

SAR 图像序列目标检测方法

王义敏, 安锦文, 秦永元

(西北工业大学自动化学院, 西安 710072)

摘要: 提出一种合成孔径雷达(SAR)图像序列目标检测方法, 采用最大后验概率准则完成第1帧 SAR 图像的目标提取, 同时获得所需参数向量。在此基础上, 对图像进行目标检测, 利用前一帧图像的目标检测信息和参数向量, 实现后一帧图像的目标检测, 并对 SAR 图像杂波数据的参数向量进行修正。仿真实验结果说明, 该方法具有良好的目标分割性能。

关键词: SAR 图像序列; 混合高斯分布; 最大后验概率; 目标检测

Target Detection Method in SAR Images Series

WANG Yi-min, AN Jin-wen, QIN Yong-yuan

(College of Automation, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072)

[Abstract] A target detection method in SAR images series is proposed. The first frame SAR image is segment by using Maximum A Posteriori(MAP) rules, in which the paramount is got. On this basis, the image is detected. The latter frame image is detected with the information and paramount vector got in former one. The paramount vector of the pigeons data is modified. Simulation experiental results show this method has better performance of target segmentation.

[Key words] SAR images series; mixture Gaussian distribution; Maximum A Posteriori(MAP); target detection

1 概述

作为主动寻的探测设备, 合成孔径雷达(Synthetic Aperture Radar, SAR)以其独特的优势: (1)图像分辨率与作用距离(大于 100 km)无关; (2)强穿透性而形成目标物的高清晰度图像, 在军事和民用上得到广泛应用。国外尤其是美国已将 SAR 用于各种目标侦察设备, 并列为基准的成像手段, 以获取大量有价值的目标信息。

由于 SAR 成像本身的特殊性, SAR 图像呈现出一种非直观和大量信息的冗余(针对军事目标侦察而言尤为突出), 而 SAR 图像的分辨力与作用距离无关, 随观测区域的广度和深度的加深, 如何准确描述海量 SAR 图像背景杂波的统计特性, 并从获取的 SAR 图像中快速检测出需要的目标信息成为对 SAR 图像进行有效描述和解释的重要研究课题。

本文根据序列 SAR 图像的特点, 基于简单原则, 在选取混合 Gaussian 分布实现对 SAR 图像数据杂波的描述的基础上, 运用 MAP 准则获取所需要的参数向量, 作为起始序列帧的目标检测的依据, 并以此作为序列的起始参数向量完成后续图像帧的检测, 同时在对图像分割的过程中修正参数向量, 依次类推, 实现对 SAR 序列帧图像的分割。为验证算法的准确性, 对于序列每帧 SAR, 运用最大后验概率(Maximum A Posteriori, MAP)^[1]方法对提取出的每帧进行分割, 对两者的结果进行比较, 实验结果表明, 该方法是有效的。

2 SAR 图像的数据模型

2.1 SAR 图像数据的统计模型

在对 SAR 图像杂波统计特性的分析中, 有高斯分布和非高斯分布(Gamma 分布^[2]、K-分布^[3]、Wishart 分布^[4]等数学模型), 本文选取相对简单实用的混合高斯分布模型。

对任意一幅 SAR 图像, 可用 $h(x)$ 表示图像上某一像素灰度出现的频度。其中, $x \in Gl_x$, Gl_x 表示图像的灰度范围。

当一幅图像包含至少一个对象/区域时, 其对应的直方图呈现出一种多峰状态。对具有 M 个目标/区域的 SAR 图像而言, 可将其直方图作归一化处理为 $h_c(x)$, 满足 $\sum_{x=0}^{L-1} h_c(x) = 1$, $x \in Gl_x$, 且 $h_c(x) \geq 0$ 。因此, 可用 $H(x)$ 表示为

$$H(x) = \sum_{j=1}^M w_j P_j(x/\theta_j) \quad (1)$$

其中, $w_j \geq 0$, 且 $\sum_{j=1}^M w_j = 1$, 表示某一子类的权系数; $P_j(x/\theta_j)$ 是第 j 个以 $\theta_j = (\mu_j, \sigma_j)$ 为参数的高斯分布函数, 表示该子类的概率密度分布; μ_j, σ_j 分别为相应的均值和标准方差。

2.2 MAP 原理

基于图像的目标检测主要是对图像像素进行分类, 即将不同的图像像素划分为不同的类的过程。对任意一幅 SAR 图像, 设 SAR 图像像素划分为不同类的先验条件概率对背景(b)、目标(tar)及其阴影(sh)区域分别为 $P(c_i = b)$, $P(c_i = tar)$, $P(c_i = sh)$, 且 $P(c_i = b) + P(c_i = tar) + P(c_i = sh) = 1$ 。给定类的概率密度函数为: $P(x_i = x | c_i = c)$, 其中, $c = \{b, tar, sh\}$ 。根据 Bayes 准则, 给定像素属于某一类的归一化后验概率:

$$P(c_i = c | x_i = x) = \frac{P(x_i = x | c_i = c)P(c_i = c)}{\sum_{i=1}^M P(x_i = x | c_i = c)P(c_i = c)} \quad (2)$$

其中, $P(x_i = x | c_i = c)$ 是估计的灰度分布密度函数。MAP 分类的准则为

$$c_i = \arg \max P(c_i = c | x_i = x) \quad (3)$$

即

作者简介: 王义敏(1968-), 男, 博士, 主研方向: 导航制导与控制; 安锦文、秦永元, 教授、博士生导师

收稿日期: 2009-03-10 **E-mail:** mywhyah@126.com

$$\frac{P(x_i = x | c_i = c)P(c_i = c)}{P(x_j = x | c_j = c)P(c_j = c)} \geq 1, \quad i \neq j \quad (4)$$

其中, $c = \{target, shadow, background\}$ 。从而有:

$$\frac{P(x_i = x | c_i = c)}{P(x_j = x | c_j = c)} \geq \frac{P(c_j = c)}{P(c_i = c)} = T_{ij} \quad (5)$$

2.3 图像序列检测算法

对 SAR 图像序列目标检测的步骤如下:

(1)运用 MAP 方法,获取 SAR 图像杂波数据的统计模型参数向量,同时完成第 1 帧图像的目标分割。

(2)根据获取的模型参数向量,完成下一帧图像的分割,并计算所分割后新的模型参数向量,完成对模型参数向量的修正,计算图像的多模态灰度分割阈值。

(3)重复第(2)步,直至结束。

3 仿真实验和结果分析

在计算机仿真实验中,选取美国 Sandia 国家实验室提供的在不同方位角下所成的太阳能塔机载 SAR 条带图像序列,雷达波段为 Ku 波段,采用聚束 SAR 成像。

从这些序列中截取连续 12 幅 SAR 图像进行分析仿真,图 1 是选取的其中 4 幅 SAR 图像帧。图 2 为本文方法与 MAP 方法的 Shannon 目标熵随灰度级变化的比较结果。

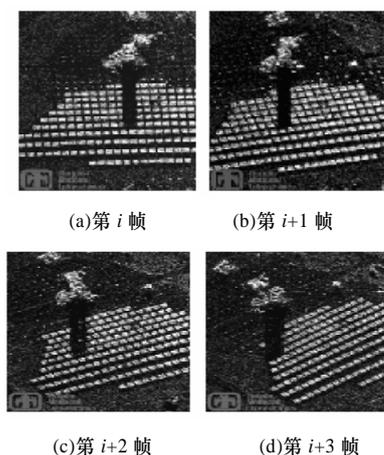


图 1 序列 SAR 图像中的连续 4 帧

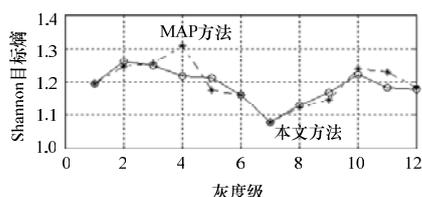


图 2 2 种方法的目标熵变化曲线

需要指出的是,按照 Shannon 熵函数的定义,各个分割区域的熵为

$$E = - \sum_{i \in L} p_i \ln p_i \quad (6)$$

其中, p_i 表示灰度级 i 在每一小块分割区域中出现的频度; L 表示分割区域中像素的灰度级。

运用 2 种不同方法对 SAR 图像序列的目标检测和分割结果进行比较分析,有如下结论:

(1)2 种方法的仿真结果吻合,在对连续 12 帧 SAR 序列图像的目标检测中,MAP 方法 Shannon 熵的均值为 1.195 1,而本文方法 Shannon 熵的均值为 1.185 8,但本文方法目标 Shannon 熵的变化相对稳定。

(2)在对同一区域的 SAR 图像序列的目标信息检测中,在未知 SAR 图像中各个目标组分的先验概率条件下,可以利用前一序列的检测结果获得相应的先验概率分布及其参数向量,以此学习获得的统计分布参数向量作为下一序列 SAR 图像目标检测时的参数向量,由此引起的分割结果具有良好的稳定性。

4 结束语

本文提出一种对高分辨 SAR 序列图像进行分割和目标检测的方法。

仿真结果表明,与 MAP 方法相比,该算法不仅具有 MAP 算法在目标检测方面的稳定性,而且具有相对较好的快速性,在对海量 SAR 图像序列的目标检测中具有明显的优势和应用潜力。

参考文献

- [1] Steven H. Knowledge-based Segmentation of SAR Data with Learned Priors[J]. IEEE Trans. on Image Processing, 2000, 9(2): 299-301.
- [2] Shyam K. Statistical Modeling and Analysis of High-resolution Synthetic Aperture Radar images[J]. Statistics and Computing, 2000, 10(2): 133-145.
- [3] Edmond N. Supervised Classification of K-distributed SAR Images of Natural Targets and Probability of Error Estimation[J]. IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing, 1996, 34(5): 1233-1242.
- [4] Knut C. A Test Statistic in the Complex Wishart Distribution and Its Application to Change Detection in Polarimetric SAR Data[J]. IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing, 2003, 41(1): 4-19.

编辑 陈文

(上接第 214 页)

参考文献

- [1] Elad M. Resolution of Single Super Resolution Image from Several Blurred, Noisy and Undersampled Measured Images[J]. IEEE Trans. on Image Processing, 1997, 6(12): 1646-1658.
- [2] Giannis K. Super Resolution Based on Fast Registration and Maximum a Posteriori Reconstruction[J]. IEEE Trans. on Image Processing, 2007, 16(7): 1821-1829.
- [3] Elad M. A Fast Super Resolution Reconstruction Algorithm for Pure Translational Motion and Common Space Invariant[J]. IEEE Trans. on Image Processing, 2001, 10(8): 1187-1193.
- [4] Arie F. Super Resolution Restoration of an Image Sequence: Adaptive Filtering Approach[J]. IEEE Trans. on Image Processing, 2007, 8(3): 387-394.

编辑 陈文