

文章编号:1674-2974(2016)04-0153-04

加入空间纹理信息的遥感图像道路提取^{*}

王建华¹, 秦其明^{1†}, 高中灵^{1,2}, 叶昕¹, 孟晋杰¹

(1. 北京大学 遥感与地理信息系统研究所, 北京 100871; 2. 中国交通通信信息中心, 北京 100011)

摘要: 由于道路与建筑物等其他不透水层存在光谱相似性, 导致仅利用光谱信息进行道路提取的效果不佳. 本文针对高等级城市道路目标, 提出了一种加入空间纹理信息的遥感图像道路提取方法. 首先, 对图像进行空间自相关 Moran 指数计算, 提取图像空间纹理信息, 并将其加入到原始光谱波段中; 其次, 通过建立知识模提取假设道路段, 并对提取结果进行假设验证; 最后, 采用数学形态学的方法对验证后的结果进行后处理. 以空间分辨率为 0.1 m 的航空影像为数据源, 对本方法进行实验. 实验结果表明, 加入空间纹理信息的遥感图像道路提取精度总体达到 88%, 比不加入空间纹理的提取精度要提高约 5%.

关键词: 空间纹理信息; Moran 指数; 图像处理; 假设验证; 道路提取

中图分类号: TP751

文献标识码: A

Road Extraction from High-resolution Remote Sensing Imagery by Including Spatial Texture Feature

WANG Jian-hua¹, QIN Qi-ming^{1†}, GAO Zhong-ling^{1,2}, YE Xin¹, MENG Jin-jie¹

(1. Institute of Remote Sensing and Geographic Information System, Peking Univ, Beijing 100871, China;

2. China Transport Telecommunication & Information Center, Beijing 100011, China)

Abstract: The methods using spectral information alone are often ineffective due to the spectral similarity between roads and other artificial structures with impervious surface. This paper proposed a knowledge-based method for urban road extraction by including spatial texture information. The spatial texture feature was firstly extracted by the local Moran's I and the derived texture was added to the spectral bands of images for image segmentation. Then, features like brightness, standard deviation, rectangularity, aspect ratio and area were selected to form the hypothesis and verification model. Finally, roads were extracted by applying the models and were post-processed on the basis of mathematical morphology. This new method was evaluated by a 0.1m aerial image. The results show that the extraction accuracy reaches about 88% by using the proposed method, 5% higher than the corresponding images without the spatial texture information.

Key words: spatial texture information; local Moran's I; image processing; hypothesis verification; road extraction

* 收稿日期: 2015-09-11

基金项目: 国家高分辨率对地观测系统重大专项资助项目(31-Y30B09-9001-13/15); 国家科技支撑资助项目(2012BAC16B00)

作者简介: 王建华(1990-), 男, 安徽芜湖人, 北京大学博士

† 通讯联系人, E-mail: qmqinpk@163.com

道路作为现代化建设的基础设施,在人们日常生活和军事上都具有不可忽视的作用,所以从遥感图像上提取道路具有重要意义,它可以为城市规划提供参考,为地图更新提供数据,为国土资源管理提供依据,为抢险救灾提供指导^[1]. 针对遥感图像道路提取问题,国内外很多专家和学者都开展了相应的工作,Trinder 等人在高分辨率图像上提取道路段,并利用道路语义模型对漏提的道路段进行推理、连接,从而得到道路网提取结果^[2]. Singh 等人利用自适应全局阈值和数学形态学操作从高分辨率遥感图像中提取道路网^[3]. Shi 等人运用自适应邻域法和空间分析法在遥感图像中准确地提取道路中心线^[4]. Yuan 等人利用局部兴奋全局抑制振荡网络对遥感图像进行分割,从而进行道路提取^[5]. Senthilnath 等人通过归一化割算法从全色遥感图像中很好地提取出道路^[6]. Miao 等人提出了一种半自动化的道路中心线提取方法,该方法通过人工设置道路种子点,结合核密度估计和短程线法提取道路中心线^[7]. 罗庆洲等人结合了道路的光谱特征和几何特征从影像中很好地提取了道路信息^[8]. 唐伟等人基于 Snake 模型的优势及缺陷,提出一种高分辨率多光谱图像道路提取方法^[9]. 以上方法中都用了道路的光谱信息,但由于道路与建筑物等地物光谱相似性,从而影响道路提取精度. 随着遥感技术的发展,高分辨率遥感图像包含了丰富的空间细节信息,使得地物的内部结构清晰可辨^[10]. 这为加入空间纹理信息进行道路提取提供了数据基础.

本文针对上述问题,提出了一种加入空间纹理信息的遥感图像道路提取方法. 将空间纹理信息加入到道路提取中,通过建立道路提取的假设和验证模型,基于知识的方法从遥感图像中提取道路. 本方法适用于遥感图像中高等级城市道路提取,具有较高的精度.

1 研究方法

本文在研究遥感图像中道路特征知识的基础上,将图像的空间纹理信息加入到遥感图像道路提取中,通过知识模型提取道路. 主要包括纹理信息提取、道路提取(假设道路提取和假设验证)和提取结果后处理 3 个主要步骤. 具体流程如图 1 所示.

1.1 空间纹理信息提取

纹理是指遥感图像中地物内部色调有规则变化形成的一种影像结构. 高分辨率遥感图像中蕴含着丰富的空间细节信息,能够使地物内部结构更加清晰^[10-11]. 为了解决道路和建筑物等其他不透水层混

淆问题,提高道路提取的准确性,本文引入了空间纹理信息. 采用空间统计(Moran 指数)的方法提取图像的纹理信息. 首先利用主成分变化对多波段图像进行分析,然后利用 Moran 指数对第一主分量进行统计,提取图像的空间纹理. 其中, Moran 指数的定义如下^[12]:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}. \quad (1)$$

式中, x_i 和 x_j 分别指空间单元 i 和 j 的属性值, n 是指空间单元的个数, w_{ij} 为空间权矩阵,表示空间单元 i 和 j 之间的影响程度.

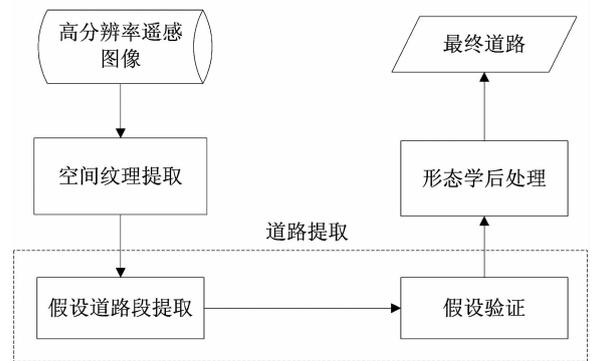


图 1 本方法的流程图

Fig. 1 Flow chart of the newly proposed method

1.2 基于知识的道路提取

道路在遥感图像中一般呈现^[13]: 1) 宽度变化小; 2) 与周围背景存在一定的反差,表现出明显的边缘特征; 3) 道路内部总体灰度比较均匀; 4) 道路对象具有较高的矩形度和长宽比. 本文在研究遥感图像中道路的特征表达与抽取基础上,建立道路提取的知识模型(假设模型和验证模型).

道路特征知识定量表达的参数有亮度、标准差、矩形度、长宽比和面积等^[14]. 通过研究道路在遥感图像上的表现特征,本文选取亮度、标准差建立道路提取假设模型,选取矩形度、长宽比和面积建立验证模型. 其中道路假设模型定义如下:

$$H_{\text{road}} = B_{\text{road}} \cup S_{\text{road}} \\ (b_1 \leq B_{\text{road}} \leq b_2 \quad \text{or} \quad s_1 \leq S_{\text{road}} \leq s_2). \quad (2)$$

式中, H_{road} 是指假设道路, B_{road} 和 S_{road} 分别为某对象的亮度和标准差, b_1 和 b_2 是亮度阈值, s_1 和 s_2 是标准差阈值. 针对某对象,当其亮度和标准差满足 $B_{\text{road}} \in [b_1, b_2]$ 或者 $S_{\text{road}} \in [s_1, s_2]$ 时,将其定义为假设道路段. 由于异物同谱现象的存在,导致假设道路段中存在部分如车辆、房屋等虚假道路目标. 本研究通过建立假设验证模型,去除这些虚假道路目标. 道路对象的长宽比和矩形度一般较大,所以本研究用道路的长宽比和

矩形度作为验证模型参数,并将面积属性加入验证模型中去除零碎的细小对象.验证模型表示如下:

$$V_{\text{road}} = (H_{\text{road}} - R \cup W) - A$$

$$(R < r_1, W < w_1 \text{ or } A < a_1). \quad (3)$$

式中, V_{road} 是指验证后的道路; R, W 和 A 分别指某对象的矩形度、长宽比和面积; r_1, w_1 和 a_1 分别指矩形度阈值、长宽比阈值和面积阈值.公式(3)的含义为,在假设道路段中,当道路对象的矩形度和长宽比满足 $R \in (0, r_1)$ 或者 $W \in (0, w_1)$ 时,将其从假设道路段中去除.然后对假设道路段进行区域合并,将面积小于 a_1 的对象从假设道路对象中去除,从而得到验证后的道路段.

1.3 提取结果后处理

由于车辆、行车线、建筑物等地物的影响很大,尽管知识模型在一定程度上可以减小影响,但是道路提取结果中仍存在很多噪声和孔洞,本文采用数学形态学闭运算对道路提取的结果进行后处理来提高道路提取的准确性,为了保证提取道路的完整性以及道路边缘的平滑性,此处选取八邻域作为数学形态学运算的结构元素进行后处理.

2 实验与结果

为了验证本方法的有效性和优越性,本文通过实测数据进行实验,并对结果进行精度评价.

2.1 数据源

本研究选取广东省阳江地区航空影像数据为实验数据,成像时间是2013年4月,图像空间分辨率为0.1 m,图像大小为 $2\,808 \times 2\,719$ 像素.道路宽度为10 m左右,道路类型是高等级城市道路,实验数据如图2(a)所示.图像中包括道路、房屋、植被、车辆、行车线等目标.图像具有红、绿、蓝三个波段信息.

2.2 道路目标提取

对原始图像进行主成分分析,第一主分量如图2(b)所示,它包含了原始图像的主要信息.利用Moran指数对图2(b)进行空间统计,提取图像的空间纹理信息如图2(c)所示,道路在图中呈现低值聚集,比周围地物的亮度明显要低,道路的边缘突出,有助于更加完整地将道路从周围地物中分割开.因此,将图2(c)加入到原始图像中,并采用多尺度分割的方法对加入空间纹理信息后的图像进行分割,设定分割尺度为200,分割结果如图2(d)所示,从图中可以看出道路的完整性保留得很好.利用道路提取假设模型进行假设道路的提取,提取结果如图2(e)所示(其中, $b_1 = 74; b_2 = 102; s_1 = 12; s_2 = 15$).利用验证模型进行假设验证,去除虚假道路目标

($r_1 = 0.6; w_1 = 2; a_1 = 5\,000$ pixels),图2(f)为验证结果.利用数学形态学闭运算对提取结果进行后处理,将结果与原始图像进行叠加,并与真实结果进行对比.图2(g)为叠加效果图,其中红色部分为正确提取的道路,蓝色部分为漏提取的道路,绿色部分为错提取为道路.从图中可以看出有一小段道路漏提,分析发现该小段道路左侧边缘受到了破坏,同时道路上尘土较多,导致与其他道路段的纹理和光谱特征产生了差异,故而被错分到其他地物中.为了证明本方法的优越性,本文设计了对比实验,图2(h)为不加入空间纹理信息提取的结果.通过对比分析,可以直观地看出加入纹理信息提取的结果更精确.

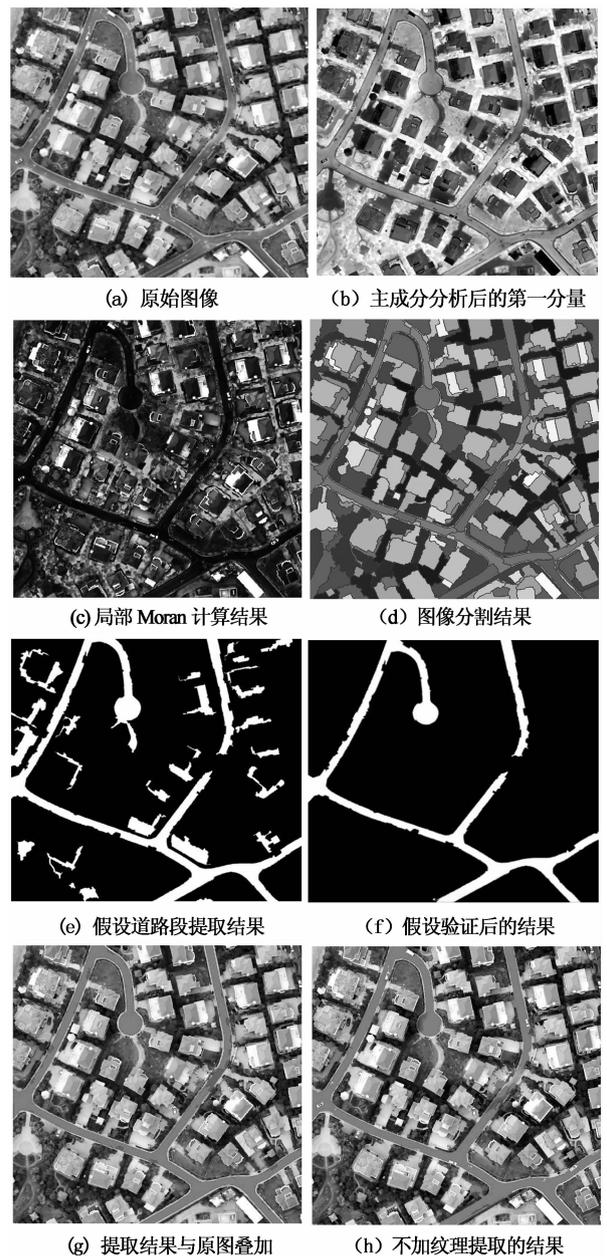


图2 实验结果

Fig. 2 The experimental results

2.3 精度评价

为了对道路提取结果进行精度评价,本文选择3个最广泛被人认可的评价指标,具体如下:

$$E_1 = \frac{k_{TP}}{k_{TP} + k_{FN}}, \quad (4)$$

$$E_2 = \frac{k_{TP}}{k_{TP} + k_{FP}}, \quad (5)$$

$$E_3 = \frac{k_{TP}}{k_{TP} + k_{FN} + k_{FP}}. \quad (6)$$

式中, E_1 为生产者精度, E_2 为用户精度, E_3 为提取质量。 k_{TP} 为正确提取为道路的区域, k_{FN} 为未被提取的道路区域, k_{FP} 为错误提取为道路的区域。利用选取的3个评价指标,分别对上述实验中是否加入空间纹理信息提取的道路区域(面积)进行评价,以此来突出本方法的优越性。具体的精度评价结果如表1所示。

表1 道路提取精度评价表

Tab.1 Accuracy evaluation of road extraction

| 方法 | 生产者精度 /% | 用户精度 /% | 提取质量 /% |
|------|-------------|------------|------------|
| 不加纹理 | 89.91 | 86.24 | 78.63 |
| 本方法 | 94.29 | 88.62 | 84.11 |

由表1可知,本方法能够很好地提取道路, E_1 、 E_2 和 E_3 分别达到了94.29%、88.62和84.11%,平均精度达到了88%,比不加入空间纹理信息提取精度提高了大约5%。然而,由于混合像元的影响,导致道路边界不清楚,从而错误地将道路边界外侧邻近的部分区域提取为道路,这使得道路提取的用户精度相对较低。

3 结论

本文针对高等级城市道路目标,提出了一种加入空间纹理信息的遥感图像道路提取的方法,有效地解决了道路与其他不透水层的光谱相似性问题。该方法在深入研究道路特征知识表达的基础上,建立了道路提取的假设模型和验证模型,减少了道路中车辆、行车线等地物的不利影响。最后利用广东省阳江地区影像数据进行了实验,实验结果表明,本方法能够克服道路周围环境的影响,有效地从遥感图像中提取城市主干道路。

参考文献

[1] 罗昭拓. 高分辨率遥感影像中道路提取的分析与研究[D]. 上海:上海交通大学,2008:1-8.
LUO Zhao-tuo. Analysis and research of road extraction from high resolution remote sensing images [D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2008: 1-8. (In Chinese)

[2] TRINDER J C, WANG Y. Knowledge-based road interpretation in aerial images [J]. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 1998, 32(4): 635-640.
[3] SINGH P, GARG R D. Automatic road extraction from high resolution satellite image using adaptive global thresholding and morphological operations [J]. Indian Society of Remote Sensing, 2013, 41(3): 631-640.
[4] SHI W, MIAO Z, DEBAYLE J. An integrated method for urban main-road centerline extraction from optical remotely sensed imagery[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2014, 52(6): 3359-3372.
[5] YUAN J, WANG D, WU B, *et al.* LEGION-based automatic road extraction from satellite imagery[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2011, 49(11): 4528-4538.
[6] SENTHILNATH J, SINDHU S, OMKAR S N. GPU-based normalized cuts for road extraction using satellite imagery[J]. Journal of Earth System Science, 2014, 123(8): 1759-1769.
[7] MIAO Z, SHI W, ZHANG H. Road centerline extraction from high-resolution imagery based on shape features and multivariate adaptive regression splines[J]. IEEE Geosci Remote Sens Lett, 2013, 10(3): 583-587.
[8] 罗庆洲,尹球,匡定波. 光谱与形状特征相结合的道路提取方法研究[J]. 遥感技术与应用, 2007, 22(2): 339-344.
LUO Qing-zhou, YIN Qiu, KUANG Ding-bo. Research on extracting road based on its spectral feature and shape feature [J]. Remote Sensing Technology and Application, 2007, 22(2): 339-344. (In Chinese)
[9] 唐伟,赵书河. 基于GVF和Snake模型的高分辨率遥感图像四元数空间道路提取[J]. 遥感学报, 2011, 15(5): 1040-1052.
TANG Wei, ZHAO Shu-he. Road extraction in quaternion space from high spatial resolution remotely sensed images basing on GVF Snake model [J]. Journal of Remote Sensing, 2011, 15(5): 1040-1052. (In Chinese)
[10] 宋桔尔,王雪,李培军. 加入空间-时相纹理的高分辨率图像城市建筑物倒塌提取[J]. 遥感学报, 2012, 16(6): 1233-1245.
SONG Ju-er, WANG Xue, LI Pei-jun. Urban building damage detection from VHR imagery by including temporal and spatial texture features [J]. Journal of Remote Sensing, 2012, 16(6): 1233-1245. (In Chinese)
[11] 宋晓琳,王文涛,张伟伟. 基于LBP纹理和改进Camshift算子的车辆检测与跟踪[J]. 湖南大学学报:自然科学版, 2013, 40(8): 52-57.
SONG Xiao-lin, WANG Wen-tao, ZHANG Wei-wei. Vehicle detection and tracking based on the local binary pattern texture and improved camshift operator[J]. Journal of Hunan University: Natural Sciences Edition, 2013, 40(8): 52-57. (In Chinese)
[12] EMERSON C W, LAM N S, QUATTROCH D A. A comparison of local variance, fractal dimension, and Moran's I as aids to multi-spectral image classification [J]. International Journal of Remote Sensing, 2005, 26(8): 1575-1588.
[13] WANG J, QIN Q, ZHAO J, *et al.* Knowledge-based detection and assessment of damaged roads using post-disaster high-resolution remote sensing image [J]. Remote Sensing, 2015, 7(4): 4948-4967.
[14] JENSEN J R. Introductory digital image processing- a remote sensing perspective [M]. Translated by CHEN Xiao-ling, GONG Wei, LI Ping-xiang, *et al.* Beijing: China Machinery Press, 2007: 123-157.