

# 土地利用制图综合中的拓扑关系约束性规则

吴长彬, 孙在宏, 乔伟峰, 闫国年

(南京师范大学地理科学学院, 南京 210023)

**摘要:** 当前地图自动综合的理论与算法研究已经取得一定的进展, 空间拓扑关系对制图综合起到重要的制约作用。土地利用图主要包含图斑、线状地物、零星地类3类图形要素, 数据综合的工作量较大。本文结合土地利用现状图综合过程实践, 基于点集拓扑交模型的理论与方法, 讨论并分析如何根据图斑之间可能的拓扑关系(相离、点相接、外相邻、内相邻), 结合语义等约束条件, 选择合适的操作算子(如聚合、融合、退化等), 抽象出土地利用图中图斑、线状地物综合前后存在的一些拓扑关系约束性规则。研究成果可作为土地利用制图综合前后的拓扑关系检查的一项依据, 为综合算法的设计与实现提供一定的参考价值。后续的工作是: 进一步完善该规则与算法, 进行实验与应用。建议规则库与算法相分离, 以保持各自的灵活性和独立性。

**关键词:** 制图综合; 拓扑关系; 土地利用现状图; 规则

**DOI:** 10.3724/SP.J.1047.2013.00649

## 1 引言

制图综合是地图编制的一项重要内容, 例如, 将1:1万的土地利用现状图缩编成1:5万图, 数据综合的工作量大。土地利用现状图主要包含图斑、线状地物、零星地类3类图形要素。制图综合的操作算子包括简化(simplification)、光滑(smoothing)、聚合(aggregation)、融合(amalgamation)、合并(merge)、退化(collapse)、细化(refinement)、典型化(typification)、放大(exaggeration)、增强(enhancement)、移位(displacement)、分类(classification)<sup>[1]</sup>。其中, 图斑综合主要的操作算子包括聚合、融合、退化(降维)、放大等; 线状地物综合的操作算子包含简化、光滑、删除等。

制图综合约束条件可以分为拓扑约束、图形约束、结构约束和过程约束等<sup>[2-3]</sup>。地图自动综合已从单纯的算法改进和算法间的比较转向空间关系、规则形式化和数据模型的研究, 其中, 空间关系是一个关键<sup>[4]</sup>。空间拓扑关系的维护是数据综合中的一个重要规则, 有可能成为制图综合研究的一个突破点。李伟生<sup>[5]</sup>对回答制图综合中对象选取时“周围有哪些其他要素类的对象”的问题, 探讨了地图制

图自动综合相邻关系的概念框架; 毛建华等<sup>[6-7]</sup>探讨了目标移位中如何保持目标群之间的相对空间位置关系和拓扑关系变化检测方法; 郭庆胜等<sup>[8]</sup>讨论了线简化前后的拓扑关系问题。

针对土地利用现状图的综合问题, 卢林等<sup>[9]</sup>根据图斑的空间分布与距离联系, 给出图斑数据地理要素层结构的定义和建立过程, 从而实现图斑数据制图概括中对象选取的模型化; 艾廷华等<sup>[10-11]</sup>探讨了拓扑邻近地块的融合和语义邻近地块的聚合问题; 陈先林等<sup>[12]</sup>论述了土地利用制图综合中图斑多边形拓扑关系的生成及拓扑关系一致性的维护方法。

在文献[13-16]中阐述了点集拓扑的4交和9交模型, 这是当前拓扑关系表达的一种主要理论与方法。本文分析讨论了在图斑综合之前, 如何根据图斑之间的空间拓扑关系选择不同的综合操作算子, 以及图斑、线状地物综合前后的拓扑关系一致性约束规则。

## 2 依据空间拓扑关系选择不同的综合操作算子

图斑面积需达到最小上图面积, 对未达到面积

收稿日期: 2013-02-28; 修回日期: 2013-06-11.

基金项目: 国家自然科学基金项目(41101350); 江苏高校优势学科建设工程资助项目。

作者简介: 吴长彬(1977-), 男, 福建仙游人, 博士, 副教授, 主要研究方向为GIS、空间关系、土地信息系统。

E-mail: wuchangbinbin@njnu.edu.cn

的图斑进行聚合、融合、退化(降维)、放大等操作。例如,1:5万和1:10万比例尺中图斑的最小上图面积指标如表1所示。

表1 图斑的最小上图面积指标

Tab.1 The least area of parcels on land use map

名称	面积			备注
	图上值 (mm <sup>2</sup> )	1:5万实 地值(m <sup>2</sup> )	1:10万实 地值(m <sup>2</sup> )	
城镇村及 工矿用地	4	10 000	40 000	
耕地、园地	6	15 000	60 000	
其他地类	15	37 500	150 000	水系类个别 重要的除外

根据 Egenhofer 等<sup>[13-14]</sup>的交叉模型,面之间存在8种空间拓扑关系,即 *disjoint*、*meet*、*equal*、*inside*、*contains*、*covers*、*coveredby* 和 *overlap*。由于图斑之间必须满足  $A \cap B = \Phi$ , 故只存在相离(*disjoint*)和相接(*meet*)两种关系。其中,对于相接(*meet*)还可进一步区分出两者边界的交集( $\partial A \cap \partial B$ )是1维还是0维的情况,即边相接(相邻)和点相接,而边相邻又进一步可分为外相邻和内相邻。如图1中的(b)为相离(*disjoint*),而(a)、(c)、(d)都属于相接(*meet*)的关系,其中,图1(c)是点相邻,(a)是外相邻,(d)是内相邻。需要注意的是:内相邻看起来有点像包含,事实上外面的大图斑中间是挖空的,小图斑的边界与大图斑内环相切,二者的区别在于内部的交集( $A \cap B$ )是否为空( $\Phi$ )。由于图斑具有空间上布满的特性,故不可能存在图斑互相包含的情况。

(1)外相邻,如图1(a),合并空间拓扑相邻的图斑是图斑综合的最常用手段,根据面积占优的原则,大图斑合并与其拓扑相邻的小图斑。但是,哪些图斑可以合并呢?一般认为,如果两个拓扑邻近而且语义类型较一致的图斑可以合并,比如相邻的

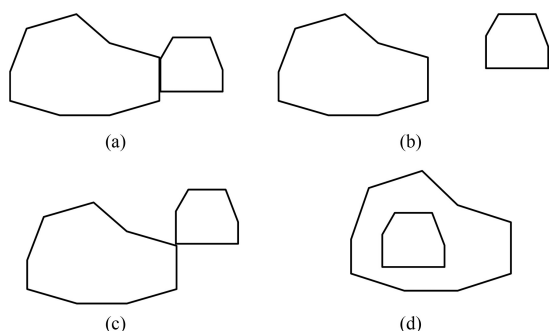


图1 图斑之间可能的拓扑关系

Fig.1 The possible topological relations between parcels

耕地、园地、林地(同属于农用地)等,具体参见文献[11]。根据文献[1]的定义,这种相同类型语义特征的多边形合并为聚合(*aggregation*)。另外,如果该图斑是狭长形的道路或河流,也可能退化(降维)为线状地物,其在较大比例尺时按面表示,当综合到更小比例尺下,宽度小于比例尺精度在图上已经无法表示,但仍需保留该道路或河流的主干线。

(2)相离,如图1(b),在距离较远或者不同的语义类别情况下一般不进行综合,但在距离较近并且语义类别一致(或称为“语义邻近”)情况下也可能发生合并,其间可能夹杂了别的异质地类的图斑,这种具有不同类型语义特征的多边形合并称为融合(*amalgamation*)<sup>[1]</sup>。

如图2所示,假设C、D是拓扑邻近的2个图斑,但语义不一致;A、B在空间上是相离的,但距离较近,且语义较一致。在综合时可能有2种选择:一是将C、D合并,保留A、B不变,即(1)讨论的情况;二是将A、B进行融合,如图2中虚线范围,破坏C、D之间的拓扑关系,C、D剩余的部分再跟其周边的图斑发生合并。到底是拓扑邻近还是语义邻近的图斑优先发生综合,要根据不同的情况而定。艾廷华等<sup>[10]</sup>形象地将图斑之间的综合比喻为“生存竞争”的过程。当C或D的面积占优势,且其在地类性质上属于“主流”的地类,可能其优先合并与其拓扑邻近的图斑(包括A、B);反之,A与B也可能联合起来,“吞并”C与D的一部分。

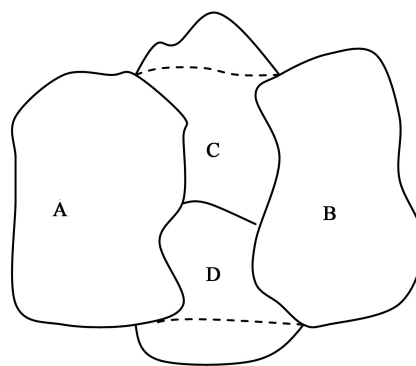


图2 相离的图斑之间融合操作

Fig.2 The disjointed parcels may be amalgamated

(3)点相接,如图1(c),图斑之间只有一个交点,这种情况下图斑一般不能直接进行合并,与相离相类似,只可能发生融合的操作。

(4)内相邻,如图1(d),其中的小图斑小于综合后比例尺的最小上图面积,这种情况下外围的大图

斑可能直接吞并内相邻的小图斑,如果该地类比较重要,内相邻的图斑也可以降维为零星地类。

上述4种情况归纳如表2所示。

表2 依据图斑间的不同空间拓扑关系及其他约束条件选择不同的操作算子

Tab.2 Different operations according to different topological relations and other restrictions between parcels

序号	空间拓扑关系	其他约束条件	综合操作算子
1	外相邻	两个图斑语义相近 存在狭长图斑,宽度小于比例尺精度	聚合 退化为线,与相邻图斑放大
2	相离	距离较近,语义相近	融合
3	点相接	语义相近	融合
4	内相邻	其中的小图斑小于上图面积	合并或退化为点

### 3 图斑综合前后的拓扑关系约束规则

#### 3.1 图斑之间的一般性拓扑关系约束

土地利用现状图中的图斑主要是由地类界线所包围的封闭的地块,地类与权属一样都具有排他性,故图斑之间不能有重叠而只可能存在相离和相邻的情况。同时,由于土地是个连续的场,地类调查要求无一遗漏,图斑的面积总和必须与所在区域面积一致,故图斑在空间是必须布满的,且之间不能有重叠或缝隙,如图3所示。即对于任意图斑,在空间上必然存在与之相邻的图斑。

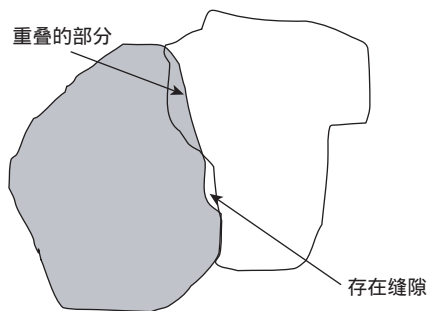


图3 图斑之间不可能存在的拓扑关系

Fig.3 The impossible topological relations between parcels

规则1:  $\forall A \in \text{图斑}$ , 必然  $\exists B \in \text{图斑}$ , 使得 A meet B, 即 A 与 B 相邻。

在图斑综合过程中,无论该图斑进行了何种综合操作,图斑与图斑之间的拓扑关系都必须严格遵守以上规则。

#### 3.2 图斑聚合或融合

如图2中,如果C和D发生聚合,生成新的图斑E,则必然存在C、D包含于E;如果A和B发生融合,生成新的图斑F,也必然有A、B包含于F。即,发生合并(聚合或融合)的图斑在综合前后存在包含关系。这种包含关系可以揭示出图斑综合过程中的演变关系,反映出综合导致的图斑地类流向。

规则2: 如果图斑发生了合并,生成新的图斑A',则必然存在综合前的图斑A包含于A',即  $A' \text{ Contain } A$ 。

#### 3.3 图斑退化成线

线状地物主要有铁路、公路、农村道路、沟渠、河流水面、水工建筑、田坎、境界线等。其中,重要的铁路和公路一般情况下都不综合;农村道路、河流水面等需要考虑连通性;而水工建筑和田坎则不需要考虑连通性,只要保证最小上图宽度、长度或弯曲即可,把未达到要求的进行合并或简化等操作。

文献[9-12]都是侧重于图斑综合的选取、聚合和融合,很少涉及图斑退化(降维)的情况。关于面降维为线的问题,钱海忠等<sup>[17]</sup>根据街道和建筑物存在几何空间互补的特点,提出依据建筑物骨架线和街道骨架线对街区进行综合的方法。但建筑物是离散分布的,降维过程中不需要考虑街道与建筑物的拓扑关系问题,而图斑是布满的,必须对降维后的道路图斑进行融合,并尽可能保持综合前后图斑之间的拓扑关系的一致性。

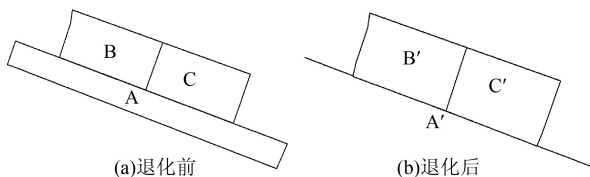


图4 图斑退化成线的情形

Fig.4 The parcel reduces to be a linear feature

如图4(a)所示,A是一条狭长的道路,表示为面状的图斑,B、C是与A拓扑相邻的2个图斑,A与B之间的拓扑关系4交表达式(参见文献[13])为:

$$\text{Top}(A, B) = \begin{bmatrix} A \circ B^\circ & A^\circ \cap \partial B \\ \partial A \cap B^\circ & \partial A \cap \partial B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \varphi & \varphi \\ \varphi & \neg \varphi \end{bmatrix}$$

即A与B只有边界的交集不为空,其余都为空。在对图4(a)进行制图综合后,由于在更小比例

尺下道路图斑A无法表示为面,降维成线状地物A',仍保留A的道路骨架特征,而图斑B、C扩展为B'、C',如图4(b)所示。

规则3:如果狭长图斑A降维成线状地物A',则与图斑A相邻的其他图斑必须进行放大,以保持与线状地物A'之间的拓扑关系,即必然存在综合后的图斑B',使得B' meet A'。

### 3.4 图斑退化成点

如图5(a)所示,图斑A退化点A',但是由于综合前A与B为内相邻的情况,即 $\partial A \cap \partial B \neq \Phi$ ,综合后仍必须保持拓扑关系一致,A'位于图斑的边界上(见图5(b)),仍有 $\partial B \cap \partial A' \neq \Phi$ 。

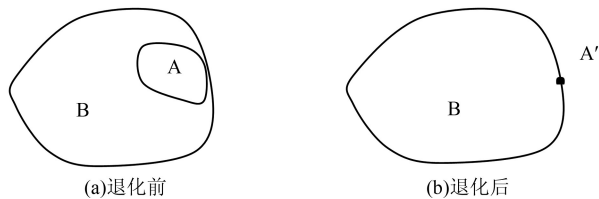


图5 图斑退化成点的情形

Fig.5 The inner parcel reduced to be a point

规则4:如果图斑A降维成零星地类A',则A'与其他图斑之间的拓扑关系须保持不变。

## 4 线状地物综合前后的拓扑关系约束规则

线状地物(表示成L)综合的操作主要有以下几类:一是线状地物删除,把一些宽度较小或者不太重要的线状地物(如田埂、沟渠等)直接删除,而保留一些较重要的线状地物(如道路、河流等),从而降低线状地物的密度和图面的负载量。这种情况下,如果存在原来被该线状地物分割的2个空间邻近、语义一致的2个图斑(见图6(a)),就需要合并成一个图斑(见图6(b))。

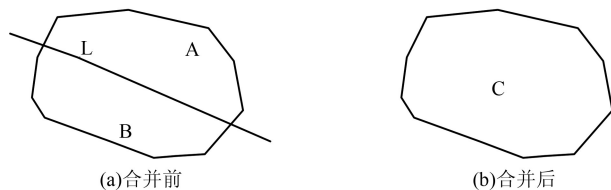


图6 线状地物发生删除的情形

Fig.6 The linear feature is deleted in generalization

规则5:如果对线状地物L进行删除(Delete),存在与L相邻的两个图斑A与B,语义相近,且满足

$\partial A \cap \partial B \neq \Phi, A^\circ \cap B^\circ = \Phi$ ,则该2个图斑须进行合并,即A Merge B。

线状地物综合的另一类操作就是对线进行简化或光滑处理,一般可采用道格拉斯算法<sup>[18]</sup>,但是,对线状地物的简化必须考虑拓扑关系的维护。如图7(a)所示,对一条线状地物进行了简化操作,则原来与该线状地物拓扑相邻的图斑也必须进行形状调整,而原来位于该线状地物上的一个零星地类则进行了移位(见图7(b)),从而保持制图综合前后与线状地物的拓扑一致性。

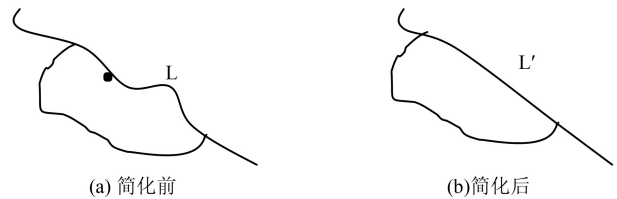


图7 线状地物进行简化后的情形

Fig.7 The linear feature is simplified in generalization

另外,有时候为了保持图面的美观性或由于图斑边界变化了,也可能对线状地物进行移位操作,但仍然需要保持与图斑之间的拓扑关系,如原来是相邻关系,移位后则不允许出现穿越该图斑的现象。

规则6:如果对线状地物L进行简化(simplification)成L',则与L相邻的其他图斑或零星地类必须进行形变或移位,以保持与线状地物L'之间的拓扑关系。

## 5 拓扑关系约束性规则应用与实例

在分析和抽取出现状图的拓扑关系约束性规则后,可以建立相应的规则库,利用该规则库可作为土地利用现状图自动综合算法的基础。通过识别判定图斑间的拓扑关系,选择相应的综合算子,达到地图的自动综合目的。如图8所示,根据之前总结的拓扑关系约束规则,以及土地利用分类等语义约束规则、最小上图面积约束规则等,结合制图专家的认知,从而建立制图综合规则库,具体规则库的建立方法可参考文献[19]。规则库与算法相分离的好处在于:规则是一般性的知识,而采用的算法却可以有很多种;规则可以不断修正和完善,而算法却可保持不变,二者相对独立。

另外,如果采用手工综合或者半自动综合的方式,也可以利用该规则库对综合后的土地利用现状



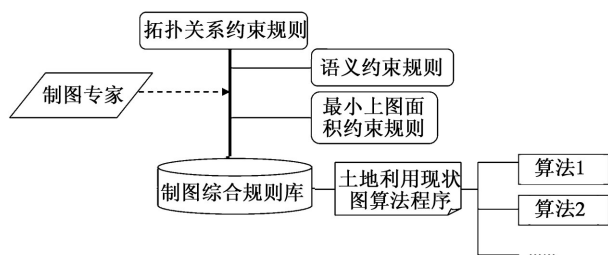
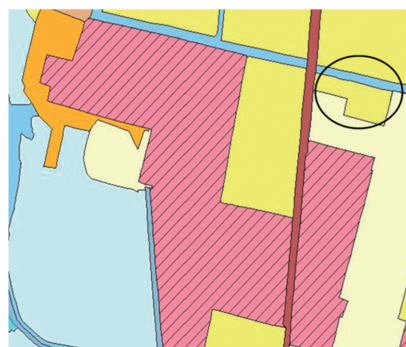


图8 综合规则库的建立

Fig.8 Construction of rule database apart from the algorithms



(a)综合前



(b)综合后

图9 土地利用现状图制图综合实例

Fig.9 An example of land-use map generalization

由于土地利用现状图综合所需的工作量较大,往往一个县(区)的就包含了上万个以上的图斑,而不同人员综合的结果不尽相同,采用计算机自动或半自动化地完成综合过程是将来的一个技术发展趋势。利用拓扑关系作为自动或半自动综合过程的一个约束,可以解决其中绝大多数图斑的综合操作判断问题。实践证明,利用本文介绍的拓扑关系约束性规则对于土地利用制图综合工作具有较强的指导作用。

## 6 结语与展望

制图综合是当前地图学研究的一个热点和难点问题,许多学者为此做了大量的研究工作,并取得了一定的进展。拓扑关系约束是制图综合过程中的一个重要的依据。本文以土地利用现状图综合为对象,分析探讨了其综合过程中的拓扑关系约束性规则,旨在为土地利用现状图的制图综合及算法提供基础参照。并建议后续建立规则库,与综合算法相分离,保持规则的相对独立性。当然,自动综合本身比较复杂,目前尚无法完全取代手工综合。本文的工作也还是初探,尚存在一些不足,今

图进行拓扑一致性检验,具体检验的方法参见文献[20]。与之不一样的是,除了对同一幅图中要素的拓扑关系合理性检查外(如满足规则1),还可以通过对综合前后的图斑进行比对分析。例如,图9(a)是一幅1:1万的土地利用现状图,综合成为(b)中的1:5万土地利用现状图,其中标识处的(b)幅中有一个综合后的农用地图斑(黄色),而其对应(a)幅中有3个图斑,其之间是拓扑邻近的关系,而且都被包含于(b)幅中的图斑(符合本文第2、3节中讨论的规则)。

后应完善该规则,将规则库具体应用于制图综合中。

### 参考文献:

- [1] Shea K S, McMaster R B. Cartographic generalization in a digital environment: When and how to generalization[J]. Autocarto, 1980(9):56-67.
- [2] Martin G. Automated polygon generalization in a multi agent system[D]. Zurich: Zurich University, 2003.
- [3] 王家耀,钱海忠.制图综合知识及其应用[J].武汉大学学报(信息科学版),2006,31(5):382-439.
- [4] 郭庆胜,李沛川.地图自动综合方法的研究进展(续)[J].地图,1999(2):15-18.
- [5] 李伟生.地图制图自动综合中相邻关系的概念框架及例子[J].测绘学报,1995,24(3):231-238.
- [6] 毛建华,李先华.基于约束条件的地图目标移位[J].测绘学报,2007,36(1):96-101.
- [7] 毛建华,陈斐,毛端谦.地图目标移位的拓扑关系变化检测方法[J].测绘通报,2003(4):22-24.
- [8] 郭庆胜,吕秀琴,蔡永香.图形简化过程中空间拓扑关系抽象的规律[J].武汉大学学报(信息科学版),2008,33(5):520-523.
- [9] 卢林,吴纪桃,柳重堪.图斑数据自动概括中面向地理特征的层结构选取[J].武汉大学学报(信息科学版),2006,31(2):156-159.

- [10] 艾廷华,刘耀林.土地利用数据综合中的聚合与融合[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2002,27(5):486-492.
- [11] 艾廷华,杨帆,李精忠.第二次土地资源调查数据建库中的土地利用图综合缩编[J].武汉大学学报(信息科学版), 2010,35(8):887-891.
- [12] 陈先伟,郭仁忠,闫浩文.土地利用数据库综合中图斑拓扑关系的创建和一致性维护[J].武汉大学学报(信息科学版),2005,30(4):370-373.
- [13] Egenhofer M J, Herring J R. Categorizing binary topological relationships between regions, lines and points in geographic databases[C]. // A Framework for the Definition of Topological Relationships and An Approach to Spatial Reasoning within this Framework, Santa Barbara, CA, 1991(3):1-28.
- [14] Egenhofer M J, Sharma J, Mark D M. A critical comparison of the 4-Intersection and 9-Intersection Models for spatial relations: Formal analysis[J]. AutoCarto, 1993(11): 1-11.
- [15] 吴长彬,闫国年.空间拓扑关系若干问题研究现状的评析[J].地球信息科学学报,2010,12(4):524-531.
- [16] 吴长彬,闫国年.线面拓扑和度量关系的细分描述和计算方法[J].计算机辅助设计与图形学学报,2009,21(11): 1551-1557.
- [17] 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):103-118.
- [18] Douglas D, Peucker T. 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.
- [19] 吴长彬,闫国年,刘昱君.基于规则库和网格算法的土地利用现状图自动数字注记[J].测绘学报,2008,37(2): 250-255.
- [20] 吴长彬,闫国年,舒飞跃.基于知识与规则的地籍数据质量检查方法[J].地理与地理信息科学,2007,23(5):22-30.

## Topological Restrictions in Land-use Map Generalization

WU Changbin\*, SUN Zaihong, QIAO Weifeng and LV Guonian

(College of Geographical science, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

**Abstract:** Land-use map generalization may cost much time for cartographers, so scientists constantly hope to find some methods automatically and have made a lot of efforts, but got few progresses. Right now, people mainly focus on the theory and algorithms of generalization. In fact, the topological relation does great restriction during map generalization. Firstly, while beginning work, operation types of generalization may be chosen according to topological relations between the parcels and other limits (such as Land classification neighborhood), e.g., they may be aggregated when they are adjacent, or amalgamated when disjointed, or reduce to points when inclusive. Moreover, based on the theory of point set topology and representation of Intersection Model, which is well known in GIS, we draw some topological rules from generalization of parcels and linear features of land-use map. E.g., when a long parcel (road or river) is generalized to be a linear feature, its neighboring parcels must be extended synchronously to make sure their topological relations unchangeable. Finally, the possible applications of these topological rules are discussed, as follows: These rules can be applied to check exactly the topological relationships between objects in land-use map before or after generalization, and used as the foundation of generalization algorithms. However, there still are many problems to be studied and improved in future work to make these rules more strictly. We also suggest making topological rule database apart from the algorithms, as rules are unalterable for some time while algorithms are various.

**Key words:** map generalization; topological relation; land-use map; rules

\*Corresponding author: WU Changbin, E-mail: wuchangbinbin@njnu.edu.cn