

支持多模式的复合交通网络模型研究

吴信才¹ 杨 林^{1,2} 周顺平¹ 万 波¹

(1 中国地质大学(武汉)信息工程学院,武汉市鲁磨路 388 号,430074)
(2 中国地质大学(武汉)研究生院,武汉市鲁磨路 388 号,430074)

摘 要:针对出行者的多模式复合出行需求,设计了一种支持多模式的复合交通网络模型,基于该模型提出了构建多模式复合网络拓扑关系的几何捏合模型,并给出了详细的拓扑生成算法。该模型将不同模式的子网络纳入到一个统一的图结构中,为多模式复合路径分析服务提供高效的数据组织。实验结果表明,该模型及算法是可行的。
关键词:多模式;复合;交通网络模型;拓扑构建算法
中图法分类号:P208

交通是人们日常生活的重要组成部分,也是地理信息系统的一个重要应用领域。由于城市生活的日益多样化和我国城市普遍高密度的发展模式,城市交通空间十分有限,交通需求日益多样,这种发展趋势是任何一种单一的交通模式都难以应付的,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。上海世博交通规划研究机构提出了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、复合的网络系统^[1]。随着城市公共设施的不断完善和发展,城市之间或城市内部也出现了越来越多的交通方式。伴随着交通模式的多样化和行人多目的的出行需求,人们不知道如何乘车、转车,猜测和烦恼伴随着人们的出行。建立多模式的复合交通网络模型,能够使各种交通方式优势互补,提供多功能的复合型服务。目前的交通网络通常都是单一模式的,因而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。多模式复合交通网络模型及多模式出行路径分析服务将使人们在出发前对交通出行和计划作出精密的安排。

1 国内外研究进展

国外学者对于多模式网络模型及相关算法的研究起步较早,已经有了一些理论研究成果。Van Nes^[2]提出了一种在等级网络标准的概念基础上设计多模式网络的策略。功能不同的等级可以很容易地识别,如铁路和高速公路。在多模式交通网络通过固定的换乘点进行连接,离开或者到达站点的时刻也是预订好的,不能屈从于改变。Mainguenaud^[3]提出的数据模型基于图理论和面向对象方法的融合,该策略允许将结点和弧段定义成抽象的子网络,依据结点和弧段的重要性网络被组织成等级方式。Jung 和 Pramanik^[4]发展了新的图模型——等级多层次图,适合大规模的地形道路图,该模型可以将地形道路图组织和抽象为等级模式。Jing^[5]建议等级编码路径视图,将大区域的图划分成小块的子图,通过增加边界结点的方式组织成等级模式,这种方式预先计算好每个子图当中所有成员结点(包括边界结点)之间的最短路径。多数研究都涉及到了大规模数据的搜索问题。因此,对于多模式交通网络需要一个高效的数据库组织方法,来加速最短路径的计算^[6]。

国内对于多模式网络数据模型的研究仍然处于起步阶段。为了满足多模式网络的需求,一些学者提出了虚拟网络(virtual network, V-net)的概念,特别是在多模式交通网络中。陆锋^[7]借鉴了虚拟网络的思想进行多模式建模,如同真实网络一样,虚拟网络也由结点、单点和连线组成,强调拓扑表达,忽略网络的几何形态。该模型主要针对现实交通中的公交网络,以每条公交线路作为基本特征单位,采用面向对象思想和动态分段技术。该模型构建的不同特征线路所包含路段和站点之间的关系是隐式的,依赖于映射关系表示的虚拟实体无法继承真实的拓扑关系,不利于多模式交通网络的路径分析。本文研究如何将各种多模式的子网络构建成为统一的图模型,以运用经典的基于图论的最短路径算法和已有研究成果,为多模式复合路径分析服务提供高效的数据组织。

2 支持多模式的复合网络模型描述

定义 1 多模式复合网络描述:MultiModal Net = { SubNet₁, SubNet₂, ..., SubNet_m, Modal-Transfer NodSet₁, ModalTransfer NodSet₂, ..., ModalTransfer NodSet_m }。其中 SubNet₁至 Sub-Net_m表示构成多模式复合网络的单模式子网络; ModalTransfer NodSet₁至 ModalTransfer Nod-Set_m表示连通不同模式子网络的结点集。

定义 2 单模式子网络描述:SubNet = { InnerNod, InnerLink, TMode }。其中 InnerNod 表示单模式子网络的内部结点; InnerLink 表示单模式子网络的内部边线; TMode 表示单模式子网络的交通模式类型。

纵向分析,可以将多模式复合网络切分成若干层次,每个层次表示一种模式的交通网络,复合网络由多层次的不同模式子网络叠加而成。为了使不同层次、不同模式的子网络之间建立起联系,从现实生活中的模式转换着手分析。行人可以在不同的交通模式之间流动,从一种模式到另一种模式的流动是通过若干中转站点来完成的。行人步行来到公交站点乘坐公交车,从行人模式转换到了公交模式,通过公交站点完成模式流转。行人下车离开公交站点,步行来到轻轨入口乘坐轻轨,从公交模式转换到行人模式,再由行人模式转换到轻轨模式,通过公交站点和轻轨出入口完成。这些公交站点、轻轨出入口、地铁出入口等就是实现行人在不同交通模式之间流动的中转站,将这些中转站称为模式连通结点集。

支持多模式的复合交通网络模型描述如图 1 所示。网络为抽象概念,由结点和边线组成。本模型中有单模式子网络和多模式复合网络两种网络,它们本质上都是网络,都从抽象网络概念继承而来。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至多个,分别表示复合网络中不同的交通模式;模式连通结点集可以有一至多个,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。

从逻辑层面来看,复合交通网络可以视为图 G(V,E),图分裂为一系列的子图 G₁,G₂,...,G_m,每个子图表示一个单模式子网络。单模式子网络是相对独立的子网络,是一个由结点和弧段构成

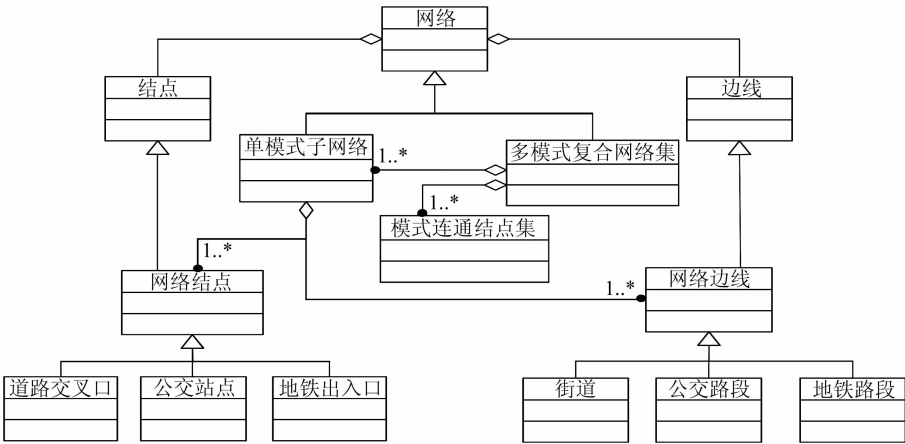


图 1 多模式复合交通网络模型图

Fig. 1 Multimodal Composite Transportation Network Model

的图数据结构。为了便于应用图算法,多模式复合网络的目标是将多个单模式子网络构建成一个连通的大图。单模式子网络是内部连通的图,然后模式连通结点集完成子网络之间的二次连通,使复合交通网络成为一张可以支持高效图算法的大连通图。

3 多模式复合交通网络拓扑生成算法

道路的拓扑关系是路径规划引导、最近设施查找、资源分配以及选址分析等应用的基础,是网络数据最重要的特性,也是网络数据处理与生产的关键技术。以往针对单模式网络下拓扑关系自动生成的研究已经取得了丰硕的成果^[8]。本文提出了针对多模式复合网络拓扑关系的自动生成算法。

3.1 捏合模型

多模式复合交通网络拓扑关系的自动构建采用几何捏合模型。依据原始数据的几何位置信息判断,在一定的容差范围内进行捏合,捏合的要素之间自动建立拓扑关系。单模式子网络包含相同模式的多个线要素类和点要素类,单个要素类描述具有相同属性的一类要素的集合。为了使本网络模型能够提供更加灵活的拓扑构建机制,捏合策略施加在要素类上,使每个要素类内部的要素具有相同的捏合策略,而线要素类和点要素类则可以拥有不同的策略,线要素类有端点捏合与顶

点捏合策略两种,其中端点捏合策略表示只在线要素的端点处考虑捏合情况,顶点捏合策略表示在线要素的任意顶点处考虑捏合情况。点要素类有顶点捏合策略与空策略两种,其中顶点捏合策略表示与线要素在其任意顶点处捏合,空策略表示无策略。一对点线要素类的拓扑构建效果依靠点线要素类两者的策略联合确定,可以实现在线要素端点或在线要素顶点捏合两种效果。网络捏合模型的策略见表 1。

第一种情况中点要素类空策略的涵义是服从线要素类端点捏合的策略。例如道路交叉口一般在道路的端点处,符合情况 1。图 2(a)中有道路要素类的路段 AE、BE、CE、DE,道路交叉口要素类的交叉口 C₁,4 个路段的端点 E 与 C₁ 在几何位置上重合,拓扑构建结果如图 2(b)所示,节点 E 将与 4 条连接边 AE、BE、CE、DE 连通。情况 2 中点要素类顶点捏合策略与线要素的策略冲突,此时点要素类策略优先,即在线要素的任意顶点处捏合。对情况 3,当线要素类采取顶点捏合策略时,无论点要素类采取什么策略,都在线要素的任意顶点处进行捏合。例如道路与公交站点构建拓扑,公交站点可能建设在道路的任意顶点处,采取情况 2 或情况 3 的策略都可以。如图 2(a)公交站点 B₁ 位于路段 CE 上,公交站点 B₂ 位于路段 DE 上,其拓扑构建结果如图 2(c)所示,B₁、B₂ 将与 CE、DE 连通。捏合策略可以根据建网的实际需要灵活选择。

表 1 网络捏合模型策略
Tab. 1 Strategy of Network Snapping Model

线要素类捏合策略		点要素类捏合策略	捏合描述
1	端点捏合	空策略	只在线要素的端点处与容差范围内的点要素进行捏合
2	端点捏合	顶点捏合	在线要素的任意顶点处与容差范围内的点要素进行捏合
3	顶点捏合	任意策略	在线要素的任意顶点处与容差范围内的点要素进行捏合

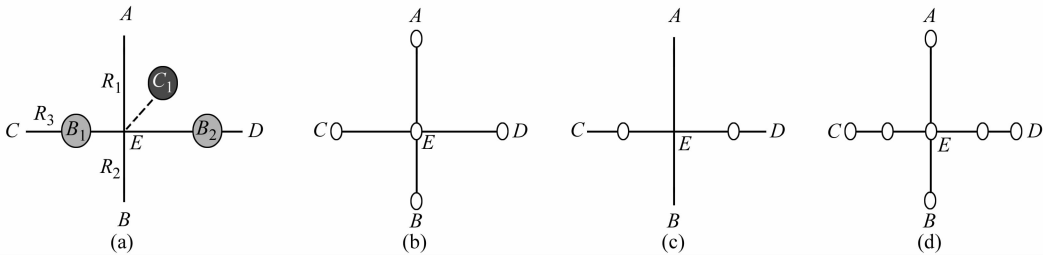


图 2 捏合场景示意
Fig. 2 Scene of Snapping

考虑到多模式子网络中,线要素类与点要素类可能是一对多的对应关系,譬如对街道线要素类、道路交叉口点要素类、公交站点点要素类进行拓扑关系构建,道路交叉点希望与街道在端点处

捏合,而公交站点作为模式连通节点希望与街道在任意顶点处捏合。但是一个要素类只能设置一种捏合策略,这时街道线要素类将面临两难的选择。通过赋予点要素类适当的捏合策略,使点要

素类与线要素类的捏合策略共同发挥作用,将使模型具有更加灵活的选择。上述问题中赋予街道线要素类端点捏合策略,赋予道路交叉口点要素类空策略,赋予公交站点点要素类顶点捏合策略,那么根据街道线要素类和道路交叉口点要素类的策略联合判定,符合表 1 的第一种情况,只在街道的端点处于道路交叉口进行捏合;根据街道线要素类和公交站点点要素类的策略联合判定,符合表 1 的第二种情况,于是街道在任意顶点处与公交站点进行捏合。这样便正确地建立起了街道、道路交叉口以及公交站点之间的拓扑关系,如图 2(d)所示。

3.2 拓扑生成算法

为了构建多模式复合模型的拓扑关系,需依据捏合策略,对多模式复合网络中的每个子网络进行处理。算法思想是首先将子网络中的所有点要素类的点生成网络结点元素,然后对子网络中的所有线要素进行端点捏合,最后再处理需要顶点捏合的线要素,在处理线的过程中构建拓扑关系。每个子网络的处理过程描述如下。

算法 1 子网络网络结点元素生成算法。

- 1) 遍历子网络中的所有点要素类,生成网络结点元素。若该点要素类是内部结点类,执行步骤 2);若是模式连通结点类,执行步骤 3)。
- 2) 生成所有结点的网络结点元素,并产生结点坐标索引数组,结点索引数组记录每个节点的坐标信息以及捏合策略。
- 3) 从模式连通结点类的缓存空间中搜索,若该缓存中已存在,直接从缓存空间中读取其信息加入子网络的结点坐标索引数组中;若未搜索到,按照步骤 2)处理后,加入模式连通结点类的缓存空间中。
- 4) 按照 X 坐标排序节点索引数组。

算法 2 子网络线端点捏合算法。

- 该算法遍历子网络中的所有线要素类,读取所有线要素类的端点,与结点坐标索引数组比较,捏合或生成孤立结点以及对应网络元素。
- 1) 使用快速查找算法从算法 1 步骤 4)中排序的结点坐标索引数组中搜索距离线要素起始和终止点最近的结点,若在容差范围内搜索到则记录该结点元素,若未搜索到则产生新的拓扑结点,并加入结点坐标索引数组。建立边线元素与起始终止结点元素间的拓扑关系。
 - 2) 若子网络中没有顶点策略的点要素类,端点策略的边线就是最终的边线元素,生成对应的网络边线元素。

3) 若子网络中有顶点策略的点要素类,暂不生成与端点策略边线对应的网络元素。后面需要捏合顶点,可能会产生子边。只记录边的起始和终止结点拓扑信息。

4) 顶点策略的边要素类同步步骤 3)。

算法 3 子网络线顶点捏合算法。

- 1) 捏合顶点策略的线要素类,与结点坐标索引数组比较,执行步骤 3)。
- 2) 若子网络不存在顶点策略的点要素类,本子网络处理完。若存在,则捏合端点策略的线要素类,且只与顶点策略的结点坐标比较。执行步骤 3)。
- 3) 若未捏合到结点,该边线元素为最终结果,直接生成对应的网络边线元素;若捏合到结点,根据捏合生成的结点数目,依次添加每个分裂的子边线元素。

通过上述步骤,建立起多模式复合网络的弧段-结点拓扑关系。在建网过程中,存储部分可以开辟适度缓存,采用批量读写存储,加速拓扑构建过程。

4 多模式复合网络拓扑构建实例

图 3 描述了一个简单的多模式复合交通网络,包含有街道、公交以及地铁三种模式。街道子网络由街道线要素类和道路交叉口点要素类组成,公交子网络由公交线要素类和公交站点点要素类组成,公交站点要素类同时作为模式连通点集,维系公交子网与街道子网的连通关系。地铁子网络由地铁线要素类和地铁出入口点要素类组成,地铁出入口同时作为模式连通点集,维系地铁子网与街道子网的连通关系。图 3(a)为三种模式要素类的初始几何形态。

街道线要素类、公交线要素类以及地铁线要素类都采取端点捏合策略,道路交叉口点要素类采取空策略,公交站点和地铁出入口要素类承载模式连通的作用,采取顶点捏合策略,如图 3(b)所示。经过多模式复合拓扑构建后,公交站点 B_3 和地铁出入口 M_3 将街道($S_2 \sim S_3$)路段打断成了 SE_{21} 、 SE_{22} 、 SE_{23} 三个边线元素,公交站点 B_3 连接的拓扑边线元素有公交子网络中的元素 BE_{23} 、 BE_{34} 以及街道子网络中的元素 SE_{21} 、 SE_{22} ;地铁出入口 M_3 连接的拓扑边线元素有地铁子网络中的元素 ME_{23} 、 ME_{34} 以及街道子网络中的元素 SE_{22} 、 SE_{23} ;图结构示意见图 3(c)。不同模式的子网络构建成为一张图,为高效的网络分析提供了良好的数据结构。

出行链模式约束的多模式复合出行算法;② 其他影响多模式复合出行路径选择的因子,使算法更加实用和高效;③ 模型对于复杂交通现象的建模支持;④ 模型对交通网络中实时和动态交通限制的支持能力。

参 考 文 献

[1] 潘海啸. 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[J]. 城市规划学刊, 2005(1): 51-56

[2] Van Nes R. Hierarchical Levels Networks in the Design of Multimodal Transport Networks [C]. Nectar Conference, Delft, 1999

[3] Mainguenaud M. Modeling the Network Component of Geographical Information System [J]. International Journal of Geographic Information Systems, 1995, 9 (6) :575-593

[4] Jung S, Pramanik S. An Efficient Path Computation Model for Hierarchy Structured Topographical Road [J]. IEEE Transactions of Knowledge and Da-

ta Engineering, 2000, 14(5): 1 029-1 046

[5] Jing Ning, Huang Yunwu, Rundensteine E. Hierarchical Encoded Path Views for Path Query Processing: An Optimal Model and Its Performance Evaluation [J]. IEEE Transactions of Knowledge and Data Engineering, 1998, 10 (3): 409-432

[6] Bielli M, Boulmakoul A. Object Modeling and Path Computation for Multimodal Travel Systems [J]. European Journal of Operational Research, 2006, 17 (5): 1 705-1 730

[7] Zhou Chenghu, Lu Feng. A Conceptual Model for a Feature-Based Virtual Network [J]. GeoInformation, 2000, 4(3): 271-286

[8] 何超英, 蒋捷, 韩刚, 等. 基于 GDF 的道路网完全拓扑生成算法 [C]. 中国地理信息系统协会第七届年会, 北京, 2003

第一作者简介: 吴信才, 教授, 博士生导师, 长江学者, 现主要从事地理信息系统与应用方向研究。
E-mail: wuxincai@mapgis.net

Multimodal Supported Composite Transportation Network Model

WU Xincal¹ YANG Lin^{1,2} ZHOU Shunping¹ WAN Bo¹

(1 Faculty of Information Engineering, China University of Geosciences(Wuhan), 388 Lumo Road, Wuhan 430074, China)
(2 The Graduate School, China University of Geosciences(Wuhan), 388 Lumo Road, Wuhan 430074, China)

Abstract: A multimodal composite transportation network model is developed in response to the multimodal travel requirement of travelers. A geometrical snapping model is presented for building the topology of multimodal composite network and the relative topology build algorithm is put forward based on this model. The model unites sub networks of different modes into a integrate graph structure, which provides the efficient data structure for multimodal route analyze. Experiment results demonstrate that the data model and algorithm are viable.

Key words: multimodal; composite; transportation network model; topology build algorithm

About the first author: WU Xincal, professor, Ph.D supervisor , His main research fields are focused on geography information system(GIS) and its application.
E-mail: wuxincai@mapgis.net