

基于车道特征的多层交通网络时空数据模型研究

Research on Multi-layer Traffic Network Spatio-temporal Data Model Based on the Characteristics of Lane

袁 钢,曾祥理,钱俊彦

YUAN Gang, ZENG Xiang-li, QIAN Jun-yan

(桂林电子科技大学计算机科学与工程学院,广西桂林 541004)

(School of Computer Science and Engineering of Guilin University of Electronic Technology, Guilin, Guangxi, 541004, China)

摘要:【目的】针对当前交通地理系统(GIS-T)领域中常用数据模型在城市交通网络的几何、时空语义属性、拓扑关系等描述以及路径诱导实际需求方面的不足,提出基于车道特征的多层交通网络时空数据模型。【方法】根据数据模型的建模层次,引入道路中心线、行车道、实际车道等特征,构建交通网络的多层次表达,并依次设计概念数据模型和逻辑数据模型,最后通过实验验证模型的性能。【结果】该模型比传统基于车道的网络模型的算法效率高,行驶时间少。【结论】该模型对车道特征的描述方案可行,在交通路径诱导中的实用性、精度及效率等方面比传统模型更优。

关键词:交通地理信息系统 GIS-T 数据模型 多层交通网络

中图分类号:TP399,P208 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-7378(2014)01-0039-05

Abstract:【Objective】Aiming at the shortcomings of common data model in the current Geographic Information System for Transportation(GIS-T), which includes the geometry, the space-time semantic properties, the topological relationship and actual demand of route guidance, a multi-layer traffic network spatio-temporal data model based on the characteristics of lane is presented.【Method】According to the hierarchy of data modeling a multi-level expression of traffic network is constructed by introducing the features of road centerline, driveway and actual lanes. Then the conceptual data model and the logical data model are designed in order. The performance of the model is validated by experiments.【Result】The presented model shows higher efficiency, shorter pass and less time than that of traditional network model based on the driveway.【Conclusion】Experimental results proved the feasibility of the proposed model, and the superiority in effectiveness, accuracy and efficiency.

Key words:geographic information system for transportation, GIS-T data model, multi-layer traffic network

【研究意义】随着城市化进程的加快,城市交通网络的规模也在不断扩大,交通设施日益发达,城市交通变得异常复杂。而且伴随着各种交通管理措施的实行,如限高通行、限速通行、禁止通行、禁止转向和时段管制等,都给城市交通网络的微观表达提出了新要求。因此,研究数字化描述实际交通网络的

数据模型具有重要现实意义^[1]。【前人研究进展】Fohl等^[2]提出基于车道的最初导航数据模型,他们将车道作为基本的拓扑对象。陆锋^[3]把综合车道作为基本建模单位,降低了数据冗余,提高了网络分析效率。左小清^[4]提出基于车道的交通网络数据模型,该数据模型能较好地表达每一车道的信息属性,有利于数据以特征的方式进行存储、应用和管理。【本研究切入点】在已有模型的基础上,提出满足当前交通网络的表达要求,同时具有较高网络分析效率的数据模型。【拟解决的关键问题】通过系

收稿日期:2013-11-10

修回日期:2013-12-05

作者简介:袁 钢(1987-),男,硕士,主要从事计算机软件工程与GIS研究。

统实验对比分析本文提出的模型与传统基于车道的网络模型在交通路径诱导中的应用结果,分析该模型的实用性、精度及网络分析效率,为该模型的实际应用价值提供依据。

1 多层交通网络时空数据模型构建

数据模型是数据库系统中关于数据与联系的逻辑组织形式的表示,以抽象的形式描述系统的运行与信息流程^[5]。数据模型一般分为概念数据模型和逻辑数据模型,即分别从建模概念和数据的组织逻辑这两个角度来对现实世界进行描述。

1.1 概念数据模型

概念数据模型是从用户的角度对现实世界的一种信息描述,因而它不依赖于任何 DBMS 软件和硬件环境,它是由现实世界的基本元素以及这些元素之间的联系信息所组成的一种信息结构^[6]。通过分析数据模型的建模要素,并对这些要素进行几何表达,能够方便得出概念数据模型。

1.1.1 交通网络要素的概念表达

道路:将道路抽象为线要素,通过交叉口把每一条道路分成若干路段,将所有的路段进行网络拓扑,建立整个交通网络。随着交通网络的大力发展,这样的网络拓扑结构和实际的交通网络拓扑结构差别很大^[7]。为了能更详细地表达,使人更好地了解每个车道的使用情况,本模型把行车道和实际车道也作为研究的要素。为了在“宏观-中观-微观”的多层次结构中对道路进行表达,又以“道路中心线-行车道-实际车道”三层网络结构对道路进行描述^[5],详见表1。道路中心线、行车道和实际车道的几何数据表达,如图1所示。

表1 三层网络结构的道路描述

| 分类 | 特点 | 适用性 |
|-------|-----------------------------------|--------------------------------|
| 道路中心线 | 把实际道路抽象为线要素,没有方向,展现大体上的交通网络的拓扑结构 | 宏观上展现交通网络,用于全网分析 |
| 行车道 | 把实际的行车方向道路抽象为有向的线要素,展现实际的交通网络拓扑结构 | 中观上展现交通网络,用于小范围路径规划 |
| 实际车道 | 展示具体车道的路面特征 | 微观上展现交通网络,用于展现道路车道信息和具体的行车车道路线 |

道路交叉口:不同层次网络结构中对道路交叉口的体现也各不相同。在道路中心线层次,把所有的道路交叉口都抽象为一个结点;对于实际车道层次对应的道路交叉口本模型不做处理,只是显示车道特性,根据行车道层的路径选择来计算行驶的车

道^[8]。下面主要以行车道层的交叉口的分析为主。

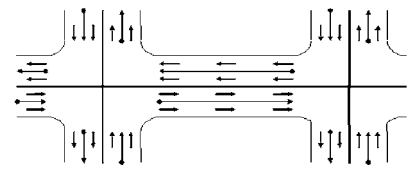


图1 三层交通网络模型中的道路表达

—:道路中心线, ←:行车道, ←:实际车道

在普通的十字路口,将交叉口在道路中心线层抽象为一个结点,在行车道层抽象为8个结点与其之间的连接,通过结点间的连接来确定道路的实际通行情况^[9],如图2所示。

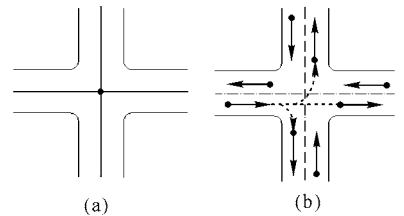


图2 十字路口不同层次中的表达

(a)道路中心线层中的表达;(b)行车道层中的表达

对于错位交叉口,将其作为2个T形交叉口来处理,如果道路中央有隔离带,将按照图3(c)表示。

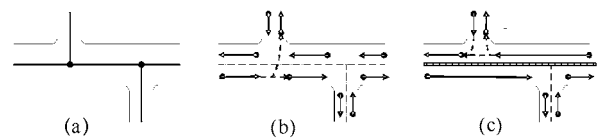


图3 T形交叉口在不同层次中的表达

(a)道路中心线层中的表达;(b)行车道层中的表达;(c)道路中央有隔离带的表达

对于道路中有隔离带,需要变换车道的情况,要考虑实际的行驶路线,在隔离带的两侧分别加入行车道。由于隔离带的外侧一般为非机动车道,只是驶出起始地址或到达目的地时的选择路线,所以只有在起始地址或目的地周边的拓扑结构中才将其加入,在模型中将以行车道的等级来区分。如图4所示。

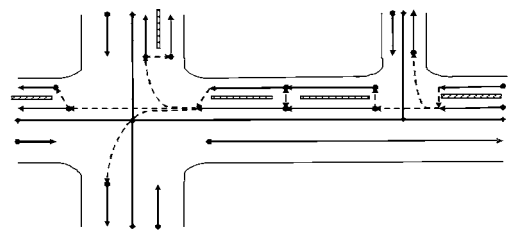


图4 有隔离带的车道和交叉口表达

—:道路中心线, ←:行车道, ←:实际车道, ——:隔离带

1.1.2 时空概念模型

如图5所示,该模型在道路中心线层、行车道层

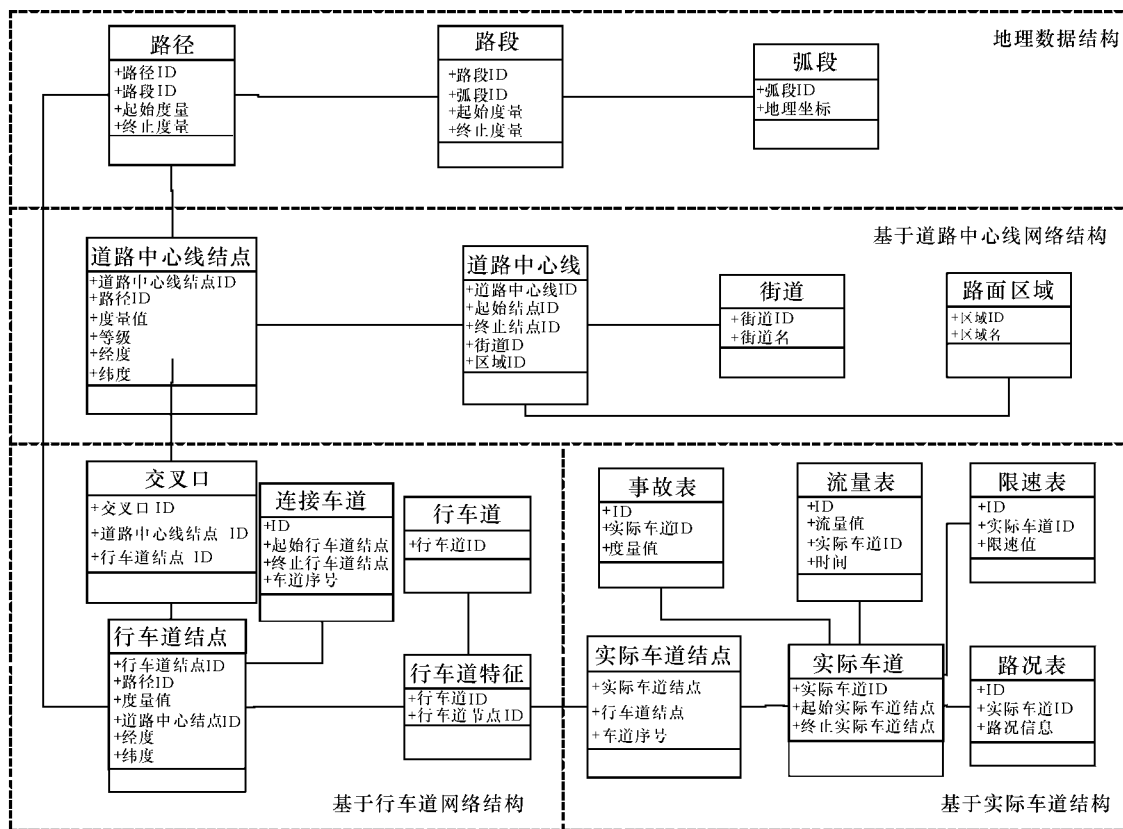


图5 基于车道特征的多层交通网络时空概念模型

和实际车道层3个层次中分别对道路进行抽象,并建立3个层次间的联系。在道路中心线层将交通网络抽象为道路中心线结点和道路中心线等静态要素;在行车道层将交通网络抽象为行车道结点、行车道和连接车道等静态要素;在实际车道层将交通网络抽象为实际车道结点和实际车道等静态要素。动态交通网络信息的表达体现在实际车道层上,不仅能够动态地显示信息,还可以诱导路径查找^[10]。

在实际的交通网络中,道路和道路交叉口组成了交通网络的整体拓扑结构。但是,在真实的世界中,由于受交通规则和道路设施的约束,加之人为给交通网络拓扑结构增加了限制。交通具有实时变换的特性,交通堵塞、交通事故和交通维护等都对人们确定行驶路线产生重要影响^[11],所以不能根据交通网络的拓扑来确定行驶路线,必须以实际的道路和规则来确定和约束^[12]。

1.2 逻辑数据模型

采用关系数据模型的方法表达数据实体及其相关关系,又根据概念模型中的定义,交通网络分为道路中心线层、行车道层和实际车道层,因此需要根据不同层次来进行逻辑表达。

1.2.1 道路中心线层要素的逻辑表达

定义道路中心结点的关系模式为

$R_NODE (R_NodeID, Path_ID, Measure)$ 。

其中, R_NODE 是关系模式的名称; R_NodeID 是道路中心线结点的唯一标识符,是该关系模式的主键; $Path_ID$ 表示结点所在路径的编码,是该关系模式的外键; $Measure$ 表示所在路径的度量值,确定唯一的结点。

定义道路中心线的关系模式为

$Road (RoadID, F_R_NodeID, T_R_NodeID, StreetID, AreaID)$ 。

其中, $Road$ 是该关系模式的名称; $RoadID$ 是道路中心线要素的标识符,唯一的标识一段道路,是道路中心线要素关系模式的主键; F_R_NodeID 表示道路中心线要素起始道路中心结点的标识符; T_R_NodeID 表示道路中心线要素终止起始道路中心结点的标识符,和 F_R_NodeID 都是该关系模式的外键; $StreetID$ 是街道标识符,表示道路中心线所在街道,是该关系模式的外键; $AreaID$ 是路面区域的标识符,表示道路中心线所属区域,也是该关系模式的关键。

按照快速路、主干道、次干道、支路和高速公路5个等级来表示,以确定街道的优先重要程度。定义街道的关系模式为

$Street (StreetID, StreetName, Grade)$ 。

其中, $Street$ 是该关系模式的名称; $StreetID$ 是街道要

素的标识符,唯一的标识现实中的一条道路,是该关系模式的主键;StreetName 表示道路在现实中的名称;Grade 表示道路的等级,用 1 到 5 分别代表 5 个不同等级的街道。

1.2.2 行车道层要素的逻辑表达

定义交叉口结点的关系模式为

Intersection (R_NodeID, C_NodeID)。

其中,Intersection 是该关系模式的名称;R_NodeID 是道路中心线结点的标识符,也是作为道路交叉口结点的抽象;C_NodeID 是行车道结点的标识符,是行车道层对道路交叉口的抽象。

定义行车道结点的关系模式为

C_Node (C_NodeID, Path_ID, Measure, Offset, R_NodeID)。

其中,C_Node 是该关系模式的名称;C_NodeID 是行车道结点的唯一标识符,是该关系模式的主键;Path_ID 表示行车道结点所在路径的标识符,是该关系模式的外键;Measure 表示行车道结点所在路径的度量值;Offset 表示行车道结点与道路中心线结点的偏移值;R_NodeID 是行车道结点所对应的道路中心线结点的标识符。

定义行车道的关系模式为

Carriageway (Carriageway_ID, Nature, Grade)。

其中,Carriageway 为该模式的名称;Carriageway_ID 是行车道的唯一标识符,是该关系模式的主键;Nature 作为行车道的使用性质,表示行车道是单行道还是双向车道;Grade 为行车道的使用等级。

定义行车道特征的关系模式为

CarriagewayFeature (CarriagewayID, C_NodeID, SequenceNo)。

其中,CarriagewayFeature 为该模式的名称;CarriagewayID 是行车道的唯一标识符,是该关系模式的外键;C_NodeID 是行车道结点的唯一标识符,也是该关系模式的外键;SequenceNo 作为行车道结点在行车道中内部编码,表示行车道结点在行车道中的依次顺序。

定义连接车道关系模式为

LinkCarriageway (LinkCway_ID, F_CwayID, T_CwayID, Description)。

其中,LinkCarriageway 为该关系模式的名称;LinkCway_ID 是连接车道的唯一标识符,是该关系模式的主键;F_CwayID 表示连接车道起始行车道结点的标识符;T_CwayID 表示连接车道终止行车道结点的标

识符;Description 作为连接车道的转向描述。

1.2.3 实际车道层要素

定义实际车道结点的关系模式为

L_Node (L_NodeID, CarriagewayID, LaneNum, Property)。

其中,L_Node 是关系模式的名称;L_NodeID 是实际车道结点的唯一标识符,是该关系模式的主键;CarriagewayID 是行车道结点的标识符;LaneNum 表示实际车道编号;Property 代表实际车道结点的其余属性值。

定义实际车道的关系模式为

Lane (LaneID, F_L_NodeID, T_L_NodeID)。

其中,Lane 是该关系模式的名称;LaneID 是实际车道要素的标识符,唯一的标识一条车道,是实际车道要素关系模式的主键;F_L_NodeID 表示实际车道要素起始实际车道结点的标识符;T_L_NodeID 表示实际车道要素终止实际车道结点的标识符。它和 F_L_NodeID 都是该关系模式的外键。

2 实验分析

为了验证模型的正确性和可行性,设计一个实验进行分析检验。实验采用经典的 Dijkstra 最短路径算法对比分析本文提出的模型与传统基于车道的网络模型在交通路径诱导中的应用结果。

2.1 系统开发环境与工具

采用 C#+ArcGIS Engine+ArcSDE 的构架进行界面制作和基于组件技术的开发。

2.2 实验数据

系统所用数据包括底层地理数据和交通网络数据两种。底层地理数据使用矢量地图数据,包括高速公路、主干道、街道和基本的地图区域。交通网络数据通过对矢量数据中线状道路的路径化处理得到,存放于 Geodatabase 数据库中。

2.3 实验结果

实验结果如图 6 和表 2 所示。从图 6(a) 可看出,道路中心线层中的路径在实际道路中可能并不畅通,从主干大道过度到街道时,通常是不能直接左转弯,需要左转过度。而多层网络模型是面向车道,那么根据车道的属性,可以判断车道的转弯和行驶方向,这与实际交通规则相符,说明多层网络模型有较好实用性。由表 2 的结果可知,利用多层多级的网络模型,分别在道路中心线层和行车道层逐步提供候选子集来约束搜索空间,减少了搜索节点数,缩短了 Dijkstra 算法运算时间。又由于基于车道特征

的数据模型考虑到行驶路径中交叉口延误(通常花费时长 60s),每条车道的最高限速和最低限速以及车辆换道延误等面向车道的因素,所以行程时间计算精度优于道路中心线模型。



微观层面认识的需求。该模型充分考虑实际车道的属性、拓扑与语义关系,支持多层网络分析与几何表达。在交通路径诱导方面,该模型更具有效性,行程时间更加精确,算法实现效率更优。

参考文献:

- [1] 欧阳. 基于实时数据库的分布式城市交通监控系统设计[J]. 广西科学院学报, 2006, 22(1): 64-66.
- [2] Longley P A, Goodchild M F, Maguire D J, et al. Geographic information systems and science [M]. Advances in computers, Academic Press, 2005.
- [3] 陆锋, 申排伟, 张明波. 基于特征面向对象的地理网络模型研究[J]. 地理信息科学, 2004, 6(3): 722-728.
- [4] 左小清, 李清泉, 谢智颖. 基于车道的道路数据模型[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2004, 24(2): 73-76.
- [5] 朱庆, 李渊. 面向实际车道的 3 维道路网络模型[J]. 测绘学报, 2007, 36(4): 414-420.
- [6] Li Xiang, Lin Hui. A Trajectory-oriented carriageway-based road network Data Model, Part 3: Implementation [J]. Geospatial Information Science, 2006, 9(3): 201-205.
- [7] 胡迎春, 张增芳. 基于 TCP/IP 协议的智能公交管理系统应用[J]. 广西科学院学报, 2007, 23(4): 328-330.
- [8] 唐智权, 朱留华, 吕集尔, 等. 城市静态网络交通流研究[J]. 广西科学院学报, 2012, 19(4): 327-331.
- [9] 张山山. 支持城市交通规划的 GIS 时空数据模型研究[J]. 交通运输工程与信息学报, 2008, 2(1): 69-74.
- [10] 缪丹, 肖凤, 范凌云. 基于特征的 GIS-T 非平面数据模型初探[J]. 苏州科技学院学报: 工程技术版, 2008, 16(4): 334-338.
- [11] 童小华, 杨东援, 刘大杰. 一种新的线性参照系统数据模型[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2007, 29(4): 410-414.
- [12] 吴晓层, 范炳全. 有流量附加约束动态交通网络平衡的变分不等式表示[J]. 广西科学院学报, 2005, 12(3): 187-190.

图 6 多层网络模型(a)与传统网络模型(b)应用效果比较

(a) 路径 1; (b) 路径 2

表 2 实验结果比较

| 路径 | 搜索到 结点数 | 算法效率 (ms) | 路径长度 (m) | 路径时间 (s) |
|----|------------|--------------|-------------|-------------|
| 1 | 301 | 153 | 3262.7 | 258 |
| 2 | 1553 | 1488 | 3072.6 | 306 |

3 结束语

基于车道特征的多层交通网络时空数据模型以“道路中心线-行车道-实际车道”三层网络结构对交通网络中的道路进行详细描述, 满足了人们对道路

(责任编辑: 尹 闯)