

文章编号:1001-9081(2005)03-0577-03

## 彩色扫描地图的交互矢量化

黄志理<sup>1,2</sup>, 樊养余<sup>1,2</sup>, 郝重阳<sup>1,2</sup>

(1. 西北工业大学 电子与信息工程研究所, 陕西 西安 710072;

2. 西安虚拟现实工程技术研究中心, 陕西 西安 710072)

(toddhzi@126.com)

**摘要:**提出了一种基于彩色地图的交互式矢量化方法。该方法综合利用了颜色距离、线宽等特征,采取了模糊选点、跟踪方向自适应调节和跟踪模式自由切换等策略,克服了当前矢量化几种常用方法的不足,实现了彩色扫描地图的快速交互式矢量化。在实际应用中取得了比较满意的效果。

**关键词:**彩色扫描地图;矢量化;交互式

**中图分类号:** TP391.41 **文献标识码:** A

## Interactive vectorization for chromatic scan map

HUANG Zhi-li<sup>1,2</sup>, FAN Yang-yu<sup>1,2</sup>, HAO Chong-yang<sup>1,2</sup>

(1. Institute of Electronic and Information Engineering, Northwestern Polytechnical University, Xi'an Shaanxi 710072, China;

2. Xi'an Technology Research Center of Virtual Reality, Xi'an Shaanxi 710072, China)

**Abstract:** To overcome the shortcomings of current methods in chromatic scan map vectorization, an interactive vectorization method was proposed. It used the color distance and line width as characteristics, and adopted the strategies such as fuzzy point selection, adjustable tracking direction and changeable tracking mode. Experiment results show that it can vectorized the chromatic scan map rapidly and interactively.

**Key words:** chromatic scan map; vectorization; interactive

## 0 引言

扫描地图的矢量化,即如何将栅格数据转化为矢量数据,是地理信息系统(GIS)的核心技术。矢量化最初采取细化处理,国内外学者已经提出了许多细化算法:边界重复细化法<sup>[1]</sup>、距离交换法<sup>[2]</sup>和适当骨架化方法<sup>[3]</sup>等。基于细化方法的最主要的优点是能够保持线段的连续性;最主要的缺点是有很高的时间复杂度,丢失线宽信息,在交叉区域处容易产生变形以及错误的分支。于是,人们又提出了非细化的算法,如基于Freeman码轮廓跟踪的方法<sup>[4]</sup>、基于网格模式<sup>[5]</sup>的方法等。比较而言,非细化矢量化算法较细化跟踪矢量化算法具有相对较高的效率<sup>[6]</sup>,还可避免由于细化而引入断线等缺点。

Dov Dori 和 Liu Wenyin<sup>[7]</sup>提出了一种稀疏像素法的栅格地图矢量化方法,克服了上述细化算法的不足,能够保存线宽以及精确的中心轴和端点,而且它只访问中心轴点中所选中的子集,而不是整幅图像的像素,所以,矢量化速度较快。但它同样忽视了等高线的颜色信息,仍然采用传统的简单二值化方法<sup>[8]</sup>,不适于实际的彩色地图矢量化;采用的搜索方向一致准则只适用于相对平滑的直线提取,而且后期必须做断线连接,因此在某些交叉区域的搜索效果还不尽如人意;全自动的矢量化模式同样制约了用户的交互选择,当依算法自动搜索的结果不满意时也无法更改。

针对以上不足,本文改进了基于稀疏像素的矢量化方法,加入了等高线颜色特征的限制以适应于彩色扫描地图的矢量化,拓展了适用范围;提出了搜索方向的准一致准则,即候选方向试探的方法,避免了一条等高线被分成许多小段而需要

最后进行断线连接的问题,可以顺利地通过一些 Dov Dori 和 Liu Wenyin 方法不能继续搜索的区域;提供了基于算法自动搜索和基于手工选点的两种矢量化方式的自由切换,允许用户对矢量化数据进行添加、删除等后期处理。实验证明,对于彩色扫描图像,本文的算法取得了良好的矢量化效果。

## 1 特征参数获取

在系统对打开的彩色扫描图像进行矢量化时,首先用户选择起始点,系统初始化。

### 1.1 线宽特征的定义

采用水平、垂直扫描线中点迭代法<sup>[7]</sup>确定线宽  $Width_{min}$ 。从用户点选的起始点做水平线扫描至不满足颜色一致的两个端点形成水平游码,以此水平线段中点做垂直线扫描,形成垂直游码,并以此垂直线段中点做水平扫描,这样不断迭代,直到前后两次形成的中点距离不超过 1 个像素。则此时水平游码和垂直游码的最小值为等高线线宽  $Width_{min}$ 。

### 1.2 颜色特征的定义

根据用户点选的起始点像素,在  $5 \times 5$  的范围内搜寻颜色相近的像素点,并获取这些点 RGB 分量的均值  $\mu_r$ ,  $\mu_g$ ,  $\mu_b$  作为起始点的颜色特征。

$$\begin{cases} \mu_r = \sum_{i=1}^N I_r^i / N \\ \mu_g = \sum_{i=1}^N I_g^i / N \\ \mu_b = \sum_{i=1}^N I_b^i / N \end{cases}$$

收稿日期:2004-08-16;修订日期:2004-11-02

作者简介:黄志理(1980-),男,河南信阳人,硕士研究生,主要研究方向:图像及视频处理、机器视觉、模式识别;樊养余(1960-),男,陕西蓝田人,教授,主要研究方向:图像处理、目标识别;郝重阳(1940-),男,河北保定人,教授,博士生导师,主要研究方向:图像图形工程、模式识别。

当前点的颜色距离定义:

$$d = \sqrt{(\mu_r - I_r)^2 + (\mu_g - I_g)^2 + (\mu_b - I_b)^2}$$

其中,  $I_r, I_g, I_b$  为当前点的 RGB 分量。

### 1.3 搜索方向的确定

如图 1 所示, 用户点选的第二点  $(x_1, y_1)$  和第一点  $(x_0, y_0)$  组成的射线与水平向右逆时针形成的夹角为  $\alpha$ , 由  $\alpha$  的值确定初始搜索方向:

$$\begin{cases} -45^\circ < \alpha \leq 45^\circ, & \text{水平向右搜索} \\ 45^\circ < \alpha \leq 135^\circ, & \text{竖直向上搜索} \\ 135^\circ < \alpha \leq 225^\circ, & \text{水平向左搜索} \\ 225^\circ < \alpha \leq 315^\circ, & \text{竖直向下搜索} \end{cases}$$

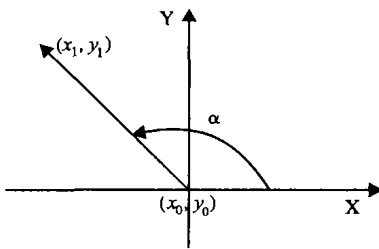


图1 初始搜索方向的确定

### 1.4 阈值确定

由于需要矢量化的扫描彩色地图的颜色、等高线粗细、平化程度等不一样, 所以阈值参数不能唯一确定。在这里, 颜色距离偏差阈值  $\tau_{color}$ 、线宽偏差阈值  $\tau_{width}$ 、搜索最大步长  $length$  由用户手工设定。

## 2 自动跟踪

系统特征参数初始化后, 开始根据算法自动跟踪。

### 2.1 跟踪原则

只要下列五个准则均被满足, 则继续进行跟踪, 并记录中心轴点。

- 1) 颜色一致: 当前像素的颜色应与当前等高线颜色一致, 即颜色距离  $d < \tau_{color}$ ;
- 2) 宽度一致: 在跟踪过程中, 当前宽度  $width_{cur}$  应和线宽  $width_{min}$  一致, 即  $|width_{cur} - width_{min}| < \tau_{width}$ ;
- 3) 单独占有: 一个中心轴点<sup>[6]</sup> (当前点处线宽的中点) 只能被一个跟踪矢量占有;
- 4) 搜索方向准一致: 在一次跟踪过程中, 当前搜索方向应与搜索上一点的方向相同; 但保持特定情况下的候选方向试探和搜索方向更新。
- 5) 正跟踪步长: 跟踪步长要大于 0。

### 2.2 矫正处理

#### 2.2.1 沿当前搜索方向矫正

如果上述前四个条件中一个或多个被违背了, 则开始进行连接处的矫正处理, 步骤如下:

- 1) 返回到最末一个中心轴点;
- 2) 调整跟踪步长为当前步长的一半;
- 3) 测试新的中心轴点是否满足线宽、颜色距离等条件。

如果满足, 则记录该点, 恢复原始跟踪步长, 继续跟踪 (图 2 中的 (c) (d) (f)); 如果不满足, 则回到 1) 继续循环 (图 2 中的 (a) (b) (e) (g) (h))。当跟踪步长变为 0, Dov Dori 和 Liu Wenyin 的方法是让自动搜索停止 (图 2 中的 (i))。

图 2(a) ~ (d) 交叉处说明: (a) 当前位置违反了线宽一致准则; (b) 返回上一中心轴点, 跟踪步长减半, 仍旧违反线宽一致准则; (c) 步长再减半, 此时满足线宽一致准则; (d) 当前搜索顺利通过交叉点, 恢复原始跟踪步长, 依搜索方向一致准则继续搜索。

图 2(e) ~ (i) 拐角处说明: (e) 当前位置违反了线宽一致准则; (f) 返回上一中心轴点, 跟踪步长减半, 此时满足线宽一致准则, 记录该中心轴点。但以该点为起点, 后继的搜索又再次违犯线宽一致准则; (g) ~ (h) 返回上一中心轴点, 跟踪步长减半, 仍旧违反线宽一致准则; (i) 直至跟踪步长减为 0, 终止搜索。

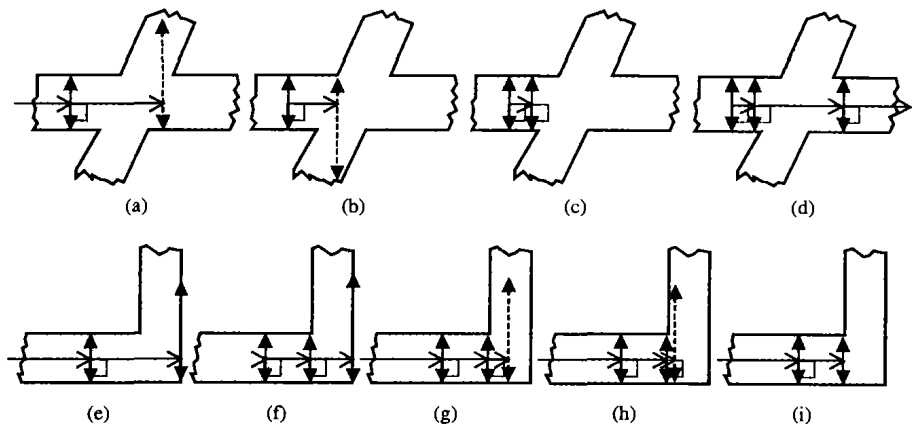


图2 Dov Dori 和 Liu Wenyin 方法<sup>[7]</sup>的跟踪效果图

在这里, 我们提出了候选方向的概念, 当搜索步长变成 0 时, 不是简单地让跟踪停止, 而是比较当前位置线宽  $Width_{cur}$  和等高线线宽  $Width_{min}$  以启动候选方向试探。

#### 2.2.2 候选方向试探

- 1) 如果  $Width_{cur} - Width_{min} < \tau_{width}$ , 则当前点处于等高线的末端, 或者是因为工程图本身的模糊而造成的断线处, 应停止搜索, 等待用户交互;
- 2) 如果  $Width_{cur} - Width_{min} > \tau_{width}$ , 则当前点处于等高线交叉点或大的拐角点处, 应采取候选方向试探。

候选方向的选取: 取当前点之前的  $N$  个记录点的搜索趋势的次方向, 即与当前搜索趋势的夹角最小的方向, 为候选方向。如图 3 所示, 在当前点之前的搜索趋势为向左上方, 且向左为当前搜索主方向, 则向上的方向和当前搜索趋势夹角最小, 为搜索趋势的次方向, 即候选方向。

以候选方向为试探搜索方向继续循环, 如果找到满足上述跟踪原则的中轴点, 则更新候选方向为当前搜索方向; 如果仍然找不到, 例如当前位置处于直角拐角处时, 则沿当前主选方向作短距离 (1 个像素) 试探, 如果满足颜色一致 (此时不考虑线宽信息), 则记录, 并取其相邻的几个前进方向为候选方向, 重复上述试探; 若发现线宽、颜色距离都满足的中轴点, 则记录, 并恢复步长, 同时更新主选搜索方向, 继续跟踪; 若候选方向皆未找到满足条件的点, 则停止搜索, 等待用户交互选点。

图 4(a) ~ (h) 说明: (a) 初始搜索方向水平向左, 在拐角处不符合线宽 (竖直) 一致准则; (b) 返回上一中心轴点, 跟踪步长减半, 仍旧违反线宽一致准则; (c) 步长再减半, 此时满足线宽一致准则 (在偏差范围内), 此时搜索方向为左上, 其中水平向左为搜索主方向; (d) 沿搜索主方向 (向左) 继续以原始步长搜索, 不满足线宽一致准则; (e) ~ (f) 返回上一中心轴点, 跟踪步长减半, 直至为 0, 仍旧违反线宽一致准则; (g) 沿候选

方向(竖直向上)试探,满足线宽(水平)一致准则,记录该中心轴点;(h)更新主搜索方向为竖直向上,继续搜索。

通过这种搜索方向的准一致性准则,可以在图像中的等

高线有明显拐角、沿当前主选方向已无法继续满足跟踪原则的情况下,自动采取候选方向试探的方法,使跟踪方向作出自适应的调节以重新开始自动搜索,继续矢量化。

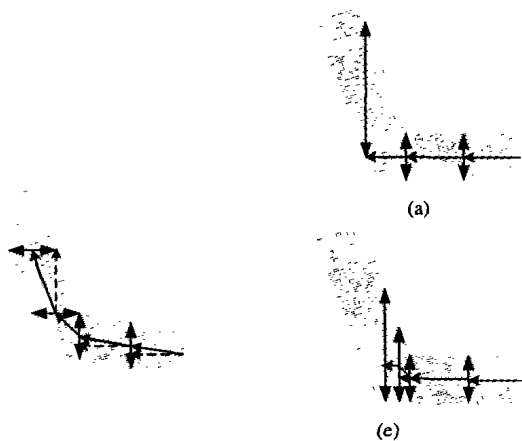


图3 候选方向选取

### 3 仿真结果与结论分析

#### 3.1 仿真结果

不同宽度圆环图像的稀疏像素法矢量化结果及本文的矢量化结果比较如图5~图7。

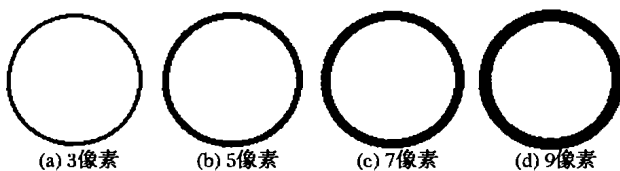


图5 栅格扫描图像

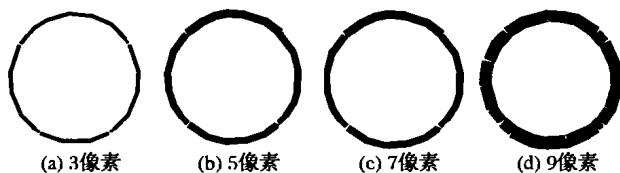


图6 稀疏像素法结果

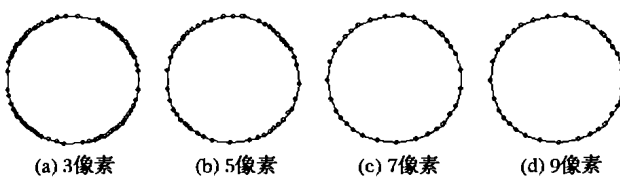


图7 本文提出的算法结果

图8(a)为一幅扫描等高线地图,采用本文算法矢量化的结果及其结果在AutoCAD中的显示如图8(b)和图8(c)所示。

#### 3.2 结论

从上面的仿真结果比较可以看出,稀疏像素法矢量化的结果会产生断线,7宽度的圆环矢量化后产生了4处断线,9宽度的圆环产生的断线更多,而本文提出的改进算法不会产生断线,而且比稀疏像素法提取的中轴点数量有明显减少,更符合矢量化减少存储量的要求;候选方向试探和搜索方向自动调节的加入,使得用户交互一次就可以对整个圆环实现矢量化,大大降低了用户的工作量;随着圆环宽度的增加,本文算法提取出的中轴点数量减少,证明本文算法对线宽较粗的等高线矢量化效果更好,这一特性为进一步提高搜索精度提供了途径;等比例扫描地图矢量化的精度是0.5个像素,把图像放大后再进行矢量化,那么精度将取决于图像的放大系数。

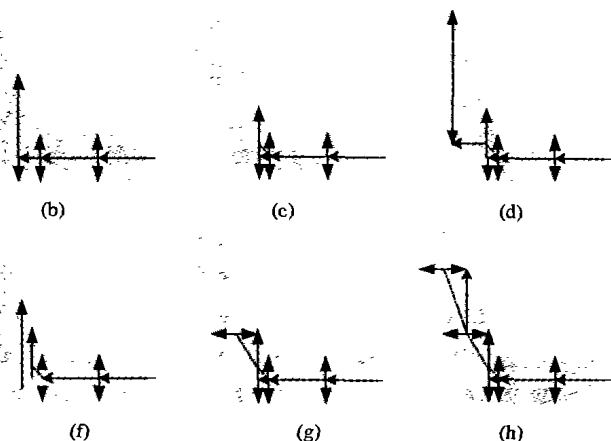
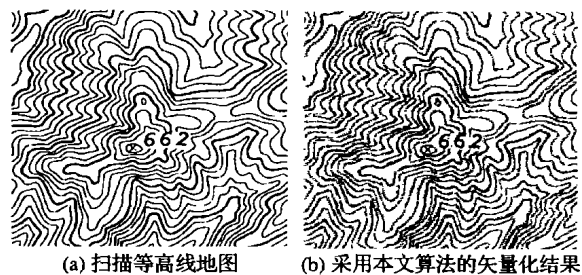


图4 本文算法在拐角处的候选方向试探说明

本文算法采用了4方向上的试探,如果将搜索方向增加为8方向或更多,相应的判断将会更复杂,但搜索效果会更好。



(a) 扫描等高线地图

(b) 采用本文算法的矢量化结果



(c) 矢量化结果在AutoCAD中的显示

图8 等高线地图处理结果

#### 参考文献:

- [1] NACCACHE NJ, SHINGHAL R. An Investigation into the Skeletonization Approach of Hilditch [J]. Pattern Recognition, 1984, 17(3): 279 - 284.
- [2] SMITH RW. Computer Processing of Line Images: A Survey[J]. Pattern Recognition, 1987, 20(1): 7 - 15.
- [3] O'Gorman L. K x K Thinning[J]. Computer Vision, Graphics and Image Processing, 1990, 51(2): 195 - 215.
- [4] 邹修明, 张岳新. 栅格地图矢量化关键技术研究及实现[J]. 计算机工程与应用, 2003, 39(19): 102 - 103.
- [5] LIN X, SHIMOTSUJI S, MINOH M, et al. Efficient Diagram Understanding with Characteristic Pattern Detection[J]. Computer Vision, Graphics and Image Processing, 1985, 30(1): 84 - 106.
- [6] 田玉敏, 刘国景. 光栅图形矢量化方法分析与评价[J]. 计算机应用研究, 2002, 19(3): 6 - 8.
- [7] DORI D, LIU WY. Sparse Pixel Vectorization: An Algorithm and Its Performance Evaluation[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1999, 21(3): 202 - 215.
- [8] 龔莹, 袁通路, 徐永高, 等. 地质等值线图矢量化算法的设计与实现[J]. 系统仿真学报, 2003, 15(11): 1565 - 1566.