

多组件化微观交通仿真系统^①

贺冰花, 赵祥模, 安毅生, 袁绍欣

(长安大学 信息工程学院, 西安 710064)

摘要: 为了模拟和再现城市路网交通环境, 提高交通模型的通用性、可重用性, 本文结合城市交通流特性和计算机仿真技术, 对车辆、车道、道路、交叉口、信号灯等交通组成元素进行抽象和组件化, 建立了具有良好人机交互界面的多组件化微观交通仿真系统. 最后结合仿真实例说明多组件化微观交通仿真系统可以用于交通控制策略的测试、评估和对比分析.

关键词: 智能交通; 微观交通仿真; 组件化; 交叉口; 排队长度

Microscopic Traffic Simulation System with Multi-Components

HE Bing-Hua, ZHAO Xiang-Mo, AN Yi-Sheng, YUAN Shao-Xin

(School of Information Engineering, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: Aiming to simulate and reproduce the urban traffic network environments, and to improve the versatility and reusability of the traffic model, the traffic elements such as vehicle, lane, road, intersection and light were abstracted into five components with the combination of the characteristics of urban traffic flow and computer simulation technologies, and then the microscopic traffic simulation system with multi-components was designed and established which has a good human-computer interface. In the final, an example of traffic simulation was conducted and the result indicated that the microscopic traffic simulation system with multi-components could be used for testing, evaluating and comparing the traffic control strategies.

Key words: intelligent transportation; microscopic traffic simulation; component; intersection; queue length

城市交通是由人、车、路、环境等要素组成的动态复杂大系统, 具有结构复杂、影响因素多、开放性、随机性及不确定因素多等特点^[1]. 对于城市路网车辆通行效率的分析很难采用现场试验的方法, 不能将一些改进的控制策略和方法直接应用到现场, 因此, 采用计算机仿真技术, 建立城市交通仿真系统, 可以方便地根据交通仿真数据进行交通规划、车流控制策略、信号灯配时方案的实验、测试与优化. 相关的工作主要有: 杨晓光等人建立了面向对象微观交通仿真系统^[2], 孙晋文对基于 Agent 的智能交通控制策略与可视化动态仿真进行了研究^[3], 李强等建立了基于驾驶员路径选择的动态交通仿真模型^[4], 杨兆升等建立了基于车辆仿真的交通流诱导系统^[5]. 马万经等建立了以交叉口总延误时间最小为目标的交叉口左转

相位组合优化模型^[6]. Shirai Takashi 采用局部信息控制交通灯参数并通过交叉口 Agent 的坐标形成滤波信息的方法实现了信号灯控制^[7]. 这些方法大都从车辆、道路或单个交叉口单一角度进行交通建模与仿真, 仿真系统的通用性和扩展性有待提升.

基于此, 本文提出了多组件化的微观交通仿真系统框架, 利用面向对象和计算机仿真技术建模交叉口、路段、车道、信号灯和车辆, 并实现其组件化. 同时对路网中车辆采用最大限速和随机速度两种行驶控制方案进行仿真和分析.

1 系统框架设计

多组件化微观交通仿真系统的框架如图 1 所示. 交叉口群是由多种类型的交叉口、道路、交通设施以

^① 基金项目: 国家自然科学基金(50978030); 中国博士后科学基金(2012M521729)

收稿时间: 2013-05-17; 收到修改稿时间: 2013-06-07

及交通信号控制组成的交叉口集合,在仿真之前,首先要根据仿真需求搭建仿真环境.微观交通流仿真的目标就是,一方面模拟真实的交通环境,动态的显示车辆的运行状况,另一方面就是设置并记录交通流参数,分析仿真结果并对不同的信号控制方案进行评价.在仿真开始后,车辆首先要获得整个路网的拓扑结构,然后按照预先设定的交通规则分享路网的资源.因此该框架相应的仿真过程细分为选择组件建立路网、建立路网拓扑结构并生成车辆和仿真输出三个阶段.车辆进入路网后,其运行不仅取决于所在路段的拥堵程度、下游交叉口信号配时,甚至还取决于群域内其它交叉口的运行状态,因而车辆组件模型较为复杂,包括车辆描述模型、车辆生成模型、车辆行驶模型、车辆换道模型,以及车辆在交叉口的冲突检测模型.

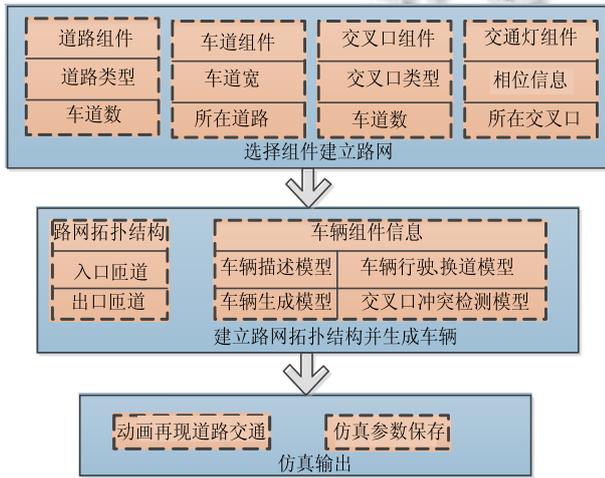


图 1 仿真系统框架图

2 交通元素组件化设计

多组件化微观交通仿真系统以交通系统最基本的组成单元如车辆、车道、路段、交叉口、信号灯等为建模对象,采用面向对象方法对其静态属性(包括位置、颜色、大小和几何特征等)进行封装.为了进一步提高路网元素的可重用性和高度的互操作性,采用 C# 组件化程序设计方法建立 Windows 窗体应用程序并将封装的路网元素组件化并与图形化界面的按钮相关联,用户在界面上通过简单的点击、拖放等操作即可实现非常复杂的处理过程,交通元素组件化设计如图 2 所示,包括车辆组件、路段组件、交叉口组件、信号灯组件和车道组件,其中车道组件对用户隐形可见.

交叉口组件分为“十”字交叉口和“T”型交叉口,信

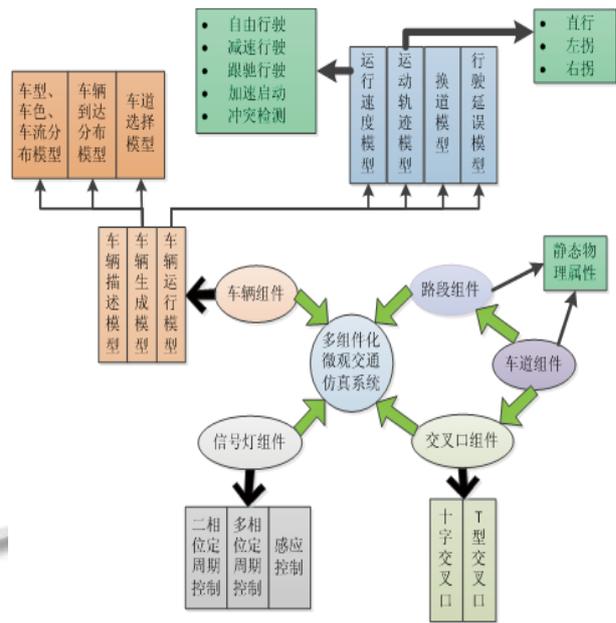


图 2 组件化的各类交通元素

号灯组件的控制策略包括二相位定周期控制、多相位定周期控制和感应控制等.车辆组件包括车辆描述模型、车辆生成模型(随机生成不同分布特性的车辆)、车辆运行模型(描述车辆速度、运动轨迹和行驶延误,并根据车辆的自由行驶、加速、减速、跟驰、排队、冲突等行为精确计算车辆的速度、位置等信息).各交通组件所具有的物理属性和行为属性对用户是透明的,用户只须使用人机交互界面提供的接口建立仿真路网拓扑结构并设置路网参数就能够实现路网的微观交通仿真.

3 微观交通仿真系统设计

微观交通仿真系统最核心的部分是路网拓扑结构的保存与遍历以及仿真效果的动态显示,本系统采用动态链表来表示整个路网的信息,链表的每个节点各表示一个路网元素,节点中包含组件信息及东西南北四个方向所链接的节点和该组件上的车辆集合.链表从头到尾依次更新节点中组件包含的车辆集合,包括加速度、速度、位置等数据信息,并擦除原车重画新车.因此,交通仿真系统中数据结构的设计是仿真的前提和基础,系统流程设计将系统对算法和数据的处理过程进行了详细的描述.

3.1 数据结构设计

微观交通仿真系统主要包含主框架类、MyObject

类、Vehicle 类、交叉口类、道路类、车道类和信号灯类, 其定义及其相互调用关系如下:

主框架类: 作为绘图表单和属性表单的依托。

MyObject 类: 作为各组件的抽象类, 将道路、车道、交叉口、信号灯等交通元素的共同物理属性如长、宽、位置坐标、颜色以及共有的抽象方法如绘制、选中、移动、坐标改变等进行抽象。交通组件继承抽象类的属性和方法, 并根据各自的特点扩展自身。

Vehicle 类: 基本属性包括车型、速度、加速度、方向、最高速度、出发地、目的地, 所在车道等, 基本方法有车辆加速、减速、停车、超车、避让等。

交叉口类: 包括 Cross 类、TLeft 类、TRight 类、TUp 类、TDown 类, 继承于 MyObject 类, 并有多

Lane 对象构成车道。

道路类: 包括 HRoad 类和 VRoad 类, 继承于 MyObject 类, 有多个 Lane 对象构成车道。

信号灯类: 主要用于交叉口交通流的控制。

3.2 仿真系统流程设计

为了仿真系统既能达到仿真精度高, 又能准确描述交通流的各种特性, 使用户能观察交叉口各种交通行为的细微过程, 该仿真系统采用 C#多线程技术及计时器驱动的方式实现主界面的更新、车辆生成及信号灯的控制, 即车辆和主绘图区以 0.05 秒为刷新间隔, 车辆生成以仿真开始时设置的交通流量为参数动态生成, 信号灯以 1 秒为时间间隔, 每个交叉口的信号灯相互独立并有各自的信号配时方案。具体过程如图 3 所示。

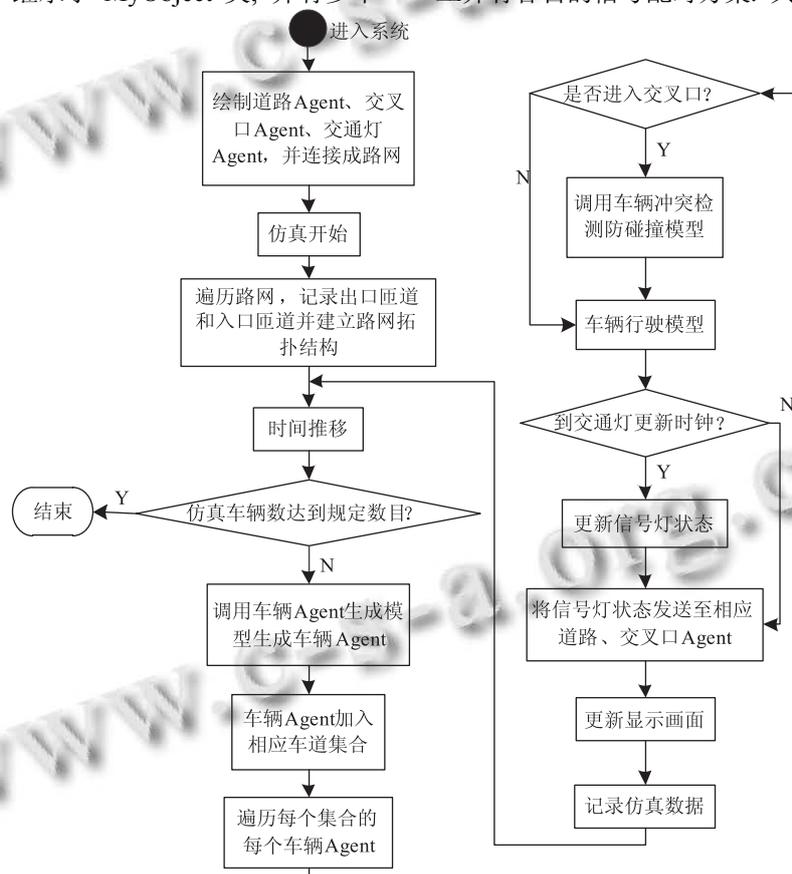


图 3 仿真系统流程图

在绘制路网过程中可根据需求不同在属性栏中设置组件的属性。在仿真开始后, 系统初始化并构建路网拓扑对应的图, 按照图的广度优先遍历和深度优先遍历标记入口匝道和出口匝道, 开启车辆生成线程和时间推移线程。车辆生成线程可分别服从泊松分布、

二项分布、负二项分布三种密度流, 车辆类型服从等比例的均匀分布, 利用随机种子生成随机的出发地和目的地并确定行程路线, 最后将车辆加入车辆集合和所在车道集合。车辆在道路上行驶时可调用车辆行驶模型中的自由行驶、跟驰行驶或换道行驶模型。若车

车辆在交叉口行驶,则要调用冲突检测模型以确定停车避让或向前行驶. 车辆行驶过程中要接收信号灯的信号状态并采取控制措施, 在每个信号周期内都要记录并保存该交叉口的进入、驶离车辆数, 车辆的排队长度和行车延误等交通参数, 以便后续进行数据分析.

4 仿真系统及仿真实例

4.1 仿真系统

本文以 C#为开发平台, 结合城市交通流特性和计算机仿真技术实现了多组件化微观交通仿真系统, 仿真系统界面如图 4 所示, 包括系统菜单栏、工具栏、属性设置窗口和主绘图区.

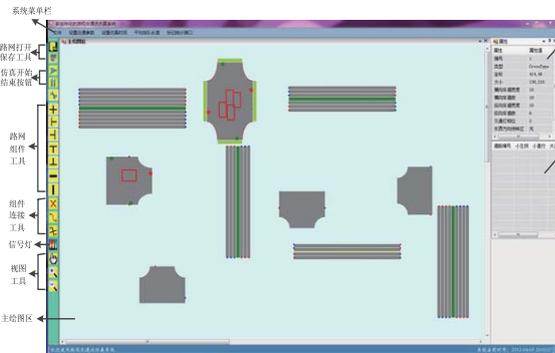


图 4 系统仿真界面

4.2 仿真实例

图 5 给出了一个多交叉口的交通仿真实例, 其中交叉口 1 采用四相位控制策略, 周期设为 60s, 绿信比设为 0.5, 无左转弯待转区. 交叉口 2 的信号控制策略为四相位, 周期为 70s, 绿信比为 0.5, 东西方向设置左转弯待转区. 交叉口 3 的信号控制策略为四相位, 周期为 70s, 绿信比为 0.5, 南北方向设置左转弯待转区. 交叉口 4 的信号控制策略为二相位, 周期为 60s, 绿信比为 0.5. 各交叉口入口路段交通流分别设为 200veh/h、400 veh/h、600 veh/h、800 veh/h、1000 veh/h、1200 veh/h、1400 veh/h、1600 veh/h 时, 车辆采用最大限速和随机速度两种行驶方案进行仿真, 采集车辆的平均延误时间和平均启停次数, 并以交叉口 2 为研究对象, 获取其平均排队长度的数据如表 1 所示, 图 6-7 给出了车辆平均延误时间和车辆平均启停次数, 从图 6-7 可以看出车辆采用最大限速行驶时的平均延误时间相对于随机速度行驶时明显缩短, 并且车辆的启停次数也保持在 4 次以下, 而采用随机速度行驶时车流

量在达到 1000veh/h 时车辆的平均启停次数已超过 6 次. 从表 1 中两种速度控制策略下各车道平均排队数据可以看出车辆在采用最大限速行驶时的各车道平均排队长度较采用随机速度行驶时明显减短.

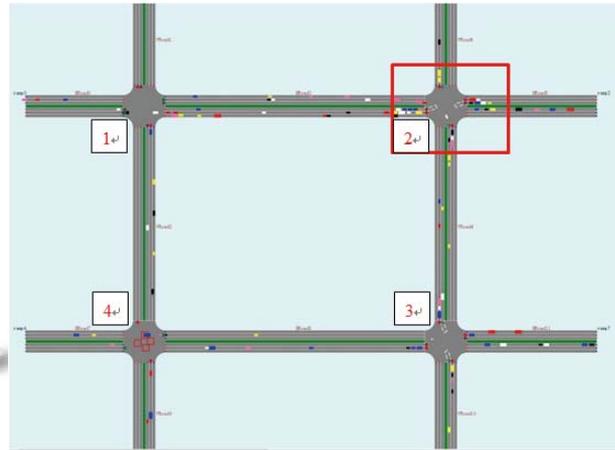


图 5 多交叉口路网仿真图

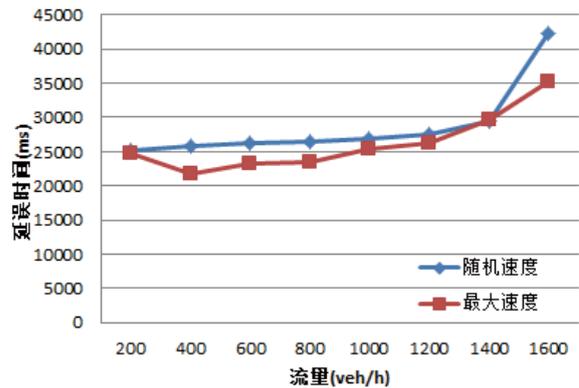


图 6 多交叉口车辆平均延误时间

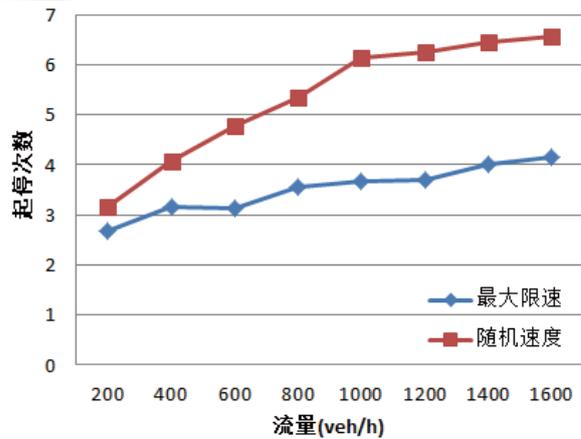


图 7 多交叉口车辆平均启停次数

这一结果对于交通管理的启示在于确保安全的

前提下,为了增加道路的使用率和车辆的出行效率,应鼓励车辆提高行车速度,避免不必要的看似安全的低速行车.因为在这种情况下,它后面一些高速行

驶的车辆就会产生超车的需求,当道路上经常发生超车现象时,就会增加事故发生率,使道路的不安全因素增加.

表 1 交叉口 2 各车道平均排队长度

进口方向	走向	流量(veh/h)															
		200		400		600		800		1000		1200		1400		1600	
		Ms	Rs	Ms	Rs	Ms	Rs	Ms	Rs	Ms	Rs	Ms	Rs	Ms	Rs	Ms	Rs
东	直行	1.41	1.97	2.26	2.5	2.71	3.19	2.74	4.2	4.5	4.75	4.26	5.24	5.85	7.5	7.56	7.74
	左拐	2.82	2.5	4.41	3.24	4.53	5.56	7.03	7.08	11.09	12.41	12.38	13.44	11.24	16.88	15.65	16.12
西	直行	3.21	3.21	3.44	3.71	3.85	4.85	4.15	5.62	8.91	8.62	9	9.71	10.53	11.76	12.82	18.12
	左拐	3.24	4.15	3.65	4.35	5.29	6.06	6.59	7.67	9.17	9.71	9.79	10.53	11.5	12.06	16.06	17.5
南	直行	0.49	1	0.89	1	1.04	1.4	1.23	2.34	2.93	3.78	2.99	3.89	3.73	3.56	6.29	7.25
	左拐	3.78	3.88	4.14	5.09	5.03	5.81	7.03	7.75	10.81	11.25	10.42	13.11	11.61	18.81	17.03	20.5
北	直行	3.18	2.84	3.64	3.11	3.82	4.21	5.2	6.25	7.58	8.8	10.3	11.18	10.46	12.86	12.92	15.36
	左拐	1.03	1.12	1.19	1.39	1.33	1.36	2.03	2.46	2.22	2.36	2.89	2.92	2.95	4.03	3.03	4.19

其中: Ms 表示车辆采用最大限速, Rs 表示车辆采用随机速度.

5 结语

本文以模拟和再现城市路网交通环境,提高交通模型的通用性、可重用性为研究对象,采用面向对象的建模方法设计并实现了基于多交通组件的微观交通仿真系统.针对多交叉口的交通环境,采用随机速度和最大限速两种速度控制策略在不同车流量和密度下对通行效率数据进行分析和对比,论证了适当提高行车速度的可能性和必要性,同时,此结论也验证了该仿真平台可以用于交通控制策略的测试、评估和对比分析.

参考文献

- 李英,多 Agent 系统及其在预测与智能交通系统中的应用.上海:华东理工大学出版社,2004.
- 钟邦秀,杨晓光.面向对象微观交通仿真系统的研究与实现.

系统仿真学报,2002,14(4):418-421.

- 孙晋文.基于 Agent 的智能交通控制策略与可视化动态仿真研究[博士学位论文].北京:中国农业大学,2001.
- 李强,繆立新,段进宇.基于驾驶员路径选择的动态交通仿真模型.公路交通科技,2001,18(6):65-69.
- 杨兆生,蹇峰,胡坚明.城市交通流诱导系统理论模型和实施技术研究—智能运输系统重要研究内容.道路交通与安全,2003,9-14.
- 马万经,杨晓光.信号控制交叉口群左转弯协调设计方法.同济大学学报(自然科学版),2008,36(11):1507-1511.
- Takashi S, Junji Y, Shigeki N. Construction of autonomous traffic light offset control system using multi agent system. Trans. of the Japanese Society for Artificial Intelligence, 2011, 26(2):324-329.

(上接第 46 页)

参考文献

- 钟志超,张志胜.流程图与类 C 语言实时转换方法.东南大学学报(自然科学版),2009,39(3):502-507.
- 王黎明,王帽钊.程序流程图到代码的自动生成算法.西安电子科技大学学报,2012,(6):70-77.
- 宋金玉,陈平.数据库原理与应用.北京:清华大学出版社,2011.
- 王林玮.数据库工程实用编程技术.北京:电子工业出版社,2006.

- 徐小明,茅智伟,容康权.产品生命周期评价工具数据库设计.机电工程技术,2007,36(8):15-17.
- 标准化工作导则国家标准汇编.北京:中国标准出版社,2010.
- 彭旭东,王成霞,万红.程序设计教程.北京:清华大学出版社,2005.
- 金燕,米小珍.动车组转向架虚拟仿真检修支持系统关键技术.计算机系统应用,2013,22(3):177-181.