end{array} \right. \quad (12)$$

因此, 两孔径天线 DPCA 的对消特性为

$$\begin{aligned} |S_{12}(f)|^2 &= |S_{23}(f)|^2 \\ &= 4\sin^2\left(\frac{\pi}{\lambda} \cdot \frac{L}{V_a} \cdot V_y\right) G^2 N^2 \end{aligned} \quad (13)$$

同样, 利用三脉冲对消器的原理, 对前、中、后孔径

的三幅图像进行杂波抑制处理, 得到:

$$\begin{aligned} S_{12}(f) - S_{23}(f) &= S_1(f) - 2S_2(f) + S_3(f) \\ &= -4\sin^2\left(\frac{\pi}{\lambda} \cdot \frac{L}{V} \cdot V_y\right) S(f) \end{aligned} \quad (14)$$

于是, 三孔径天线 DPCA 的对消特性为

$$\begin{aligned} |S_{12}(f) - S_{23}(f)|^2 &= 16\sin^4\left(\frac{\pi}{\lambda} \cdot \frac{L}{V} \cdot V_y\right) \\ &\cdot G^2 N^2 \end{aligned} \quad (15)$$

由此可见, 动目标回波的强度随目标径向速度按正弦规律对消, 而静止目标因径向速度 $V_y = 0$ 而被完全对消。比较式(13)和式(15)可以看出, 三孔径天线 DPCA 的对消特性优于两孔径天线。

图 3 给出了用三孔径天线 DPCA 技术实现星载合成孔径雷达动目标检测的框图。

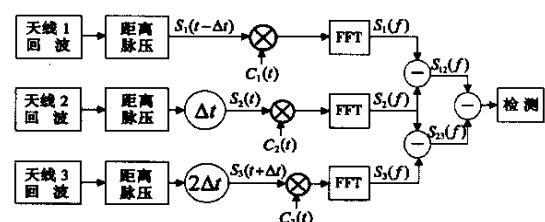
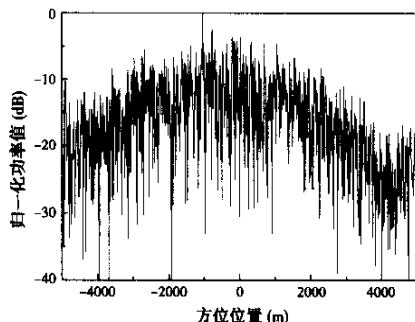


图 3 三孔径天线 DPCA 的星载 SAR/GMTI 的实现框图

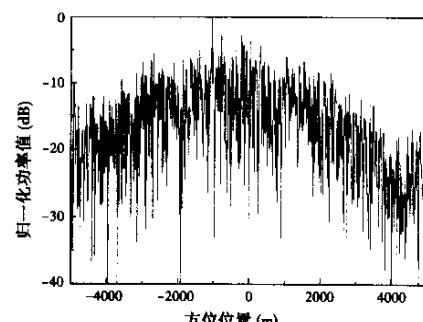
若三孔径天线 DPCA 对消后信号能量(式(15))超过预定的检测门限, 则认为有运动目标存在。我们即以此进行动目标检测。

5 计算机仿真

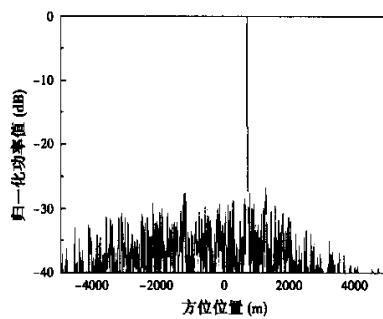
实验中进行了计算机仿真。仿真中假设地面静止目标(地杂波)的频谱近似为高斯形状, 幅度服从瑞利分布。有一个运动目标置于场景中心, 地面速度 $V_{y-ground} = 6.0 \text{ m/s}$ 。动目标的雷达截面积 σ_T 为 20 m^2 。图 4(a)、图 4(b) 和图 4(c) 分别为前孔径第四驻留杂波对消前、两孔径对消后和三孔径对消后动目标所在距离线的图像。图 5(a)、图 5(b) 和图 5(c) 分别为在较低信杂比情况下对应的动目标所在距离线的图像。由图可见, 三孔径杂波对消的对消程度优于两孔径对消情况, 在较低信杂比下能够可靠地检测运动目标。



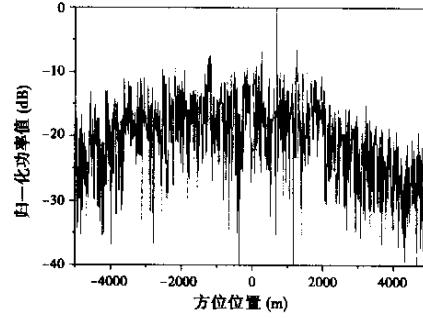
(a) 杂波对消前



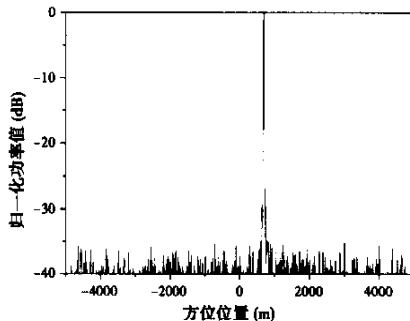
(a) 杂波对消前



(b) 两孔径杂波对消后

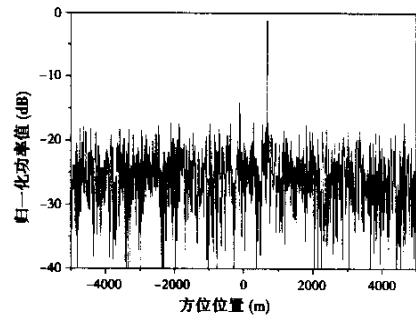


(b) 两孔径杂波对消后



(c) 三孔径杂波对消后

图 4 一般信杂比下仿真获得的图像



(c) 三孔径杂波对消后

图 5 在较低信杂比下仿真获得的图像

6 结论

本文给出了对满足 DPCA 条件下的星载 SAR 三孔径天线回波数据,采用类似动目标显示(MTI)雷达中三脉冲对消滤波器的原理来进行地杂波对消,从而实现动目标检测的方法。首先介绍了 MTI 三脉冲对消器的原理及其频率响应特性,然后在建立星载 SAR 沿航迹向三孔径天线空间几何模型和机理分析的基础上,推导了对三孔径天线回波用三脉冲对消实现被地面背景杂波淹

没的运动目标的检测方法。进行了计算机仿真,仿真结果表明,该方法对地杂波的对消程度优于两孔径对消,在较低信杂比下能够可靠地检测运动目标。

参考文献:

- [1] John C Curlander, Robert N McDonough. Synthetic Aperture Radar Systems and Signal Processing [M]. New York:John Wiley & Sons, 1991.
- [2] R Keith Raney. Synthetic Aperture Imaging Radar and Moving Targets [J]. IEEE Trans on Aerospace and

- Electronic Systems, 1971, 7(3):499-505.
- [3] E F Stockburger, D N Held. Interferometric Moving Ground Target Imaging[C]. IEEE International Radar Conference, 1995. 438-443.
- [4] 李景文. 合成孔径雷达动目标检测与成像[D]. 北京航空航天大学博士学位论文, 1999.
- [5] David A Whelan. Discoverer II Program Summary [C]. The Record of the IEEE 2000 International Radar Conference, 2000. 7-8.
- [6] Tim J Nohara, Peter Weber, et al. SAR-GMTI Processing with Canada's Radarsat 2 Satellite[C]. Adaptive Systems for Signal Processing, Communications, and Control Symposium, 2000. 379-384.
- [7] T J Nohara. Design of a Space-Based Radar Signal Processor[J]. IEEE Trans on Aerospace and Electronic Systems, 1998, 34(2): 366-377.
- [8] Bassem R Mahafza. Radar Systems Analysis and Design Using MATLAB [M]. Huntsville, Alabama: Chapman & Hall/Crc, 2000.
- [9] Chialin WU, K Y Liu and Michael Jin. Modeling and a Correlation Algorithm for Spaceborne SAR Signals [J]. IEEE Trans on Aerospace and Electronic Systems, 1982, 18(5): 563-574.
- [10] 孙娜, 周荫清, 李景文. 一种新的双孔径天线干涉 SAR 动目标检测方法. 电子学报, 2003, 31(12): 1820-1823.

作者简介:



孙 娜 女, 1975 年 10 月生于山东省烟台市, 北京航空航天大学通信与信息系统专业博士研究生, 主要研究方向为 SAR 动目标检测与成像、数字信号处理和高分辨率 SAR 成像。

周荫清 男, 1936 年 4 月生于湖南省湘潭市, 北京航空航天大学电子信息工程学院教授、博士生导师, 中国电子学会会士, 主要从事通信与信息系统、信息获取与处理、高分辨率成像雷达和时变谱估计等方面的科研工作。

李景文 男, 1964 年生于黑龙江省齐齐哈尔市, 北京航空航天大学电子信息工程学院教授、博士, 中国电子学会高级会员, 主要从事动目标检测与成像处理、信号与信息处理、高分辨率 SAR 成像、杂波谱估计等方面的研究工作。

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训:

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com)，现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 **ADS**、**HFSS** 等专业软件使用培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养，更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果，又能免除您舟车劳顿的辛苦，学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲，结合实际工程案例，直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>