

中图法分类号: TP751 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2011)12-2183-08

论文索引信息: 宁亚辉, 雷小奇, 王功孝, 李顺琴. Dempster-Shafer 证据融合形状特征的高分辨率遥感图像道路信息提取 [J].

中国图象图形学报, 2011, 16(12): 2183-2190

Dempster-Shafer 证据融合形状特征的高分辨率 遥感图像道路信息提取

宁亚辉¹⁾, 雷小奇²⁾, 王功孝¹⁾, 李顺琴¹⁾

¹⁾ (重庆后勤工程学院计算机教研室, 重庆 401311)

²⁾ (中国移动通信集团重庆有限公司, 重庆 401121)

摘要: 道路提取是遥感图像目标识别和提取中一项具有重要意义而困难的任务。在遥感图像道路提取的过程中, 由于道路的不同形状和图像信息的复杂性, 目前在许多基于形状特征提取道路的方法中, 选取形状特征阈值时具有一定的难度, 且需要大量的人工干预操作, 缺乏一定的通用性, 因此, 本文提出一种基于 DS(Dempster-Shafer) 证据理论和形状特征的道路提取方法。该方法首先对道路的几何形状特征进行分析和优化, 据此设计概率分配函数, 并利用 DS 证据理论融合形状特征以获取道路段, 最后通过道路连接操作得到道路的中心线。文末通过对典型道路图像和非典型道路图像的实验表明, 该方法能够降低选取形状特征阈值的难度和对人工的依赖性, 能适用于高分辨率遥感图像中直线型和曲线型道路的提取, 具有一定的可行性。

关键词: 道路提取; Dempster-Shafer 证据; 阈值选取; 形状特征; 高分辨率遥感图像

Road extraction from high-resolution remote sensing images based on Dempster-Shafer evidence theory and fusion shape features

Ning Yahui¹⁾, Lei Xiaoqi²⁾, Wang Gongxiao¹⁾, Li Shunqin¹⁾

¹⁾ (Department of Computer in Logical Engineering University, Chongqing 401311 China)

²⁾ (China Mobile Group Chongqing Co., Ltd, Chongqing 401121 China)

Abstract: Road extraction is one of important issues for target recognition in remote sensing image. At present, most road extraction methods are based on shape-features. But the threshold selection is very difficult and needs much human intervention, because the shape-features have the complicated information in remote sensing images. Hence, a road-extraction method using the DS (Dempster-Shafer) evidence theory to fuse the shape features is proposed. First, some shape features are selected and optimized. Then, the basic probability assignment functions are designed and the road segments are extracted by using shape features with the DS theory. Finally, the road center lines are obtained by connecting road segments. Typical road images and non-typical road images were selected for experiments, and the results prove that the method can reduce the difficulty of threshold selection and the dependency of human intervention. The method is effective for the typical road images and non-typical road images.

Keywords: road extraction; Dempster-Shafer evidence; threshold selection; shape features; high resolution remote sensing image

收稿日期: 2010-09-03; 修回日期: 2011-03-31

基金项目: 解放军后勤工程学院青年基金项目 (YQ09-43403)。

第一作者简介: 宁亚辉 (1980—), 女, 讲师。2009 年于重庆邮电大学获计算机应用专业硕士学位, 主要研究方向为人工智能、图像处理。E-mail: ningyh@126.com。

0 引言

利用遥感图像来快速获取地球表面信息是一种重要的信息获取方式。高空间分辨率的遥感图像对于城市规划、测绘、军事监测、目标提取、变化监测、GIS 数据的更新和应用等都具有重要的价值和意义。其中,在高分辨率遥感图像中进行道路提取一直是国内外的一个研究热点和难点。国外如美国的 Mckeown 实验室、瑞士的“Amobe”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很多机构都对道路提取展开研究。国内对此也已展开许多相关研究,如中科院遥感所、测绘研究院、北京大学、武汉大学、国防科技大学、信息工程大学、南京大学等一些科研单位对此也作了较多的分析和研究。文献[1]提出低分辨率下的道路信息获取方法;文献[2-4]主要是利用了道路的直线特征或线状特征来抽取主道路信息,较适合于直线状道路段的提取;文献[5]基于道路场景感知模型进行了道路提取;文献[6]采用了形态学知识和线状特征作了道路检测;文献[7]利用了高斯马尔可夫随机场纹理模型和支撑向量机对道路进行了自动提取;文献[8-11]初步运用了形状特征和其他特征来分割图像目标,但其方法缺乏一定的通用性;文献[12-13]分别基于神经网络、利用统计特征对 10 m 地面分辨率的 SAR 图像进行道路提取。

归纳来说,目前研究方法按自动化程度分为半自动提取和自动提取两类,也有学者认为由于遥感图像和道路系统的复杂性,在“可预见的将来”完全自动地提取道路是不太现实的^[14],必须结合人工引导将人的模式认知能力与计算机的快速精确计算能力结合起来。

Dempster-Shafer (DS) 证据理论又称为信任函数理论,它是经典概率论的一种扩充形式,是由 Dempster 在 1967 年最初提出,他用多值映射得出了概率的上下界,并由 Shafer 进一步发展起来的一种处理不确定性信息的理论^[15]。DS 理论用先验概率分派函数去获得后验的证据区间,量化了命题的可信程度和似然率,利用信任区间代替了概率、用组合规则代替了贝叶斯公式,比传统的概率论能更好把握问题的未知性和不确定性,并被不断改进^[16-17]应用到许多方面。由于道路的不同形状和图像信息的复杂性,通过多种形状特征在进行判断决策时,具有

一定的不确定性,而 DS 理论能较好把握问题的未知性和不确定性。本文在文献[11]基础上,进一步通过 DS 证据理论对形状特征进行了融合处理,从而降低了形状特征阈值选取的难度,减少了人工干预操作,文末实验证明,DS 理论融合形状特征道路提取具有一定的可行性和优越性,能够适应于高分辨率遥感图像中道路的提取,对于典型道路图像和非典型道路图像具有一定的可行性。

1 DS 证据理论基础

在 DS 证据理论中,首先将待识别对象所有可能结果的集合所构成的空间进行划分,定义为识别框架,记作 Θ ,并把 Θ 中所有子集组成的集合记作 2^Θ 。对于 2^Θ 中任何假设集合 A ,有 $m(A) \in [0, 1]$,并且

$$m(\emptyset) = 0 \quad (1)$$

$$\sum_{A \in 2^\Theta} m(A) = 1 \quad (2)$$

式中, m 称为 2^Θ 上的概率分配函数 (BPAF), $m(A)$ 称为 A 的基本概率函数。

DS 证据理论定义了信任函数 Bel 和似然函数 Pls 来表示问题的不确定性,即

$$Bel: 2^\Theta \longrightarrow [0, 1], Bel(A) = \sum_{B \subseteq A} m(B) \quad (3)$$

$$Pls: 2^\Theta \longrightarrow [0, 1], Pls(A) = \sum_{B \cap A \neq \emptyset} m(B) \quad (4)$$

信任函数表示对 A 为真的信任程度,也称为下限函数;似然函数表示对 A 为非假的信任程度,则 $[Bel(A), Pl(A)]$ 为 A 的一个信任区间,信任区间刻画了对 A 所持信任度的上下限。

在有多个证据存在的情况下,可以使用 Dempster 合成法则对多个 BPAF 进行合成,即

$$m(A) = K^{-1} \times \sum_{\cap_{i=1}^n A_i = A} \prod_{1 \leq i \leq n} m_i(A_i) \quad (5)$$

式中, $K = \sum_{\cap_{i=1}^n A_i \neq \emptyset} \prod_{1 \leq i \leq n} m_i(A_i)$, m_1, m_2, \dots, m_n 为 n 个 BPAF。

2 本文道路提取方法

基于对多种道路的实际调查和分析研究,并参考有关文献[2-4],总结道路特征如下:1)从整体上看,道路一般呈条带状,在一定长度上,同一条道路的宽度是一定的,其变化较小;2)每一段道路

表面灰度或颜色变化很小,但道路与周边非道路区域灰度差异较大;3)从颜色或灰度的差异来看,道路的边缘比较明显,有较突出的边缘信息;4)每一条道路都有一定的长度,一般不会很短,这一特征有别于其他非道路目标;5)一条道路可根据弯曲程度的不同分为长度不等的道路段,如直线段和曲线段,曲线段的弯曲程度差异较大;6)多条道路相互交叉或/和并行在一起(或某一区域)形成道路网,这些道路可根据弯曲程度分成多个复杂的道路段;7)道路可能由于车辆、分道线、树木等信息的干扰,获取的图像上出现道路中断现象。

2.1 本文道路提取流程

基于上述道路特征的描述和分析,本文道路提取流程如图 1 所示。

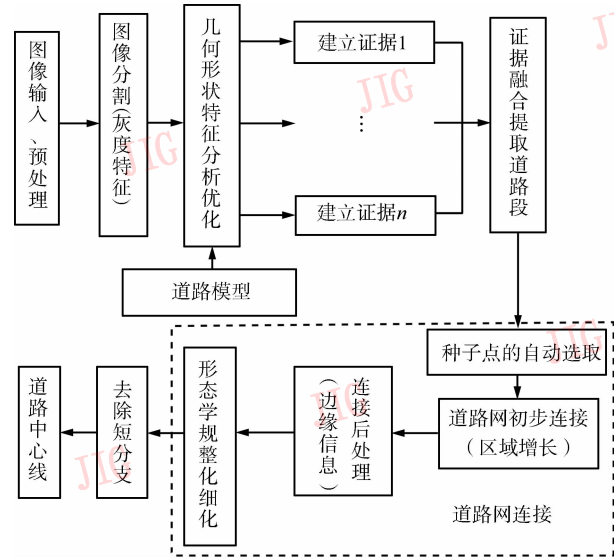


图 1 本文道路提取流程

Fig. 1 Flow chart of road extraction producer

该方法首先采用文献[11]中的基于局部灰度一致性的图像区域分割方法进行图像分割;然后利用 DS 证据和形状特征进行道路段提取;最后进行道路段的连接等操作,实现了主要道路的提取。

2.2 基于 DS 证据和形状特征进行道路段提取

2.2.1 定义辨识框架

按照道路模型的特点并依据 DS 证据理论,构造辨识框架 $\Theta = \{Y, N\}$, 其中, Y 为道路, N 为非道路。设 T_L, T_w, T_R, T_F 分别代表道路长度、宽度、宽长比和充满度的阈值。

2.2.2 设计概论分配函数

1) 面积 S

采用此特征过滤掉分割后面积较小的干扰目标物

体,这一操作可以在后续的处理过程中减少执行时间。通过 T_s 来确定面积阈值, T_s 的选取依据图像空间分辨率的高低和提取目标的大小而定(这里 $T_s = 30$)。

2) 长度 L 和宽度 W

$$L = L_{MER}, \quad W = W_{MER} \quad (6)$$

式中, L_{MER} 为最小外接矩形的长; W_{MER} 为最小外接矩形的宽。

道路具有一定的长度和宽度,目标长度越长,则道路的可能性越大;目标宽度越大,则为道路的可能性越小。因此,设计长度 L 的概率分配函数为

if ($L > T_L$) then

$$\begin{cases} m_1(Y) = (1 - T_L/L) \times (1 - \alpha_1) \\ m_1(N) = (T_L/L) \times (1 - \alpha_1) \\ m_1(Y, N) = \alpha_1 \end{cases} \quad (7)$$

else

$$\begin{cases} m_1(Y) = 0.1 \\ m_1(N) = 0.9 \\ m_1(Y, N) = 0 \end{cases}$$

设计宽度 W 的概率分配函数为

if ($W > T_w$) then

$$\begin{cases} m_2(Y) = (T_w/W) \times (1 - \alpha_2) \\ m_2(N) = (1 - T_w/W) \times (1 - \alpha_2) \\ m_2(Y, N) = \alpha_2 \end{cases} \quad (8)$$

else

$$\begin{cases} m_2(Y) = 0.1 \\ m_2(N) = 0.9 \\ m_2(Y, N) = 0 \end{cases}$$

(3) 宽长比 R

$$R = W_{MER}/L_{MER} \quad (9)$$

R 小于 1,且 R 值越小,则为直线形道路的可能性越大。其概率分配函数为

if ($R < T_R$) then

$$\begin{cases} m_3(Y) = (1 - R) \times (1 - \alpha_3) \\ m_3(N) = R \times (1 - \alpha_3) \\ m_3(Y, N) = \alpha_3 \end{cases} \quad (10)$$

else

$$\begin{cases} m_3(Y) = 0.1 \\ m_3(N) = 0.9 \\ m_3(Y, N) = 0 \end{cases}$$

(4) 充满度 F

$$F = S/S_{MER} \quad (11)$$

式中, S_{MER} 为最小外接矩形面积。其概率分配函数为

if ($F < T_f$) then

$$\begin{cases} m_4(Y) = (1 - F) \times (1 - \alpha_4) \\ m_4(N) = F \times (1 - \alpha_4) \\ m_4(Y, N) = \alpha_4 \end{cases} \quad (12)$$

else

$$\begin{aligned} m_4(Y) &= 0.1 \\ m_4(N) &= 0.9 \\ m_4(Y, N) &= 0 \end{aligned}$$

式中, $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ 为特征权重输入参数。

2.2.3 DS 证据合成

依据文献[11]并结合本文第 2 节总结的道路模型,可以将道路分为直线型和曲线型两类道路段分别提取。直线型道路段在形状上更多依赖于长度、宽度,以及宽长比特征,所以,选取这 3 个特征提取直线型道路段;而对于曲线型道路,长度、宽度并不能作为道路的主要特征,而充满度特征比较明显可作为主要特征,长度也需要作为道路的次要基本特征进行考虑。因此,曲线型道路主要考虑充满度、长度特征。于是,设计以下两步进行多种特征证据的合成:

1) 选择宽长比特征 R 、长度特征 L 和宽度特征 W ,通过 Dempster 合成法则进行合成,得到数据集 M_1 和完备化结果,用于提取直线型道路段。

2) 选择充满度特征 F 、长度特征 L ,通过 Dempster 合成法则进行合成,得到数据集 M_2 和完备化结果,用于提取曲线型道路段。

2.2.4 定义判决规则

按照最大概率分配原则,定义判别决策如下:对于每一个目标 i ,若 $Bel_i(Y) > Bel_i(N)$,则 i 为道路段目标;否则, i 为非道路目标,不做进一步分析。

对原始图像(图 2)进行逐步提取。图 3 是在图 2 的基础上分割去除干扰物后(面积 $T_s < 30$ 像素)得到的图像,其中采用面积特征过滤掉分割后

面积较小的干扰目标物体,以减少后续处理过程的执行时间。对图 3 经过上述方法处理后得到结果如图 4 所示。



图 2 原始影像
Fig. 2 Original image

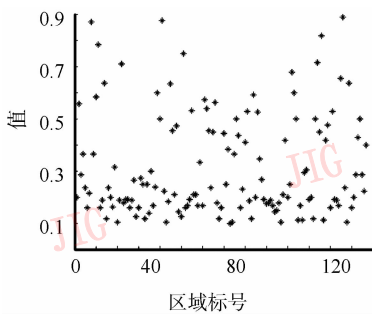


图 3 经分割后去除面积 $T_s \leq 30$ 像素后的结果图
Fig. 3 Result of segmentation $T_s \leq 30$

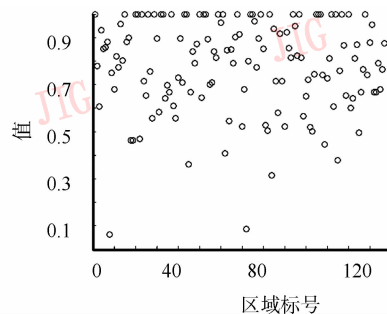


图 4 本文方法提取结果
Fig. 4 Extracting result of paper

对融合前后实验图像作数据对比分析。图 5 为融合前各目标的充满度和宽长比数据;图 6 为融合后各目标为道路的信任度以及非道路的信任度。



(a) 充满度特征分布图



(b) 宽长比特征分布图

图 5 融合前充满度和宽长比分布图

Fig. 5 Distribution of feature- F and feature- R before fusion

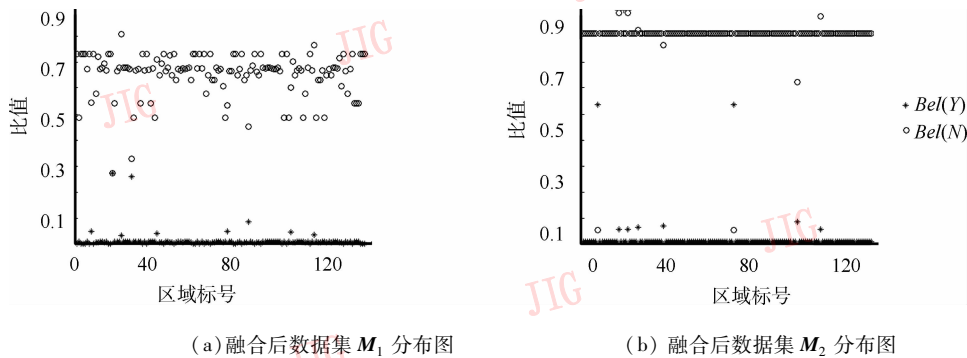


图 6 融合后数据集分布图

Fig. 6 Distribution of data set after fusion

通过图 5 和图 6 的数据对比可以看到,融合前充满度和宽长比数据比较离散,采用独立的形状特征(如充满度、宽长比等)进行道路提取,会存在各个特征参数阈值难以选取的问题,甚至需要结合人工分析进行处理。而本文方法将各个先前独立的特征按照 Dempster 合成法则进行一次融合后得到的道路的信任度和非道路的信任度数据更加集中,便于分类和目标提取,从而降低了阈值选取的难度。

图 7 为文献[11]方法中选取长宽比为 7、充满度为 0.3 的结果图。



图 7 文献[11]方法结果

Fig. 7 Extracting result on reference [11]

图 7 的实验过程中,首先需要大量的人工分析,结合图像选取每个特征的阈值;其次,图像中各个目标对象较多且形状各异,仅通过各个孤立的特征提取准确性不高,有些非道路目标难以剔除,因此需要人工干预滤除操作,文献[9-10]中存在同样问题。而通过 DS 证据理论,将多个特征关联,大大降低阈值选取的难度,并减少人工干预的程度,获取更好的提取效果。

提取道路段后,进行道路段的连接操作。对图 4 采用区域增长方法实现道路段连接(增长阈值 $T = 12$)得到结果如图 8 所示,再经进一步细化处理,得到图 9(a)。

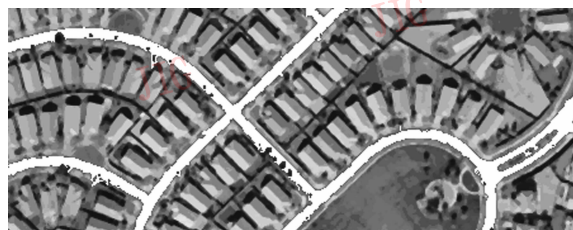
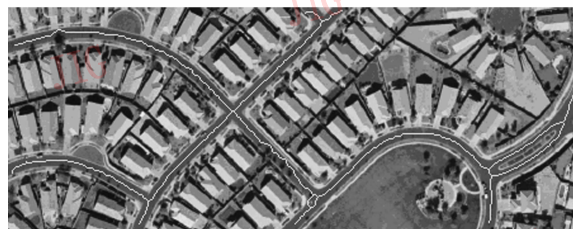


图 8 区域增长后结果

Fig. 8 Region growing result



(a) 细化后提取结果



(b) 提取结果与原始图像叠加效果图

图 9 提取结果图

Fig. 9 Results image of extracted

从图 9(a) 可以看到,道路信息基本上都被正确地提取出来。原始图像叠加效果如图 9(b) 所示。

3 实验结果及分析

实验选取网络提供的高分辨率遥感样例图像。图 10(a) 为 Quickbird-0.61 m 空间分辨率彩色影

像,属于典型道路,有较清晰的边界。图 11(a) 为 IKONOS 1 m 分辨率彩色影像。实验采用 Visual C++6.0 开发平台实现。为了说明本文方法对高分辨率图像的实用性和可用性,本文对 2.2 节公式中各个特征阈值分别设定为 $T_L = 30$ 像素, $T_W = 4$ 像素, $T_R = 0.2$, $T_F = 0.2$ (注意:特征阈值的选取依据实际图像的分辨率和需要提取道路段的参数进行设定,本文为了统一,选取实际道路段的长度阈值为 30 m,宽度为 4 m) $\alpha_1 = 0.55$, $\alpha_2 = 0.5$, $\alpha_3 = 0.8$, $\alpha_4 = 0.7$ (特征权重值依据各特征对目标提取的贡献程度而定,也可依据大量实验研究进行选取) 分割阈值 $T_0 = 10$, 区域增长阈值 $T = 12$ 。

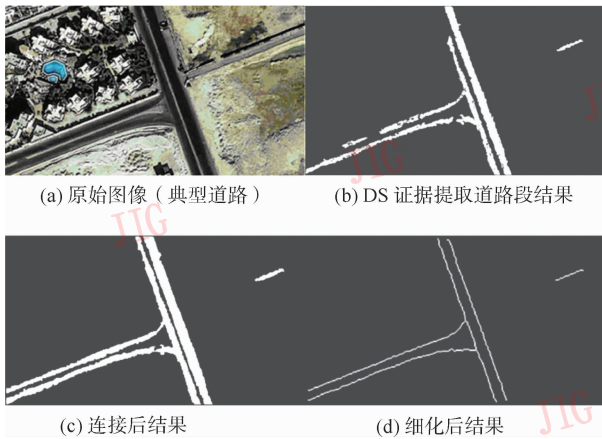


图 10 提取结果图

Fig. 10 Results image of extracted

在细化过程中,可以采用形态学的膨胀和细化操作,以消除孔洞,从而得到单线条道路信息。

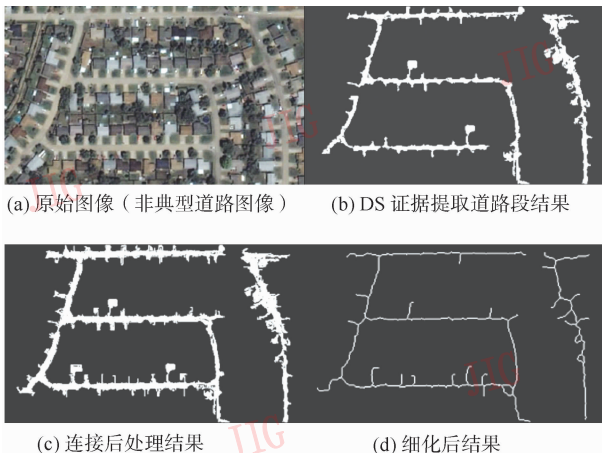
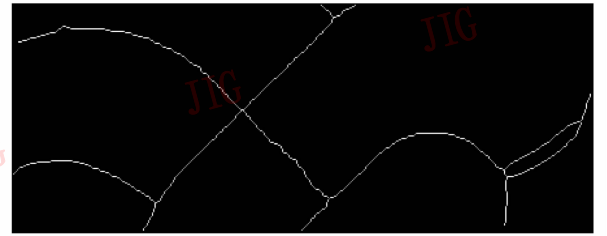


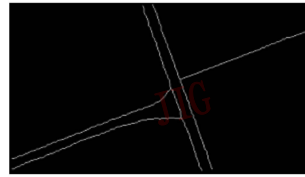
图 11 提取结果图

Fig. 11 Results image of extracted

道路像素点、检测出的道路像素点、错误检出的像素点个数,以及利用人工判读定义参考图像来进行综合评价。各参考图像如图 12 所示。



(a) 原始图 2 参考道路图像



(b) 原始图 10(a) 参考道路图像



(c) 原始图 11(a) 参考道路图像

图 12 参考图

Fig. 12 Reference image

选用以下指标:^[5,18]

$$检测率 P_D = \frac{检出的正确道路长度}{参考道路长度}$$

$$虚警率 P_F = \frac{检出错误道路长度}{参考道路长度}$$

$$检测质量 \theta = \frac{检出的正确道路长度}{参考道路中未检出的长度 + 检出的道路长度}$$

本文方法道路检测结果如表 1。

表 1 本文方法道路检测结果数据

Tab. 1 Road detection results data of paper

指标	典型道路 路图 2	非典型道路	
		图 10(a)	图 11(a)
P_D	98.9	86.57	80.13
P_F	1.94	0.52	22.15
θ	97.0	86.12	65.6

文中对不同图像的实验过程中,其特征阈值不变。从获得的实验数据可以看到,本文方法对于高分辨率遥感图像中典型道路能够达到较好的效果,对于非典型道路图像(如图 11),其检测率比较高,由于图像复杂性等原因,其虚警率也较高,导致检测质量较典型道路图像有所下降,但从主观效果来看,其主干道基本被提取出来,后续还

为了更好地说明提取效果,我们通过统计正确

需对分割方法及阈值的选取展开进一步研究。实验结果表明,该方法能够降低阈值选取的难度,提高阈值的适用性。

4 结 论

提出基于 DS 证据理论融合几何形状特征的高空间分辨率遥感图像道路提取方法。该方法首先对道路的几何形状特征进行分析和优化,设计了概率分配函数,并利用 DS 证据理论融合形状特征以获取道路段,最后通过道路连接操作得到道路的中心线。文中实验数据分析和实验结果表明,该方法大大降低了特征阈值选取的难度,减少了人工干预操作,提高了形状特征的利用程度和适用性,达到了较好的提取效果。文末通过不同分辨率和复杂度图像的实验表明,该方法能够适应于典型道路和非典型道路图像,能适用于高分辨率遥感图像中直线形和曲线形道路的提取,具有一定的可行性。后续的研究还应该结合文献[19-21]综述中的研究方法,加强对多光谱图像进行分析,以融合各个波段信息,以及研究路段连接方法等,以进一步提高道路提取的检测质量和准确性。

参考文献 (References)

[1] Fischler M A, Tenenbaum J M, Wolf H C. Detection of roads and linear structures in low-resolution aerial imagery using a multisource knowledge integration technique [J]. *Computer Graphics and Image Processing*, 1981, 15 (3): 201-223.

[2] Wen Gongjian, Wang Runsheng. Automatic extraction of main roads from aerial remote sensing images [J]. *Journal of Software*, 2000, 11 (7): 957-964. [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, 11 (7): 957-964.]

[3] Cai Tao, Wang Runsheng. An algorithm for Extracting road network from multi-band remote sensing images [J]. *Journal of Software*, 2001, 12 (6): 943-948. [蔡涛, 王润生. 一个从多波段遥感图像提取道路网的算法 [J]. *软件学报*, 2001, 12 (6): 943-948.]

[4] Zhu Changqing, Yang Yun, Zou Fang, et al. Total rectangle matching approach to road extraction from high resolution remote sensing images [J]. *J. Huazhong Univ. of Sci. & Tech: Natural Science Edition*, 2008, 36 (2): 74-77. [朱长青, 杨云, 邹芳, 等. 高分辨率影像道路提取的整体矩形匹配方法 [J]. *华中科技大学学报:自然科学版*, 2008, 36 (2): 74-77.]

[5] Yang Jun, Wang Runsheng. Scene perception and classified detection for roads in remote sensing images [J]. *Journal of*

Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2007, 19 (3): 334-339. [杨俊, 王润生. 遥感道路的场景感知与分类检测 [J]. *计算机辅助设计与图形学学报*, 2007, 19 (3): 334-339.]

[6] Mei Tiancan, Li Deren, Qin Qianqing. Knowledge based high resolution remote sensing image segmentation [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2005, 30 (8): 689-693. [梅天灿, 李德仁, 秦前清. 基于直线和区域特征的遥感影像线状目标检测 [J]. *武汉大学学报:信息科学版*, 2005, 30 (8): 689-693.]

[7] Zhu Changqing, Wang Yaoge, Ma Qiuhe, et al. Road extraction from high-resolution remotely sensed image based on morphological segmentation [J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2004, 33 (4): 347-351. [朱长青, 王耀革, 马秋禾, 等. 基于形态分割的高分辨率遥感影像道路提取 [J]. *测绘学报*, 2004, 33 (4): 347-351.]

[8] Ming Dongping, Luo Jiancheng, Shen Zhanfeng, et al. Research on information extraction and target recognition from high resolution remote sensing image [J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2005, 30 (3): 18-20. [明冬萍, 骆剑承, 沈占锋, 等. 高分辨率遥感图像信息提取与目标识别技术研究 [J]. *测绘科学*, 2005, 30 (3): 18-20.]

[9] Li Xiaofeng, Zhang Shuqing, Han Fuwei, et al. Road extraction from high-resolution remote sensing images based on multiple information fusion [J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2008, 37 (2): 178-184. [李晓峰, 张树清, 韩富伟, 等. 基于多重信息融合的高分辨率遥感影像道路信息提取 [J]. *测绘学报*, 2008, 37 (2): 178-184.]

[10] Luo Qingzhou, Yin Qiu, Kuang Dingbo. Research on extracting road based on its spectral feature and shape feature [J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2007, 22 (2): 339-344. [罗庆洲, 尹球, 匡定波. 光谱与形状特征相结合的道路提取方法研究 [J]. *遥感技术与应用*, 2007, 22 (2): 339-344.]

[11] Lei Xiaoqi, Wang Weixing, Lai Jun. A method of road extraction from high-resolution remote sensing images based on shape-feature [J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2009, 38 (5): 457-465. [雷小奇, 王卫星, 赖军. 一种基于形状特征进行高分辨率遥感影像道路提取方法 [J]. *测绘学报*, 2009, 38 (5): 457-465.]

[12] Mokhtarzade M, Valadanz Zoj M J. Road detection from high-resolution satellite images using artificial neural networks [J]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2007, 9 (1): 32-40.

[13] Xie Feng, Lin Yi, Chen Yingying. Analysis of uncertain factors automatic extraction of roads from SAR Imagery [J]. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, 2008, XXXVII (PartB7): 125-130.

[14] Wang Min, Luo Jiancheng, Ming dongping. Transportation centers extraction from high spatial resolution remote sensed Imagery [J]. *Computer Engineering and Applications*, 2004,

- 40(23):20-23. [汪闽, 骆剑承, 明冬萍. 高分辨率遥感图像上交通枢纽信息的自动提取方法[J]. 计算机工程与应用, 2004, 40(23):20-23.]
- [15] Dempster A P. Upper and lower probabilities induced by a multi-valued mapping[J]. Ann Mathematical Statistics, 1967, 38:325-339.
- [16] Chen Yilei, Wang Junjie. An improved method of D-S evidential reasonin[J]. Journal of System Simulation, 2004, 16(1):28-30. [陈一雷, 王俊杰. 一种 D-S 证据推理的改进方法[J]. 系统仿真学报, 2004, 16(1):28-30.]
- [17] Xu Lijia. Improvement of D-S theory in an information fusion system[J]. Systems Engineering and Electronics, 2004, 26(6):717-720. [许丽佳. D-S 理论在信息融合中的改进[J]. 系统工程与电子技术, 2004, 26(6):717-720.]
- [18] Hu Jiuxiang, Razdan Anshuman, Femiani John C, et al. Road network extraction and intersection detection form aerial images by tracking road footprints[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2007, 12(45):4144-4157.
- [19] Lin Zongjian, Liu Zhengrong. Methods and prospects of road and linear structure extraction from remote sensing Image [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2003, 28(1):90-93. [林宗坚, 刘政荣. 从遥感影像提取道路信息的方法评述[J]. 武汉大学学报:信息科学版, 2003, 28(1):90-93.]
- [20] Shi Wenzhong, Zhu Changqing, Wang yu. Road feature extraction from remotely sensed image; review and Prospects[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2001, 30(3):257-262. [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.]
- [21] Gong Peng, Li Xia, Xu Bing. Interpretation theory and application method development for information extraction from high resolution remotely sensed data [J]. Journal of Remote Sensing, 2006, 10(1):1-5. [宫鹏, 黎夏, 徐冰. 高分辨率图像解译理论与应用方法中的一些研究问题[J]. 遥感学报, 2006, 10(1):1-5.]