

# SISAR 侧影像的校正及特征提取<sup>1</sup>

张 涛 罗永健 张 群 张守宏

(西安电子科技大学雷达信号处理重点实验室 西安 710071)

**摘 要** 在分析 SISAR 侧影像成像机理的基础上, 首先分析了目标相对于雷达的非匀速转动对目标侧影像的影响, 同时提出了补偿的方法, 然后分析了目标运动参数对侧影像的影响, 在此基础上提取了用于目标识别的不变性特征, 同时提出了目标识别的方法. 最后通过仿真验证了所提方法的正确性.

**关键词** 侧影逆合成孔径雷达, 侧影像, 目标识别

**中图分类号** TN951

## 1 引 言

阴影逆合成孔径雷达 (SISAR) 是一种利用前向散射进行无线电探测和定位的双基地雷达<sup>[1-3]</sup>, 该双基地雷达具有如下特点<sup>[1]</sup>: 当目标处于接收机和发射机连线附近时, 目标的前向散射雷达横截面 (RCS) 急剧增大; 目标的前向散射 RCS 与目标的外形和是否涂敷吸波层无关, 只与目标的阴影面积和波长有关. 因此该雷达是探测陆地和低空极小或隐形目标的有效手段, 其探测性能是传统的单基雷达所不能胜任的. SISAR 还可以获得与目标阴影有关的信息——目标阴影轮廓像和与目标阴影轮廓像有关的频谱特性<sup>[4,5]</sup>, 目标的阴影轮廓为每一种目标所独有, 因此 SISAR 的侧影像为 SISAR 的目标识别提供了可能性, 但是这些信息与雷达的波长和目标的运动参数有关, 目标位置的改变导致这些信息产生畸变, 使得不同目标之间的特有信息产生趋同性, 甚至不可分辨, 增加了目标识别的难度. 本文分析了侧影像畸变的原因, 提出了解决方法, 然后通过分析雷达波长, 目标的运动参数对这些信息的影响, 提出了提取目标关于这些参数的不变性特征, 为 SISAR 的目标识别提供了可行的方法.

## 2 SISAR 的成像原理

图 1 是 SISAR 的几何位置结构的示意图. 一个辐射源放在坐标系  $(x, y, z)$  的原点  $O$ , 而信号接收机放在坐标系横轴的点  $B(l, 0, 0)$  处. 设空间延展目标在基线  $OB$  附近直线运动, 在观测时间间隔  $[-T_H/2, T_H/2]$  内, 通过目标中心的辐射点和接收点之间连线的衍射角是小角. 这种条件下目标表面没有被照到的部分实际上几乎不随时间变化. 在物理光学近似法中, 这些部分上的感应电流等于零, 目标可以近似为不透明的屏, 该屏在轮廓上与目标向平面 (即与辐射方向垂直的通过目标中心一点  $A$  的平面) 的侧影轮廓相一致.

根据文献 [2], 分析小的不透明屏的场衍射问题与在无限大的不透明的屏上存在的透明窗口的场衍射问题所用方法相同. 因此, 目标在接收点场分量的合成振幅可近似记为<sup>[5]</sup>:

$$\dot{E}_T \cong \iint \varepsilon_T(\xi_1, \xi_2) \exp[ik(\xi_1 n_1 + \xi_2 n_2)] d\xi_1 d\xi_2 \quad (1)$$

(1) 式与理论上的合成振幅相差一个通用的相位因子. 式中  $k = 2\pi/\lambda$ ,  $(\xi_1, \xi_2)$  为在目标剖面所在平面的直角坐标,  $\varepsilon_T(\xi_1, \xi_2)$  为侧影孔径  $S_T$  的场分布, 其分布在侧影轮廓范围内不等于零, 在侧影轮廓范围外等于零,  $n_1 = \xi_{1B}/r_2$  为垂直方向余弦,  $n_2 = \xi_{2B}/r_2$  为水平方向余

<sup>1</sup> 2000-11-24 收到, 2002-04-15 定稿

弦, 而  $\xi_{1B}$ ,  $\xi_{2B}$  为接收点  $B$  向目标剖面所在平面的侧影坐标,  $r_2 = |AB|$ 。在远场假设下, 目标附近的电波可以认为是平面波, 在等效孔径范围内的场分布可以当作是均匀的:

$$\varepsilon_T(\xi_1, \xi_2) = \begin{cases} 1, & (\xi_1, \xi_2) \in S_T \\ 0, & (\xi_1, \xi_2) \notin S_T \end{cases} \quad (2)$$

在 (1) 式中的方向余弦  $(n_1, n_2)$  的值与衍射角  $(\alpha_1, \alpha_2)$  的正弦的值分别相等, 且在坐标系  $(x, y, z)$  中可以表示为

$$n_1 = \sin \alpha_1 = zx/(r_1 r_2 r_3), \quad n_2 = \sin \alpha_2 = -yl/(r_2 r_3) \quad (3)$$

式中

$$r_1 = (x^2 + y^2 + z^2)^{1/2}, \quad r_2 = ((x-l)^2 + z^2 + y^2)^{1/2}, \quad r_3 = (x^2 + y^2)^{1/2} \quad (4)$$

$l$  为基长,  $(x, y, z)$  为所设定的目标中心点  $A$  的坐标。

目标的运动方程为

$$x = x_0 + V_x t, \quad y = V_y t, \quad z = z_0, \quad t \in [-T_H/2, T_H/2] \quad (5)$$

目标在按 (5) 式运动的过程中, 沿着坐标  $\xi_2$  的目标侧影的尺寸发生了某些改变, 其变化与  $\theta \approx \psi - \beta_1$  有关, 式中  $\beta_1 = \arctg[y/x]$  为目标相对于辐射点的方位角。在  $y$  的数值小而  $\psi$  的值较大时, 可以认为  $\theta = \psi$ 。在上述情况下, 考虑目标侧影的可变因子  $\theta$  和忽略沿坐标  $\xi_1$  的侧影轮廓的改变 (在小衍射角和确定的运动特征时, 该变化与沿坐标  $\xi_2$  的侧影的改变相比是高阶小的量) 后, 引入在  $\theta = \pi/2$  时达到的最大侧影孔径  $\varepsilon_T(\xi_1, \xi_2)$  ( $\varepsilon_T(\xi_1, \xi_2)$  不随时间变化)<sup>[5]</sup>:

$$\varepsilon(\xi_1, \xi_2) \approx \varepsilon_T(\xi_1, \xi_2 \sin \theta) \quad (6)$$

考虑 (1) 式和 (6) 式, 变量替换后, 得到

$$\dot{E}_T(t) = \sin \theta \int \int \varepsilon(\xi_1, \xi_2) \exp[ik(\xi_1 n_1 + \xi_2 n_2 \sin \theta)] d\xi_1 d\xi_2 \quad (7)$$

(7) 式表示了运动目标前向散射场的合成振幅。

在目标侧影轮廓内, 对于每一个固定的  $\xi_2$  来说,  $\varepsilon_T(\xi_1, \xi_2)$  在  $\xi$  值的受约束的范围内不等于零。我们引入特定  $\xi_2$  时的侧影轮廓上下边沿的高度差  $h(\xi_2)$  和它的中线高度  $c(\xi_2)$  并假定函数  $h(\xi_2)$  值和  $c(\xi_2)$  的值单值地决定  $\varepsilon_T(\xi_1, \xi_2)$ <sup>[5]</sup>, 即

$$h(\xi_2) = \varepsilon_T(\xi_1^H, \xi_2) - \varepsilon_T(\xi_1^L, \xi_2) \quad (8)$$

$$c(\xi_2) = [\varepsilon_T(\xi_1^H, \xi_2) + \varepsilon_T(\xi_1^L, \xi_2)]/2 \quad (9)$$

式中  $\xi_1^H$ ,  $\xi_1^L$  分别为目标轮廓的上下边沿坐标。使用 (2) 式, (6) 式, 我们对 (7) 式进行变换, 以便对  $\xi_1$  进行积分运算。当通过  $\dot{H}(\xi_2)$  表示内部积分后, 我们有<sup>[3]</sup>

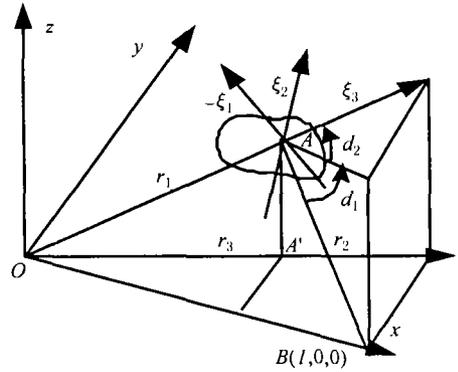


图 1 SISAR 几何结构示意图

$$\dot{H}(\xi_2) = \int_{c(\xi_2)-h(\xi_2)/2}^{c(\xi_2)+h(\xi_2)/2} \exp(ik\xi_1 n_1) d\xi_1 = h(\xi_2) \exp[ikn_1 c(\xi_2)] \text{sinc} \left[ \frac{kn_1}{2\pi} h(\xi_2) \right] \quad (10)$$

我们将函数  $\dot{H}(\xi_2)$  称为目标侧影像。我们使用  $\dot{H}(\xi_2)$  将  $\dot{E}_T(t)$  记为

$$\dot{E}_T(t) = \sin \theta \int \dot{H}(\xi_2) \exp[ik\xi_2 b(t)] d\xi_2 \quad (11)$$

式中  $b(t) = n_2(t) \sin \theta$ 。

由文献 [3] 可知：目标侧影像可以借助于逆傅里叶变换的形式近似表示为

$$\dot{H}(\xi_2) = \frac{kb'(0)}{2\pi} \int \frac{\dot{E}_T(t)}{\sin \theta} \exp[-ik\xi_2 b'(0)t] dt \quad (12)$$

式中

$$b'(0) = \left. \frac{db(t)}{dt} \right|_{t=0} = -lV \sin^2 \psi / [(x_0 - l)^2 + z_0^2]^{1/2} \quad (13)$$

### 3 目标运动参数及噪声对 SISAR 侧影像的影响分析

由第 2 节可知，目标的前向散射回波可以通过傅氏变换形成目标的侧影像，但是目标的侧影像随着目标运动参数的不同会出现畸变。目标运动参数对侧影像的影响主要表现为以下方面：

(1) 目标相对于 SISAR 的非均匀转动引起的侧影像畸变。目标水平方向的位移越大，非均匀转动引起的目标侧影像的畸变越大。

(2) 目标上下边沿的高度差和目标经过基线时的坐标对侧影像的影响，目标所处的高度越高，则目标上下边沿所允许的高度差越小且目标侧影像发生畸变越大；下面分别分析它们对 SISAR 侧影像的影响。

噪声对侧影像的影响主要表现在目标侧影像上叠加有微小随机噪声，影响目标的特征提取。下面分别从三个方面论述它们的影响。

#### 3.1 目标相对于 SISAR 的非均匀转动对侧影像的影响分析及补偿

由文献 [4] 可知，虽然目标以恒定速度通过 SISAR 的电磁屏障，但是由于 SISAR 的接收机和发射机的位置为双基地配置，引起的目标相对于 SISAR 的转动仍然具有较大的非匀速转动的分量。当目标穿越电磁屏障，目标运动轨迹与基线的夹角相同时，目标在水平方向上的位移越大，侧影像的分辨率越高，但引起的非均匀转动分量越大，导致侧影像的畸变也越大。侧影像的失真主要体现在侧影像的两侧边沿的幅度降低和侧影像的轮廓变平滑，但是在侧影像的中部，其失真可以忽略。由于基于前向散射的 SISAR 的侧影像并非为散射点模型，目标不同部位的信号难以分离，因此有关 ISAR 和 SAR 成像中的关于目标的非均匀转动的补偿方法并不完全适用。在 SISAR 中，目标的各个部位可以认为在同一距离单元内，在目标的平动分量完全补偿的情况下，非均匀转动引起的加速度沿多普勒分辨单元成等差序列。由于非匀速转动的高于 3 阶的分量对目标侧影像的影响较小，可以忽略不计。因此 SISAR 侧影像的非匀速转动的参数估计只需求某一多普勒单元的加速度即可得到非匀速转动引起的所有多普勒分辨单元的加速度。在 SISAR 成像中不存在独立的，不受其它多普勒单元影响的多普勒单元，为此可以在侧影像的两边选取具有最大能量的多普勒单元作为搜索加速度的多普勒单元。选取这样的单元具有以下优点：(1) 侧影像两边部位的多普勒单元具有较大的加速度绝对值，可以增加估计精度；(2) 在该单元附近的其它多普勒单元具有的加速度与该单元的加速度相近，补偿后该单元具有最大的

峰值, 其它单元对它的影响小。一般来说, 飞机类目标的尾翼具有较大的前向散射雷达截面, 且其处于侧影像的最边沿, 而飞机的头部的轮廓近似为流线型, 且侧影轮廓较小, 为此可以选择飞机的尾部作为估计单元。因此, 补偿由于非匀速转动引起的侧影像的失真可以通过以下步骤实现。

**步骤 1** 利用解调频的 dechirp 方法计算非匀速转动引起的加速度。设补偿目标的平动分量后的 SISAR 的回波为  $E_S(t)$ ,  $f_d$  为多普勒单元的频率, 搜索步长为  $\Delta a$ , 则 (12) 式表示对侧影像进行加速度搜索后形成的侧影像。

$$\text{IMAG}(i, f_d) = \left[ \int E_S(t) \cdot e^{i\frac{2\pi}{\lambda}i \cdot \Delta a \cdot t^2} \cdot e^{i2\pi f_d t} dt \right] \quad (14)$$

**步骤 2** 计算该单元的加速度。对 (12) 式进行微分, 求其最大值所对应的加速度:

$$[\Delta A(i), f_d] = \max_i \left( \max_{f_d} \left( \frac{d(\text{IMAG}(i, f_d))}{df_d} \right) \right) \quad (15)$$

(15) 式的物理意义是求出使得 (15) 式右端的值最大时的多普勒单元和加速度。之所以选用 (15) 式, 是因为飞机侧影轮廓像中, 飞机尾翼具有最大的面积和最垂直的边沿, 因此当飞机尾部边沿的非匀速转动的加速度被补偿后, 侧影像的微分具有最大的绝对值。

**步骤 3** 计算相邻多普勒单元所需补偿的加速度值。因为多普勒频率为零的单元的加速度为零或可以忽略不计, 因此

$$\Delta A = (i\Delta a - 0)/(N_{f_d} - N_{f_0}) \quad (16)$$

式中  $N_{f_d}$ ,  $N_{f_0}$  分别为多普勒为  $f_d$  和 0 的多普勒单元的单元号。所以, 侧影像各个多普勒单元的补偿加速度为  $A_{f_n} = \Delta A \cdot (N_{f_n} - N_{f_0})$ 。

通过以上步骤所计算出的各多普勒分辨单元的加速度可能存在误差, 在不存在更高阶的非均匀转动的情况下, 其误差的影响是由于待选单元的相邻多普勒单元的相互影响造成的, 因此其误差的绝对值应在一个相邻多普勒单元相差的加速度差值  $\Delta A'$  之内, 由于本方法选择的待选单元在目标的边沿, 因此其它多普勒分辨单元的加速度误差几乎均小于  $\Delta A'$ 。为此, 这些加速度误差对于目标侧影像的影响可以忽略。

**步骤 4** 恢复侧影像。设侧影像的幅度为  $S(N_{f_n})$ , 则

$$S(N_{f_n}) = \left| \int E_S(t) \cdot e^{i(2\pi/\lambda)A_{f_n}t^2} \cdot e^{i2\pi f_n t} dt \right| \quad (17)$$

### 3.2 目标位置对目标侧影像的影响分析

(10) 式可以转化为

$$H_{\text{SISAR}}(\xi_2) = |\dot{H}(\xi_2)| = \begin{cases} \sin \left[ \frac{kn_1}{2\pi} h(\xi_2) \right] \cdot \lambda/n_1, & n_1 \neq 0 \\ h(\xi_2), & n_1 = 0 \end{cases} \quad (18)$$

$H_{\text{SISAR}}(\xi_2)$  为目标的侧影模, 其中目标的侧影轮廓的高度差  $h(\xi_2)$  由目标侧影轮廓决定。由于不同的目标具有不同的侧影轮廓, 因此  $h(\xi_2)$  为每一类目标所独有, 首先分析  $n_1 \neq 0$  时的情况:  $H_{\text{SISAR}}(\xi_2)$  为侧影轮廓高度差  $h(\xi_2)$  和  $n_1$  的非线性函数, 而垂直方位的方位余弦  $n_1$  又为目标位置的函数。由 (3) 式, (4) 式和 (18) 式可得: 由于  $n_1$  为  $z$  的周期函数, 即当接收机接收到的目标信号为前向散射波在俯仰角方向上的主瓣信号时, 目标的高度  $z$  越大或目标越接近接收机或发射机,  $H_{\text{SISAR}}(\xi_2)$  的畸变越大, 当接收机收到的目标信号为前向散射波在俯仰角方向上的非主瓣信号时, 不存在这样的关系。

由 (18) 式可知, 当  $0 < [kn_1/(2\pi)]h(\xi_2) < \pi/2$  时,  $H_{\text{SISAR}}(\xi_2)$  与  $h(\xi_2)$  仍为一一对应关系,  $H_{\text{SISAR}}(\xi_2)$  具有目标的侧影特征, 即接收机接收到的目标信号为前向散射波在俯仰角方向上的主瓣信号时  $H_{\text{SISAR}}(\xi_2)$  与  $h(\xi_2)$  的一一对应关系存在; 而当  $[kn_1/(2\pi)]h(\xi_2)$  不再满足  $0 < [kn_1/(2\pi)]h(\xi_2) < \pi/2$  时,  $H_{\text{SISAR}}(\xi_2)$  与  $h(\xi_2)$  不存在一一对应关系,  $H_{\text{SISAR}}(\xi_2)$  不再具有目标的侧影特征(注:  $[kn_1/(2\pi)]h(\xi_2) < 0$  不予考虑)。为了满足 SISAR 成像时  $H_{\text{SISAR}}(\xi_2)$  与  $h(\xi_2)$  的一一对应关系,  $h(\xi_2)$  的最大值必须满足下式:

$$h(\xi_2)_{\text{MAX}} < \pi/2 \cdot \lambda/n_1 \quad (19)$$

为了使得  $h(\xi_2)$  的值尽可能的大, 可以增大波长, 但是波长的增大, 引起目标雷达散射截面的减小。所以即使是在衍射角较小和波长较大的情况下,  $H_{\text{SISAR}}(\xi_2)$  依然可能与  $h(\xi_2)$  存在较大的畸变。由于直接从目标的前向散射回波中提取目标通过基线时的位置信息  $(x_0, z_0)$  是不可能的, 同时通过 SISAR 测量  $(x_0, z_0)$  的不精确性, 使得补偿由于目标位置引起的目标侧影像在垂直方向上的畸变实际上是不可能的。

### 3.3 噪声对目标侧影像的影响分析

在 SISAR 雷达中, 噪声主要来源于发射信号的幅度和相位噪声及接收机的内噪声。由于形成一幅目标侧影像的数据纪录时间都需要几秒钟, 然后进行常相干积累, 形成目标侧影像, 因此, 目标侧影像的信噪比 (SNR) 都比较高。一般来说  $\text{SNR} > 30\text{dB}^{[6]}$ , 目标的侧影像反映了目标的侧影轮廓的高度差, 噪声不会使侧影像产生大的畸变, 但是却对侧影像的特征抽取产生影响, 因此, 需要对侧影像进行去噪及平滑处理。

## 4 目标侧影像的特性提取

从以上 3.1, 3.2 节的分析可知, 目标侧影像的畸变程度与目标位置及目标位置的多样性直接相关, 导致目标侧影像畸变的不同, 因此直接利用  $H_{\text{SISAR}}(\xi_2)$  识别目标几乎是不可能的, 除非建立目标所有可能位置的 SISAR 像模板, 这将极大地增加目标识别的难度和运算量。

众所周知, 每种目标的  $h(\xi_2)$  都是目标所独有的<sup>[5]</sup>, 存在这样的情况: 同类目标可能存在某些趋同性; 不同国家的同类目标的  $h(\xi_2)$  也可能存在较大的差异。因此, 我们认为: 虽然  $h(\xi_2)$  不能为每一种目标提供完全不同的特征, 但是可以为目标识别提供一种可选的特性。为此  $h(\xi_2)$  的各极点之间的相对位置  $R_L$  也可作为一种粗略的特征, 为进一步识别目标提供信息。下面证明  $R_L$  的值不随目标位置  $(x_0, z_0)$  变化的特性和  $H_{\text{SISAR}}(\xi_2)$  与  $h(\xi_2)$  具有相同的极点。

由 (20) 式可知,  $0 < [kn_1/(2\pi)]h(\xi_2) < \pi/2$  时,  $H_{\text{SISAR}}(\xi_2)$  与  $h(\xi_2)$  为一一对应关系。首先求侧影像  $H_{\text{SISAR}}(\xi_2)$  的极点。侧影像  $H_{\text{SISAR}}(\xi_2)$  关于  $(\xi_2)$  的导数为

$$\frac{dH_{\text{SISAR}}(\xi_2)}{d\xi_2} = \cos \left[ \frac{kn_1}{2\pi} h(\xi_2) \right] \cdot \lambda/n_1 \cdot \frac{kn_1}{2\pi} \cdot h'(\xi_2) \quad (20)$$

令 (18) 式等于零, 因为  $0 < [kn_1/(2\pi)]h(\xi_2) < \pi/2$ , 所以  $\cos\{[kn_1/(2\pi)]h(\xi_2)\} \neq 0$ , 要使 (18) 式为零, 必须  $h'(\xi_2)$  为零, 即  $H_{\text{SISAR}}(\xi_2)$  和  $h(\xi_2)$  的极点相同。因此,  $H_{\text{SISAR}}(\xi_2)$  的极点之间的相对位置表示了每种目标所独有的特征, 且不受衍射角和波长的影响。

## 5 侧影像识别目标的方法

由于 SISAR 侧影像的形成是基于目标相对于雷达的转动。假设目标与雷达间的相对转动为

匀速, 则目标相对于雷达的转角越大, 则 SISAR 的侧影像的分辨率越高, 侧影像的极点位置越精确。

目标侧影像的各极点之间的相对位置可用归一化的相对位置表示, 消除了由于目标运动参数的不同引起的目标绝对极点位置的差异。因为不同的侧影像分辨率导致不同的极点绝对位置。即设目标的侧影像的极点共有  $N$  个, 它们之间的距离为  $D_1, D_2, \dots, D_i, \dots, D_{N-1}$ , 其中  $D_i$  为第  $i$  个与第  $i+1$  极点之间的距离。其归一化的相对位置  $D = 1, D_2/D_1, \dots, D_i/D_1, \dots, D_{N-1}/D_1$ 。将侧影像的归一化的极点相对位置作为目标识别的特征是为了消除目标运动速度, 飞行路线与基线的夹角和相关处理时间的不同引起的侧影像的分辨率的差异, 使得该特征对这些参数不敏感。

设目标模板的侧影像轮廓的归一化极点相对位置为  $DM_k$ ,  $k$  为目标的类型。待识别的目标的侧影像的极点为  $DM_0$ , 则判断准则为

$$k_0 = \min_k \sum_i |DM_k(i) - DM_0(i)|^2 \quad (21)$$

由于不同目标的极点个数可能不同, 进行判断时, 首先通过判断极点的个数挑选比较的目标, 利用 (21) 式计算具有相同极点的目标。

## 6 仿真结果及分析

为了便于分析, 设 SISAR 的发射机和接收机之间的距离为 50km, 波长为 0.35m。图 2 是当目标上下边沿的最大值为 10m(对于一般的低飞目标来说此条件满足) 目标飞行高度为 500m 时, 侧影像  $H_{\text{SISAR}}(\xi_2)$  与目标上下沿的高度差  $h(\xi_2)$  存在一一对应关系时的可能的飞机位置  $(x, y)$ 。当目标以低于 500m 的高度飞越图 2 所示的阴影区时, 侧影像的极点位置不会发生错乱。图 3 为 F-16 飞机侧影像和极点位置与目标高度关系的仿真图。由图 3 可以看出, 当目标的飞行高度由 30m 至 500m 变化时, 侧影像和侧影像的微分产生畸变, 但是其侧影像的极点的位置和侧影像的微分的零点位置并没有变化, 与 3.2 节和 4 节的分析相一致。下面是 F-4、F-16、J-39 和苏 35 战斗机的侧影像依据第 5 节的识别方法计算的归一化极点位置。F-16 侧影像共 5 个极点, 其归一化极点位置为 (1.00, 7.70, 2.59, 2.43, 4.03), F-4 侧影像共 7 个极点, 归一化极点位置 (1.0, 1.57, 0.20, 0.51, 0.67, 1.25, 2.12), J-39 侧影像共 7 个极点, 归一化极点位置为 (1.0, 0.21, 0.23, 0.25, 0.33, 0.19, 1.6), 苏 35 的侧影像共 6 个极点, 归一化极点位置为 (1.00, 0.75, 0.35, 0.48, 0.50, 1.18)。从这几组数的差别可以看出他们的特征明显不同, 可以通过 (19) 式区分。

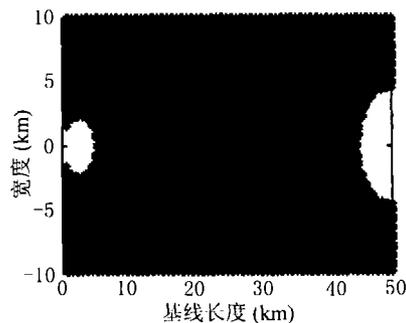


图 2 目标可能的位置分布 (阴影区)

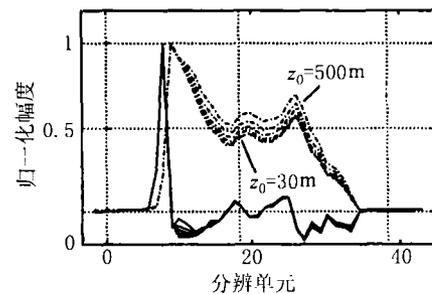


图 3 侧影像和极点位置与目标高度的关系图  
— 表示目标侧影像 — 表示目标侧影像的微分

## 7 结 论

本文分析了目标相对于雷达产生非匀速转动对 SISAR 侧影像的影响, 提出估计非匀速转动的运动参数及补偿的方法, 然后分析了目标高度及位置对侧影像的影响, 提出了用于目标识别的特征——侧影像的归一化极点相对位置。该特征对目标位置, 高度和目标运动参数不敏感, 只与目标的侧影轮廓上下边沿的差有关。本文所提的方法可降低 SISAR 目标识别的复杂性。

## 参 考 文 献

- [1] 杨振起, 张永顺等, 双(多)基地雷达系统, 北京, 国防工业出版社, 1998, 200-205.
- [2] Nichola J. Whills 著, 张祖稷, 吴曼青等译, 双基地雷达, 合肥, 机电部 38 所, 1992, 107-110.
- [3] 李红兵, 俄罗斯新型雷达动态, 雷达与电子战, 1999.1, 14-16.
- [4] J. I. Glaser, Bistatic RCS of complex objects near forward scatter, IEEE Trans. on AES, 1985, 21(5), 70-78.
- [5] B. S. Surikov, E. A. Khasina, V. V. Chapursky, Correlation and spectral functions of one-dimensional radio holograms synthesized at small diffraction angles, Radiotekhnika I Elektronika, 1989, 32(2), 409-419.
- [6] A. B. Blyakhman, I. A. Runova, Forward scattering radiolocation bi-static RCS and target Detection, Proc. of the 1999 IEEE Radar Conference, Waltham, Massachusetts, 1999, 203-208.

## CALIBRATION AND EXTRACTION OF FEATURES FOR SISAR SHADOW IMAGE

Zhang Tao    Luo Yongjian    Zhang Qun    Zhang Shouhong

(Key Lab of Radar Signal Processing, Xidian University, Xi'an 710071, China)

**Abstract** Based on an analysis of the principle SISAR shadow imaging, the effect on target shadow image due to nonconstant velocity rotation relative to the target is first examined, and a compensation method is also presented. In addition, the effect on target shadow image due to target motion parameters is described. Eventually, a target recognition approach on the basis of the invariable parameters obtained is proposed. The computer simulations show the efficiency of the method.

**Key words** SISAR, Shadow image, Target recognition

张 涛: 男, 1971 年生, 博士生, 主要从事雷达三维成像、电路 CAD/CAT, 阵列信号处理等方面的研究工作。  
罗永健: 男, 1971 年生, 博士生, 主要从事阵列信号处理, 无线通信中的信号处理等方面的研究工作。  
张 群: 男, 1964 年生, 副教授, 博士生, 主要从事雷达三维成像、阵列信号处理, 杂波抑制等方面的研究工作。  
张守宏: 男, 1930 年生, 教授, 博士生导师, 主要从事时频分布、雷达成像、阵列信号处理、高分辨信号处理等方面的研究工作。