

# 基于动态分段的道路网示意性地图模型综合

董卫华<sup>1,2</sup> 李志林<sup>2</sup> 郭庆胜<sup>3</sup>

(1 北京师范大学地理学与遥感科学学院,北京市海淀区新街口外大街 19 号,100875)  
(2 香港理工大学土地测量与地理资讯学系,香港九龙红磡)  
(3 武汉大学资源与环境科学学院,武汉市珞喻路 129 号,430079)

**摘 要:**针对传统弧段-结点模型不能完整有效地表达道路网的几何与属性特征,提出了基于动态分段的道路网示意性地图综合模型。即按照道路网属性一致性、图形延续性等原则组织道路网路径实体,以完整路径线状实体为单元,采用基于路径的道路网图形简化、移位一体化处理方法,实现道路网地图快速示意化。实验对比分析结果表明,基于动态分段的道路网示意性地图表达更加清晰、有效。

**关键词:**动态分段;示意性地图;道路网;制图综合

**中图法分类号:**P283.1; P208

随着城市化进程的加快,很多城市建立了广泛的公共交通体系,包括地铁、火车、汽车路网。在复杂的交通网络系统中,如何通过方便、快捷的地图可视化工具进行道路导航、路线寻址,已经成为人们十分迫切的需求。示意性地图以概略的表达方式显示道路网最主要的信息,非常适宜移动导航终端小屏幕地图的可视化表达,能够帮助用户快速、有效地进行道路导航、路线寻址。针对道路网示意性地图的设计与制作,国内外学者进行了相关的研究<sup>[1-4]</sup>。这些研究都是采用弧段-结点模型的道路网静态分段方法,这种方法依据属性差异或拓扑关系将一个线状特征分割成多个相互独立的弧段分别存储,不利于对线状要素作为一个整体进行简化、移位、旋转等操作,容易产生小锯齿现象,简化效果有待于进一步提高。另外,以上研究都采用先简化后移位的两步策略,没有将简化与移位进行一体化处理,降低了道路网示意性地图自动综合的效率。本文提出了基于动态分段的线状要素简化与移位一体化处理模型,按照道路网属性一致性、几何连通性等原则组织道路路径,在此基础上,以完整路径线状实体为单元,顾及路径等级、长度等指标,采用基于路径的道路网图形简化方法。

## 1 基于动态分段的路径组织方法

空间认知心理学与经验研究表明<sup>[5]</sup>,用户往往按照与现实世界一致的路线图进行道路导航和路线寻址。有效的导航路线图要清楚表达道路的主要信息,如道路名称、属性、关键地标以及拐弯点。而静态分段的道路网组织方法无法有效完整地表达路径的几何与属性特征,无法处理弧段与特征之间一对多的关系。由 Fletcher<sup>[6]</sup>提出的动态分段思想不是在线状要素沿线某属性发生变化的地方进行物理分段,而是将属性的沿程变化存储为独立的属性表(事件属性表),在显示和分析过程中直接依据事件属性表中的距离值对线状要素进行动态逻辑分段。动态分段是将储存在表中的线性参考数据与线性要素联系起来,并在地图上显示的过程<sup>[7,8]</sup>。动态分段模型使用路径实体将道路等线状特征作为整体进行描述,使用事件描述线状要素各种属性的沿程变化或者各种现象在线状要素沿线的分布。路径是一个定义有属性的线状特征,如道路有等级、宽度、路面铺装等属性。路径由段组成,而段对应着一个弧段或者弧段的一部分,即段的起止点不一定与弧段的

起止点正好一致。

本文基于动态分段模型,依据路段名称、类型、等级属性进行道路实体的组织,并辅以道路网几何延续性指标,将延续性好的同类型/等级道路

合并为一个道路实体(路径),建立不同等级的道路实体。构造道路实体的依据是道路属性(名称、等级)一致性、相对重要性和道路的延续性,如图 1(c)所示。

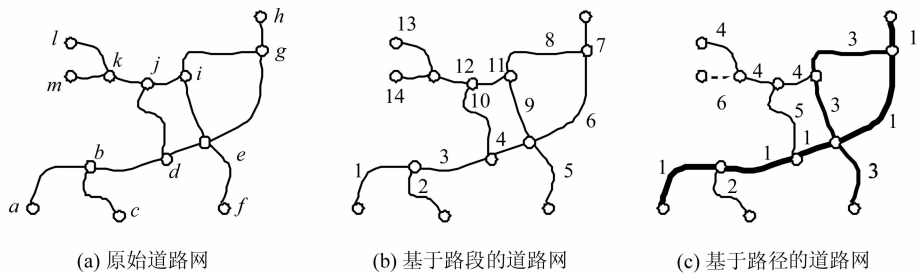


图 1 基于路径的道路网数据组织  
Fig. 1 Road Network Model Based on Routes6

2 基于路径的道路网示意性地图模型综合

2.1 规则

1) 拓扑关系一致性规则(如图 2 所示)。与拓扑地图一样,示意性道路网地图也必须保持综合前后拓扑关系的一致性。在图形简化、角度综合以及长度综合过程中,图形的变形程度较大,容易产生丢失交叉点、错误交叉点以及相对位置关系改变等引起拓扑关系不一致的问题。

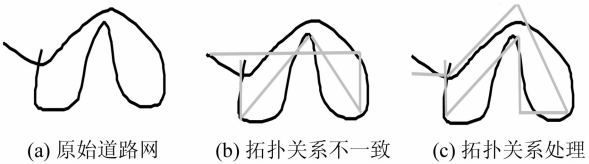


图 2 拓朴关系处理  
Fig. 2 Topological Consistent

2) 角度简化规则(如图 3 所示)。为获得清晰规则的地图,尽可能将所有路段的方位归为水平、竖直或者对角线方向,同时避免几个路段同时归化到同一方位引起角度冲突。在实际应用中,往往按照道路的等级、长度等规则,优先处理高等级道路。

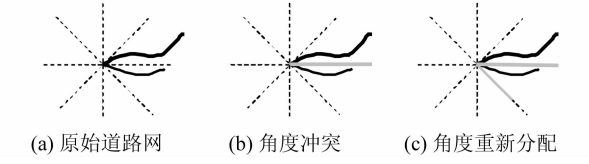


图 3 角度简化  
Fig. 3 Angel Simplification

3) 长度简化规则(如图 4 所示)。为在较小

视野范围内最大限度地表现路线信息,要对所有路段作不同比例尺伸缩,使所有路段都清晰可见,且易标注。这种简化地图通常不注重路段的准确长度,而只关注路段间的长度相对关系。简化操作原则是路段之间的相对长短关系在简化前后不发生改变,而且尽可能保持原路线的大致形状。

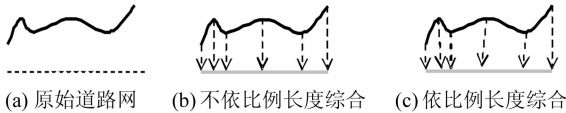


图 4 长度简化  
Fig. 4 Length Simplification

2.2 基于路径的道路网示意性模型

与传统的基于路段移位方法不同,这里采用基于路径的线状要素简化、移位整体的处理方法。为了使简化后路径的方位尽可能逼近原始路段方位,本文提出了一种新的路径方位计算方法,既考虑路径中每条路段的方位,也考虑每条路段的长度,按式(1)计算每条路径的方位(如图 5 所示, $x$ 轴正方向为  $0^\circ$ ,以  $x$  轴为基线,以逆时针方向计算直线段(或路段)的旋转角,并把此角作为方位):

$$\alpha_{route} = \sum_{k=1}^{n-1} l_k * \alpha_k / \sum_{k=1}^{n-1} l_k \tag{1}$$

其中, $\alpha_k$ 为路径实体中每条路段的原始方位; $l_k$ 为路段长度; $\alpha_{route}$ 为路径方位。

对于计算后的路径方位,依据角度简化原则,按照四方向、八方向优先级原则进行角度简化。即首先将道路方位简化成水平、垂直等四个方向, $RR_1 = \forall_{i \in \{0,2,4,6\}} \{ \alpha_{route} = i \times 45^\circ \}$ ;如果条件不允许,如产生拓扑冲突、角度冲突等特殊情况,可以增加对角斜线四个方向, $RR_2 = \forall_{i \in \{1,3,5,7\}}$

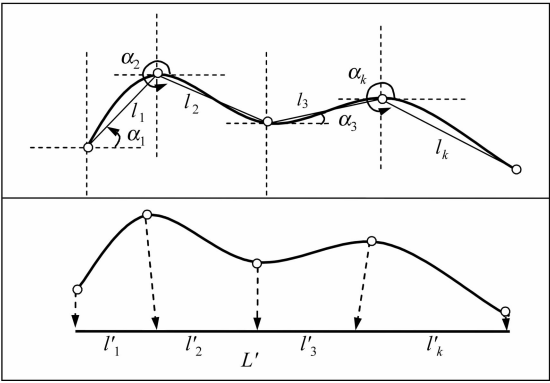


图 5 基于路径道路网地图示意化

Fig. 5 Schematic Road Network Based on Routes

$\{\alpha_{route} = i \times 45^\circ\}$ 。角度简化是根据路线的坐标方位角方向按照式(2)进行角度综合：

$$\alpha'_{route} = \begin{cases} \left\lceil \frac{\alpha_{route} + 45^\circ}{90^\circ} \right\rceil * 90^\circ, \alpha_{route} \in RR_1 \\ \left\lceil \frac{\alpha_{route} + 22.5^\circ}{45^\circ} \right\rceil * 45^\circ, \alpha_{route} \in RR_2 \end{cases} \quad (2)$$

其中， $\alpha_{route}$ 为路径计算后的方位； $\alpha'_{route}$ 为角度综合后的路径方位。

角度简化不仅提高了转向点处的清晰度，也为标注预留空间。针对角度简化过程中出现的角度冲突，即同一个顶点的几个路段同时归化到同一方位，根据用户设置的道路优先级，按照由高到低的顺序，优先归化高等级的路段，然后依次分配其他路段方位。对于计算后的路径长度以及各个路段长度，依据长度简化原则，按式(3)、式(4)对各路段进行长度简化，缩短长路段的同时加长短路段，同时保持其路段之间长度的相对关系不变

(如图 5 所示)：

$$L' = L * \cos(\alpha'_{route} - \alpha_{route}) \quad (3)$$

$$l_{k+1}/l_k = l'_{k+1}/l'_k \quad (4)$$

其中， $L_i$ 为原始路径长度； $L'_i$ 为调整后的路径长度； $l_k$ 、 $l_{k+1}$ 为原始路段长度； $l'_k$ 、 $l'_{k+1}$ 为调正后的各个路段长度。

2.3 算法实现

与 Douglas-Peucker<sup>[4]</sup>全局处理方法类似，本文采用由整体到局部的简化策略。首先采用动态分段路径组织方法，将基于路段的原始道路网数据集  $G = \{RE\}$  构建基于路径的道路网数据集  $\Omega = \{RS\}$ ，按照路径 RS 等级/长度的优先级由大到小排序，从等级最高、最长的路径开始，根据角度简化和长度简化算法进行简化计算，计算路径另一端点的新坐标值，并修正相关路径上所有顶点的坐标值。在简化过程中，为避免文献[1-3]中采用 Douglas-Peucker<sup>[9]</sup>进行图形简化容易产生拓扑关系不一致的问题，本文采用三角形检测法<sup>[4]</sup>进行拓扑冲突检测，即通过顶点  $v$  以及计算顶点和相邻两个顶点构建三角形  $\triangle v_{i-1} v_i v_{i+1}$ ，检查三角形  $\triangle v_{i-1} v_i v_{i+1}$  是否包含其他的顶点，或者该顶点和其相邻顶点形成的直线段  $\overline{v_{i-1} v_i}$  和  $\overline{v_i v_{i+1}}$  是否与其他线段相交。若无空间冲突，则直接进行简化计算，继续处理下一条未处理的路径，下一条路径的简化计算是在前一条路径简化结果的基础上；若有空间冲突，则在保证拓扑关系不变的情况下调整方位，计算新的点位，处理下一条未处理的路径。循环执行该过程，直到所有道路都计算完毕。算法过程如下：

```
输入: 原始道路网 G;
输出: 综合后的道路网 Ω ;
begin
  for each RE ∈ G do
    按照道路属性一致性、几何连通性原则构造路径集合 Ω = {RSi} ;
    按照路径等级由高到低、长度由长到短的顺序排序;
  While Ω ≠ φ do
    取出等级最高的路径 RS = max(Ω) ;
    该路径路段集合 RS = {REj | vj vj+1}
    for each v ∈ RS do
      路径角度计算 α(RSi)' ;
      路径长度计算 L(RSi)' ;
      if  $\overline{v_{j-1} v_j} \cap I = \phi$  and  $\overline{v_j v_{j+1}} \cap I = \phi$  and  $\Lambda(v) \cap \Delta(v_{j-1} v_j v_{j+1}) = \phi$  then
        路径上各个点位计算 vj ;
      Remove RSi from Ω ;
    end ;
```

3 实验分析

采用 Java 语言，设计和开发了面向移动终端

的示意性地图自动综合实验系统，取得了较好的综合效果。如图 6 所示，其中主要道路、次要道路、一般道路分别用粗线、细线和虚线表示。

实验中，基于路段的道路网示意性地图如图

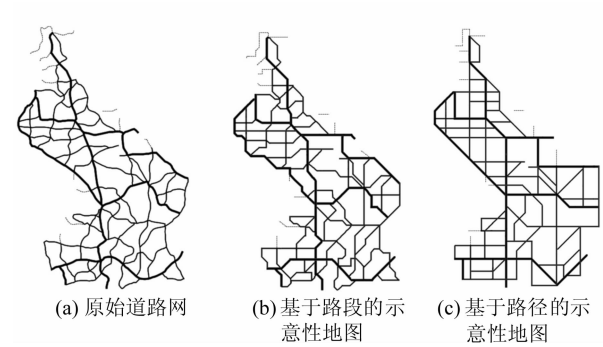


图 6 实验结果

Fig. 6 Experiment Results

6(b)所示,尽管比较接近原始道路网,容易产生锯齿状图形,简化程度不够。而基于路径的道路网示意性地图如图 6(c)所示,按照道路等级由高到低、路径长度由长到短的顺序,依据角度综合规则、长度综合规则以及拓扑关系一致性规则,将所有路段的方位尽可能调整为水平、垂直或对角线方向,使得用户任务相关的道路的认知信息以最大的清晰度展现在有限的屏幕上。另外,与参考文献[1-4]先简化后移位的两步处理方法相比,本文采用了简化与移位一体化的处理方法,提高了简化效率。

参 考 文 献

[1] Agrawala M, Stolte C. Rendering Effective Route Maps: Improving Usability Through Generalization

[C]. International Conference on Computer Graphics SIGGRAPH 2001, Los Angeles, C A, 2001

[2] Avelar S, M ller M. Generating Topologically Correct Schematic Maps [C]. The 9th International Symposium on Spatial Data Handling, Beijing, China, 2000

[3] Ware J M, Anand S, Taylor G E, et al. Automated Production of Schematic Maps for Mobile Applications [J]. Transactions in GIS, 2006, 10(1): 25-42

[4] 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[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2007, 32(9): 829-832

[5] Klippel A. Conceptualizing Wayfinding and Route Direction Elements [D]. Jacobs: Universät Bremen, 2003

[6] Fletcher D. Modeling GIS Transportation Networks [C]. URISA Proceedings, Washington D C, 1987

[7] 张青年. 线状要素的动态分段与制图综合[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2004, 43(2): 500-504

[8] 郭鹏,陈晓玲. GIS-T 中时空动态分段及其对交通事件的表达[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2008, 33(4): 422-425

[9] Douglas D H, Peucker T K. Algorithms for the Reduction of the Number of Points Required to Represent a Digitized Line or Its Caricature [J]. The Canadian Cartographer, 1973, 10(2): 112-122

第一作者简介:董卫华,副教授,博士,研究方向为地图自动综合与空间数据多尺度表达理论与应用。  
E-mail: dongweihua@bnu. edu. cn

Automated Model Generalization of Schematic Network Maps  
Based on Dynamic Segmentation

DONG Weihua<sup>1,2</sup> LI Zhilin<sup>2</sup> GUO Qingsheng<sup>3</sup>

(1 Institute of Geography and Remote Sensing, Beijing Normal University, 19 Xijiekouwai Street, Haidian District, Beijing 100875, China)

(2 Department of Land Surveying and Geo-Informatics, Hong Kong Polytechnic University, Kowloon, Hong Kong, China)

(3 School of Resource and Environment Science, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

**Abstract:** Lines do not represent the routes completely and effectiveness based on arc-node model. In this paper, a new model generalization of schematic network maps based on dynamic segment is proposed. Routes are constructed according to the road segment attribute similarity and geometry continuous. Based on route networks, a new method comprising shapes simplification and displacement is proposed to schematize road network quickly. A case study for schematic map was carried out and analyzed. Initial experimental studies show that this approach is more effective in evidence on making features maximum clearly on screen.

**Key words:** dynamic segment; schematic maps; road networks; cartographic generalization