

高分辨率遥感影像提取道路的方法综述与思考

叶发茂¹, 苏林¹, 李树楷¹, 汤江龙²

(1. 中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101; 2. 东华理工学院, 抚州 344000)

摘要:介绍了高分辨率遥感影像上道路的特征、模型和道路提取的基本思想,对已有的道路提取方法进行了分析,并对道路提取问题进行思考,提出下一步的研究方向。
关键词:高分辨率;遥感影像;道路提取;综述
中图分类号:TP 751 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-070X(2006)01-0012-06

0 引言

遥感影像是快速获取地球表面信息的重要信息来源。随着遥感技术的发展,遥感影像分辨率越来越高,可以达到1~2 m甚至几十厘米。这些高分辨率的遥感影像为GIS数据的更新和应用提供了有利条件。如何快速、准确地从遥感影像中提取所需信息已成为研究方向。从遥感影像中自动提取道路是其中一个研究热点,因为道路与人们日常生活密切相关,而传统的从遥感影像中手工提取道路方法工作强度大、费时,已不能满足日常工作的需要。本文从分析高分辨率遥感影像上提取道路的基本思想出发,对现有的道路提取方法进行了分析和总结,并对道路提取的进一步研究进行了分析。

1 道路提取的基本思想

1.1 道路的基本特征

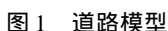
人眼很容易在影像上找出不同类型的道路,那是因为我们知道道路像什么,有多少类型的道路,道路和河流的区别,道路与其它物体的关系等等各种有关道路的各种知识。正是因为这些知识,我们才能辨别、确认和跟踪影像上的道路。为了让计算机做这件事,必须提供相似的有关道路的知识。研究道路影像特征就是为了得到在计算机中能用的知

识。影像特征是由于景物的物理与几何特征使影像中局部区域的灰度产生明显的变化而形成的。存在特征的局部区域信息量较大,没有特征的局部区域信息量较小。道路的基本特征有以下几种:

- (1) 几何特征。在高分辨率影像上,道路呈长条状,其长度远大于其宽度,道路的宽度变化比较小,曲率有一定的限制;
- (2) 辐射特征。道路一般有两条明显的边缘,其内部灰度与其相邻区域灰度反差比较大;
- (3) 拓扑特征。道路一般是相连的,不会突然中断,并形成路网;
- (4) 上下文特征。上下文特征指的是与道路相关的影像特征,如道路旁的建筑物和行道树,是城市道路还是乡间道路。

1.2 道路模型

道路模型是一种标准情况下的道路,没有考虑其它有关物体的影响,如道路旁的树和建筑。根据观察的角度不同,把道路对象分成3个层次:真实世界层、几何和材质层及影像层(图1)。真实世界层包括路网、交叉口、车道等对象,它与几何和材料层的关系是具体化关系;几何和材料层是一个中间层,描述了对对象的三维形状和材质;影像层分为高分辨率和中分辨率两部分,包括图像上的一般要素如线、边缘和同质区域等。虽然高分辨率影像能提供丰富的细节信息,但中分辨率影像可以得到全局的信息,如果将两者结合起来,有助于道路提取^[1]。



构和关系、道路模型和与道路有关的规则与知识理解和识别道路。

道路提取过程有 4 种控制策略:自底向上的控制、自顶向下的控制、混合控制和非分层控制。自底向上的控制策略是以数据驱动的处理过程,是基于为后续处理步骤构造数据结构的方法;自顶向下的控制策略是一个面向目标的处理过程,其主要思想是模型的建立和模型的验证;混合控制策略同时使用数据驱动和面向目标控制策略;非分层控制策略可以看作是同一层次上相互竞争专家之间的相互协作。非分层控制策略的基本想法很大程度上是在专家协助下得到最终的结果^[3]。在现有道路提取算法中,主要是应用前 3 种控制策略,最后一种很少见。

根据道路提取的自动化程度,一般将道路提取分为半自动道路提取和全自动道路提取。

半自动道路提取利用人机交互式进行。其主要

从高分辨率遥感影像中提取道路同样遵守 Marr 视觉理论,应该从由低到高的 3 个层次进行。在低层次处理中,利用各种不同提取要素的方法提取各种要素,如特征点、边缘、纹理等,这些要素是通过一些简单的算子如 Canny 算子得到,在这个层次没有用到与道路有关的知识,所提取的点、线、面都没有结构化;中层次处理是对低层次处理的结果进行分析、选择、重组和综合,在这个层次利用了一些有关道路的几何信息;在高层次处理中,利用要素的结

思路是人工提供道路的初始点(种子点),有时还需提供初始方向,然后计算机再根据一定的规则进行处理识别,有时还需要进行适当的交互,保证识别的准确性。半自动道路提取一般可以分解成 4 个步骤:①道路影像特征增强;②确定道路的种子点;③跟踪和扩展种子点,形成道路段;④连接道路段,形成道路网。常见方法有:

2.1.1 动态规划法

该方法导出了道路的一般参数模型,将其表达成种子点之间的“代价”函数,以动态规划作为确定种子点之间最优路径的计算工具。动态规划法首先应用在低分辨率影像提取道路中(Sakoda 等,1993; Gruen 和 Li,1995; Merlet 和 Zerubia,1996)。Dal Poz 等^[4]修改了“代价”函数,增加了道路边缘特征约束条件,使之适用于从中高分辨率影像上提取道路。从试验结果看,该方法提取道路的中心线效果不错。

动态规划法的最大特点是将道路识别问题转化成一个最优化问题,并且最优化问题的解是用道路上的像元来描述。此方法要很大的存储量。

2.1.2 基于 Snakes 或 Active Contour 模型的方法

利用 Snake 模型进行目标提取的过程就是将影像的各种特征(其中包括影像强度和梯度)及连续性与平滑性约束在一个能量函数中表示出来。通过求能量函数的最小值来达到提取目标的目的^[5]。该方法进一步发展为 LSB-Snakes(Gruen 和 Li,1997)和 ziplok snakes 模型(Laptev 等,2000)。在高分辨率影像中,Peteri 和 Renaud 用 DoubleSnake 模型来提取道路的两边缘,在影像约束中考虑了不同分辨率下的小波系数,以减少噪声(如路面标志)带来的问题^[6,7]。如果有多幅图像,可扩展到三维。

2.1.3 基于主动试验(Active Testing)模型的方法

主动试验模型是 Geman 和 Jedynak 提出,并应用于 10m 分辨率的卫星影像道路识别。其基本方法是:首先利用初始点和方向获得道路的统计模型特征,建立主动试验树结构的试验规则和统计模型,并建立决策树;然后,基于决策树,进行道路跟踪^[8]。在中、高分辨率影像中,Dal Poz 等^[9]利用矩形来模拟道路段,采用主动试验策略提取道路段,再从已提取道路段中提取道路中心线。由于道路边缘不完整或者道路宽度变化,使得这种方法提取的道路中心线位置不太准确。

2.1.4 模板匹配方法

模板匹配方法是根据用户感兴趣特征上的点定

义一个模板,然后通过匹配寻找其它的特征。只有用户感兴趣的特征具有相似的亮度,才能使用模板匹配。在满足上述条件下,采用模板匹配方法关键问题在于如何指导匹配,从而成功地提取有意义的用户感兴趣的特征。Park 和 Kim^[10]利用自适应最小二乘模板匹配方法从 1 m 分辨率的 IKONOS 影像中提取道路的中心线。算法根据用户给定的种子点生成模板,以自适应最小二乘模型评估模板与目标之间的匹配程度。这种方法对种子点要求很高,不能偏离道路中心线太远,同时不能正确判断被阴影遮盖的道路。Vandana Shukla^[11]等也采用模板匹配方法,但利用最小花费为判断准则。该方法克服了对种子点的高要求,它能根据用户提供的种子点自动调节种子点的位置,使之在道路的中心线上。另外,这种方法对道路交叉口进行了一定的处理,在道路交叉口处自动搜索下一条要提取的道路,提高了自动化程度。

2.1.5 基于概率论的方法

基于概率论的方法认为,道路边缘是一个随机过程的路径,这随机过程是以一个内部的随机动力和一个统计数据模型驱动的。JetStream 算法^[12]是一种基于概率论的提取轮廓方法。算法采用基于连续重要性采样的蒙特卡罗方法计算样本近似后验分布。由于每一步采样都是依据后验路径分布,所以,可以采用不同的评判准则(如最大后验概率 MAP)来确定谁是最最后估计的轮廓。算法的基本思想是把已提取的一些点定义成某种曲线,再利用两个模型来控制曲线的增长。第一个模型是先验动力模型,该模型用来保存已提取曲线的属性;另外一个模型是数据模型,这个模型用来验证点是否在真正的轮廓上。算法的基本过程是:①预测。根据已提取的点预测道路的下一个候选点可能的位置;②定权。对每一个候选点进行定权;③选择。从定权结果中,选择其中权重最大的候选点,并认为其在道路的边缘上。反复重复这几步,直到算法停止。

2.2 自动道路提取

自动道路提取方法通过认识和理解道路影像特征,自动准确定位道路的位置。在最近 20 a 出现了很多自动提取道路的方法。为了描述方便,把这些方法分成 5 类:脊线探测法、平行线法、启发推理法、统计模型法和地图匹配法。这些分类方法不一定很准确,事实上,很难将一些方法归到某一类,因为有些方法中可能用到几种不同的技术。

2.2.1 脊线探测法

在高分辨率影像中,道路的边缘是线状的,可以看成是图上的山脊或山谷。因此,道路提取的任务可以认为是检测脊线。Hae Yeoun Lee 等^[13]利用改进的分级梯度分水岭算法对 1 m 分辨率影像进行分割,提取脊线,再利用道路的灰度、长条状特征对脊线所包围的区域进行合并,形成候选道路段,连接相邻的道路段,使之成为连通的道路网。这种方法只提取道路的区域,没有提取道路的边缘和道路的中心线。Gibson 和 Laurie^[14]用不同大小的等边六角形填充影像,然后进行纹理分析,计算各六角形的“度”,不同的“度”用不同的颜色表示。这里的“度”指的是六角形中可能存在的道路方向数。根据“度”连接六角形,形成“脊线”,最后对“脊线”进行连接,形成道路网。该方法虽能提取道路的中心线,但是位置不很准确。

2.2.2 平行线法

在高分辨率影像中,道路的本质特征从边缘上看是一组平行线,由此产生许多相关的道路提取算法。J. Amin^[15]等提出一种基于对象的道路边缘自动提取方法。其方法首先用灰度形态学方法对影像进行简化,然后分成两个并行过程:第一个过程是影像分割、链编码、感知编组提取直线;第二个过程是利用小波变换降低影像的分辨率,再从中提取道路的轮廓;最后,根据提取的道路轮廓,从已提取的直线中搜索道路的边缘。文贡坚^[16]等先将整幅影像分块,然后在每一个子块基于直线提取监测到的路段,再自动连接形成道路段,最后自动连接形成道路网。这些方法的特点在于以直线作为中层符号。

2.2.3 启发推理法

启发推理法采用一个类似于人的视觉系统的推理方法,有时又称为基于规则或知识方法。Trindler^[17]等提出了一种基于知识系统的从航空影像中自动提取道路网的方法。该方法提出了道路网的语义模型,采取了混合控制策略。在道路假设生成中使用从下到上的策略。该过程包括低层次的道路边缘提取、中层次的特征信息处理及高层次的道路段识别。使用从上到下策略验证道路假设。在这个过程中,利用道路的结构信息和道路段的局部和整体之间的关系验证已生成的道路段,并根据道路间的空间关系寻找漏判的道路段。启发推理法的一个优点是可以灵活地处理问题(如边缘的不完整等)^[18]。

2.2.4 统计模型法

由于道路影像的复杂性,道路提取方法应该能

够解决各种不确定性因素(例如道路上的汽车和树阴、图像噪声等)。统计模型很适合于提取道路。Meir Barzohar 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主要道路的方法。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要满足这些假设。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,然后,基于 Gibbs 和 Gauss 分布等概率模型,建立道路检测窗口;最后,对几种实际影像进行试验,结果表明,影像中主要道路能够准确识别^[19]。

2.2.5 地图匹配法

地图匹配法充分利用已有的矢量地图,从中得到大量有关道路的信息和知识,指导道路提取并验证道路提取结果。Mailard 和 Cavayas 首先提出了地图匹配法用来更新数据库,主要包括两个模块,第一个模块是对影像和地图进行匹配,提取在影像和地图中都能找到的道路;第二个模块是根据提取的旧道路寻找新的道路,这是基于新道路与旧道路是相连的这一假设。为解决地图匹配出现的问题,Fiset 等使用了基于模板匹配的多层感知器,进一步提高了该方法的性能。

Kumagai 等^[20]先对影像和地图进行匹配,再从已匹配的道路中提取有关道路红和近红外波段的统计信息,建立道路样本,利用直方图匹配方法提取道路。

3 道路提取的进一步思考

从高分辨率遥感影像中提取道路已取得了不少研究成果,但由于现实世界中道路复杂、多样性,大部分已有的方法只能提取某种类型的道路,与实际应用的要求还有差距,在提取的自动化程度、提取算法的速度、适用性及准确性等方面还有许多工作有待解决。

(1)对道路特征的进一步研究。目前,大部分道路提取算法只利用道路的一种或几种基本特征,模型还比较简单。纹理是物体的重要表面特征,它反映的是像素灰度的空间变化特征,是分布在整个图像或图像中某一区域内具有规律性排列的图形。当目标的光谱特征比较接近时,纹理特征对于区分目标会起到积极的作用。在高分辨率遥感影像中,道路具有丰富的纹理特征,纹理信息的应用可以提高算法的准确性。

(2)建立全局的模型。影像是用二维方式表达三维现实世界,其中必然损失了大量的信息。利用多幅影像,建立道路的三维模型,同时考虑道路与其背景物体如建筑物、树和车等物体之间关系,建立一个全局的模型。这种模型可以融合各种有关道路的知识,并做到3个层次上的有机结合,这是道路提取的发展方向。

(3)多种方法的融合。已有的大部分研究都针对不同区域的影像(如城区、乡村或郊区)和不同的道路类型,这制约了这些方法的使用。所以,应该把多种方法有机融合起来,当一种方法不起作用时,就采取另一种方法,使提取算法具有更高的使用价值。

(4)面向对象方法的应用。该方法首先应用在计算机程序设计中,它是吸收了软件工程领域十几年来新概念和新方法而发展起来的一种很有前途的方法,现已广泛应用。其特点是基于对象进行影像分析、理解,而不是基于像素。研究利用对象方法的大致步骤可分为:影像分割、对象提取、对象描述、建立语义模型及道路提取。

(5)与其它领域研究相结合。道路提取是一个很复杂的过程,它涉及很多学科、领域,如数学、计算机图形学、计算机视觉。所以,在研究道路提取方法的过程中,应充分利用这些学科的一些新兴方法和最新研究成果,并将这些知识和方法进行多层次的融合,推动道路提取方法的发展。

参考文献

- [1] Stefan Hinz, Albert Baumgartner. Automatic extraction of urban road networks from multi-view aerial imagery[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2003, 58: 83-98.
- [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] Milan Sonka, Vaclav Hlavac, Roger Boyle. Image Processing, Analysis, and Machine Vision, Second Edition[M]. USA: Thomson Learning and PT Press, 1999.
- [4] Dal Poz A P, Do Vale G M. Dynamic Programming for Semi-Automated Road Extraction From Medium- And High-Resolution Images[J]. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2003, 34: Part 3/W8.
- [5] 刘少创, 林宗坚. 航空遥感影像中道路的半自动提取[J]. 武汉测绘科技大学学报, 1996, (9): 258-264.
- [6] Peteri, Renaud, Celle Julien, et al. Detection and extraction of road networks from high resolution satellite[A]. In Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing (ICIP03)

[C]. 2003, 9: 301-304.

- [7] Peteri, Renaud, Ranchin Thierry. Multiresolution snakes for urban road extraction from Ikonos and Quickbird images[A]. In Proceedings of the 23rd EARSeL Symposium[C]. 2003, 6: 69-76.
- [8] German D B, Jedynak. An active testing model for tracking roads in satellite images[J]. IEEE Trans. PAMI, 1996, 18(1): 1-14.
- [9] Aluir Porfirio Dal Poz, Marco Aurélio Oliveira da Silva. Active Testing and Edge Analysis for Road Centreline Extraction[A]. ISPRS Commission[C]. 2003, 9: 96-201.
- [10] Park S R, Kim T. Semi-Automatic road Extraction algorithm from IKONOS images using template matching[A]. 22nd Asian Conference on remote Sensing[C]. 2001, 3: 1209-1213.
- [11] Shukla V, Chandrakanth R, Ramachandran R. Semi-Automatic Road Extraction Algorithm For High Resolution Images Using Path Following Approach[C]. ICVGIP02, 2002, 6: 201-207.
- [12] Perez P, Blake A, Gangnet M, et al. Probabilistic contour extraction with particles[J]. Proc. of Int. Conf. on Computer Vision, 2001, 3: 524-531.
- [13] Lee H Y, Park W K, Lee H K, et al. Towards Knowledge-Based Extraction of Roads from 1m-resolution Satellite Images[A]. IEEE Southwest Sym. on Image Analysis and Interpretation[C]. U. S. A., 2000, 2: 171-176.
- [14] Gibson L. Finding road networks in IKONOS satellite imagery[A]. Proceedings of ASPRS[C]. Anchorage USA, 2003, 8: 1200-1209.
- [15] Amini J, Saradjian M R, Blais J A R, et al. Automatic road-side extraction from large scale imagemaps[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2002, 4: 95-107.
- [16] 文贡坚, 王润生. 从航空遥感图像中自动提取主要道路[J]. 软件学报, 2000, (4): 17-20.
- [17] Trinder J C, Wang Y. Knowledge-Based Road Interpretation in Aerial Images[J]. In International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 1998, 32(4): 635-640.
- [18] 胡翔云. 航空遥感影像线状地物与房屋的自动提取[D]. 武汉: 武汉大学, 2001.
- [19] Xiong D. Automated Road Network Extraction from High-Resolution Images[A]. The National Consortium on Remote Sensing for Transportation[C]. 2001, 3: 1-4.
- [20] Jun Kumagai, Huijing Zhao, Masafumi Nakagawa, et al. Road Extraction from High Resolution Commercial Satellite Data[A]. Asian Conference on Remote Sensing, Singapore[C]. 2001, 2(9): 1322-1325.
- [21] Gruen A, Li H H. Semiautomatic Linear Feature Extraction by Dynamic Programming and LSB-Snakes[J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 1999, 63(8): 985-995.

REVIEW AND THOUGHT OF ROAD EXTRACTION FROM
HIGH RESOLUTION REMOTE SENSING IMAGES

YE Fa - mao¹ , SU Lin¹ , LI Shu - kai¹ , TANG Jiang - long²

(1. Institute of Remote Sensing Applications , Chinese Academy of Sciences , Beijing 100101 , China ; 2. East China Institute of Technology , Fuzhou 344000 , China)

Abstract : The extraction of road from the high resolution remote sensing image remains an open question in spite of the fact that lots of efforts have been made in this area. This paper describes the road feature , road model and the basic idea , analyses the methods for road extraction. The thought and the plans of further research on this subject are also presented.

Key words : High resolution ; Remote sensing image ; Road extraction ; Review

第一作者简介：叶发茂(1978 -) ,男 ,中国科学院遥感应用研究所博士研究生 ,主要研究方向为遥感图像处理与地理信息系统应用。

(责任编辑：肖继春)

=====

(上接第 5 页)

THE APPLICATION OF REMOTE SENSING TECHNOLOGY
TO AGRICULTURAL THREE - DIMENSIONAL
POLLUTION MONITORING IN CHINA

QIN Zhi - hao^{1 2} , ZHANG Li - jian¹ , GAO Mao - fang^{1 2} , QIN Xiao - min² , QIU Jian - jun¹

(1. Institute of Natural Resources and Regional Planning , Chinese Academy of Agricultural Sciences , Beijing 100081 , China ; 2. International Institute for Earth System Sciences , Nanjing University , Nanjing 210093 , China)

Abstract : This paper analyzes the situation of current agricultural pollution problem in China and examines the applicability of remote sensing technology to agricultural pollution monitoring on the regional scale. Specific emphasis is placed on the application of remote sensing to water pollution monitoring , soil contamination evaluation , variation of crop polluting and air pollution from agricultural activities. The integration of remote sensing with geographic information system techniques is also examined with the purpose of establishing agricultural pollution management systems for the spatial modeling of agricultural pollutants cycling among the spheres of farmland soil , water bodies and atmosphere and the controlling of the pollutant movement in these spheres. Therefore , remote sensing of agricultural pollution is a front academic investigation field both in remote sensing and in agricultural pollution. Nevertheless , not enough importance has yet been attached to this research field in China. It is hence very necessary to promote the academic investigation of this front field in that such investigation is not only the requirement of remote sensing science but also the demand of agricultural pollution control in China.

Key words : Agricultural three - dimensional pollution ; Remote sensing technology ; GIS ; Monitoring

第一作者简介：覃志豪(1962 -) ,男 ,博士 ,南京大学教授和博士生导师 ,中国农业科学院学科带头人 ,主要从事热红外遥感和农业遥感研究。

(责任编辑：刁淑娟)