

基于多个极化通道的 SAR 影像道路探测

张广伟¹, 邓喀中¹, 张永红², 余海坤²

(1. 中国矿业大学环境与测绘学院, 徐州 221008; 2. 中国测绘科学研究院, 北京 100039)

摘要: 提出了一种从 SAR 影像的多个极化通道探测道路的新方法。首先, 介绍了用边缘探测器构造道路探测器的方法; 然后, 将多参数统计假设检验的方法应用到全极化影像的信息融合中, 并将该方法提取的结果与传统 Tupin 法提取的结果进行了比较。实验表明, 该方法对全极化 SAR 影像道路边缘的提取效果较好, 具有一定的适用性。

关键词: SAR 影像; 道路; 边缘探测; 多通道

中图分类号: TP 75 文献标识码: A 文章编号: 1001-070X(2006)04-0029-04

0 引言

由于 SAR 系统获取的影像不依赖于气候和光照条件, 并且能对可见光和红外传感器获取的影像进行有效的补充, 近些年得到了越来越广泛的应用。随着遥感领域高分辨率和多极化 SAR 系统数量的增多, 人们对影像的自动化解译提出了更高要求。一般来说, 由雷达系统和地面回波产生的噪声会以各种形式存在于 SAR 影像中, 传统的图像处理方法不能很好地解决这个问题。虽然从 20 世纪 80 年代开始就陆续发展了一些针对噪声特性的 SAR 影像处理算法, 但主要集中于对多视、单极化和单频率影像的处理, 如文献 [1, 2] 中对道路的探测。随着发展的需要, 现有的机载 SAR 系统和未来的星载 SAR 系统都具备了获取多通道(如全极化、多频率等) SAR 数据的能力, 这些数据将包含更多的地面信息, 更有利于信息提取。

本文提出了一种从多个极化通道 SAR 影像中提取道路边缘的方法。

1 边缘的探测

1.1 单极化 SAR 影像的边缘探测

由于乘性斑点噪声的存在, 用传统的像元级滤波模板不能很好地提取 SAR 影像中的道路边缘, 为此, 需要考虑影像中像元的更大邻域范围, 并用适当的方法来确定目标边缘是否通过这个像元。本文使用基于局部统计特性的 ROA(Ratio of Average)算

法^[2]。如图 1 所示, 用两个相邻的矩形窗(视作不同的边缘算子)沿每个像元对图像进行扫描, 两个矩形

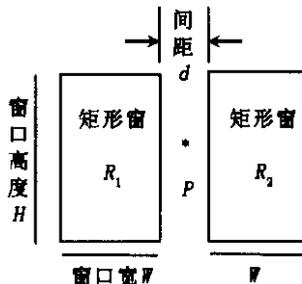


图 1 ROA 算法原理示意图

窗分别具有不同的统计功能。由于 SAR 影像上道路地区的回波功率远小于路边背景区域的回波功率, 所以, 通过计算窗口间的回波比率, 就可以显示出图像中所对应的道路边缘, 并给出边缘的一个方向。如果再将矩形窗以当前像元为中心进行旋转, 那么, 就可以确定此像元可能沿其它方向的边缘。本文主要对有代表性的 8 个方向(0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315°)进行了实验, 保留响应的最大值和对应的方向^[3]。将现有的方法应用到单通道多视 SAR 影像中, 用文献 [4, 5] 中给出的标准进行判别, 得到的结果会有一定的差别。

1.2 全极化 SAR 影像的边缘探测

极化 SAR 影像包含了每个像元后向散射系数矩阵的测量值, 每个像元都可以分别用 3 种极化方式(HH、HV 和 VV)来表示。在极化 SAR 影像中, 利用多个通道进行道路探测的方法主要有两种: 一种是融合现有探测器在单通道图像中的探测结果; 另一种是使用多参数统计的方法, 即全极化 SAR 影像

中乘性斑点噪声可以用均值为零的多个参数的正态分布合成,进而把从各单通道中获取的道路信息作为单独的矢量进行混合处理。

图 2 给出了两种用于多个通道探测 SAR 影像道路边缘的方法。

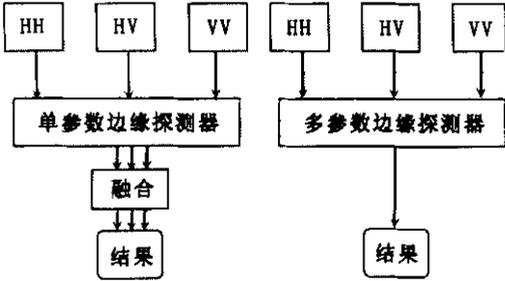


图 2 两种 SAR 影像道路边缘探测方法流程 (左:单参数法;右:多参数法)

为了能够探测全极化 SAR 影像,文献 [6,7] 给出一种 Hotellings - T^2 统计假设检验方法,公式为

$$T^2 = \frac{n_1 n_2 (\bar{X}_1 - \bar{X}_2)^T C^{-1} (\bar{X}_1 - \bar{X}_2)}{n_1 + n_2} \quad (1)$$

式中 n_1 和 n_2 是观测的次数; \bar{X}_1 、 \bar{X}_2 分别是两个矩形窗的平均观测向量,一般用与样本均值间的绝对偏差值表示; C 是用 Pooled 法计算出的协方差阵,即

$$C = \frac{(n_1 - 1)C_1 + (n_2 - 1)C_2}{n_1 + n_2 - 2} \quad (2)$$

式中 C_1 、 C_2 分别是两个矩形窗口 R_1 和 R_2 的统计方差矩阵。

根据等价 p 均值的零假设我们有

$$T_F = \frac{(n_1 + n_2 - p - 1)T^2}{(n_1 + n_2 - 2)p} \sim F(p, n_1 + n_2 - p - 1) \quad (3)$$

式中 p 为影像的数量; F 为 Fisher - Sendecor 分布。由于多参数方法充分运用了数据间的协方差阵,不仅考虑了影像的亮度,也考虑了不同数据通道间的相互联系,所以,多参数方法得到的提取结果要好于单参数融合^[8]的输出结果。

2 道路探测器

为了从 SAR 影像中提取道路边缘,我们利用了文献 [3] 中给出的一种利用边缘探测器构造道路探测器的方法。这种方法使用 3 个矩形窗,如图 3 所示,其中两个窗口位于当前像元的两边,中间一个窗口的中心位于当前像元,且比另外两个矩形窗要窄。

为了探测某条道路在某一方向上是否通过 P

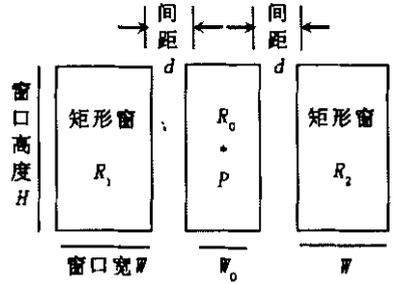


图 3 边缘探测器示意图

点,将两矩形窗的统计值与中间的相比较,当统计差异小于某值时,探测器作出响应,认为这时的中心像元即为道路中心点,这样可以避免由单一边缘造成的虚警。给中心矩形窗一定的宽度就能探测出道路所对应的大致宽度。由此可见,为了适应不同的道路种类,道路宽度参数 W_0 是可变的。实际操作中,可以通过窗口的统计获得道路的大致宽度。

在 SAR 影像中,常常需要去判断一段表现为明或暗的线段是否为目标对象。一般来说,由于道路表面与雷达波长相比较为光滑,所以影像中道路总是表现为黑色线段,在这种情况下,我们就可以把亮度用到道路探测算法中。道路能不能被探测到的关键是对中心矩形窗的平均影像亮度 A_{R_0} 和两边矩形窗的平均影像亮度 A_{R_1} 、 A_{R_2} 的比较判别。道路探测器的响应是

$$F_t = \begin{cases} \min(F_{R_0 R_1}, F_{R_0 R_2}) & \text{当 } A_{R_0} < A_{R_1} \text{ 且 } A_{R_0} < A_{R_2} \text{ 时} \\ 0 & \text{否则} \end{cases} \quad (4)$$

式中 $F_{R_0 R_i}$ 是矩形窗口 R_0 和 R_i 之间边缘探测器的响应。

3 后处理

一般来说,通过计算图像中的局部梯度向量,并对某个方向进行非最值抑制,就能够提取单像元宽的矢量化道路边缘。图 4 显示了一幅 SAR 图像中道路边缘的矢量输出结果。从图中可以清晰地看到所提取的白色亮线,但由于线段是不光滑的,再加上方向编组,使得到的直线产生一定的缺损和偏差,说明这种算法会有多种响应值。

文献 [2,9,10] 提出了一些解决此类问题的后处理方法,如动态规划方法、最小熵方法和基于 Bayesian 框架的方法等,这些方法都是通过分析已经得到的直线段集,对直线图进行连接的。

针对本文交互处理的需求,我们提出了一种道路连接和输出的方法——梯度探测算子。梯度探测

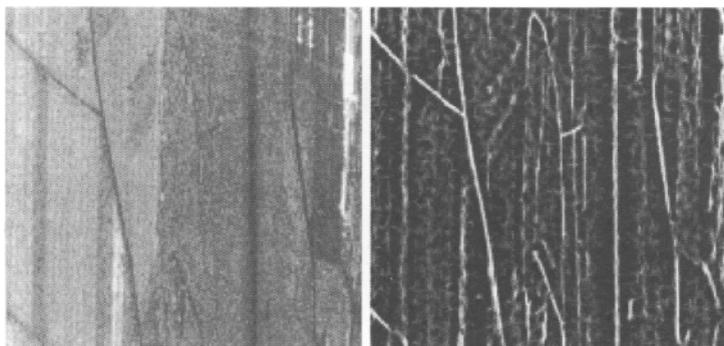


图 4 SAR 影像道路矢量化输出示例

算子包括屋脊算子、最大梯度值和跟踪线段流 3 个模块。屋脊算子表明了某线段两端亮度的梯度情况,它有两个参数,一个用来表明线段色彩的明暗度,另一个是高斯平滑指数 σ 。因此,在处理图像时,首先计算图像的高斯梯度,然后计算出每个像元局部

领域中每个相反像对的高斯梯度值,并获得线段长度最大值;最大梯度值模块是对线段梯度向量的非最大值抑制;跟踪线段流模块有 3 个参数:线段的最小亮度阈值 μ 、线段跟踪时的最小连接长度 l 以及线段长度最大阈值 s 。图 5 给出了边缘提取的整个过程。

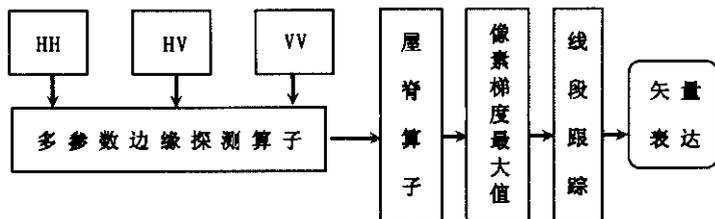


图 5 多通道 SAR 影像边缘提取方案

4 实验结果

将本文提出的道路边缘探测方法应用到全极化机载 SAR 图像(PI-SAR X-波段图像,图 6)。



图 6 原始 SAR 影像(512×512)

对图 6 中的道路进行探测,探测结果如图 7 所示。图 7(左)是从一幅 PI-SAR X-波段 VV 极化通道得到的矢量化结果,图 7(右)是利用多参数方法从 HH、HV 和 VV 极化通道得到的结果。应用的道路探测算子参数为: $W_0 = 2, W = 10, H = 30, d = 2$, 8 个扫描窗口方向;梯度算子的参数为: $\sigma = 1, \mu = 10, l = 1$ 万方数据



图 7 两种方法的道路提取结果
(左:Tupin 方法提取结果;右:本文方法提取结果)

5 结论和展望

与单通道探测方法相比,本文方法提取出更多的道路(如桥附近的路),并进行了正确连接,所探测出来的森林阴影可用于道路的辅助探测;引入的多参数信息融合方法与单纯叠加的信息融合方法也有明显的不同,更容易根据需要调节信息间的权重比例,但也存在一些问题:

(1)参数较多,自动化程度不高,许多参数都需要凭经验确定(例如道路探测窗口的参数要根据影像的分辨率来确定),不同的参数对应着不同的结果,有时结果相差很大;

(2)不同通道信息间的权重比值较难确定,对融合方法和融合效果的评价没有一定的标准,还限于人的直观观察;

(3)所提取的道路仍有部分虚警和间断,没有连成道路网络,在理解上仍存在一定的困难。

目前,多通道信息融合提取道路的方法是一个研究热点,国内刚刚起步,今后还有许多要研究的地方。例如,可以通过随机训练样本获取需要的参数,提高自动化程度;利用小波算法实现多通道信息的最佳融合;将本文方法和基于 MRF 方法^[2]结合,可提取较为完整的道路网络。

致谢:感谢 DLR 为本文提供了试验图像。

参考文献

[1] Hellwich O , Mayer H , Winkler G. Detection of Lines SAR Scenes [J]. In Proc. ISPRSWorkshop , 1996 , 31 : 312 - 320.

[2] Tupin F , Matre H , Mangin J , et al. Detection of Linear Features in SAR Images : Application to Road Network Extraction [EB/OL]. <http://citeseer.ist.psu.edu/tupin98detection.html>.

[3] Touzi R , Lopes A , Bousquet P. A Statistical and Geometrical Edge Detector for SAR Images [J]. IEEE - GRS , 1988 , 26 (6) : 764 - 773.

[4] 杨 龙 ,周智敏,黄海风. SAR 图像线条特征提取方法研究 [J]. 现代雷达 2002 , 1 (2) : 50 - 53.

[5] Fjortoft R. Segmentation d 'Images Radar Par Detection de Contour [D]. Toulouse : Institut National Polytechnique de Toulouse , 1999.

[6] Borghys D , Perneel C , Acheroy M. Contour Detection in High - resolution Polarimetric SAR Images [A]. Barcelona : In SPIE Conference on SAR Image Analysis ,Modelling and Techniques III [R]. 2000.

[7] Lacroix V , Acheroy M. Feature - extraction Using the Constrained Gradient [J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing , 1998 , 53 (2) : 85 - 94.

[8] Borghys D. Interpretation and Registration of High - resolution Polarimetric SAR Images [D]. Paris :ENSTE 2001.

[9] 王 程,王润生. SAR 图像直线提取 [J]. 电子学报 2003 (6) : 816 - 820.

[10] Tupin F , Houshmand B , Datcu M. Road Detection in Dense Urban Areas Using SAR Imagery and the Usefulness of Multiple Views [J]. IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing , 2002 , 40 (11) : 2405 - 2414.

[11] Dell 'Acqua F , Gamba P , Lisini G. Extraction and Fusion of Street Network from Fine Resolution SAR Data [J]. In IEEE Int. Geoscience and Remote Sensing Symposium 2002 , 1 : 89 - 91.

[12] Manly B. Multivariate Statistical Methods [M]. London : Chapman and Hall , 1995.

THE DETECTION OF ROADS IN SAR IMAGES BASED ON MULTI - POLARIMETRIC CHANNELS

ZHANG Guang - wei¹ , DENG Ka - zhong¹ , ZHANG Yong - hong² , YU Hai - kun²

(1. School of Environmental and Spatial Informatics , CUMT , Xuzhou 221008 , China ; 2. Chinese Academy of Surveying & Mapping , Beijing 100039 , China)

Abstract : A new method for detection of roads in multi - channel polarimetric SAR images is proposed in this paper. The technology for construction of the road detector from edge detectors was described , the approach based on multivariate statistical hypothesis tests was applied to information fusion of SAR images , and the extracting result from two traditional Tupin methods and that from the method proposed in this paper were compared with each other. Experiments show that the method proposed in this paper , when applied to detecting roads on a full - polarimetric SAR image , can yield relatively satisfactory result.

Key words : SAR image ; Roads ; Edge detection ; Multi - channel

第一作者简介:张广伟(1981 -),男,中国矿业大学在读研究生,现在中国测绘科学研究院从事遥感影像的处理和信息提取工作。