

基于多尺度融合的城市交通路网仿真系统研究

李晓峰¹ 黄国兴² 李东³

(北京理工大学计算机科学与技术学院 北京 100081)¹ (华东师范大学软件学院 上海 200062)²
(哈尔滨工业大学计算机科学与技术学院 哈尔滨 150001)³

摘要 目前关于城市交通仿真方面的技术研究较多,但都存在一些问题,如:交通系统大部分在空间尺度上是从微观到宏观的高度综合,在时间尺度上是从秒级到年级高度连续的整合,交通系统的复杂度决定了任何一种单一的尺度都很难对交通现象进行更好的客观仿真。在此基础上,提出了基于多尺度融合的仿真系统,旨在从宏观、中观、微观3个尺度运用相应算法进行融合,并对系统进行设计。最后对基于多尺度融合的城市交通路网优化仿真系统进行实验,通过南京福建路和三牌楼路口信号方案优先的实例对其进行路网仿真实验分析。结果证明,该系统具有实用性和可靠性。

关键词 多尺度,宏观,中观,微观,交通路网优化,仿真

中图分类号 TP31 **文献标识码** A

Simulation System Based on Multi-scale Fusion of City Traffic Network Optimization

LI Xiao-feng¹ HUANG Guo-xing² LI Dong³

(School of Computer Science and Technology, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)¹

(Software Engineering Institute, East China Normal University, Shanghai 200062, China)²

(School of Computer Science and Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)³

Abstract City traffic simulation research is more, but there are some problems that transportation systems in spatial scales are integrated from the micro to the macro highly, and complexity of the traffic system determines any of a single-scale integration is difficult to make better objective simulation to transport phenomena. On this basis, proposed a simulation system based on multi-scale fusion to use the corresponding algorithm do integration from the macro, meso and micro scale and system design. Finally, this paper made experiments the city traffic network optimization simulation system based on multi-scale fusion. The experiment proves the usefulness and reliability of the system.

Keywords Multi-scale, Macro, Outlook, Microscopic, Traffic network optimization, Simulation

1 引言

随着社会经济生活水平的不断提高,人们对交通运输的需求也日益增加,城市的交通问题越来越引起人们的关注。在城市交通问题研究中,最重要的问题是对城市路网的研究。交通路网城市交通状态分析方法是智能交通系统重要的理论问题和实际交通管理中评价交通拥挤状况、解决交通拥挤的基础。目前,国内外研究人员在城市路网交通状态研究方面,主要从检测数据得出相关结论。例如:文献[1]应用模式识别的理论和方法,对城市交通网络中的模式进行了研究,得出交通状态可以化为重复出现、数量有限且不同类型的模式的结果;文献[2]利用模式识别方法,提取出路口交通流运行状况的特征向量,并通过路口数据相似性建立交通状况的评估模型;文献[3]采用全局数据管理方法对时空交通数据进行分析,得出交通状态表示方法。通过对智能交通路网仿真领域的相关文献调查发现,广大学者在基于多智能体的交通微观

仿真技术、中微观一体化车流加载技术、基于平行仿真技术的交通信号控制技术、基于元胞自动机的城市微观仿真技术^[4]、复杂网络分析技术^[5]、行人微观仿真技术^[6]方面研究颇多。

目前这些技术都是当前在城市交通仿真方面比较前沿的技术,但是由于城市交通系统是在空间尺度上从微观到宏观的高度综合,在时间尺度上从秒级到年级高度连续的系统,因此它的复杂度决定了任何一种单一的尺度都很难对交通现象进行更好的客观仿真。这些问题主要具体表现在城市交通系统复杂网络的宏观仿真分析中,网络的流量加载模型使用了一种根据历史 OD(Origin Destination)需求,用统计的方法对路网流量进行产生、吸引、迭代均衡分配加载。

2 基本概念

2.1 仿真技术

仿真技术是以计算机和专用设备为工具,利用系统模型

到稿日期:2012-04-15 返修日期:2012-06-25 本文受国家自然科学基金(60875013)资助。

李晓峰(1978—),男,博士生,副教授,CCF高级会员,主要研究方向为数据挖掘、文本挖掘、智能算法,E-mail: mberse@126.com;黄国兴(1946—),男,教授,博士生导师,主要研究方向为数据挖掘、信息安全;李东(1967—),男,博士,教授,CCF高级会员,主要研究方向为网络信息安全技术、并行计算机。

对实际的或设想的系统进行动态试验的综合性技术,控制论、系统论、相似原理和信息技术是其基础。目前常用的仿真方法有建立仿真模型和进行仿真实验,可分为两大类:连续系统的仿真方法和离散事件系统的仿真方法^[7]。人们有时将建立数学模型的方法也列入仿真方法,这是因为对于连续系统虽已有一套理论建模和实验建模的方法,但在进行系统仿真时,常常先用经过假设获得的近似模型来检验假设是否正确,必要时修改模型,使其更接近于真实系统。

微观交通仿真模型最常见的是跟车模型,即追踪每个车辆的移动过程^[8]。在微观模型中,车辆的移动由驾驶员的特性、车辆性能、车辆周围的环境和道路几何条件来决定。宏观交通仿真通过考察交通流特征,即车队的“平均”行为来描述系统状态。着重从全局角度来研究系统的特性,对交通系统的要素和行为的细节描述处于最低的程度。宏观交通仿真模型中,交通流的运动按照流体机制来处理^[9]。中观交通仿真模型既可以描述宏观交通流模型中采用的时间与空间维状态特性(如密度、流量与速度),又可以保留微观模型中的核心数据,如特性各异的单个车辆的运行结果:实际速度、旅行时间和旅行距离等。这也是本文采用的仿真方法。

2.2 多尺度融合

多尺度融合是指在融合研究过程中从多个角度进行分析。因为在实际路网中,大多数情况网络流量多处在一种非均衡状态,即使有变化,也会有一个过渡过程,这和人的行驶习惯有关。在宏观的网络仿真分析中就无法考虑到这样微小的尺度,并且中观和宏观仿真很难为路口的信号配时提供精细的仿真支持。而在微观仿真系统中,个体的行为往往只根据身边环境的变化而变化,由于尺度过于微小,真实交通系统中各种微小的变化都会对结果产生影响,比如一个行人闯红灯、一辆公交车停靠路边,这些微观因素都会随机地随时出现在真实的环境中,使得微观仿真最后很难做到和真实情况相匹配的仿真效果。本文的多尺度融合主要从宏观、中观、微观3个尺度进行研究。

3 基于多尺度融合的城市交通路网仿真系统设计

3.1 基于多尺度融合的城市交通路网仿真系统模块设计

基于多尺度融合的城市交通路网仿真系统利用多智能体有机地融合不同尺度仿真模型,系统大致可分为5大模块,如图1所示。

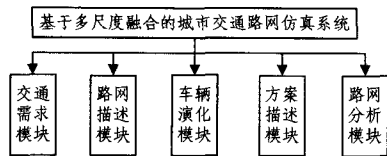


图1 基于多尺度融合的城市交通路网仿真系统模块分析

以下将对每个模块进行描述:

(1)交通需求模块,负责实时采集路网中网络节点数据,融合历史的宏观OD数据,采集分析出来的路段和交叉口的中观统计数据 and 检车器的实时微观车流数据,生成微观车辆智能体。

(2)路网描述模块,建立路网的拓扑和真实的网络结构、路段、路口、车道、停车场、公交站台等地理描述数据,并使用复杂网络技术提供宏观上路网度分布、节点聚类、图路径等经

验统计描述数据。

(3)车辆演化模块,除了车辆智能体对微观尺度的环境,如前后车、车道、路口、信号灯等做出认知和反应外,作为车辆智能体的主体驾驶员还会综合宏观仿真出来的路网拥堵状态和中观仿真分析出来的路段阻抗和流量波动参数,并做出相应的决策,比如修改路径、修改车速等,并把智能体微观仿真的结果嵌套到宏观复杂网络的流量演化中。

(4)方案描述模块,在线实时更新仿真系统中的各个信号控制路口的信号灯或者交通诱导方案的数据,为信号控制系统在线平行迭代运算提供支持。

(5)路网分析模块,利用复杂网络分析技术,结合智能体微观仿真流量加载、路口车检器时域聚类分析,在当前和未来一段时间内找出尺度连续的路网渐变级联的脆弱点、线路阻抗,以及路口拥堵系数,完成各种交通参数的宏观上的时间序列分析、车流和行人的中观统计,并按照顺序更新的模式对路网中的网络、路段、路口、信号灯、车流、车辆、行人等交通要素进行多尺度的在线仿真。

3.2 基于多尺度融合的城市交通路网仿真系统采集算法设计

本文为了能够使得宏观和中观仿真更加具有真实的演化特征,同时解决微观仿真由于过于精细难以完成长时间和大区域下的仿真问题,对多尺度融合系统在数据采集时进行了相应的算法设计。

其算法设计步骤如下:

第1步 检测开始时,控制单元将车流量 N 数值归零,同时查看当前扫描时刻的电平状态,若该电平状态为0,则按(i)计算当前车辆通过时间 Δt ;若该电平状态为1,则按(ii)计算当前车辆通过时间 Δt 。

(i)控制单元顺序查看后续各扫描时刻的电平状态,当电平状态变为1时,记录该电平状态对应的扫描时刻 ta ;然后,控制单元继续顺序查看随后各扫描时刻的电平状态,当电平状态再次为0时,记录该电平状态对应的扫描时刻 tb ;同时,控制单元计算车辆通过时间 $\Delta t = tb - ta$ 。

(ii)控制单元先通过存储装置倒序查看当前扫描时刻之前的各扫描时刻电平状态,当电平状态变为0时,记录该电平状态对应的扫描时刻 ta ;然后,控制单元顺序查看当前扫描时刻之后的各扫描时刻电平状态,当电平状态为0时,记录该电平状态对应的扫描时刻 tb ;同时控制单元计算车辆通过时间 $\Delta t = tb - ta - 0.25$ 。

第2步 控制单元按车道类型和该车道信号灯绿灯已亮时间将车辆通过时间 Δt 换算为车流增量 ΔN 。当车道类型为左转车道时,则按(iii)换算,当车道类型为右转车道时,则按(iv)换算;当车道类型为直行车道时,则按(v)换算。

(iii)当该车道信号灯绿灯亮时, $0.25s \leq \Delta t \leq 3.75s$ 则 $\Delta N = 1$, $4s \leq \Delta t \leq 7.5s$ 则 $\Delta N = 2$, $7.75s \leq \Delta t$ 则 $\Delta N = 3$;当该车道信号灯红灯或黄灯亮时, $\Delta N = 0$ 。

(iv)当该车道信号灯绿灯已亮时间 $\leq 10s$ 时, $0.25s \leq \Delta t \leq 4s$ 则 $\Delta N = 1$, $4.25s \leq \Delta t \leq 10s$ 则 $\Delta N = 2$;当该车道信号灯绿灯已亮时间 $> 10s$ 时, $0.25s \leq \Delta t \leq 3.5s$ 则 $\Delta N = 1$, $3.75s \leq \Delta t \leq 6.25s$ 则 $\Delta N = 2$, $6.5s \leq \Delta t \leq 10s$ 则 $\Delta N = 3$;当该车道信号灯红灯或黄灯亮时, $\Delta N = 0$ 。

(v)当该车道信号灯绿灯已亮时间 $\leq 5s$ 时, $0.25s \leq \Delta t \leq 2.5s$ 则 $\Delta N = 1$, $2.75s \leq \Delta t \leq 5s$ 则 $\Delta N = 2$;当该车道信号灯

绿灯已亮时间 $>5s$ 时, $0.25s \leq \Delta t \leq 2s$ 则 $\Delta N=1$, $2.25s \leq \Delta t \leq 2.5s$ 则 $\Delta N=2$, $2.75s \leq \Delta t \leq 3.75s$ 则 $\Delta N=3$, $4s \leq \Delta t \leq 5s$ 则 $\Delta N=4$, $5.25s \leq \Delta t$ 则 $\Delta N=5$; 当该车道信号灯红灯或黄灯亮时, $\Delta N=0$ 。

第3步 控制单元将车流量 N 当前数值与第2步所得增量 ΔN 相加, 然后将所得结果赋予车流量 N 。

第4步 首先按第1步(i)计算后续车辆通过时间 Δt , 然后按第2步换算得出车流增量 ΔN , 最后重复第3步以更新车流量 N , 不断重复直至检测结束。当检测结束时, 车流量 N 的数值即为检测时间段内的交通路口车流量。

4 基于多尺度融合的城市交通路网仿真系统仿真实验

本文以基于多尺度仿真的南京福建路和三牌楼路口信号方案优先的实例对其进行路网仿真实验分析。

4.1 实验准备

第1步 建立仿真环境, 通过参数输入的方式详细描述路网的关联结构关系、各个路段的形状特征、路口形状特征、渠划类型等地理特征。用复杂网络分析技术分析当前路网的统计经验数据, 如不同 OD 节点对之间的最短路径、次短路径等。系统仿真图如图2所示。

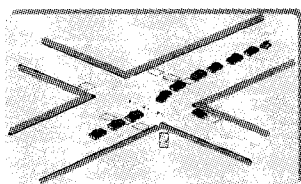


图2 基于多尺度融合的城市交通路网仿真系统实验图

第2步 通过宏观和中观仿真分析南京福建路和三牌楼路口附近路段的当前路段阻抗、到达率及转向率等中观车流数据, 结合实时采集的路段上游路口的车辆汇入数据, 生成车辆智能体。

第3步 车辆智能体通过宏观仿真、中观仿真对当前路网、路段、路口上的交通状况进行认知和反应, 依照一定统计概率修改自己的行驶习惯, 改变预期驶路径和预期行驶速度等, 并在微观仿真环境中进行智能体之间的跟驰、变道、超车、停车等微观演化仿真。以微观仿真作为车辆加载模型, 以车流统计数据或者车辆形式加载到宏观仿真和中观仿真之中。通过车辆智能体把微观仿真、中观仿真、宏观仿真、真实刻度、虚拟刻度等多种尺度融合到一起。

第4步 对历史各个交通参数的时间序列及当前交通参数的真实值进行多尺度融合后, 对未来交通的境况进行微观的精细仿真。通过信号配时接口来实时或者定时修改配时方案, 通过优化算法反复迭代运算在各种信号配时下未来的交通演变情况。

第5步 通过复杂自适应网络多尺度平行仿真运算, 给出当前配时方案的路口延误和停车次数, 以及经过未来模糊控制算法优化后的路口延误和停车次数的对比曲线, 从而为路网的配时方案优选提供在线的多尺度融合仿真支持。

4.2 实验过程

实验过程: 选择晴天、雨后或雾天在预定时间段内分别进行若干次下述验证过程: 一方面采用本实例方法检测路网情

况, 对车辆进行每10s钟统计一次车流量数值; 另一方面, 同时通过道路监控摄像头人工统计每10s内的实际车数量。其检测结果如图3、图4所示。

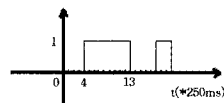


图3 人工统计情况示意图

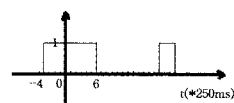


图4 系统统计结果示意图

实验结果表明, 采用本算法测得的车流量准确率至少为95%。

同时, 该算法也在某早高峰时段1500s内实施上述验证过程, 由本算法测得的车流量为141辆, 而由人工统计的车流量为148辆, 准确率为95.27%。图5是仿真结果截图。

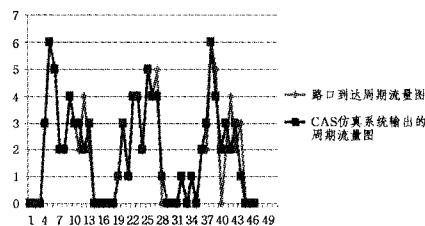


图5 系统输出的路段周期流量图和观测值的对比曲线

从图5可以看出, 通过多尺度融合后微观仿真演化出来的南京福建路的8min下游路口仿真值和车检器真实值之间的对比曲线, 在第三个信号周期由于公交车的停靠造成了仿真数据的波动。然后用中观仿真判断出该波动不足以产生持续的仿真影响, 因此这次波动被车辆智能体记录, 路段中观车辆数得到修正, 但是车辆智能体不改变自身持续的驾驶行为。

通过系统对基于多尺度的城市车辆路网仿真系统在线优选配时方案给出了相应的示意图, 如图6所示。

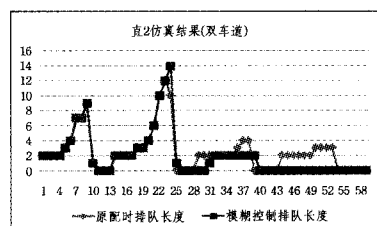


图6 仿真在线优选配时方案

结束语 本论文在对目前城市交通仿真方面的技术研究基础上, 从宏观、中观、微观3个尺度进行研究, 提出了基于多尺度融合的仿真系统, 旨在从宏观、中观、微观3个尺度运用相应算法进行融合, 并对系统进行设计。最后对基于多尺度融合的城市交通路网优化仿真系统进行了实验。本文的创新点在于使用智能体在空间尺度上有机地融合了宏观、中观、微观、现实和虚拟的仿真尺度, 在时间尺度上融合了历史、现实和未来的仿真尺度, 能够用多尺度刻画的方法对城市交通进行连续的综合仿真, 使得仿真结果更加真实、高效, 为城市交通智能控制提供比较可靠的交通仿真系统内核。

参考文献

- [1] Zhang Yong, Yang Xiao-guang. Complex Network Property and Reliability Simulation Analysis of Urban Street Networks[J]. Journal of System Simulation(S1004-731X), 2008, 20(2): 464-467
- [2] Gao Zi-you, Zhao Xiao-mei, Huang Hai-jun, et al. Research on

- [3] 陈阳舟, 田秋芳, 张利国. 基于神经网络的城市快速路交通拥堵判别算法[J]. 计算机测量与控制, 2011, 19(1): 167-169
- [4] 刘建美, 马寿峰, 贺正冰, 等. 控制与诱导的协调中路网拥堵状态识别方法[J]. 管理科学, 2010, 13(11): 35-40
- [5] 林庆, 张永鑫, 吴旻. 智能交通系统综合信息平台的设计[J]. 计算机工程与设计, 2008, 29(13): 43-44
- [6] Gao Zi-you, Zhao Xiao-mei, Huang Hai-jun, et al. Research on

- [7] Jeong H, Tombor B, Albert R, et al. The large-scale organization of metabolic networks [J]. Nature(S0028-0836), 2007, 407(6804): 651-654
- [8] 郎益顺. 转换 OD 的动态交通分配模型研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2009: 25-29
- [9] 熊丽音, 陆锋, 陈传彬. 城市多模式交通网络特征连通关系表达模型[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2008, 33(4): 393-396

(上接第 86 页)

4 测试与分析

为了验证该系统在云计算调度算法衡量中的有效性和可行性, 本文采用最小负载优先调度算法和轮询调度算法来进行测试。将最小负载优先调度算法和轮询调度算法应用到仿真系统中, 对比两种算法在相同的负载压力下对集群负载均衡的影响。具体实验参数设定如表 2 所列。

表 2 仿真实验参数设定

节点数	调度算法	请求数/ T_0	占用率	时间片
100	最小负载优先	200	0~0.1	1~10
100	轮询算法	200	0~0.1	1~10

其中, 占用率与时间片的产生均采用符合均匀分布的负载发生策略。当仿真实验达到稳定状态时, 仿真实验结果如图 4 所示。左侧为采用最小负载优先调度算法的负载情况, 右侧为采用轮询调度算法的结果, 中间分别显示了通过计算获得的在两种调度算法下集群的广义温度和广义熵值。

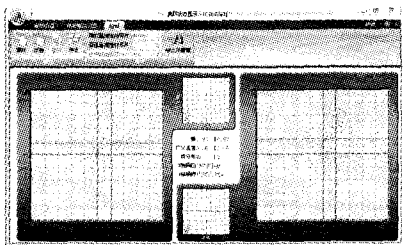


图 4 仿真实验用户界面截图

任务请求数为 $200/T_0$, CPU 和内存占用率均为 $0 \sim 0.1$, 仿真了常规负载常规并发的任务模型。

从图 4 可以看出, 在当前情况下, 最小负载优先调度算法(左侧)下的节点分布更为集中, 在负载均衡性方面更具有优势。此时最小负载优先调度算法的熵值为 0.73, 也较轮询调度算法的 0.78 低, 这从理论上验证了相空间显示的正确性。

动量相空间图反映了在当前调度算法下集群的运行稳定性。由图 4 两幅上下对应的小图可以看出, 最小负载优先算法与轮询算法的广义温度均为 0.08, 表明最小负载优先调度算法和轮询调度算法在动量图上几乎没有差别, 集群的运行均较为稳定。

通过上述实验, 可以看出该仿真系统的特点如下:

1. 利用相空间分析模型给出了衡量调度算法的统一标准, 使其具有很强的分析能力和表现能力。
2. 支持对数据中心及不同类型任务的仿真建模。

3. 对比实验效果显著, 为调度算法的研究提供了很好的仿真平台。

该仿真系统和分析方法, 使系统调度算法的研究人员可以专注于对调度算法的研究, 而不用关心云计算的底层细节。

结束语 本文介绍了一种基于相空间的云计算仿真系统架构模型。实验表明, 该系统为云计算调度算法的研究提供了很好的验证测试平台, 并为调度算法的衡量提供了统一标准。下一步将对仿真系统进行扩展, 将相空间分析模型扩展到多维空间。

参考文献

- [1] Armbrust M, Fox A, Griffith R, et al. Above the Clouds; A Berkeley View of Cloud Computing [R]. Tech Rep; UCB/EECS-2009-28. University of California at Berkeley, 2009
- [2] 周海花, 华薇娜. 国内外云计算研究的现状与发展[J]. 现代情报, 2012, 32(2): 26-35
- [3] 赵春燕. 云环境下作业调度算法研究与实现[D]. 北京: 北京交通大学, 2011
- [4] 李建锋. 云计算环境下基于改进遗传算法的任务调度算法[J]. 计算应用, 2011, 31(1): 184-186
- [5] 陈康, 郑伟民. 云计算: 系统实例与研究现状[J]. Journal of Software, 2009, 20(5): 1337-1348
- [6] 李乔, 郑啸. 云计算研究现状综述[J]. 计算机科学, 2011, 38(4): 32-37
- [7] Calheiros R N, Ranjan R, et al. CloudSim: a toolkit for modeling and simulation of cloud computing environments and evaluation of resource provisioning algorithms[J]. Software—Practice and Experience, 2011, 41(1): 23-50
- [8] Howell F, Mcnab R. SimJava: A discrete event simulation library for java[C]//Proceedings of the First International Conference on Web-based Modeling and Simulation. 1998
- [9] Buyya R, Murshed M. GridSim: A Toolkit for the Modeling and Simulation of Distributed Resource Management and Scheduling for Grid Computing[J]. The Journal of Concurrency and Computation: Practice and Experience (CCPE), 2002, 14: 13-15
- [10] 王鹏. 走近云计算[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2009
- [11] 王竹溪. 热力学(第 2 版)[M]. 北京: 北京大学出版社, 2005
- [12] 王鹏. 云计算相空间广义热力学参数定义及分析[J]. 计算机应用, 2012, 32(8): 2172-2175
- [13] 王克, 范猛. 泛函微分方程的相空间理论与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2009