

DOI:10.13203/j.whugis20160490



文章编号:1671-8860(2019)03-0467-08

面状实体增量融合过程中拓扑冲突检测及一致性维护方法研究

张旗升^{1,2,3,4} 王艳慧^{1,2,3} 刘轩朋⁴

1 首都师范大学资源环境与地理信息系统北京市重点实验室,北京,100048

2 首都师范大学三维信息获取与应用教育部重点实验室,北京,100048

3 首都师范大学城市环境过程与数字模拟国家重点实验室培育基地,北京,100048

4 正元地理信息集团股份有限公司,北京,101300

摘要:针对目前面状实体增量融合过程中存在的拓扑冲突检测及一致性维护方法局限性强、通用性及效率较低、拓扑差异识别不准确等问题,提出了一种新的基于空间关系模型的拓扑一致性检测及维护方法。该方法在面状增量实体的基础上,设计了包括定性的面状实体拓扑关系类型、定量的位置特征及部分拓扑关系的集成空间关系表达模型,以最新版本数据库中面状增量实体的拓扑关系为冲突检测标准,设计并实现了顾及几何一致性的面状实体拓扑冲突自动检测和一致性维护算法。实验结果表明,该算法精度可达到90%左右,可很好地完成增量融合过程中的冲突检测及拓扑一致性维护工作,针对性强,适用性高。

关键词:增量更新;增量融合;冲突检测;一致性维护

中图分类号:P208

文献标志码:A

空间数据库增量更新可视为增量(变化)数据的检测、传输及融合等流程的综合,增量融合过程实质为空间数据库的重构过程。因空间数据的特殊性,新版本空间数据库生成后,必然要考虑数据生成时的质量控制问题^[1],否则将产生无使用价值的“垃圾数据”,在数据生成后的使用过程当中带来许多不必要的麻烦,间接影响其使用价值及其所带来的经济、社会价值。空间数据质量评价内容包括空间数据的完整性、准确性、逻辑一致性等,而拓扑一致性是空间数据质量评价的一个重要组成部分^[2]。因此,增量融合过程中所产生的拓扑不一致性问题则成为增量更新研究过程中不可回避的重要研究内容^[3]。

空间数据拓扑冲突检测及一致性维护一直是国内外GIS研究领域的一个热点^[4-6],因面状实体本身的复杂性和特殊性,该类型空间数据的拓扑维护一直是拓扑一致性维护研究中的重点,主要研究角度大致有如下几种:特定数据语境下的拓扑一致性检测及维护研究^[7-8],包括地籍、居民

地等数据类型;基于特定拓扑错误类型进行拓扑冲突检测维护^[9-10],类似于ArcGIS软件的拓扑错误检测维护功能;拓扑接边算法研究等^[10-12]。但这些方法仅仅局限于特定类型数据或者特定拓扑类型的冲突检测与维护,局限性较强,通用性较差,不能很好地对通用面状实体进行拓扑一致性检测维护,也无法很好地识别相同拓扑类型要素之间的具体拓扑差异和具有多种拓扑关系类型的面状要素之间的拓扑差异。此外,增量更新过程仅涉及增量实体的拓扑重构,用上述方法进行面状实体增量融合过程中的拓扑冲突检测及一致性维护工作,效率并不理想。因此,上述方法无法较好地解决面状实体增量融合过程中的拓扑冲突检测及一致性维护问题。

针对上述问题,本文提出了一种面状实体增量融合过程中的拓扑一致性检测及维护方法,该方法在面状增量实体的基础上,设计用于拓扑冲突检测及维护的空间关系表达模型。该模型包含定性的面状实体拓扑关系类型,并集成定量的位

收稿日期:2017-05-17

项目资助:国家重点研发计划(2018YFB0505400);国家自然科学基金(41771157);全国统计科学研究重点项目(2018LZ27);北京市教委科研计划(KM201810028014);首都师范大学科技创新平台建设项目。

第一作者:张旗升,硕士,研究方向为GIS方法和应用。275534955@qq.com

通讯作者:王艳慧,博士,教授。huiwangyan@sohu.com

置特征及部分拓扑关系所产生的几何特征,以便更加准确地识别拓扑差异,更好地服务于一致性维护流程。同时,为提高此方法的通用性,使拓扑一致性检测及维护不受数据类型影响,本文以最新版本数据库中面状增量实体的拓扑关系为冲突检测标准,设计冲突自动检测算法,构建面状实体拓扑一致性维护流程,从而解决面状实体增量融合过程中拓扑冲突检测及一致性维护问题,提高本文方法的针对性、通用性及维护效率。

1 拓扑冲突检测及一致性维护方法

增量更新过程中,被识别出的增量信息插入到删除变化数据的旧版本空间数据的过程即为空间数据的增量融合。在此过程中,因新、旧版本空间数据中可能存在的系统误差和偶然误差,尤其是更新过程中增加、删除、修改等空间更新操作将破坏原有的空间关系,从而导致更新后的空间数据产生不同类型的拓扑错误。考虑到空间数据库中每一个面状要素都有其各自对应的拓扑关系,很难以一种或几种特定的拓扑类型进行拓扑冲突检测及维护工作,因此,本文以新版本数据中增量实体的拓扑关系为标准,集成定性的面状实体的拓扑关系类型、量化的位置特征及部分拓扑关系所产生的几何特征,设计用于识别拓扑差异的拓扑空间关系表达模型,并定义拓扑冲突自动检测算法,检测集成到旧版本数据库后的增量实体与新版本数据中增量实体间可能存在的拓扑关系冲突,构建顾及几何一致性的面状实体拓扑一致性维护方法,以完成面状实体增量更新中的拓扑冲突检测及一致性维护工作。

1.1 拓扑冲突检测空间关系表达模型

拓扑一致性冲突检测是增量融合过程中进行一致性维护的前提,拓扑空间表达模型是拓扑冲突检测的基础。在进行维护前,首先需设计适合进行冲突检测及维护的空间关系模型来表达空间实体的细化拓扑结构,并构建恰当的检测流程。两个面要素之间简单、定性的拓扑结构可用拓扑四交模型或者九交模型所识别的8种基本关系^[13]来表达,但实际空间数据中可能存在更为复杂的复合空间关系,即一个面状实体与若干个空间实体产生不同的拓扑关系类型。此外,单独用定性拓扑关系类型并不能精准地识别拓扑差异,以相交类型的拓扑关系(Overlap)为例,若其相交面积差异过大,或方位及质心距离差异过大,均可视为该要素存在拓扑不一致问题。因此,若要准

确地进行拓扑冲突检测及维护,必须在表达空间关系时加入其他约束指标。本文所设计的定性与定量相结合的空间拓扑综合表达模型可以更好地识别相同拓扑类型要素之间的具体拓扑差异,也可以更好地识别具有复杂拓扑关系类型的面状要素之间的复合拓扑关系差异,模型具体包括如下3个部分。

1) 拓扑关系类型。面面之间单一的拓扑关系可用拓扑四交模型或九交模型所能识别的8种基本空间关系表示,其中包括相离(Disjoint)、包含于(Inside)、包含(Contains)、相等(Equal)、外接(Meet)、交叠(Overlap)、内接包含于(CoveredBy)、内接包含(Covers);而对于稍微复杂的复合空间关系可用上述8种空间关系的组合进行表达。但在实际应用中除去无意义的组合类型,其实际可抽象为Contains、Meet、Overlap、Covers 4种拓扑类型的组合,本文记为复合(Complex)类型,对于满足此关系的任意面状空间实体,其组合个数比例可表述为 $Contains: Meet: Overlap: Covers = N_{Contains}: N_{Meet}: N_{Overlap}: N_{Covers}$, 其中 $N_{Contains}$ 、 N_{Meet} 、 $N_{Overlap}$ 、 N_{Covers} 均为大于或等于0的整数,且 $N_{Contains} + N_{Meet} + N_{Overlap} + N_{Covers} \geq 2$ 。本文所用的9种拓扑关系类型如图1所示。

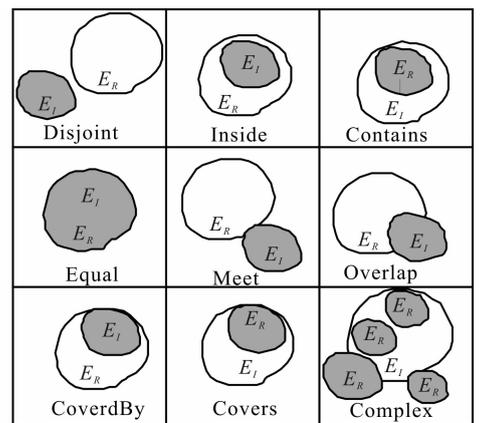


图1 9种拓扑关系类型

Fig. 1 Nine Types of Topological Relationship

2) 相对位置关系。为更加准确地识别拓扑差异,更好地服务于拓扑一致性维护流程,表达模型不仅要考虑定性的拓扑关系类型,还需要在空间关系表达模型中加入量化的位置关系指标。本文所指的位置关系包括方位关系和质心距离,而空间数据本身存在地理坐标,可用坐标相对位置度量其方位和距离特征。在增量更新过程中,因两个版本数据库存在系统误差和偶然误差,若以绝对位置坐标进行位置衡量势必存在度量误差。本文以增量空间实体(E_I)相对于特定参照实体

(E_R) 的相对空间位置来进行位置度量,即以参照实体的质心作为度量其位置关系特征的局部坐标系原点,其相对位置记录为 (X_R, Y_R) ,如图 2 所示。参照实体可确定为与该增量实体产生拓扑关系的空间实体,特别地,相离拓扑类型的参照实体为距离该增量实体质心最近的空间实体。

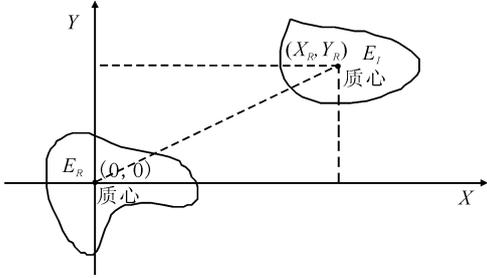


图 2 相对位置关系图示

Fig. 2 Chart of Relative Position Relationship

3)重叠面积特征。为更好地度量相交类型的拓扑关系差异,并更好地处理该类型拓扑实体维护过程中发生的几何不一致性问题,需要在相交类型的拓扑关系实体的空间表达模型中记录其相交面积 $Area(overlap)$ 。

用 $T(E_{In}), (X_{Rn}, Y_{Rn}), Area(overlap)_n$ 代表插入旧版本数据库中增量实体的拓扑关系类型、相对坐标位置、Overlap 拓扑类型增量实体的相交面积; $T(E_{Io}), (X_{Ro}, Y_{Ro}), Area(overlap)_o$ 代表用于检测的新版本数据库中增量实体的拓扑关系类型、相对坐标位置、Overlap 拓扑类型增量实体的相交面积; $Ture$ 代表符合拓扑一致性。理论上,对除去 Overlap 拓扑类型增量实体的拓扑一致性可描述为: $True = ((T(E_{In}) = T(E_{Io})) \text{ and } ((X_{Rn}, Y_{Rn}) = (X_{Ro}, Y_{Ro})))$,即当新版本数据库与增量融合后未经拓扑一致性处理的数据库中对增量面状实体的拓扑类型及相对位置相同时,可认为融合后的面状要素符合拓扑一致性要求;而对 Overlap 拓扑类型增量实体的拓扑一致性可描述为: $Ture = ((T(E_{In}) = T(E_{Io})) \text{ and } ((X_{Rn}, Y_{Rn}) = (X_{Ro}, Y_{Ro})) \text{ and } (Area(overlap)_n = Area(overlap)_o))$,即当新版本数据库与增量融合后未经拓扑一致性处理的数据库中对增量面状实体的拓扑类型、相对位置及相交面积均相同时,可认为 Overlap 拓扑类型增量面状要素在进行空间融合后符合拓扑一致性要求。

1.2 拓扑一致性冲突检测流程

因本文所描述的拓扑一致性检测及维护研究是在空间数据增量融合背景下进行的,为更有针对性地解决问题,并提高检测维护效率,其检测和

维护流程均在增量实体集合基础上进行,即以增量实体为基础,对与之发生拓扑关系的所有参照实体进行拓扑关系结构构建。检测时首先以 § 1.1 中所描述的空间关系表达模型对增量实体生成拓扑空间关系结构,然后设置检测阈值,并采用层次检测规则进行拓扑冲突检测,最终可识别出增量更新时产生拓扑不一致性问题的增量实体。

1)拓扑关系结构生成。不同类型的拓扑冲突检测方法不尽相同,因此在检测时应生成特定的空间关系结构,以便于进行冲突检测。按 § 1.1 中描述所生成的关系结构如表 1 所示。检测前,首先应生成新版本数据库中面状实体增量数据的空间关系结构,其次以融合后数据库中增量实体与对应参照实体生成重构之后的空间关系结构,并将生成的两个空间拓扑关系结构表进行对比,以进行拓扑冲突检测工作。

表 1 拓扑关系结构

Tab. 1 Topological Relationship Structure

拓扑类型	增量实体	参照实体	拓扑关系类型	位置信息	几何信息
简单拓扑类型	E_I	E_R	Disjoint	(X_R, Y_R)	无
	E_I	E_R	Inside	(X_R, Y_R)	无
	E_I	E_R	Contains	(X_R, Y_R)	无
	E_I	E_R	Equal	(X_R, Y_R)	无
	E_I	E_R	Meet	(X_R, Y_R)	$Area(E_I)$
	E_I	E_R	Overlap	(X_R, Y_R)	$Area(overlap)$
	E_I	E_R	CoveredBy	(X_R, Y_R)	无
	E_I	E_R	Covers	(X_R, Y_R)	无
复合拓扑类型		E_R	Contains	(X_R, Y_R)	无
		E_R	Meet	(X_R, Y_R)	$Area(E_I)$
	E_I	E_R	Overlap	(X_R, Y_R)	$Area(overlap)$
		E_R	Covers	(X_R, Y_R)	无

2)检测容差设定。因数据版本误差,在实际检测当中必须允许检测算法存在合理误差,若误差在合理范围内,可视为拓扑一致性良好,因此本文在进行拓扑冲突检测之前,需要设定其相对位置允许容差。本文分别设定其相对坐标值横、纵坐标允许的容差为 δ_x, δ_y ,当所检测增量实体的拓扑为相交类型,设定其相交面积容差为 $\delta_{Area(overlap)}$ 。为消除面状数据自身尺寸差异对实验结果产生的影响,更加合理地设置检测及维护阈值,本文以每个增量面状实体外接矩形长及其对应参照实体外接矩形的长之和的固定分数倍来设置其阈值 δ_x ,以每个增量面状实体外接矩形宽及其对应参照实体外接矩形的宽之和的固定分数倍来设置其阈值 δ_y ,并以进行融合的每个增量面状实体及参照实体的几何面积之和的固定分数倍来设定其相交面积容差 $\delta_{Area(overlap)}$ 。理论上,分数倍

数越小,每个增量实体的容差越小,检测出存在拓扑冲突的实体将越多。

3) 拓扑冲突自动检测算法。为进一步提高检测效率,结合生成的空间拓扑关系结构,设计用于拓扑冲突检测的层级检测规则:对两个版本数据中增量实体集合中的面状实体所生成的空间拓扑关系结构进行遍历,分别检测两版本中对应的同一面状实体的拓扑关系类型,若不同,则该增量实体存在拓扑不一致性问题;若相同,检测其位置关系是否符合预设容差,若不符合,则存在拓扑不一致性问题。特别地,若其拓扑类型一致,且为相交类型,同时位置之差符合预设的容差,则进一步检测其相交面积是否符合容差,若不符合,则可认为存在拓扑冲突。

特别地,复合关系拓扑类型可视为若干种简单拓扑关系的组合,其具体表达可见表 1 中的复合拓扑关系类型结构。因此,其检测过程可分解为若干个简单拓扑关系类型的冲突检测的组合过程,检测过程中,分别对分解后的简单拓扑关系类型要素进行拓扑冲突检测,若分解后的任一简单拓扑关系的要素存在冲突,则可视为该复合关系类型面状要素存在拓扑冲突。

1.3 拓扑一致性维护规则及实现流程

在拓扑冲突检测之后,拓扑一致性维护方法将瞄准存在拓扑不一致性问题的增量实体。为使维护方法更具有针对性,本文为特定类型的拓扑冲突实体设定对应的维护流程。维护前,首先检查增量实体的拓扑关系类型,然后根据特定的拓扑关系类型应用不同的维护规则进行拓扑一致性维护。维护过程中需反复进行拓扑冲突检测,并进行调整,若符合拓扑一致性,则维护完成;若不符合,继续进行调整,直至其拓扑一致性维护效果达到最好。其基本流程如图 3 所示。

图 3 中对应的拓扑一致性维护规则分为 4 种,具体如下。

规则 1: 对属于 Disjoint、Inside、Contains、CoveredBy、Covers 及 Overlap 中任一种拓扑类型的增量实体,在进行拓扑一致性维护时,首先以参照实体质心为原点构建相对坐标系,其次将存在拓扑冲突问题的增量面状实体的质心位置平移到相对坐标位置 (X_R, Y_R) ,再对其进行拓扑冲突检测。若不存在拓扑冲突,则维护完毕;若依然存在拓扑冲突,则可对增量实体的质心位置进行微调,直到满足正确的拓扑关系类型。其调整阈值范围为在以 (X_R, Y_R) 为对角线交点、 $2\delta_x$ 为长、 $2\delta_y$ 为宽的长方形内部,如图 4 所示。其中 δ_x 、 δ_y 分别为拓扑冲突检测方法中其横、纵坐标所设容差,当待维护增量实体的拓扑类型为 Overlap 时,其调整之后的相交面积之差必须小于其相交面积容差 $\delta_{Area(overlap)}$,即可视为维护成功。因拓扑一致性维护之后,增量实体的拓扑关系需满足拓扑冲突检测算法中的一致性约束条件,因此其相交面积容差需和拓扑一致性冲突检测流程中的面积容差设置成相同的值。

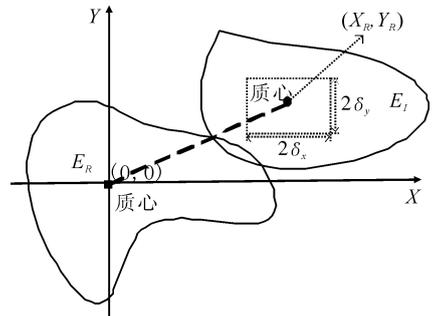


图 4 调整区域图示

Fig. 4 Diagram of Adjust Region

规则 2: 对属于 Meet 类型的增量实体,首先以相对位置平移方法进行质心位置平移,然后进行接边处理,接边算法较多,可选择任意一种成熟的接边算法进行接边处理。本文采用相邻多边形共享边界的一致化改正算法^[11]进行接边处理。

规则 3: 对属于 Equal 拓扑关系类型的增量实体,可直接用参照实体 ER 的边界来对增量实体进行调整,或直接复制参照实体的几何要素并赋予待维护的面状增量实体的相关属性信息。

规则 4: 对属于 Complex 拓扑关系类型的增量实体,可将该复合拓扑类型分解为若干对简单拓扑关系类型,每一对实体产生一个相对位置坐标 (X_{Rn}, Y_{Rn}) ,其中 $n = 1, 2, 3, \dots$,因此,每一个相对位置均可形成一个以 (X_{Rn}, Y_{Rn}) 为对角线交点、 $2\delta_x$ 为长、 $2\delta_y$ 为宽的长方形调整范围,其质

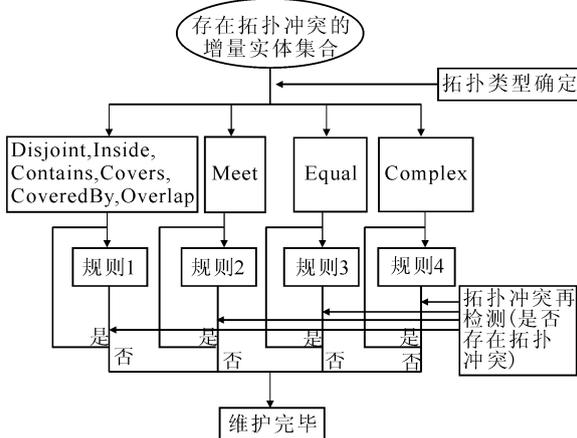


图 3 拓扑一致性维护流程图

Fig. 3 Flowchart of Topological Consistency Maintenance

心调整范围可确定为上述所有长方形调整范围的交集区域。首选调整位置可以为上述调整范围的质心位置。调整后同样进行拓扑冲突检测,若分解后的每一对拓扑关系均不存在拓扑冲突,则维护完毕;若依然存在拓扑一致性维护问题,则可对增量实体的质心位置进行微调,直到分解后的所有拓扑关系均满足正确的拓扑关系类型。

2 拓扑冲突检测及一致性维护实验与分析

为验证本文所描述的拓扑冲突检测及一致性维护方法的可行性,选取北京市某区两幅不同时期相同范围的大比例尺房屋建筑数据,比例尺为 1:1 万,并采用 C# 语言结合 ArcGIS Engine 进行实验验证。由于实验数据为建筑物面状类型数据,而实际数据中很少含有类似 Equal、Complex 拓扑类型的面状数据,因此为更好地验证方法的准确性、通用性及全面性,本文在实际数据中插入模拟的各种拓扑类型面状数据。在进行拓扑一致性检测及维护实验之前,首先需要对新版本空间数据中的面状增量信息进行提取,并将旧版本数据中的变化信息进行删除,最终将新版本空间数据中所提取的增量插入到删除了变化信息的旧版本数据中。本文采用基于层次匹配的面状要素几何匹配方法^[14]配合属性匹配进行要素匹配及增量信息提取。新、旧版本空间数据部分数据展示分别如图 5、图 6 所示。其中,图 5 中蓝色面状数据代表增量信息,图 6 中蓝色面状数据代表变化信息。



图 5 新版本空间数据部分展示

Fig. 5 Part of Demonstration of New Version Spatial Data

面状数据的大小各不相同,因此,若简单以固定数值阈值进行检测及维护实验,实验结果势必存在较大误差,如固定阈值对于较小的面状地物



图 6 旧版本空间数据部分展示

Fig. 6 Part of Demonstration of Old Version Spatial Data

而言可能显得过大,而对于较大的地物尺寸而言又可能显得较小。为消除面状数据自身尺度差异对实验结果产生的影响,本文以每个增量面状实体外接矩形长及其对应参照实体外接矩形的长之和的 $1/8$ 倍来设置其阈值 δ_x ,以每个增量面状实体外接矩形宽及其对应参照实体外接矩形的宽之和的 $1/8$ 倍来设置其阈值 δ_y ,并以每个增量面状实体及其参照实体的面积之和的 $1/16$ 设置其不同相交面积容差 $\delta_{Area(overlap)}$ 。图 7 为检测结果,其中,橙色数据为更新后不产生拓扑冲突的数据,红色空间数据为更新插入操作后产生拓扑冲突的数据实例。



图 7 拓扑冲突检测结果部分展示

Fig. 7 Part of Demonstration of Topology Conflict Detection Results

拓扑冲突检测过程完成之后,再根据本文所述维护方法对产生拓扑冲突问题的面状空间实体数据进行拓扑一致性维护,其维护结果如图 8 所示,其中绿色数据为参加拓扑一致性维护后的面状实体(即存在拓扑不一致性问题的面状实体)。在检测结果的基础上,其整体维护成功率可以达到 90.5%,各拓扑类型数据维护成功率见表 2。

表2 不同拓扑关系类型面状实体维护实验结果

Tab. 2 Maintenance Results of Area Entities with Different Topological Relationship

拓扑类型	参与拓扑一致性维护的实体个数	维护成功的实体个数	维护成功率/%
Disjoint	18	16	88.9
Inside	10	10	100
Contains	8	8	100
Equal	9	9	100
Meet	27	24	88.9
Overlap	18	15	83.0
CoveredBy	7	7	100
Covers	8	8	100
Complex	11	8	72.7
所有	116	105	90.5



图8 拓扑一致性维护结果部分展示

Fig. 8 Part of Demonstration of Topological Consistency Maintenance Results

由表2可知,在进行维护实验时,Disjoint、Meet、Overlap、Complex 4种拓扑类型面状实体数据并不能保证达到100%的维护成功率,主要原因是由于部分区域中实体数量较稠密,因此对这些产生拓扑一致性问题的数据进行维护时,

很容易和其他面状实体(实际数据中并未和维护实体产生拓扑关系的实体)产生冗余的拓扑关系。特别地,由于Complex类型的拓扑实体本身就与多个空间实体产生关系,且新旧版本数据本身存在一定误差,不能保证其面状实体几何特征完全相同。因此在维护时,部分面状实体很难能完全保证和每一个参照实体形成完全正确的拓扑关系,但因拓扑一致性检测结果并不能保证其拓扑细节完全相同,其检测本身允许存在一定的误差,若希望得到较高的维护成功率,则可适当放宽拓扑冲突检测的条件,以消除其数据本身存在的误差,如适当增大检测阈值。

此外,为验证本文方法的可靠性,首先另外选取其他不同比例尺的3个研究区域进行拓扑一致性检测及维护实验,各个类型拓扑实体的维护结果均较为稳定。对于维护效果较差的Complex类型的拓扑实体,其维护成功率在70%上下波动,而其整体维护效果可保持在90%以上,因文章篇幅原因,本文给出几个研究区的Complex类型的拓扑实体的维护成功率及整体维护成功率(见表3)。其次,分别进行相同比例尺下不同类型面状空间数据及相同数据下不同的拓扑一致性维护方法实验对比,分别见表4、表5,因本文所设计的拓扑冲突一致性维护流程为通用拓扑类型冲突维护方法,为避免无意义的精度及效率对比,实验选取与本文研究类似的方法进行对比研究,表5中对比方法为改进的基于规则的时空拓扑一致性处理模型^[9],表4中不同类型数据的维护结果与表3基本吻合。综上可知,本文所提出的面状实体增量更新过程中的拓扑冲突检测及一致性维护方法效果理想,其可行性高、适用性强。

表3 不同研究区域维护实验结果

Tab. 3 Maintenance Results of Different Research Areas

研究区域序号	研究区比例尺	参与拓扑一致性维护的实体个数	Complex类型拓扑实体维护成功率/%	整体维护成功率/%
1	1:5万	128	70.5	92.1
2	1:10万	196	74.9	90.3
3	1:25万	185	68.3	91.4

表4 不同类型数据维护实验结果

Tab. 4 Maintenance Results of Different Data

数据种类	研究区比例尺	参与拓扑一致性维护的实体个数	Complex类型拓扑实体维护成功率/%	整体维护成功率/%
建筑用地	1:1万	116	72.7	90.5
耕地	1:1万	140	66.7	91.4
建筑和绿化用地混合	1:1万	251	69.5	89.2

表 5 不同方法维护实验结果

Tab. 5 Maintenance Results of Different Methods

维护方法	参与拓扑一致性维护的实体个数	整体维护成功率/%	维护效率/h
本文方法	116	90.5	半自动/(0.5~1)
对比方法	116	75.0	手动/(1~2)

3 结 语

本文对面状实体增量融合过程中的拓扑冲突检测及一致性维护方法进行了研究,以面状增量实体作为检测及维护前提,集成拓扑四交模型所能识别的 8 种拓扑关系、抽象的复合拓扑关系及位置、方向特征等设计用于拓扑冲突检测及维护的空间关系表达模型,从而更加准确地识别拓扑差异,更好地服务于一致性维护流程。同时,本文以面状增量实体的拓扑关系为冲突检测标准设计冲突自动检测算法,构建面状实体拓扑一致性维护流程,以提高方法的针对性、通用性及维护效率。实验结果表明,本文方法可以很好地实现增量更新融合过程中面状实体的拓扑一致性检测及维护,正确率同效率兼备,具有较高的针对性、通用性。但本文研究并未涉及复杂的孔状多边形数据,对该类数据的拓扑冲突检测及一致性维护问题还需进一步研究。同时,对于本文所描述的拓扑一致性维护方法还需进一步完善、改进、细化。

参 考 文 献

- [1] Zeng Yanwei, Gong Jianya. Implementing Technique of Spatial Data Quality Control and Evaluation [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2004, 29(8): 686-690(曾衍伟, 龚健雅. 空间数据质量控制与评价方法及实现技术[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2004, 29(8): 686-690)
- [2] Zhu Qing, Chen Songlin, Huang Duo. Key Issues on Quality Standardization of Geospatial Data[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2004, 29(10): 863-867(朱庆, 陈松林, 黄铎. 关于空间数据质量标准的若干问题[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2004, 29(10): 863-867)
- [3] Woodsford P A. System Architecture for Integrating GIS and Photogrammetric Data Acquisition[J]. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2004, 34: 228-236
- [4] Ledoux H, Meijers B M. Topologically Consistent 3D City Models Obtained by Extrusion[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2011, 25(4): 557-574
- [5] Groger G, Plumer L. How to Achieve Consistency for 3D City Models[J]. *GeoInformatica*, 2011, 15(1): 137-165
- [6] Jian Canliang, Zhao Binbin, Deng Min, et al. Detailed Review on Geo-spatial Data Inconsistency Detecting and Handling[J]. *Computer Engineering and Applications*, 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)
- [7] Gui D, Li G, Li C, et al. Quality Check in Urban and Rural Cadastral Spatial Data Updating[C]. The 8th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences, Shanghai, China, 2008
- [8] Li Ming, Shen Chenhua, Zhu Xinyan, et al. Urban and Rural Integrated Cadastral Association Alternation Rule and Model[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2013, 38(10): 1 253-1 256(李铭, 沈陈华, 朱欣焰, 等. 城乡一体化地籍联动变更规则及模型研究[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2013, 38(10): 1 253-1 256)
- [9] Yi Baolin, Feng Yucai. An Improved Consistency Maintenance Model for Rule-Based Spatiotemporal Topology[J]. *Computer Engineering*, 2005, 31(5): 28-40(易宝林, 冯玉才. 一种改进的基于规则的时空拓扑一致性处理模型[J]. 计算机工程, 2005, 31(5): 28-40)
- [10] Kang H K, Li K J. Assessing Topological Consistency for Collapse Operation in Generalization of Spatial Databases[M]. Berlin, Heidelberg: Springer, 2005
- [11] 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)
- [12] Jin Jingyu. Technology Discussion of DLG Data Edge Matching Based on FME [J]. *Geomatics and Spatial Information Technology*, 2015, 38(3): 137-138(靳镜宇. 基于 FME 的分幅 DLG 数据接边技术小议[J]. 测绘与空间地理信息, 2015, 38(3): 137-138)
- [13] Mazimpaka J D. Methodical Spatial Database Design with Topological Polygon Structures[J]. *International Journal of Applied Geospatial Research*,

2012, 3(1):21-30

- [14] Zhang Qisheng, Wang Yanhui. The Research of Polygon Geometric Matching Method Based on Hierarchical Matching[J]. *Journal of Geo-information*

Science, 2016, 18(8): 1 043-1 051(张旗升, 王艳慧. 基于层次匹配的面状要素几何匹配方法研究[J]. *地球信息科学学报*, 2016, 18(8): 1 043-1 051)

Topological Conflict Detection and Consistency Maintenance Method in Process of Area Entities Incremental Integration

ZHANG Qisheng^{1,2,3,4} WANG Yanhui^{1,2,3} LIU Xuanpeng⁴

1 Beijing Key Laboratory of Resource Environment and Geographic Information System, Capital Normal University, Beijing 100048, China

2 Key Laboratory of 3-Dimensional Information Acquisition and Application, Ministry of Education, Capital Normal University, Beijing 100048, China

3 State Key Laboratory Incubation Base of Urban Environmental Processes and Digital Simulation, Capital Normal University, Beijing 100048, China

4 China Zhengyuan Geomatics Group Co, Ltd, Beijing 101300, China

Abstract: In order to solve the problems such as strong limitations, low versatility and efficiency, and inaccurate topological difference identification of topological conflict detection and consistency maintenance method, et al, in the process of area entities incremental integration, a new topological conflict detection and consistency maintenance method based spatial relation model is proposed. The integrated spatial relationship expression model is designed with qualitative area entities topological relation types, and quantitative geometric features on the premise of area incremental entities. Area entities topological conflict detection and consistency maintenance algorithm is designed and integrated with a standard of incremental area entities topological relationships in the latest version of the database. Experimental results show that the experimental accuracy can reach 90%, and the method can do the work of topological conflict detection and consistency maintenance method in the process of area entities incremental integration very well with good pertinence and applicability.

Key words: incremental update; incremental integration; conflict detection; consistency maintenance

First author: ZHANG Qisheng, master, specializes in GIS method and applications. E-mail:275534955@qq.com

Corresponding author: WANG Yanhui, PhD, professor. E-mail:huiwangyan@sohu.com

Foundation support: The National Key Research and Development Program of China, No. 2018YFB0505400; the National Natural Science Foundation of China, No. 41771157; the Key Research Projects of National Statistical Science of China, No. 2018LZ27; the Research Project of Beijing Municipal Education Committee, No. KM201810028014; the Research Project of Science and Technology Innovation Platform Construction of Capital Normal University.