

doi:10.3799/dqkx.2010.046

多模式复合交通网络的拓扑一致性处理

杨林^{1,2}, 左泽均^{1,2}, 李振栋³

1. 中国地质大学信息工程学院, 湖北武汉 430074

2. 地理信息系统软件及其应用教育部工程研究中心, 湖北武汉 430074

3. 武汉中地数码科技有限公司, 湖北武汉 430074

摘要: 城市交通已从单一模式向有规则的多模式叠加、复合的交通体系转变, 多模式复合交通网络模型较传统的单一模式网络模型增加了模式转换的概念, 其网络的拓扑一致性维护也较传统单一模式网络更加复杂。针对多模式与单一模式的差异及复杂性, 分析了多模式网络中存在的变化类型, 并针对网络要素的3种典型变化情形给出了多模式网络的拓扑关系一致性处理方法。该方法在模拟双模式交通网络中予以实现, 能够正确地维护多模式网络的拓扑关系, 验证了该方法的正确性。该方法将为多模式网络的拓扑一致性研究提供参考。

关键词: 多模式网络; 拓扑维护; 一致性; 地理信息系统。

中图分类号: TP311

文章编号: 1000-2383(2010)03-0397-06

收稿日期: 2010-01-15

Topological Consistency of Multimodal Composite Transportation Network

YANG Lin^{1,2}, ZUO Ze-jun^{1,2}, LI Zhen-dong³

1. Faculty of Information Engineering, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. Engineering Research Center of GIS Software and Applications, Ministry of Education, Wuhan 430074, China

3. Wuhan Zondycyber Co., Ltd., Wuhan 430074, China

Abstract: City transportation has transformed from single modal to multimodal composite transportation system. Compared with single modal network model, multimodal composite transport network model adds the concept of mode transfer; therefore its topological consistency maintenance is more complex. Aimed at the difference and complexity between single mode and multimode, this paper analyzes the changing types in multimodal network, presents the topological consistency maintenance methods for these typical changing types. Test shows that these methods can correctly maintain the topological relationship of multimodal network. The method presented in the paper provides valuable references for study on topological consistency of multimodal network.

Key words: multimodal network; topological maintenance; consistency; geographic information system (GIS).

交通系统维系着国民经济建设和人民生活的正常运转。经过多年的实践, 城市建设和交通管理部门已经意识到单纯地进行道路基础设施建设已不可能从根本上解决目前的交通状况(李德仁等, 2008)。城市交通规划迫切需要从单一模式向多模式相互支撑的交通体系转变。上海世界博览会交通规划研究机构提出构建多模式集成化的现代复合交通体系, 指出城市交通系统应该是一个有规则的多模式叠加和复合的网络系统(潘海嘯, 2005)。一个合理的城市交通应

该是平衡发展的, 兼具多种交通方式, 使人们较少依赖于汽车。否则汽车将占据所有的空间并使其他交通方式变得无效, 并增加危险性, 恶化出行环境。但同时也要为其保留一席之地, 使之发挥最恰当的功能。随着火车、汽车、地铁、轻轨等穿行在地上和地下, 城市交通网络不断扩大和复杂。在已有的单模式交通网络模型的基础上研究一种多模式复合交通网络模型, 提供多模式交通间的转换, 为行人出行提供最便捷和智能的多模式出行策略越来越具有实际意义(吴信才

等,2008;吴信才,2009).国内外学者已对支持多模式的交通网络模型予以研究,并取得了一部分理论研究成果(叶亚琴等,2006;周顺平等,2006).

在多模式复合交通网络模型的基础上,建立高效、便捷的多模式复合交通网络管理体系势在必行,多模式复合交通网络的构建、多模式复合交通网络的拓扑一致性维护方法、顾及模式转换的多模式路径出行策略、基于多模式路网的网络分析等相关研究也需得到支持.

在支持多模式的复合交通网络模型的基础上(吴信才等,2008),本文将针对多模式复合交通网络的特殊性,对其拓扑一致性维护方法进行深入分析.

1 模型及概念

下面是文中用到的基本模型及相关概念.

(1)多模式复合交通网络模型.多模式复合网络由单模式子网络以及模式连通结点集组合而成,其中单模式子网络可以有一到多个,分别表示复合网络中不同的交通模式,模式连通结点集也可以有一到多个,是连通不同模式子网络的桥梁.每个单模式子网络则由网络结点和网络边线组成,其中网络结点可以表示道路交叉口、公交站点、地铁出入口、轻轨出入口等点状要素,网络边线可以表示街道路段、公交路段、地铁路段、轻轨路段等线状要素.该模型详见文献(吴信才等,2008).

(2)实节点.具有实际意义的节点,拥有自己的几何与属性信息,对应于现实世界交通网络中的一个几何要素,不仅可以维系网络的拓扑关系,还具有实际的意义.

(3)虚节点.只具有拓扑连接上的意义,而不具有实际意义.没有自己的几何与属性信息,也没有与现实世界交通网络中几何要素的对应关系,仅仅用于维护网络的拓扑关系.

(4)模式连通节点.即某种模式下的实节点,它同时兼具模式连通的功用,不但维系网络的拓扑关系,而且承担着不同模式之间的网络元素相互连通的责任.多模式交通方式的转换,表示的是:在一次出行期间不同交通工具间的连接.模式转换概念的核心是从一种交通工具到另一种的转换(潘海啸和杜雷,2003).在多模式网络中,人们势必要进行模式转换,而模式连通节点可以完成这种行为.

(5)模式内部连通实节点.即某种模式下的实节

点,它不承担连通不同模式网络的责任,仅维系本模式内网络元素之间的拓扑关系.

(6)模式内部连通虚节点.即某种模式下的虚节点,它不承担连通不同模式网络的责任,仅维系本模式内网络元素之间的拓扑关系.

(7)网络要素.从几何网络的现实角度考虑,承载几何信息与属性信息的基本单位.

(8)网络元素.从逻辑网络的拓扑角度考虑,承载拓扑关系的基本单位.网络元素与网络要素具有对应关系.

2 多模式网络变化形式

研究多模式网络数据拓扑的一致性维护,必须首先分析现实世界多模式网络变化的表现形式,继而针对这些变化分析一致性维护方法.笔者对比分析了2006年和2007年的导航地图数据,选择湖北省武汉市为研究范围.其表现形式主要有以下几类:

(1)道路类型变化.例如:由于道路等级的变化,武汉市紫阳路由单行线变双行线,其道路绘制方式发生了变化.(2)道路交叉口的变化.例如:武汉市沌口路的交叉处由十字交叉改变为复杂立体交叉.(3)新建道路.例如:在武汉市中北路沙湖上新建了连接两岸的桥梁,连接桥梁和已有道路的一些联接路段.(4)拆除道路.例如,存在一些小路段的消失.

除了街道模式中道路及交叉口的变化,多模式交通网络中其他模式的路段及站点也具有类似的变化形式.最为常见的一种变化类型就是模式连通节点的建立与撤销,例如公交站点往往会根据实际情况新建与拆除.

从模型的角度分析现实世界道路数据的变化,认为多模式交通网络的变化形式主要由以下几种因子更新组合而成:(1)新增网络要素数据:可能是新增道路数据或者新增节点数据.(2)更新网络要素数据:可能是道路属性信息的变化,也可能是道路几何外形的变化,表现为路段的局部或者全部外形的改变.(3)删除网络要素数据:可能是删除道路数据或节点数据,例如,删除某个路段或者删除某个站点.

3 多模式网络拓扑一致性维护

依据多模式网络变化的3种形式,多模式网络数据的一致性维护,主要针对这3种典型变化进行

研究.

3.1 新增网络要素

新增网络要素可能是新增网络节点元素或者网络边线元素,例如某个区域增加了一条新的道路,或者某条公交线路增加了若干站点等.下面分别就这两种情况具体说明多模式网络的一致性维护方法.

(1)新增网络节点元素.新增网络节点元素有两种情况:一种是增加模式内部节点,一种是增加模式连通节点.

第 1 种增加模式内部节点,例如道路网络中的道路交叉口等.这种网络节点元素的增加,只需判断新增节点是否与本模式内部的其他网络元素产生新的关系,或者引起本模式内部其他网络元素信息的改变,毋需考虑与其他模式的拓扑关系,属于较为简单的情况.

第 2 种增加模式连通节点,它是某种模式的网络节点,但该节点恰好属于模式连通节点的类型.这种情况需要考虑该模式节点要素的增加会不会与其他模式的网络元素建立连通关系,会不会引起其他模式网络元素拓扑关系的改变.

如果它们与其他模式的边线要素都没有几何重叠关系,那么该模式节点不会与其他模式的网络元素发生关系,新增节点操作按照单模式内部节点处理.如果有几何重叠关系,那么该模式节点会与其他模式网络边线元素发生关系,需建立本模式网络元素与其他模式之间的连通关系.

现在举例说明第 2 种情形的编辑维护过程.如图 1a 所示,存在街道、公交、地铁 3 种模式.按照多模式拓扑构建策略(吴信才等,2008),其构建的图结

构如图 1b 所示.现在公交线路增加了一个站点 B3,地铁线路增加了一个站点 M3,如图 2a 所示.此时多模式网络一致性该如何维护?

由于增加的两个站点都是模式连通节点类型的节点.以 B3 为例,检查新增节点 B3 与街道模式的几何重叠关系,B3 与街道 SE23 具有几何重叠,如图 2b 中标出的阴影区域.那么 B3 将公交模式下的边线 BE24 打断成为两个边线元素 BE23、BE34,将街道模式下的边线 SE23 打断成为两个边线元素 SE21、SE22.节点 B3 将连通两种模式下的边线元素 BE23、BE34、SE21、SE22,如图 2c 所示.

地铁站点 M3 的处理方式相同,其处理过程如下:删除公交模式边线元素 BE24,添加公交模式节点元素 B3,添加公交模式边线元素 BE23、BE34,更新公交模式节点元素 B2、B4 的拓扑关系,添加道路模式边线元素 SE21、SE22,删除地铁模式边线元素 ME24,添加地铁模式节点元素 M3,添加地铁模式边线元素 ME23、ME34,更新地铁模式节点元素 M2、M4 的拓扑关系,添加道路模式边线元素 SE22、SE23.每一步网络元素的编辑操作带来一次多模式网络状态的变化.上述一致性维护处理过程包含诸多步骤,需维持事务的原子性,必须全部执行或者全部撤销,这样才能确保多模式网络拓扑关系的一致性.

(2)新增网络边线元素.新增网络边线元素,一定是任意一种交通模式下的内部边线.例如多模式网络下的道路模式网络中某个区域新建了一条道路,或者公交模式网络中增加了一条新的公交线路,再者地铁模式网络中建成了一段新的地铁等.

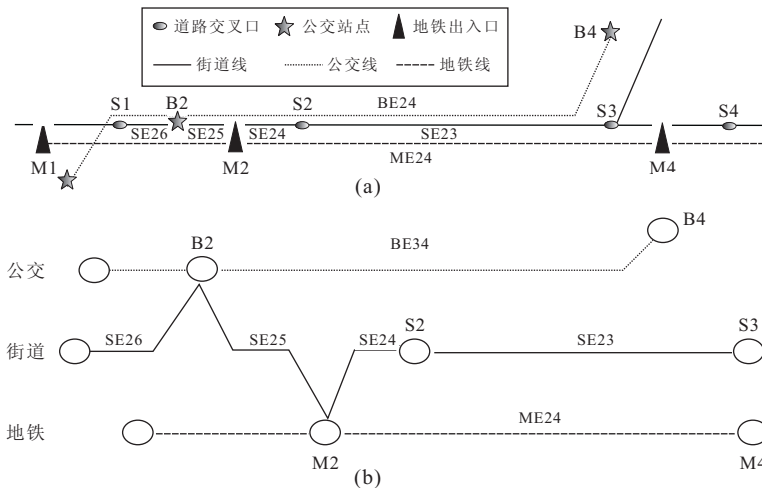


图 1 增加节点元素之前的模式

Fig. 1 Sketch modal before adding a node element

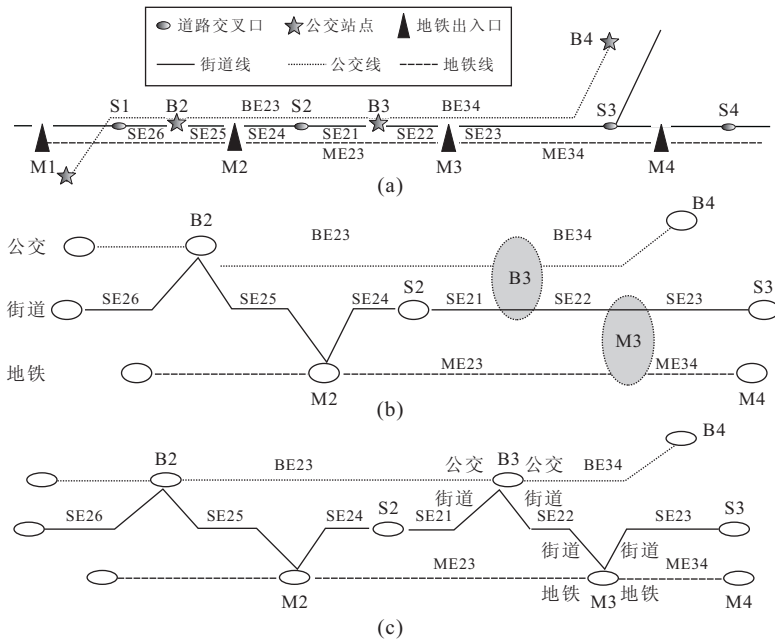


图 2 增加节点元素之后的模式

Fig. 2 Sketch modal after adding a node element

多模式网络提供对多种交通模式的支持,那么
在多模式复合交通网络这张大图中添加某种模式的
边线要素,需考虑其会不会与其他模式的网络元素
建立连通关系,会不会引起其他模式网络元素的拓
扑关系的改变.如果它们与模式连通集中的所有模
式连通节点都没有几何重叠关系,那么该模式的新
增边线操作按照单模式内部边线来处理.如果产生
几何重叠关系,则该模式边线元素就通过模式连通
节点与其他模式的网络元素建立连通关系.

3.2 更新网络要素

更新网络要素,是多模式网络形式变化的一种
非常常见的形式.有可能是要素的属性信息或者要
素的几何形状发生的改变.

(1)交通属性信息的变化.可能是道路属性的更
改、道路交叉口属性信息的更改等.由于不涉及到多
模式网络拓扑关系,不考虑此类变化.

(2)道路几何外形信息的变化.表现为道路的局
部或者全局外形的改变.这类更新涉及到参与多模
式网络类的源要素类的几何信息的改变.

道路几何外形的更新包括节点元素和边线元素
两种.由于只是几何信息的改变,因而不涉及到相关
网络元素之间拓扑信息的变化,也不会涉及到模式的
变更.因此,无论是哪种模式下的网络元素,只要
查找到相关联的发生几何改变的元素对应的要素,
完成其相应的更新即可.

3.3 删除网络要素

删除网络要素,可能是删除某处废弃的路段、删
除某个废弃的十字路口或者撤掉一些公交站点等.
网络要素的删除情形可以划分为如下 3 种类型:模
式连通节点的删除、模式内部连通实节点的删除和
模式内部连通虚节点的删除(图 3 和图 4).

(1)模式内部连通实节点的删除.由于这种节点
的性质是仅维护本模式内部的网络拓扑关系.那么
此类节点的删除只会影响到本模式内部的网络节点
和边线元素,而不会与其他模式的网络元素发生关
系,也不会引起其他模式网络元素的改变.其过程是
删掉该节点要素,删掉其对应的节点元素,产生一个
新的虚节点,建立拓扑关系.

(2)模式内部连通虚节点的删除.此类节点也是
仅维护本模式内部的网络拓扑关系.其删除只会影
响到本模式内部的网络节点和边线元素,不会引起
其他模式网络元素的改变.由于虚节点本身就不具
有实际的意义,仅作维系拓扑关系之用,如果删掉这
类节点后,与这些节点相连的边将不复存在.其处理
方式是直接删掉与该节点相连的边线元素.

(3)模式连通节点的删除.对于模式连通节点的
删除则比较复杂,由于模式连通节点涉及到多种不
同模式之间的连接关系,那么删除掉模式连通节点
之后,模式之间的通路将不再存在.在这个连通节点
对应的几何位置将不再有模式的连通.各个模式本

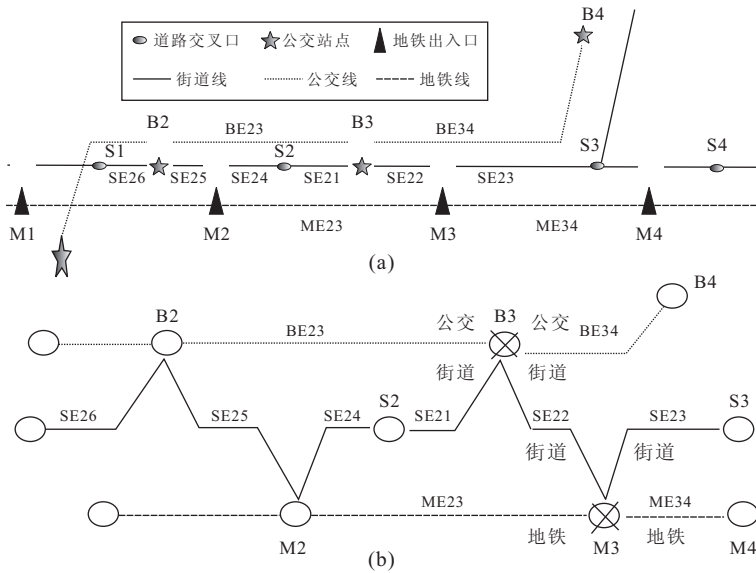


图 3 删除网络节点元素之前示意图(a)和删除网络节点元素之前逻辑图(b)

Fig. 3 Sketch graph (a) and logical graph (b) before deleting a network node element

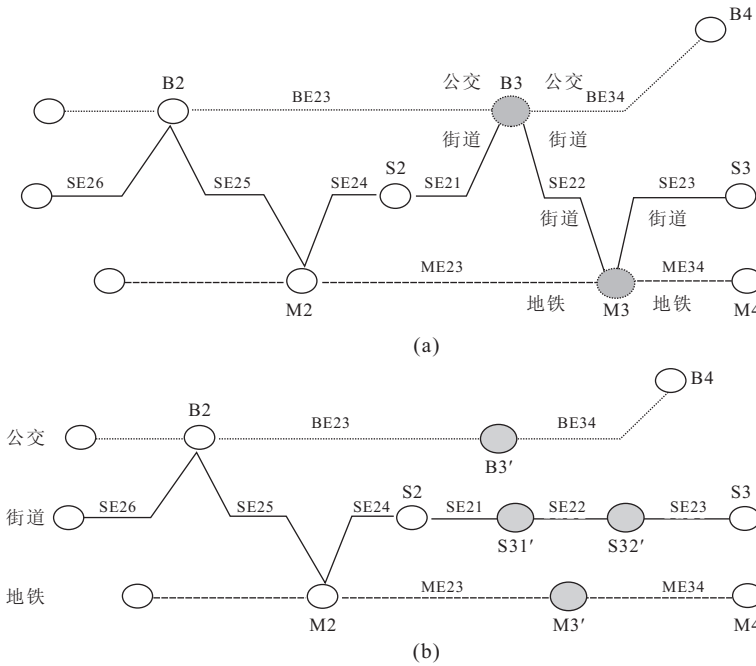


图 4 删除网络节点元素的捏合过程(a)和删除网络节点元素之后的模式(b)

Fig. 4 Snapping process of deleting a network node element (a) and modal after deleting a network node element (b)

来的连接关系需要得以恢复. 下面笔者以一个具体的例子对这种情形进行分析.

图 3a 描述删除网络节点元素之前的情形. 该多模式网络由 3 种模式复合而成. B2 和 B3 是公交线路上的公交站点, S1、S2、S3 和 S4 是街道上的道路交叉口, M1、M2、M3 和 M4 是地铁线路上的地铁换乘站点.

按照多模式构建策略, 进行多模式建网之后的图结构, 如图 3b 所示. 现在由于公交线路调整, 撤掉了公交站点 B3, 另由于地铁路线的改造, 撤掉了地铁换乘点 M3. 那么网络数据该如何调整, 如何维护一致性?

由于公交站点 B3 和地铁站点 M3 都是实节点, 即具有真实的几何位置和相关站点信息. 将 B3 和

M3 删除之后,将出现图 4a 的情形.对于 B3 而言,公交边线元素 BE23、BE34 以及街道边线元素 SE21、SE22 该如何重建拓扑关系?通过几何捏合条件来判断,4 个边线的端点都几何重叠.但是模式连通节点已经不在,这 4 个元素不可以被捏合在一起.

由于这四条边线元素涉及不同的交通模式,属于不同的层次,那么需要判断各个边线各自属于哪种模式.由于每条边线元素带有所属交通模式的信息,通过边线元素交通模式信息的模式匹配,将具有相同交通模式信息的边线元素进行捏合,由于实节点已经被删除,则建立一个虚节点 B3',仅用于维护公交线路 BE23、BE34 之间的连通关系,但是不具有实体上意义.另建立一个虚节点 S31',仅用于维护公交线路 SE21、SE22 之间的连通关系,不具有实体上意义.通过这种方式将删除模式连通节点后的情形还原到了正确的状态下.同理,删除 M3 也按此方式处理.删除后的多模式拓扑关系如图 4b 所示.

4 结论及展望

多模式网络的拓扑一致性维护同单模式相比,主要复杂在不同模式之间拓扑关系的一致性维护上.本文在已有多模式复合交通网络模型的研究基础上,分析了多模式路网中存在的变化类型,并针对新增网络要素、更新网络要素和删除网络要素 3 种变化情形给出了多模式网络的拓扑关系一致性处理方法.该方法在模拟的街道——地铁双模式交通网络中予以实现,能够正确地维护多模式网络的拓扑关系,验证了本文提出的拓扑一致性维护方法的正确性.

伴随着交通多模式化的进程,迫切需要交通模型从单一模式向多模式交通模型的转变,构建多模式集成化的现代复合交通体系.随着智能交通系统(intelligent transportation system, ITS)和多模式交通网络的迅速发展,众多复杂路径问题应运而生.多模式网络分析、路径规划与导航等应用算法将是交通地理信息系统(geography information system-transportation, GIS-T)交叉领域新的研究课题.在多模式旅客出行以及货物运输操作迅速增长的同时,对于多模式网络的建模以及基于多模式网络的复杂算法方面的研究仍较少.另外,交通需求的时变性和交通网络的大规模化给此类研究带来了极大的困难,仍然需要进一步的理论探索和实践.

References

- Li, D. R., LI, Q. Q., Yang, B. S., et al., 2008. Techniques of GIS, GPS and RS for the development of intelligent transportation. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 33(4): 331—336 (in Chinese with English abstract).
- Pan, H. X., Du, L., 2003. City transport modes and transfer in multi-modal. Tongji University Press, Shanghai (in Chinese).
- Pan, H. X., 2005. Study on the concept of 2010 Shanghai expo transport planning: establishing integrated multi-modal transport system. *Urban Planning Forum*, 1: 51—56 (in Chinese with English abstract).
- Wu, X. C., 2009. Datacenter integration development technology: the next generation GIS architecture and development model. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 34(3): 540—546 (in Chinese with English abstract).
- Wu, X. C., Yang, L., Zhou, S. P., et al., 2008. Multimodal supported composite transportation network model. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 33(4): 341—346 (in Chinese with English abstract).
- Ye, Y. Q., Zuo, Z. J., Chen, B., 2006. Orient-entity spatial data model. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 31(5): 595—599 (in Chinese with English abstract).
- Zhou, S. P., Li, H., Du, X. P., 2006. Building the topology of spatial entities. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 31(5): 590—594 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 李德仁, 李清泉, 杨必胜, 等, 2008. 3S 技术与智能交通. 武汉大学学报(信息科学版), 33(4): 331—336.
- 潘海啸, 杜雷, 2003. 城市交通方式和多模式间的转换. 上海: 同济大学出版社.
- 潘海啸, 2005. 上海世博交通规划概念研究——构建多模式集成化的交通体系. 城市规划学刊, 1: 51—56.
- 吴信才, 2009. 数据中心集成开发技术: 新一代 GIS 架构技术与开发模式. 地球科学——中国地质大学学报, 34(3): 540—546.
- 吴信才, 杨林, 周顺平, 等, 2008. 支持多模式的复合交通网络模型研究. 武汉大学学报(信息科学版), 33(4): 341—346.
- 叶亚琴, 左泽均, 陈波, 2006. 面向实体的空间数据模型. 地球科学——中国地质大学学报, 31(5): 595—599.
- 周顺平, 李华, 杜小平, 2006. 空间实体的拓扑构建. 地球科学——中国地质大学学报, 31(5): 590—594.