

顾及空间关系约束的不同比例尺面目标不一致性同化处理

赵彬彬¹ 彭东亮² 张山山² 刘姗姗¹ 熊旭平¹ 戴全发¹

1 长沙理工大学交通运输工程学院,湖南 长沙,410114
2 中南大学地理信息系,湖南 长沙,410083

摘 要:不一致性问题是长期困扰地理信息科学领域的一个难题,亦是衡量空间数据质量的基本指标。不一致性问题直接影响空间数据集成、制图综合和空间数据更新。当前研究较多关注于相同或相近比例尺线目标之间的一不一致性问题,而对不同比例尺地图数据或制图综合过程中不一致性处理问题的研究甚少。为此,本文顾及空间目标之间拓扑和距离关系约束,提出了一种基于 Morphing 变换的不同比例尺地图面目标之间不一致性的同化处理办法,通过对两组不一致性同化处理的对比实验验证了该方法的有效性和实用性。

关键词:尺度;空间关系;不一致性;Morphing 变换;同化

中图法分类号:P208; P283 **文献标志码:**A

空间数据不一致性是指在空间数据对象之间存在明显的矛盾或冲突,该研究始于 20 世纪 90 年代初,1995 年召开的国际空间数据质量会议提出将一致性作为空间数据质量五大特征之一^[1],标志着空间数据不一致性问题已成为国际地理信息科学领域的一个基础研究课题。近 20 年来,在空间数据之间的一不一致性特征描述、分类、表达、度量、探测、评价及处理等方面取得了丰富的成果^[2, 3],但大多数集中在相同(或相近)比例尺空间数据之间的一不一致性问题上。在多尺度地理空间数据不一致性方面仅有少量涉及,文献[4]针对制图综合过程中的“Collapse”操作引起的拓扑不一致性,按拓扑属性进行严密分类建立了一套分类规则,提出了基于分类规则的“Collapse”操作引起的一不一致性的评价和探测方法。Chen 等针对地图更新中河流“爬坡”的冲突问题,提出了基于拓扑、方向和度量关系的集成空间关系模型拓扑链,精细地描述线/线目标空间关系,用于探测河流与等高线之间的一不一致性问题^[5]。Du 等运用“Merging”和“Dropping”两种制图综合算子对宽边界复杂面目标进行综合,由生成的不同比例尺复杂面目标结构邻域建立复杂面目标之间的

对应关系来评价结构不一致性,并通过分析复杂面目标对中两个面目标之间的拓扑关系来评价拓扑不一致性,该方法亦可用于评价不同比例尺地图复杂面目标的一不一致性^[6]。Brisaboa 等利用数据集中目标之间的拓扑不变性定义了一组完整性约束,进而基于约束来度量数据集中每一个点、线和面目标与拓扑约束之间的冲突程度,即不一致性程度^[7]。上述研究基本是对某一种或两种不一致性在探测、评价或度量方面进行浅尝辄止的探索性研究,尚未涉及有效的多尺度地图数据不一致性处理等深层次问题。随着制图综合、多尺度地图数据协同应用的深化,对不同比例尺地图空间数据之间不一致性的研究将更具现实意义和应用价值^[8]。实践中,许多制图综合算子(如“简化”、“光滑”和“聚合”等)会改变空间目标几何形状、维度和图形结构等细节特征,从而使空间目标的不同比例尺表达发生变化,进而产生不一致^[6]。如图 1(a),“简化”操作后导致两面目标之间方向关系不一致。图 1(b)中,对河流的“光滑”操作导致河流与建筑物之间拓扑不一致,即建筑物“落入”河流中。本文主要针对图 1(b)的河流与建筑物之间的一不一致性处理问题进行探讨。

1 问题及图形策略

分析图 1(b)可知,由较大比例尺河流图形综合为较小比例尺河流时,对河流边界的综合涉及细节概括及几何形状,河流边界与建筑物由综合前的“相邻”变为综合后的“相交”,产生不一致性。为了解决此类问题,本文采取的策略是:基于数据同化思想,以 Morphing 变换为技术手段,在河流与建筑物发生不一致性的区域,顾及空间目标之间的拓扑和距离关系约束,对不同比例尺数据中的两条河流进行局部边界的同化,提出一种不同比例尺地图面目标之间的一致性同化处理方

法。步骤是:首先,通过叠置、求差和求交等空间操作获得与建筑物面目标存在不一致性的两个不同比例尺地图数据中河流面目标各自的边界;然后,分别以较大比例尺数据中的河流边界(与建筑物不冲突)和较小比例尺数据中的河流边界(与建筑物冲突)作为变换端点,利用 Morphing 技术在较大比例尺河流边界和较小比例尺河流边界之间插值,进行河流边界局部同化;进而,根据插值河流边界与建筑物面目标之间的拓扑和距离关系约束决定河流边界局部同化程度,即插值河流边界的位置,以实现制图综合中建筑物等面目标“落入”河流中这类不一致性进行同化处理的目的,流程如图 2。

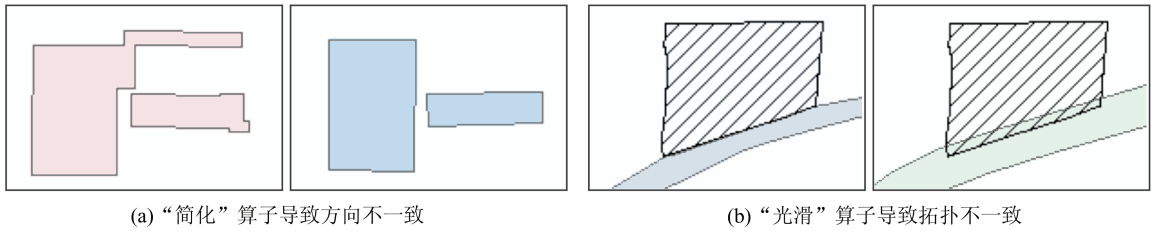


图 1 制图综合引起的不一致性
Fig. 1 Inconsistencies Caused by Generalization Operation

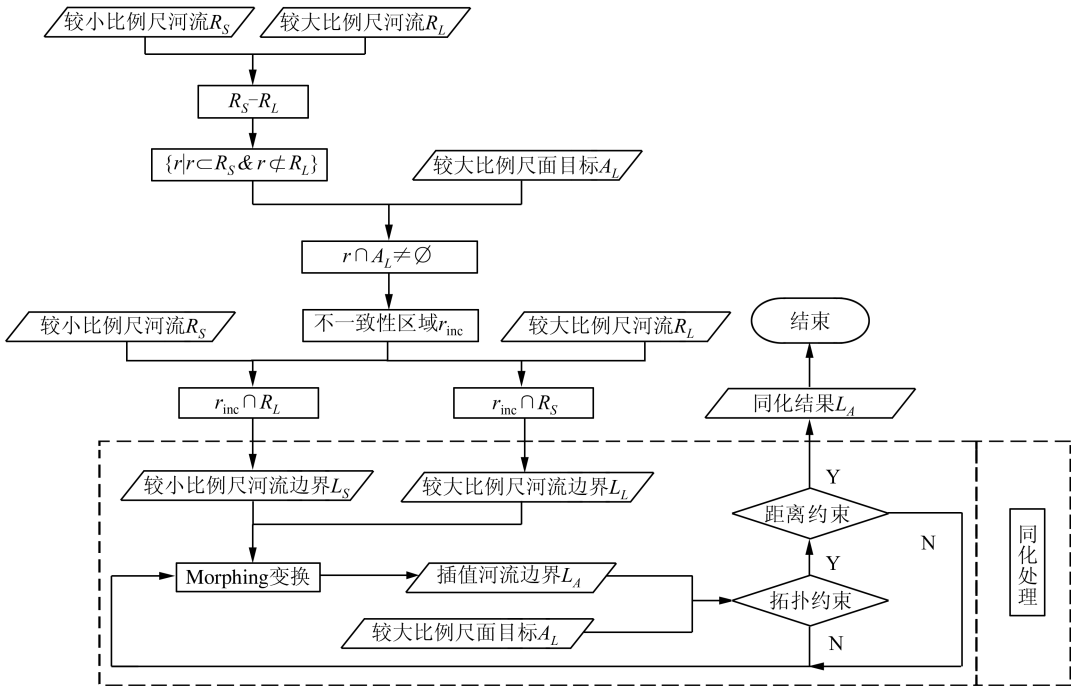


图 2 河流与建筑物间不一致性同化处理框架
Fig. 2 A Framework for Assimilating Inconsistencies Between Rivers and Buildings

2 不同比例尺面目标不一致性同化处理

一般地,相对于较小比例尺地图数据而言,较大比例尺地图数据具有较高的精度和较强的现势性;相对于自然地物而言,人工地物亦具有较高的精度和较强的现势性。为了兼顾较大比例尺地图数据的详细性、精确性和较小比例尺地图数据的概括性与全局性,本文遵循自然地物让位于人工地物的原则,以数据同化思想为指导对较大比例尺河流和较小比例尺河流边界局部进行同化处理。

2.1 数据同化

数据同化是一种多源数据和模型集成的数据处理技术,起源于大气与海洋科学^[9],旨在考虑数据时空分布及观测场和背景场误差基础上,在数值模型动态运行过程中融合新观测数据的方法^[10],其目标是使预报结果与现实趋于一致。目前,数据同化技术在遥感影像融合^[11]、空间数据融合更新^[12]和土地利用变化监测^[13]等地理信息科学领域亦取得了初步进展,被认为是解决空间数据不一致问题的一条可行思路^[14]。“同化”的本意是指把不同的事物变得相近或相同的过程。如图 3,按两同化对象的同化程度、同化结果、接近程度,“A 和 B 同化了(这里指 A 和 B‘整体’之间的同化)”——包括五层含义^[15]:① A 不变, B 变得和 A 相近或相同,如图 3(b);② A 基本不变, B 向 A 同化,如图 3(c);③ A 和 B 以相互靠拢的方式变得相近或相同,如图 3(d);④ B 基本不变, A 向 B 同化,如图 3(e);⑤ B 不变, A 变得和 B 相近或相同,如图 3(f)。

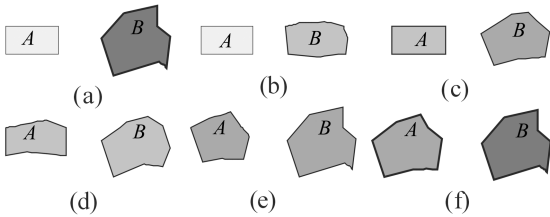


图 3 同化的含义
Fig. 3 Illustration of Assimilation

2.2 Morphing 变换

为了使同化结果尽可能多地保留不同比例尺河流边界的几何形状等特征,本文以 Morphing 变换技术为手段进行插值。Morphing 变换是一种同时顾及形状和颜色的图像内插技术,亦可以理解为“交叉溶解”过程^[16],在计算机可视化领域

应用广泛,如动画制作、图像压缩及医学图像重构等^[17],其最初目的是实现计算机图像的无缝平滑渐变^[18]。由于采用连续变形思想与多尺度地图连续综合不谋而合,亦更接近人的视觉感观且符合人的认知^[16],因而日渐受到制图综合领域学者们的重视。目前,针对不同比例尺地图中道路、河流等线目标的形状内插多采用基于矢量数据的 Morphing 变换。如图 4(a),在不同比例尺原始目标 C 和 D 之间沿直线移位路径进行 Morphing 变换插值时,移位距离值 t 越接近 0,插值结果越接近原始目标 C;移位距离值 t 越接近 1,插值结果越接近原始目标 D。当移位距离 $t=0$ 时, Morphing 插值结果为原始目标 C;当移位距离 $t=1$ 时, Morphing 插值结果为原始目标 D。图 4(b)为采用直线移位路径时对应不同移位距离值 t 的插值结果。

2.3 空间关系约束

由较大比例尺河流综合为较小比例尺河流时,河流与建筑物之间的拓扑关系由综合前的“相离”变为综合后的“相交”,从而导致建筑物“落入”河流中,产生不一致。因此,在对不同比例尺河流边界进行同化处理时,必须顾及河流与建筑物之间的拓扑关系约束,即保持同化后的河流与建筑物之间拓扑关系“合理”,如图 5(a),河流移位距离值 $t=0.75$ 对应的同化结果,其建筑物之间拓扑“相交”,显然不满足河流与建筑物间的拓扑关系约束。如图 4(b),不同的移位距离值对应不同的河流边界同化结果(如图 5(b)),为了最大程度地契合综合后的较小比例尺河流边界的趋势,则

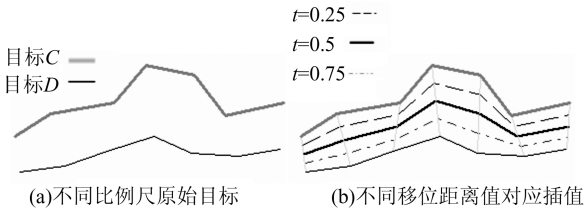


图 4 Morphing 变换
Fig. 4 An Example of Morphing Transformation

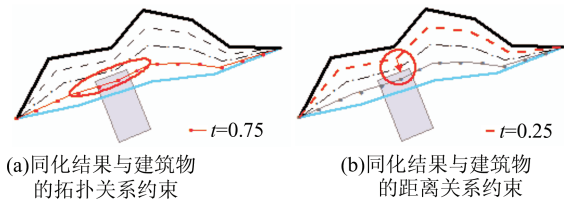


图 5 顾及空间关系约束的不一致性同化
Fig. 5 Inconsistency Assimilation with Respect to Spatial Relation Constraints

必须顾及同化后河流边界与建筑物之间的距离约束,即满足不同比例尺地图相关规范以及人眼对图上最小距离分辨率的要求^[19, 20](本文取 0.1 mm)。图 5(b)中,移位距离值 $t=0.25$ 所对应的河流边界同化结果与建筑物之间的图上距离 d_{Map} 约为 6.2 mm,亦不满足距离关系约束。

3 实验分析

按照 § 2 提出的策略,参照相关规范^[19, 20],采

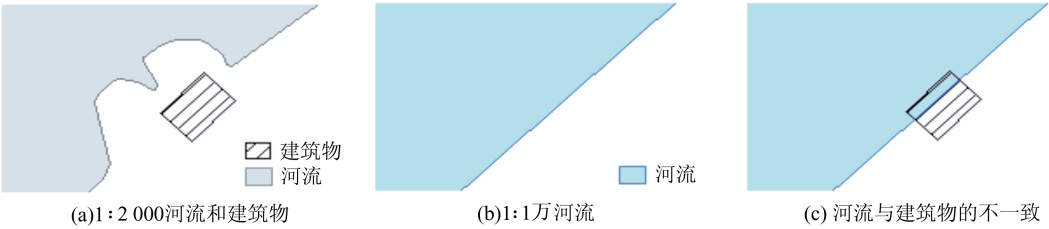


图 6 河流与建筑物之间的一致性

Fig. 6 Inconsistency Between a River and a Building

首先,根据图 6(a)得到两不同比例尺河流之差,边界不一致区域(图 7(a)),进一步获得两不同比例尺河流边界(图 7(b))。进而,通过 Morphing 变换选取不同的移位距离值 t 获得不同程度的同化结果(图 7(c)~7(f)),显然,当 $t \in [0.6, 1.0]$ 时,同化结果都不满足两面状地物“相离”的拓扑关系约束;当 $t \in [0, 0.6]$ 时,同化结果满足拓扑“相离”的约束。继而,通过距离关系约束确定移位距离值,当 $t=0.363$ 时,同化结果与建筑物之间的图上距离 d_{Map} 为 0.1 mm,如图 7(g)和图 7(h)。从插值河流边界与较大比例尺河流边界的形态接近程度来看,同化处理结果较好地体现了同化本质的第三种含义(如图 3(d))。

实验二 采用比例尺 1 : 1 万数据的河流和

用两组不同比例尺的河流和居民地数据进行实验(图 6),并与 Delaunay 三角网骨架线中轴化法进行对比。

3.1 不一致性同化处理

用两个实验说明不一致性同化处理方法。

实验一 采用比例尺 1 : 2 000 数据的河流和建筑物及综合后的比例尺 1 : 1 万数据的河流面目标进行实验,如图 6(a)和 6(b)。由较大比例尺河流综合为较小比例尺河流时,因河流边界“简化”导致河流与建筑物之间发生拓扑不一致,如图 6(c)。

建筑物及综合后的比例尺 1 : 5 万数据的河流面目标进行实验,如图 8。按两不同比例尺河流面目标之差,获得两河流边界不一致区域(图 8(a)),进一步获得两不同比例尺河流边界(图 8(b))。进而,通过 Morphing 变换选取不同的移位距离值 t 获得不同程度的同化结果(图 8(c)~8(f))。显然,当 $t \in [0.4, 1.0]$ 时,同化结果都不满足两面目标“相离”的拓扑关系约束;当 $t \in [0, 0.4]$ 时,同化结果满足拓扑“相离”的约束。继而,通过距离关系约束进一步确定移位距离值,当 $t=0.079$ 时,同化结果与建筑物之间的图上距离 d_{Map} 为 0.1 mm(图 8(g)和图 8(h))。从插值河流边界与较大比例尺河流边界的形态接近程度来看,同化处理结果较好地体现了同化本质的第二种含义(图 3(c))。

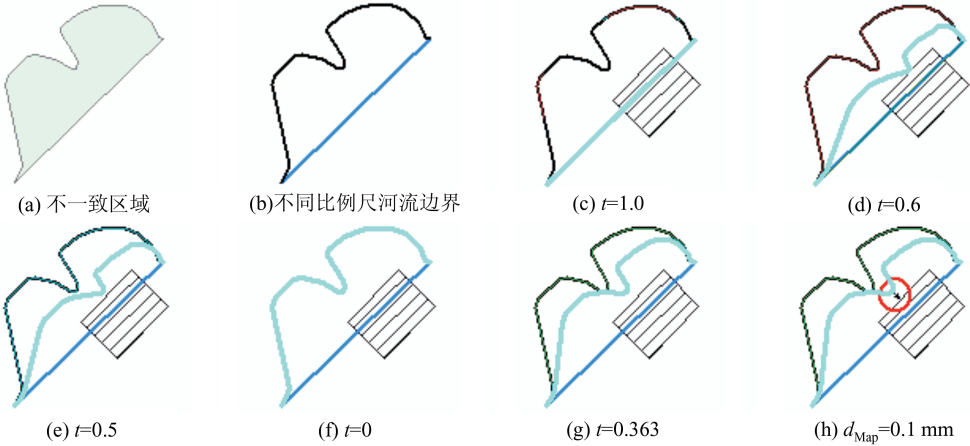


图 7 河流与建筑物间不一致性同化处理实验一

Fig. 7 The First Experiment of Assimilating Inconsistency Between a River and a Building

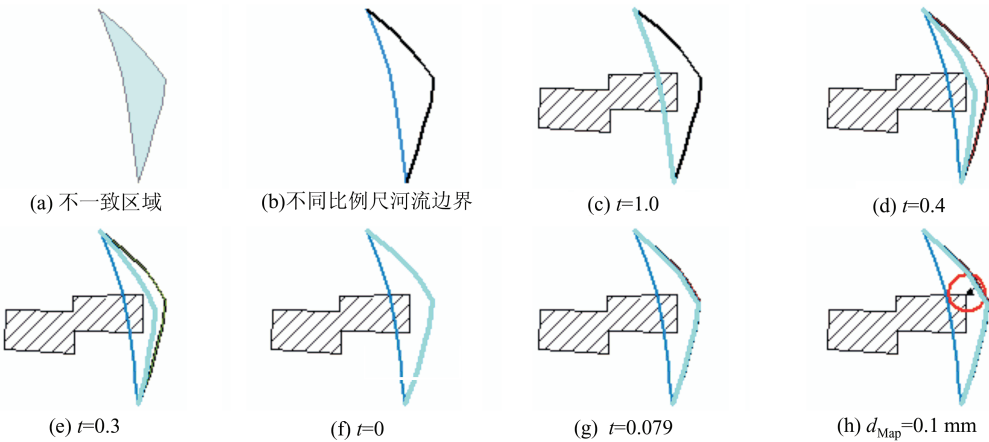


图 8 河流与建筑物不一致性同化处理实验二

Fig. 8 The Second Experiment of Assimilating Inconsistency Between a River and a Building

3.2 Delaunay 三角网骨架线中轴化法

图 9(a)~9(h)分别为 Delaunay 三角网提取骨架线法对上述实验一和实验二中河流与建筑物之间的一致区域进行处理,通过提取 Delaunay 三角网骨架中轴线实现^[21]。图 9(d)中,对于实验一,中轴线与建筑物之间满足拓扑“相离”条件,但两者之间的图上距离 d_{Map} 为 0.039 mm(红圈所示),小于人眼对图上最小距离分辨率 0.1 mm,从人眼角度来看两者之间为拓扑“相接”,即不满足数据规范的最小距离关系约束(图 9(h))。对于实验二, Delaunay 三角网骨架线中轴与建筑物之间的拓扑关系为“相交”(红圈所示),不满足原较大比例尺地图中河流与建筑物之间“相离”的拓

扑关系约束,亦不满足数据规范的最小距离关系约束。由此可知, Delaunay 三角网骨架线中轴化法存在明显不足,骨架中轴线与两个不同比例尺河流边界在几何形态上相似度低,亦无法有效地处理此类不一致性。

通过对不同比例尺地图河流面目标边界与建筑物之间的一致性同化处理结果的对比可以看出:同化处理后的河流边界与两个不同比例尺河流边界相似度高,在几何形态上较好地兼顾了两种不同比例尺河流边界的特征,即较大比例尺河流边界的弯曲细节和较小比例尺河流边界的综合,处理结果更合理。同时,通过同化处理后的河流边界特征亦较明显地体现了同化本质的具体含义。

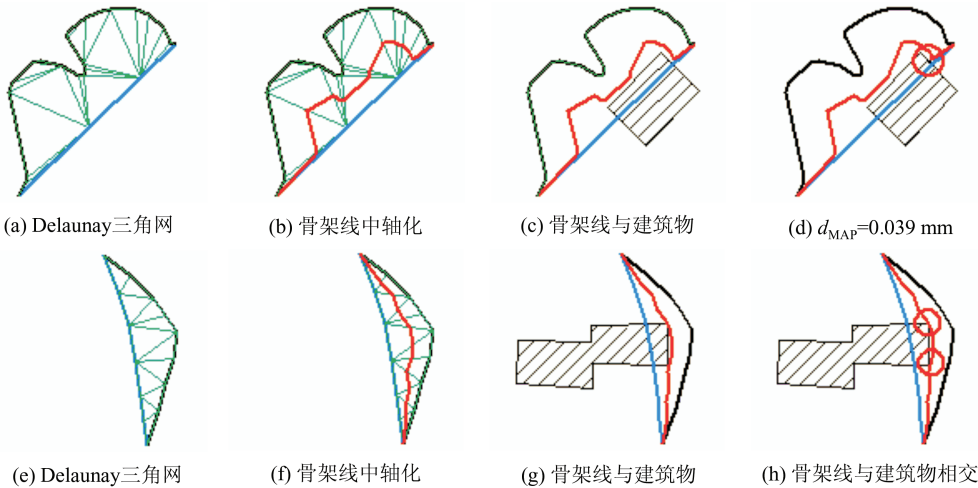


图 9 Delaunay 三角网骨架线中轴化处理结果

Fig. 9 Results from Axial Skeleton of Delaunay Triangulation

4 结 语

高速发展的国民经济催生了对实时准确、协

调一致的地理空间数据的巨大需求,随着制图综合技术在空间数据服务中的应用广泛深入,由此产生的一致性问题降低了空间数据质量,极大地影响了地理信息的协同应用。为此,本文分析

了较大比例尺地图综合为较小比例尺地图过程中制图综合算子对空间目标形态、几何形状等的影响。针对建筑物“落入”河流中这类不一致性,依据数据同化原理,以 Morphing 变换为技术手段,提出了一种顾及河流和建筑物之间拓扑和距离关系约束的不一致性同化处理办法,该方法能够有效地继承较大比例尺地图空间数据的丰富性,同时较好地兼顾较小比例尺地图空间目标概括性。两组不同比例尺的河流、建筑物目标之间的不一致性进行同化处理实验,结果验证了该方法的有效性。与 Delaunay 三角网骨架线中轴化法对比,顾及空间关系约束的不一致性同化处理办法优势明显,亦为类似不一致性问题的处理提供了方法参考。后续工作将进一步深入研究不同类型空间目标之间的不一致性及其处理方法,以服务于地图数据库更新和维护,以及多源多尺度数据集成和协同应用。

参 考 文 献

- [1] Kainz W. Logical Consistency [J]. *Elements of Spatial Data Quality*, 1991(5): 109-137
- [2] Rodríguez M A. Inconsistency Issues in Spatial Databases[J]. *Inconsistency Tolerance Lecture Notes in Computer Science*, 2005, 3 300: 237-269
- [3] Jian Canliang, Zhao Binbin, Deng Min, et al. Detailed Review on Geo-spatial Data Inconsistency Detecting and Handling [J]. *Computer Engineering and Application*, 2013, 49(10): 150-155(简灿良, 赵彬彬, 邓敏, 等. 地理空间数据不一致性探测处理方法研究[J]. 计算机工程与应用, 2013, 49(10): 150-155)
- [4] Kang H K, Li K J. Assessing Topological Consistency for Collapse Operation in Generalization of Spatial Databases[J]. *Lecture Notes in Computer Science*, 2005, 3770, 249-258
- [5] Chen Jun, Liu Wei, Li Zhilin, et al. Detection of Spatial Conflicts Between Rivers and Contours in Digital Map Updating[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2007, 21(10): 1 093-1 114
- [6] Du Shihong, Qin Qimin, Wang Qiao, et al. Evaluating Structural and Topological Consistency of Complex Regions with Broad Boundaries in Multi-resolution Spatial Databases[J]. *Information Sciences*, 2008, 178(1): 52-68
- [7] Brisaboa N R, Luaces M R, Rodríguez M A, et al. An Inconsistency Measure of Spatial Data Sets with Respect to Topological Constraints [J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2014, 28(1): 56-82
- [8] Li Deren, Zhang J X, Wu Huayi. Spatial Data Quality and Beyond [J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2012, 26(12): 2 277-2 290
- [9] Rabier F. Overview of Global Data Assimilation Developments in Numerical Weather-prediction Centres [J]. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 2005, 131: 3 215-3 233
- [10] McLaughlin D. Recent Development in Hydrologic Data Assimilation [J]. *Reviews of Geophysics*, 1995(sup): 977-984
- [11] Chen Rongyuan, Liu Guoying, Wang Leiguang, et al. Fusion Algorithm of Multispectral and Panchromatic Images Based on the Data Assimilation [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2009, 34(8): 919-922(陈荣元, 刘国英, 王雷光, 等. 基于数据同化的全色和多光谱遥感影像融合[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2009, 34(8): 919-922)
- [12] An Xiaoya, Sun Chun, Zhang Xiaoming, et al. Actively Updating and Application Analysis of Multi-Geospatial Data Assimilation [J]. *Journal of Geo-Information Science*, 2010, 12(4): 541-548(安晓亚, 孙群, 张小明, 等. 多源地理空间数据同化的主动更新与应用分析[J]. 地球信息科学学报, 2010, 12(4): 541-548)
- [13] Li Xia, Zhang Yihan, Liu Xiaoping, et al. Assimilating Process Context Information of Cellular Automata into Change Detection for Monitoring Land Use Changes [J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2012, 26(9): 1 667-1 687
- [14] Li Xin, Huang Chunlin. Data Assimilation: A New Means for Multi-source Geospatial Data Integration [J]. *Science and Technology Review*, 2004, 25(12): 13-16(李新, 黄春林. 数据同化: 一种集成多源地理空间数据的新思路[J]. 科技导报, 2004, 25(12): 13-16)
- [15] Wang Yueshan. Data Assimilation—Its Cause, Its Meaning and Main Procedures [J]. *Marine Forecasts*, 1999, 18(1): 11-20(王跃山. 数据同化——它的缘起、含义和主要方法[J]. 海洋预报, 1999, 18(1): 11-20)
- [16] Li Zhilin, Wong Meiling. Animating Basic Operations for Digital Map Generalization with Morphing Techniques [J]. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, 2008, (B2): 637-642
- [17] Peng Dongliang, Deng Min, Zhao Binbin. Multi-scale Transformation of River Networks Based on Morphing Technology [J]. *Journal of Remote*

Sensing, 2012, 16(5): 953-968(彭东亮, 邓敏, 赵彬彬. 河网多尺度 Morphing 的变换方法研究[J]. 遥感学报, 2012, 16(5): 953-968)

[18] Wolberg G. Image Morphing: A Survey[J]. *The Visual Computer*, 1998, 14: 360-372

[19] State Bureau of Surveying and Mapping. GB/T 12343.1—2008. Compilation Specifications for National Fundamental Scale Maps—Part 1: Compilation Specification for 1 : 25 000 1 : 50 000 1 : 100 000 Topographic Maps[S]. Beijing: China Standard Press, 2008(中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T 12343.1—2008 国家基本比例尺地图编绘规范第 1 部分: 1 : 25 000 1 : 50 000 1 : 100 000 地形图编绘规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008)

[20] State Bureau of Surveying and Mapping. GB/T 20257.2—2006. Cartographic Symbols for National Fundamental Scale Maps—Part 2: Specifications for Cartographic Symbols 1 : 5000 1 : 10000 Topographic Maps[S]. Beijing: China Standard Press, 2006(中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T 20257.2—2006. 国家基本比例尺地形图图式第 2 部分: 1 : 5000 1 : 10000 地形图图式[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006)

[21] Ai Tinghua, Wu Hehai. Consistency Correction of Shared Boundary Between Adjacent Polygons [J]. *Journal of Wuhan Technical University of Surveying and Mapping*, 2000, 25(5): 426-431(艾廷华, 毋河海. 相邻多边形共享边界的一致化改正[J]. 武汉测绘科技大学学报, 2000, 25(5): 426-431)

An Assimilation Method of Inconsistency Between Area Objects at Different Scales with Respect to Spatial Relation Constraints

ZHAO Binbin¹ PENG Dongliang² ZHANG Shanshan²
LIU Shangshang¹ XIONG Xuping¹ DAI Quanfa¹

1 School of Traffic and Transportation Engineering, Changsha University of Science and Technology, Changsha 410114, China
2 Department of Geo-informatics, Central South University, Changsha 410083, China

Abstract: Consistency is a basic indicator of spatial data quality assessment. As an opposite of consistency, inconsistency of spatial data refers to the conflicts or contradictions between spatial objects at the same scale or different scales. Spatial data inconsistency is a common concern in the international geographical information community since 1990's, and will have a direct effect on spatial data integration, cartographic generalization and spatial data updating. Previous studies mainly focus on handling inconsistencies between line objects with the same scale. Less attention is paid to the problem of handling inconsistencies between objects from maps with different scales or related issues about “a building dropped in a river” in the process of cartographic generalization while deriving a smaller scale map from a larger scale map. Hence, this paper proposes an approach based on data assimilation principles for handling inconsistency between rivers and buildings. The proposed method first extracts boundaries of both rivers at different scales by means of spatial operations (e. g. split, intersection). Then, morphing transformations are performed from a larger-scale river boundary to the other one. Finally, with respect to topological and distance constraints between river boundary and a building, an optimal assimilated river boundary is determined. Experiments demonstrate that the proposed method is able to handle inconsistency between generalized river and buildings at a larger-scale effectively, providing a promising solution for eliminating topological conflicts while deriving consistently a smaller-scale map from a larger-scale map.

Key words: scale; spatial relation; inconsistency; morphing transformation; assimilation

First author: ZHAO Binbin, PhD, associate professor, specializes in the theories and methods of inconsistency detection and handling of multi-source and multi-scale map data. E-mail: zbb sir@163. com

Foundation support: The National Natural Science Foundation of China, No. 41301404; the Hunan Provincial Natural Science Foundation of China, No. 14JJ3083; the Scientific Research Foundation for NASG Key Laboratory of Land Environment and Disaster Monitoring, No. LEDM2012B02.