

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2012.01.024

基于规则的交通路网建模及其应用

黄敏, 饶明雷, 李敏

(中山大学 广东省智能交通系统重点实验室, 广东 广州 510006)

摘要: 交通规则加载于物理路网上为交通参与者分配路权并规范其行为, 这种加载了规则的物理路网构成了传统意义下的交通路网。本文从此含义出发, 以物理路网为基础, 运用线性参考方法, 定义了交通规则的结构, 建立基于交通规则表述的交通路网模型。由于道路标线是交通规则的载体, 本文提出与规则关联的标线数据模型, 以此建立的道路标线数据库, 可支持交通规则的推导, 运用上述交通路网建模方法, 构建了车道级路网数据库。实例分析表明, 本文所提交路网建模方法是可行、有效的。

关键词: 交通工程; 交通路网; 交通规则; 道路标线

中图分类号: U491

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268 (2012) 01-0134-05

Transportation Network Modeling Based on Traffic Rules and Its Applications

HUANG Min, RAO Minglei, LI Min

(Guangdong Provincial Key Laboratory of Intelligent Transport Systems, Sun Yat-sen University,
Guangzhou Guangdong 510006, China)

Abstract: Transportation network composed of physical road network and traffic rules assigns right-of-way rules to traffic participants and normalize their behaviors. Generally speaking, transportation network is considered as physical road network loaded with traffic rules. According to this, the representation model of traffic rules was defined by using linear reference system based on physical road network, the transportation network model based on the traffic rules was proposed then. Because traffic markings imply traffic rules, the data model of traffic marking connected to traffic rules was put forward. And the built traffic marking database based on these data model can deduct traffic rules. According to this modeling method, a lane-based transportation network database was constructed from the traffic marking database. The case study illustrates that the proposed data modeling method for transportation network is feasible and efficient.

Key words: traffic engineering; transportation network; traffic rule; traffic marking

0 引言

交通路网数据是实现现代交通管理的基础, 对交通路网进行建模, 构建其路网数据库, 为智能交通系统各子系统提供路网数据, 能有效促进智能交通系统的应用与推广。国内外有关交通路网建模的研究主要体现在交通路网数据模型的研究上。最早的研究是用传统的节点-弧段数据模型来描述交通

路网, 此类模型简洁、紧凑, 应用范围广范围, 但不能表述复杂的交通路网信息^[1-3]; 之后不少学者对此模型进行扩展, 每个路口都用一个点表示^[4-5], 但此类模型效率较低, 且不能表示立交隧道等实体。为满足交通应用的需要, Gottsegen, Fohl, 左小清等学者提出了基于车道的路网模型^[6-8]。上述路网模型的特点是面向具体的应用或研究的需求, 建立交通路网的数据模型。然而, 鲜有研究从交通路网的

收稿日期: 2011-08-04

基金项目: 广东省科技计划项目 (2011A030200012, 2008B050100013)

作者简介: 黄敏 (1975-), 女, 广东顺德人, 博士. (huangm7@mail.sysu.edu.cn)

底层含义出发,对其进行建模。通常,一块空地开辟出来后,要在其上进行交通活动就必需建设物理道路网络(即简称物理路网),然后布设一系列道路标志标线等交通管理设施,以传递交通规则信息,约束与限制交通参与者在物理路网上的交通行为。例如,布设车行道分界线,划分车道;添加限速文字,对车辆行进速度进行约束,等等。因此,传统意义上的交通路网是由物理道路网络加载交通规则而形成的。

本文拟从交通路网的含义出发,以物理路网为基础,对交通规则进行描述,构建基于交通规则的交通路网模型,该模型能支持交通规则的加载或扩展。应用研究方面,文章在面向标线自动布设的数据模型^[9]基础上进行扩展,标线数据与相应交通规则关联,在此模型上构建标线数据库能支持交通规则数据的提取,利用本文所述的基于交通规则的路网模型,建立示范路网的车道级交通路网数据库。

1 物理路网

物理路网主要是指为交通活动而建设的线形地物,它是承载各种路权分配交通规则的实体,本文以道路几何中心线对物理路网进行抽象,以有向图 $G=(N, E)$ 表示物理路网, $N=\{n_i \mid i=1, \dots, k\}$ 是 G 的节点集, $E=\{e_i=(n_p, n_q) \mid i=1, \dots, m; n_p, n_q \in N\}$ 是 G 的线段集, $e_i=(n_p, n_q)$ 表示 e_i 是从 n_p 到 n_q 的有向线段,用于表示道路几何中心线段,节点 n_i 是几何中心线段的端点。除节点与

线段的拓扑关系,模型中还把相邻线段的夹角依次存储入节点属性数据中,以便于描述交叉口附近路网的几何特征,这些数据可在建立交通路网数据库时,用于计算连接于交叉口路段之间的转向(如左转、右转)关系。此物理路网模型的详细介绍可见参考文献[10-11]。

2 交通规则的表述结构

交通规则的种类繁多,本文着重讨论加载于物理路网上,对交通参与者的行为进行约束规范的路权分配交通规则,如路段能否通行,交叉口能否转向,限速多少,等等。这类路权分配交通规则下文简称为交通规则。下面,以道路几何中心线段为基准,交通规则进行建模。交通规则的一般结构可用3元组表示: $rule = \langle g, r_rgn, para \rangle$ 。

g 是加载规则的道路对象,如路段(道路几何中心线段)、交叉口(节点)等; r_rgn 是加载规则的具体范围; $para$ 是规则的其他参数,可省。其中,本文涉及规则加载范围 r_rgn 多以线性参考系统来描述,如下所示: $r_rgn = \langle f_offset, t_offset, f_measure, t_measure \rangle$ 。

此结构以道路几何中心线段作为基准,其初始方向(或数字化方向)为参考方向, f_offset, t_offset 分别是横向起始偏移和横向终止偏移; $f_measure, t_measure$ 是纵向起始偏移和纵向终止偏移,对横向偏移来说,几何中心线段左面的偏移为正,右边的偏移为负。

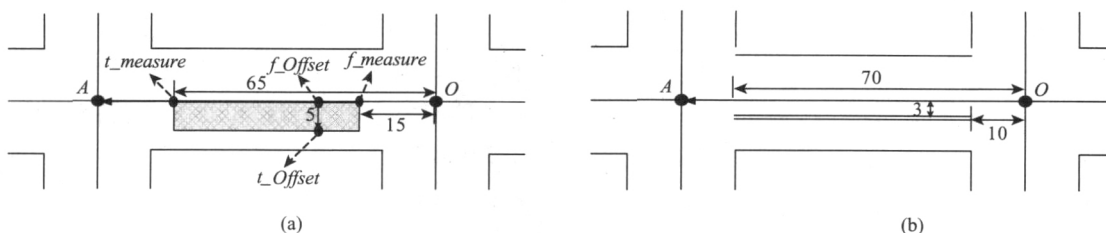


图1 规则加载范围示意图

Fig. 1 Example of effective scope of traffic rules

如图1(a)中阴影部分为加载交通规则的范围,以道路几何中心线段 OA 为基准, $r_rgn = \langle 0, 5, 15, 65 \rangle$, 则有 $rule = \langle OA, 0, 5, 15, 65, para \rangle$; 同理,若图1(b)中双黄线为加载交通规则的范围,则 $rule = \langle OA, 3, 3, 10, 70, para \rangle$

3 交通路网建模

现定义交通路网模型中的3个基本要素:弧段

(a)、节点(v)、车道(l)。其中,弧段代表同向交通流集,节点是弧段的端点。根据第2节中交通规则的表述,表1定义了构建交通路网模型常用的规则,在具体的规则 $\langle g, r_rgn, para \rangle$ 中,若 g 为弧段、节点,因为它们并非交通路网中的实体,其范围 r_rgn 不具有实际意义,故不列出,此类规则只列出相关的参数 $para$ 。

表 1 路段规则 (Ra_rule) 表
Tab. 1 Table of traffic rules for road section (Ra_rule)

规则名称	规则结构	含义	规则结果
Ra_Div	$\langle e, r_rgn \rangle$	分隔对向车流规则	产生 2 个有向弧段 (方向待定)
Ra_Dir	$\langle e, r_rgn, dir \rangle$	指示车流方向规则: dir 为车流的方向(1 为与 e 同向, -1 为与 e 方向相反)	产生有向弧段 a (方向确定)
Ra_LnNum	$\langle a, lnNum \rangle$	加载车道数目规则: $lnNum$ 为该 a_i 对应的车道数	指示 a 车道数为 $lnNum$
Ra_Lane	$\langle e, r_rgn, a \rangle$	加载车道 在 e 的 r_rgn 范围内, 加载对应于 a 的车道	产生与 a 对应的车道车道 l
Ra_LnAtt	$\langle e, r_rgn, l, lnAtt \rangle$	车道属性规则, $lnAtt$ 是车道 l 属性, 可以是多种结构组合 如 $lnAtt = \langle u_spd, val \rangle$: 车道上限车速 车速值	明确车道 l 的属性
Ra_LnConn	$\langle e, r_rgn, l_i, l_j, pass \rangle$	同向车道连通规则: 相邻车道 l_i, l_j 从 l_i 到 l_j 的在 r_rgn 范围内的通行状态 $pass$ (0 为不能通行, 1 为通行)	指示同向的相邻两车道之间的通行或禁行范围

表 2 交叉口规则 (Rv_rule) 表
Tab. 2 Table of traffic rules for intersection (Rv_rule)

规则名称	规则结构	含义	规则结果
Rv_Pass	$\langle n, a_i, a_j, pass \rangle$	交叉口处相连弧段的通行规则: 从 a_i 经过交叉口到 a_j 的连通状态为 $pass$ (0 为不能通行, 1 为通行)	建立交叉口 n 处, 产生从弧段 a_i 到 a_j 的弧段 a_{ij}
Rv_LnConn	$\langle n, r_rgn, a_{ij}, l_i, l_j \rangle$	交叉口处车道转向通行规则: 执行在交叉口 n 实现 a_{ij} 转向的具体车道	建立交叉口 n 处 l_i 到 l_j 的连接关系

根据上述规则, 可建立交通路网的建模过程如图 2 所示, 图中阴影框为交通规则, 白底框为物理路网、交通路网的要素。建模主要分 4 步骤: (1) 产生描述同向交通流的有向弧段; (2) 为有向弧段构建车道对象, 并建立车道间的联系; (3) 建立交叉口处有向弧段的连通转向关系; (4) 建立交叉口

处车道的连通转向关系。在此结构的基础上, 亦可加载更多的交通规则, 建立完善的交通路网信息。

4 交通路网建模的应用示例

道路标志、标线是交通规则的载体, 它们布设于物理路网上, 为交通参与者指示各种规则信息。因此, 与规则建立关联的标志标线数据, 可用于交通路网建模中。本节讨论了基于道路标线数据库构建交通路网数据库的建模示例。

4.1 车道级交通路网数据模型

交通路网数据库是以交通路网数据模型为基础建立的。本文应用示例中的交通路网数据库主要参照车道级交通路网数据模型^[12]构建的。数据模型中以车道作为建模的基本元素, 把同向的车道聚合; 在描述车道拓扑连通关系方面, 主要记录了在交叉口转弯处车道的连通关系, 以及同一路段车道间的连通性。在本文构建的交通路网数据库中, 以有向路段表示聚合的同向车道, 有向路段的起、终点为节点。有向路段和节点作为路网的几何要素存储。车道不作为几何特征存储, 它们与有向路段建立联系, 其位置通过与有向路段的偏移值来表示; 车道

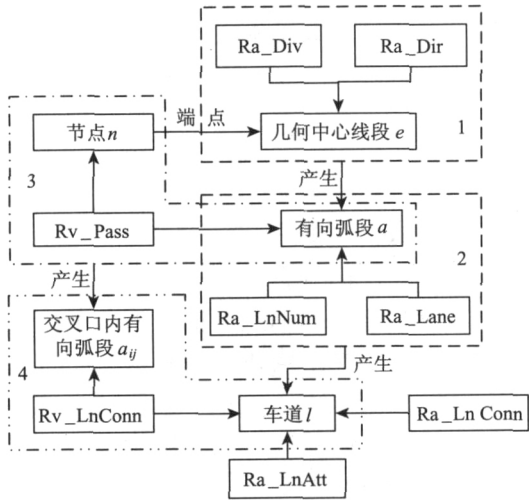


图 2 交通路网建模流程图
Fig. 2 Flow chart of transportation network modeling

的连通性存储于数据表。

4.2 道路标线数据库

基于上述车道级路网数据模型的讨论可知,道路中心线、车行道分界线、禁变线、导向箭头等几种标线已包含了构建车道级交通路网数据库所需的交通规则信息。现着重讨论这几种标线的数据库构建。

道路标线布设于物理路网上,周伟均提出面向标线自动布设的标线数据模型^[9],模型中建立了标线与物理路网的拓扑关系,其结构与本文前述交通规则加载范围的表述一致。由于交通规则是表述交通路网最根本的要素,而交通标线等设施只是规则的载体。如双黄实线承载分隔对向车流的规则,中心绿化带也可起分隔对向车流的作用。所以,故设施与规则是相对独立的。以交通规则进行路网建模推导,需将规则独立出来。因此,本文在文献[9]标线数据模型的基础上进行了扩展,加入关联交通规则,如图3所示。表3列出了几种标线所关联的交通规则。

表3 道路标线关联交通规则表

Tab.3 Table of traffic markings connected to traffic rules

标线	关联规则	备注
道路中心线	Ra_ Div	
车行道分界线	Ra_ LnNum, Ra_ Lane, Ra_ LnConn	规则 Ra_ LnConn 中, pass = 1
禁变线	Ra_ LnNum, Ra_ Lane, Ra_ LnConn	规则 Ra_ LnConn 中, pass = 0
导向箭头	Ra_ Dir, Rv_ Pass, Rv_ LnConn	

以图1(b)为例,若图中双黄实线代表道路中心线,则其数据结构中包含数据有:OA为道路几何中心线段,横向偏移起点距离=横向偏移终点距离=3,纵向偏移起点距离=10,纵向偏移终点距离=70;关联规则Ra_ Div。因此,可推导得Ra_ Div = < OA, 3, 3, 10, 70 >。

根据前文论述可知,由交通规则可推导构建交通路网,而图3中的标线数据模型建立标线与规则的关系,以此模型建立的标线数据库可支持交通路网建模及交通路网数据库的构建。

4.3 交通路网数据库构建示例

本节示例中假设道路标线已包含所需交通路网信息,下文就由标线数据构建交通路网数据库展开论述。其中,道路标线布设方案数据(即标线数据,及其与道路几何中心线段的关系)是已知的,它们

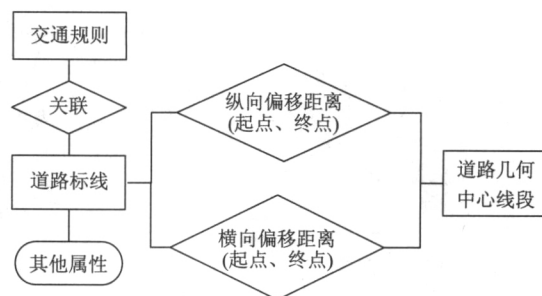


图3 道路标线数据模型

Fig.3 Data model of traffic markings

按标线数据模型的结构存储于数据库中。

参照交通路网建模流程图2,车道级路网数据库的建立主要分为3个步骤,第1步,根据道路中心线、导向箭头推导规则Ra_ Div和Ra_ Dir,建立交通路网数据中的有向弧段、节点集,它们作为几何特征要素存储。第2步,根据车行道分界线、禁变线推导出规则Ra_ LnNum, Ra_ Lane和Ra_ LnConn,建立与有向弧段关联的车道表,相邻车道的连通信息存储于车道表中,其他车道属性信息也可以在此加载。第3步,根据物理路网中交叉口的几何特征^[8-9]、导向箭头类型推导规则Rv_ Pass和Rv_ LnConn,建立有向弧段在交叉口处的连通关系,以及对应的车道连通关系。

基于上述算法及思路,本文利用VB+AE在ArcGIS平台上开发了基于交通标线的交通路网数据库构建的示例模块。如图4所示,(a)为某交叉口的道路标志标线数据,在后台数据库中已建立它们与道路几何中心线段的关系,(b)为生成的节点-弧段交通路网示意图,(c)为交通路网数据库中的车道表,记录车道的连通信息。

5 结语

交通路网是包含交通规则的交通路网,本文从此含义出发,建立基于交通规则的交通路网模型。模型以物理路网为基础,支持交通规则的加载,因此,具有可扩充性,能表述完整的交通路网信息。另一方面,道路标线是交通规则的载体,文中讨论了基于标线数据,提取交通规则,并以此建立示范路网的模型,生成车道级交通路网数据库。该应用示例为交通路网数据库的构建提供了一种新的途径。需要指出的是,本文提出交通路网模型只涉及常见的交通规则,后续的工作会对交通规则作进一步探讨,同时考虑它们与道路标志标线等设施的关系,并应用于设施智能化管理研究中。

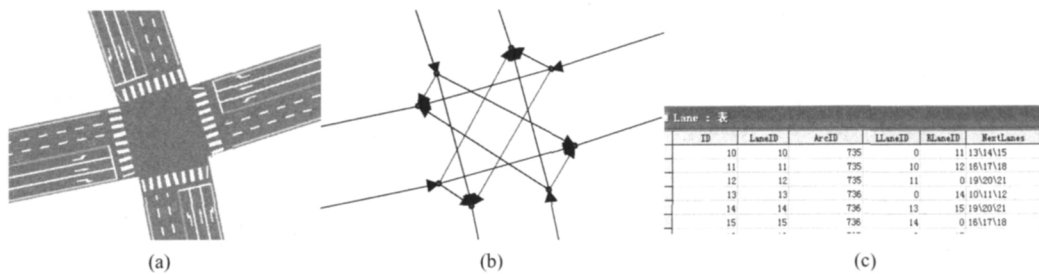


图4 交通路网数据库构建示例

Fig. 4 Example of construction of transportation network database

参考文献:

References:

- [1] SHEFFI Y. Urban Transportation Networks: Equilibrium Analysis with Mathematical Programming Methods [M]. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1985.
- [2] 孙超,王波,张云龙. 基于一种交通状态系数的城市路网交通状态评价研究 [J]. 公路交通科技, 2011, 28 (5): 113-119.
SUN Chao, WANG Bo, ZHANG Yunlong. Research on Urban Traffic Network State Evaluation Based on a Traffic Network State Coefficient [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2011, 28 (5): 113-119.
- [3] 虎啸,吴群琪. 基于运输需求的基础路网规划理论与方法研究 [J]. 公路交通科技, 2011, 27 (5): 121-126.
HU Xiao, WU Qunqi. Study on Theory and Method of Basic Road Network Planning Based on Transport Demand [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2011, 27 (5): 121-126.
- [4] GOODCHILD M F. Geographic Information Systems and Disaggregate Transportation Modeling [J]. Geographical Systems, 1998, 5: 19-44.
- [5] MILLER H J, SHAW S L. Geographic Information Systems for Transportation: Principles and Applications [M]. London: Oxford University Press, 2001.
- [6] GOTTSEGEN J, GOODCHILD M, CHURCH R. A Conceptual Navigable Database Model for Intelligent Vehicle Highway Systems [C] // Proceedings of GIS/LIS, Phoenix, Arizona: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 1994: 371-380.
- [7] FOHL P, CURTIN K M, GOODCHILD M F, et al. A Non-planar, Lane-based Navigable Data Model for ITS [C] // Proceedings of the 7th International Symposium on Spatial Data Handling, 1996. London: Taylor & Francis, 1996: 17-29.
- [8] 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.
ZUO Xiaoqing, LI Qingquan, XIE Zhiyin. Lane-based Road Data Model [J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2004, 24 (2): 73-76.
- [9] 周伟均,黄敏,沙志仁. 基于GIS平台的交通标线布设方案自动生成系统设计 [J]. 重庆交通大学学报: 自然科学版, 2010, 29 (2): 254-256.
ZHOU Weijun, HUANG Min, SHA Zhiren. Study on Automatic Generating Designing Plan of Traffic Markings Based on GIS Platform [J]. Journal of Chongqing Jiaotong University: Natural Science Edition, 2010, 29 (2): 254-256.
- [10] 黄敏,余志,肖国荣. 基于交叉口函数的城镇指路标志设置模型 [J]. 交通运输工程学报, 2006, 6 (4): 96-100.
HUANG Min, YU Zhi, XIAO Guorong. Deploying Model of City Guide Signs Based on the Intersection Functions [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2006, 6 (4): 96-100.
- [11] 黄敏,余志,张小兰,等. 一种道路方向的存储数据模型 [J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2006, 45 (4): 121-123.
HUANG Min, YU Zhi, ZHANG Xiaolan, et al. A Data Model for Road Direction [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2006, 45 (4): 121-123.
- [12] HUANG Min, SHA Zhiren, WU Haibin. Road Feature Based Data Model for Multi-scale Transportation Applications [C] // International Conference on Optoelectronics and Image Processing. Haikou, China: IEEE, 2010: 352-355.