

一种 GIS 缓冲区矢量生成算法及实现

陈学工, 张文艺, 张驰伟, 张 厅

(中南大学 信息科学与工程学院, 湖南 长沙 410083)

摘 要:缓冲区分析是地理信息系统重要的空间分析功能之一。缓冲区生成分为点、线、面三种,其中线状目标缓冲区生成是关键和基础,线状目标缓冲区生成分为单个线状目标缓冲区多边形独立生成过程和所有线状目标缓冲区多边形重叠合并两个阶段。在缓冲区圆弧矢量生成算法思想的基础上,提出了一种新的有效的缓冲区半径旋转矢量生成算法。另外,对缓冲区生成过程中出现的特殊情况进行了处理,并应用递归方法管理和存储缓冲区边界的自相交多边形。

关键词:缓冲区;矢量算法;计算机图形学;地理信息系统

中图分类号:TP391.72

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2007)03-0013-03

Buffer Vector Creation Algorithm and Its Implementation in GIS

CHEN Xue-gong, ZHANG Wen-yi, ZHANG Chi-wei, ZHANG Ting

(Department of Information Science and Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: Buffer analysis is one of the several important spatial analysis functions of geographical information system (GIS). Buffer creation can be divided into three types: for points, lines and polygons, the buffer creation for lines is the key and basis. The procedure of the buffer creation for lines is divided into two steps: independently creating the buffer polygons for each lines and merging the buffer polygons created in the previous step. A new kind of effective buffer radius-rotation vector creation algorithm based on buffer vector creation algorithm of circular arc was presented. In addition, specific case was resolved during the procedure of the buffer creation, and recursion method was adopted to manage and store the self-intersected polygons of the buffer's borderline.

Key words: buffer; vector algorithm; computer graphics; GIS

0 引言

缓冲区是指为了识别某地理实体或空间物体对其周围的邻近性或影响度而在其周围建立的一定宽度的带状区^[1]。缓冲区分析是地理信息系统中使用非常频繁的一种空间分析,是对空间特征进行度量的一种重要方法^[2]。缓冲区分析的应用领域非常广泛。例如,交通沿线或河流沿岸的地物有其独特的重要性;公共设施(邮局、商场、银行、影院和医院等)的服务半径;大型水库建设所引起的搬迁,铁路、公路以及航行河道对其所穿越区域经济发展的重要性等均是缓冲区问题。

1 基本概念

为了方便所提出的半径旋转算法的叙述,首先给出以下一些定义。

定义 1 有序坐标点构成的曲线称为轴线。

定义 2 轴线上两条相邻线段的交点称为拐点。

定义 3 沿轴线前进方向,在其左侧和右侧生成的缓冲区分别称为轴线左、右侧缓冲区。

定义 4 轴线上顺序三点,用右手螺旋法则,若拇指朝上,则中间点左凹右凸;若拇指朝下,则中间点左凸右凹。

定义 5 若多边形的边界为顺时针方向,称该多边形为正多边形,否则为负多边形。

2 缓冲区主要矢量生成算法

缓冲区的生成包括点、线和面三种目标缓冲区的生成。点缓冲区是以该点目标为圆心,一定距离为半径的圆,通常用正 n 边形近似表示。线缓冲区常见的矢量生成方法是角平分线法^[3]和圆弧法。角平分线法是逐个作线的各线段的简单平行线。角平分线法的缺点是难以最大限度地保证平行曲线的等宽性,由于异常情况多,矫正过程复杂,不易完备地实现^[4]。圆弧法是先逐个求得每个线段单独的缓冲区,然后用多边形叠加法依次合并,对形成的尖锐角,用圆弧进行光滑矫

收稿日期:2006-05-31

基金项目:国家 863 项目(2002AA135160)

作者简介:陈学工(1965-),男,湖南长沙人,副教授,博士,研究方向为地理信息系统等。

正。算法所生成的缓冲区边界,轴线转角尖锐的转折点的平行线交点随缓冲区的增大将会迅速远离轴线,这就会出现尖角和凹陷的失真现象^[5]。面缓冲区的生成是对面的封闭边界线向内或向外作平行线,实现方法与线的缓冲区生成大致相同。

3 缓冲区半径旋转算法

缓冲区半径旋转法是由缓冲半径绕点旋转而生成目标缓冲区边界的一种简便、有效的方法,简化了缓冲区边界的生成过程。下面,给出了点和线的缓冲区半径旋转法的生成过程及在缓冲区边界生成过程中出现的特殊情况的处理方法。面缓冲区半径旋转法的生成过程及特殊情况的处理方法与线基本相同。

3.1 点缓冲区半径旋转法生成

点缓冲区半径旋转法生成是由缓冲半径绕点目标旋转,求得用于近似表示点缓冲区边界的内接正 n 边形(文中为正 12 边形)的各顶点的坐标。从而,得到点缓冲区边界多边形。

如图 1 所示,应用半径旋转法,作点目标 A 的缓冲区边界多边形。在 A 点所在平面上任取一点 B ,连接 A 、 B 两点构成向量 \overrightarrow{AB} 且模 $|\overrightarrow{AB}|$ 等于缓冲半径 r ,设向量 \overrightarrow{AB} 绕 A 点沿顺时针方向旋转到 x 轴正半轴所扫过的角度为 α ,于是,已知圆心 $A(x_A, y_A)$,由向量 \overrightarrow{AB} 绕 A 点逆时针方向旋转角度 φ ,可求得圆上一点 $A^*(x_{A^*}, y_{A^*})$ 。

$$\begin{cases} x_{A^*} = x_A + r \cdot \sin(\alpha + \varphi) \\ y_{A^*} = y_A + r \cdot \cos(\alpha + \varphi) \end{cases}$$

如果取旋转角 $\varphi = 0, \gamma, 2\gamma, \dots, (n-1)\gamma$,这里 γ 为步长, γ 由正 n 边形的边数决定($\gamma = 2\pi/n$),就可依次得到用于近似表示点缓冲区边界(圆)的内接正 n 边形的各顶点的坐标。

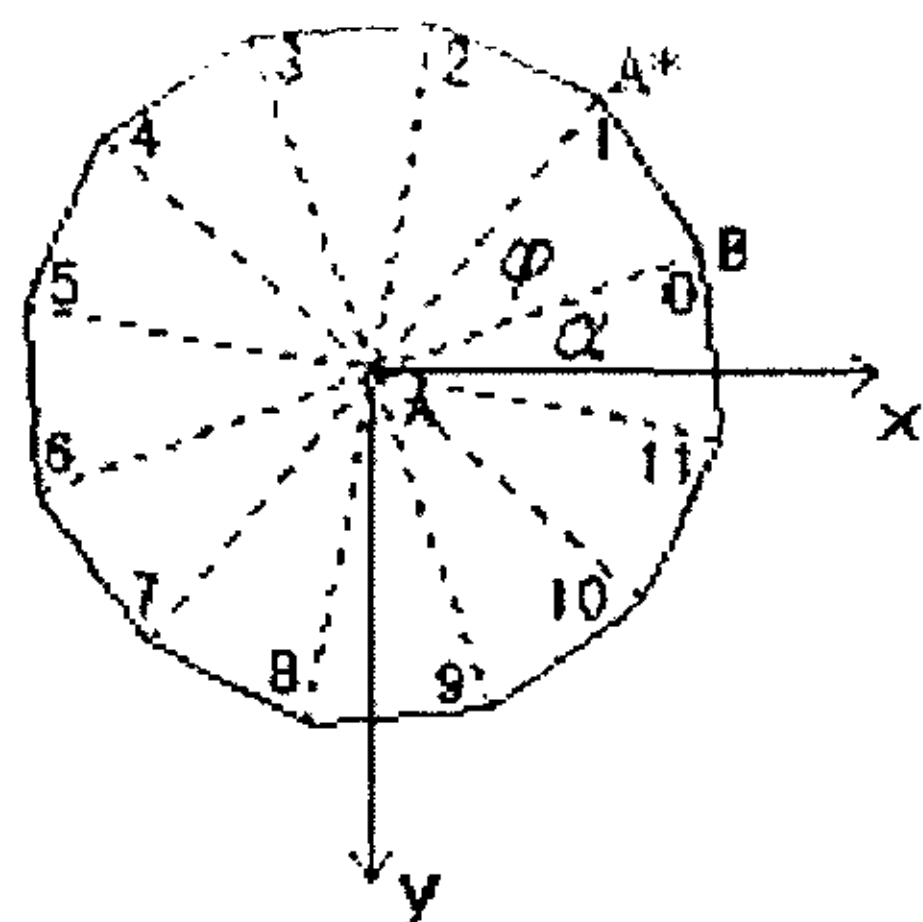


图 1 点缓冲区半径旋转法生成

3.2 线缓冲区半径旋转法生成

线缓冲区半径旋转法生成较为复杂,但其基本思想是通过缓冲半径分别绕构成轴线的各点旋转,求得各点在线缓冲区边界线上的所有对应结点。最终,得

到线缓冲区边界多边形。

如图 2 所示,应用半径旋转法生成了线缓冲区边界多边形,具体实现过程如下。

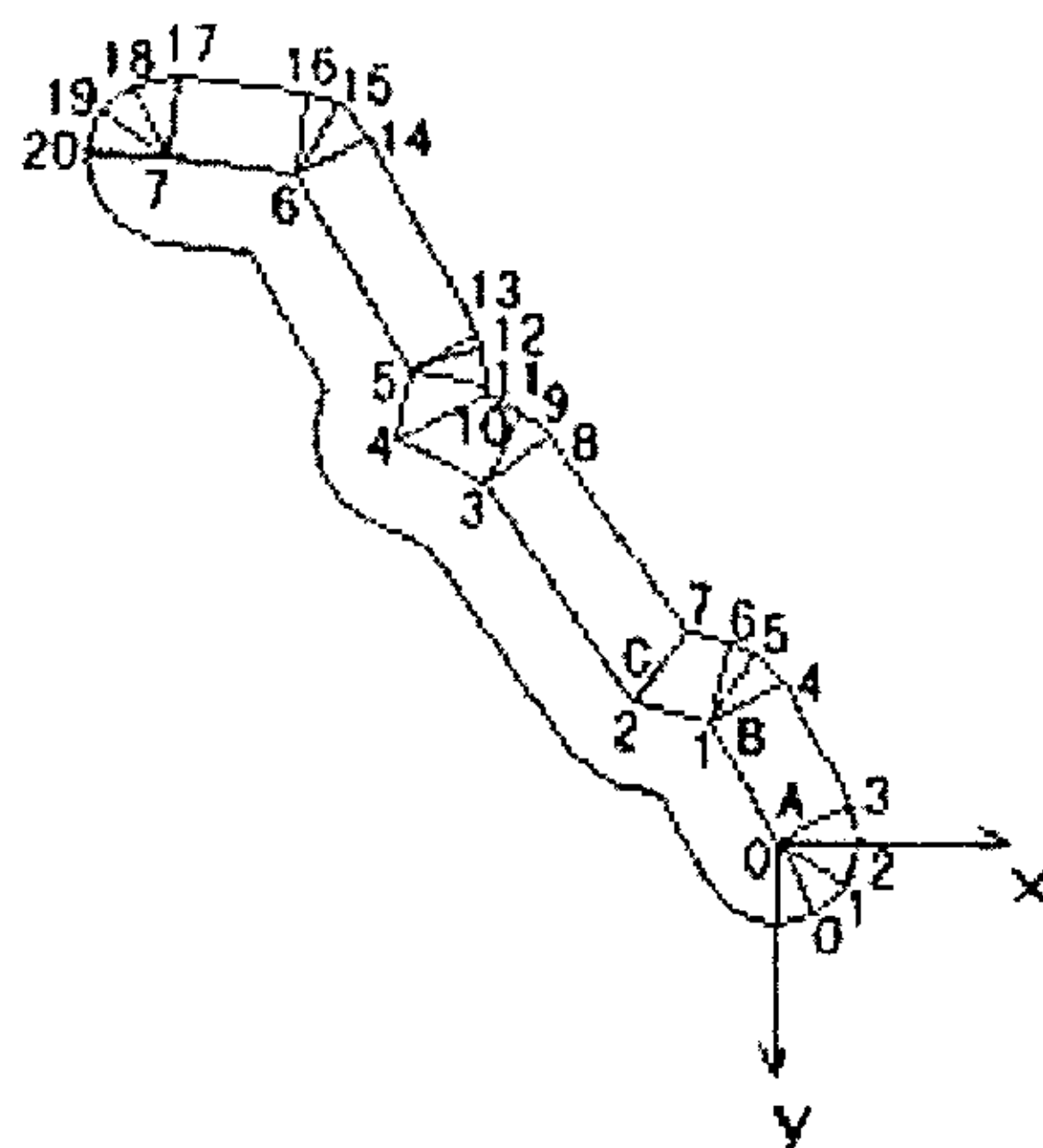


图 2 线缓冲区半径旋转法生成结果

(1) 沿轴线前进方向,先作首端点的右侧缓冲区。连接轴线上的首端点(第 0 点)与下一个结点(第 1 点)构成向量 \overrightarrow{AB} ,按上述点缓冲区半径旋转法,只是旋转角 φ 从 π 开始,按步长 $\gamma = \pi/6$ 逆时针递增取点($\pi, \pi + \gamma, \pi + 2\gamma, \dots$),直到 φ 等于 $3\pi/2$,图 2 中对应首端点 0 生成了线缓冲区边界多边形上 0 至 3 共 4 个点。

(2) 作轴线上第 k 个拐点 B 的右侧缓冲区。首先,判断拐点的凹凸性。按轴线方向再取第 $k-1$ 点 A , $k+1$ 个点 C ,并连接 A 、 B 和 B 、 C 分别构成向量 \overrightarrow{AB} 和 \overrightarrow{BC} 。设两向量叉积为 L ,由矢量代数可知,计算叉积时,遵循右手法则。当 $L > 0$ 时,拇指朝上, A 、 B 和 C 三点为逆时针方向,拐点 B 为凸点;当 $L < 0$ 时,拇指朝下, A 、 B 和 C 三点为顺时针方向,拐点 B 为凹点;当 $L = 0$ 时, A 、 B 和 C 三点共线。设向量 \overrightarrow{BC} 绕 B 点沿顺时针方向旋转到 x 轴正半轴所扫过的角为 α ,向量 \overrightarrow{AB} 和 \overrightarrow{BC} 的夹角为 σ 。如果拐点为凸点,则该点对应的缓冲区边界用缓冲半径等于 r 的圆弧连接,也即用正 n 边形的边近似表示,方法类似首端点缓冲区的生成,由向量 \overrightarrow{BC} 绕 B 点逆时针旋转而求得对应该点在线缓冲区边界线上的各结点。旋转角 φ 从 $\theta = \alpha + 3\pi/2 - \sigma$ 开始,按步长 $\gamma = \pi/6$ 逆时针递增取点($\theta, \theta + \gamma, \theta + 2\gamma, \dots$),直到向量 \overrightarrow{BC} 绕 B 点旋 $3\pi/2$ 转,见图 2,对应凸点 1 生成了缓冲区边界多边形上 4 至 6 共 3 个点。如果拐点为凹点,则该拐点对应的缓冲点为分别平行向量 \overrightarrow{AB} 和 \overrightarrow{BC} 两平行线的交点 $B^*(x_{B^*}, y_{B^*})$,交点 B^* 可由向量 \overrightarrow{BC} 绕 B 点逆时针旋转角度 $\alpha - (\pi - \sigma)/2$ 求得,见图 2,对应凹点 2 生成了线缓冲区边界多边形上点 7。如果 A 、 B 和 C 三点共线,则不作任何处理。

(3) 作轴线上末端点的右侧缓冲区。轴线上末端点的右侧缓冲区生成方法与作首端点的右侧缓冲区相

同。连接末端点和轴线上倒数第二点,构成向量 AB ,再由向量 AB 绕 A 点逆时针旋转,旋转角 φ 从 $\pi/2$ 开始,按步长 $\gamma = \pi/6$ 逆时针递增取点 $(\pi/2, \pi/2 + \gamma, \pi/2 + 2\gamma, \dots)$,直到 φ 等于 π (见图2),对应末端点7生成了缓冲区边界多边形上17至20共4个点。

(4) 仿照以上轴线右侧缓冲区的生成,从轴线的最后一点开始,生成轴线左侧缓冲区。

3.3 线缓冲区边界生成过程中特殊情况处理

图3是对应图2中随缓冲半径 r 增大所生成的缓冲区部分边界,在缓冲区边界上出现了尖锐角,造成缓冲区失真。

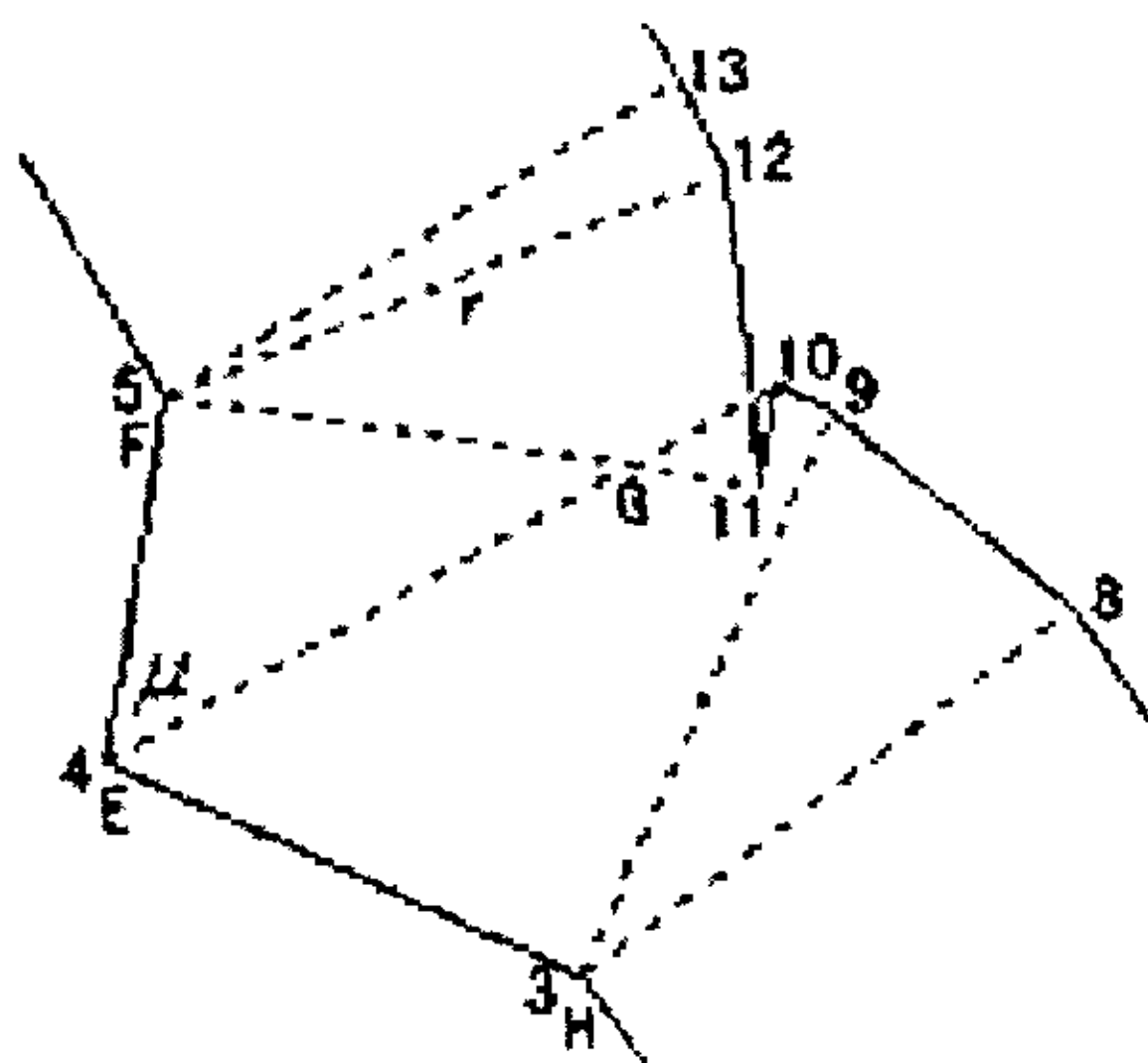


图3 线缓冲区边界尖锐角

图3中,由于轴线上凹点4生成线缓冲区边界上的点10必在凹角 ω 的角平分线 EG 上,轴线上拐点3(凸点)生成线缓冲区边界上的点8和9共2个点,轴线上拐点5(凸点)生成线缓冲区边界上的点11、12和13共3个点。当缓冲半径 $r > r^*$ 时(r^* 取 $|EF| \tan \mu$, $|EH| \tan \mu$ 的最小值,其中 $|EF|$ 和 $|EH|$ 分别为凹点4的两相邻边的长度, μ 为凹角 ω 的半角),在缓冲区边界上会出现尖锐角(连接点10、11和12)。因此,为了最大限度地修正尖锐角,去除点10,直接连接点9和11两点,得到图4中进行修正后的缓冲区边界。

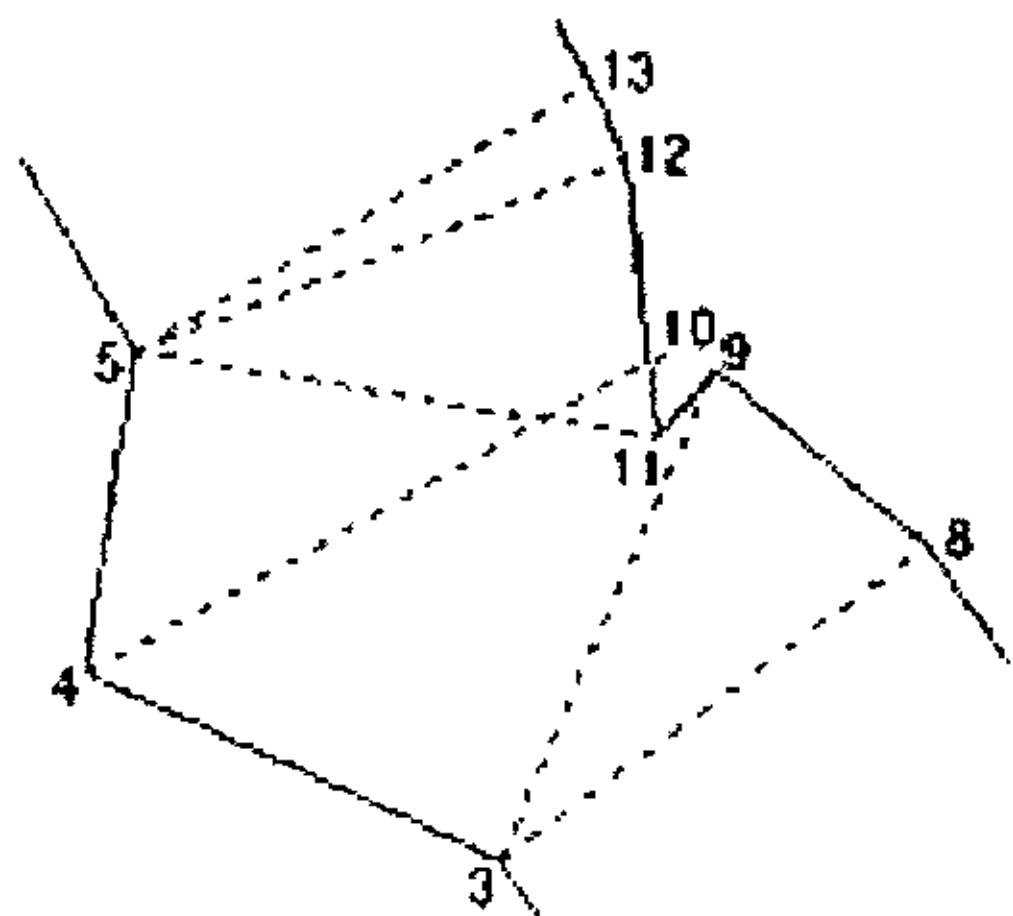


图4 缓冲区边界尖锐角处理

4 缓冲区边界线的自相交问题处理

通过半径旋转法及特殊情况处理之后生成了线的缓冲区边界多边形(正多边形),缓冲区边界多边形的边线可能自相交而产生自相交多边形(包括重叠多边形和岛屿多边形,如图5所示),且自相交多边形的个数随着半径的不同而发生变化。

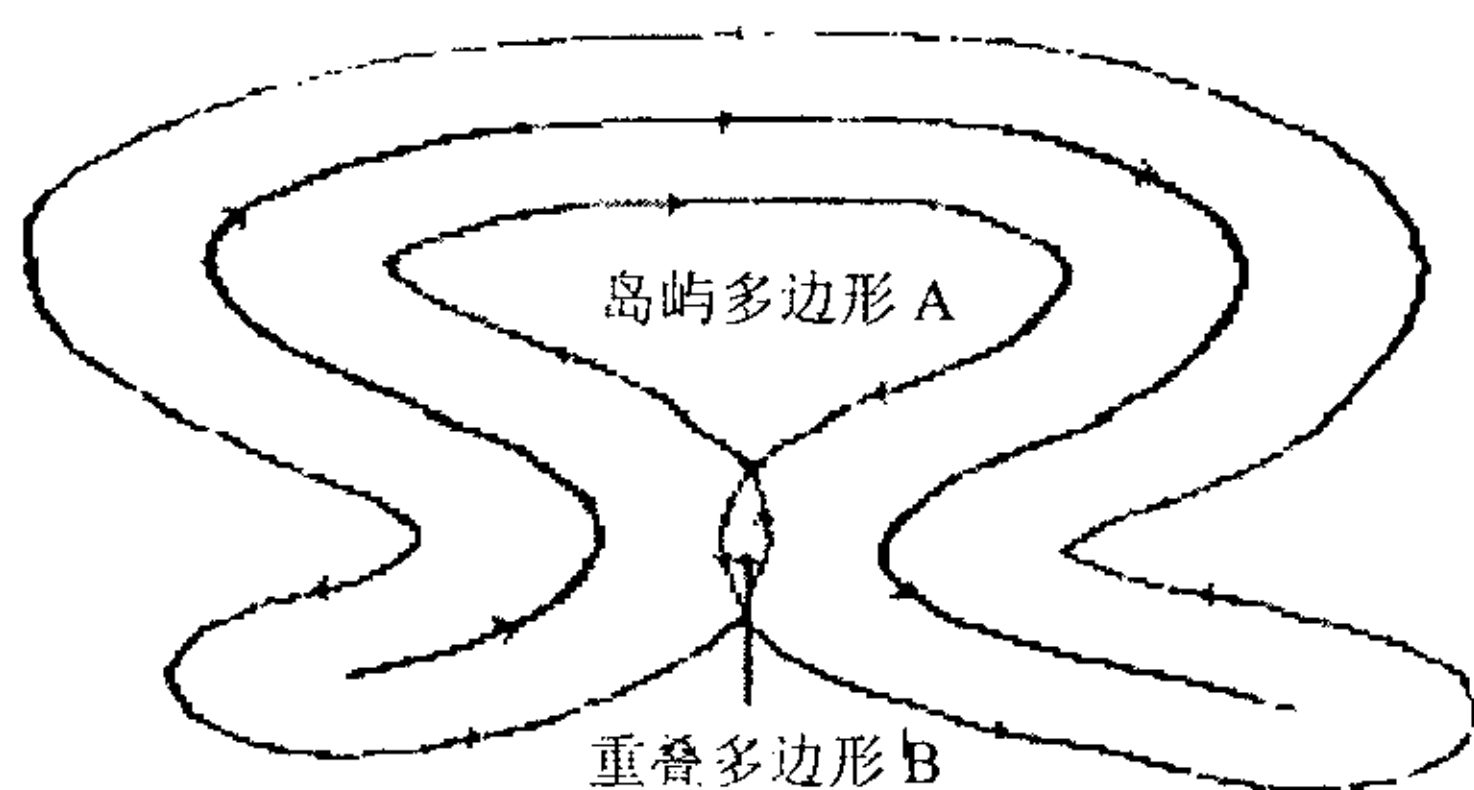


图5 线缓冲区边界自相交多边形

为了有效地管理好这些自相交多边形,首先,定义两个动态数组,一个用于存储缓冲区边界多边形有序结点坐标的动态数组 $BufferPolygon$ 和另一个用于存储所有自相交多边形有序结点坐标的动态数组 $InsectPolygon$ 。数组定义如下:

$CArray<Point, Point> BufferPolygon$

$CArray<Point, Point> InsectPolygon$

将上面产生的线缓冲区边界多边形(闭合环)的各结点按生成顺序存入数组 $BufferPolygon$ 中。然后,应用递归方法求取所有自相交多边形并存入数组 $InsectPolygon$ 中。下面给出求取所有自相交多边形的递归算法的具体描述。

Step1:从数组 $BufferPolygons$ 中,取第一、二两点坐标分别存入 A 、 B ,确定一条线段 AB ;

Step2:若线段 AB 为缓冲区多边形倒数第二条边,将此多边形存入数组 $InsectPolygon$ 中。转 Step9;

Step3:取 B 后第一、二点坐标分别存入 C 、 D ,确定另一条线段 CD ;

Step4:若 CD 为缓冲区多边形最后一条边,将原 B 的坐标存入 A ,原 B 点后第一点坐标存入 B ,确定新的线段 AB 。转 Step2;

Step5:判断线段 AB 、 CD 是否相交。如果相交,转 Step7;

Step6:将原 D 的坐标存入 C ,原 D 后第一点坐标存入 D ,确定新的线段 CD 。转 Step4;

Step7:求出交点。在交点处,原有缓冲区边界多边形被分成两个新的缓冲区边界多边形 $G1$ 和 $G2$;

Step8:对 $G1$ 、 $G2$ 重复 Step1 至 Step7;

Step9:退出。

经递归调用后,所有自相交多边形(闭合环)均存入数组 $InsectPolygon$ 中。然后,采用面积的定积分的近似算法——梯形法,判断数组 $InsectPolygon$ 中自相交多边形的方向。如果是顺时针方向,则为岛屿多边形,岛屿多边形是缓冲区边界的最终有效组成部分,构

(下转第19页)

其中, sim 表示 similarity, 即相似度。

这个算法的基本思想就是将两个关键词列表中能够匹配最好的关键词信息都保留下来进行综合计算, 需注意如下几个方面:

1) 该算法是一个对称算法, 即不论输入为 phrase_1 和 phrase_2 , 还是 phrase_2 和 phrase_1 , 相似度计算结果相同。

2) 相似度在 $[0, 1]$ 区间。当两个词组中包含的词完全相同时, 相似度为 1; 完全不同时, 相似度为 0。

3) 时间复杂度大概为 n^2 。

最后匹配的结果需要根据匹配度进行排序。排序时, 首先考虑后置条件匹配度, 而前置条件匹配度的值放在第二位, 即只有当后置条件匹配度相同时才考虑前置条件匹配度。这是因为服务请求者最希望后置条件匹配度能够尽量地高。

3.4 匹配算法的应用

文中所提出的匹配算法综合考虑了 Web 服务本身所携带的领域信息、基于 OWL-S 的对服务的描述以及 Web 服务所必须满足的前置条件和后置条件, 根据用户的请求查找最符合用户需求的服务。在科研管理系统的开发过程中, 针对服务的匹配部分使用了上述匹配算法。

结果表明, 使用上述算法可以加快服务的匹配速度以及匹配精度。

(上接第 15 页)

成结果缓冲区边界多边形的内环。如果是逆时针方向, 面积(绝对值)最大的多边形是缓冲区边界的最终有效组成部分, 构成结果缓冲区边界多边形的外环。其它逆时针方向的多边形为岛屿多边形, 不是缓冲区最终有效边界的组成部分。图 6 是线缓冲区最终有效边界图。

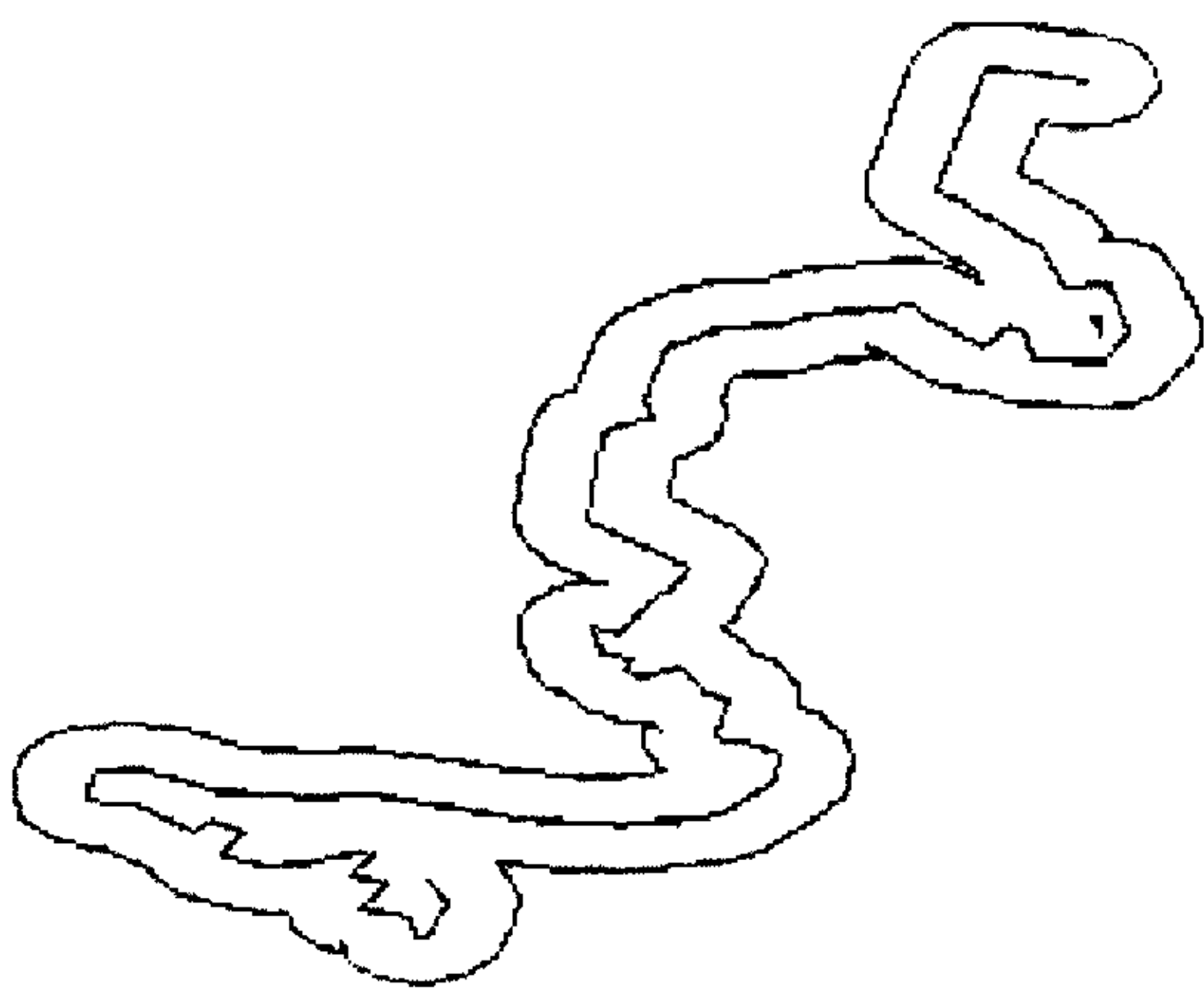


图 6 线缓冲区最终有效边界图

4 总 结

OWL-S 提出了全新的表示 Web 服务功能的方法。将这种表示应用到服务匹配中, 使得服务和请求都是基于服务功能的, 这相对于 UDDI 机制进行服务查找增强了灵活性。今后还可考虑将 UDDI 和功能匹配结合起来, 使得用户能够更好地进行服务查询。另外, 由于大多数的复杂任务都是由多个简单服务合成来完成的, 因此只是对 ServiceProfile 进行匹配是远远不够的, 还应该将 ServiceModel 的信息考虑进来。这些都是今后的研究重点。

参考文献:

- [1] Jaideep R, Anupama R. Understanding web services[C]// IT Professional, Volume 3. Washington: IEEE Computer Society, 2001: 77-78.
- [2] Sycara K, Klusch M. Brokering and matchmaking for coordination of agent societies: ni, ed. Coordination of internet agents [M]. London, UK: Springer-Verlag, 2000.
- [3] W3C. OWL Web Ontology Language Guide[EB/OL]. 2004. <http://www.w3.org/TR/owl-guide>.
- [4] OWL-S Home Page[EB/OL]. 2003. <http://www.daml.org/services>.
- [5] Sycara K, Klusch M. Dynamic service matchmaking among agents in open information environments[J]. ACM SIGMOD Record, 1999, 28(1): 47-53.

5 结 语

文中在缓冲区凸角圆弧法的思想基础上, 提出并运用半径旋转法, 简化了求平行线和尖锐角的光滑矫正过程; 对缓冲区生成过程中出现的特殊问题进行了处理, 最大限度地保证了目标缓冲区生成的有效性; 并引用递归方法, 很好地管理和存储了自相交多边形, 进一步形成了一套新的完整有效的缓冲区矢量生成算法。算法已编程实现, 具有较好的效果。

参考文献:

- [1] 黄杏元, 汤 勤. 地理信息系统概论[M]. 北京: 高等教育出版社, 1990: 130-133.
- [2] 吴立新, 史文中. 地理信息系统原理与算法[M]. 北京: 科技出版社, 2003.
- [3] 程鹏根, 龚健雅. 机助制图中平行线的绘制方法及其特殊问题的处理[J]. 武汉测绘科技大学学报, 1994(1): 43-52.
- [4] 毋河海. 关于 GIS 中缓冲区的建立问题[J]. 武汉测绘科技大学学报, 1997, 22(4): 358-364.
- [5] 王家耀. 空间信息系统原理[M]. 北京: 科技出版社, 2004.