

基于多分辨率特征的 UW B SAR 二维 广义似然比目标检测方法

杨志国, 黄晓涛, 周智敏

(国防科学技术大学 电子科学与工程学院超宽带室, 湖南 长沙 410073)

摘 要: 针对超宽带合成孔径雷达 (UW B SAR) 工作体制及探测背景的特殊性, 结合成像过程, 分析了不同分辨率条件下目标与杂波的区别, 在此基础上采用了两种形式的一阶自回归 (AR) 模型实现对多分辨率序列的建模, 并提出了广义似然比 (GLR) 的二维计算方法。该方法大大提高了多分辨率特征提取的稳定性, 基于实际 UW B SAR 图像的试验结果表明: 利用多分辨率特征可明显增强图像信杂比, 从而提高 UW B SAR 目标检测效果。

关键词: UW B SAR; 目标检测; 多分辨率; AR 模型; 广义似然比

中图分类号: TN958/TP751 1 文献标识码: A

1 引 言

SAR 目标检测中, 可利用的特征较多, 如幅度特征^[1, 2]、极化特征^[3, 4]、方位向特征^[5, 6]、多分辨率特征等, 其中有关前 3 种特征提取的研究较多, 而对于多分辨率特征的研究则较少。文献 [7] 将多分辨率杂波过程分解成布朗运动过程, 并构造了最佳恒定多分辨率检测器; 文献 [8] 提出了一种广义似然比检测器来实现对多分辨率特征的提取; 文献 [9] 结合 SAR 自动目标检测 (SAR ATR) 三级结构, 基于感兴趣区域 (ROD) 利用 AR 模型实现了多分辨率特征提取; 文献 [10] 针对高频 SAR 分析了不同分辨率条件下目标和杂波的区别, 并提出了 7 种基于多分辨率特征的检测方案。上述文献中给出的多分辨率特征提取方法均有效地提高了 SAR 目标检测性能, 但由于文献中关于多分辨率特征的讨论多数针对高频 SAR 进行, 因此上述方法通常适用于高频 SAR 目标检测。基于 UW B SAR 对叶簇遮蔽目标进行检测时, 由于 UW B SAR 工作于低频频段, 且探测背景为树干形成的较强杂波, 因此对多分辨率特征在 UW B SAR 目标检测中的应用需要进行重新分析, 提出适于 UW B SAR 目标检测的多分辨率特征提取方

法。本文针对 UW B SAR 工作体制及其探测背景的特殊性, 依据电磁散射理论, 从 SAR 成像的角度分析了不同分辨率条件下目标和杂波的区别, 并基于两种形式的一阶 AR 模型提出了 GLR 的二维计算方法, 基于实际 UW B SAR 图像的试验结果表明, 利用多分辨率特征可明显增强图像信杂比。

2 适于 UW B SAR 的多分辨率特征提取方法

2.1 UW B SAR 图像多分辨率特性分析

根据电磁散射理论, 可以将一幅 SAR 图像对应的原始场景看作大量等效散射点的集合, 表示如下:

$$c(\underline{x}) = \sum_{k=1}^K u_k \delta(\underline{x} - \underline{x}_k) \quad (1)$$

式中, $\underline{x}_k \in \mathbb{R}^2$ 表示散射点的位置, $u_k \in \mathbb{C}$ 表示散射点 $\underline{x}_k$ 对应的复散射系数。

设 SAR 系统的冲击响应为 $h(\underline{x})$, 考虑分辨率因素, 由 (1) 式可得原始场景对应的复值 SAR 图像为^[10]:

$$T(\underline{x}; \rho) = \frac{1}{\rho} \oint (\underline{y}) h\left(\frac{\underline{x} - \underline{y}}{\rho}\right) d\underline{y} = \frac{1}{\rho} \sum_{k=1}^K u_k h\left(\frac{\underline{x} - \underline{x}_k}{\rho}\right) \quad (2)$$

收稿日期: 2006 11 13; 修订日期: 2007 04 04

基金项目: 国家自然科学基金 (编号: 60402034)

作者简介: 杨志国 (1979—), 男。2004 年 3 月毕业于空军雷达学院获硕士学位, 现为国防科学技术大学电子科学与工程学院博士研究生。主要从事 SAR 目标检测等领域的研究工作。已发表论文 10 余篇。E-mail: yzhgd@163.com。

下面将应用上述复值 SAR 图像模型, 分别对 UWB SAR 图像中目标和树干杂波的多分辨率特性进行分析。

2.1.1 树干杂波

由于 UWB SAR 一般工作于 VHF/UHF 频段, 具有穿透叶簇的能力^[11], 通常用于检测叶簇遮蔽目标, 因此采用 UWB SAR 进行目标检测时, 对应的杂波背景将主要是树干形成的较强杂波。根据 (1) 式可以将树干杂波背景表示为

$$c(\underline{x}) = \sum_{k=1}^K v_k \delta(\underline{x} - \underline{x}_k) \quad (3)$$

式中, $\underline{x}_k$ 表示树干等效散射点的位置, v_k 为 $\underline{x}_k$ 对应的复散射系数。

由电磁散射原理可知, 当散射体处于照射波光学区, 即散射体半径尺寸 α 和照射波波长 λ 满足 $2\pi \cdot \frac{\alpha}{\lambda} > 20$ 时, 散射体可等效为多个散射点^[12], 由于 UWB SAR 工作波长较长, 单个等效散射点对应的实际杂波背景面积较大, 因此 UWB SAR 图像中一个分辨单元所包含的散射点较少, 不满足广义多变量中心极限轴定理的条件^[13], 根据文献 [10] 中的分析结论可知, UWB SAR 复图像杂波区域像素值均值不为零, 即

$$E\{T(\underline{x}, \rho)\} = \frac{1}{\rho} \sum_{k=1}^K v_k h\left(\frac{\underline{x} - \underline{x}_k}{\rho}\right) \neq 0 \quad (4)$$

2.1.2 目标

如同上节中的分析, 当待检测区域存在目标时, 由于目标可等效为少数几个具有强散射特性的散射点, 则对应的模型表达式变为

$$c(\underline{x}) = \sum_{k=1}^K v_k \delta(\underline{x} - \underline{x}_k) + \sum_{k=1}^{K'} t_k \delta(\underline{x} - \underline{x}'_k) \quad (5)$$

其中, 等号右边第一项为杂波等效散射点作用项, 第二项为目标等效散射点作用项, $\underline{x}_k$ 表示散射点的位置, v_k 和 t_k 为 $\underline{x}_k$ 对应的复散射系数。

与上节同样的推理过程, 可以得出

$$E\{T(\underline{x}, \rho)\} = \frac{1}{\rho} \sum_{k=1}^K v_k h\left(\frac{\underline{x} - \underline{x}_k}{\rho}\right) + \frac{1}{\rho} \sum_{k=1}^{K'} t_k h\left(\frac{\underline{x} - \underline{x}'_k}{\rho}\right) \neq 0 \quad (6)$$

由 (4) 式及 (6) 式可以看出, 树干杂波和目标对应的复图像均值都不为零, 因此无法采用文献 [10] 中提出的适于高频 SAR 的多分辨率特征提取方法, 必须寻求新的途径进行多分辨率的特征提取。从 (4) 式及 (6) 式可以看出, UWB SAR 复图像中杂波像素点由树干等效散射点形成, 而目标像素点则由

目标等效散射点和树干等效散射点共同形成, 且目标等效散射点起主要作用。一般地, 可以认为树干等效散射点在空间上成二维均匀分布, 而目标等效散射点的空间分布情况将由目标的形状和姿态来共同决定。由于实际检测对象通常为卡车、坦克等战术目标, 因此目标等效散射点在空间上一般为非均匀分布, 树干等效散射点和目标等效散射点不同的空间分布, 将使其对应的 UWB SAR 图像像素值随分辨率的变化呈现不同的振荡特性, 本文将利用此特性进行多分辨率的特征提取。

2.2 AR 模型及其 GLR 的定义

在上述分析的基础上, 本文将采用 AR 模型来实现 UWB SAR 图像多分辨率特征的提取, AR 模型表达式为

$$I(\underline{x}_j; \rho_i) = a_1 I(\underline{x}_j; \rho_{i+1}) + a_2 I(\underline{x}_j; \rho_{i+2}) + \dots + a_m I(\underline{x}_j; \rho_{i+m}) + w_{ji} \quad (7)$$

式中, $I(\underline{x}_j; \rho_i)$ 表示 UWB SAR 图像中点 $\underline{x}_j$ 在分辨率为 ρ_i 时的原始图像值经一定处理后得到的图像值, 且 $\rho_i < \rho_{i+1} < \dots < \rho_{i+m}$; w_{ji} 为点 $\underline{x}_j$ 在分辨率为 ρ_i 时对应的预测残差。根据文献 [9] 中关于 AR 模型阶数的结论, 本文对杂波和目标多分辨率序列均采用一阶 AR 模型^[14]。本部分将通过两种形式的一阶 AR 模型对多分辨率序列进行描述, 对于不同形式的一阶 AR 模型, UWB SAR 图像中杂波区域和目标区域多分辨率序列呈现出的不同振荡特性, 将对应不同的参数分布, 本文将通过对模型参数分布的讨论来实现 UWB SAR 多分辨率特征的提取, 下面进行详细说明。

2.2.1 AR 模型一

AR 模型一描述如下:

$$I(\underline{x}_j; \rho_i) = a_i^c I(\underline{x}_j; \rho_{i+1}) + w_{ji}^c \quad \underline{x}_j \text{ 为杂波} \quad (8)$$

$$I(\underline{x}_j; \rho_i) = a_i^t I(\underline{x}_j; \rho_{i+1}) + w_{ji}^t \quad \underline{x}_j \text{ 为目标} \quad (9)$$

式中, a_i^c 和 a_i^t 分别为杂波和目标对应的一阶 AR 模型系数; w_{ji}^c 和 w_{ji}^t 为杂波和目标对应的一阶预测残差, 且分别服从分布 F_1 和 F_2 。在此模型下, 对于一幅待检测的 UWB SAR 图像中的任意一点 $\underline{x}_j$, 假设检验定义为

$$H_0: a_i(\underline{x}_j) = a_i^c \quad w_i(\underline{x}_j) \sim F_1 \quad (10)$$

$$H_1: a_i(\underline{x}_j) = a_i^t \quad w_i(\underline{x}_j) \sim F_2 \quad (11)$$

在此假设检验条件下, 构造如下 GLR

$$\Lambda_1(\underline{x}_j; \rho_i) = \frac{p(w_i(\underline{x}_j) | H_1)}{p(w_i(\underline{x}_j) | H_0)} = \frac{p_2(w_i(\underline{x}_j))}{p_1(w_i(\underline{x}_j))} \quad (12)$$

式中, $p_1(x)$ 和 $p_2(x)$ 分别为分布函数 $F_1(x)$ 和 $F_2(x)$ 对应的概率密度函数。

2.2.2 AR 模型二

AR 模型二描述如下:

$$I(\underline{x}_j; \rho_i) = a_{ji}^c I(\underline{x}_j; \rho_{i+1}) + w_i^c \quad \underline{x}_j \text{ 为杂波} \quad (13)$$

$$I(\underline{x}_j; \rho_i) = a_{ji}^t I(\underline{x}_j; \rho_{i+1}) + w_i^t \quad \underline{x}_j \text{ 为目标} \quad (14)$$

式中, w_i^c 和 w_i^t 分别为杂波和目标对应的预测残差, a_{ji}^c 和 a_{ji}^t 为杂波和目标对应的一阶 AR 模型系数, 且分别服从分布 F_3 和 F_4 。在此模型下, 对于一幅待检测 UW B SAR 图像中的任意一点 $\underline{x}_j$, 假设检验定义为

$$H_0: w_i(\underline{x}_j) = w_i^c \quad a_i(\underline{x}_j) \sim F_3 \quad (15)$$

$$H_1: w_i(\underline{x}_j) = w_i^t \quad a_i(\underline{x}_j) \sim F_4 \quad (16)$$

在此假设检验条件下, 构造如下 GLR

$$\Lambda_2(\underline{x}_j; \rho_i) = \frac{p(a_i(\underline{x}_j) | H_1)}{p(a_i(\underline{x}_j) | H_0)} = \frac{p_4(a_i(\underline{x}_j))}{p_3(a_i(\underline{x}_j))} \quad (17)$$

式中, $p_3(x)$ 和 $p_4(x)$ 分别为分布函数 $F_3(x)$ 和 $F_4(x)$ 对应的概率密度函数。

综上所述, 可以看出: 对于同一个多分辨率序列, 可以基于两种形式的一阶 AR 模型得到两个随机变量 $w_i(\underline{x}_j)$ 和 $a_i(\underline{x}_j)$ 对应的 GLR, 由 AR 模型一中 $w_i(\underline{x}_j)$ 及 AR 模型二中 $a_i(\underline{x}_j)$ 的定义式, 可以看出二者相互独立, 综合对两种形式一阶 AR 模型的讨论, 下面给出一个二维 GLR 的定义:

$$\begin{aligned} \Lambda(\underline{x}_j; \rho_i, \rho_{i+1}) &= \frac{p(w_i(\underline{x}_j), a_i(\underline{x}_j) | H_1)}{p(w_i(\underline{x}_j), a_i(\underline{x}_j) | H_0)} \\ &= \frac{p(w_i(\underline{x}_j) | H_1) p(a_i(\underline{x}_j) | H_1)}{p(w_i(\underline{x}_j) | H_0) p(a_i(\underline{x}_j) | H_0)} \\ &= \Lambda_1(\underline{x}_j; \rho_i) \times \Lambda_2(\underline{x}_j; \rho_i) \\ &= \frac{p_2(w_i(\underline{x}_j)) p_4(a_i(\underline{x}_j))}{p_1(w_i(\underline{x}_j)) p_3(a_i(\underline{x}_j))} \quad (18) \end{aligned}$$

上述二维 GLR 定义式, 将基于两种一阶 AR 模型对 UW B SAR 图像多分辨率特征的提取结合了起来, 因此提取多分辨率特征的性能将更加稳健。

2.3 二维 GLR 的计算

二维 GLR 的计算分以下 3 个步骤。

2.3.1 多分辨率图像的产生

设进行多分辨率特征提取采用的最高精度

UWB SAR 复图像为 $T(k; \rho_0)$, 对其进行二维离散傅里叶变换, 即

$$\begin{aligned} FT(p; q; \rho_0) &= \frac{1}{MN} \sum_{k=0}^{M-1} \sum_{l=0}^{N-1} T(k; l; \rho_0) \\ &\quad \times \exp\left(j \frac{2\pi k}{M} p\right) \exp\left(j \frac{2\pi l}{N} q\right) \quad (19) \end{aligned}$$

进行二维滤波, 并进行离散逆傅里叶变换, 得到低分辨率图像

$$\begin{aligned} T(k; l; \rho_n) &= \sum_{p=0}^{M-1} \sum_{q=0}^{N-1} FT(p; q; \rho_0) H_n(p) H_n(q) \\ &\quad \times \exp\left(-j \frac{2\pi k}{M} p\right) \exp\left(-j \frac{2\pi l}{N} q\right) \quad (20) \end{aligned}$$

式中, $H_n(p) H_n(q)$ 表示可分离二维海明窗函数, $H_n(p)$ 的定义如下

$$H_n(p) = \begin{cases} 0.54 + 0.46 \cos \frac{2\pi \rho_n p}{\rho_0 M} & 0 \leq p < \text{int} \left[\frac{\rho_0 M}{2\rho_n} \right] \\ \text{或 } M - \text{int} \left[\frac{\rho_0 M}{2\rho_n} \right] \leq p < M \\ 0 & \text{int} \left[\frac{\rho_0 M}{2\rho_n} \right] \leq p < M - \text{int} \left[\frac{\rho_0 M}{2\rho_n} \right] \end{cases} \quad (21)$$

其中 $\text{int}[\cdot]$ 表示取整运算。

通过上述步骤, 可以由一幅高分辨率图像得到任意一幅需要的低分辨率图像, 对于图像中一点, 根据需要的 ρ_n 计算出相应的像素值, 从而可得到一个多分辨率像素值序列, 而整幅图像则对应一个三维多分辨率像素值矩阵, GLR 的计算将基于此矩阵进行。

2.3.2 统计模型的训练

本步骤的目的是通过训练获得 4 个分布函数 F_1, F_2, F_3 和 F_4 的先验知识, 得出它们的具体表达式及参数。训练步骤如下:

①选择多幅典型的杂波图像 $\underline{x}_c$ 和多幅不同姿态的目标图像 $\underline{x}_t$, 选择两种用于训练的分辨率 ρ_0 和 ρ_1 , 由步骤 1 计算得出分辨率为 ρ_0 和 ρ_1 情况下原始杂波与目标图像对应的图像值 $T(\underline{x}_c; \rho_0)$ 和 $T(\underline{x}_t; \rho_1)$, 并进行适当处理 (例如取模) 得到新的图像值 $I(\underline{x}_c; \rho_0)$ 与 $I(\underline{x}_t; \rho_1)$ 。

②利用最小二乘法求得模型一中系数 a_0 和 a_0^t , 即

$$a_0^c = m \min_{\underline{x} \in x_c} [I(\underline{x}; \rho_0) - a_0^c I(\underline{x}; \rho_1)]^2 \quad (22)$$

$$a_0^t = m \min_{\underline{x} \in x_t} [I(\underline{x}; \rho_0) - a_0^t I(\underline{x}; \rho_1)]^2 \quad (23)$$

将求得的 a_0^c 和 a_0^t 分别带入 (8) 及 (9) 式得到 w_{j0}^c 和 w_{j0}^t 。

③将 w_0^c 和 w_0^t 代入适当的值, 一般情况下可取 $w_0^c = w_0^t = 0$, 由 (13) 及 (14) 式分别计算得出 a_{j0}^c 和 a_{j0}^t , 即

$$a_{ji}^c = \frac{I(\underline{x}_j; \rho_i)}{I(\underline{x}_j; \rho_{i+1})} \quad \underline{x}_j \text{ 为杂波} \quad (24)$$

$$a_{ji}^t = \frac{I(\underline{x}_j; \rho_i)}{I(\underline{x}_j; \rho_{i+1})} \quad \underline{x}_j \text{ 为目标} \quad (25)$$

④采用 K S 检验方法^[15] 分别得出与 w_{j0}^c , w_{j0}^t , a_{j0}^c 和 a_{j0}^t 经验分布函数最为匹配的概率分布模型 F_1 , F_2 , F_3 和 F_4 。

2.3.3 二维 GLR 的计算

对于一幅待检测 UWB SAR 图像, 首先采用步骤 1 中公式计算得出分辨率为 ρ_0 和 ρ_1 时对应的两幅图像 $T_d(\underline{x}; \rho_0)$ 与 $T_d(\underline{x}; \rho_1)$, 对其进行一定处理得到新的图像值 $I_k(\underline{x}; \rho_0)$ 和 $I_k(\underline{x}; \rho_1)$ 。将 1 中②求得的 a_0^c 与 a_0^t 分别代入 (8) 和 (9) 式, 由 $I_k(\underline{x}; \rho_0)$ 和 $I_k(\underline{x}; \rho_1)$ 计算得出 w_{j0}^{dc} 与 w_{j0}^{dt} ; 与 1 中③相同的方法, 由 $I_k(\underline{x}; \rho_0)$ 和 $I_k(\underline{x}; \rho_1)$ 可得出 $a_{j0}^{dc} = a_{j0}^{dt} = a_{j0}^d$, 将 w_{j0}^{dc} , w_{j0}^{dt} 及 a_{j0}^d 代入 (18) 式即可计算得出待检测图像在分辨率 ρ_0 和 ρ_1 情况下对应的 GLR 矩阵 $\Lambda(\underline{x}; \rho_0, \rho_1)$ 。将 $\Lambda(\underline{x}; \rho_0, \rho_1)$ 与待检测图像进行掩膜相乘, 即可增强图像信杂比, 从而提高 UWB SAR 图像检测效果。

3 基于实际 UWB SAR 图像的试验

本部分将基于一幅实际的 UWB SAR 图像进行试验。试验分两部分: 一部分为统计模型的训练, 另一部分为基于一幅实际 UWB SAR 图像的多分辨率特征提取。

3.1 统计模型的训练

本部分选用多幅典型的树干杂波和目标 UWB SAR 图像, 其中目标为吉普车, 由统计模型训练步骤获得 4 个分布函数 F_1 , F_2 , F_3 , F_4 的具体表达式及参数。需要说明的是, 为了防止图像的绝对幅度对需要训练的统计变量构成影响, $I(\underline{x}; \rho)$ 为 $T(\underline{x}; \rho)$ 的取模标准化, 即

$\rho)$ 的取模标准化, 即

$$I(\underline{x}; \rho) = \frac{|T(\underline{x}; \rho)|}{\text{mean}(|T(\underline{x}; \rho)|)} \quad (26)$$

其中, $\text{mean}(\cdot)$ 表示求平均运算。

利用 K S 检验方法得出 F_1 , F_2 , F_3 , F_4 的具体表达式及参数, 分别为

F_1 —正态分布: Normal(0.0322, 2.0065)

F_2 —正态分布: Normal(0.1287, 0.5498)

F_3 —韦布尔分布: Weibull(1.0642, 1.4391)

F_4 —对数正态分布: LogNormal(0.0002, 0.7409)

(27)

图 1 是 w_{j0}^c , w_{j0}^t , a_{j0}^c , a_{j0}^t 的经验分布函数和经 K S 检验得到的检验分布函数曲线, 其中图 1(a) 为 w_{j0}^c 和 w_{j0}^t 对应的经验分布函数和检验分布函数曲线, 图 1(b) 为 a_{j0}^c 和 a_{j0}^t 对应的经验分布函数和检验分布函数曲线。由图 1 可以看出, 对于上述 4 个统计变量, 检验分布函数与其对应的经验分布函数都能较好的吻合。

3.2 基于一幅实际 UWB SAR 图像的多分辨率特征提取

根据上面得到的 4 个统计分布模型, 本部分将针对一幅实际的 UWB SAR 图像进行多分辨率特征提取, 采用的图像背景为置有 5 辆吉普车的树林, 如图 2(a) 所示。根据 GLR 的计算步骤和前面已得到的 4 个分布函数 F_1 , F_2 , F_3 , F_4 的先验知识, 由图 2(a) 可计算得出一个二维 GLR 矩阵如图 2(b) 所示, 图 2(c) 为图 2(b) 对图 2(a) 的掩膜输出。

由图 2 可以看出, 掩膜矩阵有效地抑制了图 2(a) 中的树干杂波, 大大提高了原始图像的信杂比, 为了进一步说明 GLR 矩阵对图 2(a) 信杂比的改善效果以及二维 GLR 相对一维 GLR 的稳健性, 本部分将对图 2(a) 及三种 GLR 矩阵对图 2(a) 的掩膜输出图像进行 CFAR 检测, 通过对不同虚警率条件下 4 幅图像目标区域保留像素点个数的比较, 来说明多分辨率特征提高 UWB SAR 图像信杂比的有效性及二维 GLR 的稳健性。为了便于说明, 本部分将选择其中一个目标作为检验对象, 如图 2(a) 中方框所标。考虑一般情况下基于 SAR 图像 CFAR 检测虚警率的取值范围, 本部分选取的虚警率为 10^{-10} — 10^{-4} , 得到所选目标经 CFAR 检测后保留像素点个数随虚警率变化的曲线如图 3。

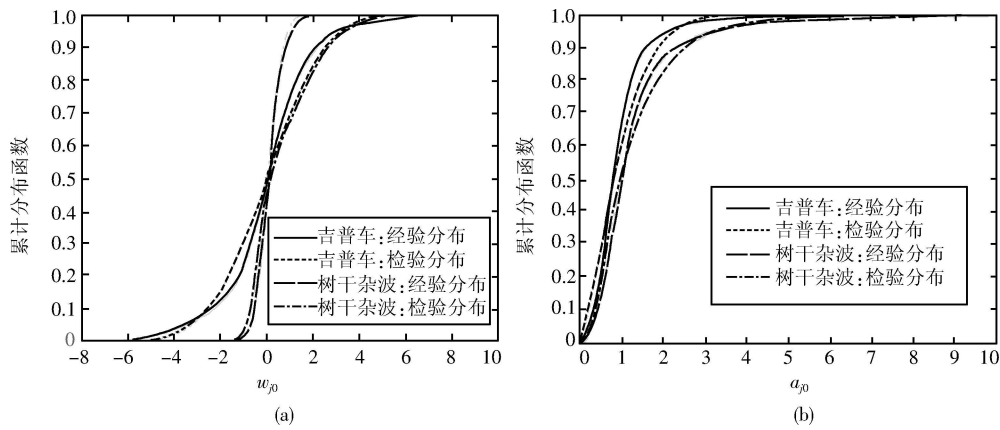


图 1 $w_{j0}^c, w_{j0}^t, a_{j0}^c$ 和 a_{j0}^t 经验分布函数和检验分布函数曲线
(a) w_{j0}^c, w_{j0}^t 分布函数曲线; (b) a_{j0}^c, a_{j0}^t 分布函数曲线

Fig 1 Experimental and tested cumulative distribution function of $w_{j0}^c, w_{j0}^t, a_{j0}^c, a_{j0}^t$
(a) Cumulative distribution function of w_{j0}^c, w_{j0}^t ; (b) Cumulative distribution function of a_{j0}^c, a_{j0}^t

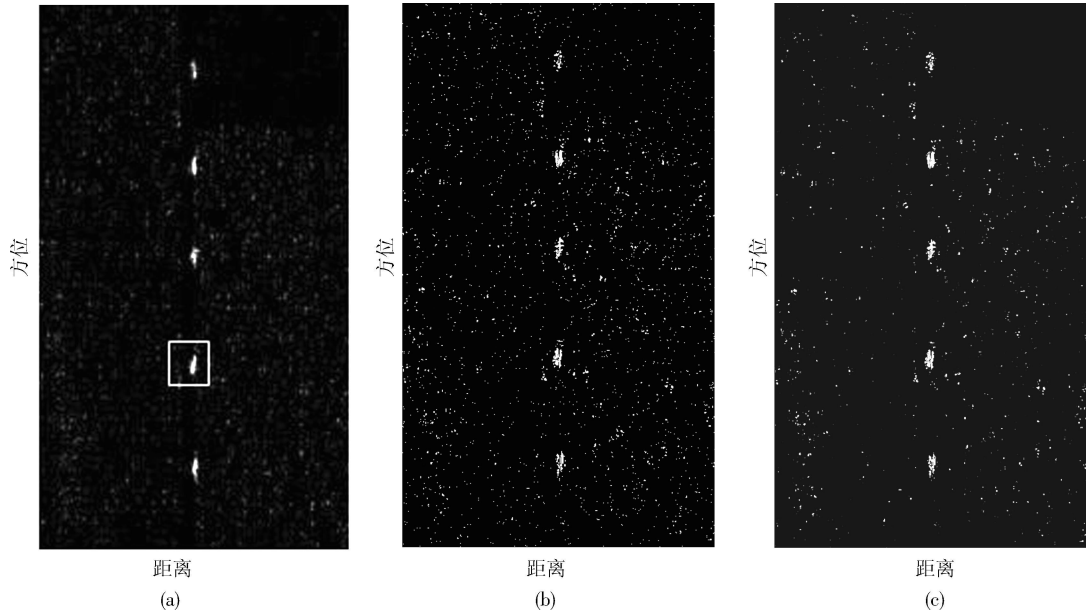


图 2 基于一幅实际 UW B SAR 图像的多分辨率特征提取
(a) 原始图像; (b) 二维 GLR 矩阵图像; (c) 掩膜图像

Fig 2 Multiresolution feature extraction based on a factual UW B SAR image
(a) Original image (b) 2 D GLR matrix image (c) Weighted image

由图 3 可以看出,对于相同的虚警概率,经三种 GLR 矩阵掩膜后的目标,经 CFAR 检测后保留的像素点个数均大于掩膜前,且二维 GLR 对原始图像信杂比的改善性能明显优于两种一维 GLR,这充分说明利用多分辨率特征能有效提高 UW B SAR 图像的信杂比,也证明了二维 GLR 的稳健性。

4 结 论

鉴于目前文献中关于多分辨率特征的讨论多

数针对高频 SAR 进行,本文研究了多分辨率特征在 UW B SAR 目标检测中的应用,考虑 UW B SAR 超宽带工作体制及树干杂波背景的特殊性,本文分析了 UW B SAR 图像中目标像素值和杂波像素值随分辨率变化呈现的不同振荡特性,并在此基础上采用了两种一阶 AR 模型对多分辨率序列进行描述,通过两种 AR 模型中系数和残差分布的不同来表征目标与杂波的区别,提出了 GLR 的二维计算方法,大大提高了多分辨率特征提取的稳健性,文章最后基于实际 UW B SAR 图像进行了多分

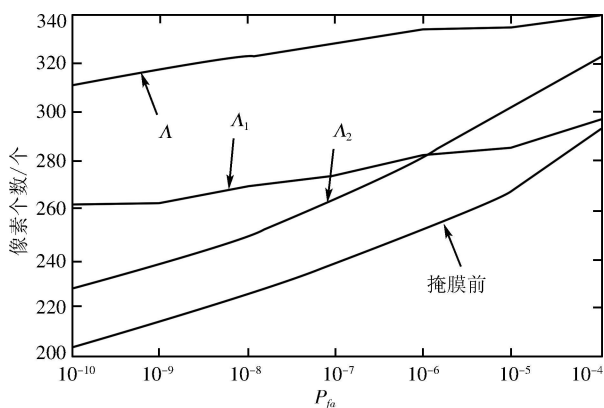


图 3 CFAR检测后目标保留像素点
个数随虚警率变化曲线

Fig 3 The reserved pixel numbers of the target with the
change of the false alarm probability after CFAR detection

分辨率特征提取试验,试验结果表明:利用多分辨率特征可明显增强图像信杂比,进而提高 UWB SAR 目标检测效果。

参考文献 (References)

- [1] Novak L M, Halversen S D, Owirka G, et al Effect of Polarization and Resolution on SAR ATR [J]. IEEE Trans on AES, 1997, 33 (1): 102—115.
- [2] Kapoor, Banerjee, Tshirintzis Nandhakumar UWB Radar Detection of Targets in Foliage Using Alpha Stable Clutter Models [J]. IEEE Trans on AES, 1999, 35 (3): 819—834.
- [3] Novak L M, Burl M C, Irving W W. Optimal Polarimetric Processing for Enhanced Target Detection [J]. IEEE Trans on AES, 1993, 29 (1): 234—244.
- [4] Marc L, Jean F G. Polarization study for Better Classification [A]. SPIE Conference Radar Processing on Technology and Applications [C]. 1999, 3810 (19): 180—190.
- [5] Allen, Jauregui Hoff FOPEN SAR Detection by Direct Use of Simple Scattering Physics [A]. IEEE International Radar Conference [C]. 1995.
- [6] Jiang Y M, Liang D N. A Physics Based UWB FOPEN SAR Man Made Target Detector [A]. Proceedings of ICSP [C]. 1998, 2: 1465—1468.
- [7] Subotic N S, Collins L M, Goman J D, et al A Multiresolution Approach to Target Detection in Synthetic Aperture Radar Data [A]. The 28th Asilomar Conference [C]. 1994, 1: 122—126.
- [8] Subotic N S, Collins L M, Reiley M F, et al Multiresolution Generalized Likelihood Ratio Detection Approach to Target Screening in Synthetic Aperture Radar Data [A]. SPIE Algorithms for Synthetic Aperture Radar Imagery II [C]. 1995, 2487: 226—234.
- [9] Irving W W, Novak L M, Willsky A S A Multiresolution Approach to Discrimination in SAR Imagery [J]. IEEE Trans on AES, 1997, 33 (4): 1157—1169.
- [10] Subotic N S, Thelen B J, Goman J D, et al Multiresolution Detection of Coherent Radar Targets [J]. IEEE Trans on image processing, 1997, 6 (1): 21—35.
- [11] Zhou Z M, Huang X T. Penetration Performance Analysis of VHF/UHF Ultra Wideband Synthetic Aperture Radar [J]. Systems Engineering and Electronics, 2003, 25 (11): 1136—1140.
- [12] 周智敏, 黄晓涛. VHF/UHF超宽带合成孔径雷达穿透性能分析 [J]. 系统工程与电子技术, 2003, 25 (11): 1136—1140.]
- [13] Huang P K, Lin G S, Fan Z F, et al Radar Target Signature [M]. Beijing: Astronautics Publishing House, 1993, Chapter 5: 168—215. [黄培康, 林桂森, 樊正芳等. 雷达目标特征信号 [M]. 北京: 宇航出版社, 1993, 第五章: 168—215.]
- [14] Yan S J. Probability Theory. Beijing: Science Press, 1999, Chapter 8: 452—466. [严士健. 概率论基础 [M]. 北京: 科学出版社, 1999, 第八章: 452—466.]
- [15] Basseville M, Benveniste A, Chou K C, et al Modeling and Estimation of Multiresolution Stochastic Processes [J]. IEEE Trans on Information Theory, 1992, 38 (2): 766—784.
- [16] Su J H. Probability and Statics [M]. Shanghai: Shanghai University of Finance and Economics Press, 2005, Chapter 8: 245—278. [苏均和. 概率论与数理统计 [M]. 上海: 上海财经大学出版社, 2005, 第八章: 245—278.]

A 2 D GLR Target Detection Approach of UW B SAR Based on Multi resolution Feature

YANG Zhi guo, HUANG X iao tao, ZHOU Zhimin

(School of Electronic Science and Engineering, National University of Defense Technology, Hunan Changsha 410073, China)

Abstract There are many features used to distinguish target from clutter in Synthetic Aperture Radar (SAR) target detection, such as amplitude feature, polarimetric feature, azimuthal feature, multi resolution feature. There are many reports about the first three features, but there are very few reports about the development of multi resolution feature. The approaches proposed in concerned references are effective to improve the performance of SAR target detection. But most of them discuss the multi resolution feature for target detection of high frequency SAR, so the proposed approaches are commonly suitable for the target detection of high frequency SAR. Ultra Wide Band Synthetic Aperture Radar (UWB SAR) can be used to detect the concealed targets because it works at low frequency, and the corresponding detection background is the strong clutter produced by trunks. The application of multi resolution feature in UWB SAR target detection are analyzed, and the approaches suitable for UWB SAR target detection are proposed. In this paper, we establish the equivalent models of target and trunk clutter in UWB SAR images according to electromagnetic scattering theory based on the particularity of UWB SAR operation system. The differences between target and trunk clutter under different multi resolution are analyzed from UWB SAR image. The analysis supplies a key basis for the extraction of multi resolution feature in UWB SAR images. Two forms of first order Auto Regression (AR) model are used to deal with the multi resolution sequences. In the first AR model, we discuss its statistic distribution of residual to represent the differences between target and trunk clutter. In the second AR model, we discuss its statistic distribution of coefficient to represent the differences between target and trunk clutter. In two forms of first order AR model, the corresponding definitions of Generalized Likelihood Ratios (GLR) are given. The definition of 2 D GLR is proposed based on two forms of AR model. The performance of the 2 D GLR is more robust in the multi resolution feature extraction because it integrates two forms of first order AR model. The three steps of 2 D GLR calculation based on UWB SAR image are given: 1) generating multi resolution image sequences; 2) training statistic model; 3) calculating 2 D GLR. The multi resolution feature extraction experiment is accomplished in an actual UWB SAR image for the two 1 D GLRs and the 2 D GLR proposed in this paper. The results of the experiment show that the multi resolution features corresponding to the proposed three GLRs can all be used to improve the signal clutter ratio (SCR) of the original image effectively, and the performance of the 2 D GLR is better than the two 1 D GLRs.

Key words UWB SAR; target detection; multi resolution; Auto Regression (AR); generalized likelihood ratio (GLR)