

高分辨率合成孔径雷达图像高速公路检测法

李 敏

(乐山师范学院 物理与电子工程学院, 四川 乐山 614000)

(cassie_li@163.com)

摘 要:针对高分辨率合成孔径雷达(SAR)图像中高速公路的特征,提出了一种结合多级非线性加权平均中值滤波和 Hough 变换的高速公路检测算法。该算法首先对原始高分辨率 SAR 图像进行多级非线性加权平均中值滤波,抑制斑点噪声,同时较好地保留图像的几何特性。然后对滤波后的图像进行 Hough 变换快速检测高速公路,并将检测到的高速公路信息叠加到原始 SAR 图像上显示。实验结果证明该算法能快速、有效地从不同工作模式下取得的高分辨率 SAR 图像中检测到直线高速公路。

关键词:高分辨率;合成孔径雷达;高速公路检测;多级中值滤波;非线性权重;Hough 变换

中图分类号:TN911.73;TN957.52 **文献标志码:**A

Freeways detection from high-resolution SAR images

LI Min

(College of Physics and Electrical Engineering, Leshan Normal University, Leshan Sichuan 614000, China)

Abstract: Concerning the characteristics of freeways in high-resolution Synthetic Aperture Radar (SAR) images, this paper proposed a detection algorithm for freeways. The algorithm mainly used multilevel nonlinear weighted mean median filtering algorithm and Hough transform. First, multilevel nonlinear weighted mean median filtering was run to the original high-resolution SAR images. It can not only inhibit speckle noise more effectively but also preserve the geometrical features of the original SAR images. Then, Hough transform was run to filtered images to detect freeways, and superposed the detected information on the original SAR images to display. The experimental results indicate that the algorithm can detect freeways rapidly and effectively from high-resolution SAR images got from different modes.

Key words: high-resolution; Synthetic Aperture Radar (SAR); freeway detection; multilevel median filter; nonlinear weight; Hough transform

0 引言

在合成孔径雷达(Synthetic Aperture Radar, SAR)图像解译与识别中,某些地物诸如道路、桥梁、河流、海岸线等具有线性结构,利用计算机从 SAR 图像中自动提取这些线性地物信息,具有重要的意义。线性特征检测可用于多传感器图像配准、绘图学应用以及图像分割与目标检测等。

随着 SAR 分辨率的提高, SAR 图像道路目标又呈现出新特征。当雷达的分辨率、入射角、极化方式等参数不同时,同一道路目标在高分辨率 SAR 图像上会呈现很大差别。近年来涌现出了很多 SAR 图像道路检测方法,如文献[1-4]。现有检测方法基本都是针对低分辨率 SAR 图像的,这些算法的根本在于认为道路边缘为“平行线对”,不一定适用高分辨率 SAR 图像道路检测。高分辨率 SAR 图像中高速公路的识别算法既要求准确性高,又要求有可接受的速度。

对于高分辨率 SAR 图像上的高速公路目标,最简单、通用、稳定的特征是“具有一定宽度的条带状暗区域”。目前为止专门针对高分辨率 SAR 图像高速公路检测的文献还不多。本文根据高分辨率 SAR 图像斑点噪声的统计性质,提出了一种高速公路检测算法。该算法首先对 SAR 图像进行多级非线性加权平均中值滤波,有效地抑制高分辨率 SAR 图像的斑点噪声,同时又有效地保持了 SAR 图像的几何特性。然后对

滤波后的 SAR 图像进行 Hough 变换,进行高速公路的快速检测。

1 高分辨率 SAR 图像高速公路的特征

高速公路的检测主要借助于道路两边缘和道路线特征提取方法,相对于单纯的提取线目标难度会增加。本文检测方法基于高速公路的以下几个特点:

- 1) 高速公路曲率通常变化比较小,在小范围内呈直线;
- 2) 高速公路与背景的灰度值有比较明显的差别;
- 3) 高速公路具有一定的连续性和一定的长度;
- 4) 路面较宽,沿长度方向宽度变化较小;
- 5) 高分辨率图像包含更多的地面细节特征,如路面的车辆、路旁的隔离带、树木、以及树木产生的阴影,这些会使道路的边缘没有了良好的“双平行线对”特征,而是呈现出更复杂的特征。

2 多级非线性加权平均中值滤波算法

2.1 多级中值滤波器

中值滤波器已被广泛应用在平滑噪声和被噪声污染图像的恢复,它与线性滤波器(如均值滤波器)相比有一些较好的性质,诸如保持边缘、抑制脉冲噪声等。为了增强中值滤波器的性能,提出了许多改进的算法,而多级中值滤波器是其中最

简单有效的,它保持边缘效果更好(如各种细线结构),但是它降低了噪声的抑制能力^[5]。在用于抑制散斑噪声中,为了弥补其噪声抑制能力下降的弱点,对其作加权平均处理,以期取得更好的恢复效果。多级中值滤波器表述如下。

让 $X(\cdot, \cdot)$ 表示数字图像序列, W 表示中心在 (i, j) , $(2N+1) \times (2N+1)$ 的正方滤波窗。那么滤波窗 W 的四个子集^[5] 可定义为:

$$W_1(i, j) = \{X_1(i, j+k); -N \leq k \leq N\} \quad (1)$$

$$W_2(i, j) = \{X_2(i+k, j+k); -N \leq k \leq N\} \quad (2)$$

$$W_3(i, j) = \{X_1(i+k, j); -N \leq k \leq N\} \quad (3)$$

$$W_4(i, j) = \{W_1(i+k, j-k); -N \leq k \leq N\} \quad (4)$$

假定 $Z_s(i, j)$ ($s=1, 2, 3, 4$) 是四个子集元素的中值,且:

$$Y_{\min}(i, j) = \min[Z_1(i, j), Z_2(i, j), Z_3(i, j), Z_4(i, j)] \quad (5)$$

$$Y_{\max}(i, j) = \max[Z_1(i, j), Z_2(i, j), Z_3(i, j), Z_4(i, j)] \quad (6)$$

则多级中值滤波的输出定义为:

$$Y(i, j) = \text{med}[Y_{\min}(i, j), Y_{\max}(i, j), X(i, j)] \quad (7)$$

多级中值滤波器虽然较好地保持图像的边缘和细节,但它抑制噪声的能力较弱。为此蒋立辉等人^[5]提出了一种改进技术,即在此算法的基础上结合了斑点噪声的统计性质,提出了多级非线性加权平均中值滤波算法。

2.2 多级非线性加权平均中值滤波算法

因为合成孔径雷达成像是反射强度成像,所以斑点的强度统计特性在这里最为重要。在实际应用中,通常主要感兴趣的是强度超过阈值 I 的概率 $P(I)$,它遵从负指数统计规律,其统计分布为:

$$P(I) = \exp(-I/\bar{I}) \quad (8)$$

其中: I 为反射强度, \bar{I} 为反射强度均值。从斑点噪声的统计分布来看,它是非对称的:低于反射强度均值,发生概率大;高于反射强度均值,发生概率小。因此应用多级中值滤波算法来抑制斑点噪声,可能会降低图像的平均灰度。为了弥补多级中值滤波算法降低图像的平均灰度和抑制噪声能力弱的缺点,蒋立辉等人^[5]提出了一种多级非线性加权平均中值滤波算法。

首先,对上述四个子集元素的中值进行排序。在 (i, j) 点处从大到小排序后得到的结果为 $Z_n(i, j), Z_{sc}(i, j), Z_{th}(i, j), Z_{lo}(i, j), i=1, 2, \dots, 2N+1, j=1, 2, \dots, 2N+1$ 。

均值为:

$$\bar{Z}(i, j) = \frac{1}{4}(Z_n(i, j) + Z_{sc}(i, j) + Z_{th}(i, j) + Z_{lo}(i, j)) \quad (9)$$

最后滤波的结果^[5]为:

$$Y(i, j) = \frac{1}{4} \left(\frac{Z_n(i, j)}{\bar{Z}(i, j)} * Z_n(i, j) + \frac{Z_{sc}(i, j)}{\bar{Z}(i, j)} * Z_{sc}(i, j) + \frac{Z_{th}(i, j)}{\bar{Z}(i, j)} * Z_{th}(i, j) + \frac{Z_{lo}(i, j)}{\bar{Z}(i, j)} * Z_{lo}(i, j) \right) \quad (10)$$

通过对上述四个子集元素的中值进行加权平均,给予其中较大的值以较大的权重,以期弥补图像灰度均值降低和噪声抑制能力弱的缺陷,较好地恢复噪声图像。

3 Hough 变换的基本原理

Hough 变换是图像处理中从图像中检测几何形状的基本方法之一。Hough 变换的基本原理在于利用点与线的对偶性,将原始图像空间给定的曲线通过曲线表达式变为参数空间的一个点。这样就把原始图像中给定曲线的检测问题转

化为寻找参数空间中的峰值问题。

对于 x, y 坐标系中的一条直线,用 ρ 代表直线距原点的法线距离, θ 为该法线与 x 轴的夹角。这一直线的 Hough 变换为:

$$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (11)$$

由式(11)可知 Hough 变换使不同坐标系中的线和点建立了一种对应的关系。图像空间中直线都有且仅有一个法向量,因此在 (x, y) 平面上的任一条直线经 Hough 变换后为极坐标空间的一个点 (ρ, θ) ,如图1所示。

Hough 变换算法^[6]具体如下:

- 1)适当地量化参数空间;
- 2)假如参数空间的每一个单元都是2个累加器,将累加器初始化为0;
- 3)对图像空间的每一个点 (x, y) ,在其所满足的参数方程对应的累加器上加1;
- 4)累加器阵列的峰值就是对应模型的参数。

Hough 变换中参数空间的峰值检测是一个聚类检测问题,阈值的选取是成功与否的关键所在。Hough 变换的优点是其抗噪性能比较好,并且能连接共线短直线。

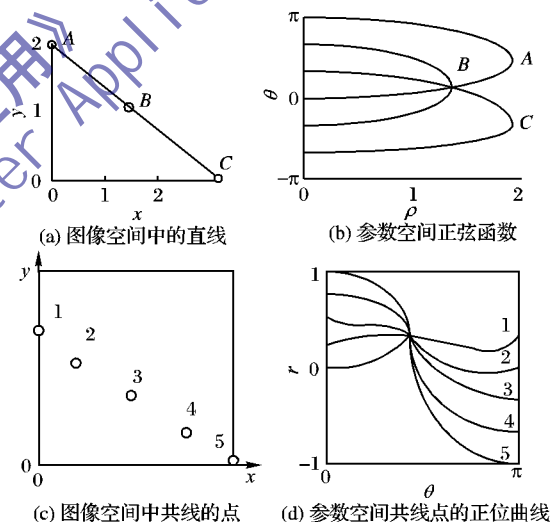


图1 Hough 变换原理

4 实验及结果

实验环境为 Matlab7.0。为验证本文算法的通用性,本文选取了不同波段、不同极化方式、不同分辨率的三幅 SAR 图像。实验结果见图2。

表1 SAR 图像滤波评价指标

图像序号	操作	图像均值 μ	方差 σ^2	等效视数 enl
1	滤波前	40.637	1532.30	1.0777
	滤波后	40.616	915.82	1.8013
2	滤波前	53.295	1724.90	1.6466
	滤波后	53.183	647.49	4.3680
3	滤波前	56.844	1903.20	1.6978
	滤波后	56.640	808.53	3.9777

从滤波后图像可知,经多级加权平均中值滤波后的 SAR 图像有效地抑制了斑点噪声,同时还较好地保留了原 SAR 图像的几何特性。从表1可知,三幅图片经滤波处理前后,均值

(下转第1834页)

$e = 0.8 \times 10^{-4}$ 。第 73 帧时,人停止运动。到 105 帧时,人体逐渐更新为背景,打开的书柜被判别为目标,此时(b)、(c)的检测效果相差不大。随着时间的延长,到第 135 帧时,大部分人体被更新为背景,但由于存在小范围运动,因此(b)、(c)中人体的边缘还存在,对于打开的书柜,(c)比(b)更新为背景成分要多,这是由于对于停止运动的目标或者背景显露区目标,本文算法的更新速率随着时间的延长而增大,而传统检测算法的更新速率保持在较小的值。

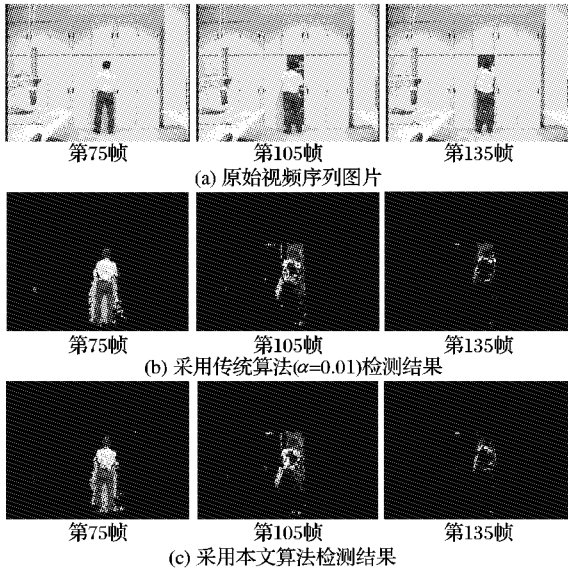


图 3 针对目标与背景相互转换的情况的检测效果对比

4 结语

针对复杂条件下的背景更新问题,本文提出一种分情况分区域的背景自适应更新算法,对发生光照突变的情况和未

发生光照突变情况下的目标区域和背景区域分别采用不同的更新策略,重点讨论了目标区域的背景更新问题,提出根据目标尺寸、运动速度和匹配次数等特征参数自动调整目标区域的背景更新速率。实验结果表明,与传统算法采用固定更新速率进行背景更新相比,本文算法可以更好地适应光照变化、背景与目标相互转化等复杂条件,提高了模型的适应能力。同时,从仿真结果也可以发现,检测目标存在较多阴影,这在一定程度上影响了检测效果,如何去阴影进一步增强目标检测效果是下一步的研究内容。

参考文献:

- [1] STAUFFER C, GRIMSON W. Adaptive background mixture models for real-time tracking[C]// Proceedings of IEEE Conference on Vision and Pattern Collins. New York: IEEE, 1999: 246-252.
- [2] 陈祖爵,陈潇君,何鸿. 基于改进的混合高斯模型的运动目标检测[J]. 中国图象图形学报, 2007, 12(9): 1585-1589.
- [3] 单勇. 复杂条件下视频运动目标检测和跟踪[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2006.
- [4] LEE D S. Effective Gaussian mixture learning[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2005, 27(5): 827-832.
- [5] ZORAN Z. Recursive unsupervised learning of finite mixture models[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2004, 26(5): 651-656.
- [6] 刘静,王玲. 混合高斯模型背景法的一种改进算法[J]. 计算机工程与应用, 2010, 46(13): 168-170.
- [7] 刘永福,潘保昌,郑胜利,等. 基于混合高斯模型的目标差分自适应背景模型[J]. 现代计算机: 专业版, 2010(1): 63-65.
- [8] TOYAMA K, KUMM J, MEYERS B, et al. Wallflower: Principles and practice of background maintenance[C]// Proceedings of 1999 IEEE International Conference on Computer Vision. New York: IEEE, 1999: 255-261.

(上接第 1826 页)

基本保持不变,方差大大减小,等效视数明显提高。这些指标都证明该滤波方法的有效性。

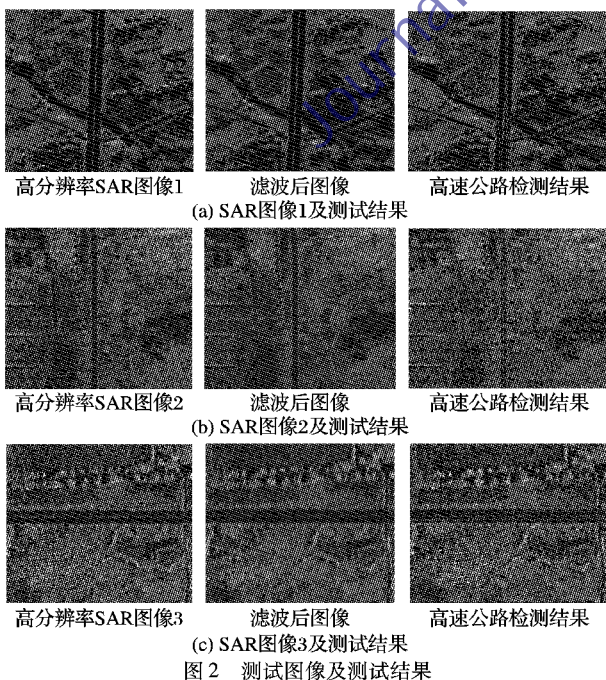


图 2 测试图像及测试结果

从表 2 可知本文算法能快速有效地从不同极化方式、不同波段,不同分辨率的 SAR 图像中检测到高速公路。

表 2 实验情况统计表

图像序号	图像大小/像素	极化方式	滤波波段	分辨率/m	Hough 变换设置 (峰值个数, 阈值)	处理时间/s
1	584 × 408	HH	X	0.3	(8, 0.45)	7.969
2	469 × 363	HH	X	1.0	(8, 0.3)	6.422
3	238 × 340	VV	L	1.0	(8, 0.4)	2.859

5 结语

本文针对高分辨率 SAR 图像中高速公路特征,提出一种结合多级非线性加权平均中值滤波和 Hough 变换的高速公路检测方法。该方法具有简单、快速的特点,适用于在不同工作模式下获取的高分辨率 SAR 图像。本文算法仅针对直线高速公路检测,下一步将着重于具有一定弯曲度的高速公路检测。

参考文献:

- [1] 鄯苏丹,张翠,王正志. SAR 图像中道路检测方法研究[J]. 宇航学报, 2002, 23(1): 17-24.
- [2] 李敏奇,周途. 一种遥感图像中的道路检测方法[J]. 现代电子技术, 2006, 29(6): 125-127.
- [3] 蒋运辉,皮亦鸣. 基于 Hough 变换和遗传算法的 SAR 图像道路检测[J]. 雷达科学与技术, 2005, 3(3): 156-179.
- [4] 张凤珍,董增寿. 基于数学形态学与 Hough 变换的道路边缘提取[J]. 太原科技大学学报, 2010, 31(3): 193-196.
- [5] 蒋立辉,赵春晖. 基于多级非线性加权平均中值滤波算法的散斑噪声抑制[J]. 激光与红外, 2003, 33(5): 380-382.
- [6] 刘广智,李建勋,敬虐良. 基于改进 Hough 变换的前视机场跑道识别方法[J]. 计算机工程, 2004, 30(20): 143-145.