

基于ICA和SNF的SAR机场目标提取

王 栋¹, 陈映鹰^{1,2}, 秦 平³

(1. 同济大学测量与国土信息工程系, 上海 200092; 2. 同济大学遥感空间信息技术研究中心, 上海 200092;

3. 国家海洋局东海预报中心, 上海 200082)

摘要:针对合成孔径雷达(SAR)影像相干斑噪声强烈且分布形式及参数获取困难的问题,提出一种基于独立分量分析(ICA)和序列非线性滤波(SNF)实现多极化 SAR 影像相干斑噪声抑制和机场目标快速提取方法。利用 ICA 从多极化 SAR 影像中自动分离出图像数据与相干斑噪声,自动选择相干斑指数最小的分量为图像分量。通过 SNF 从分离出的图像分量中提取出机场目标。采用 ENVISAT ASAR 多极化影像进行实验,结果表明该方法能快速准确地提取多极化 SAR 影像中的机场目标。

关键词:极化合成孔径雷达影像; 机场目标; 自动识别; 独立分量分析; 序列非线性滤波

Airport Objects Extraction from SAR Based on ICA and SNF

WANG Dong¹, CHEN Ying-ying^{1,2}, QIN Ping³

(1. Dept. of Surveying and Geo-informatics, Tongji University, Shanghai 200092; 2. Research Center for Remote Sensing and Spatial Information, Tongji University, Shanghai 200092; 3. East China Sea Marine Prediction Center, State Bureau of Oceanic Administration, Shanghai 200082)

【Abstract】 A new method is proposed for speckle noise suppression and airport objects extracting from SAR imagery based on Sequential Nonlinear Filtering(SNF) and Independent Component Analysis(ICA). Speckle noise and image data are separated from multi-polarimetric imagery, and the components with the least speckle index are chosen as the object component automatically by means of ICA. Airport objects are extracted from the separated object component imagery based on sequential nonlinear filtering. Using ENVISAT ASAR polarimetric imagery, experimental results show that the proposed method can extract airport objects rapidly and accurately.

【Key words】 polarimetric SAR imagery; airport objects; automatic recognition; Independent Component Analysis(ICA); Sequential Nonlinear Filtering(SNF)

1 概述

合成孔径雷达(SAR)不受天气和气候的影响,能有效揭示地貌结构和地面伪装,目前已经在国民经济和军事领域得到广泛应用。在导弹制导等军事应用中,为了实现参考图与实时图的匹配,需要提取 SAR 影像中机场、水体、道路等典型目标以生成匹配参考图。

SAR 影像由于其固有的相干成像特性,具有强烈的相干斑噪声,严重影响了后续目标检测、分类和识别。国内外的研究者对雷达图像斑点噪声的抑制方法做了大量研究工作^[1-3]。经典的滤波器处理后图像上会存在严重的边缘模糊现象;统计特性的滤波器在一定程度上改善了图像的噪声影响,但需要估计 SAR 斑点噪声模型的分布参数。独立分量分析(Independent Component Analysis, ICA)方法具有良好的信号分离性能,并且对源信号所需要的先验知识极少,源信号只要为非高斯分布即可,而无需估计其具体分布形式及参数。

针对客观实际中信号多为非高斯分布且具体分布一般难以获取的情况,ICA 更加有利于解决实际问题。近年来,ICA 方法在遥感信息处理领域得到了广泛的应用^[4-6]。本文提出一种基于 ICA 和序列非线性滤波(Sequential Nonlinear Filtering, SNF)快速提取 SAR 影像中机场目标的方法,作为快速生成匹配参考图的有效数据源。

2 ICA 原理

ICA 最初是用来解决盲信号分离(BSS)问题,即在对多传

递信道未知的情况下实现多个信号源的分离。其算法模型可表述为^[7]

$$\begin{cases} x = As \\ y = Wx \end{cases} \quad (1)$$

其中, $s = [s_1, s_2, \dots, s_N]^T$ 为 N 个相互独立的源信号, $x = [x_1, x_2, \dots, x_M]^T$ 为 s 经混合矩阵 A 线性混合后 M 个观测信号, $y = [y_1, y_2, \dots, y_N]^T$ 为经分离矩阵 W 分离后的 N 个相互独立的对源信号 s 的估计。

ICA 的基本思想是将多维观测信号按统计独立的原则建立目标函数,通过优化算法将观测信号分解为多个独立分量。根据中心极限定律,多个独立源的混合信号比源信号更接近于高斯分布;同时由信息论熵极大定理,高斯分布在所有具有相同协方差的分布中具有最大的熵。可以使用非高斯性作为分离信号之间的独立性测度,并以负熵(Negentropy) $J(x)$ 表示一个分布与高斯分布之间信息熵的偏离程度,即分布的非

基金项目:国家“863”计划基金资助项目“特大城市中心密集区复杂地物群信息的自动提取与定量分析技术”(2007AA12Z178);“十一五”国家科技支撑计划基金资助项目“村镇信息快速采集与处理关键技术研究”(2006BAJ09B01)

作者简介:王 栋(1975-),男,博士研究生,主研方向:摄影测量与遥感,SAR 影像信息提取与识别;陈映鹰,教授、博士生导师;秦 平,硕士

收稿日期:2009-05-20 **E-mail:** ridgewang@gmail.com

高斯性：

$$J(x)=H(x_{gauss})-H(x) \quad 0 \quad (2)$$

其中, x_{gauss} 是与 x 具有相同协方差的一个高斯随机变量; $H(\cdot)$ 为随机变量的熵。

随着 ICA 算法性能、速度的改进, 尤其是 FastICA 快速算法提出后, ICA 算法的效率有了很大提升。FastICA 方法采用基于最大熵原理的负熵近似来表征非高斯性^[7]：

$$J(x) \propto [E\{G(x)\} - E\{G(v)\}]^2 \quad (3)$$

其中, v 为零均值、单位方差的高斯随机变量; $G(\cdot)$ 为非二次函数, 可选择：

$$G(u) = \frac{1}{4}u^4$$

其中, $g(\cdot)$ 为 $G(\cdot)$ 的导函数, 即：

$$g(u) = u^3, \quad g'(u) = 3u^2。$$

根据 Kuhn-Tucker 条件, 可得到分离矩阵 W 的迭代公式：

$$W_{k+1} = E\{zg(W_k^T z)\} - E\{g'(W_k^T z)\}W_k \quad (4)$$

其中, z 为去均值和白化处理后的观测向量。根据式(4)迭代学习即可得到分离矩阵 W 及源信号的估计 y 。

3 基于 ICA 的极化 SAR 影像相干斑抑制方法

SAR 由于其相干成像特性, 固有的相干斑噪声严重影响了 SAR 影像的应用。SAR 影像及相干斑噪声分布比较复杂, 一般均为非高斯分布。SAR 影像相干斑噪声是一种“乘性噪声”, 可用如下模型表示^[8]：

$$I = x \cdot v \quad (5)$$

其中, I 是在 SAR 影像中的象素点的强度; x 是相应的真反射强度; v 是相应的相干斑噪声强度。 x, v 相互独立。可采用对数归一量化方式对 SAR 影像进行数据量化：

$$I' = \log_{\frac{MAX}{MIN}} \left(\frac{I}{MIN} \right) \quad (6)$$

其中, I, I' 为 SAR 影像像素原有强度 (非负实数) 和对数量化后强度; MAX, MIN 为其原有强度的最大值和非零的最小值。经对数量化后原有乘性相干斑噪声可退化为加性噪声。

多极化 SAR 对同一场景提供一组极化图像数据, 目标特征就分散在这些被相干斑污染的图像中。图像数据和相干斑噪声一般均为非高斯分布, 在目标背景复杂或者同区域存在多目标时分布非常复杂。考虑目标单一且背景为同质均匀区域的情况下, 可将目标信号与相干斑噪声看作互相独立的信号; 在对数量化的基础上, 可将极化 SAR 图像近似看作目标信号与相干斑噪声的线性混合信号。因此, 可采用 ICA 方法, 以多极化 SAR 影像数据作为多通道观测数据, 通过 ICA 分解, 分离出相互独立的 SAR 图像数据信号和噪声, 实现相干斑噪声的抑制, 并以分离出的多个独立分量中的某一个作为相干斑降噪后的图像。定义相干斑噪声指数 β 表征相干斑的强烈程度：

$$\beta = \frac{\sqrt{Var(I)}}{E(I)} \quad (7)$$

其中, $Var(\cdot)$ 表示求随机变量的方差; $E(\cdot)$ 表示求随机变量的均值。可以计算分离出的各个独立分量的相干斑噪声指数 β , β 值最大的独立分量可认为是噪声, β 最小的独立分量即是目标影像。

利用 ICA 降低极化 SAR 图像相干斑噪声的处理步骤如下：(1)将多极化 SAR 影像根据式(6)进行对数量化；(2)用 FastICA 算法迭代求解分离矩阵, 得到各个独立分量；(3)根据式(7)计算各个独立分量的相干斑指数；(4)判断噪声分量和

目标影像分量, 相干斑指数最小的分量即是目标分量。

4 基于形态学 SNF 的机场目标提取方法

SAR 影像经过 ICA 分离后可得到具有最小斑点噪声的目标影像。机场目标在 SAR 影像中表现为整体亮度低且呈面状连续分布的像素区域。根据机场的形状及亮度特征, 采用形态学运算对 ICA 降噪后的目标影像进行处理, 可以快速提取出 SAR 影像中的机场目标。由于 SAR 影像具有非常强烈的斑点噪声, 因此又引入图像统计滤波中应用广泛的中值滤波器对其进行非线性滤波, 改进滤波效果。为了更好地结合灰度形态学算子与非线性滤波算子, 提高计算速度和效率, 本文在灰度形态学运算中定义一个特殊的结构元素, 将灰度形态学运算转化为非线性滤波处理。利用定义域内恒为 0 的扁平结构元素, 可将形态学灰度膨胀运算转化为最大值滤波, 灰度腐蚀运算转化为最小值滤波。

本文需要提取的 SAR 影像机场目标为连续分布低亮度目标区域。首先对 SAR 影像首先进行最大值滤波, 消除影像中非连续面状分布的暗的像素, 同时呈面状连续分布的目标区域也被削弱; 然后采用中值滤波进行降噪; 进而采用最小值滤波处理恢复最大值滤波处理中被削弱的目标区域。处理过程中邻域大小可以灵活选取, 本文取为 3×3 邻域; 也可以连续进行多次最大值滤波, 最小值滤波时也连续进行相同次数的处理。

采用以上序列非线性滤波处理可以有效提取 SAR 影像中呈连续面状分布且整体亮度很低的机场区域, 但其结果中仍包含一些杂波噪声等像素区域。进一步采用区域生长方法对滤波结果进行区域标定, 计算各个标定区域的区域面积、区域灰度均值, 并统计区域的灰度直方图等特征值。根据机场的形状及亮度特征, 可将区域面积小于一定像素的区域、区域均值亮度或直方图峰值亮度大于一定灰度级的区域作为非机场区域予以剔除。

5 实验和结果分析

本文采用 ENVISAT ASAR 的交替极化(AP)数据进行实验。实验数据包含 HH 和 VV 2 个极化通道。图 1 为 512×512 大小的原始极化影像区域。

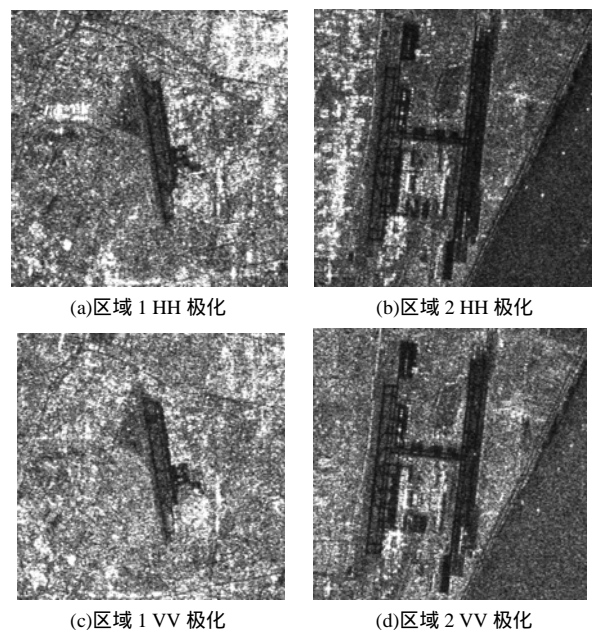


图 1 ENVISAT ASAR 原始极化影像

图 2 为经 ICA 分离得到的独立分量影像,从主观视觉效果上已很容易判断哪个分量是目标分量。根据式(7)计算各个独立分量的相干斑指数,则相干斑指数最小的分量即是目标分量,与视觉直观判断一致。为了对比,同时也计算了原始 SAR 影像的相干斑指数,如表 1 所示。从计算结果可以看出,经 ICA 分离后独立分量相对原始 SAR 影像,相干斑指数显著降低,进一步验证了 ICA 分离噪声的降斑效果。

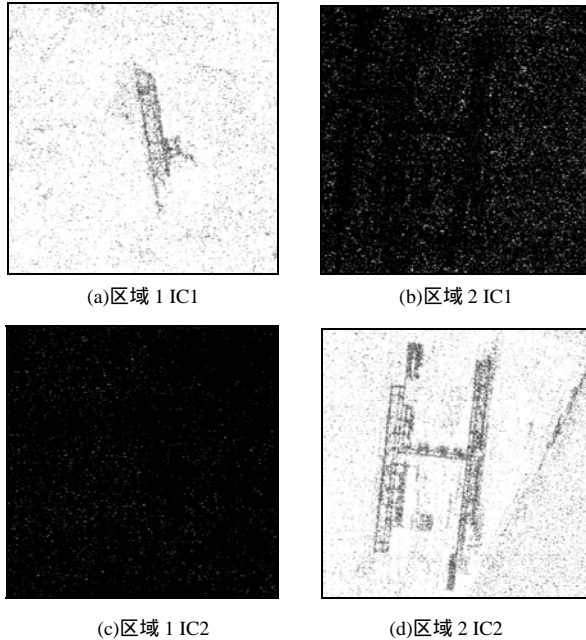


图 2 ICA 分离得到的独立分量影像

表 1 相干斑指数

	相干斑指数	
	区域 1	区域 2
HH 极化	0.475 912	0.611 783
VV 极化	0.474 439	0.612 109
IC1 分量	0.101 149	0.475 168
IC2 分量	0.642 966	0.109 133

对 ICA 分离后的目标分量进行 SNF 处理,滤波后结果如图 3 所示。

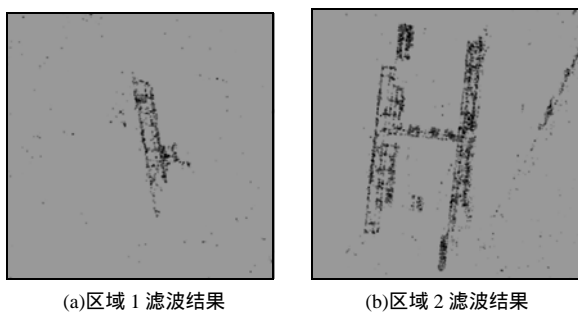


图 3 SNF 处理后的目标分量

进一步采用区域生长法对滤波后结果进行区域标定和特征值计算,根据区域面积及亮度规则剔除杂波等干扰后,得到的机场目标如图 4 所示。

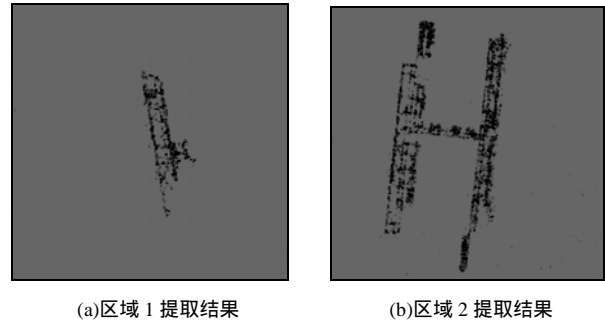


图 4 自动区域选择后的机场目标

从实验结果可以看出,本文方法可以有效降低相干斑噪声干扰,并快速准确提取出 SAR 影像中的机场目标。

6 结束语

独立分量分析及形态学方法具有很强的自适应性,它无需知道信号的先验分布信息,更适用于解决实际问题,尤其适用于具有强烈相干斑点噪声的 SAR 影像处理。

本文采用独立分量分析和形态学序列非线性滤波进行多极化 SAR 影像斑点降噪和机场目标的提取,并用实际 SAR 影像进行数据实验。实验结果表明,本文方法可有效实现 SAR 影像斑点降噪,并快速准确地提取出 SAR 影像中的机场目标。

参考文献

- [1] 王瑞霞, 林伟, 毛军. 基于小波变换和 PCA 的 SAR 图像相干斑抑制[J]. 计算机工程, 2008, 34(20): 235-237.
- [2] Donoho D L. De-noising by Soft-thresholding[J]. IEEE Trans. on IT, 1995, 41(3): 613-627.
- [3] 邵永社, 陈鹰, 林怡, 等. 合成孔径雷达图像斑点噪声滤波方法研究[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2008, 36(2): 258-262.
- [4] 曾生根, 王小敏, 范瑞彬, 等. 基于独立分量分析的遥感图像分类技术[J]. 遥感学报, 2004, 8(3): 150-157.
- [5] 宦若虹, 杨汝良. 基于 ICA 和 SVM 的 SAR 图像特征提取与目标识别[J]. 计算机工程, 2008, 34(13): 24-25.
- [6] 吴强, 王行愚. 基于独立分量分析的图像融合算法[J]. 计算机工程, 2007, 33(10): 220-224.
- [7] Hyvärinen A. Fast and Robust Fixed-point Algorithms for Independent Component Analysis[J]. IEEE Trans. on Neural Networks, 1999, 8(3): 622-634.
- [8] Martinez C L. Polarimetric SAR Speckle Noise Model[J]. IEEE Trans. on GRS, 2003, 41(10): 2232-2242.

编辑 金胡考