

# 路网示意性地图的环约束算法<sup>①</sup>

李佳田<sup>②</sup> 张 蓝 李显凯 李应芸 罗富丽

(昆明理工大学国土资源工程学院 昆明 650093)

**摘要** 研究了目前构建路网示意性地图的主要方法——其核心是依据迭代过程的后置拓扑检验一致的迭代移位算法的原理与性能,考虑到由于缺少整体与局部的空间回溯过程以及后置拓扑检验集的不完备性,导致路网约束发生异常,造成迭代移位算法无法有效示意化路网的问题,提出了一种新的路网示意性地图非迭代构建算法——环约束算法。该算法以环为单位依据邻接顺序依次定位各环,通过几何约束限制潜在的拓扑冲突,从而提高了其性能。与迭代移位算法的对比试验结果表明,该算法可以同时顾及线段角度与线段长度约束,能够有效地抑制拓扑冲突,而且由于没有迭代移位过程,因而算法速度快,可用于大规模路网示意化地图生成。

**关键词** 路网, 示意性地图, 环, 几何约束, 非迭代算法

## 0 引言

示意性地图是对线性网络的高度概略表达,能够有效传达网络结构信息。相较于精确的传统地图,示意性地图更加符合人们对空间要素的认知习惯,因而被广泛应用于道路交通系统<sup>[1,2]</sup>。在示意性地图中,路段被规范化为水平、竖直及对角线方向,这种布局模式被称作八方向式<sup>[3]</sup>。Nöllenburg 和 Wolff 总结了示意化路网应当遵循的范式<sup>[3-5]</sup>,认为示意化网络地图必须满足方向规范、拓扑一致、线段清晰等硬约束,此外,应尽量满足线段长度变化小、减少线段弯曲等软约束。目前,角度与长度是普遍采用的两种约束。目前构建路网示意性地图的主要方法是迭代移位算法,其核心是依据迭代过程的后置拓扑检验一致。然而,由于缺少整体与局部的空间回溯过程以及拓扑检验集的不完备性,导致路网约束发生异常。针对这种情况,本文提出了一种新的路网示意性地图的非迭代构建算法——环约束

算法,该算法速度快,可用于大规模路网示意化地图的生成。

## 1 迭代移位算法分析

针对示意性地图自动生成方法这一学术焦点,Cabello 等<sup>[6,7]</sup>将网络中的线段以更简化的方式替代,自上而下依照连接顺序排列各线段,由于严格限定结点与其原始位置的相对关系,在空间不足时线段无法示意化。于是 Avelar 等提出了经典的迭代移位算法<sup>[8-10]</sup>,目前多数研究均是以该算法为基础的改进或优化<sup>[11-15]</sup>。迭代移位算法每次迭代将各节点重定位于方向约束下的若干最近位置点集合的中心,这样会有两方面的问题:一方面新的位置并非完全符合约束条件,导致部分线段未被严格限制为规定方向(图 1 点线框出部分);另一方面若结点周围的局部空间无法提供一个满足约束条件的位置,线段便无法完成示意化(图 1 虚线框出部分)。究其根本原因,该算法没有预先考虑点线间拓扑关系,

<sup>①</sup> 国家自然科学基金(41161061, 40901197)资助项目。

<sup>②</sup> 男,1975 年生,博士,副教授;研究方向:移动计算,视频识别方法;联系人,E-mail: ljtwdx@163.com  
(收稿日期:2015-01-07)

而是通过后置的三角形检测方法限制结点的移位、修正各结点位置进而避免拓扑冲突。其不能同时处理线段角度与线段长度约束,随着迭代次数的增多,

示意化线段会更加符合角度约束,与此同时,也会具有更大的长度变形(图1(b)、(c)),且最终无法完全规范化所有线段<sup>[10]</sup>。

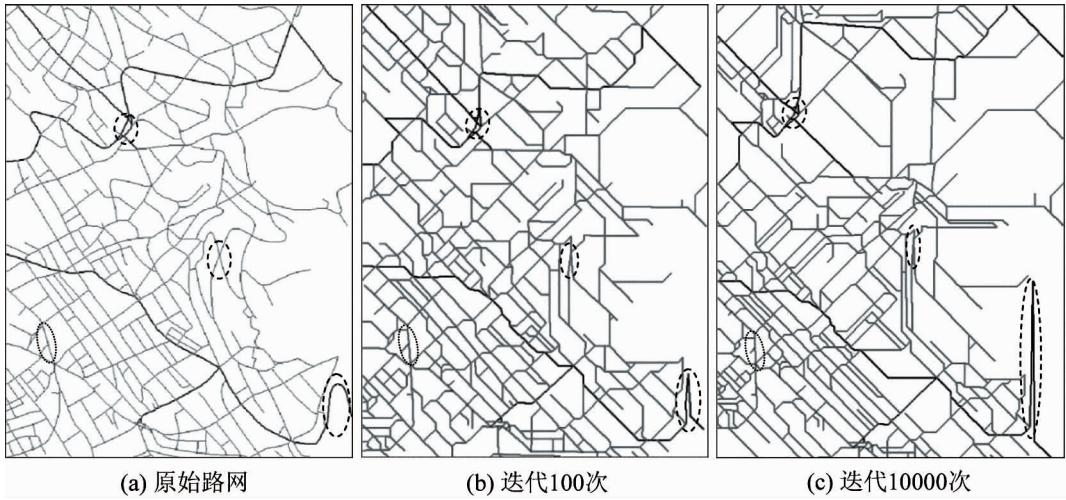


图1 迭代移位算法<sup>[10]</sup>

网络的形成可看作结点、线段、环、局部网络递进往复式过程,示意性地图可以理解为网络表达的全局最优解,以结点或线段为基础能够对一般规则局部进行较好地处理,但在迭代全局收敛的条件下,会舍弃某些相对复杂的特殊局部。网络的特殊局部是由结点、线段空间分布不均衡造成的,然而,通常情况下结点与线段是作为部分环出现的,或是结点与线段隐含在环中。本文以环为网络构成的主体,用空间位置初始化构成环的线段,通过环内/环间几何约束限制潜在的拓扑冲突,并且避免迭代移位过程。试验结果表明,本文方法能够同时有效顾及线段角度与线段长度约束,可以快速完成道路网络示意化。

## 2 路网示意化过程

路网示意性地图是原始路网在一定约束规则之下由地理空间至约束地理空间的映射结果。以环为路网的主要构成基础,可将原始路网分解为环集合与悬挂线段集合两个部分,其中,悬挂线段是在原始路网中不能形成环的线段。路网的示意化过程如图2所示,首先,分离原始路网为环集合与悬挂线段

集合;其次,以环为单位,依据邻接关系及几何约束依次定位各环,完成路网主体的示意化;最后,在示意化路网主体基础上再依次定位悬挂线段,完成路网整体的示意化。

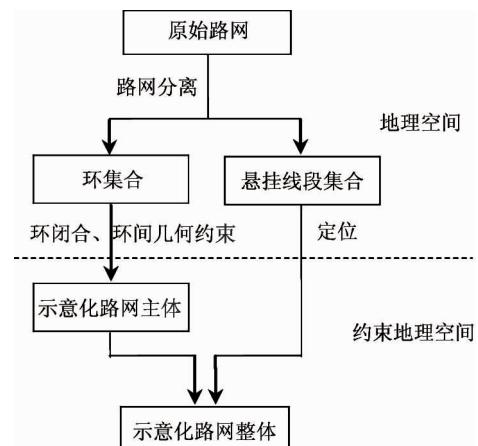


图2 路网示意化流程图

## 3 环约束算法

### 3.1 数据预处理

根据方向约束,示意化后线段方向要尽可能地接近原始线段方向。使用直角坐标系描述约束地理

空间,以  $x$  轴正方向作为参照,逆时针旋转,线段方向取值范围为  $[0, 2\pi)$ 。将线段看作由点  $p_i$  指向点  $p_j$  的矢量,平移坐标系原点  $o$  至点  $p_i$ ,则点  $p_j$  的坐标变为  $(p_j \cdot x - p_i \cdot x, p_j \cdot y - p_i \cdot y)$ ,更进一步,将点  $p_j$  坐标表达为点  $p_i$  坐标的相对形式,点  $p_j$  坐标简化描述为  $(\Delta x, \Delta y)$ 。设  $\mathbf{u}$  为向量  $(p_i, p_j)$ , $x$  轴正方向单位向量为  $(1, 0)$ ,则由夹角余弦公式与点  $p_i, p_j$  之间相对位置关系,  $\mathbf{u}$  与单位向量的夹角可由下式计算:

$$\theta(\mathbf{u}) = \begin{cases} \arccos\left(-\frac{\Delta x}{\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}}\right), & \Delta y \geq 0 \\ \pi + \arccos\left(-\frac{\Delta x}{\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}}\right), & \Delta y < 0 \end{cases} \quad (1)$$

线段方向规范化见图 3。如图 3 所示,定义规范化方向集合  $\mathbf{O} = \{o_i | i = 0, 1, \dots, 7\}$ ,8 个规范化方向将方向域划分为 8 个部分。示意化线段方向为其实际方向最邻近的规范化方向,计算式为

$$o(\mathbf{u}) = \left[ \frac{4\theta(\mathbf{u})}{\pi} + \frac{1}{2} \right] \times \frac{\pi}{4} \quad (2)$$

其中 [ ] 表示取整数。若与某一结点关联的多条线段的示意化方向相同,则可考虑相邻的规范化方向  $o_{i+1}$ ,但必须满足线段排列与矢量方向对称的两个条件:(1)结点关联的各线段间逆时针排列顺序保持不变;(2)  $o(p_ip_j) = o(p_jp_i) + \pi$  或  $o(p_ip_j) = o(p_jp_i) - \pi$ 。

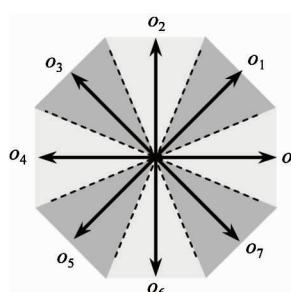


图 3 线段方向规范化

相应地对线段长度进行处理。定义原始路网中线段  $\mathbf{u}$  的长度为点  $p_i, p_j$  之间的欧氏距离  $dis(p_i, p_j)$ ,用下式计算线段的示意化长度:

$$len_u = \left[ \frac{dis(p_i, p_j) \times \cos(o(\mathbf{u}) - \theta(\mathbf{u}))}{\alpha \times len_{min}} \right] \quad (3)$$

$len_{min}$  为原始路网最短线段在其规范方向的投影长度,式(3)将所有小于  $\alpha \times len_{min}$  的线段约束为单位长度,以原始路网线段长度的  $\alpha \times len_{min}$  倍数作为示意性地图各线段初始长度。 $\alpha$  取值根据试验数据与示意化需要而定, $\alpha$  越大,示意化后线段长度抽象程度越大,即最长线段与最短线段长度越接近,本文中  $\alpha$  取为 20。

### 3.2 环定位

分离地理空间路网为环集合  $\mathbf{R}$  与悬挂线段集合  $\mathbf{L}$ ,并设其对应的约束地理空间集合分别为  $\mathbf{R}'$  与  $\mathbf{L}'$ 。选择任意环  $r_i \in \mathbf{R}$  作为起始环,定位  $r_i$  为  $r'_i$  ( $r'_i \in \mathbf{R}'$ ),然后依照逆时针顺序,依次定位  $r_i$  的相邻环,如图 4(a) 所示。每一个环的定位均是以已定位环  $\mathbf{R}'$  为基础完成的。定义逆时针为环的结点排列顺序,如图 4(b) 所示,环  $r_j$  中已定位点集为  $\mathbf{P}_{loc} = \{b, p_1, \dots, p_i, a\}$  ( $r_j = r_i$  时,  $\mathbf{P}_{loc} = \emptyset$ ),待定位点集  $\mathbf{P}_{unloc} = \{p_j, \dots, p_n\}$ 。则已定位线段集  $\mathbf{L}_{loc} = \{(b, p_1), \dots, (p_i, a)\}$ ,待定位线段集  $\mathbf{L}_{unloc} = \{(a, p_j), \dots, (p_n, b)\}$ 。首先通过环闭合计算初始化各环形状,然后检查环间约束,定位环并更新  $\mathbf{R}'$ 。完成  $r_i$  相邻环的定位后,以当前  $\mathbf{R}$  外边界作为  $r_i$  继续查找与其邻接的环集合并定位,直至完成集合  $\mathbf{R}$  中所有环的定位。

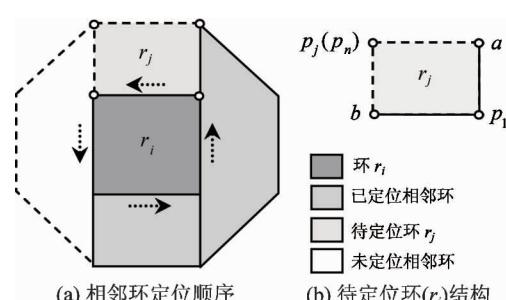


图 4 环定位示意图

### 3.3 单环闭合几何约束

原始路网中环的几何形状是闭合的,初始化各线段方向为规范方向后,环的示意形状会发生改变,不能保证其闭合。环闭合几何条件是构成环的正负相对方向线段总长度相等:

$$len(x+) = len(x-) \quad len(y+) = len(y-) \quad (4)$$

式中  $len()$  为方向线段总长度。初始化各线段为规

范方向后,若环中缺少 $x+、x-、y+、y-$ 四个基本方向中某方向 $o_m$ 的线段,则无法依据式(4)闭合。依次检索各待定位线段方向,查找与 $o_m$ 邻近的方向 $o_n$ ,依逆时针顺序添加单位长度、方向为 $o_n$ 的辅助线段于其前(后)。得到 $o_n$ 的操作过程是:令 $o_n = o_{m\pm 1}$ ,若未找到此方向线段,则令 $o_n = o_{m\pm 2}$ 。环中各线段方向为原始路网方向的近似,必然不会同时缺少3个基本方向,因此,可检索到 $o_n$ 方向。

对于相邻的两条线段,若示意化后的线段方向相同或相反则会导致两线段重叠,影响示意化地图的易读性。通过添加辅助线段进行区分,对于环中重叠的相邻线段 $u$ 与 $v$ ,添加单位长度辅助线段 $h$ ,根据式(2),辅助线段 $h$ 的规范方向可由下式计算得出:

$$o(h) = \begin{cases} o(v) - \frac{\pi}{2}, & |o(v) - o(u)| = \pi \\ o(v) + \frac{\pi}{2}, & o(v) = o(u) \end{cases} \quad (5)$$

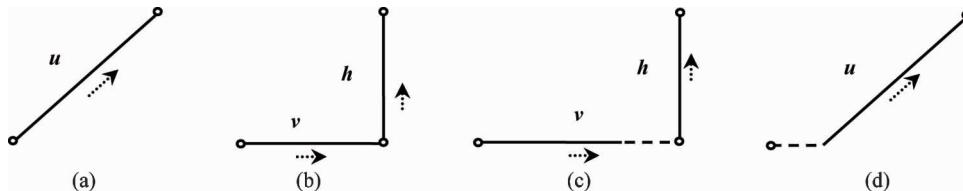


图 6 斜向线段长度校正

图 7(a)~(d) 所示多段同向斜向线段相连可能带来多段附加线段,影响示意美观。为避免此情

况,首先对斜向线段进行合并,如图 7(e)~(f) 中首先将 $u$ 、 $v$ 合并为 $h$ ,调整 $h$ 的长度,再将 $h$ 分割还原

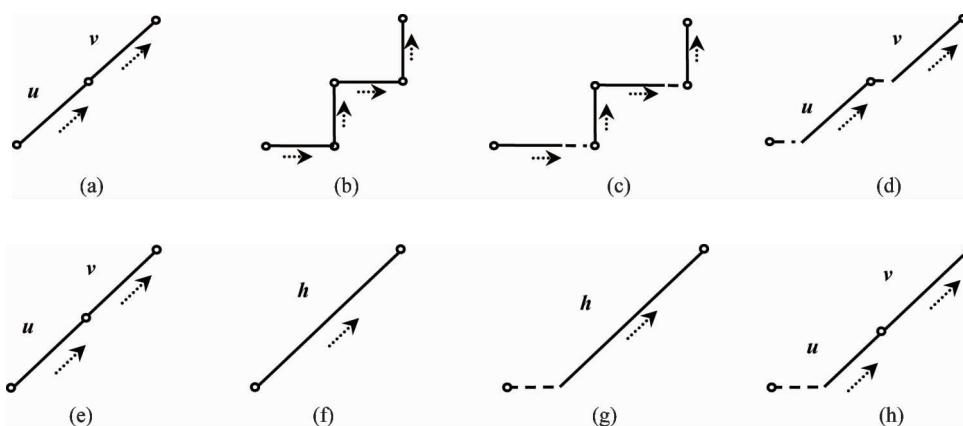


图 7 多段斜向线段长度校正

线段重叠处理如图 5 所示。

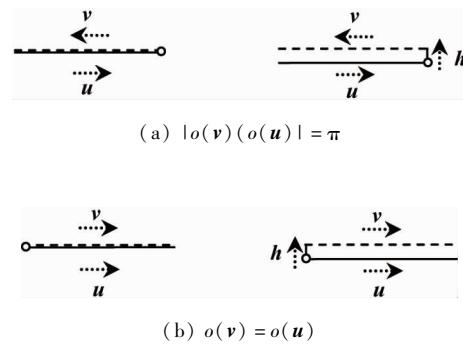


图 5 线段重叠处理

规定已定位结点、线段的位置不能改变,调节待定位结点、线段的位置,使其满足式(4)。由于斜向线段会同时影响 $x$ 与 $y$ 方向长度,为方便计算,首先将其拆分,如图 6 中将斜向线段 $u$ 拆分为水平线段 $v$ 与竖直线段 $h$ (图 6(b)),然后分别调整长度(图 6(c)),使其满足(4)式,再还原线段 $u$ 的方向(图 6(d))。

$\mathbf{u}, \mathbf{v}$ , 如图 7(g)、(h) 所示。(1)  $x$  方向与  $y$  方向线段是相互独立的, 为维持线段间相对长度关系, 对于  $x$  方向线段(或  $y$  方向线段)采取放大总长度较小方向各待定位线段长度, 使其与相对方向长度相等; (2) 为维持同方向线段之间的相对长度关系, 等比例放大或缩小同方向各待定位线段长度。

依照以上方向与长度约束, 自  $p_j$  起依次定位  $\mathbf{P}_{\text{unloc}}$  各结点, 计算式如下:

$$\begin{aligned} p_k \cdot x &= p_{k-1} \cdot x + \cos(o(p_{k-1}p_k)) \times \text{len}(p_{k-1}p_k), \\ p_k \cdot y &= p_{k-1} \cdot y + \sin(o(p_{k-1}p_k)) \times \text{len}(p_{k-1}p_k), \\ k &= j, \dots, n, p_k \in \mathbf{P}_{\text{unloc}} \end{aligned} \quad (6)$$

式中, 当  $k=j$  时,  $k-1=a$ 。环闭合方法可以保证单环内拓扑一致, 避免单环内拓扑冲突。

### 3.4 环间几何约束

单环闭合过程可能会引起环间拓扑冲突, 图 8 是满足单环闭合几何约束的环  $r_j$  示意图, 其待定位线段集  $\mathbf{L}_{\text{unloc}} = \{(a, p_j), \dots, (p_{j+9}, b)\}$ , 若同时放大线段  $(a, p_j)$  与  $(p_{j+1}, p_{j+2})$ 、 $(p_{j+2}, p_{j+3})$ , 环  $r_j$  仍是闭合的, 但随着线段长度增加, 环形状扩张, 会与其它已定位环重叠。因此, 必须对示意化环的形状进行环间约束。

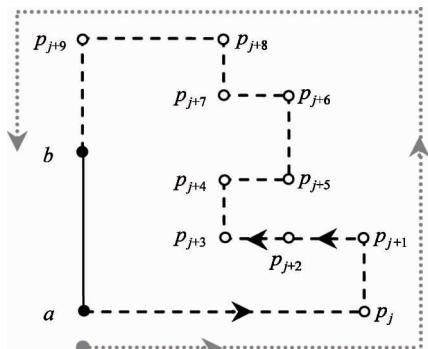


图 8 环间几何约束

若环的待定位线段集中, 同时具有对应方向( $x+$ 与 $x-$ 、 $y+$ 与 $y-$ )的线段, 则可引起环间拓扑冲突。观察可知,  $x$  方向形状被  $y$  方向线段序列限制, 如图 8 中线段  $(p_j, p_{j+1})$ 、 $(p_{j+3}, p_{j+4})$ 、 $(p_{j+5}, p_{j+6})$ , 特点是线段序列前后相邻线段  $x$  方向相反, 称其结点  $p_j, p_{j+1}, p_{j+3}, p_{j+4}, p_{j+5}, p_{j+6}$  为 I 类  $x$  方向约束点; 同样  $y$  方向被  $x$  方向线段序列限制, 如图 8 中线段

$(p_{j+8}, p_{j+9})$ , 特点是线段序列前后相邻线段  $y$  方向相反, 称结点  $p_{j+8}, p_{j+9}$  为 I 类  $y$  方向约束点。值得注意的是, 点  $p_{j+2}$  不属于 I 类  $x$  方向约束点, 但若其具有不属于待定位环的未定位相邻线段, 也可能引起环间拓扑冲突, 称其为 II 类  $x$  方向约束点, 特点是前后相邻线段  $x$  方向相同且具有未定位相邻线段; 同理, II 类  $y$  方向约束点的特点是前后相邻线段  $y$  方向相同且具有未定位相邻线段。记 I 类  $x, y$  方向约束点集合分别为  $\mathbf{P}_{\text{lx}}, \mathbf{P}_{\text{ly}}$ , II 类  $x, y$  方向约束点集合分别为  $\mathbf{P}_{\text{llx}}, \mathbf{P}_{\text{lly}}$ 。

根据已定位结点坐标, 对约束点坐标予以纠正以约束示意化环。随着示意化过程的进行, 已定位结点会越来越多。记当前已定位环集合  $\mathbf{R}'$  的外边界为  $\text{outline}$ ,  $\mathbf{R}'$  内部各点位置受限于  $\text{outline}$  上各点。自点  $a$  起沿顺时针方向排列  $\text{outline}$  上各结点记作  $\text{outline}_a$ , 自点  $b$  起沿逆时针方向排列  $\text{outline}$  上各结点记作  $\text{outline}_b$ , 依次检索  $\text{outline}_a, \text{outline}_b$  上各结点, 并加入影响结点集合  $\mathbf{P}_{\text{aff}}$ , 直至  $\mathbf{P}_{\text{aff}}$  坐标域能够完全覆盖当前环  $r_i$  的映射区域与映射空间的交集,  $\mathbf{P}_{\text{aff}}$  即为当前环的最小影响点集合。记  $\mathbf{P}_{\text{aff}}$  中具有未定位线段的结点所构成子集合为  $s\mathbf{P}_{\text{aff}}$ 。

环间拓扑冲突有两类情况: (1) 待定位环与已定位环重叠; (2) 待定位结点与已定位结点关系不正确, 导致与后续示意化线段错误相交。由于示意化路网中结点、线段相对位置与原始路网并非完全一致, 不能完全依照结点的原始位置关系来约束示意化后的环, 针对潜在的拓扑冲突, 以影响结点为基准对相对位置关系错误的约束结点位置进行纠正。I 类约束点可能引起(1)、(2)两类拓扑冲突, 而 II 类约束点仅会引起(2)类拓扑冲突, 定义环间约束为: (1)  $\mathbf{P}_{\text{lx}}$  各点与  $\mathbf{P}_{\text{aff}}$  各点的  $x$  方向相对位置关系不违背,  $\mathbf{P}_{\text{ly}}$  各点与  $\mathbf{P}_{\text{aff}}$  各点  $y$  方向相对位置关系不违背; (2)  $\mathbf{P}_{\text{llx}}$  各点与  $s\mathbf{P}_{\text{aff}}$  各点  $x$  方向相对位置关系不违背,  $\mathbf{P}_{\text{lly}}$  各点与  $s\mathbf{P}_{\text{aff}}$  各点  $y$  方向相对位置关系不违背。更加具体地, 对于约束点  $i$  与影响点  $j$ , 若  $(i.x - j.x) \times (i'.x - j'.x) < 0$ , 则示意化后两点  $x$  方向相对位置关系错误, 调整示意化路网中  $x$  方向线段长度, 使  $i'.x = j'.x$ ; 若  $(i.y - j.y) \times (i'.y - j'.y) < 0$ , 则示意化后  $y$  方向相对位置关系错误, 调整示意化

路网中  $y$  方向线段长度,使  $i'.y = j'.y$ 。线段长度调整亦遵循 3.3 中准则,并优先调整与点  $i$  较邻近的线段。

### 3.5 悬挂线段定位

在示意化路网主体基础上依次定位悬挂线段,完成路网整体的示意化。基本过程为遍历悬挂线段集合  $\mathbf{L}$ ,对于任意  $l_i(l_i = (p_i, p_j), l_i \in \mathbf{L})$ ,若点  $p_i$ (或点  $p_j$ )已定位,则依照约束线段方向、长度定位点  $p_j$ (或点  $p_i$ )。

示意化网络中环及悬挂线段的空间位置为地理空间网络的近似,因此,一般情况下示意化悬挂线段不会与已定位环交叉。若悬挂线段与已定位环交叉,则约束悬挂线段长度为不产生交叉的最大长度。

### 3.6 算法实现

形式化描述结点、线段与环为如下数据结构。

```
class point
{
    double x,y;//点坐标
    integer a_num;//相邻点(线段)个数
    integer a_p1, a_p2, ..., a_p_a_num;//相邻各点 ID
    integer a_l1, a_l2, ..., a_l_a_num;//相邻各线段
}

class segment
{
    integer start_point, end_point; //线段起点、终点 ID
}

class ring
{
    integer p1, p2, ..., pn; //组成环各点 ID
    integer a_ring1, a_ring2, ..., a_ring_n;//相邻各环 ID
}

输入:路网数据
输出:路网示意化地图
```

[1]根据式(2)与式(3),约束各线段方向与长度;

[2]迭代分离相邻线段点个数为 1 的结点及其相邻线段得到悬挂线段集合  $\mathbf{L}$ ;

[3]遍历定位环集合  $\mathbf{R}$  中所有环,对于  $\forall r_i \in \mathbf{R}$ ;

[3.1]依据式(4)–(6)定位  $r_i$ ,记录已示意化环  $r'_i$ ,并置于  $\mathbf{R}'$  中,  $\mathbf{R}' \leftarrow r'_i$ ,得到  $r'_i$  外轮廓  $outline$ ,自  $\mathbf{R}$  中删除  $r_i$ ;

[3.2]获取  $outline$  的相邻环集合  $\mathbf{R}_a$ ,  $\mathbf{R}_a \subseteq \mathbf{R}$ ;

[3.3]对于  $\forall r_j \in \mathbf{R}_a$ ,根据式(4)–(6)定位  $r_j$  为  $r'_j$ ,置于  $\mathbf{R}'$  中,  $\mathbf{R}' \leftarrow r'_j$ ,用  $r'_j$  更新  $outline$ ,自  $\mathbf{R}_a$  中删除  $r_j$ ;

[3.4]重复[3.3]直到  $\mathbf{R}_a$  为空,自  $\mathbf{R}$  中删除  $\mathbf{R}_a$ ;

[3.5]重复[3.2]–[3.4],直到  $\mathbf{R} = \emptyset$ ;

[4]遍历定位集合  $\mathbf{L}$  中所有悬挂线段,对于  $\forall l_i \in \mathbf{L}$ :

[4.1]  $l_i = (p_i, p_j)$ ,如果点  $p_i$  已定位或点  $p_j$  已定位,那么定位  $l_i$  为  $l'_i$ ,

[4.2]将  $l'_i$  置入  $\mathbf{L}'$ ,  $\mathbf{L}' \leftarrow l'_i$ ,自  $\mathbf{L}$  中删除  $l_i$ ;

[4.3]重复[4.1]–[4.2],直到  $\mathbf{L} = \emptyset$ ;

[5]输出  $\mathbf{R}'$  与  $\mathbf{L}'$ 。

## 4 对比试验与分析

本文示意化算法在 Matlab 环境下实现。试验数据为昆明市二环内道路数据,如图 9 所示。原始数据共有 1140 条线段,分离悬挂线段 99 条,提取得环结构 358 个。图 10 为本文算法示意化结果。虽然在开发环境上有所差异,相较于迭代移位算法每次迭代约耗时 1.5s,有效示意化一幅地图需要约 200 次迭代<sup>[11]</sup>。本文算法完成上述昆明市路网的示意化地图生成所用平均时间为 4.8s。在算法时间效率方面,本文算法明显优于迭代移位算法。



图 9 昆明市二环内道路数据

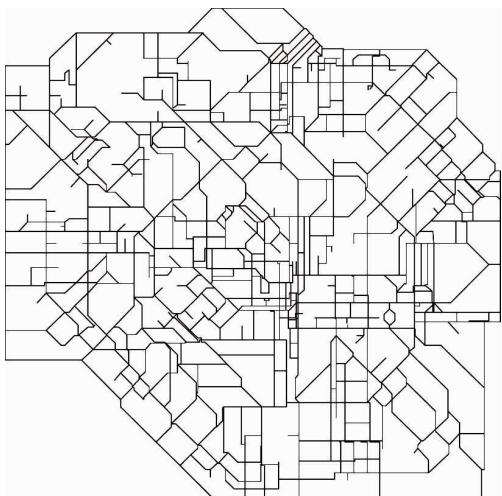


图 10 本文算法示意化结果

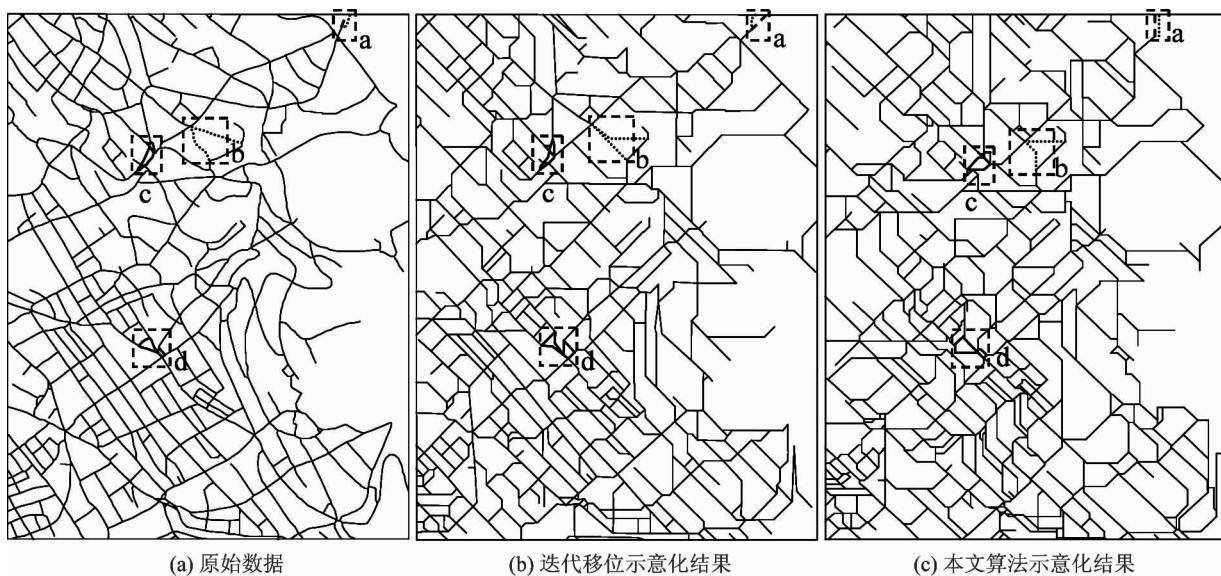
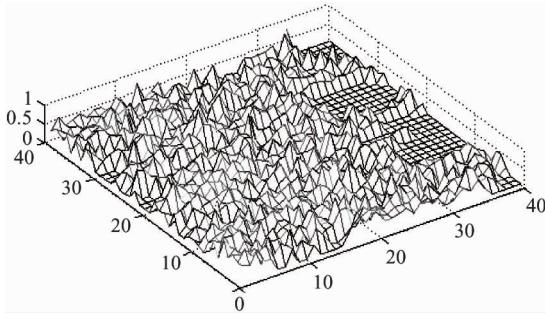


图 11 与迭代移位算法示意化结果对比

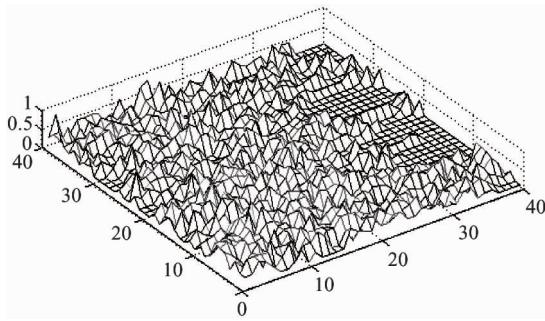
将 Avelar 试验数据(文献[10]中图 6,位图形式)矢量化,如图 11(a)所示,进行对比试验,图 11(b)为 Avelar 的迭代移位算法示意化结果,图 11(c)为本文算法示意化结果。(1)原始数据中,框 a 中点线段在虚线段右侧方向,由于约束的缺失,迭代移位算法示意化结果中点线段位于虚线段左侧,两线段相对位置关系错误。本文算法约束意化方向为其原始方向的近似,避免了此类错误。(2)框 b 中,迭代移位算法将两条点线段示意化为同一方向,导致线段挤压在一起,未被有效示意化。本文算法在数据预处理对线段方向进行优化,在环闭合阶段对重叠线段进行处理,能够确保方向规范无冲突。(3)迭代移位算法无法很好的处理框 c,d 所示局部复杂结构,在不同结点最优化位置相互冲突或是空间位置不足时便无法将结构完全示意化。而本文算法严格限定线段方向并通过添加辅助线段确保环的闭合,通过环间约束避免环间拓扑冲突,以相对位置关系而非原始坐标约束结点、线段可以更好地处理局部复杂结构。(4)本文算法是非迭代算法,避免了迭代移位算法中长度变形随迭代次数增大的问题。以上说明本文算法在路网局部示意化调节上强于迭代移位算法。

使用 Matlab 读取图 11 中(a)~(c)三幅图像,得到图像矩阵数组,矩阵元素表示图像像素灰度值。将矩阵行、列 40 等分,统计各区域内像素灰度不为

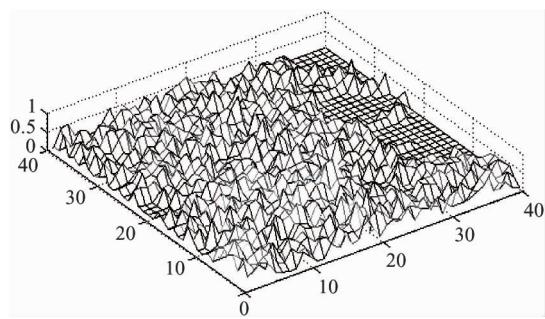
0 的点数目，并归一化，得到分布结果如图 12 所示。迭代移位算法基于方向约束在结点邻近空间寻找可接受的示意化结果，本文算法基于环结构，使用环自身拓扑结构与环间相对位置关系约束示意化过程，空间分布对比结果说明本文算法与迭代移位算法具有相近的路网整体示意化调节能力，示意化结果与原始图像均保持较高的相似形态。



(a) 原始路网分布



(b) 迭代移位示意化结果分布



(c) 本文算法示意化结果分布

图 12 网络图形空间分布对比

## 5 结 论

针对现有迭代移位算法无法有效示意化路网与效率不高的问题，提出以环为基本单位的约束算法。试验结果表明，本文算法能够较好地保持原始网络

结构，利用环内/环间几何约束有效限制拓扑冲突；严格限制线段示意化方向与长度，使线段能够得到有效示意化；具有较为普遍的适用性，能够适用于局部复杂结构；避免迭代过程，时间效率较之迭代移位算法有着数量级的提升。

本文提出的示意化算法虽然可以部分地解决现存算法的缺陷，但仍有不足，从示意化结果可以看出算法对于示意化后水平方向或竖直方向的线段效果虽然较好，但对于示意化后呈斜向的线段存在线段冗余，导致部分区域示意化结果不够简洁。

## 参 考 文 献

- [ 1 ] Morrison A. Public transport maps in western european cities. *The Cartographic Journal*, 1996, 33(2): 93-110
- [ 2 ] Ovenden M. Metro Maps of The World. London: Capital Transport, 2003
- [ 3 ] Wolff A. Drawing subway maps: A survey. *Informatik-Forschung und Entwicklung*, 2007, 22(1): 23-44
- [ 4 ] Nöllenburg M, Wolff A. Drawing and labeling high-quality metro maps by mixed-integer programming. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 2011, 17(5): 626-641
- [ 5 ] Nöllenburg M. Automated Drawing of Metro Maps: [ Ph. D dissertation ]. Karlsruhe: Universität Karlsruhe, Fakultät für Informatik, 2005
- [ 6 ] Cabello S, DeBerg M, Van Kreveld M. Schematization of networks. *Computational Geometry*, 2005, 30(3): 223-238
- [ 7 ] Cabello S, Van Kreveld M. Schematic networks: an algorithm and its implementation. In: Proceedings of the 10th International Symposium on Spatial Data Handling, Ottawa, Canada, 2002. 475-486
- [ 8 ] Avelar S, Müller M. Generating topologically correct schematic maps. In: Proceedings of the 9th International Symposium on Spatial Data Handling, Beijing, China, 2000. 28-35
- [ 9 ] Avelar S. Schematic Maps On Demand: Design, Modeling and Visualization: [ Ph. D dissertation ]. Zurich: Swiss Federal Institute of Technology, 2002
- [ 10 ] Avelar S. Convergence analysis and quality criteria for an iterative schematization of networks. *Geoinformatica*, 2007, 11(4): 497-513

- [11] Mark W J, Taylor G E, Anand S, et al. Automated production of schematic maps for mobile applications. *Transactions in GIS*, 2006, 10(1): 25-42
- [12] Stott J M, Rodgers P, Martinez-Ovando J C, et al. Automatic metro map layout using multicriteria optimization. *IEEE Transaction on Visualization and Computer Graphics*, 2011, 17(1): 101-114
- [13] Stott J M. Automatic Layout of Metro Maps Using Multicriteria Optimization[ Ph. D dissertation]. Canterbury: University of kent, 2008
- [14] 董卫华, 郭庆胜, 刘纪平等. 道路网示意性地图的渐进式综合研究. 武汉大学学报(信息科学版), 2007, 32(9):829-832
- [15] 董卫华, 李志林, 郭庆胜. 基于动态分段的道路网示意性地图模型综合. 武汉大学学报(信息科学版), 2010, 35(8):892-895

## A ring constraints algorithm for road network schematic maps

Li Jiatian, Zhang Lan, Li Xiankai, Li Yingyun, Luo Fuli

(Faculty of Land Resources Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093)

### Abstract

Based on the study of the principle and performance of the iterative shifting algorithm, the main method to construct the schematic map for road networks with its core of the consistency of iteration process' post topological test, a new non-iterative algorithm for schematic map construction, called the ring constraint algorithm, was presented to avoid the iterative shifting algorithm's problem of incapable of effective achieving schematic roads due to the abnormality of road network constraints caused by lacking the whole and local space backtracking processes and the incompleteness of the post topology test set. The algorithm uses the ring as the unit of the network, poses all rings based on the adjacency order and limits the potential topological conflicts by geometry constraints, thus its performance is improved. The experimental results show that, compared with the iterative shifting algorithm, the proposed algorithm can take into account of the line angle as well as length constraints, can effectively suppress topological conflicts, and can be used for generation of large-scale road network schematic maps since it is fast and has no iterative process.

**Key words:** road Network, schematic map, ring, geometry constraints, non-iterative algorithm