

DOI:10.13203/j.whugis20160094



文章编号:1671-8860(2018)06-0965-06

# 顾及路网结构保持的城镇居民地自动综合

杨 好<sup>1</sup> 何宗宜<sup>1</sup> 陈华洋<sup>1</sup> 周转向<sup>1,2</sup> 樊 勇<sup>3</sup>

1 武汉大学资源与环境科学学院,湖北 武汉,430079

2 75711 部队,广东 广州,510515

3 信阳师范学院地理科学学院,河南 信阳,464000

**摘要:**以往居民地自动综合的研究多集中于建筑物的多边形化简,较少考虑到其与街区、道路网的联系。提出了顾及路网结构保持的城镇居民地自动综合模型,此模型包含道路选取和街区内部结构概括两方面。前者基于网眼密度并结合路划功能选取道路数据,用于街区合并;后者则主要涉及建筑物多边形化简,通过改进矩形差分组合方法,在原有面积阈值的基础上添加距离阈值,并提供新的分层化简思路。以 1:1 万地图数据到 1:5 万比例尺的自动综合实验验证了本文算法的可行性和有效性。

**关键词:**道路选取;网眼密度;Stroke;多边形化简;制图综合

**中图分类号:**P283

**文献标志码:**A

目前城镇居民地自动综合的成果主要有基于 Delaunay 三角网和 Voronoi 图模型算法、基于降维技术的街区综合及数学形态学方法等<sup>[1-6]</sup>。虽然这些方法在某些方面和环节具有一定的优势,但它们均缺乏对道路要素及道路网与街区相关性的考虑。

城镇居民地图形概括主要包括选取内部方位物、选取街道、概括街区内部结构、概括居民地外部轮廓形状、填绘其他说明符号等方面<sup>[7]</sup>。针对道路选取,相关学者做了大量的研究<sup>[8-11]</sup>,但是已有的选取方法通常只考虑道路这一单一要素<sup>[12-18]</sup>,忽视了与其他居民地要素的联系。道路网眼是道路网相互交错形成的闭合区块,一定程度上代表一个实际的街区,因此可以通过合并道路网眼来完成街区的合并。本文提出顾及路网结构保持的城镇居民地自动综合模型,基于道路网眼并结合路划功能<sup>[19-20]</sup>完成道路选取及街区合并,采用改进的矩形差分组合方法对建筑物多边形进行合并与化简。

## 1 道路网眼密度阈值

### 1.1 道路网眼类型

为保持道路网中不同区域的密度差别,将城

市道路网网眼分为主要路网网眼、次要路网网眼和内部道路网眼三类。主要路网网眼由主要路网构成,主要路网是道路系统中的骨架,由高(快)速路和主要道路所组成;次要路网网眼由次要路网构成,次要路网注重集散、服务和联系,由次要道路组成;内部道路网眼由内部道路网构成,内部道路网则是由内部道路和巷道组成。

### 1.2 道路网眼密度阈值的确定方法

为适应不同的道路网眼类型,本文通过分析样图综合前后相同密度下网眼个数的对比关系来确定其密度阈值。

以 1:1 万到 1:5 万比例尺的自动综合为例,实验选取福州市区两处道路网数据确定其网眼密度阈值。为验证该方法的可行性及适应性,图 1 中两处制图区域的道路网结构具有不同特征。区域 1 道路网呈网格状分布,道路大多相互垂直,且分布较为均匀。区域 2 道路网呈网格与辐射组合式分布,道路主要为三岔路口,且不同区域道路密度差异明显。

图 2 表示两处区域中次要路网网眼密度分布的对比关系。对区域 1,在密度值分布区间(0.032,0.070)内,每一密度值对应的网眼数目均是大比例尺多于小比例尺,而在区间(0.010,0.032)内则相反。这是因为大比例尺下密度大于

收稿日期:2016-03-14

项目资助:国家自然科学基金(41071290)。

第一作者:杨好,硕士,主要从事地图制图学与地理信息工程方面的研究。1262349491@qq.com

通讯作者:何宗宜,教授。zongyihe@tom.com

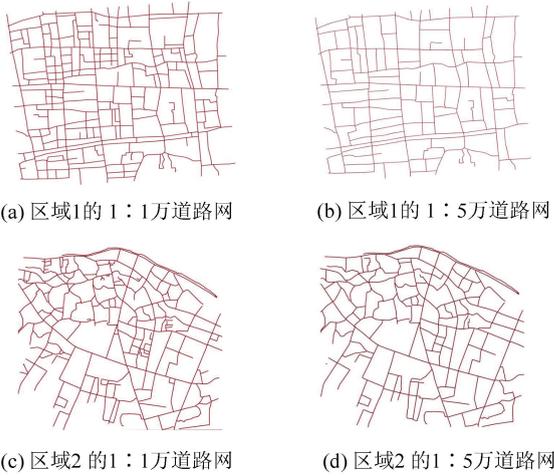


图1 综合前后的样图

Fig.1 Samples Before and After Generalization

0.032的网眼通过删除路段完成了合并,使得综合后小密度网眼增多。因此,可近似认为0.032是该区域次要路网网眼的密度阈值。同理,区域2的次要路网网眼密度阈值为0.031。此外,主要路网网眼分布状况在综合前后未发生改变,且综合后的路网极少保留内部道路网数据。本文在确定道路网眼阈值时,仅分析次要路网网眼的分布情况,对主要路网和内部道路网分别采取全部选取和全部舍弃的操作。

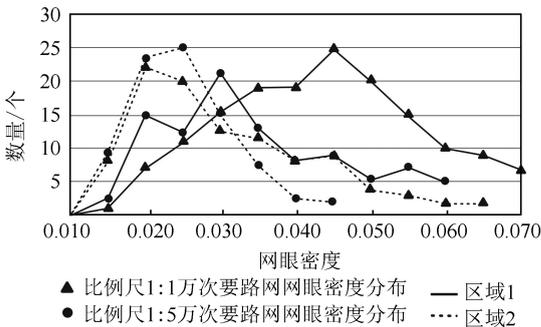


图2 次要路网网眼密度分布

Fig.2 Distribution of Secondary Road Network Mesh Density

## 2 道路网眼边界路段的取舍

### 2.1 路段的功能评价指标

对于密度大于阈值的网眼,通过删除网眼边界路段完成与邻接网眼的合并。以路段作为选取单元,对网眼边界上各路段的功能进行综合评价。综合评价选取长度、等级、网络中心度3项指标。

1)长度。相对长度系数 $L$ 定义为:

$$L = L_k / L_{max} \tag{1}$$

式中, $L_k$ 为路段所在路划长度; $L_{max}$ 为最长路划长度。相对长度反映了该路段所在路划的影响范围,其值在0~1之间。

2)等级。等级比率 $D$ 定义为:

$$D = D_k / D_{max} \tag{2}$$

式中, $D_k$ 为路段所在道路等级; $D_{max}$ 为道路最高等级。等级比率反映了道路等级的重要程度,其值在0~1之间。

3)网络中心度。相对网络中心度系数 $C$ 定义为:

$$C = C_k / C_{max} \tag{3}$$

式中, $C_k$ 为路段网络中心度; $C_{max}$ 为最大网络中心度。相对网络中心度反映了该路段在路网结构中所处的中心性地位,其值在0~1之间。

本文对路段功能的综合评价为:

$$W = L^\alpha \times D^\beta \times C^\gamma \tag{4}$$

式中, $W$ 为路段功能综合指标; $L$ 为路划的相对长度; $D$ 为路段的等级比率; $C$ 为相对网络中心度; $\alpha, \beta, \gamma$ 为经验参数,在本文实验中均取1。悬垂路段的取舍只考虑路段的语义和几何属性。

### 2.2 基于综合指标的路段取舍过程

当网眼密度超过阈值时,舍弃综合评价得分最小的路段,完成与邻接网眼的合并。具体步骤为:①记录道路网中所有网眼密度值,并从大到小排序。②提取密度值最大的网眼,舍弃综合评价得分最小的路段,完成与邻接网眼的合并。③判断合并后的网眼密度值是否超过阈值,若仍超过阈值,则加入待处理的网眼集,并重新排序。④重复步骤②和③,直到密度大于阈值的网眼均被处理,则结束。

## 3 概括街区内部结构

矩形差分组合方法在化简时仅考虑了凹部的面积大小,忽略了凹部的深度。建筑物多边形化简时经常会遇到比较狭长的凹部,虽然其面积大于设定的阈值,但在实际综合操作时应该被填充。

本文提出新的建筑物多边形化简方法。设距离阈值为 $\varphi$ ,在进行分解之前,逐一搜索多边形的每一条边,找到边长小于 $\varphi$ 的线段,将这些线段加入待处理线段集合,待处理线段分为Z型和U型。Z型处理线段:图3(a)中 $bc$ 线段长度小于阈值 $\varphi$ ,比较 $ab, cd$ 线段的长度,延长较长线段 $cd$ ,与 $ak$ 延长线相交于点 $b'$ ,用点 $b'$ 代替点 $b$ ,得到新的点集 $a, b', c, d$ 。U型处理线段:图3(b)中 $bc$ 线段长度小于阈值 $\varphi$ ,比较 $ab, cd$ 线段的长度,

延长较短线段  $cd$  的另一邻接边  $dk$  与  $ab$  交于点  $b'$ , 删除点  $b, c$ , 得到新的点集  $a, b', d$ 。

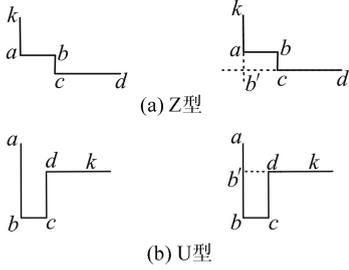


图 3 Z 型、U 型线段的处理方法

Fig.3 Approach to Z-type and U-type Line

当待处理线段集合为空时,对多边形进行分解。设填充空白区域的面积阈值为  $\omega$ ,当空白区域面积小于阈值  $\omega$  时,填充该空白区域;面积大于阈值  $\omega$  时,则进入到第 2 个层次的岛屿矩形拆分组合。

建筑物多边形的直角特征明显,在化简时,阶梯状线段的化简占据了很大比例。为提高自动综合效率,针对阶梯状线段的化简,提出了新的处理方法。实施步骤为:①将阶梯线段处理为宫格(图 4(a)为三阶阶梯状线段,图 4(b)为四阶阶梯状线段,分别对应九宫格和十六宫格);②由上至下标注每一个“台阶面”的上下两宫格(最高的“台阶面”只标注下方的宫格);③顺序搜索所有具有标号的宫格,找到面积最小的宫格  $E_i$ ,当  $E_i$  面积大于阈值  $\omega$  时,则化简结束;当  $E_i$  面积小于阈值  $\omega$  时,则根据  $E_i$  所处位置来处理,若  $E_i$  为空白域则进行填充,若  $E_i$  在建筑物多边形内,则与邻近空白域合并,台阶数减 1,并重新标号;④重复步骤 ③,直到最小宫格面积大于阈值  $\omega$  结束。图 4(a)中  $E_2$  面积最小,且小于阈值  $\omega$ ,则与  $E_1$  合并;图 4(b)中  $E_3, E_4$  面积均小于阈值  $\omega$ ,且  $E_3 < E_4$ ,则填充  $E_3$ ,台阶数降为 3,并重新标号。

### 4 实验及分析

为证明上述方法的可行性与有效性,本文基于 ArcGIS Engine 平台、使用 C# 语言开发了城镇居民地综合实验系统,选取福州市部分街区及道路网要素作为实验数据,进行 1:1 万综合到 1:5 万的实验。

#### 4.1 道路网及路划的构建

实验数据采用道路中心线的表达形式,提供道路的等级、名称、长度等基本属性信息,且具有良好的拓扑关系。在构建路划时,考虑了路段名

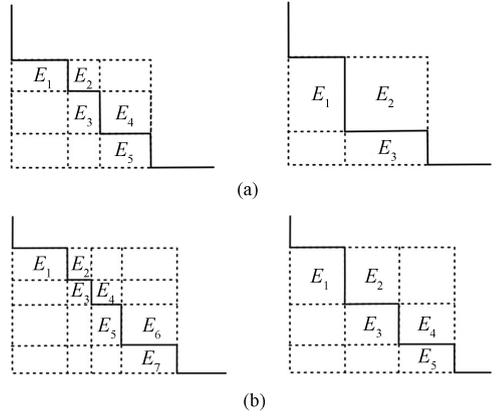


图 4 建筑物多边形的分层化简

Fig.4 Layered Simplification of Building Polygon

称和方向一致性,路段名称优先。Stroke 的构建过程如图 5 所示。

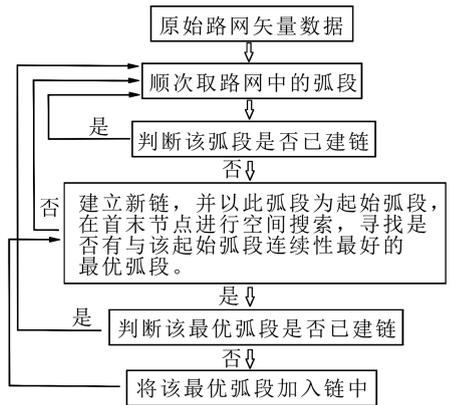


图 5 Stroke 构建流程图

Fig.5 Flow Chart of Stroke Construction

通过计算弧段夹角查找最优弧段,分析两连通路段连接处的夹角,若此夹角最小,且小于设定的阈值(本文夹角阈值为  $15^\circ$ ),则认为两条弧段属于同一条 Stroke。

#### 4.2 道路的选取

完成路网及路划的构建后,需要进行密度阈值估算。本文实验所选的两处制图区域为图 1 中区域 1 和区域 2,对应的密度阈值分别为 0.032 和 0.031。根据式(4)计算各个路段的综合指标值,循环剥离最大密度的网眼,渐进式地确定舍弃路段,完成与邻接网眼的合并,并删除图上长度小于 1 mm 的悬垂路段。

图 6 为区域 1 和区域 2 经过道路选取后的道路网。图中黑色线段为本文选取后较已有成果图缺少的道路,圆圈内为本文选取后多出的道路。表 1 为选取结果与已有综合结果的统计数据对比。综合图 6 和表 1,道路的选取结果具有以下特征:既未破坏道路网的连通性,又能兼顾路网与

街区的关联性;能够很好地保持道路网在拓扑、几何及语义等方面的重要特征;针对不同的城市路网结构类型,都能取得良好的综合效果。

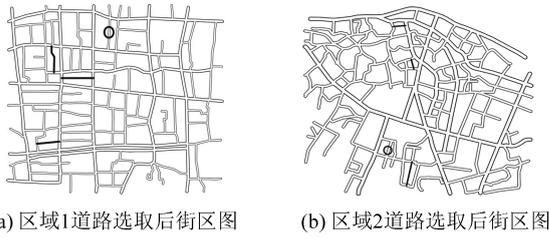


图6 道路选取后街区图

Fig.6 Road Maps After Road Selection

表1 自动选取与已有综合结果统计与对比

Tab.1 Comparison Between Automatic Selection and Existing Road Map

| 区域  | 道路总长度比 | 不同路段数/条 | 相同路段数/条 | 相同路段比例/% |
|-----|--------|---------|---------|----------|
| 区域1 | 99.04  | 4       | 115     | 96.64    |
| 区域2 | 99.68  | 4       | 143     | 97.73    |

### 4.3 街区内部结构的概括

图7为区域1和区域2内部多边形综合前后的对比图。图7(a)中多边形有一条狭长的“凹陷”(箭头指向处),该面积大于面积阈值,但“凹陷”宽度小于设定的距离阈值,因此对该“凹陷”进行填充。图7(b)中多边形为明显的阶梯状,第二级“台阶面”(箭头指向处)下方的宫格面积最小,且小于面积阈值,综合后“台阶”由3级降为2级。图7(c)中实箭头处“凹陷”深度小于设定的距离阈值,故对其进行填充,填充后的多边形虚箭头所指“台阶面”下方宫格面积最小,且小于面积阈值,则与邻近建筑区域合并。

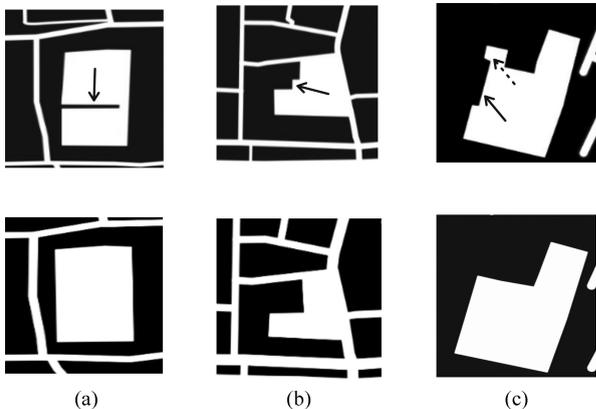


图7 综合前后多边形对比

Fig.7 Comparison of Polygon Before and After Generalization

### 4.4 综合结果对比分析

为了合理地评价综合结果,本文选取区域1道路网数据,将自动综合成图与人工综合图、数学形态学综合成图进行对比。图8(a)为利用本文方法综合后的1:5万街区图,图8(b)为人工综合成图,图8(c)为利用数学形态学方法综合成图。表2为综合结果对比,表中相似程度系数是将地图栅格化后进行像元的逐一对比,得到两幅图相同像元的比例。

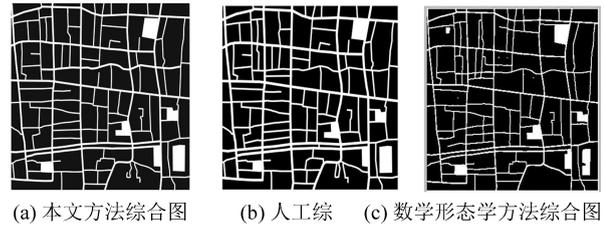


图8 3种方法的综合成果图

Fig.8 Results of Three Different Map Generalization

表2 三种方法综合结果统计与对比

Tab.2 Statistic Analysis of the Results Obtained from Three Generalization Methods

| 比较对象  | 相似程度系数 | 道路总长度/m | 相同路段比例/% | 建筑与非建筑面积比值 |
|-------|--------|---------|----------|------------|
| 图8(a) | 0.977  | 403 22  | 96.64    | 3.005      |
| 图8(b) | 1407   | 12      | 100      | 2.983      |
| 图8(c) | 0.958  | 401 24  | 89.17    | 3.297      |

通过分析图8及表2的统计数据发现,本文的综合方法具备以下特征:

1)与人工综合成图相比,相似程度系数达到了0.977,说明自动综合结果与人工综合成图的相似度高,两种成图方法结果基本一致;且与人工综合成图中建筑与非建筑面积的比值非常接近,说明综合结果能够正确地反映建筑面积与非建筑面积的对比。

2)与人工综合成图相比,相同路段的比例达到了96.64%,道路总长度比值为99.04%,道路未出现不连通的情况,说明道路的选取基本合理,综合后的街区图能很好地保持居民地道路网的功能结构(承担居民地内部通行及与外部的交通联系)、等级结构(以分别确定主要路网、次要路网和内部道路网网眼阈值的方法保证道路等级结构的合理性)、布局结构(针对不同类型的道路网进行综合验证)。

3)相比人工综合和数学形态学方法,该模型效率更高。利用数学形态学综合方法虽然程序运行时间短,但确定结构元素和基本运算的过程耗时较长,需要尝试不同的组合形式。

## 5 结 语

本文在道路网选取方法研究的基础上,提出了一种顾及路网结构保持的城镇居民地自动综合模型。实验分析表明,该模型综合效果良好,能够很好地保持城镇居民地道路网的连续性和网络特性,具有一定的实用价值。但是本文还存在一些不足之处:关于路段功能评价指标还存在着不确定性(如等级代码值的级差值分配是否合理,式(4)中  $L$ 、 $D$ 、 $C$  的权重难以确定);网眼密度阈值的确定较为复杂,每次综合都需要基于样图统计来完成,没有完整的数学模型确定密度阈值。未来将在这些方面作进一步研究。

### 参 考 文 献

- [1] Ai Tinghua, Guo Renzhong, Chen Xiaodong. Simplification and Aggregation of Polygon Object Supported by Delaunay Triangulation Structure [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2001, 6(7):703-709 (艾廷华,郭仁忠,陈晓东. Delaunay 三角网支持下的多边形化简与合并[J]. 中国图象图形学报, 2001,6(7):703-709)
- [2] Guo Renzhong, Ai Tinghua. Simplification and Aggregation of Building Polygon in Automatic Map Generalization[J]. *Journal of Wuhan Technical University of Surveying and Mapping*, 2000, 25(1): 25-30(郭仁忠,艾廷华. 制图综合中建筑物多边形的合并与化简[J]. 武汉测绘科技大学学报, 2000, 25(1):25-30)
- [3] Wang Huilian, Wu Fang, Zhang Linlin, et al. The Application of Mathematical Morphology and Pattern Recognition to Building Polygon Simplification [J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2005, 34(3):269-276(王辉连,武芳,张琳琳,等. 数学形态学和模式识别在建筑物多边形化简中的应用[J]. 测绘学报, 2005, 34(3):269-276)
- [4] Wang Guangxia, Yang Pei. Application of Mathematic Morphology in Uniting Blocks of Residential Area[J]. *Journal of Institute of Surveying and Mapping*, 2000, 17(3): 201-203 (王光霞,杨培. 数学形态学在居民地街区合并中的应用[J]. 测绘学院学报, 2000, 17(3):201-203)
- [5] Qian Haizhong, Wu Fang, Zhu Kumpeng, et al. A Generalization Method of Street Block Based on Dimension-reducing Technique[J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2007, 36(1):102-107(钱海忠,武芳,朱鲲鹏,等. 一种基于降维技术的街区综合方法[J]. 测绘学报, 2007, 36(1):102-107)
- [6] Wu Liang, Xie Zhong, Ye Zi. A Building Polygon Generalization Algorithm Under the Road Constraint [J]. *Geography and Geo-information Science*, 2009, 25(3):37-41(吴亮,谢忠,叶梓. 街网约束下的城市居民地自动综合算法[J]. 地理与地理信息科学, 2009, 25(3):37-41)
- [7] He Zongyi, Song Ying. General Map Complication [M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2015 (何宗宜,宋鹰. 普通地图编制[M]. 武汉:武汉大学出版社, 2015)
- [8] Tian Jing, Zhang Boyu, Yang Wenyu. Grid Pattern Recognition Based on Clustering of Self-organizing Maps[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2013, 38(11):1 330-1 334(田晶,张泊宇,杨雯雨. 对自组织映射聚类实现道路网网格模式识别[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2013, 38(11): 1 330-1 334)
- [9] Wu Xiaofang, Du Qingyun, Xu Zhiyong. Disposal of Spatial Conflict Between Roads and Buildings Based on the Multilevel Displacement Principles[J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2010, 39(6):649-654(吴小芳,杜清运,徐智勇. 多层次移位原则的道路与建筑物空间冲突处理[J]. 测绘学报, 2010, 39(6):649-654)
- [10] Chen Yumin, Gong Jianya, Yao Ming. Research on the Optimal Path Web Services in Distributed Multi-Level Road Network[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2008, 33(4): 384-387(陈玉敏,龚健雅,姚明. 分布式多级道路网的最优路径服务应用系统设计[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2008, 33(4):384-387)
- [11] Li Fei, Luan Xuechen. Automatic Topology Maintenance Approach for High-level Road Networks[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2014, 39(6):729-733(李飞,栾学晨. 高等级道路网的拓扑自动保持方法[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2014, 39(6):729-733)
- [12] Chen Bo, Wu Fang, Qian Haizhong. Study on Road Networks' Auto-selection Algorithms [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2008, 13(12):2 388-2 393 (陈波,武芳,钱海忠. 道路网自动选取方法研究[J]. 中国图象图形学报, 2008, 13(12):2 388-2 393)
- [13] Xu Zhu, Liu Caifeng, Zhang Hong, et al. Road Selection Based on Evaluation of Stroke Network Functionality[J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2012, 41(5): 769-776(徐柱,刘彩凤,张红,等. 基于路划网络功能评价的道路选取方法[J]. 测绘学报, 2012, 41(5): 769-776)
- [14] Guo Min, Qian Haizhong, Huang Zhishen, et al. Intelligent Road-network Selection Using Cases Based Reasoning [J]. *Acta Geodaetica et Carto-*

- graphica Sinica*, 2014, 43(7):761-770(郭敏,钱海忠,黄智深,等.道路网智能选取的案例类比推理法[J].测绘学报,2014,43(7):761-770)
- [15] He Zongyi. Elements and Methods of Model for Cartographical Data Processing[M]. Wuhan:Wuhan University Press, 2004(何宗宜.地图数据处理模型的原理与方法[M].武汉:武汉大学出版社,2004)
- [16] Qian Haizhong, Zhang Zhao, Zhai Yinfeng, et al. Road Selection Method Based on Character Recognition, Stroke and Polarization Transformation [J]. *Journal of Geomatics Science and Technology*, 2010, 27(5):371-374(钱海忠,张钊,翟银凤,等.特征识别、Stroke与极化变换结合的道路网选取[J].测绘科学技术学报,2010,27(5):371-374)
- [17] Wang Jiayao, Deng Hongyan. A Model of Cartographical Generalization Based on Genetic Algorithm [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2005, 30(7): 565-569(王家耀,邓红艳.基于遗传算法的制图综合模型研究[J].武汉大学学报·信息科学版,2005,30(7):565-569)
- [18] Hu Yungang, Chen Jun, Li Zhilin, et al. Selective Omission of Road Features Based on Mesh Density for Digital Map Generalization[J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2007, 36(3):351-357(胡云岗,陈军,李志林,等.基于网眼密度的道路选取方法[J].测绘学报,2007,36(3):351-357)
- [19] Thomson R C, Richardson D E. The Good Continuation Principle of Perceptual Organization Applied to the Generalization of Road Networks[C]. Proceedings of 19th International Cartographic Conference, Ottawa, CA, 1999
- [20] Jiang B, Claramunt C. A Structural Approach to the Model Generalization of an Urban Street Network [J]. *Geo-Information*, 2004, 8(2):157-171

## A Method for Automatic Generalization of Urban Settlements Considering Road Network

YANG Hao<sup>1</sup> HE Zongyi<sup>1</sup> CHEN Huayang<sup>1</sup> ZHOU Zhuanxiang<sup>1,2</sup> FAN Yong<sup>3</sup>

1 School of Resource and Environmental Sciences, Wuhan University, Wuhan 430079, China

2 75711 Troops, Guangzhou 510515, China

3 School of Geographic Sciences, Xinyang Normal University, Xinyang 464000, China

**Abstract:** Researchs on automatic generalization of urban settlements in the past, mostly concentrated on polygon simplification, neglecting the connection with road networks and blocks. This paper presents a method for automatic generalization of urban settlements considering road networks. The generalization is split into two components: road selection and generalization of features within blocks. Selective omission of road features is based on mesh density and evaluated on the function of road sections. An improved method based on rectangle differential model is applied to polygon simplification. Experimental results with data at the 1 : 10 000 scale achieved good effect.

**Key words:** road selection; road mesh density; Stoke; polygon simplification; cartographic generalization

**First author:** YANG Hao, master, specializes in the automatic cartographic generalization. E-mail: 1262349491@qq.com

**Corresponding author:** HE Zongyi, professor, E-mail: zongyihe@tom.com

**Foundation support:** The National Natural Science Foundation of China, No. 41071290.