

# 高分辨率 SAR 与光学遥感影像中道路提取方法的研究

陈颖<sup>1,2</sup>, 陈绍杰<sup>2</sup>, 杜培军<sup>1</sup>, 夏俊士<sup>1</sup>, 曹文<sup>1</sup>

(1. 中国矿业大学 国土环境与灾害监测国家测绘局重点实验室 江苏 徐州 221116;

2. 龙岩学院 资源工程学院 福建 龙岩 364000)

**摘要:** 高分辨率影像能够提供丰富的地表细节信息, 从高分辨率遥感影像中进行高精度的道路提取是目前遥感信息处理的研究热点。分别以高分辨光学 IKONOS 影像和 COSMO - Skymed SAR 影像为数据源, 对北京市某区域进行了道路信息自动提取方法的研究。高分辨率光学影像中采用最大似然分类进行道路信息提取, 在 SAR 影像中则采用 Otsu 阈值分割和形态学结合的方法提取道路。结果表明, 两种数据源中提取道路的面积一致性与形状一致性都具有较高精度, 两种方法对城市道路提取与路网更新具有一定的应用价值。

**关键词:** 道路提取; 数学形态学; 高分辨率遥感

中图分类号: TP75 文献标识码: B 文章编号: 1672 - 5867(2011)04 - 0040 - 05

## Road Extraction from High Resolution SAR and Optical Remote Sensing Images

CHEN Ying<sup>1,2</sup>, CHEN Shao - jie<sup>2</sup>, DU Pei - jun<sup>1</sup>, XIA Jun - shi<sup>1</sup>, CAO Wen<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory for Land Environment and Disaster Monitoring of State Bureau of Surveying and Mapping, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China;

2. School of Resource Engineering, Longyan University, Longyan 364000, China)

**Abstract:** High - resolution remote sensing images provide more detailed information about the earth's surface than ever before. How to extract road from high resolution image accurately has become a hot topic in remote sensing image processing. In this paper, high resolution optical image IKONOS and SAR image COSMO - Skymed were taken as data sources for road extraction. Automated road information extraction in a certain district of Beijing was experimented. The main methods of extracting road information were maximum likelihood classification for optical image, and the combined method of Otsu threshold segmentation with mathematical morphology for SAR image. The results indicate that the area and shape consistency have got high accuracy. The above methods for extracting urban roads have a certain degree of practical significance.

**Key words:** road extraction; mathematical morphology; high resolution remote sensing

## 0 引言

道路作为城市系统的骨架, 在城市土地利用与经济活动中占有举足轻重的地位, 高精度、及时更新的道路网信息对交通管理、城市规划、机动车辆导航、应急事务处理都有非常重要的作用<sup>[1]</sup>。高分辨率遥感图像能够识别地物目标的组织结构等多方面的信息。随着影像分辨率的提高, 影像细节特征越来越丰富, 道路目标越来越多,

许多较窄的在低分辨率影像上难以分辨的道路也能够得以提取。在高分辨率光学遥感快速发展的同时, 米级分辨率雷达遥感数据近年来成为高分辨率遥感应用的热点。微波遥感因其全天候、全天时、具有一定穿透性等优势在许多领域备受重视, 广泛地应用于水文、地矿、环境监测、地形测量、战场侦察、目标探测等军用和民用的各个方面<sup>[2]</sup>。由于成像方式不同, 高分辨率影像 SAR 图像与光学图像具有很大差异。高分辨率影像 SAR 图像与可

收稿日期: 2011 - 02 - 11

基金项目: 福建省科技厅重点项目(2010Y0041); 国土环境与灾害监测国家测绘局重点试验室开放式基金项目(LED2009C04); 龙岩市科技局重点项目(2009LY71)资助

作者简介: 陈颖(1989 - )女, 福建莆田人, 摄影测量与遥感专业硕士研究生, 主要研究方向为遥感图像处理及应用。

通讯作者: 陈绍杰(1967 - )男, 福建仙游人, 副教授, 大地测量学与测量学专业硕士研究生, 主要从事大地测量与测量工程专业教学与研究工作。

见光图像是目标对于不同电磁波波段的响应,含有目标的不同信息,综合 SAR 图像与光学图像的优势来提取道路信息,具有重要的理论意义和应用价值。

目前道路提取的主要策略包括<sup>[3]</sup>:

1) 半自动道路特征提取: 半自动道路特征提取利用人机交互的形式进行特征提取和识别。具体方法包括基于像素与背景算子模型的道路提取<sup>[15]</sup>,基于树结构特征判别模型的道路提取,基于最小二乘 B 样条曲线的道路提取<sup>[4]</sup>,基于类与模糊集的道路网络提取<sup>[16]</sup>等。

2) 自动道路特征提取: 自动道路特征提取包括道路的自动定位和理解。具体方法如基于平行线对的道路提取<sup>[17]</sup>,基于二值化和知识的道路提取<sup>[5]</sup>,基于窗口模型特征<sup>[18]</sup>的道路提取等。

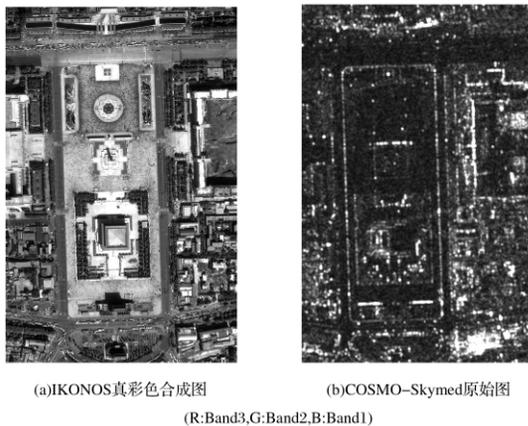


图 1 光学与 SAR 原始图像  
Fig. 1 The optical and SAR original image

在实际研究中,针对光学遥感数据中道路与其他地物类型的光谱曲线差异较大的特点,选择不同特征组合后进行分类,从分类精度最高的结果图中提取出道路,是一种有效的策略。对 SAR 影像,在研究了 SAR 图像的灰度及几何特征之后,为便于道路特征提取,在数据预处理中先用传统的滤波器去除乘性斑点噪声和增强变换处理,以突出道路的边缘特征及方向性,再从全局的角度结合 Otsu 和数学形态学的方法来提取道路。

## 1 数据及预处理

本文中采用的试验数据由北京同天视地公司提供的北京市某地区的 IKONOS 数据和 COSMO - Skymed 数据。IKONOS 数据是 1 m 分辨率的全色影像和 4 m 分辨率的多光谱影像的融合数据。COSMO 数据则采用条带模式下的高分辨率模式,空间分辨率为 3 m,极化方式为 VV 极化。

预处理阶段首先对两幅影像进行几何校正,包括地理配准、畸变校正等。SAR 影像中一般都存在着斑点噪声,严重干扰地物信息的提取与 SAR 影像的应用,影响地物判读,因此,抑制 SAR 影像斑点噪声对 SAR 影像的处理有着重要意义<sup>[6]</sup>。目前比较典型的滤波算法有: Lee 自适应滤波、增强型 Lee 自适应滤波、增强型 Frost 自适应滤波及 Gamma 滤波<sup>[7-8]</sup>。斑点噪声滤除的评价方法可以分为两类:定性评价和定量评价<sup>[9]</sup>。定性评价主要以目视判读为主,目视判读是一种简单、直接的评价方法,可以根据图像滤波前后的对比做出定性评价,缺点是因人而异,具有主观性。因此,本文滤波效果从定量方面入手进行评价,具体的定量评价指标包括平滑指数(FI)、边缘保持指数、归一化指数<sup>[10]</sup>,具体结果见表 1。

表 1 斑点噪声滤除量化评价试验结果

Tab. 1 The experimental results for quantity evaluation of speckle noise filtering

	Frost 滤波	增强 Frost 滤波	Lee 滤波	增强 Lee 滤波	Gamma 滤波
归一化指数	0.978 1	0.979 8	0.888 2	0.887 9	0.892 9
平滑指数	1.270 8	1.272 5	1.130 0	1.122 5	1.119 7
边缘保持指数	190.184 977	188.670 588	277.751 320	186.177 236	186.422 737

利用高分辨率 SAR 数据提取道路往往都依赖于图像的边缘信息,因此选择边缘保持指数最高的 Lee 滤波器。

## 2 道路信息提取

### 2.1 高分辨光学数据中的道路信息提取

在高分辨率遥感图像上,道路是最明显的地物之一,但利用计算机实现道路的自动提取却仍然是遥感图像信息提取的一个难点,因为道路本身的变化以及其他因素的影响使得道路很不规则,极其复杂。由于 IKONOS 影像中道路清晰可见,所以采用分类方法进行道路提取。通过对不同分类方法的比较,选择最大似然法进行分类。分别选择原始

数据(特征集 1)、原始数据与 PCA 结合(特征集 2)、原始数据与第 1 波段提取的纹理(特征集 3) 3 种特征组合进行分类(如图 2 所示)。分类中将道路和人行道合并为一类,其余地物合并为另一类,以比较道路的整体提取效果。

从道路提取结果图可以看出,该方法能够较好地实现道路提取,但还是存在少许的错分区域的问题。从表 2 中可知,加入主成分分析特征集后的分类精度最高,精度达到 97.22%,其他两种分类精度仅次之。在加入纹理特征值(文中选择的纹理特征为熵与对比度的纹理特征值)后,道路提取的精度反而降低了,这也说明加入的特征值对道路提取精度并无提高作用。

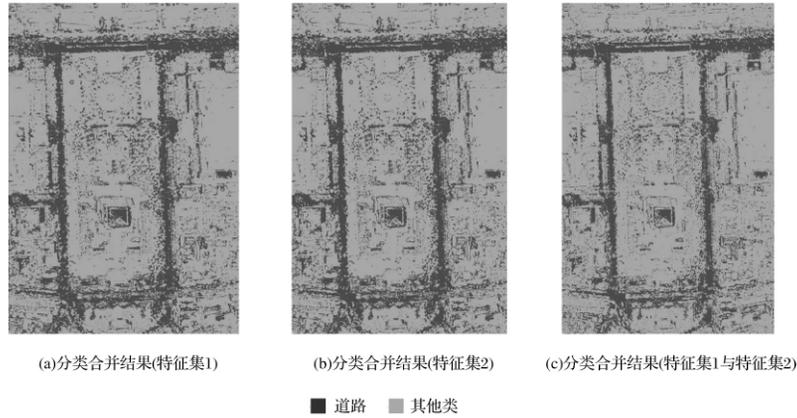


图2 光学图像道路提取结果图

Fig.2 Road extraction from optical image

表2 IKONOS 道路提取精度评定

Tab.2 The accuracy assessment of IKONOS road extraction

	原始数据	原始数据 + 主分量	原始数据 + 纹理特征
道路	96.27%	97.22%	95.11%
非道路	94.46%	94.80%	93.71%

2.2 高分辨率 SAR 影像中道路信息提取

由于 SAR 主动侧视成像的特点和道路边缘的建筑物与树木等原因,使得高分辨率 SAR 图像中的道路在边缘出现凹凸毛刺现象,导致道路的边缘难以确定,所以对其提取要困难得多,这样高分辨率 SAR 图像中道路的提取不能完全采用光学图像中道路提取的方法<sup>[11]</sup>。借鉴文献[13]中道路提取的方法,研究中对 SAR 影像采用 Otsu 阈值分割法进行分割处理,再利用数学形态学分析进行道路提取。

由于原图像中道路跟非道路的区别不明显,若直接进行 Otsu 阈值分割则达不到其预期效果,所以对原始图像进行图像增强处理,研究中采取高斯变换增强处理。

2.2.1 Otsu 算法

在 SAR 图像中,道路为弱反射,表现为暗区。根据图像的幅度值,可将弱反射区域分割出来,缩小检测道路的范围。对所分割的道路区域,称之为感兴趣区域。利用 Otsu 算法,进行图像分割处理。

由 N. Otsu 提出的最大类方差法是在判决分析最小二乘法原理的基础上推导出来的。其基本思路如下<sup>[12]</sup>:

设原始灰度级为  $M$ , 灰度级为  $i$  的像素点个数为  $n_i$ , 则总的像素数为:

$$N = n_0 + n_1 + \dots + n_{M-1}$$

对灰度值进行归一化:

$$P_i = n_i / M$$

假设此时分割阈值为  $t$ , 则将灰度分成两类:  $C_1 = (0, 1, 2, \dots, t)$ ;  $C_2 = (t + 1, t + 2, \dots, M)$  则每一类出现的概率为:

$$w_0 = \sum_{i=0}^t p_i \text{ 和 } w_1 = \sum_{i=t+1}^{M-1} p_i = 1 - w_0$$

每一类的平均灰度为:

$$u_0 = u(t) / w(t)$$

$$u_1 = \frac{u_T(t) - u(t)}{1 - w(t)}$$

其中:

$$u(t) = \sum_{i=0}^t i \cdot p_i$$

$$u_T(t) = \sum_{i=t+1}^{M-1} i \cdot p_i$$

则类间方差可以定义为:

$$\sigma_B^2 = w_0(u_0 - u_T)^2 + w_1(u_1 - u_T)^2 = w_0 w_1 (u_1 - u_0)^2$$

在 1 到  $M$  之间改变灰度值  $k$ , 使得灰度为  $k^*$  时, 类间方差  $\sigma_B^2$  为最大。则将  $k^*$  作为阈值分割图像, 这样就得到最佳的分割效果。

2.2.2 数学形态算子

数学形态学是一种研究数字图像形态结构特征与快速并行处理的方法, 具有算法简单、可并行处理、速度快、易于实现等特点, 因此在数字图像处理和模式识别等方面得到广泛的应用<sup>[13]</sup>。它的基本思想是用具有一定形态的结构元, 去量测和提取图像中的对应形状, 以达到对图像分析和识别的目的。数学形态学的数学基础是集合论。利用数学形态学可以优化图像数据, 保持它们基本的形状特性, 排除不相干的结构。

令  $f(x, y)$  为灰度图像,  $b(x, y)$  是结构元素,  $D_f$  和  $D_b$  分别为函数  $f$  和  $b$  的定义域。膨胀可定义为:

$$(f \oplus b)(s, t) = \max\{f(s - x, t - y) + b(x, y) \mid (s - x, t - y) \in D_f; (x, y) \in D_b\}$$

腐蚀可定义为:

$$(f \ominus b)(s, t) = \min\{f(s + x, t + y) - b(x, y) \mid (s + x, t + y) \in D_f; (x, y) \in D_b\}$$

形态开、闭运算可以用数学符号分别表示为:

$$f \circ b = f(\ominus b) \oplus b, f \bullet b = f(\oplus b) \ominus b$$

击中击不中运算定义:

$$f \otimes (b_1, b_2) = f \ominus b_1 \cap (f \ominus b_2)$$

击中不中变换可用于形态细化、形态修剪以及形态目标识别等众多方面,利用形态细化完成对道路网络信息的细化、修剪<sup>[14]</sup>。

SAR 影像中道路往往具有暗强度值,由于较窄的道路与其背景较难区分,研究中若道路一次性整体提取出

来较难实现,所以针对此影像特点,要对每条路分别进行提取。依据道路方向的不同,设置不同的结构元素对道路进行提取。将 SAR 影像中道路全部提取后,再将提取出来的各条道路进行合并。最后对合并后的道路进行连接剪枝处理,最终得到所有的道路骨架图(如图 3 所示)。

由于 Otsu 方法对噪声十分敏感且地物的光谱相似性

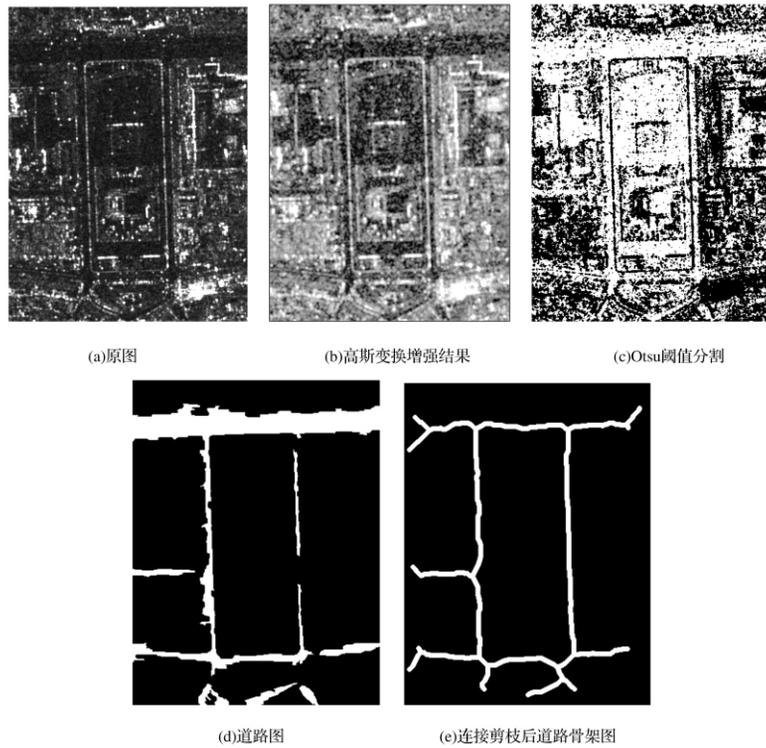


图 3 道路提取结果

Fig. 3 The road extraction results

直接应用于 SAR 图像的分割会出现许多错误,即将大量不属于道路的点分割到感兴趣的区域。所以文中利用数学形态学方法,将图中道路分开提取,最后合并。从图 3 结果图中可知,道路提取精度较高。但在实现过程中还

需进行人工交互解译,还不能完全自动提取。

### 2.3 光学与 SAR 影像道路提取结果合并

基于 SAR 影像提取精度未能评定,结合光学影像的道路提取将光学与 SAR 影像的道路提取结果相合并。

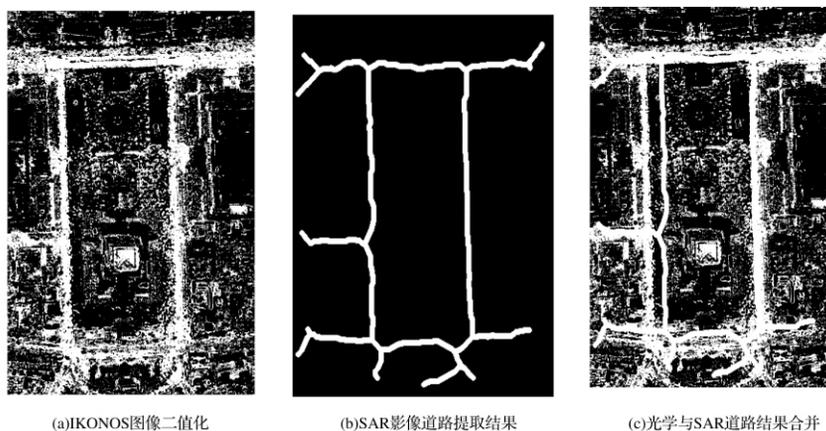


图 4 光学与 SAR 道路提取结果合并图

Fig. 4 The merged map of road extraction results by optical and SAR image

由图 4(c) 中可知,左侧竖直的道路光学与 SAR 的道路偏差较大,其他道路两种影像提取道路相符。其中道路相差大的原因有 SAR 影像提取道路时,其结构元素选择跟细化过程可能造成道路的偏移。

### 3 结束语

针对高分辨率光学 IKONOS 影像与雷达 COSMO\_Skyemd 影像各自特点分别选择了不同的方法实现道路信息提取。光学影像中针对道路与其他地物类型的光谱曲线差异较大的特点,选择不同特征组合后进行分类,从分类精度最高的结果图中提取出道路,其较大难点在于特征集的选择,使加入特征集后道路提取的精度有所提高。对具有暗灰度值道路 SAR 影像采用 Otsu 阈值分割将道路与背景区分开来,最后利用数学形态学算法对其提取道路。道路提取的结果较为明显且连续。此方法关键在于结构元素的选择,使道路方向与原道路方向偏离较小。其不足之处在于需进行人工交互解译,并不能实现全自动提取,实现全自动提取是今后需要重点研究的问题。实验表明,基于图像最大似然法分类的高分辨率光学影像道路提取方法和基于 Otsu 阈值分割与数学形态学的雷达 COSMO\_Skyemd 影像道路提取方法都具有较好的效果,可以在基于高分辨率遥感影像进行道路提取和路网更新的实际工作中予以采用。

致谢:感谢北京同天视地公司提供实验使用的高分辨率遥感数据。

### 参考文献:

- [1] Jin X, Davis C. H. An integrated system for automatic road mapping from high-resolution multi-spectral satellite imagery by information fusion [M]. Elsevier Science Information Fusion, 2004.
- [2] 高贵. 高分辨率 SAR 图像目标特征提取研究 [D]. 北京: 国防科学技术大学研究生院, 2003.
- [3] 史文中, 朱长青, 王昱. 从遥感影像提取道路特征的方法综述与展望 [J]. 测绘学报, 2001, 30(3): 257-262.
- [4] Gruen A. Adaptive Least Squares Correlation - A Powerful Image Matching Technique [J]. South African Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Cartography, 1985, 14(3): 175-187.
- [5] Wang F G, NEWKIRKR. A Knowledge-based System for Highway Network Extraction [J]. IEEE Transform on Geosciences and Remote Sensing, 1988, 26(5): 525-531.
- [6] 李光耀, 胡阳. 高分辨率遥感影像道路提取技术与展望 [J]. 遥感信息, 2008(1): 91-95.
- [7] 胡平广, 薛东升. SAR 图像道路目标提取研究 [J]. 计算机仿真, 2007, 24(4): 206-207.
- [8] Zhenghao Shi and Ko B. Fung. A Comparison of Digital Speckle Filter. Proceedings of IGRASS, 1994.
- [9] J. S. Lee. Refined Filtering of Image Noise Using Local Statistics [J]. Computer Graphic and Image Processing, 1980: 380-389.
- [10] Lopes, R. Touzi R and E. Nezry. Adaptive speckle filters and scene heterogeneity [J]. IEEE Transform. On Geo-science and Remote Sensing, 1990, 28(6): 992-1000.
- [11] 潘习哲. 星载 SAR 图像处理 [M]. 北京: 科学出版社, 1996.
- [12] 朱俊杰. 高分辨率光学和 SAR 遥感数据融合及典型目标提取方法研究 [D]. 北京: 中国科学院遥感应用研究所, 2005.
- [13] Lander. E. S. Array of hope [J]. Nature Genetics, 1999, 21: 3-4.
- [14] 郑玉燕, 何建农. 基于数学形态学的 SAR 图像道路提取 [J]. 微计算机信息, 2008, 8(3): 18-21.
- [15] Geman, D. Jedynak B. An Active Testing Model for Tracking Roads in Satellite Images [J]. IEEE Transform on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1996, 18(1): 1-14.
- [16] Steger C, Mayer H, Radig B. The Role of Grouping for Road Extraction [C] // Automatic Extraction of Manmade Objects from Aerial and Space Images (2). Basel: Birkhauser Verlag, 1997: 245-255.
- [17] Ton J, Jain A K, Enslin W R, et al. Automatic Road Identification and Labeling in Land sat 4 TM Images [J]. Photogrammetric (PRS), 1989, 43(2): 257-276.
- [18] Barzohar M, Cooper D. B. Automatic Finding of Main Roads in Aerial Images by Using Geometric-stochastic Models and Estimation [J]. IEEE Transform on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1996, 18(7): 707-721.

[编辑:宋丽茹]

本刊已许可中国学术期刊(光盘版)电子杂志社在中国知网及其系列数据库产品中以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。该社著作权使用费与本刊稿酬一并支付。作者向本刊提交文章发表的行为即视为同意我社上述声明。