

# 基于 T 型模板匹配半自动提取 高分辨率遥感影像带状道路

林祥国<sup>1,2</sup> 张继贤<sup>2</sup> 李海涛<sup>2</sup> 杨景辉<sup>1</sup>

(1 武汉大学资源与环境科学学院,武汉市珞喻路 129 号,430079)

(2 中国测绘科学研究院,北京市海淀区北太平路 16 号,100039)

**摘 要:**通过分析高分辨率光学遥感影像上的道路特征,提出了适用于有较多车辆遮蔽和两侧行树阴影干扰的 T 型模板匹配的道路提取算子。它融合了剖面匹配和模板匹配的优势,使用角度纹理特征进行初始道路点的精确定位,道路宽度、道路前进方向的精确量算,使用灰度最小二乘匹配进行最佳道路点的定位,可以很好地追踪高分辨率光学遥感影像上受车辆遮蔽和行树阴影等噪声干扰的带状道路。

**关键词:**半自动道路提取;高分辨率遥感影像;角度纹理特征;模板匹配;Snakes 算法;剖面匹配

**中图法分类号:**P237.3

从高分辨率遥感影像上提取道路是目前计算机视觉、人工智能、摄影测量和遥感学科的研究重点之一,它对 GIS 数据的自动获取和更新、影像匹配、目标检测和数字测图自动化等具有重要的意义<sup>[1]</sup>。从目前的研究现状看,全自动算法的鲁棒性不好,提取的结果还需要进行大量的编辑后处理,实用的全自动道路提取系统目前还无法实现<sup>[2]</sup>,而半自动的道路提取方法由于既充分利用了人的认知、识别、检测能力,又充分发挥了计算机的量算能力,被认为是当前更好的选择。在过去的 20 多年中,人们提出了多种有效的半自动道路提取算法<sup>[3-8]</sup>。在这些方法中,剖面匹配和矩形模板匹配被认为是更实用有效的方法,但也存在很多局限性。本文通过分析高分辨率影像上道路的特征和目前各种算子的特性,提出了一种基于最小二乘 T 型模板匹配的道路追踪算子,以克服道路周边行树阴影和车辆遮蔽形成的噪声影响。

## 1 道路特征和算子的设计

### 1.1 道路的特征

在高分辨率遥感影像中,道路的基本特征可以分为几何形态特征、辐射特征、拓扑特征、功能特征、上下文特征等五类<sup>[4,5]</sup>,本文根据下述道路

特征改进了剖面匹配和矩形模板匹配算子:① 几何形态特征。道路呈长条带状,某道路段的宽度基本保持不变;道路的曲率变化是有限的。② 辐射特征。道路区域具有相似的灰度值、相似的纹理特征;道路与周围的地物具有较大的对比度。③ 上下文特征。道路往往被周边的树木、房屋等其他相对较高的地物遮蔽,道路上有车辆或绿化带;反过来,车辆、行树、绿化带、房屋等的出现会预示着可能有道路存在。

仔细观察道路上车辆和阴影等障碍物的分布发现,对有道路中心线标志、行道标志或条形绿化带等特征的道路,障碍物一般平行于上述特征分布,遮盖的概率很小;对于没有上述特征的道路,抽取道路的中轴线,障碍物一般平行于中轴线分布,遮盖中轴线的概率很小。障碍物分布的这种特性为提取道路提供了线索。

### 1.2 道路提取的技术流程

1) 生成道路的 T 型模型模板。利用初始化信息自动获取道路的起始点、道路前进方向  $\theta$ 、道路宽度  $w$ ,垂直于道路前进方向  $\theta$  以起始点为中心生成道路剖面;平行于道路前进方向以起始点为左侧边的中心生成具有一定宽度和长度的矩形模板,见图 1。本文中,剖面的宽度为道路宽度的两倍,矩形模板的宽度等于道路中心标志线或绿

化带的宽度,长度等于道路宽度的两倍,并将起始点加入道路轨迹。

2) 生成道路的 T 型目标模板,计算模型模板与目标模板的最小二乘值。从当前道路点沿前进方向  $\theta$  行进一定的步长  $S$ ,到达点  $P$ ,沿垂直于  $\theta$  的方向进行平移和旋转(见式(1)),可以产生一系列的目标模板,求目标模板与模型模板灰度差的平方和<sup>[9]</sup>,最小的平方和对应的点为最精确的道路点,并求当前道路点与最新道路点形成的直线与水平方向的夹角  $\theta$ 。

$$\begin{bmatrix} x_{\text{search}} \\ y_{\text{search}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta_{\text{rotating}} & -\sin\theta_{\text{rotating}} \\ \sin\theta_{\text{rotating}} & \cos\theta_{\text{rotating}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_{\text{reference}} + S\cos\theta - l\cos\theta \\ y_{\text{reference}} + S\sin\theta - l\sin\theta \end{bmatrix}$$

式中,  $(x_{\text{search}}, y_{\text{search}})$  是预测点的坐标;  $(x_{\text{reference}}, y_{\text{reference}})$  是当前道路点的坐标;  $\theta_{\text{rotating}}$  是旋转角;  $S$  是前进步长;  $\theta$  是当前道路点的前进方向;  $l$  是偏移距离。其中,  $S$  与道路的宽度  $w$  成正比;  $\theta_{\text{rotating}}$  与  $l$  是变量;  $\theta_{\text{rotating}}$  的取值范围为  $(0^\circ, \pm 5^\circ, \pm 10^\circ, \pm 15^\circ, \pm 20^\circ)$ ;  $l$  的取值范围为  $(0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm \text{int}(w/8))$ 。

3) 检查是否符合停止条件。如果到达图像的边缘,或到达另一条已追踪的道路,或最小二乘值大于一定的阈值  $T_0$ ,则转入步骤 4); 否则,将最新道路点加入道路轨迹,转入步骤 2)。

4) 停止追踪,并向用户报告可能的原因,要求用户作出响应。

### 1.3 角度纹理特征

T 型模板匹配算子对初始化的条件要求较高,需要精确的定位道路中心点和前进方向,本文使用了角度纹理特征<sup>[8]</sup>对输入的初始点进行优化。角度纹理特征的基本原理如下:以当前的道路中心轨迹点为旋转点,以道路宽度为矩形模板的宽度,以大于两倍长的宽度为矩形模板的长度,以道路行进方向为中轴线,以两侧各  $90^\circ$  为限对矩形模板进行旋转,计算  $180^\circ$  内的每个模板窗口的方差。根据道路特征,相应的极小值对应的角度即为道路的前进方向,见图 2(图中旋转的间隔为  $10^\circ$ ,为了便于显示,没有显示序号为偶数的矩形模板)。假设初始化道路起点和宽度的误差服从高斯分布,在一定的范围内移动道路起始点,计算不同道路宽度的角度纹理特征,方差最小的矩形窗口对应的起始点和宽度为道路的最佳起始点和最佳道路宽度,其对应的方向为道路的最佳前进方向。角度纹理特征可用于道路的追踪<sup>[8]</sup>。

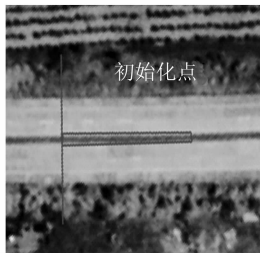


图 1 T 型模板示意图  
Fig. 1 T-shaped Template

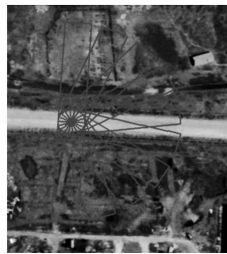


图 2 角度纹理特征示意图  
Fig. 2 Angular Texture Signature

## 2 试验与分析

试验平台的配置如下: CPU 为 Pentium 4 2.0 GHz,内存 1 GB, Windows XP 系统。试验数据由中国测绘科学研究院摄影测量与遥感所提供。

### 2.1 算子的比较试验

使用 VC++ 6.0 实现了最小二乘剖面匹配、最小二乘矩形模板匹配、Snakes 算子、角度纹理特征和本文提出的 T 型模板匹配算子,利用北京市怀柔区局部区域的一张 QuickBird 全色影像对上述算法的道路提取效果进行了分析。该图像的大小为 355 像素  $\times$  1 066 像素,图像上道路与其他地物的对比度明显,道路面光谱辐射比较均一,道路轨迹连续、光滑,但曲率变化不一,道路中心有一明显的呈暗色调的绿化条带,但图像局部区域也受到较大的其他地物噪声的干扰(见图 3(a))。从道路中心轴线的提取效果看,使用最小二乘剖面匹配,局部噪声干扰会造成追踪轨迹有较大的摆动误差(见图 3(b)),因为剖面受噪声的干扰较大。使用基于灰度的最小二乘矩形模板匹配,在道路曲率变化不大的情况下提取的道路轨迹与道路中心轴线拟合得很好,但在曲率变化较大处,提取的道路轨迹点明显偏离了道路中心线(见图 3(c)),这是矩形模板匹配普遍存在的问题。图 3(d)是有 4 个种子点时获取的道路轨迹,该道路轨迹与道路中心轴线拟合得相当好;图 3(e)是只有 2 个种子点时获取的道路轨迹,提取结果并不理想。同时考虑到算法的复杂性,Snakes 并不适合实用高效的道路提取系统。使用角度纹理特征提取的道路轨迹与矩形模板匹配的提取效果相当(见图 3(f))。使用 T 型模板匹配算子提取的道路轨迹的精度和准确度与 Snakes 算子有 4 个种子点时的道路提取效果相当(见图 3(g))。由于本图像比较理想,用户初始化后,追踪过程不需要人工干预,除去初始化的时间,从算子花费时间的角度看,快慢依次为剖面匹配(1.2 s)、

T 型模板匹配(1.6 s)、Snakes 算子(2.1 s)、模板匹配(7.5 s)、角度纹理特征算子(18.6 s)。就目前计算机的运算速度而言,剖面匹配和 T 型模板匹配需要在程序中人为地延长其运行时间,才能使操

作员实时地对追踪的结果进行监督和响应。从本试验看,T 型模板匹配算子的运算速度快,道路提取效果好。对多幅类似的图像进行试验,也能得出同样的结果。



图 3 算法对比试验

Fig. 3 Comparison of Algorithms

2.2 复杂场景中的道路提取试验

试验数据选取天津市某局部区域 DMC 相机拍摄的数码航空像片,影像大小为 2 543 像素×3 346 像素,空间分辨率为 20 cm。影像中,道路有车道线标志,路面有较多的车辆遮蔽和周边行树的阴影、立交桥处,高层道路在地面有大面积的投影,各路段的辐射特性不一。通过局部试验发现,剖面匹配、矩形模板匹配、Snakes 算子在追踪过程中经常失败而大大降低了道路追踪的效率,因此,全局试验只采用了角度纹理特征算子和 T 型模板匹配算子。角度纹理特征算子在提取过程中,在车辆遮蔽和阴影严重的区域需要大量的人工干预,共出现错误 20 次,提示用户手工输入 2 次,包括用户初始化和追踪过程中手工输入共 258 次,耗时 1 285 s。T 型模板匹配算子在道路追踪过程中,车辆遮蔽和两侧阴影对追踪过程有轻微的影响,但提取的精度在允许的范围内,见图 4;在道路辐射突变处,需要人工重新定义新的道路模板,共出现错误 4 次,提示用户重新输入 8 次,用户手工输入共 89 次,耗时 482 s。T 型模板的两个部分可以互为补充,当剖面受车辆和阴影的影响较大时,矩形模板受到的干扰较小;当没有道路中心线标志、行道标志或条形绿化带等特征

时,剖面的存在使得最小二乘匹配点仍然趋向道路中心点。但该算子无法自动提取立交桥交叉口处被遮蔽的道路、无法处理道路宽度突变的路况。需要指出的是,角度纹理特征和 T 型模板匹配只使用了其中的红色波段。研究证明,使用 T 型模板匹配时,使用多波段的数据没有明显地改进道路提取的精度。

2.3 结果评价

对道路自动和半自动的提取效果有很多不同的评价指标<sup>[5]</sup>,Zhou 提出用正确性、完整性、精度和效率评价道路半自动提取的结果。为了衡量本文算子的效率,结合实际情况,本文从错误发生次数、程序自动停止提示用户响应次数、人工输入次数的节省和完成追踪总耗费时间 4 个方面来衡量。用户手工追踪时,要求追踪步长尽量与计算机自动追踪的步长一致,保证追踪道路的平滑,对于 § 2.2 中试验的结果见表 1。采用角度纹理特征,用户点击次数减少 88.9%,计算机总耗时比全手工提取时间减少 14.7%;采用 T 型模板匹配,用户点击次数减少 96.8%,计算机总耗时比全手工提取时间减少 69.1%。本算法在保证数据精度的同时,极大地减少了用户的劳动强度和花费的时间。

表 1 DMC 图像半自动提取算法与全手工道路提取结果比较

Tab. 1 Comparison of Semi-automatic Road Extraction Algorithms and Fully Manual Extraction from a DMC

	追踪错误 次数/次	追踪停止 次数/次	手工输入 次数/次	总时间 花费/s
角度纹理特征	20	2	258	1 285
T 型模板匹配	4	8	89	482
手工追踪	0	0	2 138	1 507

3 结 语

本文提出的 T 型模板匹配的道路提取算子融合了剖面匹配和模板匹配的特性,使用角度纹

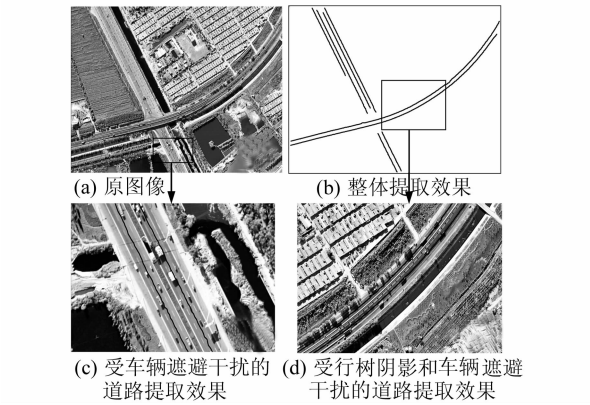


图 4 DMC 图像试验

Fig. 4 Experiment of DMC Image

理特征进行初始道路点的精确定位、道路宽度、道路前进方向的精确量算,使用灰度最小二乘匹配进行最佳道路点的预测,弥补了特征匹配中特征不足或多样性带来的弊端。目前,该算子的局限性在于不能很好地适应道路辐射突变的情形,对道路交叉口的处理也需要大量的人工干预。今后的研究重点应放在算子的自动模板更新和对交叉口、立交桥、道路宽度变换的高层感知和处理上。另外,T型模板中矩形模板部分是否能够根据车道数量的增加而增加,以进一步提高算法对复杂路况的稳健性,也有待进一步研究。

参 考 文 献

[1] 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

[2] Baumgartner A, Hinz S, Wiedemann C. Efficient Methods and Interfaces for Road Tracking[J]. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 2002, 34(3B):28-31

[3] Lynn H Q. Road Tracking and Anomaly Detection in Aerial Imagery[C]. Image Understanding Workshop, London, UK, 1978

[4] Vosselman G, de Knecht J. Road Tracing by Profile

Matching and Kalman Filtering[C]. Workshop on Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images, Birkhaeuser, Germany, 1995

[5] Zhou J, Bischof W F, Caelli T. Road Tracking in Aerial Images Based on Human-computer Interaction and Bayesian Filtering [J]. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 2006, 61: 108-124

[6] Park S, Kim T. Semi-automatic Road Extraction Algorithm from IKONOS Images Using Template Matching[C]. The 22nd Asian Conference on Remote Sensing, Singapore, 2001

[7] 杨云,朱长青,张德.高分辨率遥感影像上道路中心线的半自动提取[J].计算机辅助设计与图形学学报,2007,19(6):781-785

[8] 张睿,张继贤,李海涛.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):42-50

[9] 张祖勋,张剑清.数字摄影测量学[M].武汉:武汉大学出版社,2005:180-183

第一作者简介:林祥国,博士生。现从事遥感图像处理与信息提取方面的研究。  
E-mail:linxianguo@gmail.com

Semi-automatic Extraction of Ribbon Road from High Resolution Remotely Sensed Imagery by a T-shaped Template Matching

LIN Xiangguo<sup>1,2</sup> ZHANG Jixian<sup>2</sup> LI Haitao<sup>2</sup> YANG Jinghui<sup>1</sup>

(1 School of Resources and Environment Science, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)  
(2 Chinese Academy of Surveying and Mapping, 16 Beitaping Road, Haidian District, Beijing 100039, China)

**Abstract:** Based on the characteristics of roads on high-resolution remotely sensed imagery, a T-shaped template matching is proposed to track ribbon roads with much vehicles occlusion and shadow of colonnade on roads' edges. The T-shaped template matching integrates the merits of profile matching and template matching. Our tracker uses angular texture signature to locate the starting point and to measure the road width and road direction, and employs a T-shaped template matching to predict the sequential road points. It is proved a more robust semi-automatic road tracker.

**Key words:** semi-automatic road extraction; high resolution remotely sensed imagery; angular texture signature; template matching; Snakes algorithm; profile matching

About the first author: LIN Xiangguo, Ph.D candidate, majors in remotely sensed image processing and information extraction.  
E-mail: linxianguo@gmail.com