

彩色城市栅格地图道路网络自动获取方法

海涛^{1,2}, 丛爽¹, 鲍远律¹

(1. 中国科学技术大学自动化系, 230027, 合肥; 2. 安徽工程大学电气工程学院, 241000, 安徽芜湖)

摘要: 为适应栅格地图向矢量地图转化的需求, 提出一种从彩色城市栅格地图自动获取道路网络的方法——道路获取对象特征法. 由于城市栅格交通地图由道路、区域及噪声 3 类像素构成, 所以新方法包括 3 个关键步骤: 首先利用道路和区域的特征进行图像规范化处理, 即所有道路用一种颜色表示, 所有区域用另一种颜色表示, 图像中其他颜色的像素视为噪声; 其次建立 4 种噪声分类方法来消除规范化图像中的噪声; 最后结合规范化图像和道路的连通性, 实施道路连接以获取完整的道路网络. 与其他方法相比, 对象特征法对地图图像的颜色不敏感, 可从多类地图图像中自动获取道路网络, 并且耗时较少. 实验结果表明: 对象特征法可完整地提取出地图图像中的道路网络, 从整幅合肥市地图图像中提取完整的道路网络仅需 32.593 s.

关键词: 栅格地图; 矢量地图; 道路获取; 图像规范化; 噪声分类

中图分类号: TP391.41 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2011)12-0016-06

Automatic Acquiring of Road Network from Color Urban Raster Maps

HAI Tao^{1,2}, CONG Shuang¹, BAO Yuanlü¹

(1. Department of Automation, University of Science and Technology of China, Hefei 230027, China;

2. School of Electrical Engineering, Anhui Polytechnic University, Anhui, Wuhu 241000, China)

Abstract: A novel method for road network automatic acquisition from color urban raster map image, called objects feature method (OFM) of roads acquisition, is proposed to meet the demand of transforming raster maps into vector maps. The proposed method includes three key steps based upon the fact that an urban raster traffic map image is composed of roads, non-road regions and noises. The image is normalized based on the features of the roads and regions, that is, the colors of all roads and regions are replaced respectively with a uniform color. Then the pixels with other colors are regarded as noises, and four noise classification measures are adopted to eliminate the noises in the normalized image. The whole road network is finally constructed by connecting roads from the normalized image and the connectivity of road network. Compared with other methods, OFM is insensitive to colors of geographic objects, and may be applied to some different types of map images. Experiments show that OFM can extract the whole road network from some map images in less time. For example, OFM uses only 32.593 s in extracting the whole road network from the Hefei city color map image.

Keywords: raster map; vector map; roads acquisition; image normalization; noise classification

与栅格地图相比, 矢量地图具有数据量小、可随意缩放、不失真、易于全局或局部校正以及便于更新

等优点, 在 GIS 数据的分析和变换、空间数据拓扑分析以及空间数据与属性数据的联合分析等方面有

重要应用^[1].

从栅格地图向矢量地图转化,目前常用的道路网络的识别与提取过程还是采用数字化仪或借助软件(如 Arcinfo、Mapinfo、MapGIS 等)进行半自动人工矢量化,其工作量相当巨大^[2],因此栅格地图道路提取过程由手工操作转变为计算机自动操作具有重要意义.

近年来,针对这一课题的研究已经取得了很大的进展,研究者们已经提出了多种彩色城市栅格地图道路提取方法^[3-11],其中不少方法也卓有成效. Ding^[3]根据地图中不同类型的对象的颜色特征分别选取相应的聚类中心分别进行聚类处理,将原地图分成多层. 该方法的道路提取效果直接取决于分层处理的效果,但分层处理的前提是人为给定合适的参数. 在正确给定所有道路和区域颜色的基础上,文献^[4-5]能获得很好的道路识别效果,但若条件不足则这些算法就可能完全失效. Chiang 等人^[6-7]开发了一个道路网络矢量化软件 Strabo^[6],对于复杂图源,该系统使用用户标签函数^[7]实现道路网络的矢量化,通过人机交互的方式获取道路和区域的颜色,因此 Strabo 是一个半自动化的道路网络矢量化软件. Dezsö 等人^[8]通过给定对象的颜色、类型及一些属性,获得了栅格至矢量转换效果. 由此可见,Dezsö 等人是将各类对象的颜色、类型及其属性作为道路网络矢量的先验知识. 王娜等人^[9]提出在预处理过程中保留与道路颜色相近的像素,利用对象的圆形度及其颜色特征来提取彩色地图中的道路,其中各种道路的颜色必须事先人为地获取. 詹曦^[10]提出了一种基于颜色聚类分析的分离地图要素的算法,先将各种地图要素按颜色进行归类,再有效消除噪声并应用数学形态学方法进行优化处理,取得了良好的道路提取效果. 显然,该方法必须事先获取各种地理要素的颜色. Shi 等人^[11]另辟蹊径,提出基于图像处理技术的路网栅格数字地图自动矢量化方法,其中的路网栅格数字地图由大量的 GPS (Global Positioning System) 轨迹自动生成,但是要想获取某城市或区域的完整道路网路,就必需获得所有道路的 GPS 轨迹数据. 因此,该方法需要消耗大量的人力和物力,成本相对较高,并且效率也较低.

除文献^[11]外,上述所有道路获取方法都存在一个共同的问题:针对待识别的地图图像,必须事先人为给定某些涉及其类彩色地图图像中道路与区域颜色特征的某些参数,否则很难得到预期的效果,甚

至导致识别过程完全发散. 因此,在分析地图图像中各类对象特征的基础上,本文提出一种自动识别与消除区域背景的彩色城市栅格地图道路自动获取方法,完全不需要事先人为给定彩色城市栅格地图图像中道路与区域颜色特征的任何参数,只需要大致知道地图中的道路宽度上界.

1 地图图像的数据结构

设彩色地图图像 M 的高度和宽度分别为 m 和 n ,在 GRB 三基色颜色模型下, M 可以用一个 2 维矩阵表示为

$$M = [p_{ij}]_{m \times n} \quad (1)$$

式中: $0 \leq i < m, 0 \leq j < n$;像素 p_{ij} 具有位置和颜色 2 种属性, p_{ij} 的位置记为 $M(i, j)$, p_{ij} 的颜色表示为一个 3 维实整数向量

$$C(p_{ij}) = [R(p_{ij}), G(p_{ij}), B(p_{ij})] \in \mathbf{R}^3 \quad (2)$$

式中: $0 \leq R(p_{ij}), G(p_{ij}), B(p_{ij}) \leq 255$ 分别代表 p_{ij} 颜色特征的红、绿、蓝三基色的分量值.

M 中高度和宽度分别为 c 和 d 的子图像可以定义为

$$M_{kl} = [p_{ij}]_{c \times d} \quad (3)$$

式中: k, l 表示位置 $M(k, l)$ 的 2 个分量,并满足以下关系

$$k + c \leq m, l + d \leq n \quad (4)$$

2 地图图像的特征

对于彩色城市栅格地图图像来说,它们具有以下几点明显的特征.

(1)不同性质的对象,如道路、区域及噪声(文字、图标等)一般用不同颜色来表示,同种性质的对象颜色基本一致.

(2)水域,如河流、湖泊以及护城河等是用深浅不一的蓝色表示的,并且分布于区域之中. 蓝色像素 p_B 的颜色 $C(p_B)$ 的 3 个分量满足

$$B(p_B) > G(p_B) > R(p_B) \quad (5)$$

这恰是所有道路像素都不具备的颜色特征.

(3)地图中存在多种性质的道路和区域.

(4)存在许多人为的图例标识(如文字、符号、图标),它们对道路的提取形成了很大的干扰,但它们与区域及道路都有明显差别,所以综合归类为噪声.

(5)道路具有一定的宽度并且呈带状,同时还具有连通性. 然而,道路上的噪声破坏了道路的连通性. 道路上的噪声主要是文字,文字的笔画宽度较小



图3 对图2进行噪声分类及消除的结果

点及交叉点,再实施断路连接与剪枝,构建完整的道路网络。

5.1 道路断点及交叉点检测

在断点检测之前,先对图像 M_{R0} 实施二值化及细化^[5]处理,获得的二值图像(道路为白色,区域为黑色)记为 M_{RF} 。在图像 M_{RF} 中,道路的断点和交叉点都可以利用连接数来定义。对于 M_{RF} 中的非边缘道路像素 p_0 ,记其连接数为 $c_{on}(p_0)$,若 $c_{on}(p_0)=0$,则 p_0 为孤立点;若 $c_{on}(p_0)=1$,则 p_0 为道路断点或道路的端点(起点或终点);若 $c_{on}(p_0)>1$,则 p_0 为道路交叉点。

根据以上定义,首先定义2个平面位置集合 S 和 T 用来存放道路断点和道路交叉点,再逐像素扫描图像 M_{RF} 的非边缘像素 p_{ij} ($1 \leq i < m-1; 1 \leq j < n-1$)。若 $c_{on}(p_{ij})=0$,则置 $p_{ij}=p_a$;若 $c_{on}(p_{ij})=1$,则将位置坐标 (i,j) 存放至断点集合 S ;若 $c_{on}(p_{ij})>1$,则将位置坐标 (i,j) 存放至集合 T 。

5.2 断路连接与剪枝

根据道路的连通性和道路宽度的上界 r ,对规范化图像 M_N 与二值图像 M_{RF} 实施断路连接与剪枝。每一步断路连接或剪枝过程包括 S 中像素的连通性都限定在下文定义的正方形 $R_{ect}(s_a, s_b)$ 内部;另外,在图像 M_N 中判断两像素是否连通时,噪声像素视为道路像素。

记 $(i,j) \in \mathbf{R}^2$ 和 $(x,y) \in \mathbf{R}^2$ 之间的距离为 $\|(i,j)-(x,y)\| = \max(|x-i|, |y-j|)$ 。对 $s_a \in S$,取 $s_b = \min_{s_i \in S, s_i \neq s_a} (\|s_a - s_i\|)$,并以 $\left\lceil \frac{s_a + s_b}{2} \right\rceil$ 为中心、以 $(\|s_a - s_i\| + 1)$ 为边长作正方形 $R_{ect}(s_a, s_b)$ 。如果 p_{s_a} 和 p_{s_b} 在图像 M_N 中是连通的,但在图像 M_{FR} 中是不连通的,则在 M_{FR} 中用白色直线连接 p_{s_a} 和 p_{s_b} ,并从 S 中删除 s_a 和 s_b 。

对集合 S 中所有元素作上述处理,如果 $S=\emptyset$,则道路连接完成;否则,按以下方法处理断点集合 S ,直至 $S=\emptyset$ 。

方法1:对 $\forall s \in S$,记 $s_c = \min_{s_i \in T} (\|s - s_i\|)$,如果在 M_{FR} 中 p_s 和 p_{s_c} 是连通的,且 $\|s - s_c\| < r/2$ ($r=25$ 是道路宽度的上界),则删除该连通通路但保留交叉点 s_c (即在图像 M_{FR} 中将该连通通路除端点 s_c 外的所有像素置为黑色,称为剪枝),并从 S 中删除 s ;否则, s 为道路的端点,直接从 S 中删除 s 。

利用方法1对图像 M_{FR} 进行道路网络构建并对图像进行反色处理,获得图像 M_R ,如图4所示。



图4 道路网络构建结果

由图4可以看出,这种断路连接的效果比较理想。这是由于城市地图中道路欠识别现象较少,且道路断点一般成对出现且断点相距较近,因此该断路连接方法简单易行。

6 实验结果与分析

对比图1和图4可以看出,本文提出的对象特征法能从彩色城市栅格地图中自动提取出完整的道路网络(即道路网络获取的准确率为100%),说明该方法实用有效。在不改变任何参数的情况下,应用本文方法对文献[12]中的所有城市地图图像进行处理,同样能够获得很好的道路获取结果。

为了测试本文方法的耗时情况,在采用 Visual C++6.0^[13]的实现中增加了耗时获取代码。测试计算机的CPU主频为2.66 GHz,内存为512 MB,对于图1所示的图像($491 \times 360 \times 24$ bit),本文方法耗时为2.785 s;对于整幅的彩色合肥市交通地图图像($2017 \times 1367 \times 24$ bit),本文方法耗时为32.593 s。

在彩色城市栅格地图图像颜色发生变化的情况下,对象特征法不需要修改任何参数就能获得同样的道路网络获取效果,说明本文方法对待处理地图

图像中地理对象的颜色不敏感,不需要地图道路区域及噪声不同色彩的先验知识,这是对象特征法对现有文献中道路提取算法的一个重要改进,这种改进可以使本文方法应用更加广泛.只要地图图像满足上文描述的特征,对象特征法就能自动提取出其中的道路网络.但是,现有道路提取方法对地图图像的颜色都较为敏感,所有涉及源图像的某些颜色及其参数阈值必须事先人为指定,因此它们只能应用于同一类地图图像.这充分说明了对象特征法的优越性.

7 结 论

将栅格地图道路的提取过程由手工操作转变为计算机自动操作是一个具有挑战意义的课题.本文提出的彩色城市栅格地图道路自动获取的对象特征法具有参数少、自动化程度高、适用范围广等优点.然而,若地图中存在 2 条非常接近(2 条道路间的区域宽度不超过 2 像素)的道路,则该方法可能会产生误识别,这是由于对象特征法的线性噪声分类准则所致.对象特征法的改进以及更有效的道路获取方法将是我们下一步研究的重点.

参考文献:

- [1] 张玉芳,熊忠阳. 彩色栅格地图矢量化方法研究[J]. 计算机应用研究,2008, 25(10):3085-3087.
ZHANG Yufang, XIONG Zhongyang. Study of vector method from pixel map[J]. Application Research of Computers, 2008, 25(10):3085-3087.
- [2] 钱静,陈洋,王润生. 彩色扫描地形图中等高线提取方法的研究[J]. 中国图象图形学报, 2006,11(10):1443-1450.
QIAN Jing, CHEN Yang, WANG Runsheng. A study of contour lines extraction from colors scanned topographic maps [J]. Journal of Image and Graphics, 2006, 11(10):1443-1450.
- [3] DING Bin. A system for automatic extraction of road network from maps [C]//Proceedings of IEEE International Joint Symposium on Intelligence and Systems. Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Society, 1998:359-366.
- [4] 季方,鲍远律. 基于外延特征的栅格地图噪声去除算法[J]. 中国图象图形学报, 2004, 9(9):1062-1068.
JI Fang, BAO Yuanlu. A method erasing noise on raster map based on extension character[J]. Journal of Image and Graphics, 2004,9(9): 1062-1068.
- [5] 张中,鲍远律,屈静. 彩色公路地图的道路自动提取[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2006, 18(1):21-26.
ZHANG Zhong, BAO Yuanlu, QU Jing. Automatic road extraction from color map [J]. Journal of Computer Aided Design and Computer Graphics, 2006, 18(1):21-26.
- [6] CHIANG Yaoyi, KNOBLOCK C A. Strabo: a system for extracting road vector data from raster maps [C]//Proceedings of 2010 International Conference on Advances in Geographic Information Systems. New York, USA: ACM Press,2010:544-545.
- [7] CHIANG Yaoyi, KNOBLOCK C A. A method for automatically extracting road layers from raster maps[C] // Proceedings of 2009 International Conference on Document Analysis and Recognition. Los Alamitos, CA,USA: IEEE Computer Society, 2009:838-842.
- [8] DEZSÖ B, ELEK I, MÁRIÁS Z. Image processing methods in raster-vector conversion of topographic maps [C]//Proceedings of International Conference on Artificial Intelligence and Pattern Recognition. Tallahassee, FL, USA: ISRST Press, 2009: 83-92.
- [9] 王娜,杜世培. 彩色地图中道路的识别与提取[J]. 计算机工程与设计, 2007,28(11):2642-2645.
WANG Na, DU Shipai. Recognizing and extracting of roads in colorful map[J]. Computer Engineering and Design, 2007, 28(11):2642-2645.
- [10] 詹曦. 彩色城市交通地图的道路识别与提取[J]. 计算机仿真, 2010, 27(2): 242-246.
ZHAN Xi. Recognizing and extracting of roads in color city traffic map [J]. Computer Simulation, 2010, 27(2): 242-246.
- [11] SHI Wenhuan, SHEN Shuhan, LIU Yuncui. Automatic generation of road network map from massive GPS vehicle trajectories [C]//Proceedings of 12th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems. Piscataway, NJ, USA: IEEE Press, 2009:1-6.
- [12] 地图编辑室. 中国公路交通图册 [M]. 北京:地质出版社,2000.
- [13] 向世明. Visual C++数字图像与图形处理[M]. 北京:电子工业出版社,2002.

(编辑 刘杨 武红江)