

文章编号:1001-9081(2010)10-2788-02

## 基于概率论和数学形态学的平行线绘制算法

曹 闻,李润生,朱述龙,彭 煊

(信息工程大学 测绘学院,郑州 450052)

(xdlxy2171li@163.com)

**摘 要:**平行线的绘制在地理信息系统(GIS)开发中经常遇到,传统的绘制算法在折线夹角很小时,容易出现平行线节点在折线相反方向或者在折线很远处情况。针对这两种情况,提出了基于概率论的纠正方法;同时为了美观,还利用数学形态学对纠正结果进行再纠正,将很尖锐的角变得圆滑。实验结果表明该算法对于平行线纠正是有效的。

**关键词:**平行线;数学形态学;地理信息系统

**中图分类号:** TP391.72 **文献标志码:** A

### Parallel line drawing algorithm based on probability theory and mathematical morphology

CAO Wen, LI Run-sheng, ZHU Shu-long, PENG Xuan

(Institute of Surveying and Mapping, Information Engineering University, Zhengzhou Henan 450052, China)

**Abstract:** Parallel lines drawing frequently happens in the Geographic Information System (GIS) development. In the traditional drawing algorithms, nodes of parallel lines are in the opposite direction or far away from the polyline when the angle is very small. To solve these two cases, a correction method based on probability theory was proposed. At the same time, mathematical morphology was adopted to correct the results, which made it aesthetic and made the very sharp angle smooth. The experimental results show that the proposed algorithm is effective.

**Key words:** parallel line; mathematical morphology; Geographic Information System (GIS)

## 0 引言

在地理信息系统(Geographic Information System, GIS)开发过程中,经常会遇到折线平行线的绘制,一般的绘制算法有简单平行线法、临界值法、拟合法和公切圆弧法等<sup>[1]</sup>。简单平行线法的基本原理是利用相邻折线段的平行线或其延长线相交来获取其平行线的节点<sup>[2]</sup>,算法原理如图1所示。

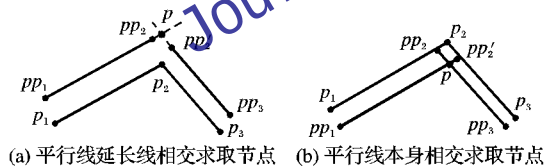


图1 简单平行线法原理

图1中 $p_1, p_2, p_3$ 为构成相邻折线的三个节点, $pp_1, pp_2$ 为线段 $p_1p_2$ 平行线的端点, $pp_3, pp_2'$ 为线段 $p_2p_3$ 平行线的端点, $p$ 为平行线的交点。图1(a)为通过平行线的延长线相交来求取节点 $p$ ,图1(b)为平行线本身相交来求取节点 $p$ 。

临界值法是对简单平行线法的一种改进,其原理是为折线夹角设置一定的阈值,当夹角小于阈值时,通过控制折线与平行线的间距来改善绘制效果<sup>[3]</sup>。拟合法通过对折线平行线进行三次样条插值来解决平行线光滑问题。文献[4]提出了基于公切圆弧的绘制算法,该算法的主要目的是改善平行线的光滑度,其原理如图2所示。

图2中,点 $O$ 为公切圆的圆心,虚线圆弧部分为公切圆弧,这种算法的基础是利用简单平行线法得到折线的平行线,

然后用公切圆对平行线进行相切,得到比较光滑的圆弧。

以上这几种算法各有优点,其基础是必须获取正确的折线平行线,但是它们都没有考虑折线夹角很小时的情况。这些算法的共同之处是利用折线平行线相交的方法求平行线的节点,即先计算两相邻折线段的平行线,然后用两平行线的参数方程求得其公共交点,作为折线平行线上的节点。这种方法虽然简单,计算量也比较少,但是当折线夹角非常小时,容易出现平行线的交点在折线的反方向上,或者交点在距离折线很远处,如图3所示。

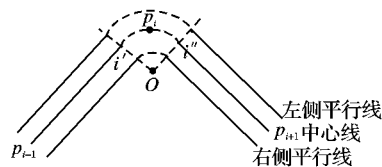


图2 文献[7]中的公切圆弧算法原理

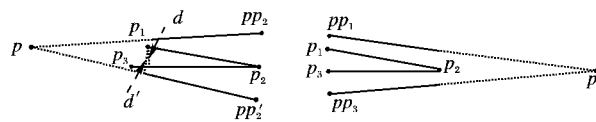


图3 折线夹角很小的两种情况

图3(a)中,由于折线到其平行线的距离 $d'$ 大于折线之间的距离 $d$ ,故平行线的交点出现在折线的相反方向;图3(b)是折线外侧平行线的情况,由于夹角很小,交点距离折线的顶点很远。本文将以上这种情况称之为交点异常,在GIS开发当

收稿日期:2010-03-26;修回日期:2010-05-21。 基金项目:国家863计划项目(2009AA12Z305)。

**作者简介:**曹闻(1979-),男,山东泰安人,讲师,博士,主要研究方向:遥感图像处理、车载导航地理信息系统;李润生(1985-),男,山西平遥人,硕士,主要研究方向:摄影测量与遥感、遥感图像处理;朱述龙(1964-),男,安徽黄山人,教授,博士,主要研究方向:遥感图像处理、车载导航地理信息系统。

中比较常见,例如进行符号绘制、小比例尺道路提取等方面经常会遇到。为了解决上述问题,本文提出基于概率论和数学形态学的平行线绘制算法,其主要目的是解决折线夹角很小时出现的异常情况以及平行线的光滑问题。

## 1 算法原理

本文算法的主要思想是当折线夹角过小出现异常情况时,利用折线距离权值将折线平行线的交点位置进行纠正;然后,利用数学形态学的有关知识将折线尖锐夹角变得圆滑,使得平行线更加美观。具体流程如图4所示。

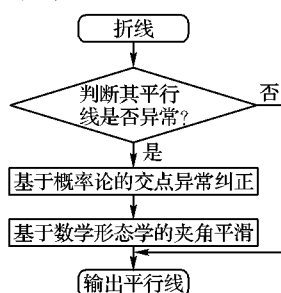


图4 算法流程

## 2 基于概率论的交点异常纠正

基于概率论的纠正方法的主要思想是在折线夹角很小时,将处在距离折线顶点 $p_2$ 很远或者在折线反方向的交点 $p$ 纠正到 $p_2p$ 之间,纠正后的新节点 $p'$ 仍然在线段 $p_2p$ 上,它与点 $p_2$ 的距离为 $R$ 。具体做法如下:首先以 $p_2$ 为圆心、 $R$ 为半径作圆,然后连接 $p_2p$ ,则圆必定和线段 $p_2p$ 相交,把此交点作为原平行线交点 $p$ 的纠正值,记为 $p'$ 。纠正的关键在于确定半径 $R$ 的值。由图3可知,平行线交点到折线顶点的距离 $p_2p$ 的大小与 $p_2p_1$ 以及 $p_2p_3$ 的大小有关, $p_2p_1$ 和 $p_2p_3$ 的距离越大,则相应的 $p_2p$ 距离越短。此外为了保证纠正的效果,这里强行将纠正点 $p'$ 约束到 $p_2p$ 的一半长度之内。

故分别对 $p_2p_1$ 、 $p_2p_3$ 、 $p_2p$ 赋予不同的距离权值 $a$ 、 $b$ 、 $c$ ,并且规定 $c \leq 0.5$ ,将半径 $R$ 的表达式记为:

$$R = a \cdot p_2p_1 + b \cdot p_2p_3 + c \cdot p_2p \quad (1)$$

其中 $a$ 、 $b$ 参数的值可以根据具体要求进行设置,算法的基本原理如图5所示。

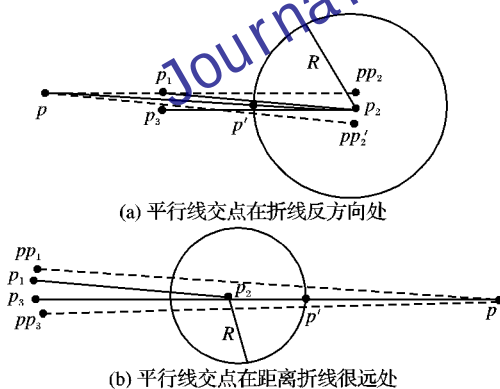


图5 基于概率论的交点异常纠正

利用上述思想可以有效地将异常情况下的交点纠正到合理位置,用户可以按照实际需求来调整其位置,在VC平台下对改进算法实验时,结果如图6所示。

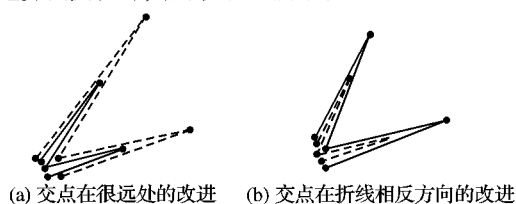


图6 改进算法的实验结果

由图6可知,虽然异常情况得到明显改进,但是其夹角还

是比较尖锐,不够美观。为了改善其显示效果,本文提出基于数学形态学的纠正方法,目的在于将比较尖锐的夹角变得圆滑。

## 3 基于数学形态学的夹角纠正

基本的形态学运算是腐蚀和膨胀,简单的腐蚀是消除物体的所有边界点的一种过程,其结果使剩下的物体沿其周边比原物体小一个像素的面积。如果物体是圆的,它的直径在每次腐蚀后将减少2个像素。若集合 $A$ 被集合 $B$ 腐蚀,记为 $A \ominus B$ ,其定义为:

$$A \ominus B = \{x; B + x \subset A\} \quad (2)$$

膨胀是将与某物体接触的所有背景点合并到该物体中的过程,其结果是使物体的面积增大了相应数量的点。如果物体是圆的,它的直径在每次膨胀后增大2个像素。若集合 $A$ 被集合 $B$ 膨胀,记为 $A \oplus B$ ,其定义为:

$$A \oplus B = [A^c \ominus (-B)]^c \quad (3)$$

其中 $A^c$ 表示 $A$ 的补集。

开运算是数学形态学中最基本也是比较有用的运算,其运算是先腐蚀后膨胀的过程。它具有消除细小物体、在纤细处分物体、平滑较大物体的边界时不显著改变其面积的作用。定义为:

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B \quad (4)$$

$$\text{或 } A \circ B = \bigcup \{B + x; B + x \subset A\} \quad (5)$$

进行开运算后,尖角变得圆滑,如图7所示。

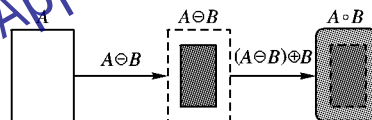


图7 图像进行开运算的结果

由图7可见,对二值图像进行开运算后,图像的尖角可以变得光滑,其面积却不会明显变化。这对于折线平行线绘制而言是比较适用的。由第2章可知,当折线夹角很小时,改进算法绘制的平行线夹角也比较尖锐,尤其是当折线的长度过长时更是如此,为了保证绘制效果的美观<sup>[6]</sup>,本文采用开运算对其改进结果进行处理。

由于数学形态学处理的对象是二值图像,对于在计算机上进行矢量图绘制而言其结果是像素组成的,若是对整个屏幕作开运算势必影响其他图形的输出结果,本文采用对折线的平行线顶点部分进行开运算。具体做法是根据获取的平行线的节点坐标,解析出平行线的直线方程,选择一定区域大小的采样窗口,然后利用此方程在窗口内求取平行线顶点附近的若干点作为采样点,并将此窗口视为二值图像,对这些采样点连接而成的夹角作开运算,这样既减小了运算量,又不影响输出结果。如图8所示。

实验的结果如图9所示。结果表明基于形态学的方法对于改进平行线尖角问题效果明显,使得尖锐的夹角变得更加圆滑,而且增加了视觉感受。

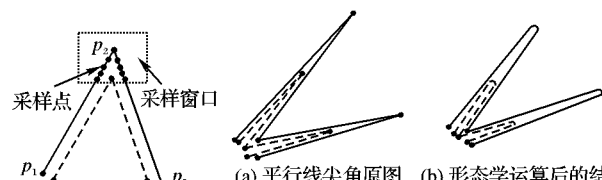


图8 平行线开运算原理

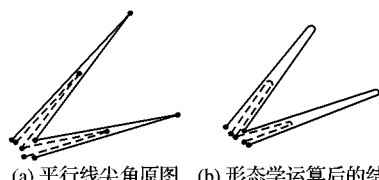


图9 形态学运算后的结果比较

(下转第2833页)

有效块数 对于任意一个图像块  $B$ , 其有效性判断公式如下:

$$Valid_B = \begin{cases} \text{True}, & G_B \geq G_{\text{thd}} \text{ 且 } S_B \geq S_{\text{thd}} \\ \text{False}, & G_B < G_{\text{thd}} \text{ 或 } S_B < S_{\text{thd}} \end{cases} \quad (9)$$

式(9)中  $G_{\text{thd}}$  为方向一致性阈值,  $S_{\text{thd}}$  为灰度离散度阈值,  $BV$  为有效图像块数量。

图像灰度离散度 取有效图像块灰度离散度的算术平均值作为整幅图像的灰度离散度指标  $STD$ 。

$$STD = \frac{1}{BV} \sum_{Valid_B = \text{True}} S_B \quad (10)$$

空域方向一致性 先将所有无效图像块的方向一致性相关度  $G_B$  清零。空域方向一致性质量指标  $K$  按以下公式计算:

$$K = \frac{1}{C_1} \left( \sum_{i=1}^N G_i^2 - \left( \sum_{i=1}^N G_i \cos(\alpha_i) \sum_{i=1}^N G_i^2 \cos(\alpha_i) + \sum_{i=1}^N G_i \sin(\alpha_i) \sum_{i=1}^N G_i^2 \sin(\alpha_i) \right) \cdot \left( \sqrt{\left( \sum_{i=1}^N G_i \cos(\alpha_i) \right)^2 + \left( \sum_{i=1}^N G_i \sin(\alpha_i) \right)^2} \right)^{-1} \right) \quad (11)$$

其中  $C_1$  为归一化因子, 将  $K$  的值归一化到 0 ~ 100 作为图像评分。

指标  $K$  综合了图像有效面积、灰度离散度、方向一致性等信息, 是图像质量最重要的指标。图 2(a) 为一幅满分图像例子, 图(b) 为一幅得分 13 分的图像例子。

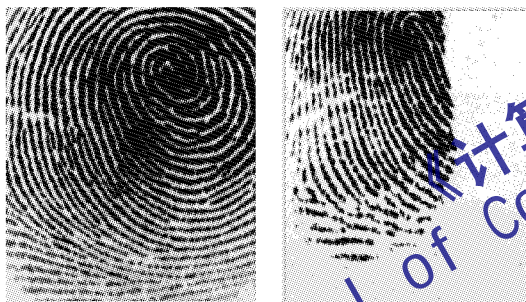


图 2 指纹图像的指标  $K$  得分

在得到上述指纹图像的评估参数后, 最后用于评价指纹图像质量的为评价矢量  $Q = (BV, STD, K)$ 。

### 2.3.2 指纹图像质量信息的运用

在指纹模板中除了记录特征点以外, 还记录指纹图像质量的评价矢量  $Q$ 。评价矢量  $Q$  中的  $BV, STD$  主要用于判定指纹真假, 而  $K$  值主要用于决定特征点匹配得分的阈值  $T$ 。  $K$  值越高,  $T$  越大, 匹配要求越高, 一般  $T$  在 4 ~ 13 选取。

对现场采集的指纹图像同样计算图像质量矢量  $Q$ , 若匹

配成功, 则将最新采集的指纹图像质量矢量  $Q$  及特征点上传给服务器以供指纹模板滚动更新之用。

## 3 改进措施的应用效果与结论

对于网络在线的指纹考勤系统, 为了提高系统实际应用中的适用性, 通过将指纹识别和银企联名信用卡相结合的使用, 增加指纹模板的冗余和对指纹图像质量进行综合评价, 以及对指纹模板进行动态更新, 通过精心调试各阈值和滤波器参数, 明显提高了网络指纹考勤系统的可用性, 达到大范围商业运行水平。该系统推出后经过一年时间的完善, 2005 年由美国 EPAY 公司正式在全美安装 1300 余套联网的在线指纹考勤机, 并开始为两家大型保洁服务公司提供指纹考勤与薪酬管理服务。现在该系统现已可靠运行近五年, 得到了用户的认可。但实际应用中, 仍有极个别人员的指纹极其细浅而多汗, 或由于真菌感染而导致指纹从真皮层损坏基本看不到纹路, 对于这些人员只好采取连带担保指纹或者其他途径进行身份认证。

在指纹图像质量评估技术方面, 还有其他新颖的评估方法, 比如用 Gabor 变换评估指纹质量、基于傅里叶变换频谱分析的方法评估图像质量。另外已经有文献[4]提出根据图像质量采取不同的图像增强算法。这些需要在未来的研究开发中进行探讨和尝试。

### 参考文献:

- [1] JAIN A K, HONG L, BOLLE R. On-line fingerprint verification [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1997, 19(4): 302 - 314.
- [2] 刘莲花, 谭合哲. 指纹图像质量自动评测方法研究[J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(9): 164 - 167.
- [3] 曾祥绪. 基于网络的多功能指纹门禁系统解决方案[C]//首届国际智能与绿色建筑技术研讨会首届国际智能与绿色建筑技术研讨会论文集. 北京: [出版者不详], 2005.
- [4] YUN E-K, CHO S-B. Adaptive fingerprint image enhancement with fingerprint image quality analysis [J]. Image and Vision Computing, 2006, 24(1): 101 - 110.
- [5] BOLLE R, PANKANTI S, YAO YI-SHENG. System and methods for determining the quality of fingerprint images, US5963356 [P]. 1999.
- [6] CHEN YI, DASS S C, JAIN A K. Fingerprint quality indices for predicting authentication performance [C]// AVBPA 2005: Audio- and Video-based Biometric Person Authentication, LNCS 3546. Berlin: Springer-Verlag, 2005: 160 - 170.
- [7] SHEN LINLIN, KOT A C, KOO W M. Quality measures of fingerprint images [C]// AVBPA 2001: Audio- and Video-Based Biometric Person Authentication, LNCS 2091. Berlin: Springer-Verlag, 2001: 266 - 271.

(上接第 2789 页)

## 4 结语

本文利用概率论以及数学形态学的方法对传统的 GIS 设计中有关平行线的绘制算法进行了改进, 避免了在折线夹角很小时平行线绘制出错的情况。实验表明, 该方法对于纠正异常情况下的平行线是很有用的, 对 GIS 开发也很有帮助。此外, 图 9 中平行线的节点到折线顶点的距离还是有点偏大, 对于开运算中结构元素的选择仍需要进一步改进, 这将是下一步研究的重点。

### 参考文献:

- [1] 闫学进. 等距曲线在铁路工程测量中的应用[J]. 铁路勘察, 2004, 30(6): 55 - 56.

- [2] SIIRTOLA H. Direct manipulation of parallel coordinates [C]// Proceedings of the 2000 International Conference on Information Visualization. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2000: 373 - 378.
- [3] HAUSER H, LEDERMANN F, DOLEISCH H. Angular brushing of extended parallel coordinates [C]// Proceedings of the 2002 IEEE Symposium on Information Visualization. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2002: 144 - 148.
- [4] 姬渊, 秦志远, 毛丽. 利用公切圆弧生成光滑等距曲线算法研究[J]. 计算机应用, 2006, 26(11): 2704 - 2706.
- [5] 崔屹. 图像处理与分析—数学形态学方法及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [6] 郭仁忠. 空间分析[M]. 武汉: 武汉测绘科技大学出版社, 2000.