

6-2-2020

Research of the Construction of GIS-T Traffic Simulation Road Network

Huang Min

*1. Guangdong Provincial Key Laboratory of Intelligent Transportation System, Guangzhou, 510006, China;
;2. School of Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510006, China; ;*

Zhongming Niu

*1. Guangdong Provincial Key Laboratory of Intelligent Transportation System, Guangzhou, 510006, China;
;2. School of Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510006, China; ;*

Xiaolan Zhang

3. Computer Engineering Department, Guangdong Polytechnic of Industry and Commerce, Guangzhou 510510, China;

Jiajie Pan

*1. Guangdong Provincial Key Laboratory of Intelligent Transportation System, Guangzhou, 510006, China;
;2. School of Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510006, China; ;*

See next page for additional authors

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the [Artificial Intelligence and Robotics Commons](#), [Computer Engineering Commons](#), [Numerical Analysis and Scientific Computing Commons](#), [Operations Research](#), [Systems Engineering and Industrial Engineering Commons](#), and the [Systems Science Commons](#)

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Research of the Construction of GIS-T Traffic Simulation Road Network

Abstract

Abstract: In order to provide road network data for traffic simulation platform on the base of GIS-T, a GIS-T road network data model was created. *The model put the emphasis on the description of traffic rules and road markings.* On the basis of data model, *a quantified cut method for linear referencing was proposed* and the method was adopted to create road network element, such as lane boundary and road surface. Furthermore, *the carriageway was regarded as the unit to keep the shape of road segment*, and flow of building a road network was put forward. An intersection was created by the editor tool and the road network was transferred into the road network of Paramics and Vissim. Experimental results show that the data mode application is feasible in traffic simulation. In comparison with the other two simulation road network, it implies the advantage of the GIS-T road network data model in presenting road markings and traffic rules.

Keywords

traffic simulation, traffic road network, road network establishment, GIS-T, data model

Authors

Huang Min, Zhongming Niu, Xiaolan Zhang, Jiajie Pan, and Xueqiang Zhang

Recommended Citation

Huang Min, Niu Zhongming, Zhang Xiaolan, Pan Jiajie, Zhang Xueqiang. Research of the Construction of GIS-T Traffic Simulation Road Network[J]. Journal of System Simulation, 2017, 29(3): 531-536.

基于 GIS-T 的交通仿真路网构建研究

黄敏^{1,2}, 钮中铭^{1,2}, 张小兰³, 潘嘉杰^{1,2}, 张学强^{1,2}

(1. 广东省智能交通系统重点实验室, 广州 510006; 2. 中山大学工学院, 广州 510006;
3. 广东工贸职业技术学院计算机工程系, 广州 510510)

摘要: 为了给基于 GIS-T 的交通仿真平台提供数据支持, 构建了基于 GIS-T 路网数据模型, 增强了对交通规则和路面标线描述; 在数据模型的基础上, 量化了线性参考系统截取量, 给出了 GIS-T 路网单元的构造方法, 包括车行道分界线和路面的构造方法; 提出有向子路段是保证子路段几何完整性的基本单元, 给出路网构建流程; 构建了一个典型的十字路口, 并把构建的路网转换成 Paramics 和 Vissim 仿真路网, 验证了 GIS-T 路网在交通仿真中应用的可行性。对比 GIS-T 路网与仿真路网, 得到 GIS-T 路网在描述交通规则和标线方面的优势。

关键词: 交通仿真; 交通路网; 路网构建; GIS-T; 数据模型

中图分类号: U491.5 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2017) 03-0531-06

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201703009

Research of the Construction of GIS-T Traffic Simulation Road Network

Huang Min^{1,2}, Niu Zhongming^{1,2}, Zhang Xiaolan³, Pan Jiajie^{1,2}, Zhang Xueqiang^{1,2}

(1. Guangdong Provincial Key Laboratory of Intelligent Transportation System, Guangzhou, 510006, China;

2. School of Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510006, China;

3. Computer Engineering Department, Guangdong Polytechnic of Industry and Commerce, Guangzhou 510510, China)

Abstract: In order to provide road network data for traffic simulation platform on the base of GIS-T, a GIS-T road network data model was created. *The model put the emphasis on the description of traffic rules and road markings.* On the basis of data model, *a quantified cut method for linear referencing was proposed* and the method was adopted to create road network element, such as lane boundary and road surface. Furthermore, *the carriageway was regarded as the unit to keep the shape of road segment*, and flow of building a road network was put forward. An intersection was created by the editor tool and the road network was transferred into the road network of Paramics and Vissim. Experimental results show that the data mode application is feasible in traffic simulation. In comparison with the other two simulation road network, it implies the advantage of the GIS-T road network data model in presenting road markings and traffic rules.

Keywords: traffic simulation; traffic road network; road network establishment; GIS-T; data model

引言

微观交通仿真是城市道路交通管理决策的重



收稿日期: 2015-06-09 修回日期: 2015-12-16;
基金项目: 广州市科技计划(201510010247), 广东省科技计划(2014B010118002, 2015B010110005), 高校基本科研业务费(15lgpy10);
作者简介: 黄敏(1975-), 女, 广东顺德, 博士, 副教授, 研究方向为智能交通系统。

要预测和评估手段。在交通仿真过程中, 构建仿真路网是仿真周期中最为耗时耗力的部分。一方面, 绘制的物理路网需要反映现实路网的几何状态; 另一方面, 需要在仿真路网上设置与现实相符的交通规则。每个交通仿真平台对路网的描述各不相同, 构建路网的流程也千差万别。英国 Quadstone 公司开发微观交通仿真软件 Paramics 用 Node-Link 表示

路网结构, 相邻节点间有两个单向 Link, Link 中记录该交通流向的车道数、最大车速等信息^[1]。德国 PTV 公司开发的 Vissim 软件用 Link-Connectors 表示交通路网, Link 为单向的交通流的抽象, 用 Connectors 表示 Link 与 Link 之间的连通关系, 且 Connector 可出现在 Link 的任何位置^[2]。美国 Caliper 公司在 GIS 基础上开发了 TransModeler 微观仿真软件, TransModeler 的路网结构包含 Node、Link、Segment、Lane、LaneConnector 组成, 其中 Node 表示交叉口, Link 表示交叉口间的路段, Segment 为路段(Link)上连续交通组织的抽象, 这样一段 Link 可由多个 Segment 组成, Lane 是 Segment 中的车行道的抽象, LaneConnector 表示 Lane 与 Lane 之间的连通关系^[3]。

许多学者尝试在 GIS-T 的基础上构建路网数据模型, 以便支持微观仿真。杨晓毅等从微观、中观和宏观交通仿真的角度, 提出构建分层的微观仿真路网数据模型, 但是该模型在描述 3-层仿真路网数据模型对交叉口的相邻路段描述限定于四个路段以下, 如需描述更多的路段时, 需更改数据结构, 并且没有描述各个路段间的转向关系^[4]。赵宾植等学者参考 MITSIM 路网数据模型和 UNETRANS 分层抽象的思想, 提出了一种基于 GIS 的微观交通仿真路网数据模型, 模型从实体集包、关系集包和交通规则包的形式展开, 该模型能够很好的描述交通路网拓扑, 但是在道路附属设施, 如道路标线和路面的描述略有不足^[5]。以上学者均给出了路网数据模型, 但没有给出实例用于验证路网模型, 在应用领域, 也没给出路网构建流程。

在这样的背景下, 本文旨在构建一个基于 GIS-T 的路网数据模型, 并给出路网构建流程, 路网应用于 GIS-T 微观交通仿真平台和其他仿真平台的路网数据共享。首先, 构建了标线和路面的数据模型; 其次, 通过分析路网各描述单元的关联关系, 给出了路网的构建流程; 最后, 基于 C#和 ArcEngine 平台上开发了路网编辑器, 实现了路网编辑流程, 并把生成的路网转换成 Paramics、Vissim 的仿真路网。

1 路网数据模型

1.1 路网拓扑

路网拓扑用来描述道路单元间的关系, 包括道路单元在空间上的延伸和连通关系, 称为物理拓扑; 道路单元在交通规则限定下的连通关系, 称为逻辑拓扑^[6-7]。

物理拓扑用有向图 $G_p=(V, L)$ 表示, 其中 $V=\{v_i\}$ 为子路段节点集, v_i 是子路段节点, 表示交通组织中断处; $L=\{l_{ij} | l_{ij}=(v_i, v_j)\}$ 为子路段集, 物理路网描述路网的几何线性和物理连通关系, 包括交叉口 v_i 处的相邻子路段集(AdjLinkIDs)和相邻子路段空间方位关系集(NorthAngles)^[8]。

逻辑拓扑用 $G_l=(A, La, CLa)$ 表示, 其中 $A=\{a_{ij} < v_i, v_j > | v_i, v_j \in V\}$ 为有向子路段集, a_{ij} 为有向子路段, 方向代表从节点 v_i 到 v_j 方向的交通流向; $La=\{lane\}$ 为车道集, 车道是位于有向子路段中, 规定车辆运行行为的最小道路单元。车道上承载的交通规则包含车速(Spd)、通行车辆类型(VhICls)、信号控制类型(Ctrl)、变道(Chg)等; $CLa=\{c_i=(lane_j, lane_t) | lane_j, lane_t \in La\}$ 表示车道连接器, 描述车辆从车道 $lane_j$ 到 $lane_t$ 的通行是允许的, TurningDir 表示从车道 $lane_j$ 到 $lane_t$ 的转向。

GIS-T 路网的拓扑结构以及道路单元属性可由图 1 所示的 UML 图表示。右图可见物理拓扑 Node 和 Link 构成了 GIS-T 路网的“骨架”, 为路网提供在空间上的延展方向; 而拓扑路网承载着交通管理者的控制策略, 这些控制策略构成路网的“灵魂”。

1.2 路面标线

道路通过路面标志标线体现交通管理者的控制策略, 这样路面标线就构成了路网的“血肉”。交通规则保存在逻辑路网拓扑中, 因此路面标线只需和逻辑路网拓扑建立关联, 并根据与之关联的逻辑拓扑单元承载的交通规则选用与规则对应的样式即可实现交通规则的可视化。

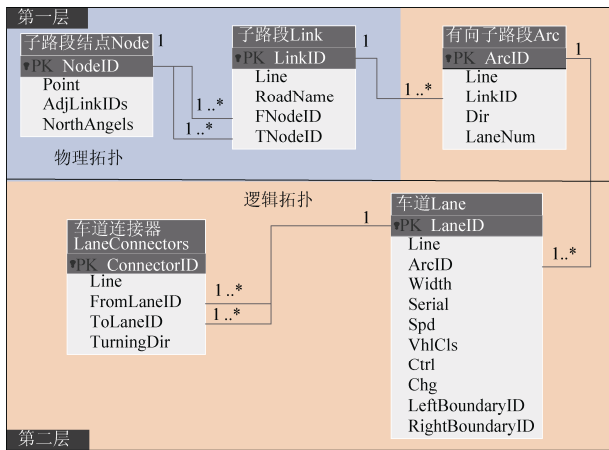


图 1 GIS-T 路网数据模型 UML 图

Fig. 1 The UML of GIS-T road network data model

如图 2 所示为路面标线数据模型 UML 图, 由图中车道和车道连接器上承载的交通规则, 可推断出导向箭头、停止线和车行道分界线的样式。

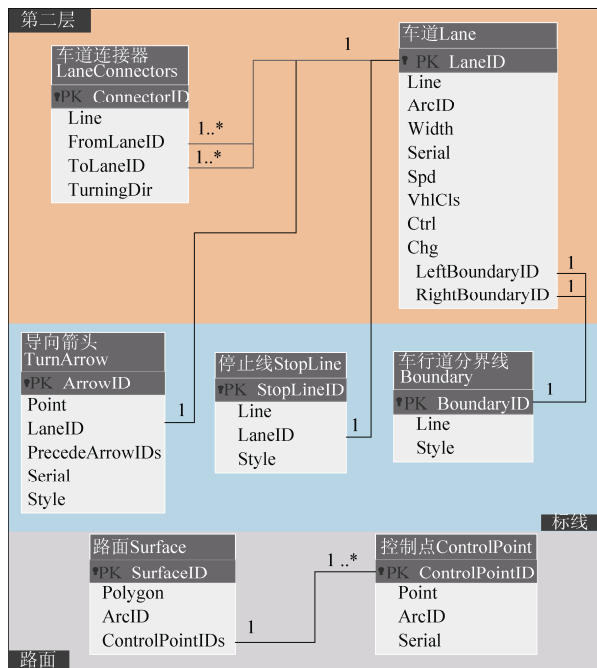


图 2 路面标线数据模型 UML 图

Fig. 2 The UML of road marking data model

国标定义导向箭头是设置在车道内的用以指示车辆行驶方向的道路标线, 并限定了导向箭头的 11 种类型^[9], 设置在 lane_i 上的导向箭头的指示方向可由 $\cup \{TurningDir | lane_i = c_j.lane_j\}$ 计算, 即以导向箭头所在的车道为起始车道的所有车道连接器转向(TurningDir)的并集。

停止线是设定在交叉口入口车道处, 用于表示车辆让行、等候放行等情况的停车位置^[9]。车道信号控制类型(Ctrl)可分为交通灯信号控制、停车让行和减速让行 3 种, 因此停止线对应有单实线、双实线以及双虚线 3 种样式。

车行道分界线的分为同向车行道分界线、对向车行道分界线和道路边缘线, 车道分界线用于界定车道横向范围以及规定车道内部交通是否可跨越分界线到侧向车道^[9]。根据车道的可向相邻车道的可变道属性, 车行道分界线可分为实线和虚线。如图 2 所示的 UML 图, 车道直接关联车行道分界线, 而可变道规则(Chg)可直接通过两侧的车行道分界线(LeftBoundary 及 RightBoundary)的样式体现出来。

2 路网构建

2.1 构建流程

物理拓扑表示道路线形, 由交互绘制而成; 逻辑拓扑承载交通规则由交通管理者在路网构建界面设定的; 路面标线和路面由设定的交通规则的作用下, 运用线形参考的方法, 自动生成的。在 GIS-T 交通仿真路网中构建一个十字型交叉口的过程如下:

- 1) 新建或打开 GIS-T 路网数据库;
- 2) 在路网地图上打点 v_m, v_p ;
- 3) 连接 v_m, v_p , 设置 a_{mp}, a_{pm} 车道数(LaneNum), 车道宽度(Width)等属性, 生成子路段 l_{mp} 及相应的标线, 如图 3(a)所示;
- 4) 选择适当位置打断 l_{mp} , 生成节点 v_n 和两段 l_{mn}, l_{np} , 分别修改 l_{mn}, l_{np} 对应的有向子路段的车道数、车道宽度等属性, 删除 l_{mp} 的车道、标线, 生成 l_{mn}, l_{np} 对应的车道、车道连接器、标线, 如图 3(b)所示为打断后两段路段;
- 5) 在路段 l_{mn}, l_{np} 下侧打点 v_q , 连接 v_q, v_n 的子路段 l_{qn} , 生成 l_{qn} 的标志标线, 删除 a_{nm}, a_{pn} 对应的车道、车道连接器、标线, 生成新的车道、车道连接器、标线, 如图 3(c)为生成新的 T 字型路口;

6) 在路段 l_{mn} , l_{np} 上侧打点 v_o , 连接 v_o , v_n 的子路段 l_{on} , 生成 l_{on} 的标志标线, 删除 a_{np} , a_{mn} 对应的车道、车道连接器、标线, 生成新的车道、车道连接器、标线, 如图 3(d)所示为生成新的十字路口。

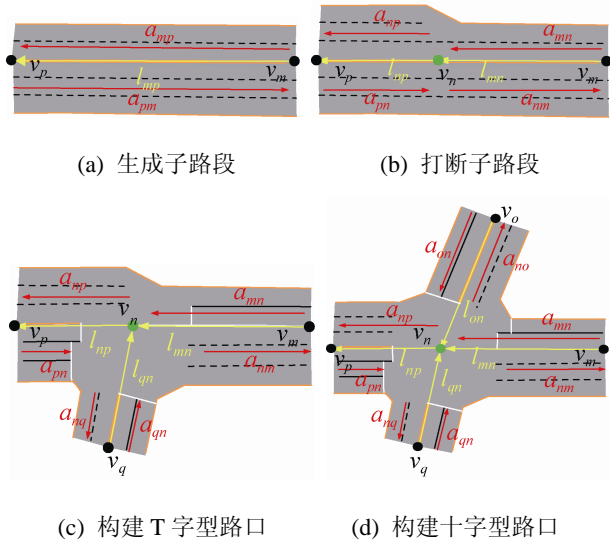


图3 构建十字交叉口流程示意图

Fig. 3 The diagram of creating intersection

2.2 路网单元构建方法

在路网编辑过程中,新建路段与现有路段是相互影响的:新建路段的路面形状和标线的几何形态受相邻路段的影响;新建路段的加入会影响现有路段的几何和标线的几何形态。如图 3(b)~3(c)过程中,新建路段 l_{qn} 的 a_{qn} 方向的停止线和车行道分界线端点与 a_{nm} 方向的车道数以及 l_{qn} 和 l_{mn} 的夹角相关;同时由于新建路段 l_{qn} ,子路段 l_{mn} 的 a_{nm} 方向的路面形状和车行道分界线也发生变化,但是 a_{mn} 方向路面形状以及道路标线的几何形态并没有发生任何的改变。可见,对于一个子路段 l_{mn} ,两个有向子路段 a_{nm} , a_{mn} 任一有向子路段几何变化,并不影响另外一个有向子路段的几何属性。

因此,基于 GIS-T 路网数据模型的仿真路网,保证路网几何最小单元是有向子路段,且保证 a_{qn} 几何不变的因素仅与 a_{qn} 以及与 a_{qn} 在空间上直接相连的有向子路段相关。 a_{qn} 在空间上直接相连的

有向子路段包括: a_{qn} 下游逆时针方向相邻的第一个有向子路段,记为 $DAC(a_{qn})$; a_{qn} 上游顺时针方向相邻的第一个有向子路段,记为 $UC(a_{qn})$ 。如图 3.c 中 a_{qn} 路面和车行道分界线端点的几何除了与自身车道数和车道宽度相关外,下游逆时针方向相邻的第一个有向子路段 $DAC(a_{qn})=a_{nm}$ 路面宽度和相邻角度也会影响;同理 a_{nq} 对应路网元素的几何与 $UC(a_{nq})=a_{pn}$ 的路面宽度和相邻角度相关。

黄敏等人提出了基于物理路网的交通规则的表达结构,通过线性参考系统的方法定位标线在路网中的位置^[10-11]。设 $sign.geo=(refUnit, fCut, tCut, fOffset, tOffset)$, 其中 $refUnit$ 为标线在路网中线性参考系统对象,在本文中线性参考系统对象取 $Link$; $fOffset$ 与 $tOffset$ 分别表示标线的起终点相对于参考对象横向偏移距离,标线的偏移量与所处的车道有关,大小为设置车道的位置到 $Link$ 的距离; $fCut$ 和 $tCut$ 为标线起终点相对于参考对象的起终点的纵向变化量, $fCut$ 与 $tCut$ 为正值时,相对于参考对象为截取,为负值时,相对于参考对象为延长量。可由(1)式算得。

Cut=

$$\begin{cases} \frac{offset'}{\sin \alpha} + \frac{offset}{\tan \alpha}, & 0^\circ < \alpha < 360^\circ, \alpha \neq 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ \\ \frac{offset'}{\sin \alpha}, & \alpha = 90^\circ \text{ 或 } 270^\circ \\ 0, & \alpha = 180^\circ \end{cases} \quad (1)$$

式中: α 为 a_{ij} 与 $DAC(a_{ij})$ 或 $UC(a_{ij})$ 间逆时针夹角; $offset$ 为计算标线端点的横向偏移量,计算 $fCut$ 和 $tCut$ 分别取 $fOffset$ 和 $tOffset$; $offset'$ 表示在 $DAC(a_{ij})$ 或 $UC(a_{ij})$ 中对应标线端点的偏移量。以生成如图 4 所示 a_{mn} 的右侧道路边缘线为例,道路边缘线的起点的纵向变化量 $fCut$ 所需的 $offset'$ 为 a_{mn} 上游顺时针方向第一个有向子路段 a_{rm} 的路面宽度;同理,计算 $tCut$ 所需的 $offset'$ 为 a_{mn} 下游逆时针方向第一个有向子路段 a_{no} 的路面宽度。如此,利用(1)式即可算 $tCut$ 值。对 $fCut$ 和 $tCut$ 取一定的容差,即可得如图 4 所示的过渡转角。同样采用线性参考的方法可得到导向箭头、车道的几何位置。

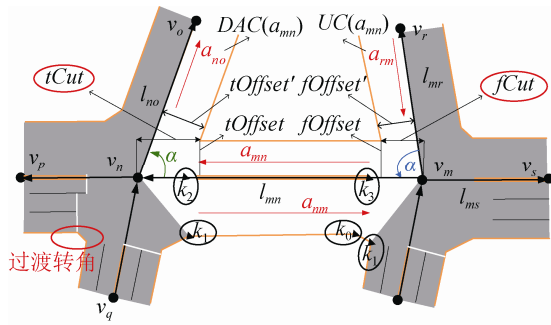


图 4 线性参考示意图

Fig. 4 The diagram of linear referencing

为了更加逼真的渲染道路物理形态, 定义了路面和控制点, 控制点用来界定路面几何范围, 且路面与 a_{ij} 一一对应, 一个 a_{ij} 包含 4 个控制点, 分别记为 $k_0(a_{ij}), k_1(a_{ij}), k_2(a_{ij}), k_3(a_{ij})$, 其分别位于 a_{ij} 的右上、右下、左下、左上方, 如图 4 中 a_{nm} 所示的 4 个控制点。利用线性参考可得控制点几何, 顺次连接 $k_0(a_{nm}), k_1(a_{nm}), v_n, k_2(a_{nm}), k_3(a_{nm}), v_m, k_1(DAC(a_{nm}))$ 构成的多边形即可构成 a_{nm} 的路面, 如图 4 所示的空白区域。

3 实例应用

基于 C# 和 ArcEngine 平台上开发了 GIS-T 交通仿真路网编辑器, 编辑的路网以 GeoDatabase 的格式存储, 充分利用了 ArcGIS 丰富的符号库, 实现交通标志标线承载的规则与样式的一一对应, 这些符号包括: 导向箭头、停止线、车行道分界线。图 5 为利用路网编辑器构建的一个十字路口, 图中导向箭头与所在车道的下游可到达车道集的方向一致, 车道和车道连接器为车辆提供了仿真运行轨迹, 停止线规定了进入交叉口开始排队的位置。

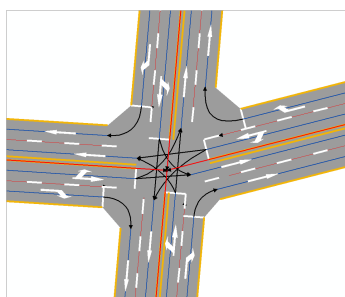
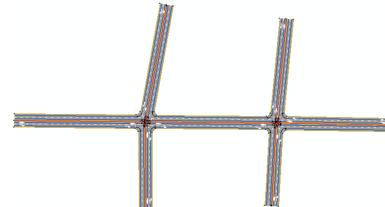


图 5 GIS-T 路网中的十字路口

Fig. 5 The intersection in GIS-T road network

在路网编辑器构建的路网基础上, 利用路网转换模块, 实现了如图 6 所示的 GIS-T 交通仿真路网到 3 个主流仿真软件路网的转换, 由图可见, 在转换过程中不仅保存了路网的几何特征, 而且交通属性和规则也得以保留。



(a) GIS-T 路网



(b) Paramics 路网



(c) Vissim 路网

图 6 GIS-T 路网到两个仿真路网的转换

Fig. 6 The transfer from GIS-T to Paramics and Vissim

对比 GIS-T 路网与 Paramics 和 Vissim 路网可见, GIS-T 在表示路网标志标线上更加丰富, 能够直观可视化路网上承载的交通规则, 如车道和路段的转向以及车道横向变线属性。

分析 Vissim、Paramics 路网数据模型并统计各个路网单元的元素个数如表 1 所示, 可见 GIS-T 路网能够完整描述交通路网, 并且能够利用更多的道路元素形象具体地体现出路网上承载的交通规则。另外, 分析可知 GIS-T 路网 Lane、Kerb、Surface 数量是 Arc 数量的整数倍 (实验中设定所有 Arc 包含 2 个 Lane), 由此可再一次验证 Arc 是保证子路段几何完整性的最小单元。

表1 3个仿真路网元素对比表
Tab. 1 The comparison among three road networks

GIS-T 路网		Vissim 路网		Paramics 路网	
Node	8			Node	8
Link	7				
Arc	14	Link	14	Link	14
Lane	28				
Connector	24	Connector	24	NextLanes	24
Stopline	18				
Boundary	35				
TurnArrow	44				
Kerb	56			ControlPoint	56
Surface	14				

4 结论

目前国内交通仿真软件多被国外软件垄断,我们旨在构建一个适应国内复杂城市路网特征的交通仿真平台。本文构建了丰富了 GIS-T 仿真路网数据模型,特别是对交通规则抽象和路面标线的描述,使数据模型能够满足交通仿真需求。另外,提出了保证子路段几何完整性的最小单元是有向子路段,并基于有向子路段给出了路网构建的流程。此外,现阶段开发的路网编辑器不支持立交的构建,这将是后续研究的重点。

参考文献:

- [1] Cameron G D B, Duncan G I D. PARAMICS—Parallel microscopic simulation of road traffic [J]. The Journal of Supercomputing (S0920-8542), 1996, 10(1): 25-53.
- [2] Fellendorf M. VISSIM: A microscopic simulation tool to evaluate actuated signal control including bus priority [C]// 64th Institute of Transportation Engineers Annual Meeting, 1994: 1-9.
- [3] Lu L, Yun T, Li L, et al. A Comparison of Phase Transitions Produced by PARAMICS, TransModeler, and Vissim [J]. Intelligent Transportation Systems Magazine, IEEE (S1939-1390), 2010, 2(3): 19-24.
- [4] 杨晓毅, 吴建平, 贾顺平. 基于GIS的微观仿真路网数据结构设计和实现 [J]. 交通运输系统工程与信息, 2006, 6(2): 38-41. (Yao X Y, Wu J P, Jia S P. Data

Structure Design and Actualization of GIS-based Micr-Simulation System of Road Network [J]. Intelligent Transportation System and Information Technology, 2006, 6(2): 38-41.)

- [5] 赵宾植, 梁虹, 周园, 等. 基于 GIS 的微观交通仿真路网数据模型 [J]. 云南大学学报(自然科学版), 2009, 31(增 1): 227-233. (Zhao B Z, Liang H, Zhou Y, et al. A Road Network Data model for Integration of Microscopic Traffic Simulation and GIS [J]. Journal of Yunnan University, 2009, 31(S1): 227-233.)
- [6] 黄敏, 饶明雷, 李敏. 面向仿真的车道级基础路网模型及其应用 [J]. 系统仿真学报, 2014, 26(3): 657-661. (Huang M, Yao M L, Li M. Research of Lane-level Basic Road Network Model for Simulation and Its Application [J]. Journal of System Simulation (S1004-731X), 2014, 26(3): 657-661.)
- [7] Huang M, Rao M L, Li M, et al. Lane-Based Road Network Model and its Application in Simulation Road Network Modeling [J]. Applied Mechanics and Materials (S1662-7482), 2013, 253: 1351-1355.
- [8] 黄敏, 余志, 张小兰. 基于交叉口特征的指路标志建模方法 [J]. 西南交通大学学报, 2007, 42(1): 110-114. (Huang M, Yu Z, Zhang X L. Modeling Method for Road Guide Signs Based on Intersection Features [J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2007, 42(1): 110-114.)
- [9] 中国国家标准化管理委员会. GB5768.3-2009. 道路交通标志和标线 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2009. (Standardization Administration of the People's Republic of China. GB5768.3-2009. Road traffic signs and markings [S]. Beijing, China: China Standards Press, 2009)
- [10] 黄敏, 饶明雷, 李敏. 基于规则的交通路网建模及其应用 [J]. 公路交通科技, 2012, 29(1): 134-138. (Huang M, Yao M L, Li M. Transportation Network Modeling Based on Traffic Rules and Its Applications [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2012, 29(1): 134-138.)
- [11] 王广杰, 何政伟, 张新海, 等. 线性参考系统与动态分段技术在公路 GIS 中的应用研究 [J]. 测绘科学, 2008, 33(3): 181-183. (Wang G J, He Z W, Zhang X H, et al. The research of the linear referencing system and dynamic segmentation in the highway GIS [J]. Science of Surveying and Mapping, 2008, 33(3): 181-183.)