

基于多智能体的信号交叉口微观仿真

邝先验, 许伦辉, 吴银凤

KUANG Xian-yan, XU Lun-hui, WU Yin-feng

江西理工大学 机电工程学院, 江西 赣州 341000

Faculty of Mechanical and Electronic Engineering, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou, Jiangxi 341000, China

E-mail: xianyankuang@163.com

KUANG Xian-yan, XU Lun-hui, WU Yin-feng. Microscopic simulation of signalized intersection based on multi-agent. Computer Engineering and Applications, 2007, 43(19): 217-220.

Abstract: Traffic system is a typical Multi-Agent System. Microscopic simulation model of signalized intersection is built. The motor agent with three levels is represented. The movement decision logic of the motors in signalized intersection based on desire gap and desire speed is analyzed in detail. The acceleration model of motor is discussed. Some problems of current nation traffic simulation software such as the lack of pedestrian and non-motor model are presented. The pedestrian and non-motor entity is introduced based on the cellular automata model, which makes the simulation system more practical. Conclusions and simulation results of this traffic model are presented.

Key words: mixed and disordered traffic; microscopic simulation; multi-agent; signalized intersection; drive model; cellular automata

摘要: 交通系统是一个典型的多智能体系统(Multi-Agent System, MAS)。应用多智能体技术建立了信号交叉口微观仿真模型, 给出了机动车 Agent 的三层结构, 详细分析了机动车在信号交叉口中的基于期望间隙和期望速度的运动决策逻辑, 探讨了机动车加速度模型。针对国内交通仿真软件缺少行人与非机动车模拟的不足, 以元胞自动机模型为基础引入了行人及非机动车实体, 使得仿真系统更具实用性。给出了该仿真系统的实现结果和结论。

关键词: 混合交通; 微观仿真; 多智能体; 信号交叉口; 驾驶模型; 元胞自动机

文章编号: 1002-8331(2007)19-0217-04 **文献标识码:** A **中图分类号:** TP391.9

1 引言

在 ITS 系统中, 一般采用交通仿真技术来再现交通中出现的问题。微观交通仿真需要考虑车辆与车辆及周边环境之间的相互作用, 在计算机上仿真出每一辆车在路网上的运行状况。目前我国城市街道交叉口信号控制大部分都是孤立交叉路口的点控制, 与国外相比, 我国机非混行的混合交通状况有其特殊性, 因此建立孤立信号交叉路口的混合交通微观仿真系统, 用于分析交叉路延误、信号控制策略、减少交通阻塞与交通事故等, 都有着重要的现实意义。邹智军^[1]、钟邦秀^[2]等应用面向对象技术对城市道路仿真系统进行了面向对象建模工作, 提出了反映对象类之间静态关系的静态对象模型以及反映仿真系统运转机制和控制结构的动态对象模型, 开发了城市道路仿真系统, 韦影仪^[3]等通过实例介绍了利用 Agent 技术构建交通微观模拟的过程, 但以上仿真系统都没有考虑行人及非机动车等因素。杨建国^[4]等对混杂交通微观仿真进行了初步研究, 给出了混杂交通系统中的无信号交叉路口的仿真模型, 对于信号交叉口还需进一步研究。本文采用 Agent 技术, 同时考虑信号交叉口中行

人及非机动车等因素, 将系统中的人、车、路、信号灯等看成具有智能结构与特点的智能体, 用于仿真分析与设计。

2 Agent 与微观交通仿真

Agent 用来描述一个具有自适应、自治能力的硬件、软件或其他任何自然物和人造物, 具有这种特征或功能的软件称为软件机器人或软件智能主体。正如人体智能一样, Agent 是由感知器、执行器和推理机组成的一个实体; 感知器用于感知环境因素及其变化特征, 执行器用来对环境或其他 Agent 进行操作, 推理机具有推理和解决问题的智能, 使 Agent 表现出合作、内部通信、预测和动态环境自适应的特点。通过一组 Agent 相互之间的协同合作可构成 MAS, 从而使该系统具备自治性、社会性、主动性和反应性等特点。

在对交通系统进行微观仿真时, 不能将其简单地看作纯粹的机械系统, 考虑车辆的动力性能的同时还必须考虑驾驶员性别、年龄、激进性、驾龄和任务紧急程度等特性, 同时交通信号控制也具有智能性和自主性等特点, 因此采用 Agent 技术开发

基金项目: 国家自然科学基金(the National Natural Science Foundation of China under Grant No.60664001); 江西省自然科学基金(the Natural Science Foundation of Jiangxi Province of China under Grant No.0511030)。

作者简介: 邝先验(1976-), 男, 讲师, 研究方向: 交通仿真技术与智能交通; 许伦辉(1965-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 最优控制、智能控制、交通工程; 吴银凤(1974-), 女, 讲师, 研究方向: 计算机应用技术。

交通仿真系统,可以使仿真更具体,更符合实际。

3 信号交叉口 Agent 结构模型

交通系统是一个典型的 MAS 系统,其中的人、车、路、控制设施等均可看作 Agent, 这些 Agent 之间进行着复杂的实时交互,共同构成了系统的动态演化。在信号交叉口微观仿真中,主要涉及到的实体包括车道、交叉口中心区、人行横道、标线、车辆(机动车(包括驾驶员)、非机动车)、行人、信号灯、检测设备、可变标志等,如图 1 所示,但并不需要将所有实体都抽象为 Agent,而是将自主性和智能性特点比较明显的实体进行抽象,如道路 Agent 和机动车、非机动车及行人 Agent。除实体外,需要设置一些功能性 Agent,如信号控制 Agent、交通生成 Agent、数据处理 Agent,作为计算机应用系统,还需设置用户与仿真系统接口的交互 Agent(Interface Agent)^[5]。

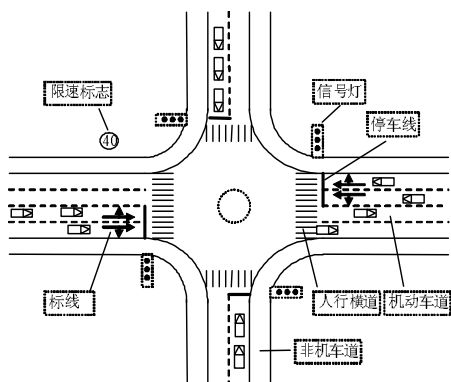


图 1 信号交叉口实体示意图

(1)道路 Agent 为车辆提供行车车道,有机动车道与非机动车道之分,在单车道中为直行,在交叉口中心区则为直行或弧形车道。各引道上的道路 Agent 基本属性包括道路编号、方位、车道数、各车道编号、宽度、限速、起终点位置等,可以提供本路段的状况与评价信息(如密度、平均速度、是否发生事故等)以及车辆的注册与注销。

(2)信号控制 Agent 则对路口的信号灯进行控制,采用的策略可以由用户事先设定,以便得出控制效果,也可以是仅给出一定的控制原则,由控制 Agent 自主控制。

(3)交通生成 Agent 为交叉口各进口道按照用户设定的交通生成模型生成交通实体(交叉口引道上为车辆及非机动车,人行横道两侧为行人),采用一定规则、方法及随机模型为生成的交通实体赋予各种属性,如机动车 Agent 除了车辆自身大小尺寸、颜色、位置、速度、加速度等特性外,还包括驾驶员性别、年龄、激进性、驾龄和任务紧急程度以及路线方案等特性。

(4)数据处理 Agent 为接受用户数据及收集和处理仿真数据,能提供仿真结束时的交通特性参数。为了使仿真结果更加直观,本文在 VC++ 的开发平台上应用 VC 与 MATLAB 的组合编程技术,在系统中嵌入 MATLAB 模块,将仿真数据处理结果以图形方式提供给用户。

(5)交互 Agent 为用户与应用系统之间交互的计算机程序,提供友好的人机界面,可以为用户提供帮助,接受并解释用户的输入以驱动系统的运行。

系统基本框架如图 2。

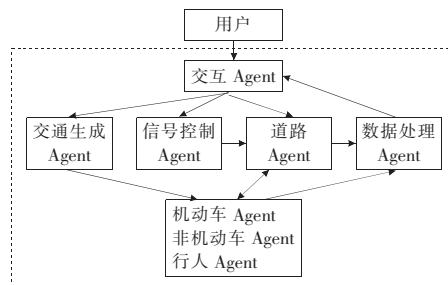


图 2 基于 MAS 的微观交通仿真基本框架

4 系统主要实体 Agent

微观仿真系统中主要的交通实体是人与车,即机动车(包括驾驶员)、非机动车与行人,本文主要探讨这类 Agent 的结构与推理模型。

4.1 机动车 Agent

4.1.1 机动车 Agent 结构

交通 MAS 系统中核心的一类 Agent 是驾驶员-车辆单元(简称机动车 Agent),建立真实、高效的驾驶员-车辆模型是基于 Agent 交通仿真的关键。人类驾驶行为是比较复杂的,人们从不同的角度建立了多种模型,如任务模型、风险模型、控制模型等。一般而言,驾驶行为从时间尺度和决策复杂性上可分为策略层、方法层和操作层三层。策略层处理出行相关的问题,如选择目的地、出行方式、路径组织等;方法层根据感知的道路交通环境,对交通情景进行分类、选择驾驶任务如加速、减速、换道等;操作层根据选定的任务控制油门、刹车、转向角等实现预期目的。机动车 Agent 结构如图 3 所示。

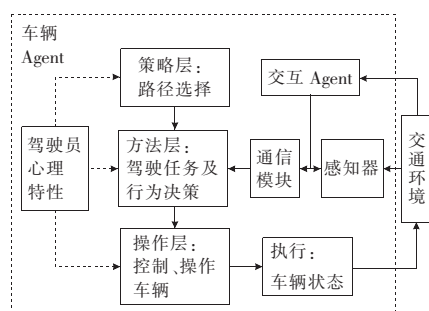


图 3 机动车 Agent 结构

4.1.2 机动车驾驶模型

4.1.2.1 机动车 Agent 的运动决策逻辑

车辆运动(这里指纵向前进运动)的基本思想是在满足安全要求的前提下在交叉口的限制速度内以期速度前进。车辆运动决策逻辑需考虑以下几种情况:

(1)根据车辆的行驶轨迹,可以将交叉口中车道分为两类:一类是进口车道,以进入交叉口初始位置为起点,停车线为终点;另一类是出口车道,根据行车轨迹而定,以停车线为起点,出口道末端为终点。所有机动车道内的车辆分为第一辆车和跟随车,第一辆车无跟驰行为,而跟随车需根据不同车道及行驶状况考虑跟驰行为。

(2)出口车道中刚驶离停车线的车辆需考虑冲突行为,例如二相位时直行车与对向左转车的冲突,车辆与非机动车及行人的冲突等。

(3)对于跟随车,根据与前方车辆的距离以及本车与前车的相对速度对其行驶状态进行分类,决定采取的基本操作(加

速、减速、保持当前速度)。若两车间隙足够大,车辆为自由行驶,则以期速度前进,否则为跟驰行驶。在跟驰行驶中根据当前间隙与期望间隙,以及相对速度决定基本操作。

车辆在交叉口的行驶决策如图4所示,自由行驶和跟驰行驶决策分别如图5、图6所示。前导车、跟随车分别用 L 、 F 表示,其速度、加速度为 v_L 、 a_L 、 v_F 、 a_F ,后车头与前车尾的间隙为 D_{LF} ,车辆与停车线的间距 D_{stop} ,期望间隙 D_{des} ,期望车速 V_{des} ,驾驶员偏好时距 T_d ,则期望间隙为 $D_{des}=T_d \cdot v_F$ 。交叉口限制车速 V_{limit} ,则 $V_{des} < V_{limit}$ 。为红灯时停车线前由自由行驶转变为减速停车行驶的间隙, $D_{turn}=T_{turn} \cdot v_F$, T_{turn} 可取6 s~8 s。

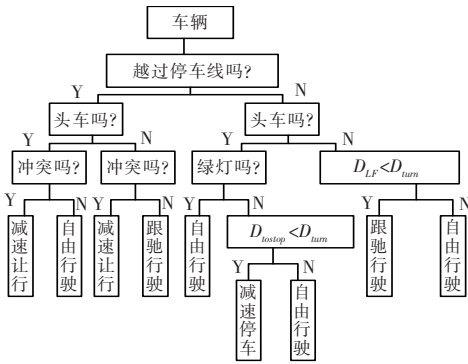


图4 机动车辆行驶决策

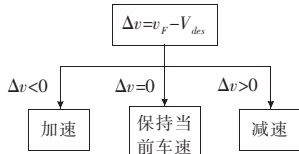


图5 自由行驶决策

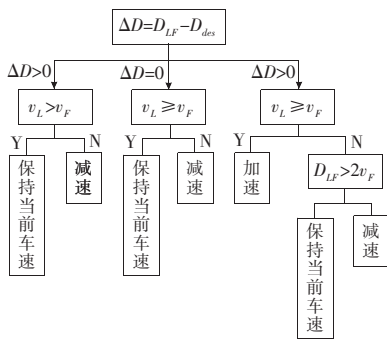


图6 跟驰行驶决策

4.1.2.2 机动车加速度模型

在机动车 Agent 的运动决策逻辑中,车辆有自由行驶、跟驰行驶、减速让行、减速停车、保持车速不变等行驶状态,其中最主要是确定加速度模型。

(1) 加速模型

车辆加速过程中加速度 a 并非恒定,往往在低速时加速度较大,在高速时加速度较小,可以用两阶段加速模型很好地近似^[6]:

$$a = \begin{cases} a_1 = 1.1 \text{ m/s}^2 & v \leq 12.19 \text{ m/s} \\ a_2 = 0.37 \text{ m/s}^2 & v \geq 12.19 \text{ m/s} \end{cases}$$

(2) 减速模型

减速时的加速度为负值,交叉口车辆减速操作有四种情

况:自由行驶中的减速、跟驰减速、冲突减速以及入口第一辆车红灯时在停车线前的减速。自由行驶中当速度大于期望速度时需采取减速操作以保持期望速度,其减速度可取 $a = \frac{V_{des} - v}{T}$, T 为恢复时间,取 $T=3$ s。

跟驰过程中两车间隙小于期望间隙或跟车速度大于前车速度时,跟随车为保持期望间隙需要减速。若考虑前车的减速度 a_L (特别是前车紧急制动时),且减速度不能大于最大减速度,由运动定律可得减速度为 $a = a_L - \frac{(v_F - v_L)^2}{2D_{LF}}$, $|a| < |a_{max}| = 6.04 \text{ m/s}^2$ 。由于驾驶员对前车的速度改变不敏感,往往假设前车非紧急制动(减速度小)时是稳定行驶的,即 $a_L=0$ 。

入口第一辆车红灯时在停车线前的减速是跟驰行驶的特殊情况,令 $v_L=0$,其减速度, $a = -v_0^2 / (2D_{turn})$, $|a| < |a_{max}|$, v_0 为距离停车线 D_{turn} 处的速度。

冲突减速发生在当对向冲突车辆(或行人与非机动车)到达冲突点的时间比本车短,本车必须减速让行以避免冲突。设本车以减速度 a 开始减速行驶时的速度为 v_0 ,到冲突点的距离为 $D_{conflict}$,极限情况是本车减速行驶到达冲突点时速度减为0,因此其减速度为 $a = -v_0^2 / (2D_{conflict})$, $|a| < |a_{max}|$ 。

(3) 安全条件

以上加速度模型使得计算大大简化,但不能保证无碰撞,为避免碰撞,采用Krauss提出的安全模型^[7]:设仿真离散时间步长为 Δt ,驾驶员反应时间为 τ ,若 $\Delta t < \tau$,则安全速度条件为:

$$v_F(t + \Delta t) \leq v_{safe} = v_L(t) + \frac{D_{LF} - v_L(t)\tau}{\tau + \frac{v_F(t) + v_L(t)}{2|a_{max}|}}$$

4.2 行人 Agent 与非机动车 Agent

行人一直是国内外交通仿真研究中较棘手的问题。它的行为复杂运动无规律,不像机动车那样有统一的方向流,典型的行为如双向对向运动、自由无规则的择路等。为此,在行人 Agent 的推理机决策中采用元胞自动机(CA)模型^[8],元胞自动机是在均匀一致的网格上由有限状态的元胞构成的离散的动力系统,其特点是空间、时间和状态离散化,其运行规则主要有:

- (1) 空间离散化:将人行道(本文只考虑人行横道)划分成 $1.0 \text{ m} \times 1.0 \text{ m}$ 的网格单元(Grid Cell),每个行人占用1个Cell;
- (2) 时间离散化:仿真系统采用时间扫描法,已经将时间离散化;
- (3) 速度离散化:行人速度已不再用时间距离来定义而是以Cell为单位离散化,速度范围为0~2 Cell/s;
- (4) 状态离散化:所有元胞的状态同时发生变化,且在 $t+1$ 时刻,第 i 个元胞的状态由时刻 t 的第 i 个元胞以及相邻的有限个元胞的状态共同决定。

非机动车 Agent 同样也采用CA模型,需要将非机动车道离散化,每辆非机动车(主要为自行车)占用2个Cell,其速度范围为0~5 Cell/s。

由于CA模型的采用,大大简化了行人与非机动车的运动行为,在本系统中获得了很好的动态效果。

5 微观交通仿真系统实现

5.1 仿真流程

微观交通仿真中,临时实体(车辆及行人)从各个交通发生点按照各自的交通生成模型生成,引起各个永久实体(如车道、交叉口、信号灯)的状态随时刻的变化,临时实体的离开时刻受到诸多因素的影响难于预先估计,因此采用时间扫描法。系统流程见图7。

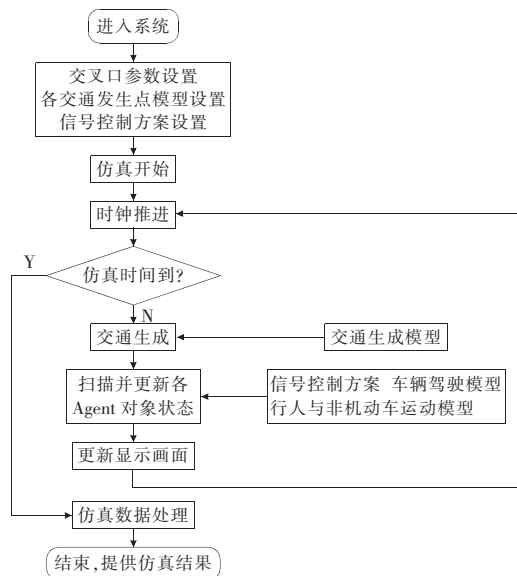


图7 仿真系统流程

5.2 仿真实现

在 Win2000/WinXP 的编程环境下,采用 VC++6.0 开发平台开发了信号交叉口微观仿真系统,实现 Agent 的技术基础是计算机的进程与线程技术,具体实现的功能有:

- (1) 参数设置;
- (2) 信号控制模型设置(包括是否需要左转及行人相位)。通过调整信号控制方案进行仿真,可以比较不同方案的优劣;
- (3) 各类 Agent 的自身状态变化及实时交互作用;
- (4) 仿真数据处理及提供仿真结果。仿真结束可获得交叉口通行能力、流量、饱和度、平均延误、平均速度、停车率等特性参数及相互关系。

图8是仿真系统运行的画面显示,道路最外侧为非机动车道,白色标线将其与机动车道分隔。

6 结论

交通微观仿真是在计算机上详细刻画人、车、路随时间和空间动态变化,从而进行交通波动分析、可接受间隙分析、交织影响分析等。本文针对交通系统中特定地点——城市道路信号交叉口,应用计算机与人工智能领域中的 Agent 技术对系统进行建模并实现,系统主要有以下特色:

- (1) 针对交通系统具有智能性和自主性等特点,建立了信号交叉口的 MAS 模型,提出了机动车 Agent 的分层结构,详细分析了其运动决策逻辑并推导了加速度模型。

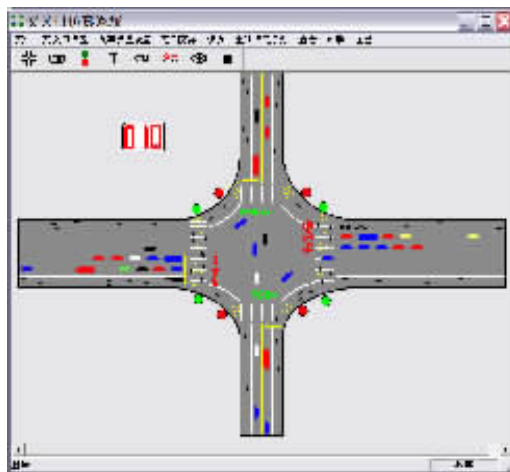


图8 信号交叉口微观仿真

(2) 加入了行人、非机动车、非机动车道等实体,使系统更符合中国混合交通实际,具有很强的应用价值。应用元胞自动机模型刻画了行人与非机动车模型,解决了其无规律复杂运动问题。

(3) 应用 VC 与 MATLAB 的组合编程技术,在系统中嵌入 MATLAB 模块,能将仿真结果以图形方式提供给用户。

(4) 扩展性强。单交叉口微观仿真系统很容易扩展为干道或区域仿真系统,由于城市干道或区域是由交叉口(点)跟道路路段(线)组成,只需建立多个单交叉口模型并用路段连接即可构成干道或区域仿真系统。

本文后续的工作是在此基础上加入知识库与数据库用于具有自学习自适应功能的信号控制 Agent,将系统扩展为干道或区域仿真系统,并进一步分析多交叉口的信号控制 Agent 之间的协调控制问题。(收稿日期:2006年11月)

参考文献:

- [1] 邹智军,杨东援.城市交通仿真实验系统的面向对象开发[J].系统仿真学报,2002,14(7):844-848.
- [2] 钟邦秀,杨晓光.面向对象微观交通仿真系统的研究与实现[J].系统仿真学报,2002,14(4):418-421.
- [2] 韦影仪,陈志远.基于 Agent 的交通微观模拟[J].计算机工程与应用,2005,41(1):217-220.
- [4] 杨建国,王兆安,李庆丰.混杂交通微观仿真初探[J].系统仿真学报,2004,16(6):1115-1117.
- [5] Lenzmann B, Wahsmuth I. Contract-net-based learning in a user-adaptive interface agency[C]//Lecture Notes in Artificial Intelligence 1221: Distributed Artificial Intelligence Meets Machine Learning: Learning in Multi-Agent Environments'97.
- [6] Bham G H, Benekohal R F. A high fidelity traffic simulation model based on cellular automata and car following concepts[J]. Transportation Research Part C, 2004, 12: 1-32.
- [7] Krauss S. Microscopic modeling of traffic flow: investigation of collision free vehicle dynamics[D]. University of Koln, 1998.
- [8] Embrechts M J. Cellular automata modeling of pedestrian movement[J]. IEEE International Conference, 1997, 3: 2320-2323.