

道路断线自动连接的概率松弛方法

潘 励 张剑清

(武汉测绘科技大学信息工程学院,武汉市珞喻路 39 号,430070)

摘 要 针对较为复杂的图形断线自动连接情况,提出一种基于概率松弛法的道路拐点自动连接算法,为提高几何图形处理的自动化程度开辟了一条新途径。

关键词 拐点自动连接;概率松弛法;方向二阶差分;初始概率

分类号 P231.5

在机助测图数据向 ARC/INFO 数据的转换、图幅拼接、专题图形提取等过程中,都存在着线状地物非完整性的问题。例如,机助测图数据中的道路,一般并不由物理意义上的目标组成,而是由几个量测意义上的“目标”或其中的部分构成。经过 ARC/INFO 的分层处理之后,就无法保持其连续性和完整性,更无法在 ARC/INFO 中建立正确的拓扑关系。

针对上述问题,目前解决的方法大致可以分为 3 类:

1) 利用 ARC/INFO 提供的编辑模块 ARCEdit 的功能,在屏幕上对每个图斑进行检查和修改。这是一种全人工编辑的方法,工作量很大。

2) 半人工半自动的方法。具体手段各有不同,有些是利用已存在的环境,如 ARC/INFO 进行二次功能开发,另外一些是在自建的编辑环境中进行。这些方法的共同点是需要人工干预。

3) 全自动化方式。此方式尚在探索阶段,常见的方法只能解决一些简单图形的断线连接问题。如基于方向判断的断线自动连接算法,虽然能够解决三叉、四叉路口的拐点连接问题,但是对于多交叉路口,例如五叉、六叉路口,由于方向过多,图形的结构较复杂,这种算法就不能准确地连接道路拐点,会出现一个拐点同时与两个或者两个以上的拐点相连的错误现象。

本文提出了基于概率松弛法的道路拐点自动连接算法,此算法在处理每个点时,充分考虑了周围点处理结果的影响。因此,在复杂的图形处理中,避免了不合理的连接现象,提高了图形连接的可靠性,为实现自动编辑数据提供了一种新的方法。

1 松弛法的基本原理

松弛法^[1]从 80 年代提出以来,已被广泛地应用于影像分割、边缘提取、光流分析、模式识别等领域,它也可以应用于对图形断线和拐点的自动连接中。

假设我们有个目标集 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$, 现欲将它们进行分类,分给类别集合 $B = \{b_1, b_2, \dots, b_m\}$, $a_i \in b_j, a_k \in b_l, \dots$ 。但是如何判断分类是否合理? 互相是否协调一致? 在概率松弛法中引入一个“兼容系数” $c(i, j; k, l)$ 衡量这一对分类 $a_i \in b_j$ 与 $a_k \in b_l$ 是否相容。当 $a_i \in b_j$ 与 $a_k \in b_l$ 这两个分类事件相互支持时,表示它们是相容的,原则上 $c(i, j; k, l) > 0$; 而当 $a_i \in b_j$ 与 $a_k \in b_l$ 事件相互冲突,说明它们是不相容的,则 $c(i, j; k, l) < 0$; 若 $a_i \in b_j$ 与 $a_k \in b_l$ 事件相互独立,它们是无关系的,则 $c(i, j; k, l) = 0$ 。一般假定 $c(i, j; k, l)$ 位于 $[-1, 1]$ 区间内,而且是对称的,即 $c(i, j; k, l) = c(k, l; i, j)$ 。

设 p_i^0 表示 $a_i \in b$ ($1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq m$) 的初始概率,对于任何一个 i 均有 $0 \leq p_i^0 \leq 1$ 成立,同时, $\sum_{j=1}^m p_i^0 = 1$ 。由兼容系数可确定每次迭代中概率的改变量。一般情况下,概率增量 q_j 可定义为:

$$q_j = 1/(n-1) \sum_{k=1, k \neq i}^n \left(\sum_{l=1}^m c(i, j; k, l) \times p_k^l \right) \quad (1)$$

其中, n 为目标总个数; m 为分类数; p_{ki} 为 $a_i \in b_j$ 事件的概率值; $c(i, j; k, l)$ 为 $a_i \in b_j$ 与 $a_k \in b_l$ 事件的兼容系数; q_j 为 $a_i \in b_j$ 事件的概率增量。

当概率增量 q_j 确定之后,根据它对概率进行

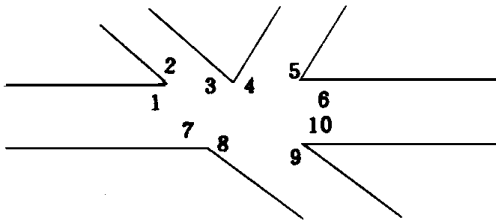
调整,使得正确分类的概率值渐渐趋近于 1,而其它的概率趋近于零。概率调整公式为:

$$p_{ij}^{(r+1)} = p_{ij}^{(r)} \times (q_j^{(r)} + 1) \quad (2)$$

式中, $p_{ij}^{(r+1)}$, $p_{ij}^{(r)}$ 分别代表第 $(r+1)$ 次和第 r 次的概率值; $q_j^{(r)}$ 是第 r 次的概率增量

2 拐点连接的松弛法

基于概率松弛法的道路拐点自动连接算法,主要解决多叉路口图形(如五叉、六叉)的拐点连接问题。算法的基本思想是:把每个拐点视为一个目标,如图 1 所示的道路五叉路口,针对不同的方向,存在 10 个拐点,也就是说有 10 个目标,每个拐点与另一拐点相连作为一个事件。在图 1 中,每个拐点有 9 种连接的可能,其中只有一种连接事件是合理的,每个事件有其发生的概率值,最初的概率值是以“相似性尺度”来衡量其连接的可能性。在此基础上,确立事件之间的相容程度,也就是计算其兼容系数。用它调整每个概率值,最后使得合理的连接事件的概率为 1,其余为零。



1 和 2,3 和 4,5 和 6,7 和 8,9 和 10 是一对坐标值相同、方向不同的拐点

图 1 道路五叉路

Fig. 1 Five Cross Road

2.1 初始概率的计算

$$p_{ij}^0 = \left(\sum_{k=0}^m W_{ik} X_{ik} + \sum_{k=0}^m W_{jk} X_{jk} \right) \sum_{d=0}^n \sum_{k=0}^m W_{dk} X_{dk} \quad (3)$$

式中, p_{ij}^0 为第 i 点和第 j 点相连接的初始概率; n 为点的总数; m 为条件数(本文采用两个条件——方向和距离); W_{dk} , W_{ik} , W_{jk} 为第 d 点、第 i 点和第 j 点的方向和距离条件的权值; X_{dk} , X_{ik} , X_{jk} 为第 d 点、第 i 点和第 j 点的方向和距离条件值。

2.1.1 距离条件和权函数

距离条件的作用是把过近过远的点排除在可能连接的范围之外,使得距离适当的点连接概率增大。首先,根据道路拐点在交叉路口分布的特点,动态地安置距离阈值距离条件值选择点之间的距离。考虑到距离条件的作用,权函数选择如图 2 所示的分段函数,其函数式如下:

$$\begin{cases} W_s = \frac{dlim e}{2} \times S, & \frac{dlim e}{2} \leq S < 0 \\ W_s = -\frac{2}{dlim e} \times S + 2, & dlim e \leq S < \frac{dlim e}{2} \\ W_s = 0, & dlim e < S \end{cases} \quad (4)$$

(4) 式中, W_s 为距离的权值; $dlim e$ 为距离阈值; S 为距离。

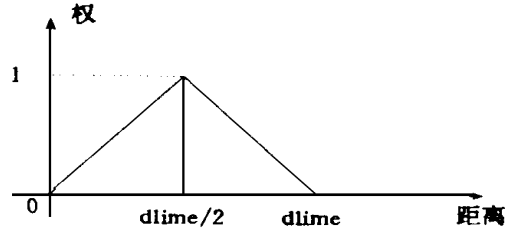


图 2 距离权函数

Fig. 2 The Weight Function of Distance

2.1.2 方向条件和权函数

方向约束条件对拐点连接起着相当重要的作用。一般来说,同是一条道路的拐点,其方向变化率是很小的,因此,可以依据方向角的二阶差分,来分辨道路的走向。二阶差分为零或者说接近于零时,这两个拐点是属于同一条道路的,就可以连接起来;反之,方向二阶差分接近于或者大于给定的阈值时,这两点不在同一条道路上,不应该相连。方向条件的值为 $\cos(\Delta T/2) + 1$,其权函数可定义为:

$$W = \cos(\Delta T/2), \quad -\pi \leq \Delta T \leq \pi$$

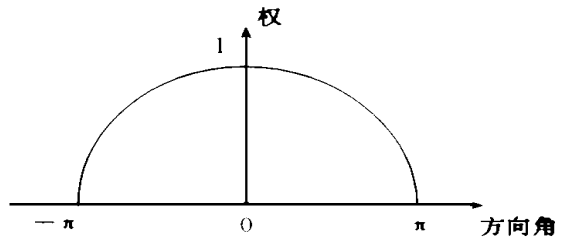


图 3 方向条件的权函数

Fig. 3 The Weight Function of Direction

上述是仅从几何角度考虑问题,同时参考道路交叉路口实际情况。图 1 中 1 和 7,2 和 3 等这样的拐点连接是不合理的,其初始连接概率应该为零。

综合上述各种条件,图 1 中每两点相连初始概率如表 1 所示。从表 1 中可以看到,等距点的初始概率值由于考虑了方向条件,因此都是不相等的,例如,表 1 中, $p_{15}^0 = 0.1009$, $p_{16}^0 = 0.1180$; 平行端头拐点初始连接概率为零,如 $p_{17}^0 = 0$ 等。

表 1 初始概率值
Tab. 1 The Values of Original Probability

<i>i</i>	<i>j</i>									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	0	0.134 7	0.128 5	0.100 9	0.118 0	0	0.067 3	0.158 9	0.159 1
2	0	0	0	0.128 7	0.100 9	0.107 6	0.060 9	0.088 0	0.157 0	0.161 0
3	0.107 6	0	0	0	0.061 4	0.067 1	0.125 5	0.125 9	0.094 3	0.073 8
4	0.104 1	0.138 0	0	0	0	0.064 8	0.132 2	0.126 3	0.071 0	0.079 7
5	0.103 5	0.103 1	0.078 8	0	0	0	0.096 0	0.102 7	0.166 5	0.150 4
6	0.120 9	0.110 1	0.086 2	0.079 6	0	0	0.102 4	0.096 2	0.149 7	0
7	0	0.059 7	0.154 5	0.153 4	0.092 1	0.098 1	0	0	0.102 4	0.116 0
8	0.065 9	0.086 3	0.154 3	0.169 8	0.098 1	0.091 7	0	0	0	0.108 7
9	0.125 7	0.123 8	0.093 6	0.0694	0.120 8	0.115 4	0.082 7	0	0	0
10	0.123 6	0.134 7	0.071 8	0.076 5	0.114 0	0	0.091 7	0.086 2	0	0

2.2 兼容系数计算公式

运用松弛法其处理结果是否合理,关键在于兼容系数的确定。下面以图 1 为例说明兼容系数的取值规律

图 1 中,当 1 和 6 点相连接时,要考虑周围点与其它点相连的事件和当前事件的相容情况。例如 1→6 点相连与 7→10 点相连的事件是相容的,因而,兼容系数 $c(1, 6, 7, 10) = 1$; 1→6 点相连事件与 7→6 点相连事件相冲突,其兼容系数 $c(1, 6, 7, 6) = -1$; 1→6 点相连与 7→9 相连,两个事件不相关,其兼容系数为 $c(1, 6, 7, 9) = 0$ 。此外,考虑到道路拐点不可能交叉相连,例如图中 1→10 相连与 7→6 相连,应是不相容事件,其兼容系数 $c(1, 10, 7, 6) = -1$ 。其它点的情况依此类推。

综上所述,利用概率松弛迭代算法进行拐点连接的具体步骤如下:

- 1) 在给定的范围内,寻找与某一拐点 i 有关的所有拐点
- 2) 计算点之间的距离和方向角,确定出距离阈值,计算距离和方向条件的权值
- 3) 根据初始概率计算公式,计算每个点的初始概率值

4) 首先确立兼容系数,然后计算概率增量。概率增量的计算是一个循环的过程,每次根据已调整的概率值,计算下一次迭代的概率增量

5) 根据概率增量调整概率值

6) 把概率值为 1 的点连接起来,赋予相应的属性代码

3 实验结果

根据上述算法,对图 1 中道路五交叉路口进行迭代计算,表 2 表 3 表 4 分别代表第 1 次、第 2 次和第 15 次迭代的概率值 p ,表中 i, j 为点号。

从表 2 中发现,第 1 行中 $p_{16}^1 = 0.350 8$ 最大,且对应正确的连接,而在第二行中 $p_{28}^1 = 0.159 8$ 并不是最大的,但也对应着正确连接。有些点连接概率经过第一次调整就比较明显地增大了,但有些点并不是很明显。从表 3 中就可以清楚看到概率收敛方向,其中 $p_{16}^2 = 0.578 0$, $p_{28}^2 = 0.605 1$,这些值有大有小,但都是每一行中最大的数字。从图 1 可以看到,这种概率收敛趋势是正确的。表 4 是第 15 次迭代的结果,最后证实了高概率事件就是 1↔6, 2↔8 点, 3↔9 点, 4↔10 点连接的事件, 4 和

表 2 第 1 次迭代结果

Tab. 2 The Result of the First Iteration

<i>i</i>	<i>j</i>									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	0	0.000 7	0.007 6	0.049 8	0.350 8	0	0.105 1	0.031 3	0.002 3
2	0	0	0	0.010 6	0.223 1	0.249 8	0.027 4	0.159 8	0.082 2	0.096 9
3	0.013 0	0	0	0	0.053 2	0.059 9	0.132 2	0.132 0	0.206 1	0.164 9
4	0.007 9	0.008 2	0	0	0	0.055 5	0.133 6	0.119 3	0.015 7	0.016 9
5	0.161 1	0.161 4	0	0	0	0	0.130 5	0.143 5	0.098 0	0.098 8
6	0.231 9	0.189 8	0	0.002 4	0	0	0.059 2	0	0.093 3	0.089 7
7	0	0.080 9	0.078 3	0.090 0	0.152 8	0.169 0	0	0	0.163 3	0.195 3
8	0.078 9	0.181 0	0.158 2	0.143 8	0.019 7	0.029 6	0	0	0	0.115 6
9	0.062 7	0.062 1	0.242 3	0.117 9	0.112 0	0.099 7	0.021 5	0	0	0
10	0.065 0	0.0684	0.114 9	0.131 3	0.123 1	0	0.231 1	0.111 8	0	0

表 3 第 2 次迭代结果
Tab. 3 The Result of the Second Iteration

i	j									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	0	0	0.020 0	0.049 4	0.578 0	0	0.056 5	0.107 1	0.008 2
2	0	0	0	0.020 4	0.093 9	0.098 8	0.064 2	0.605 1	0.011 0	0.031 7
3	0.075 0	0	0	0	0.006 1	0	0.106 1	0.109 0	0.368 8	0.157 1
4	0.073 0	0.083 7	0	0	0	0	0.037 2	0.043 2	0.107 7	0.096 8
5	0.143 0	0.1301	0	0	0	0	0.085 5	0.098 8	0.067 5	0.059 9
6	0.344 3	0.167 9	0	0.002 8	0	0	0.100 4	0.070 6	0.051 1	0
7	0	0.040 0	0.173 0	0.181 1	0.033 1	0.029 8	0	0	0.103 3	0.389 6
8	0.161 0	0.459 8	0.068 0	0.059 8	0.030 0	0	0	0	0	0.089 9
9	0.026 0	0.025 3	0.567 8	0.112 2	0.011 2	0	0.081 1	0	0	0
10	0.029 9	0.032 2	0.221 0	0.078 8	0.029 7	0	0.345 5	0.042 2	0	0

表 4 第 15 次迭代结果
Tab. 4 The Result of the Fifteenth Iteration

i	j									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
8	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0

5 点与任何点不相连, 完全符合实际情况。同样对道路六叉路口进行处理, 经过 8 次迭代之后, 完全收敛。由于篇幅有限, 在此不一一列举。

参 考 文 献

- 1 张祖勋, 张剑清. 数字摄影测量学. 武汉: 武汉测绘科技大学出版社, 1997.
- 2 吴晓良. 影像匹配的松弛途径: [学位论文]. 武汉: 武汉测绘科技大学, 1993
- 3 Nagao T. An Automatic Road Vector Extraction Method from Maps. In Proc. IAPR. Rome, 1988

The Probability Relaxation Algorithm for the Automatic Connection of Cut Road Lines

Pan Li Zhang Jianqing

(School of Information Engineering, W TU SM, 39 Luoyu Road, Wuhan, China, 430070)

Abstract In order to realize the automatic connection of complex cut lines, this paper takes cross roads as examples and presents an automatic connecting algorithm of cut lines. Experimental results show that the algorithm opens a way to improve the automatic level for geometric figure processing.

Key words automatic connection of cut lines; probability relaxation algorithm; second difference of direction angle; first probability