

文章编号: 1007-4619 (2005)02-0220-05

TM 图像中道路目标识别方法的研究

张荣, 王勇, 杨榕

(中国科学技术大学 电子工程与信息科学系, 安徽 合肥 230027)

摘要: 提出了一种新的 TM 图像中道路目标的识别方法。算法充分利用了 TM 图像的特点, 在底层处理中运用方向可调滤波器 (Steerable Filter) 的方法提取出潜在的道路目标; 在中层处理中使用链码表示目标并提取其特征参数; 最后在高层处理中进行道路识别和一些后处理, 整个算法可以进行自动的识别。实验证明该算法对于 TM 图像中的道路识别是有很有效的。

关键词: TM 图像; 方向可调滤波器; 道路提取

中图分类号: TP79/TP701.1 **文献标识码:** A

1 引言

自从 20 世纪 70 年代第一颗人造遥感地球卫星问世以来, 随着越来越多的遥感卫星的升空, 有着日益增多的遥感图像的应用。与其他遥感图像相比较, TM 图像的空间分辨率较低, 但是其光谱分辨率较高。由于其成像质量高, 覆盖面积大, 各领域都得到了广泛的应用。在数字图像中提取曲线构造 (简称为线特征), 是计算机视觉中一种比较基本的操作, 它有着很多用途。在摄影测量和遥感中, 从卫星或者低分辨率航空图像中提取线性特征 (如道路, 铁路, 河流等)。这些信息可以用来获取或者更新地理信息系统中的数据, 用于航空导航, 城市规划, 减灾抗灾, 变化检测等方面工作。

20 多年来, 在这个领域开展了很多研究工作。Fischler 等提出的方法^[1]及其改进算法^[2]使用到两个算子, 一个用于检测局部特征, 一个用于检测全局特征, 然后使用动态规划的方法将两个检测器的响应结合起来。基本的方法是定义一个依赖于图像的局部特征 (对比度, 灰度) 的代价函数, 然后在图像中执行求和——最小化过程。这种方法的一个缺点之一就是难于定义代价函数。文献[3]—[6]中使用 Hough 变换的方法检测参变量的曲线。文献[7], [8]使用 Markov 随机场的方法; 文献[9], [10]使用基于先验知识方法在卫星或者航空图像中提取线形特征。

从前的检测线性特征的方法, 主要是考虑待检测目标的结构特征或者是单纯考虑图像的统计特征。前者只是单纯使用局部图像的判别标准 (如灰度值和对比度的差异)^[1,11]。因为这种方法容易产生很多的线状的虚警, 需要精心设计而且计算复杂度很大的认知归类算法用于选择图像中明显的线段^[11-13]。而另一类方法是把图像视为二维函数 $z(x, y)$, 利用微分几何特性从中提取线段。这种算法基本的思想就是确定图像函数中峰和谷的位置。当图像分辨率较高、噪声较小时, 道路的边缘是清晰的, 通过提取直线并结合道路的结构特征可以获得很好的提取效果, 但当噪声较强时, 这类算法所获得的道路边沿常常是不连续的。为了有效提取道路就必须采用具有很高稳健性的统计方法^[15,16], 但道路的统计模型往往是复杂的, 模型中常常又具有太多的需要人为确定的参数, 使得这类方法的实用性较差。

在现有的方法中, 很少有线段检测的方法在考虑提取线段位置特征的同时考虑到线特征的方向信息。而用边缘算子提取边缘会将图中其他边缘一并提取, 给后续的道路识别增加困难。本文提出了一种在考虑线特征的同时兼顾了线性特征的方向特征的方法。道路在 TM 图像中一方面表现为灰度的跳变, 另一方面表现为相邻点灰度跳变的方向一致性。如果沿垂直道路的方向进行滤波就可以得到较大的输出响应, 从而便于道路的提取。但是道路的方向是未知的且变化的, 因此我们提出在局部区域内估

收稿日期: 2003-10-27; 修订日期: 2004-03-08

作者简介: 张荣 (1968—), 女, 1998 年毕业于中国科学技术大学, 获信号与信息处理专业博士学位, 现工作于中国科学技术大学电子工程与信息科学系, 副教授, 从事遥感图像处理研究。

算主导梯度方向,在这个方向上用方向可调滤波器进行滤波,以此控制滤波器的输出,得到一个道路方向的最大输出响应。实验结果表明我们的方法对 TM 图像中的道路识别很有效。

2 道路提取方法

本文算法的总体框架如图 1。在底层算法中,我们没有先检测线段,而是在全图统计梯度和方向

特征,然后根据所得的方向信息,指导方向可调滤波器(Steerable Filter)^[16]进行边缘检测,这样就降低了边缘检测的虚警概率,从而提高了目标检测的精度和效率。为了进一步提高识别的精度,我们在提取目标的特征数据之前进行了目标修补工作,并采用矢量形式的链码表示来进行分析,获得了很好的效果。最后利用一些判据做了一些后处理工作使得输出的结果更合理。

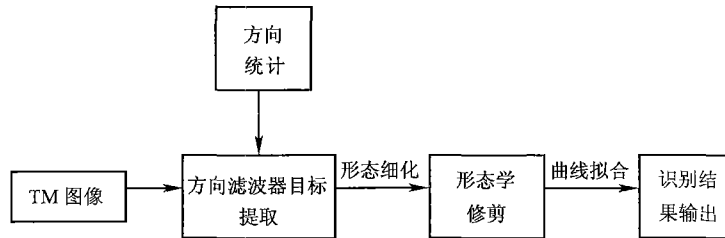


图 1 道路识别算法总体框图

Fig. 1 The framework of our road extraction algorithm

2.1 方向可调滤波

方向可调滤波器的基本思想是用一组不同方向的“基本滤波器”的线性组合来实现一个滤波器在任意方向上的响应,该响应可以看作是方向角的函数,允许人们通过控制其方向角的值来决定该滤波器的输出。比如二维的高斯函数用笛卡儿坐标 (x, y) 来表示,如下:

$$G(x, y) = e^{-(x^2+y^2)} \quad (1)$$

这是一个关于 x, y 轴都对称的函数,对 x 求导得到的一次派生函数 $G_1^{0^\circ}$ (方向为 0°) 如下可得:

$$G_1^{0^\circ} = \frac{\partial}{\partial x} e^{-(x^2+y^2)} = -2xe^{-(x^2+y^2)} \quad (2)$$

同样将函数 G_1 旋转 90° 可以得到另一个基本函数:

$$G_1^{90^\circ} = \frac{\partial}{\partial y} e^{-(x^2+y^2)} = -2ye^{-(x^2+y^2)} \quad (3)$$

可以指出,对于 G_1 这个滤波器来说,其定位于任意角度 θ 方向上的函数可以由 $G_1^{0^\circ}$ 和 $G_1^{90^\circ}$ 的线性组合来综合出来,如下:

$$G_1^{\theta} = \cos(\theta) G_1^{0^\circ} + \sin(\theta) G_1^{90^\circ} \quad (4)$$

因为由 $G_1^{0^\circ}$ 和 $G_1^{90^\circ}$ 就可以达到对任意 G_1^{θ} 的实现,所以我们称它们为对于滤波器 G_1^{θ} 的基本滤波器,而 $\sin(\theta)$ 和 $\cos(\theta)$ 就称为各基本滤波器所对应的内插函数。

又因为卷积是线性运算,所以当我们想要得到一个对某幅图像在某一方向的滤波处理结果的时候,我们可以先得到该图像经过两个基本滤波器

$G_1^{0^\circ}, G_1^{90^\circ}$ 处理后的结果,然后将得到的结果按照上面的插值系数进行线性组合,就得到了该图像经过 G_1^{θ} 滤波后的结果。设 I 表示一幅图像的数据, R_1^{θ} 表示经过 G_1^{θ} 滤波处理之后得到的结果,则具体过程如下:

$$\begin{aligned} G_1^{0^\circ} &= G_1^0 * I \\ G_1^{90^\circ} &= G_1^{90} * I \end{aligned} \quad (5)$$

对其进行线性合成,得到:

$$R_1^{\theta} = \cos(\theta) R_1^{0^\circ} + \sin(\theta) R_1^{90^\circ} \quad (6)$$

这说明其本质上并没有真正的旋转一个滤波器,而是通过基本滤波器的合成,达到对原滤波器进行旋转的效果。

2.2 方向统计和滤波

如果我们沿道路的垂直方向进行滤波,则在道路处可以输出较大的响应,而其他方向上即使梯度很大,也不会有很大响应输出,因此我们可以根据滤波输出提取道路,但是在一幅图像中,道路的方向是未知的且变化的,因此不能用固定角度的方向滤波器进行滤波。在本文中我们采用方向统计的方法确定滤波角度,即将遥感图像分成若干子块,则每个子块中道路基本是直的,可对每个子块的道路走向估计角度。然后将可调滤波器调整到这一角度,对原图像子块进行滤波。滤波后的结果将使得道路明显得凸现出来。

我们用 Kirsch 算子^[17]来估计梯度方向。对每

一像素用 Kirsch 算子的 8 个模板进行卷积,取绝对值最大的响应为其梯度模,对应的模板方向为其梯度方向。通常一个子块中梯度方向的分布是随机的,但如果包含道路,由于道路的梯度方向的一致性,则在其梯度方向直方图中会形成峰值。我们取峰值处的方向为该区域的主导方向,设为区域的滤波角度 θ 。

根据 TM 图像的分辨率和道路的宽度,我们对公式(2),(3)进行 3×3 采样量化;得到 x, y 方向的滤波器为:

$$G_1^{0^\circ} = \begin{vmatrix} g_1^{0^\circ}(-1, -1) & g_1^{0^\circ}(-1, 0) & g_1^{0^\circ}(-1, 1) \\ g_1^{0^\circ}(0, -1) & g_1^{0^\circ}(0, 0) & g_1^{0^\circ}(0, 1) \\ g_1^{0^\circ}(1, -1) & g_1^{0^\circ}(1, 0) & g_1^{0^\circ}(1, 1) \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 5 & 0 & -5 \\ 7 & 0 & -7 \\ 5 & 0 & -5 \end{vmatrix} \quad (7)$$

$$G_1^{90^\circ} = \begin{vmatrix} g_1^{90^\circ}(-1, -1) & g_1^{90^\circ}(-1, 0) & g_1^{90^\circ}(-1, 1) \\ g_1^{90^\circ}(0, -1) & g_1^{90^\circ}(0, 0) & g_1^{90^\circ}(0, 1) \\ g_1^{90^\circ}(1, -1) & g_1^{90^\circ}(1, 0) & g_1^{90^\circ}(1, 1) \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 5 & 7 & 5 \\ 0 & 0 & 0 \\ -5 & -7 & -5 \end{vmatrix} \quad (8)$$

在该区域内用式(5)和(6)进行计算,其中:

$$R_1^{0^\circ}(x, y) = \sum_{i=-1}^1 \sum_{j=-1}^1 G_1^{0^\circ}(i, j) I(x+i, y+j) \quad (9)$$

$$R_1^{90^\circ}(x, y) = \sum_{i=-1}^1 \sum_{j=-1}^1 G_1^{90^\circ}(i, j) I(x+i, y+j) \quad (10)$$

得到滤波结果,在线状目标的区域会有较大输出,而其他区域输出较小,通过阈值二值化得到一个中间结果。

2.3 形态学修剪

寻找二值图像的细化(也称作骨架化)结构,是图像处理的一个基本问题。在本文研究的图像中,因为图像的分辨率较低,所以图像中的道路一般是 1—3 个像素的宽度。细化以后便于后面使用判据,删除一些非道路的线段,降低了虚警概率。区域的骨架可以通过 Blum^[18]提出的中轴变换来定义。文中我们用 prairie fire concept 算法^[19]实现细化。

细化后的曲线段,有些曲率较大的或长度较短的曲线,明显不是待选择的道路,可以利用一些判据,将明显不是候选道路的曲线除去。对于一条曲线 $p_i = (x_i, y_i), i = 0, 1, 2, \dots, m$,我们使用的判据有

以下几种:

$$(1) \text{ 如果 } \begin{cases} \sum_i (x_i - x_{i-1}) < Thresh_1 \\ \sum_i (y_i - y_{i-1}) < Thresh_2 \end{cases}, \text{ 这个表}$$

示曲线趋近于闭合,因此除去。

(2) 如果 $N(p_i) < Thresh_3, N(p_i)$ 表示曲线中像素的个数,这个判据表示曲线的长度要小于一定的阈值。因此除去。

另外,细化后通常会产生带毛刺的图像。为了消除毛刺,因此可以采用一种称为修剪的算法^[20]。因为修剪前的图像就是单像素的宽度,所以修剪后形成了一些孤立的点,可以用判据(例如斜率变化过大)删除一些枝杈的点,并用曲线拟合将这些孤立的点连接起来,曲线拟合采用抛物线法。

3 实验结果

我们已经用 VC++ 实现了本文提出的算法,实验所用微机的 CPU 为 P III 933,内存为 256M。实验数据分别选用了台湾台南地区、高雄地区和屏东地区的 Landsat 7 全色波段图像,地面分辨率为 $15m \times 15m$ 。图 2 是与经典边缘提取方法的比较,原始图像尺寸为 400×500 。

比较图 2 中(b)和(c)可以看出,用经典的 sobel 边缘算子提取边界的方法对于提取线状地物并不理想,感兴趣的河流在处理结果中十分的不连续,而且周围我们不感兴趣的区域的各种地形的边界也十分明显地提取出来了,有的地方的视觉效果甚至比河流还要好,所以,这种边界锐化滤波器不适合进行线状地物的提取,而本文设计的 steerable 滤波器方法对线状地物的输出响应明显。

图 3 是用本文方法处理的中间结果。(a)方向统计结果,图中不同的灰度表示不同方向,黑色表示梯度太小的点,它的方向没有意义,不进行方向滤波;(b)方向滤波结果;(c)细化结果;(d)最终识别结果。

4 结论与讨论

本文提出的算法充分利用了道路在 TM 图像中的特点,识别速度快、识别准确率高,因为考虑了道路的一致性和方向性,使得识别的结果更完整。另外我们的算法需要人工干预的地方少,通常情况下不需要调整参数。不过该算法是针对较低分辨率图像空旷地形上的道路来设计的,如果是城市道路网络,因为道路周围的地形比较复杂,那么就需要重新

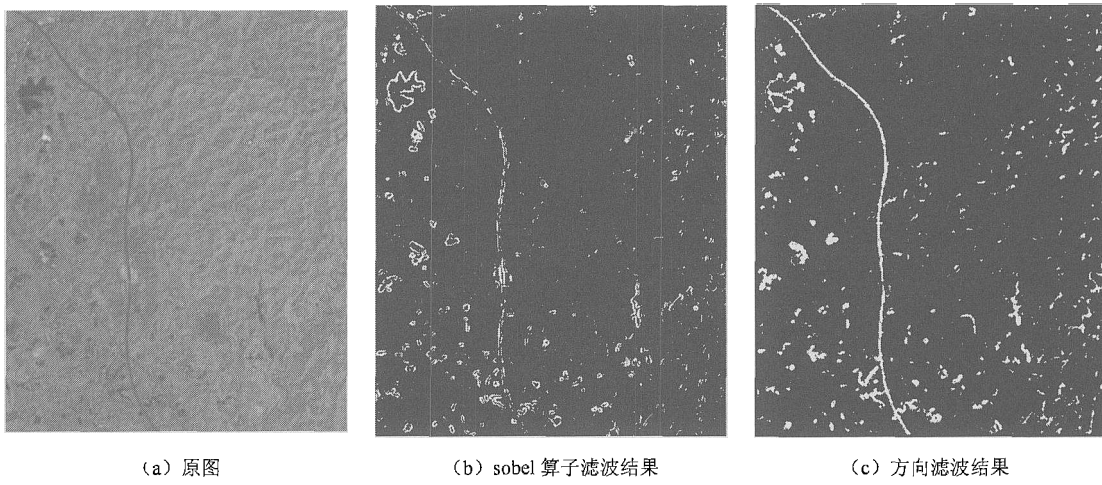


图 2 sobel 算子和 steerable 滤波器方法的比较
Fig. 2 Comparison of results by sobel operator and steerable filter

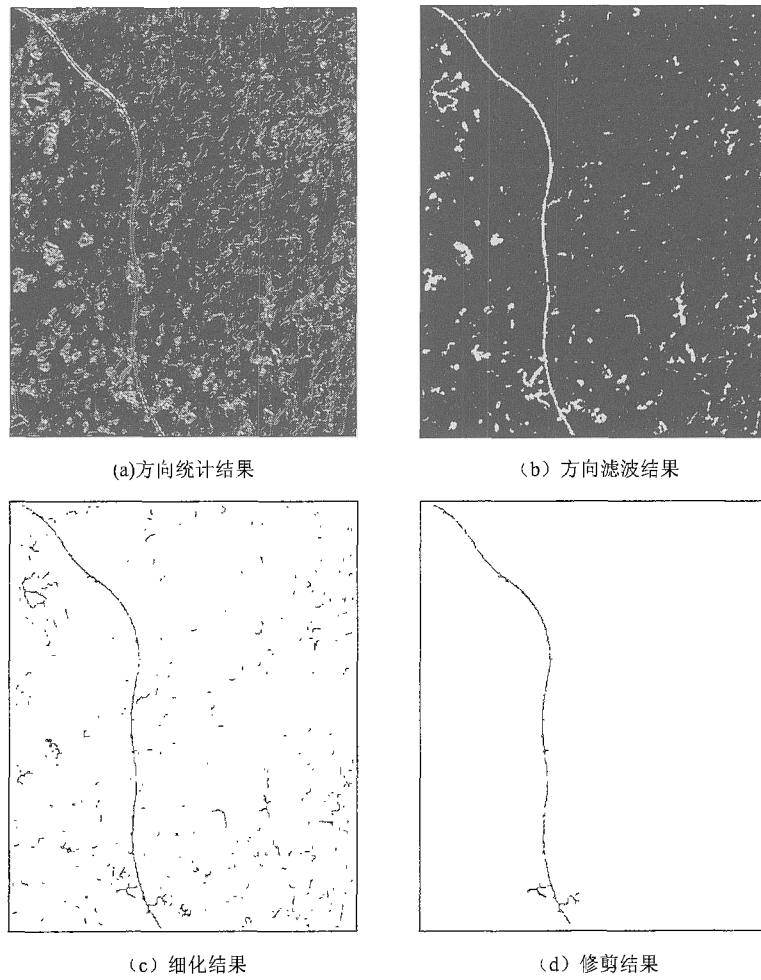


图 3 实验结果
Fig. 3 Results of experiments

设计算法了,因此我们将继续完善道路识别的方法。

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]. *Comput. Graph. Image Processing*, 1981, **15**(3):201—223.
- [2] Merlet N, Zerubia J. New Prospects in Line Detection by Dynamic Programming[J]. *IEEE Trans. Pattern Anal Machine Intell.*, 1996, **18**:426—431.
- [3] Rianto Y. Road Network Detection from SPOT Satellite Image Using Hough Transform and Optimal Search[A]. *Circuits and Systems, 2002. APCCAS '02[C]2002 Asia-Pacific Conference on*, Oct. 2002, Volume: 2.
- [4] Wood J W. Line finding Algorithms for SAR[A] in Royal Signals and Radar Establishment, 1985, Memo. 3841.
- [5] Quegan S, Hendry A, Skingley J. Analysis of Synthetic Aperture Radar Images over Land[C], *Mathematics in Remote Sensing*. Danbury, 1986, 365—379.
- [6] Skingley J, Rye A J. The Hough Transform Applied to | SAR | Images for Thin Line Detection [J]. *Pattern Recognit. Lett.*, 1987, **6**: 61—67.
- [7] Zhou Y T, Venkateswar V, Chellappa R. Edge Detection and Linear Feature Extraction Using a 2—D Random Field Model [J]. *IEEE Trans on PAMI*, 1989, **11**:84—95.
- [8] Tupin F, Maitre H, Mangin J F, *et al.* Detection of Linear Features in SAR Images: Application to Road Network Extraction [J]. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 1998, **36**(2): 434—453.
- [9] Nicolin B, Gabler R. A knowledge Based System for the Analysis of Aerial Images[J]. *IEEE Trans on Geoscience and Remote Sensing*, 1987, **25**:317—329.
- [10] Bajcsy R, Tavakoli M. Computer Recognition of Roads from Satellite Pictures[J]. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 1976, Vol. SMC-6, 623—637.
- [11] Geman D, Jedynak B. An Active Testing Model for Tracking Roads in Satellite Images[J]. *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1996, **18**(1):1—14.
- [12] Fischler M A. The Perception of Linear Structure: A Generic Linker[A] *Image Understanding Workshop*, San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers[C]. 1994, 1, 565—1, 579.
- [13] Fischler M A, Wolf H C. Linear Delineation[C]. *Computer Vision and Pattern Recognition*, Los Alamitos, Calif: IEEE CS Press, 1983, 351—356.
- [14] Wang Fangju, Newkirk R. A Knowledge Based System for Highway Network Extraction[J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1988, **26**(5):525—531.
- [15] Barzohar M, Vooper D B. Automatic Finding of Main Roads in Aerial Images by Using Geometric Stochastic Models and Estimation[J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1996, **18**(7):707—720.
- [16] William T. Freeman, Edward H. Adelson. The Design and Use of Steerable Filters[J]. *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1991, **13**(9):891—906.
- [17] Zhang YuJing. *Image Segmentation[M]*. Science Press, Beijing, 2001. [章毓晋. 图象分割, 科学出版社, 北京, 2001.]
- [18] Blum H. A Transformation for Extracting New Descriptors of Shape[A]. In *Models for the Perception of Speech and Visual Form*, Wathen-Dunn, MIT Press, Cambridge, Mass, 1967.
- [19] Gonzalez R C. *Digital Image Processing*, Publishing House of Electronics Industry, 2002.
- [20] Cui Yi. *Morphological Methodology and Application [M]*. Science Press, Beijing, 2000. [崔屹. 数字形态学及其应用[M]. 科学出版社, 北京, 2000.]

Researches on Road Recognition in Landsat TM Images

ZHANG Rong, WANG Yong, YANG Rong

(Department of Electronic Engineering and Information Science, University of Science & Technology of China, Hefei 230027, China)

Abstract: In this paper, a new technique to the problem of road recognition in TM images is presented. The algorithm takes advantage of the characteristics of TM images. It uses steerable filters to collect candidate road objects in the images, then the chain code is used to represent these candidates and computer their parameters, and in the last step we recognize those true roads according to some knowledge and make the result more rational by post-processing. The result is satisfying considering the low resolution of the TM images. Results on the TM images of Taiwan area are given to demonstrate the efficiency of our method.

Key words: TM images; steerable filter; road recognition