

基于轮廓采样的 Voronoi 骨架算法

A Voronoi Skeleton Algorithm of the Contour Sampling

李小俊 张逸新

(江南大学信息工程学院 无锡214036)

Abstract In this paper, a novel algorithm of voronoi skeleton is presented. Firstly, the 8-neighboring contour of the image is obtained. Then through tracing and sampling the contour at the certain intervals, a point set is gained. In the interior area of image, the voronoi diagram divides these points. At last, the algorithm is adjusted, therefore the short branches of voronoi diagram, which reflect the local media axes, are excluded and the global symmetry is retained.

Keywords Voronoi diagram, Voronoi skeleton, Media axes, Contour sampling

1. 引言

在图像的区域表示方法中,把一个平面区域简化为图是一种重要的结构形状表示法。而中轴骨架是一种有效的表达方法,它去除了冗余信息,保留了图像的拓扑结构和几何信息。在模式识别、医学图像分析中有广泛的应用^[1]。

从 Blum 模拟“烧草(glassfire)”^[2]提出中轴的概念以及 Pfaltz 和 Rosefeld 提出骨架距离变换的定义^[3]以来,有大量的细化和骨架提取的算法^[1,4],但无论是串行算法还是并行算法,其计算量都比较大。近年来出现了一些利用 Voronoi 图来求解中轴骨架的方法^[5,6]。Voronoi 图是计算几何中的一个重要概念^[7],它在求解点集或几何对象与距离有关的问题时起重要作用。Blum 首先提出了关于 Voronoi 图平分线的概念^[2],而在 Voronoi 图的构造算法上主要有增量法、分治法^[8,9]等。这些方法都需要首先将图像拟合成多边形,再通过寻找多边形边界的角平分线或是多边形的内切圆的圆心来获得 Voronoi 图,且对多连通域的情况还需另外处理。在实际的二值图像中,由于图像复杂,其边界拟合、直线求交等计算量大且复杂。

本文提出一种轮廓采样的 Voronoi 骨架的方法,它首先提取八邻域轮廓,通过链码跟踪法来采样轮廓,再通过求解图像内部的 Voronoi 图获得中轴骨架,最后通过优化去除体现局部中轴的 Voronoi 图分支,从而保留体现全局中轴的 Voronoi 骨架。

2. 基于边界离散的 Voronoi 骨架算法

2.1 Voronoi 图的基本规定^[7]

设二维欧氏空间(平面)上的 n 个互不相同的点

构成的点集 $S = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$, 称

$$V(P_i) = \bigcap_{i \neq j} \{P \mid d(P, P_i) < d(P, P_j)\} \quad (i, j = 1, 2, \dots, n)$$
 为点 P_i 的 Voronoi 域,或称 Voronoi 图多边形,其中 $d(P, P_i)$ 为 P 和 P_i 的欧氏距离。

对于 S 中的每个点都有一个 Voronoi 域,则 n 个 Voronoi 域组成的图就是 Voronoi 图。记为 $Vor(S)$ 。

2.2 图像的轮廓采样处理

对于二值图像的轮廓化处理,已有了很多文献^[10,11]予以描述,此处给予如下说明:

①在轮廓点的判定上,这里采用四连通点的轮廓定义^[10],用逻辑表达式来说明轮廓条件如下:

$$\begin{aligned} Q(x, y) &= P(x, y) \text{ AND } \{ \overline{P(x, y-1)} \text{ OR } \overline{P(x, y+1)} \\ &\quad \text{OR } \overline{P(x-1, y)} \text{ OR } \overline{P(x+1, y)} \} \\ &= P(x, y) \text{ AND } \{ \overline{P(x_R)} \text{ OR } \overline{P(x_L)} \text{ OR } \\ &\quad \overline{P(x_U)} \text{ OR } \overline{P(x_D)} \} \end{aligned}$$

其中 $P(x, y)$ 表示该点的像素值, $P(x_R)$ 表示该点右侧的像素值, $P(x_L)$ 表示该点左侧的像素值, $P(x_U)$ 表示该点上侧的像素值, $P(x_D)$ 表示该点下侧的像素值。这样提取出的为八连通的轮廓。

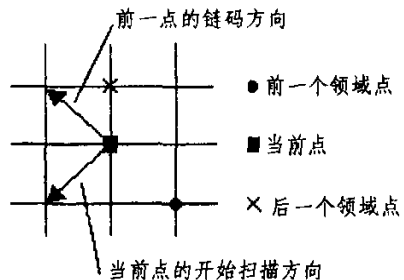


图1 链码扫描的开始扫描方向

②在文[10]的链码跟踪算法中,对于每个当前点,按方向链码的递增顺序依次旋转来扫描当前点,即首先总是扫描右侧的点,然后逆时针方向旋转扫描。这样并没有反映出跟踪的连续性。这里作如下修改:

将前一个领域点的链码方向逆时针旋转90°,将此方向作为当前点的开始扫描方向,以顺时针方向扫描当前点的八邻域,一旦遇到下一个轮廓点即停止。如图1。

③在轮廓跟踪完毕后,获得轮廓链码。按一定的间隔从链码中可获得轮廓采样点的坐标,见表1。我们建立一个轮廓采样点链表的数据结构来记录每条轮廓上的采样点:

```
struct point {
    int x; /* 宽度方向坐标 */
    int y; /* 长度方向坐标 */
} /* 记录采样点的坐标 */

struct samplechain {
    struct point samplepoint; /* 采样点的坐标 */
    int contourindex; /* 轮廓序号 */
    struct samplechain *last; /* 指向前一个采样点的指针 */
    struct samplechain *next; /* 指向后一个采样点的指针 */
} /* 记录采样点的链表 */
```

此处的间隔取图像的比划宽度的1/2(参见第3节的讨论)。

表1 方向链码与坐标值的转换

链码方向值	0	1	2	3	4	5	6	7
X 坐标偏移	1	1	0	-1	-1	-1	0	1
Y 坐标偏移	0	1	1	1	0	-1	-1	-1

④获得图像的比划宽度的算法如下:

分别横向、纵向扫描图像,用一维数组来记录游程长度出现的频率。数组的下标等于前景像素游程的长度,数组值等于该长度出现的次数。出现次数最

多的那个游程长度即为比划宽度。

2.3 图像内部的 Voronoi 图和 Voronoi 骨架

文[12]给出了平面点集的 Voronoi 图算法,这个算法由于要计算图像上每个点到各个母点的距离使得效率不高。此处由于我们只有计算图像内部的 Voronoi 图,这样就大大减少了计算量。

在轮廓化之前,在内存中开辟一块原图像的拷贝区域。在绘制图像内部的 Voronoi 图时,首先判定该点是否在原图像拷贝上呈现前景色。若不是,则不计算它与各母点的距离。

由于平分两个连续的轮廓采样点的 Voronoi 边仅仅反映了图像形状的局部信息,应予以剔除,所以此处对程序稍作修改:若满足距离之差绝对值小于1的条件两个母点在轮廓采样点链表中是相邻的,则不绘制 Voronoi 边。

完整的步骤描述如下:

步骤1 依次扫描图像上的点,对于当前点判断它在原图像拷贝区域是否呈现前景色。若不是,则转入步骤1判断下一个点。

步骤2 计算当前点与轮廓采样点链表中的每个点的距离。记录最短距离 m1 及母点 p1,记录次短距离 m2 及母点 p2。

步骤3 判断两母点 p1、p2 在轮廓采样点链表中是否相邻。若是则转入步骤1判断下一个点。

步骤4 判断 m1 和 m2 之差的绝对值是否小于某个常量阈值。若不是则转入步骤1判断下一个点。

步骤5 用前景色绘制当前点。

算法中与两个母点距离之差绝对值的常量阈值这里取1。

3. 实验与分析

上面给出二个实验结果。对照图5和图7可

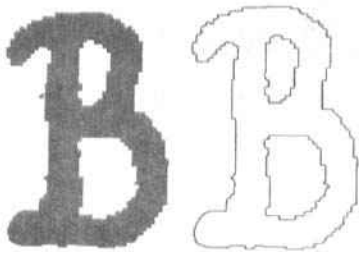


图2 原图像

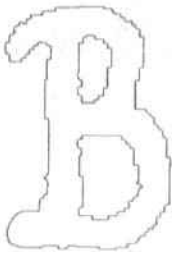


图3 轮廓



图4 轮廓采样点

以看出,等采样间隔等于1/4比划宽度时,它与采样间隔为1/2比划宽度的 Voronoi 图相比,不同的主要是反映局部信息的 Voronoi 分支,而 Voronoi 骨架是近似相同的。但计算量却要大得多。

结论 本文提出了一种基于轮廓采样提取 Voronoi 骨架的算法,它首先对图像进行轮廓采样处理,然后通过去除分支的 Voronoi 图获得 Voronoi 骨架。算法思路清晰,程序实现简单,对于

多连通域无需另外处理,给出了提取骨架的一种新思路。

参考文献

- 1 Lam L, Lee S W, Suen C Y. Thinning mechnologies — A comprehensive survey. IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1992, 14(9): 869~885
- 2 Blum H. A transformation for extracting new description of shape. In: Wathen-Dunn W, ed. Model for the perception of speech and visual. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 1967. 362~380

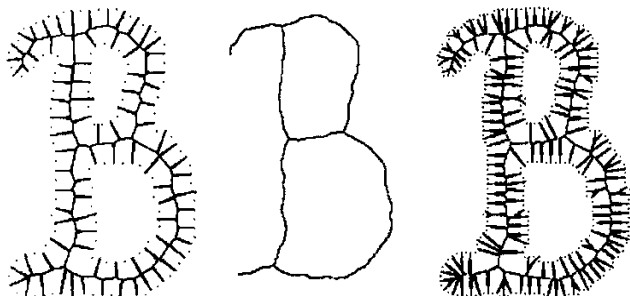


图5 Voronoi 图

图6 Voronoi 骨架

图7 采样间隔为 1/4 比划宽度的 Voronoi 图



图8 原图像

图9 轮廓采样点

图10 Voronoi 图

图11 Voronoi 骨架

- 3 Pfaltz J L, Rosenfeld A. Computer representation of planar regions by their skeletons. Communications of ACM, 1967, 10(2): 119~122
- 4 Lam L, Suen C Y. An evaluation of parallel thinning algorithms for character recognition. IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1995, 17(9): 914~919
- 5 Ogniewicz R L, Kubler O. Hierarchic voronoi skeletons. Pattern Recognition, 1995, 28(3): 343~359
- 6 Mayya N, Rajan V T. An efficient shape representation scheme using Voronoi skeletons. Pattern Recognition Letters, 1995, 16: 147~160
- 7 周培德. 计算几何—算法分析及设计. 清华大学出版社, 2000
- 8 Lee D T. Medial axis transformation of a planar shape. IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1982, 4(4): 306~336
- 9 付庄, 王树国, 王剑英, 等. 基链分治算法与 Voronoi 区的面积计算定理研究. 软件学报, 2001, 12(3): 440~447
- 10 龚时华, 朱国力, 陈士金, 等. 二值轮廓化处理中的几个关键技术的研究. 华中理工大学学报, 2000, 28(2): 48~50
- 11 胡青泥, 欧宗瑛, 刘金义. 二值和多值图像的边界跟踪及逼近. 大连理工大学学报, 1995, 35(3): 357~361
- 12 张有会, 李秀丽, 杨立平, 等. Voronoi 图画法的改进与实现. 计算机学报, 1999, 20(11): 86~87

(上接第206页)

率的显示,而突变较大的区域采用较高分辨率显示。

简化后模型的三角面片数为原模型的79%。

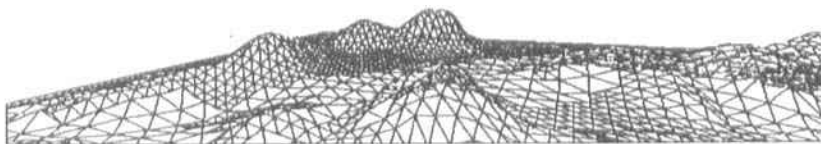


图2 地形多分辨率模型效果图

通过对文中所述模型和算法的分析以及实验结果证明,该多分辨率模型简单实用,简化率高,显示速度快;文中选择顺序结构存储二叉树,减小对内存的占用,提高了节点的搜索效率;所提出的均方差误差控制方法能有效控制面片融合程度,即提高了地形显示速度,又能够有效地保留地形的细节特征。

参考文献

- 1 Hoppe H. Progressive Meshes. SIGGRAPH'96 Proceedings, 1996, 30: 99~108
- 2 吴亚东, 刘玉树. 基于连续细节层次的地形动态生成技术. 北京理工大学学报, 2000, 20(5): 602~606
- 3 Hoppe H. Optimization of mesh locality for transparent vertex caching [a]. Rockwood A. Proceedings of SIGGRAPH'99, Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series [c]. Los Angeles: Addison Wesley Longman, 1999, 269~276
- 4 Lindstrom P, et al. Real-Time continuous level of detail rendering of hight fields. Proceeding Visualization'96, 1996. 109~118
- 5 Gross M H, Gatti R, et al. fast Multi-resolution surface meshing. Proceeding Visualization'95, 1995. 135~142
- 6 齐敏, 郝重阳, 佟明安. 三维地形生成及实时显示技术研究进展. 中国图象图形学报(A), 2000, 5(4): 269~275