

# SAR 图像局部窗口 K-分布目标检测算法<sup>1</sup>

种劲松 朱敏慧

(中国科学院电子学研究所微波成像技术国家重点实验室 北京 100080)

**摘要** 该文分析了双参数 CFAR 算法和 K-分布 CFAR 算法的特点, 将双参数 CFAR 算法局部窗口的概念应用到 K-分布 CFAR 检测中, 适应了 SAR 图像海面背景复杂且局域性强的情况, 获得了较好的检测效果。

**关键词** 目标检测, 恒虚警算法, 合成孔径雷达, K-分布

**中图分类号** TN951, TN911.73

## 1 引言

利用合成孔径雷达 (SAR) 图像进行舰船检测在海洋遥感领域得到高度重视, 已经成为 SAR 数据重要的海洋应用之一。SAR 图像上舰船目标与背景有着各种不同的对比度, 因此不能简单地使用常数阈值来检测舰船目标, 需要具有自适应能力的检测算法, 同时保持恒定的虚警率 (CFAR)。在 SAR 图像舰船目标检测方面的研究很多, 大多数研究集中在双参数 CFAR 方法<sup>[1-3]</sup> 和基于 K-分布的 CFAR 方法<sup>[4-6]</sup>。

双参数 CFAR 目标检测算法基于背景杂波服从高斯分布的假设<sup>[7]</sup>, 并使用局部滑动窗口以适应背景杂波的局部性变化。但双参数 CFAR 方法的高斯分布模型不适于描述海面杂波, 大多数情况下海杂波呈现出一种长拖尾形状分布特征, 使用 K-分布模型能更好地描述草地等地杂波以及尖海杂波<sup>[8]</sup>。

K-分布有着完整的理论基础, 提供了准确的背景海杂波分布模型。基于 K-分布 CFAR 算法大多用于研究 RADARSAT 图像<sup>[4-6]</sup>, 但由于 RADARSAT 卫星成像特点, 其图像海面杂波简单<sup>[4]</sup>, K-分布 CFAR 算法通常事先对背景图像进行统计, 得到全局性检测阈值, 因此该算法对背景局部变化复杂的海面雷达图像适应能力较差。

鉴于上述两种方法各有特点, 本文采用了双参数 CFAR 算法的局部滑动窗口概念, 将其结合到 K-分布 CFAR 算法中, 并应用于 SAR 图像的海面目标检测。

## 2 基于局部窗口的 K-分布 CFAR 算法

本文的方法使用局部滑动窗口对每个图像像素进行检测, 滑动的背景窗口采用 K-分布模型计算目标检测阈值。

设  $X_T$  为待检测像素, 应用双参数 CFAR 检测方法中局部窗口的概念, 在它周围定义了两个局部滑动窗口: 保护窗口和背景窗口, 参见图 1。背景窗口用于背景杂波统计, 从而计算出目标检测阈值。使用保护窗口的目的是防止目标像素泄露到背景窗口而影响背景杂波统计的正确性。因此, 背景窗口为图 1 中阴影所示的环状区域。

两个滑动窗口均为正方形, 窗口尺寸根据经验选取。一般保护窗口的边长取为图像中大型舰船目标尺寸的 2 倍。

对于图像中每个待检测像素  $X_T$ , 执行以下算法步骤:

第 1 步 对背景窗口中的像素观测强度进行统计计算, 分别求出均值和方差的估计值:

$$E(x) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (1)$$

$$\text{Var}(x) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2 - \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \right)^2 \quad (2)$$

<sup>1</sup> 2002-05-08 收到, 2002-09-22 改回

微波成像技术国家重点实验室基金 (51442020301ZS2002)

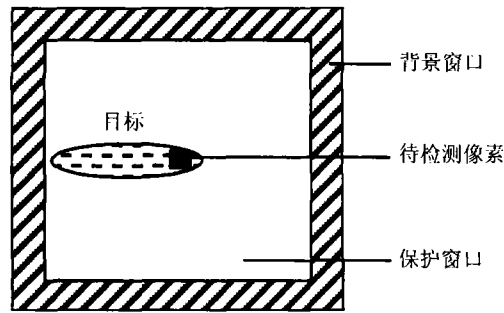


图 1 目标检测中滑动窗口的设置

式中  $x_i$  为像素观测强度,  $N$  为背景窗口的像素总数.

第 2 步 计算 K-分布概率密度函数的均值和形状参数

SAR 图像海面杂波观测强度的 K-分布概率密度函数为<sup>[9]</sup>

$$p(x) = \{2/[x\Gamma(v)\Gamma(L)]\}[Lv x/\mu]^{(L+v)/2} K_{v-L} \left[ 2\sqrt{Lv x/\mu} \right] \quad (3)$$

其中  $x$  为观测强度 ( $x > 0$ ),  $\mu$  为均值,  $v$  为形状参数,  $L$  为 SAR 图像视数,  $\Gamma$  为 Gamma 函数,  $K_{v-L}$  为  $v-L$  阶修正的贝塞尔函数.

K-分布的形状参数与均值、统计方差之间的关系为<sup>[9]</sup>

$$\text{Var}(x) = [(1 + 1/v)(1 + 1/L) - 1]\mu^2 \quad (4)$$

因此, 根据第 1 步计算结果可以容易获得 K-分布均值和形状参数, 即用 (1), (2) 式得到估计值分别作为 K-分布的均值和方差, 并代入 (4) 式可反解出形状参数, 这样也就得到了 K-分布的完整数学表达.

第 3 步 求解虚警概率方程, 计算目标检测阈值

根据第 2 步得到的 K-分布概率密度函数, 求解虚警概率方程:

$$1 - P_{fa} = \int_0^{I_c} p(x) dx \quad (5)$$

即可得到检测阈值  $I_c$ . (5) 式中  $P_{fa}$  为虚警概率, 通常选为  $10^{-7}$  到  $10^{-9}$ .

为了求解虚警概率方程 (5) 式, 需要对 (3) 式进行积分计算求 K-分布的分布函数  $F(x)$ . 由于直接积分运算十分复杂, 通常使用文献 [6] 给出的以下近似公式:

$$F(x) = \int_0^x p(\tau) d\tau = \frac{\lambda + \alpha - 1}{(\lambda - \alpha + 1)(\lambda + \alpha + 1)} t^{\lambda+1} K_\alpha(t) {}_1F_2 \left[ 1; \frac{\lambda - \alpha + 3}{2}, \frac{\lambda + \alpha + 1}{2}; \frac{t^2}{4} \right] \\ + \frac{1}{(\lambda - \alpha + 1)(\lambda + \alpha + 1)} t^{\lambda+2} K_{\alpha-1}(t) {}_1F_2 \left[ 1; \frac{\lambda - \alpha + 3}{2}, \frac{\lambda + \alpha + 3}{2}; \frac{t^2}{4} \right] \quad (6)$$

其中  $t = 2\sqrt{Lv x/\mu}$ ,  $\alpha = v - L$ ,  $\lambda = v + L - 1$ ,  ${}_1F_2(a; b, c; z) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\Gamma(b)\Gamma(c)\Gamma(a+k)}{\Gamma(a)\Gamma(b+k)\Gamma(c+k)} \frac{z^k}{k!}$  为广义超几何函数.

第 4 步 目标检测判决

根据第 3 步求得的检测阈值  $I_c$ , 判断待检测像素  $X_T$  是否为目标像素. 目标检测判决准则为

$$X_T \stackrel{\geq}{\leq} I_c \quad (7)$$

当  $X_T > I_c$  时, 判定为目标;  $X_T \leq I_c$  时, 判定为背景。

### 3 实验结果及分析

实验对象选自 ERS-2 图像和 RADARSAT 图像, 对它们分别使用双参数 CFAR 算法、K-分布 CFAR 算法以及本文算法进行舰船目标检测, 其中双参数 CFAR 算法判决准则中标称化因子取为 5, K-分布 CFAR 算法以及本文算法中虚警概率  $P_{fa}$  均取为  $10^{-8}$ 。

图 2(a) 为 ERS-2 原始图像, 图 2(b) 为使用双参数 CFAR 算法检测结果, 图 2(c) 为使用 K-分布 CFAR 算法检测结果, 图 2(d) 为使用为本文算法的检测结果。图 3(a) 为 RADARSAT 原始图像, 图 3(b) 为使用双参数 CFAR 算法检测结果, 图 3(c) 为使用 K-分布 CFAR 算法检测结果, 图 3(d) 为使用本文算法的检测结果。图中方框为正确检测目标, 圆圈中为虚警目标。

为衡量检测效果, 定义检测的品质因数  $FoM^{[5]}$ ,  $FoM = \frac{N_{tt}}{N_{fa} + N_{gt}}$ , 其中  $N_{tt}$  为检测结果中正确的检测目标数,  $N_{fa}$  为虚警目标数,  $N_{gt}$  为实际目标数。图 2(a) 中有 2 只舰船, 因此实际目标数  $N_{gt}$  为 2。图 3(a) 中有 3 只舰船, 因此实际目标数  $N_{gt}$  为 3。

表 1 和表 2 分别列出了 ERS-2 图像和 RADARSAT 图像使用 3 种方法的指标对比。

从表 1 可以看出, ERS-2 图像使用 K-分布 CFAR 算法的虚警目标较多, 原因是 ERS 图像海面上油膜污染以及舰船尾迹清晰可见, 因此海面背景复杂并具有较强的局域性质, 不适合使用相同阈值。双参数 CFAR 算法也存在虚警目标, 主要是由于分布模型不合适。而将双参数 CFAR 算法的局部窗口与 K-分布统计描述相结合的本文算法得到了最好的效果。

从表 2 可以看出, RADARSAT 图像使用 K-分布 CFAR 算法与本文算法均达到最好效果, 这是因为 RADARSAT 卫星图像海面背景杂波简单, 完全适用于 K-分布 CFAR 算法。

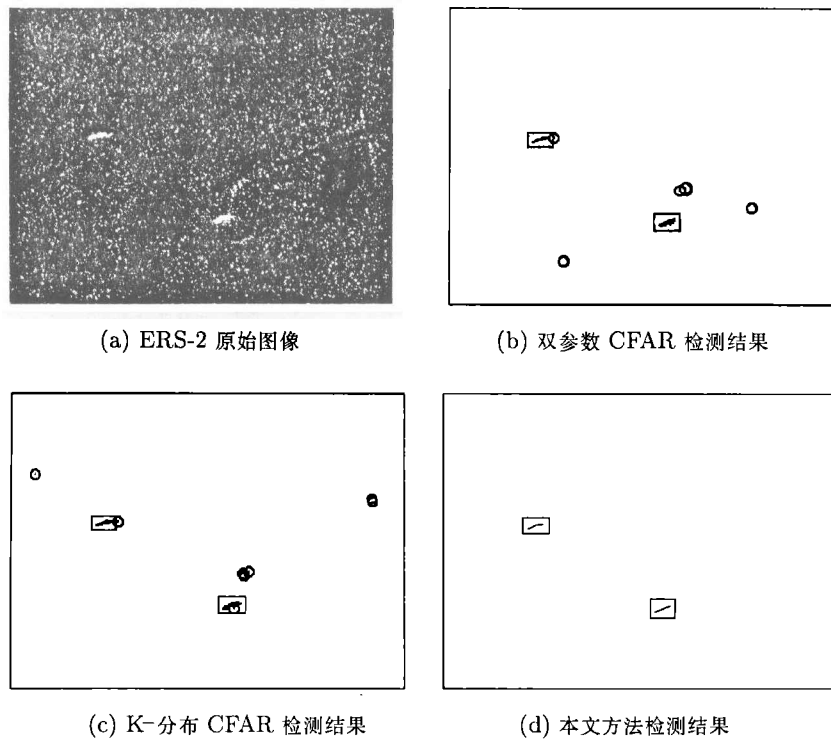


图 2 ERS-2 原始图像及不同方法对应的检测结果

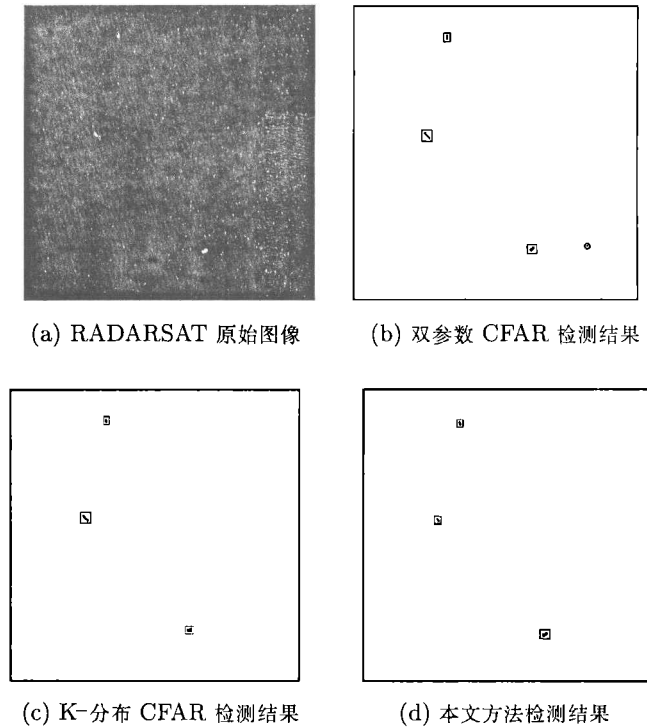


图 3 RADARSAT 原始图像及不同方法对应的检测结果

表 1 ERS-2 图像 3 种方法检测指标

	漏检目标数	正确的检测目标数 $N_{tt}$	虚警目标数 $N_{fa}$	品质因数 FoM
双参数 CFAR 算法	0	2	5	0.28
K-分布 CFAR 算法	0	2	8	0.20
本文算法	0	2	0	1.00

表 2 RADARSAT 图像 3 种方法检测指标

	漏检目标数	正确的检测目标数 $N_{tt}$	虚警目标数 $N_{fa}$	品质因数 FoM
双参数 CFAR 算法	0	3	1	0.75
K-分布 CFAR 算法	0	3	0	1.00
本文算法	0	3	0	1.00

#### 4 结 论

本文将局部滑动窗口概念引入到基于 K-分布的 CFAR 方法之中, 使得目标检测阈值为局部阈值, 较好地适应了 SAR 海面图像背景复杂且局域性强的情况, 获得了较好的检测效果。实验说明, 将本文算法应用于海面背景复杂的 ERS 图像效果较好, 对于具有简单海面背景的 RADARSAT 图像则与 K-分布 CFAR 算法效果相同。

#### 参 考 文 献

- [1] K. Eldhuset, An automatic ship and ship wake detection system for spaceborne SAR images in coastal regions, IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing, 1996, 34(4), 1010-1019.
- [2] D. Cassent, *et al.*, SAR ship detection using new conditional contrast box filter, SPIE, 1999, Vol. 3721, 274-284.

- [3] C. C. Wakerman, *et al.*, Automatic ship detection of ships in RADARSAT SAR imagery, *Canadian Journal of Remote Sensing*, 2001, 27(5), 371-378.
- [4] P. W. Vachon, Ship detection by the RADARSAT SAR: Validation of detection model predictions, *Canadian Journal of Remote Sensing*, 1997, 23(1), 48-59.
- [5] N. Robertson, *et al.*, Ship surveillance using RADARSAT ScanSAR images, *Ship Detection in Coastal Waters Workshop 2000*, NS, Canada, 31May, 1&2 June, 2000, 41-45.
- [6] Qingshan Jiang, *et al.*, Automatic detection for ship targets in RADARSAT SAR images from coastal regions, *Vision Interface'99*, Trois-Tivières, Canada, May 1999, 131-137.
- [7] L. M. Novak, *et al.*, Effects of polarization and resolution on SAR ATR, *IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems*, 1997, 33(1), 102-115.
- [8] 何友, 关键, 彭应宁, 陆大铨著, 雷达自动检测与恒虚警处理, 北京, 清华大学出版社, 1999, 第八章.
- [9] C. Oliver, *et al.*, *Understanding Synthetic Aperture Radar Images*, London, Artech House Inc., 1998, Chapter 5.

## TARGET DETECTION ALGORITHM OF SAR IMAGE BASED ON LOCAL WINDOW K-DISTRIBUTION

Chong Jinsong     Zhu Minhui

*(National Key Laboratory of Microwave Imaging Technology,  
Institute of Electronics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)*

**Abstract** The characteristics of two parameter CFAR algorithm and  $K$ -distribution CFAR algorithm are analyzed. The local window concept of two parameter CFAR is applied to  $K$ -distribution CFAR. This method can adapt to the complicated and strong local sea background of SAR imagery and can obtain better results.

**Key words** Target detection, Constant False Alarm Rate(CFAR) algorithm, Synthetic Aperture Radar (SAR),  $K$ -distribution

种劲松: 女, 1969年生, 副研究员, 博士, 从事遥感图像处理与模式识别的研究.  
朱敏慧: 女, 1943年生, 研究员, 博士生导师, 从事信号与信息处理方面的研究.