

一个从多波段遥感图像提取道路网的算法*

蔡涛, 王润生

(国防科学技术大学 ATR 国防科技重点实验室, 湖南 长沙 410073)

E-mail: tao_high@263.net; rswang@nudt.edu.cn

http://www.nudt.edu.cn

摘要: 提出一个从多波段遥感图像中提取道路网的算法。首先, 从多波段图像中提取直线段和平行线段, 再进行融合处理, 以克服图像中道路表示的不精确性。然后根据线段的局部特性, 识别与道路约束模型符合程度好的路段。最后根据道路网的全局连接约束, 识别与道路约束模型符合程度较弱的路段。该方法应用于三波段的卫星遥感图像, 处理结果表明该方法是有效的。

关键词: 多波段图像; 遥感; 识别; 道路网; 融合; 线段

中图法分类号: TP391 **文献标识码:** A

从遥感图像中识别各种目标, 是图像处理和目标识别的一个重要的研究课题。道路自动识别是其中一个基本的、常见的问题。由于道路在遥感图像中的表现形式十分复杂, 因而造成了自动识别的困难, 使得自动提取道路成为一个难度很大的课题。这些困难包括: (1) 由于成像过程复杂, 道路图像中的表现不是理想的线条, 其宽度、灰度是不一致的, 边界有时是模糊的、断裂的; (2) 道路两边的地物多种多样(例如树木、建筑物), 使得在图像上某些路段表现模糊或与其他地物混淆。目前仍然没有足够可靠和实用的自动识别软件^[1]。

目前文献中已有的方法可以分为局部性和全局性两大类^[2]。局部性方法是从被分析像素的一个邻域中的图像数据出发, 判断这个像素是道路还是背景, 然后进行连接。具体可分为 3 种方法^[2]: 边缘连接、相关跟踪和区域跟踪。边缘连接方法主要是用边缘算子计算出图像中每个像素的边缘幅度和角度, 然后根据某种准则连接这些像素点, 有关这方面的研究有不少文献^[3~6]。相关跟踪方法基于如下假设: 道路表面存在一定的灰度模式或纹理。区域跟踪方法假设道路区的灰度和背景灰度为常数, 然后使用相关跟踪算法。此外, 还有专门提取道路的算子, 如“Duda-Road-Operator”^[7]; 基于条件分类和神经网络的方法。全局性方法基于道路之间全局信息。Fischeler 等人提出的方法^[8]是一个典型。该方法定义道路的起始点和终点, 建立一个基于像素栅格的图, 根据局部算子对其顶点赋予权值, 图的路径上有相应的代价函数, 使用动态规划的方法寻找两个点之间代价最小的路径。此外, 还有基于信息论和动态规划的方法, 例如 Geiger 等人提出的方法^[9]。

本文提出一种以直线段为基本符号的、从多波段遥感图像中提取道路网的方法。基本思路是: 以直线段而不是边缘点来作为道路的原始局部特性的标记, 从而获取对道路更加稳定的描述; 融合各个波段图像中的直线段, 利用多波段图像的互补性、冗余性提高对道路描述的准确性; 基于道路在图像中的表现和全局连接关系, 定义道路对应的直线段所应具有的特性以及连接特性作为识别

* 收稿日期: 1999 12 13; 修改日期: 2000 03 06

基金项目: 国防科工委卫星应用技术重点资助项目(Y96-12)

作者简介: 蔡涛(1972-), 男, 安徽蒙城人, 博士, 主要研究领域为图像理解, 信息融合; 王润生(1941-), 男, 江苏扬州人, 教授, 博士生导师, 主要研究领域为图像分析与理解, 信息融合, 模式识别。

道路网的模型. 识别时采用层次化的方法, 首先识别图像中突出的路段, 再利用道路网的连接性约束, 识别其他符合所定义的道路模型的不突出的路段, 形成整个图像的道路网.

多波段图像处理中一个重要的要求是各个波段图像之间的严格配准, 即各个图像中相同位置的像素对应相同的空间位置. 目前, 许多多波段成像传感器已经能够在获取图像的时候保证不同波段图像之间的严格配准关系. 对于未配准的图像, 一般采用几何变换方法, 这方面已经有相当多的文章进行过讨论. 本文所提出方法的处理对象是配准的多波段图像.

本文第 1 节对算法的设计和实现进行介绍和解释, 第 2 节是实验结果, 第 3 节是分析和讨论.

1 算法描述

1.1 算法思路

本文的识别方法是基于符号的目标识别方法, 其主要思想是: 图像中的目标是由具有某种相同特性的像素集合构成的, 我们称之为符号. 目标识别的过程就是提取、识别在图像中与目标对应的、可以代表目标的、具有某种特性的符号或符号集合. 处理过程所依据的准则、方法, 就是这类目标的处理模型.

在遥感图像中, 道路一般表现为曲率变化不大的线条, 在道路的两边存在灰度跳变, 通过直线提取算法可以提取出直线段和平行或近似平行的直线段. 因此, 我们采用直线段和平行线段来表示道路. 对于曲率变化大的部分, 采用分段表示的方法. 由于直线是建立在连通的边缘点集合上的, 因而能够比边缘点更适应由道路宽度变化等因素所带来的影响.

由于道路在图像中表现的复杂性以及直线提取算法在提取直线段时准确性所受到的局限, 有两个问题会造成识别的困难: (1) 图像中的道路不能够完全由所提取的线段表示; (2) 图像中的某些平行线是其他地物和图像模式引起的, 不是道路的表现. 第 1 个问题要求在识别道路过程中, 首先要准确地提取图像中的直线段和平行线段; 第 2 个问题则要求根据道路和道路网的特点, 设计出合适的道路处理模型, 识别出对应于道路的线段.

本文提出两个方法来解决这些问题. 一是融合使用多波段图像, 从中提取直线段和平行线段, 提高线段提取的准确性、完整性. 这是因为, 多波段图像提供了同一个位置上的多个不同光谱波段的强度, 各个波段图像之间存在互补性和冗余性. 充分利用这些特点, 可以使所提取的直线段和平行线段比仅仅使用一个图像更准确、更完整. 二是建立分层次处理的目标模型, 先处理和路段的模型约束最为相符的那些线段, 提取突出的路段; 然后根据道路网的连通性, 定义道路网中路段所对应的线段之间的连接性约束, 以已经识别出的路段为基础, 根据这些特性约束来提取那些不突出的路段对应的线段. 从而提取整个图像中的道路网的表示. 这是因为, 在遥感图像中, 有些路段在图像中表现明显, 可以在其对应的像素上提取出平行直线段, 并根据理想道路模型来识别 (称为突出路段). 而有些则不能提取出对应的平行线段甚至直线段 (称为模糊路段). 由于道路在图像中一般不是孤立存在的, 而是相互连接, 组成一个道路网. 在识别中, 利用这个全局连接性约束, 以主要路段为基础, 根据道路的全局连接关系, 可以区分开道路所对应的线段和其他非道路目标对应的线段, 识别出模糊的路段. 而且, 这样还避免了动态规划这样的全局搜索的大运算量的计算过程. 这些提取突出路段、模糊路段以及路段之间连接性约束, 就构成了整个算法的道路约束模型.

综上所述, 算法需要解决的主要问题有两个, 即融合多波段图像提取直线段和平行线段以及根据道路的特点和全局约束识别出道路对应的线段, 从而连接成道路网.

整个算法的实现包括 3 个阶段: 各波段图像融合提取直线段和平行线段; 突出路段识别; 模糊

路段识别.下面我们具体加以说明.

1.2 各波段图像融合提取直线段和平行线段

这里,首先在每个波段的图像中提取直线段,再提取其中符合我们所定义的平行线要求的直线段对,然后融合处理这些线段.

提取多波段图像中的平行线段必须考虑的问题是:在一个位置上,各个波段都可能提取出直线段,这些直线段的位置、参数不完全相同,但它们本来对应于同一个直线模式,应该使用一个参数表示.因此,需要一个融合处理过程来解决这个问题.可以有两种融合方法:一种是对所有波段中提取的直线首先进行融合,得到所有波段的统一的直线段^[10],再从中寻找平行线对;另一种是首先在每个波段中寻找平行线对,再对各个波段的平行线对进行融合,得到所有波段的统一的平行线对的描述.由于我们以平行线作为描述突出路段的符号,若首先对直线融合,会丢失每个波段图像中平行线的一部分信息.所以,本文选择第2种处理方法.另外,这种方法的计算量比第1种方法要小.

从单个图像提取直线的方法很多.这里,我们采用相位编组直线提取算法^[11].

由于图像中道路的表现不是理想的平行线,而且在直线提取时会存在误差,所以在每个波段图像中,判定平行线的准则是提取在一定范围内近似平行的直线段.判定准则所使用的测量参数如图1所示.其中,线段端点为 A, B, C, D . A', B', C', D' 分别是 A, B, C, D 在另一个直线的投影. $d_1 \sim d_4$ 是每个直线端点到另一个直线的距离. t 为两个直线夹角.具体准则为: $d_1 \sim d_4$ 小于一个距离门限; t 在一个范围内;两个直线的端点在对方的投影点中,应该有两个是所在直线的内点.如果两个内点在同一直线上,则这两个内点距离大于一个门限.否则,一个内点和另一个内点对应的直线端点的距离大于一个门限.例如,在图1(a)中,表现为 CB' 与 $C'B$ 的距离大于门限.这个限制,是为了区分图1(b)中左边和右边两对的情况.这些门限要根据道路在图中的宽度范围来决定.

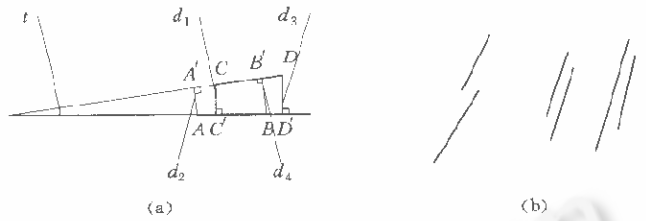


Fig. 1 Rules for detecting parallel lines
图1 寻找平行线的准则

各个波段的平行线的融合包括关联和融合两步.为了便于处理,我们对一对平行线拟合出一个位于它们中间的线段来表示这对平行线段,称为“中心线段”.融合的具体方法如下:

(1) 首先利用“中心线段”进行各个波段的平行线的关联——把不同波段图像中对应于相同空间位置的平行线联系起来.关联准则是:方向相似的两个平行线对,如果在一个“中心线段”上的像素中,到另一个“中心线段”的距离小于一个距离门限的像素数目和整个直线像素数目的百分比大于一个门限,则认为这两个平行线是关联的.

(2) 进行融合处理的方法是:对于关联的平行线段,拟合出一个具有宽度的线段来表示,称为“融合线段”.这个线段的方向角为各个关联平行线段的“中心线段”的方向角的均值,其端点是关联直线端点在这个直线上投影的点中距离最大的两个点,宽度为所关联的平行线的平均宽度.

对于没有关联线段的平行线段,同样提取“融合线段”(差别仅仅是只对一个平行线段拟合“融合线段”).这样就得到了各个波段图像中平行线段的统一表示.

1.3 突出路段提取

突出路段提取包括路段识别和路段连接两个环节.

首先,从所有“融合线段”中识别出严格符合路段模型的线段,这些线段是突出路段的初步识别结果.路段模型约束的具体准则如下:

- (1) 该线段长度大;
- (2) 该线段所对应的原始直线段的灰度梯度均值大;
- (3) 该线段所对应的平行的直线段之间的夹角接近0度.

然后,为了解决直线表示道路时存在的断裂现象,进行主要路段的连接,把在识别出的突出路段所对应的线段中方向一致、端点距离近的“融合线段”连接起来,构成更长的线段.具体准则为:

- (1) 两个线段方向角差别小;
- (2) 一个路段的“融合直线”和另一个路段的“融合直线”端点在一个距离范围内构成首尾相连的关系.

1.4 次要道路提取和连接关系判断

次要路段对应的直线表示往往是短的平行线或者一个直线段.在人工判别时,对于这些路段是通过它们和其他道路,尤其是突出路段的连接情况来判别的.同时,有些地物有时也反映为平行线段,而且会被误判为突出路段,但它们之间、它们和路段之间一般不构成交叉、连接关系.

这里,首先定义路段之间的连接关系准则,然后以识别出的突出路段为种子,对已经被识别为道路的线段以外的各个线段和平行线段按照迭代方式进行搜索,判断是否符合道路连接约束;对于符合者,判定为道路,并且作为新的“种子”,进一步进行搜索,直到考察了所有的线段.其中,路段连接关系约束准则为满足下列条件之一:

- (1) 线段的两端位于两个路段的端点附近;
- (2) 线段的端点位于路段的交叉点附近或交叉点之间;
- (3) 线段和两个平行的路段相交,夹角近似垂直.

最后,为了克服突出路段识别时出现的误判,删除已经提取的突出路段中不能与其他路段构成连接关系的孤立的路段.这样就得到了最后的结果.

2 实验结果

在实验中,我们以配准的三波段的卫星图像为例进行处理,并且与使用其中一个波段图像的处理结果进行对比.图2中列出了原始图像和每个中间处理步骤的结果.其中,图2(a)~(c)分别是原始的3个波段图像;(d)~(f)为从(a)~(c)中提取的直线;(g)是3个图像分别提取的线段复合的情况;(h)是各个波段图像提取的平行线复合的情况;(i)是提取的主要道路的“中心线段”;(j)是最终提取的路段,其中突出路段以“融合线段”来表示;(k)是提取路段和原始图像(b)复合在一起的图像;(l)是(b)中一个波段的图像经过本文的算法处理的结果,用以和(j)中的结果进行比较.

3 讨论和分析

从结果可见,图像中大部分道路被提取出来了.其中,对于明显的路段基本没有错误,对于模糊的路段也能够提取.本文的算法能够较好地解决道路提取中所存在的模式的不确定性和表示的不确定性的问题,可以较好地提取多波段图像中的道路网.

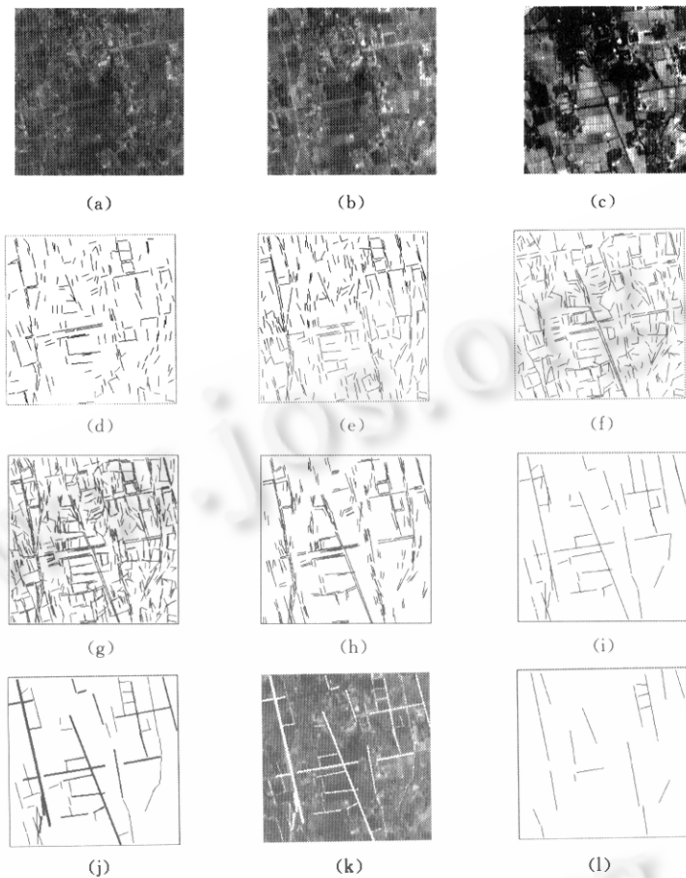


Fig. 2 Experiment data and results of each step
图 2 实验数据和各步骤结果

本文的实验结果中仍然对一些不突出的路段有所遗漏. 通过观察中间处理结果可以发现, 这主要是因为直线提取算法没有很好地提取出这些路段所对应的线段. 另外, 仍然存在少量误判. 例如, 图 2(k) 中左下 A 附近. 这是因为这里的道路模式复杂, 提取的线段位置不精确; 目前的算法对有些线段和路段对应的线段不能够区分. 因此, 还需要对直线提取算法与处理模型进一步优化来解决.

我们在实验结果中没有提取出图像中经过居民区的路段. 这是因为它们在图像中的表现本身和周围地物混淆了, 模式本身是不可区分的, 需要引入其他分析过程和知识来处理.

在我们的实验结果中, 目前只提供了道路网对应的线段表示. 可以发现, 在目前结果的基础上, 利用路段的交叉、连接关系, 进一步连接各个路段, 使之进一步连通, 可以形成完整的道路网的图表示. 这个问题将在后续的研究中加以讨论.

从处理流程来看, 由于各个波段图像中的直线提取过程独立, 所以对各个波段图像可以平行地采用不同的直线提取算法. 而且, 在后续的处理过程中不需要原始图像的参与, 整个处理过程是一个前向过程, 因此直线提取和识别过程可以流水方式进行. 在实际应用中, 这样可以提高处理速度.

由于处理结果已经准确地提取了大部分的路段, 在实际应用中需要人工解决的部分则大为减少, 因而可以使处理效率得以提高.

References:

- [1] Geman, D., Jedynek, B. An active testing model for tracking roads in satellite images. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1996,18(1):1~13.
- [2] Barzohar, M., Cooper, D. B. Automatic finding of main roads in aerial images by using geometric-stochastic models and estimation. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1996,18(7):707~721.
- [3] Nevatia, R., Babu, K. R. Linear feature extraction and description. *Computer Graphics and Image Processing*, 1980,13(3):257~269.
- [4] Aviad, Z., Carnine, J. P. D. Road finding for road network extraction. Technical Report, CMU-CS-88-157, Pittsburgh: CS CMU, 1988.
- [5] McKeown, D. M., Denlinger, L. Cooperative methods for road tracing in aerial imagery. In: Jain, R., ed. *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. Ann. Arbor: Computer Society Press, 1988. 662~672.
- [6] Karathanassi, V., Iossifidis, CHR., Rokos, D. A thinning-based method for recognizing and extracting peri-urban road networks from SPOT panchromatic images. *International Journal of Remote Sensing*, 1999,20(1):153~168.
- [7] Duda, R. O., Hart, P. E. *Pattern Classification and Scene Analysis*. New York: John Wiley and Sons, Inc. 1973.
- [8] Fischler, M. A., Wolk, II. Detection of roads and linear structures in low-resolution aerial imagery using a multi-source knowledge integration technique. *Computer Graphics and Image Processing*, 1981,15(3):201~223.
- [9] Geiger, D., Gupta, A., Costa, L. A., et al. Dynamic programming for detecting, tracking, and matching deformable contours. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1995,17(3):294~302.
- [10] Wang, Run-sheng, Cai, Tao. Symbol-Based image fusion for object recognition. In: Arabnia, Hamid, R., Zhu, Dong-ping, eds. *Proceedings of the International Conference on Multisource-Multisensor Information Fusion*. Las Vegas: CSREA Press, 1998. 509~515.
- [11] Wang, Run-sheng. *Image Understanding*. Changsha: Press of National University of Defence Technology, 1994. 31~86 (in Chinese).

附中文参考文献:

- [11] 王宿生. 图像理解. 长沙:国防科学技术大学出版社,1994. 31~86.

An Algorithm for Extracting Road Network from Multi-Band Remote Sensing Images*

CAI Tao, WANG Run-sheng

(ATR National Key Laboratory, National University of Defence Technology, Changsha 410073, China)

E-mail: tao-high@263.net; rswang@nudt.edu.cn

http://www.nudt.edu.cn

Abstract: An algorithm for extracting road network by fusion of multi-band remote sensing images is presented in this paper. Firstly, straight lines and parallel lines are extracted from multi-band images and fused in order to overcome the uncertainty of the description of roads in the images. Secondly, the roads that fit well with the constraints of the model of road are recognized according to the local property of lines. Eventually, the roads that can not be fit well with the constraints of the model of road are recognized by using the global connection constraints of road network. The algorithm is applied on 3-band remote sensing images, and the effectiveness is shown by the results.

Key words: multi-band image; remote sensing; recognition; road network; fusion; lines

* Received December 13, 1999; accepted March 6, 2000

Supported by the Satellite Application Key Project of the Council of Defense Science and Technology of China under Grant No. Y96-12