

航空影像上线状地物的半自动提取

胡翔云 张祖勋 张剑清

(武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室, 武汉 430079)

摘要 提出了一种顾及操作性、稳定性、精度和速度的从航空影像半自动提取线状地物的策略和算法。在人工依次输入的每两个初始点之间,提取连续的抛物线。该方法先通过二值模板快速相关和优化计算得到剔除了错误匹配后的初始抛物线参数,然后以其为初值,基于整体最小二乘模板匹配,解求参数的精确值,以获得更高的定位精度。通过自适应的模板克服了线特征的对比度和线宽度的变化对定位带来的影响。实验结果表明,该算法有较强的抗干扰能力和较高的精度,有较好的实用价值。

关键词 线状地物 半自动提取 最小二乘匹配 自适应模板

中图分类号: P231.5 TP751.1 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2002)02-0137-04

Semiautomatic Extraction of Linear Object form Aerial Image

HU Xiang-yun, ZHANG Zu-xun, ZHANG Jian-qing

(National Lab of Information engineering for Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, Wuhan 430079)

Abstract The paper introduces a method of semiautomatic extraction of linear objects from aerial images that has good interactive performance, robustness, accuracy and real time response. A linear object is extracted as a consecutive parabola between each input two seed points. First, through fast binary-template matching by correlation and optimize algorithm, the initial parameters of the parabola which have eliminated the blunders caused by shadow and other noises are calculated, and then the least squares template matching is used for accurate positioning by evaluating the adjusted precise parameters of the parabola. This paper specifies the mathematical model of least square template matching and the self-adaptive template generation to overcome the effects of changes of the width and contrast of the linear feature. The least squares template matching could also be seen as an optimal algorithm that integrates the image feature and geometrical constraints together and has been studied well for long terms. If the proper initial values have been given, the least square method works well and is often applied to solve the accurate positioning problem. The experimental results indicate that the method could gain high accuracy and is robust and ready to practical mapping production from aerial images.

Keywords Linear object, Semiautomatic extraction, Least squares matching, Self-adaptive template

0 引言

当代的数字摄影测量系统大多数都可以通过自动或半自动的模型定向和影像匹配生成数字高程模型,并已经在国内外的生产单位获得了广泛的应用^[1]。道路网和水系等线状地物(特别是道路)是非常重要的地理基础信息,而目前对它们的自动识别仍然很难。以道路网的自动提取为例,从20世纪70年

代至今,已作了大量的研究,并在特定的情况下取得了一些进展,如在中小比例尺的航空影像上,道路不密集的农村地区可以确认大部分的道路网,但仍有相当部分的错误^[2]。在可预见的将来,达到足以代替人工测图自动化程度的实用化系统仍然难以出现^[3]。鉴于此和实际应用的考虑,在目前的条件下,由人工干预或人工引导的半自动提取,将人的模式识别能力和计算机快速、精确的计算能力有机地结合起来,能较大地提高效率和减轻劳动强度。

摄影测量与遥感界对航空遥感影像上的线状特征半自动提取进行了深入的研究^[3~6]。半自动提取大多基于对线特征的灰度特征和几何约束的整体优化计算,如动态规划^[4]、可变模型或 Snakes 方法^[5]、最小二乘 B 样条与 Snakes 相结合的 LSB-Snakes 方法^[6]等,它们的区别只在于优化计算的手段有所不同。对实用化的系统来说,算法设计还应考虑如何实现高效的人机协同。有的研究虽然引入了协同论,但却没有考虑交互性等问题^[5]。本文提出了一种顾及提取的操作性、稳定性、精度和速度的提取策略和算法。

1 航空影像上线特征的半自动提取

1.1 线状地物的灰度特征和几何约束

道路特征可归为灰度、几何、拓扑、功能、以及关联或上下文(Context)的约束^[7]。对半自动提取中小比例尺影像上的道路提取而言,前两者(即灰度和几何约束)是最重要的。道路的灰度特征可表述为在垂直于道路的方向上具有一定对比度的、道路两边较暗,而道路上比较亮的线特征,据此生成的剖面灰度模板是提取的基础。从几何特征来说,用二次或三次的 B 样条、圆弧样条、张力样条等都可以描述其形状。这里采用分段连续的抛物线作为道路的几何约束,从大量的影像来看,是符合实际的,且有利于提高提取的交互性。水域边界的灰度特征用垂直于轮廓线的边缘特征来描述,据此生成边缘模板,几何约束同道路。

1.2 半自动提取的策略

半自动提取的策略是:在人工依次输入的每两个种子点之间提取各段连续的抛物线。如图 1 所示,圆点表示输入的点,算法在依次输入两点所决定的搜索范围内,由模板的移动相关提取抛物线

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 \tag{1}$$

因为该曲线同上一段抛物线连续的条件是:起始点与前段曲线同当前段 y 坐标轴的交点相同,即 $(0, a_0)$ 点为已知,所以只需求取另外 2 个参数。 a_0 可以由前段的曲线参数和相邻两段局部坐标系参数计算得到。算法分为两步,首先通过二值模板快速相关和优化计算得到剔除了错误匹配后的初始抛物线参数,然后以其为初值,在小的搜索范围内,基于自适应的最小二乘模板匹配,解求参数的精确值。下面以道路半自动提取为例介绍算法。着重叙述了最小二乘模板匹配的数学模型和自适应模板克服线特征的对比度和线宽度的变化对定位带来的影响。



(a) 依次输入人工点提取道路



(b) 在搜索的影像段内提取抛物线

图 1 航空影像上道路的半自动提取

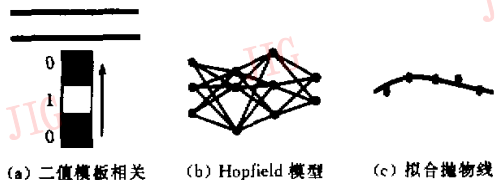
2 提取算法

2.1 确定初始抛物线的参数

如图 1 所示,在输入人工点决定的搜索范围内以垂直道路方向的剖面灰度模板沿 y 方向进行移动相关,即计算模板与影像的相关系数

$$\rho(p, q) = \frac{C(p, q)}{\sqrt{C_{xx}C_{yy}}(p, q)} \tag{2}$$

它是两信号 $g(x, y)$ 和 $g'(x', y')$ 的协方差函数除以其方差。其中, p, q 表示灰度模板内象素的行、列位置。由于相关系数是灰度线性变换的不变量^[8],可用二值模板代替灰度模板(图 2(a)),因此极大地加快了搜索匹配的速度,当采样的范围比较大时,还可采用多分辨率的数据结构。在得到匹配的多峰值以后,依据道路的灰度和几何约束构建一个用于从这些候选点中选出“最优”的 Hopfield 神经网络作为组合优化手段(图 2(b)),然后对其输出的结果进行最小二乘拟合,得到初始的抛物线(图 2(c))。大量的实验表明,该算法能够有效的克服噪声的干扰,甚至对一些如林中小路那样比较模糊的道路也能稳定地输出正确的结果^[9]。



(a) 二值模板相关 (b) Hopfield 模型 (c) 拟合抛物线

图 2 确定初始抛物线参数

2.2 自适应最小二乘模板匹配

确定了初始的抛物线参数以后,用自适应最小二乘模板匹配求取其精确值.二值模板匹配的结果常常并不在道路的中心,即它的定位是不精确的(但不会太远,一般都在道路中心附近的几个象素之内).这有几方面的原因:一是二值模板将道路两边边缘表示为理想的阶跃边缘,这与实际的航空影像由于成像和扫描等过程造成的刀刃状边缘是不符的;二是道路的宽度在局部有微小的变化;另外,二值模板将道路的灰度断面设定为两边对比度相同,那么由于实际两边对比度的不同,往往导致对线特征中心定位的误差^[10].

如图 3,假设道路某个局部的灰度剖面是 T_{ADP} ,即宽度由初始的 W_0 变为 W_N ,而且两边的对比度各不相同.线宽度定义为两边边缘中心,即梯度变化的极大值或二阶导数过零点(Zero Crossing)处的距离.以边缘模板 T_E 在其两边的小搜索范围(2~3 个象素)内分别进行相关匹配,以两者匹配极大值处的距离作为新的宽度 W_N .

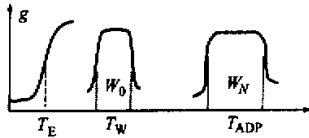


图 3 线特征的灰度剖面模板

相关系数表示了信号 X 和 Y 之间存在线性关系

$$Y = aX + b \quad (3)$$

的概率,而两边对比度可以通过模板 T_E 与影像边缘的最小二乘估计解算 a 和 b 来得到.因此,就在每个初始的道路中心点处得到了适应于宽度的微小变化和两边不同对比度的新模板 T_{ADP} .

如图 4,设初始的抛物线为 $y = a_0 + a_1x + a_2x^2$,而纠正以后的抛物线为 $y' = a_0' + a_1'x + a_2'x^2$,则误差为

$$\Delta y = \Delta a_1x + \Delta a_2x^2 \quad (4)$$

设模板的灰度为 $g_m(y) = g(y + \Delta y)$,对等式右边进行展开得

$$g_m(y) + v_g = g(y) + \frac{\partial g}{\partial y} \Delta y \quad (5)$$

其中, v_g 为误差.灰度对 y 方向的偏导数由其在 y 方向的梯度 g'_y 代替,而观测值的权 p 为匹配峰值处的相关系数 ρ ,由式(4)和式(5)得

$$g'_y x \cdot \Delta a_1 + g''_y x^2 \cdot \Delta a_2 (g_m - g) = v_g \quad (6)$$

通过在模板范围内的象元灰度列出式(6)的误差方程,进行迭代计算,求得 a_1 和 a_2 的改正数.

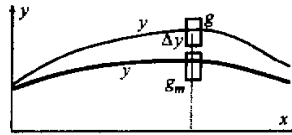
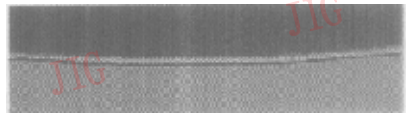
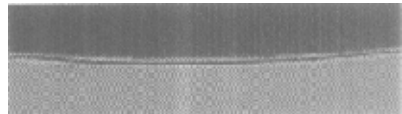


图 4 用最小二乘模板匹配重新定位抛物线

图 5 是一个两边对比度相差较大时的线特征模拟数据,线宽为 7 个象素,分别用缺省的模板 T_W 和自适应模板 T_{ADP} 对中心线进行提取得到的不同结果.从图中可以看到,自适应的模板有效地克服了由线两边对比度的不同而对中心线定位的影响,得到了精确的定位结果.



(a) 缺省模板

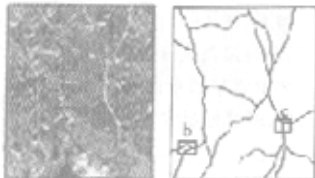


(b) 自适应模板

图 5 缺省模板和自适应模板提取的比较

3 实验结果

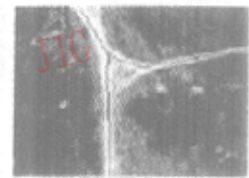
图 6(a)是用本文的方法提取道路网的结果.实验结果表明,至少在效率上比完全人工的切准提取



(a) 用本文方法提取的道路图



(b) (a)图局部放大图象



(c) (a)图局部放大图象

图 6 半自动提取道路网的结果

快两倍,而且提取的结果只需要极少量的编辑.图6(b)和图6(c)是影像的局部放大4倍,可以看到算法抗局部压盖干扰的能力,而且其对道路中心线的定位是非常精确的,可以大大减轻操作员的劳动强度,并达到测量精度的要求.图7是半自动提取的水域边界,白圆点是依次输入的人工点,其算法与道路提取不同之处在于模板是自适应的边缘模板 T_E (参见图3),而且无须考虑线的宽度.



图7 半自动提取的水域边界

4 结论

从航空影像半自动提取道路等线状地物是目前实用化的数字摄影测量系统要达到更高的自动化程度所必然遇到的问题之一.本文的方法顾及了实用系统对半自动提取的要求.在精确性方面,自适应的最小二乘模板匹配,对特征进行了精度高于人工切准的定位;操作员在依次输入人工点时,由于每段的提取相对独立(前段的结果只决定当前段的一个参数),所以常用的回退操作易于实现,这与基于样条曲线的提取相比,交互性更强;基于道路灰度和几何约束的优化计算剔除了错误匹配,克服了噪声的干扰;确定抛物线初始参数的二值模板快速相关和小搜索范围内的最小二乘模板匹配,保证了算法运行的速度,使得提取的结果可随着人工点的输入即时显示.最小二乘法作为一种以误差平方和最小为准则的优化计算方法,结合自适应的模板可以克服线特征的对比度和线宽度的变化对定位带来的影响,实现了优于人工切准的高精度定位.

本文的提取策略和算法已经在实用化的数字摄影测量系统中得到应用,从而验证了它可以应用于实际的生产之中.进一步的研究包括对算法进行扩充,使它可以提取更多类型的道路(例如在城区,道路的路面情况将更加复杂)、水系等线状地物,并使其具有更高的稳定性.

参考文献

1 李德仁. 摄影测量与遥感的现状及发展趋势[J]. 武汉测绘科技

大学学报,2000,25(1):1~5.

- Wiedeman C, Heipke C, Mayer H *et al.* Empirical evaluation of automatically extracted road axes[A]. In: Empirical Evaluation Methods in Computer Vision [C], IEEE Computer Society Press, 1998:172~187.
- Li H H. Semiautomatic road extraction from satellite and aerial images[D]. Zurich: Institute of Geodesy and Photogrammetry of ETH press, 1997:5~14.
- Gruen A, Li H H. Road extraction from aerial and satellite images by dynamic programming [J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Sensing, 1995,50(4):11~20.
- 林宗坚,刘少创. 航空影像中道路提取的Snake方法[J]. 武汉测绘科技大学学报,1996,21(3):177~182.
- Gruen A, Li H H. Linear features extraction with 3D LSB-snakes[A]. In: Gruen A (eds), Automatic Extraction of Man-made Objects from Aerial and Space Images (I) [C], Basel: Birkhauser, 1997:287~298.
- Vosselman G, Knecht J. Road tracing by profile matching and Kalman filtering [A]. In: Gruen A (eds), Automatic Extraction of Man-made Objects from Aerial and Space Images [C]. Basel: Birkhauser, 1995:265~274.
- 张祖勋,张剑清. 数字摄影测量学[M]. 武汉:武汉测绘科技大学出版社,1997:166~169.
- HU Xiang-yun, ZHANG Zu-xun, ZHANG Jian-qing. An approach of semiautomatic road extraction from aerial image based on template matching and neural network[A]. In: Beek K J (eds), International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol XXX II Part B3 [C], Amsterdam: Organizing Committee of the Congress, 2000:994~999.
- Steger C. Subpixel-precise extraction of lines and edges [A]. In: Beek K J, (eds), International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol XXX II Part B3 [C], Amsterdam: Organizing committee of the Congress, 2000:141~156.



胡翔云 1973年生,1995年毕业于武汉测绘科技大学电子工程系,1998年获该校摄影测量与遥感硕士学位,现为武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室博士研究生.研究方向为航空遥感影像信息自动提取与图象处理.



张祖勋 1937年生,1960年毕业于武汉测绘学院.现为武汉大学教授,博士生导师,国家有突出贡献的中青年专家,国际欧亚科学院院士.从事摄影测量、遥感与图象处理等领域的研究.发表学术论文80多篇.



张剑清 1946年生,1969年毕业于南开大学,现为武汉大学教授,博士生导师.国家有突出贡献的中青年专家.从事数字摄影测量、遥感等领域的研究.发表学术论文90多篇.