

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2015.07.023

# 基于矩形模板匹配的线状地物 半自动提取方法研究<sup>①</sup>

孙晨阳<sup>1</sup>, 周廷刚<sup>1</sup>, 陈圣波<sup>2</sup>,  
沈敬伟<sup>1</sup>, 王骏飞<sup>1</sup>, 杨桦<sup>1</sup>

1. 三峡库区生态环境教育部重点实验室/西南大学地理科学学院, 重庆 400715;
2. 吉林大学地球探测科学与技术学院, 长春 130026

**摘要:** 通过对高分辨率遥感影像线状地物特征分析, 提出了一种基于矩形模板匹配的高分辨率遥感影像线状地物提取方法. 该方法由用户选取矩形种子区域, 自动定义匹配区域, 进行种子区域与匹配区域的最小二乘匹配, 从而实现线状地物的半自动提取. 与剖面匹配法和角度纹理法的对比实验研究结果表明, 矩形模板匹配法能够快速、准确地提取出高分辨率遥感影像中的线状地物, 节省了时间和人力.

**关键词:** 矩形模板; 最小二乘匹配法; 线状地物; 半自动提取; 高分辨率遥感影像

**中图分类号:** P237

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-9868(2015)07-0155-06

遥感影像目标提取是遥感研究热点之一. 线状地物包括道路、水系、地表输油管线等, 在实际应用中具有非常重要的作用. 以道路为例, 从高分辨率遥感影像中快速有效地提取道路信息成为人们研究的方向<sup>[1-2]</sup>. 由于计算机人工智能发展水平的限制, 自动道路提取仍然存在诸多问题, 如灰度不均匀、遮挡物过多、道路边缘模糊、交叉路口等都会影响道路提取<sup>[3-5]</sup>; 能够直接提取出道路边缘或道路中心线的很少, 大部分只能提取出道路区域, 后续处理工作量很大<sup>[6-8]</sup>; 提取的道路位置一般有一定偏移<sup>[9-10]</sup>, 影响数据的使用. 因此, 交互式的半自动道路提取方法更为有效. 研究表明, 模板匹配方法和 Snakes 模型方法提取道路相对有效<sup>[11-13]</sup>. 然而, Snakes 模型方法人工初始化较复杂, 模板匹配法也存在提取结果准确性较差等问题, 需要进一步研究. 本文提出了一种改进的半自动提取线状地物的方法, 即基于矩形模板的最小二乘匹配提取道路, 以期更好地提取道路等线状信息.

## 1 半自动道路提取模型与方法

### 1.1 遥感影像道路特征分析

高分辨率遥感影像上的线状地物影像清晰, 且细节特征明显. 如线状水系呈网状形态分布, 灰度、拓扑特征明显. 在遥感影像上, 道路一般有以下几个特征: 几何特征一般表现为一定的长度, 局部曲率

① 收稿日期: 2014-09-04

基金项目: 国家自然科学基金(41301417); 国家发改委卫星及应用产业发展专项([2013]2140号).

作者简介: 孙晨阳(1990-), 女, 吉林长春人, 硕士研究生, 主要从事遥感与地理信息系统应用研究.

通信作者: 周廷刚, 教授.

相对较小,而且宽度变化较小;灰度特征表现为与外部灰度值差别大,其内部灰度值有一定规律可循;其上下文特征表现为容易受遮挡物影响产生断裂;拓扑特征表现为道路之间有交叉、相连现象,有 X, Y, T 3 种道路连接类型;功能上表现为道路表面较平坦,两侧基本平行。

## 1.2 半自动道路提取方法

半自动线状目标提取方法很多,其中比较典型且重要的提取方法为剖面匹配法和角度纹理法。

### 1.2.1 剖面匹配法

剖面匹配是指在通过线状地物的剖面进行匹配。剖面是在垂直于线状地物前进方向上画一条线段,相关维数改线段横跨线状地物的边缘且比线状地物宽,提取出该线段上各点的灰度值,即为一个剖面。剖面匹配是计算剖面线段与预测点的剖面线段的最小二乘值<sup>[14]</sup>。在一定的范围内,对预测点的剖面进行偏移,计算出每个偏移位置的最小二乘值,与之相匹配,得出线状地物的位置,再进行新的搜寻,周而复始,获得道路的轨迹。剖面匹配方法可以用于全色波段影像,也可用于多光谱波段影像,其提取速度较快,但准确性略低。为确保线状地物提取一定的准确性,通常需要增大人工提取的比例,这样就会影响整体提取时间。

### 1.2.2 角度纹理法

角度纹理法是 HAVERKAMP<sup>[15]</sup>首先用于线状地物——道路的提取。定义一个矩形模板和一个中心点,矩形模板围着中心点进行一定角度间隔的旋转,形成一组离散的矩形模板,计算每个位置点的角度纹理特征。基本的纹理特征一般用均质、方差、标准差、熵等来描述。角度纹理的模板宽度一般小于等于道路宽度,长度大于等于 2 倍道路宽度。目前该方法主要适用于高分辨率全色影像,其提取速度相对较慢,但准确性较高。

## 1.3 基于矩形模板的最小二乘匹配方法

### 1.3.1 矩形模板匹配方法

矩形模板匹配提取道路的方法是:首先在道路上获取需要的矩形模板及道路的前进方向;其次在道路前进方向的一定距离内通过最小二乘匹配的方法进行匹配;最后寻找与模板匹配度最高的位置,其中心点即为道路上的一点,以新的中心点继续向道路前进方向进行匹配,获得若干个道路点,从而提取道路中心线。

1) 最小二乘匹配法。最小二乘影像匹配法(Least squares image matching, LSM)是德国 Ackermann 教授提出的一种的影像匹配方法<sup>[16]</sup>。该方法进行平差运算时使用了影像窗口内的全部信息,使得影像匹配精度优于 0.1 个像素。同时,该方法可以添加各种已知参数和条件,如点的共线方程、直线的共面方程、已知控制点的坐标等。

本文的矩形模板匹配是选择矩形的模板框进行匹配,而匹配的方法就是最小二乘模板匹配法,其公式为

$$\alpha = \sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^N (g(x_{\text{template}}, y_{\text{template}}) - g'(x_{\text{target}}, y_{\text{target}}))^2 \quad (1)$$

式中:  $M, N$  为模板长度和宽度;  $g(x_{\text{template}}, y_{\text{template}})$  为模板图像灰度值;  $g'(x_{\text{target}}, y_{\text{target}})$  为目标图像灰度值。当  $\alpha$  值趋于最小时,匹配区域与模板图像相似度最高。

2) 匹配条件。矩形模板匹配终止条件:条件 1,当前点的坐标( $\text{cur. } x, \text{cur. } y$ )与匹配区域边缘点( $\text{imae. } x, \text{imae. } y$ )坐标大于图像的极值坐标;条件 2,匹配值大于设定的阈值  $T$ 。满足条件 1 时,线状地物提取已经到达图像的边缘;满足条件 2 时,说明选取的模板周围线状地物的灰度差异相对较大,无法进行匹配。由此可见,阈值  $T$  的设定需要根据实际情况进行调整,因为阈值  $T$  过大,匹配结果筛选不彻底,提取的线状地物可能沿非线状地物延伸;相反,  $T$  过小,可能无法得到匹配结果,一次循环只能匹配很短的距离。当匹配终止后,进入手动提取阶段。

### 1.3.2 基于矩形模板匹配的线状地物提取流程

基于矩形模板的最小二乘匹配线状地物提取流程见图 1。

1) 在高分辨率遥感影像的线状地物上, 以矩形为媒介, 线状地物初始种子区域。

2) 将初始种子区域记录为线状地物的矩形匹配模板, 根据矩形匹配模板所在的位置, 建立与之相关的以矩形模板为中心的反 C 型区域作为待匹配区域。

3) 矩形匹配模板在待匹配区域中滑动, 进行最小二乘模板匹配, 寻找灰度差的平方和  $\alpha$  最小的最佳匹配区域, 完成匹配。最佳匹配区域的中点即为线状地物上的点。

4) 检查是否符合终止条件。如果到达图像的边缘, 或最小二乘匹配值大于一定的阈值  $T$ , 则转入步骤 5); 否则, 将最新道路点加入道路轨迹, 转入步骤 2)。

5) 人工判断是否需要回退, 如果提取效果不理想, 则选择回退的终点, 然后转入 1); 如果提取效果理想则选否, 转入 6);

6) 判断是否结束矩形模板匹配提取, 如果结束则转入人工提取; 如果继续提取则转入 1)。

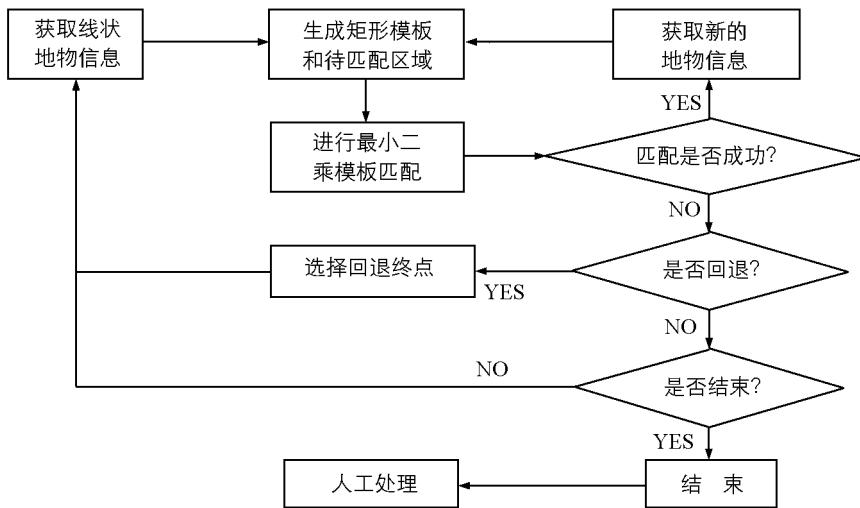


图 1 线状地物提取流程图

## 2 线状地物提取试验与分析

### 2.1 线状地物提取试验

#### 2.1.1 全色影像道路信息提取

在 ALOSimage2.5m 全色影像上进行道路中心线提取试验, 大小为 866 像素  $\times$  539 像素(图 2)。图像上的线状地物——道路纵横交错, 局部曲率较小, 有相对较好的带状特征, 道路基本无车辆、树木遮挡, 道路灰度有一定的变化。图 2(a)为提取的道路点轨迹, 图 2(b)为提取结果。

#### 2.1.2 多光谱影像道路信息提取

使用日本田舍馆村的 GeoEye-1 影像, 大小为 1 084 像素  $\times$  721 像素, 该图像上的线状地物为道路, 其中道路宽度不同, 材料不同, 纵横交错, 形成较为复杂的道路网。分别用剖面匹配法、角度纹理法、矩形模板匹配法对该影像道路信息进行提取(图 3), 红色为铺装路面, 黄色为土路。

### 2.2 结果与评价

道路提取方法的评价一般用正确度、人工输入次数、绘图时间等进行评价<sup>[17]</sup>, 应用本文提出的基于矩形模板的最小二乘匹配线状目标物提取算法, 和文献[14—15]的剖面匹配法和角度纹理法, 分别对图 3(a)的整幅图像进行信息提取, 并从正确度、错误追踪次数、人工输入次数、时间等 4 个方面对结果进行评价(表 1)。



(a) 提取的道路点轨迹



(b) 提取结果

图 2 道路提取结果



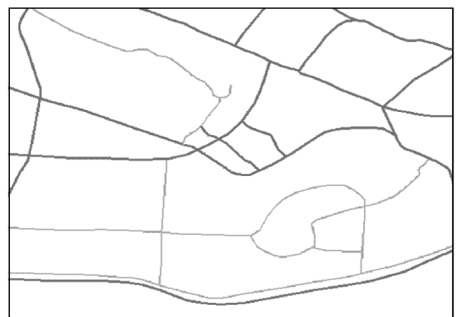
(a) 原始图像



(b) 矩形模板法提取结果



(c) 剖面匹配法提取结果



(d) 角度纹理法提取结果

图 3 道路网提取结果(局部)

表 1 人工提取与半自动提取线状地物结果对比

方 法	矩形模板匹配法	剖面匹配法	角度纹理法
正确度/%	96	78	91
追踪错误次数/次	17	39	18
人工输入次数/次	475	821	502
时间/s	624	985	896

结果表明,矩形模板匹配法提取效果正确度最好,达到 96%,角度纹理法次之,剖面匹配法较差;追踪错误次数方面,矩形模板匹配法和角度纹理法分别为 17 次和 18 次,剖面匹配法错误次数相对较多;在用时方面,矩形模板匹配法耗时 624 s,比剖面匹配法的 985 s 节省 36.6% 的时间,角度纹理法提取准确性相对较高,但是由于角度纹理要进行各个角度的匹配,提取时间相对较长,花费时间 896 s. 本实验的全手动提取人工输入 1 857 次,矩形模板匹配法与角度纹理法的人工输入次数减少 74.4% 和 73.1%. 使用剖面匹配法时,噪声的干扰在很大程度上影响了提取效果,虽然剖面匹配法的速度是最快的,但是为了保证提取线状地物的准确性,大量时间花费在修改错误提取线上,因而人工输入次数只减少 55.8%. 整体来看,

本文的方法灵活性相对较好, 在确保数据准确性的同时, 减少了人工输入次数和时间耗费, 是一种有效的线状地物提取方法。

### 3 结 论

本文提出了一种半自动的基于矩形模板匹配的高分辨率遥感影像线状地物提取方法。试验结果表明, 该算法能够快速有效地进行线状地物提取。这种方法使用最小二乘法的提取方式能够选出与矩形模板最为匹配的区域, 与固定步长的方法有所不同。本算法可以自主选择矩形模板的大小和形状, 当遇到曲率较大的道路时, 可以选择宽度较窄的矩形模板, 以降低曲率对提取的影响, 提高了提取线状地物的能力。同时, 可以根据需求修改、回退到有效的匹配位置, 提高了线状地物提取的效率。使用矩形模板匹配的方法提取线状地物比人工提取时间减少 59.1%, 比剖面模板匹配法和角度纹理法节省 36.6% 和 30.4% 的时间, 提高了工作效率。该算法可以应用于 GIS 线状地物数据的更新, 如多种类型道路、水系等, 可较明显地减少人工作业量和时间, 半自动的提取方式可以人工控制提取数据的准确程度。但是, 该方法也有一定的局限性, 在遇到线状地物辐射突变、立交桥、树木汽车等噪声干扰时, 仍然需要调整到人工干预的提取状态, 因此, 在这方面还有待进一步研究。

### 参考文献:

- [1] 周安发, 周家香. 一种高分辨率遥感影像道路信息提取方法 [J]. 遥感技术与应用, 2012, 27(1): 94—99.
- [2] 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—261.
- [3] ANIL P N, NATARAGAN S. Automatic Road Extraction from High Resolution Imagery Based On Statistical Region Merging and Skeletonization [J]. International Journal of Engineering Science and Technology, 2010, 2(3):165—171.
- [4] 徐 钊, 温小荣, 余光辉. 典型丘陵山区遥感影像分类方法研究 [J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2013, 35(10): 126—132.
- [5] 倪元敏, 巫 茜. 基于模糊形态学的图像边缘轮廓提取改进分割算法 [J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 2013, 38(12): 95—100.
- [6] 王志兵, 鲁瑞华. 改进的基于模糊 C-均值聚类的图像分割算法 [J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2009, 31(3): 169—172.
- [7] 李成范, 刘 岚, 周廷刚. 基于行道树的高分辨率遥感影像道路提取研究 [J]. 遥感信息, 2009(1): 32—35.
- [8] DAL POZP, ZANIN R B, VALE G M. Automated Extraction of Road Network from Medium and High-Resolution Images [J]. Pattern Recognition and Image Analysis, 2006, 16(2): 239—248.
- [9] ALI H M, BOSHIR A, ARIFUL I M. Automatic Extraction of Road Intersections from Satellite Imagery in Urban Areas [C] //Proceedings of IEEE 6th International Conference on Electrical and Computer Engineering, Dhaka, Bengal: IEEE, 2010: 686—689.
- [10] ZHOU J, BISCHOF W F, CAELLI T. Road Tracking in Aerial Images Based on Human-Comuter linteraction and Bayesian Filtering [J]. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 2006, 61(2): 108—124.
- [11] GRUEN A, 果 HH LI. Semi-Automatic Linear Feature Extraction by Dynamic Programming and LSB-Snakes [J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1997, 63(8): 985—995.
- [12] 朱长青, 杨 云, 邹 芳, 等. 高分辨率影像道路提取的整体矩形匹配方法 [J]. 华中科技大学学报: 自然科学版, 2008, 36(2): 74—77.
- [13] 张 睿, 继 贤, 海 涛. 基于角度纹理特征及剖面匹配的高分辨率遥感影像带状道路半自动提取 [J]. 遥感学报, 2008, 12(2): 224—232.
- [14] VOSSelman G, KNECHT J. Road Tracing by Profile Matching and Kalman Filtering [A]. In Proceeding of the Workshop on Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images [C]. Germany: Birkhaeuser, 1995.
- [15] HAVERKAMP D. Extracting Straight Road Structure in Urban Environments Using IKONOS Satellite Imagery [J].

Optical Engineering, 2002, 41(9): 2107—2110.

- [16] ACKERMANN F. Digital Image Correlation: Performance and Potential Application in Photogrammetry [J]. The Photogrammetric Record, 1984, 64(11): 429—439.
- [17] JIN X Y, DAVIS C H. Multispectral IKONOS Imagery Automatic Road Extraction from High-Resolution [C]. Proceedings of the IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Toulouse, 2003(3): 1730—1732.

## Research of a Semi-Automatic Extraction Method for Linear Features Based on Rectangular Template Matching

SUN Chen-yang<sup>1</sup>, ZHOU Ting-gang<sup>1</sup>, CHEN Sheng-bo<sup>2</sup>,  
SHEN Jing-wei<sup>1</sup>, WANG Jun-fei<sup>1</sup>, YANG Hua<sup>1</sup>

1. Key Laboratory of Eco-Environments in Three Gorges Reservoir Region (Ministry of Education), / School of Geographical Sciences, Southwest University, Chongqing 400715, China;
2. College of Geoexploration Science and Technology, Jilin University, Changchun 130026, China

**Abstract:** After analyzing the features of linear objects in high resolution remote sensing images, based on rectangular template matching, a method for extraction of linear features in high resolution remote sensing images is presented in this paper. With this method, the user can choose the seed rectangle region, and the system can automatically define the matching region and complete the least squares matching of the seed region and the matching region, thus realizing a semi-automatic extraction of linear features. To verify this method, we did a contrast experiment with the methods of rectangular template matching, profile matching and angle texture matching. The research and the experiment results showed that this method can extract linear features in high resolution remote sensing images rapidly and accurately. It is of good practical value, for it can save time and human labor.

**Key words:** rectangular template; least squares matching method; linear feature; semi-automatic extraction; high resolution remote sensing image

责任编辑 潘春燕

