

从遥感影像提取道路特征的方法综述与展望

史文中¹,朱长青^{1,2},王 昱³

(1. 香港理工大学土地测量与地理资讯学系, 香港; 2. 解放军信息工程大学测绘学院, 河南 郑州 450052;
3. 西安测绘研究所, 陕西 西安 710054)

Road Feature Extraction from Remotely Sensed Image Review and Prospects

SHI Wen-zhong¹, ZHU Chang-qing^{1,2}, WANG Yu³

(1. Department of Land Surveying and Geo-informatics, The Hongkong Polytechnic University, Hong Kong, China; 2. Institute of Surveying & Mapping, Information Engineering University of PLA, Zhengzhou 450052, China; 3. Xi'an research Institute of Surveying and Mapping, Xi'an 710054, China)

Abstract It is still an open problem to extract road feature from remotely sensed image, although there had been a lot efforts put in this area. This paper describes the general approaches of road feature extraction, reviews the state-of-the-art of the road feature extraction methods, and analyzes the characteristics of these methods. Finally, research issues are recommended for future studies.

Key words remotely sensed image; road feature extraction; review; prospects

摘 要: 从遥感影像中提取道路特征已有许多研究,但仍存在许多问题有待解决。本文探讨了道路特征提取的基本思想,对道路特征提取的基本方法和现状进行了较全面的综述,介绍了具有代表性的特征提取方法,并对各个方法的特点进行了分析,最后对道路特征提取的研究前景进行了展望。

关键词: 遥感影像;道路特征提取;综述;展望

1 引 言

卫星遥感影像能够快速提供地球表面的信息,但是中、低分辨率的卫星遥感影像对于提取高精度的 GIS 信息、地图更新、目标识别等具有一定的局限性。高分辨率的卫星遥感影像(例如 IKONOS, SPOT5, COSMOS, OrbView 等)的发展使得遥感影像的深入应用成为可能,从而为 GIS 数据的更新、GIS 的应用提供了有利的条件。

对于地图更新、影像匹配、目标检测等也具有重要意义。而从遥感影像中提取影像特征则成为关键问题。特征提取一般分为 3 个部分,一是面状特征的提取;二是线性特征的提取;三是点状特征的提取。在测绘领域,航空影像特征提取方面的研究已有较多成果。但是,在卫星遥感影像特征提取特别是高分辨率影像方面的研究还不多。提取影像的特征不仅在测绘领域,在其他领域如计算机图形学、计算机视觉、模式识别、人工智能等方面也具

有重要意义。

目前,特征提取已成为非常活跃的研究领域,不仅在测绘界,而且在计算机视觉等领域都引起很大的重视。例如美国的 McKewon 实验室,瑞士的“Amobé”项目,德国的波恩大学,奥地利的格拉茨大学和法国的地理院等都在这方面做了许多工作,取得了很大的成绩。

本文从遥感影像和航空影像的道路特征提取出发,对道路特征提取的基本思想和方法进行了探讨,对近年来道路特征提取的研究状况进行了分析和总结,并对道路特征提取的进一步发展提出了分析和展望。

2 影像道路特征提取基本思想

影像特征是由于景物的物理与几何特性使影像中局部区域的灰度产生明显变化而形成的。因而特征的存在意味着在该局部区域中有较大的信息量,而在影像中没有特征的区域,应当只有较小的信息量。

影像特征的提取,即从影像中提取有用的信息和视觉特征。按照 Marr 视觉理论,视觉从最初的原始数据(2维影像数据)到最终对 3 维环境的表达经历了 3 个层次:① 要素图。它包含图像边缘点、线段、顶点、纹理等基本几何特征组成,这个层次称为低层次处理。② 2.5 维图。它是要素图与 3 维图像模型之间中间表示层次,包含物体表面的局部内在特征,这个层次称为中层次处理。③ 3 维图。以物体为中心的 3 维描述,它是由要素图与 2.5 维图得到的。它包含对物体的理解、识别等,这个层次称为高层次处理。

与其他特征提取一样,道路特征提取同样遵循 Marr 视觉理论。道路特征提取应该在低、中、高三层次上进行。道路特征提取一般方法主要分以下阶段,如图 1 所示。

对影像从不同角度进行分析,在各个层次采取适当的算法,即可得到不同的特征提取方法。影像道路特征提取与众多学科如计算机图形学、模式识别、人工智能、数学等密切相关,相关学科新的方法的应用,推动着道路特征提取方法的发展。

根据道路特征提取的自动化程度,一般地,道路特征提取分为自动特征提取和半自动特征提取。从目前的研究进展来看,自动特征提取存在很大困难,因为利用计算机提取道路特征,包括“识

别”和“量测”两部分。其中“识别”对于计算机来说是十分困难的,而对于人来说则相对简单。而“量测”即精确的定位,对于计算机来说,则要相对简单。因此,利用计算机和人各自的优点进行半自动特征提取和识别,在目前来讲更为现实。

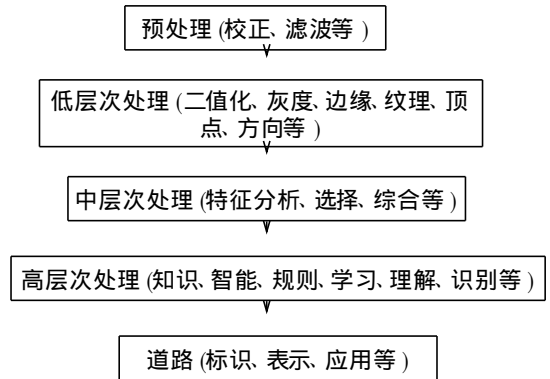


图 1
fig. 1

3 道路特征提取的研究现状

3.1 半自动道路特征提取

半自动道路特征提取即利用人机交互的形式进行特征提取和识别。其主要思想是人工首先提供初始道路点(种子点),有时还提供初始方向,然后再由计算机进行处理识别,同时适当进行人机交互。这方面已有很多研究,并取得了较好的效果。

3.1.1 基于像素与背景的算子模型的道路提取

在航空影像和遥感影像道路特征提取方面,较为直观的研究是采用将影像像素分为“道路”或“背景”,从而识别出道路。这主要通过图像分析的方法,在局部范围内,对目标像素周围的一个小邻域进行处理。这些处理技术通常有二值化^[1]、边缘检测^[2]、形态学算子^[3]、统计分类和神经网络^[4]等。文献[5]首先研究了利用边缘模板作卷积,然后选择满足 3 个准则的边缘点,同时进行细化并取阈值,最后链接方向最接近的点得到所要提取的道路。

3.1.2 基于树结构的特征判别模型的道路提取

文献[5]在众多研究的基础上,深入探讨了 10 m 分辨率的卫星影像道路识别方法。给定影像上道路的起始点和起始方向,则能够识别出道路。其基本方法是:利用初始点和方向获得道路的统计模型特征,建立主动试验的树结构的试验规则和统计模型,并建立“决定树”。然后,基于决定树,

进行道路跟踪,这包括道路的几何模型、统计模型、局部滤波、试验熵、检验、估计、识别等。该算法对大面积的影像进行了识别试验,效果良好。

该算法需要大量的道路先验知识,对中、低分辨率遥感影像有效果,但对高分辨率影像,则有较大困难,因为树结构形成的判别法则较难确定。

3.1.3 基于最小二乘 B 样条曲线的道路提取

在道路提取中,一种研究较多的方法就是基于最小二乘 B 样条曲线的道路识别方法^[6,7]。其基本方法是:首先人工给定道路曲线上的一些初始种子点;然后由这些点用最小二乘法构造 B 样条曲线,并设定适当的宽度,得到有一定宽度的带状初始道路;其次,进行影像匹配、活动控制模板匹配、GIS数据支持等方法得到道路曲线;最后,得到道路的中心线。

如果道路特征能够从多于一幅的影像中得到,则道路的 3 维空间坐标能够得到^[8],其主要思想是利用外部几何约束连结每一个影像的光度测定观察方程。

3.1.4 基于类与模糊集的道路网络提取

利用一定的特征提取算法,能够提取道路特征。但由于影像的复杂性,人工智能发展的局限性等原因,目前还不能很好地完全满意地得到影像的道路,通常得到部分不很连续的道路,从而得不到合适的道路网络。对此问题,文献[9]进行了研究。其基本思想是利用类及模糊集,提取道路网络。其基本方法是:首先提取影像道路,这可由一般的道路特征提取方法上得到^[10];然后连接道路,这其中需要给出连接的定量评价,所用方法是利用模糊集理论给出连接的权函数,由此确定连接的道路网络。试验表明,该方法能够很好地连接复杂地区的主要道路网络。上述方法与一般的道路特征提取更具有一般性,研究的区域也较大,更具有实用性。但该方法需首先提取出基本的道路,这也需要合适的提取算法。

文献[11]研究了 SAR 影像道路网络提取问题。

3.1.5 其他道路提取算法

道路特征提取的算法还有很多,如文献[12]研究了利用动态规划的方法提取遥感影像道路特征的方法,如文献[13]应用模板匹配和神经网络研究了半自动道路特征提取方法,取得了较好的效果。

3.2 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。即首先分析出影像道路的特征,这包括各种各样的方法,有局部的,有全局的,方法的优劣直接影响后续过程的理解。理解过程包括人工智能、计算机视觉、模式识别、数学模型等内容,能够很好地识别道路或识别某一种类型道路如高速公路,则所述方法就具有重要意义。目前,全自动识别各类道路还不现实,但自动识别某一种类型道路还是取得了一定的成功,获得了一些有意义的算法。

3.2.1 基于平行线对的道路提取

道路的本质特征从边缘上看是一组平行线,由此特征,产生许多相关的道路提取算法。文献[14]对高分辨率遥感影像和航空影像,研究了基于人工智能的自动识别道路的方法。其方法在如下 3 个层次上进行研究:基于低层次的边缘检测和链接;基于中层次的特征信息处理;基于高层次的特征识别处理。其思想源于 Marr 的视觉理论。其关键在于在链接好的边缘中产生表示道路的平行线对这一特征,以及识别平行线对是否为道路的识别策略。试验结果表明,这种方法具有较好的效果,但用于一般的影像,还有许多问题有待研究。文献[15]提出了平行道路检测的方法,也是基于道路平行的特点,也取得了一定的效果。

3.2.2 基于二值化和知识的道路提取

道路提取的难度在于影像的复杂性,若能有效地简化影像,例如化为二值图像,则算法能得到大大的简化。文献[1]研究了基于二值化和知识的道路网络自动识别方法。它包括低水平的图像处理过程和高水平的模式识别过程。其基本算法是:①利用离散拉普拉斯变换进行低通滤波以消除噪声。②在平滑图像上进行聚类得到二值化的图像。③建立道路跟踪规则以决定搜索过程,产生线性模型。④对线性模型利用知识建立识别模型,进行处理和分析,识别出道路。⑤标出道路。试验表明,算法对直线型道路有较好的识别效果,对一般的道路还有待进一步深入研究。

该方法具有较大的实用性,特别是与人工参与相结合,则识别道路的可靠性和广泛性能够有较大的提高。利用数学形态学等现代数学工具,也会产生好的效果。

3.2.3 基于窗口模型特征的道路提取

道路在影像中呈一定概率分布规律,此性质

在道路提取中有重要意义。文献[16]利用几何、概率分布模型,建立检测窗口算法,研究了自动提取遥感影像的主要道路特征的方法。该方法要求对道路作一些假设,如要求宽度变化小、方向变化缓、局部灰度变化小、道路与背景差异较大、道路较长等。一般的自动道路提取都基本上要求满足这些假设。基于这样的假设,该文首先研究了道路几何性质和道路模型,这些作为进一步识别道路的基础。然后,基于 Gibbs分布和 Gauss分布等概率模型,建立道路检测窗口。最后,所述方法对几种实际影像进行试验,影像中主要道路能够准确识别。

3.2.4 其他道路提取算法

自动道路特征提取的算法还有很多。如文献[17]对自动道路提取一般方法进行了研究,虽然没有给出具体实验影像,但更具有理论上的意义。

4 道路特征提取研究展望

道路特征提取已取得了不少研究成果,但与实际应用的要求还差得较远,在提取的自动化程度、提取算法的速度、适用性、准确性等方法还有许多工作有待研究解决。在如下方面可作进一步研究和扩展。

4.1 现有研究成果的应用推广

虽然道路特征提取还不尽人意,但终究取得了不少成果。特别是一些方法对某类影像如低分辨率影像较为有效。因此,应用现有方法和成果,将现有成果实用化,具有重要的意义。尽管完全自动提取道路还不现实,但是自动提取某一种类型道路如高速公路、或建立半自动化提取系统还是有可能的。同时,应用提取的道路特征在 GIS 地图更新、目标识别等方面也具有重要作用。目前已有的方法在新种类的影像如高分辨率的卫星遥感影像也很重要。利用已有的方法,结合高分辨率影像的特点进行道路提取,则能取得更为有效的成果。

4.2 多层次的有机融合

道路特征提取一般在 3 个层次上进行处理,即低层次、中层次和高层次。在低层次的处理过程中,提取的点、线、面不是目标的结构特征。为了识别目标,需要形成中层次的目标结构特征。中层次中产生的结构特征,通过高层次的知识识别、处理,就可以得到特征明显准确的影像道路。在具体研究中,可能在某个层次有所侧重。目前在 3 个层

次的处理上,还不可能都令人满意。但是 3 个层次的有机结合,则是道路特征提取的主要发展方向。

4.3 道路特征提取与区域特征提取等相结合

对于影像来说,所要提取的特征不仅仅是道路特征,还有其他特征,如水系特征、房屋特征、谷地特征等。这些特征的提取与道路特征的提取有许多相似性和相关性,将这些研究有机地相结合,可以取得事半功倍的效果。例如,在城区特征提取中,线状道路特征与面状建筑物特征是互为联系的。若提取了城区的道路特征,则为提取建筑物特征提供了很好的基础,在一些城区,则几乎可以由道路特征直接得到建筑物特征。

4.4 与测绘领域相关研究相结合

对计算机视觉、模式识别等领域来说,提取特征的目的和作用与测绘不尽相同。在遥感影像道路特征提取方面应立足于测绘实际,应该与测绘实际如 GIS 影像匹配、虚拟现实等相结合,充分利用已有的数据、知识,以便取得更好的效果。例如,在道路提取中,结合 GIS 信息,能提取出一些难以确定的路段。利用已有的地图信息,能有效地提供一些道路知识。从遥感影像上提取的道路特征,能有效地应用于地图更新、GIS 更新、目标识别等方面。

4.5 数学方法的应用

数学在测绘领域取得了重要而广泛的应用。在道路特征提取方面,也已经取得了一些应用,特别是概率论、数学规划等。但是数学应用的广度和深度还不够,一些新兴学科如小波分析、形态学等还没有得到很好的应用。在道路特征提取方面,小波分析在滤波、特征选择等方面也能取得应有的作用。数学形态学由于其良好的特征分析特点,能有更为重要的应用。在道路表示方面,目前的研究还不多,但样条曲线、分段插值曲线、最小二乘曲线等能够在道路表示中得到很好的应用。

4.6 计算机视觉的发展

特征提取的发展,离不开计算机视觉、模式识别等的发展,这些学科制约着遥感影像道路特征提取的发展,特别是高层次的知识处理方面的发展。充分利用计算机视觉、模式识别等领域的最新研究成果,必将大力推动遥感影像道路特征提取的发展。

4.7 高分辨率卫星遥感影像的道路特征提取

在高分辨率遥感影像上,随着影像分辨率的提高,影像细节特征越来越丰富,道路目标也越来越多,许多较窄的在低分辨率影像上难以辨别的道路也能分辨出来。可是,随之而来的是影像上非目标噪声也更越来越多。利用目前已有方法,提取高分辨率影像道路特征则比较困难。因此,如何有效地利用高分辨率影像的高分辨率特性提取道路,是值得研究的。

一般地,在高分辨率遥感影像上,道路具有一定的宽度,其形状像一个窄的矩形或带状线;在城市区域,道路长度通常大于或等于一个街区;同时道路网络具有一定的规则。深入分析研究这些高分辨率影像道路特点,对于利用高分辨率影像提取道路网络,具有重要意义。

目前,我们根据高分辨率遥感影像特点,在高分辨率遥感影像道路特征提取方面取得一些研究成果。其基本思想方法是:首先对高分辨遥感影像二值化,对此二值化影像发展了一种基于道路长度、方向的道路检测方法,得到初始的道路网络;接着对初始的道路网络进行细化、连接等处理,得到基本的道路网络;最后对基本的道路网络进行平滑和表示,从而得到最终提取的道路网络。详细的研究结果将另文讨论。

参考文献:

- [1] WANG F G, NEWKIRK R. A Knowledge-based System for Highway Network Extraction [J]. IEEE Transform on Geoscience and Remote Sensing, 1988, 26(5): 525-531.
- [2] YASSIN M Y, KARAM L J. Morphological Reversible Contour Representation [J]. IEEE Transform on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22(3): 227-239.
- [3] BOGGESS J E. Identification of Roads in Satellite Imagery Using Artificial Neural Networks: A Contextual Approach [M]. Mississippi: Mississippi State Univ. Press, 1993.
- [4] NEV ATIA N, BABU K R. Linear Feature Extraction and Description [J]. Computer Graphics and Image Processing, 1980, 13(2): 257-269.
- [5] DONALD G, 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.
- [6] 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.
- [7] GRUEN A, LI H. Semi-Automatic Linear Feature Extraction by Dynamic Programming and LSB-Snakes [J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1997, 63(8): 985-995.
- [8] TRINDER J C, LI H. Semi-automatic Feature Extraction by Snakes [A]. Automatic Extraction of Manmade Objects from Aerial and Space Images [C]. Basel: Birkhaeuser Verlag, 1995. 95-104.
- [9] STEGER C, MAYER H, RADIG B. The Role of Grouping for Road Extraction [A]. Automatic Extraction of Manmade Objects from Aerial and Space Images (2) [C]. Basel: Birkhaeuser Verlag, 1997. 245-255.
- [10] STEGER C. Extracting Curvilinear Structures A Differential Geometric Approach [A]. Fourth European Conference on Computer Vision [C]. Basel: Springer-Verlag, 1996. 630-641.
- [11] TUPIN F, MAITRE H, MANGIN J F, *et al.* Detection of Linear Features in SAR Images Application to Road Network Extraction [J]. IEEE Transform on Geoscience and Remote Sensing, 1998, 36(2): 434-453.
- [12] GRUEN A, LI H. Road Extraction from Aerial and Satellite Images by Dynamic Programming [J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 1995, 50(4): 11-20.
- [13] HU Xiangyun, ZHANG Zuxun, ZHANG Jiangqing. An Approach of Semiautomated Road Extraction from Aerial Images Based on Template Matching and Neural Network [A]. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, XXXIII (Part B3) [C]. Amsterdam: Amsterdam University, 2000. 994-999.
- [14] TRINDER J C, WANG Y D, SOWM YA A, *et al.* Artificial Intelligence in 3D Feature Extraction [A]. Automatic Extraction of Man-made Objects from Aerial and Space Images (2) [C]. Basel: Birkhaeuser Verlag, 1997. 257-265.
- [15] TON J, JAIN A K, ENSLIN W R, *et al.* Automatic Road Identification and Labeling in Landsat 4 TM Images [J]. Photogrammetric (PRS), 1989, 43(2): 257-276.
- [16] 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.

Limits of Bayesian Inference Order Parameters and Phase Transitions for Road Tracking [J]. IEEE Transform on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22(2): 160-173.

[17] YUILLE A. L, COUGHLAN J.M. Fundamental

《测绘学报》参考文献书写格式

请向《测绘学报》投稿的广大作者注意以下参考文献的著录格式,并严格按此要求来稿!

以下为参考文献标准的详细说明,为方便阅读,用中文说明,但作者必须用英文表达,此处给出示例,以做参考。

(1) 专著 (M)、论文集 (C)、学位论文 (D)、报告 (R) 的标准如下:

[序号] 主要责任者. 文献题名 [文献类型标识]. 出版地: 出版者, 出版年. 起止页码 (任选).

(2) 期刊文章 [J] 的标准如下:

[序号] 主要责任者. 文献题名 [文献类型标识]. 刊名, 年, 卷 (期): 起止页码.

(3) 论文集集中的析出文献的标准如下:

[序号] 析出文献主要责任者. 析出文献题名 [A]. 原文献主要责任者 (任选). 原文献题名 [C]. 出版地: 出版者, 出版年. 析出文献起止页码.

示例:

[1] 刘国军, 陈绍业, 王凤翥. 图书馆目录 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1957. 15-18.

[2] KAYEYAMA M. Numerical and Computational Methods in Structural Mechanics [C]. New York Academic Press, 1973. 43-57.

[3] OU J P, YOSHIDA O, SOONG T T. Recent Advance in Research on Application of Passive Energy Dissipation System [J]. Earthquake Eng, 1997, 38(3): 358-361.

说明:

(1) 文献种类后 [] 中的文献类型标识, 如专著 [M] 中的 M, 请务必查找核对后书写于文献中的相应位置。

(2) 请作者严格按照以上所列参考文献的格式正确书写, 不得缺项 (任选项除外)。

(3) 作者为中文名时, 如: 刘国军, 其标准格式为: LIU Guo-jun

(4) 请注意英文的大小写, 标点符号应严格按照示例。

(5) 如果引用文献为中文文献, 请在文献最后注明 (in Chinese)。