

The Basic Theory
of Microscopic Traffic Simulation
and its Applications

微观交通仿真 基础理论及应用实例

■ 郭 敏 杜怡曼 吴建平 编著



人民交通出版社
China Communications Press

The Basic Theory of Microscopic Traffic Simulation and its Applications
微观交通仿真基础理论及应用实例

郭 敏 杜怡曼 吴建平 编著

人民交通出版社

内 容 提 要

本书共分三篇,第一篇为交通仿真的基础理论,包括交通仿真概述、微观交通仿真模型、典型交通仿真软件介绍、交通仿真软件的参数校验;第二篇为微观交通仿真工程的标准流程,包括微观交通仿真标准工作流程的意义、微观交通仿真工程设计与实施原则、交通仿真常用专业术语、交通仿真工程实施规范;第三篇为北京应用实例,介绍了北京地区的三个利用微观交通仿真对北京市道路交通进行组织优化与评价的应用实例。

本书可供从事交通工程研究人员、交通管理与控制人员,以及高等院校交通工程专业高年级本科生及研究生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

微观交通仿真基础理论及应用实例/郭敏,杜怡曼,
吴建平编著. —北京:人民交通出版社,2012.7

ISBN 978-7-114-09817-8

I. ①微… II. ①郭…②杜…③吴… III. ①交通系
统一系统仿真—研究 IV. ①U491.2-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 104575 号

书 名: 微观交通仿真基础理论及应用实例

著 者: 郭 敏 杜怡曼 吴建平

责任编辑: 刘永超 张一梅

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)59757969, 59757973

总 经 销: 人民交通出版社发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市密东印刷有限公司

开 本: 720×960 1/16

印 张: 10.5

字 数: 161千

版 次: 2012年7月 第1版

印 次: 2012年7月 第1次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-09817-8

定 价: 30.00元

(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前言 *qianyan*

道路交通是一个复杂的大系统,涉及的内容非常广泛,如交通需求、交通规划、交通管理、交通控制、交通安全、交通环境影响等,并且各部分之间相互联系、相互影响。在我国,机动车、非机动车和行人混行是城市交通的显著特点,各种交通流在通过交叉口时相互干扰、冲突严重,导致通行效率下降,交通事故经常发生。

随着现代科学技术的发展以及土地资源的限制,世界各国已经逐渐从主要依靠扩大路网规模来解决日益增长的交通需求,转移到利用高新技术来改造现有道路交通系统及其管理体系,从而达到大幅度提高交通运输网的通行能力和服务质量的目的。自20世纪90年代提出智能交通系统(简称ITS)的概念以来,ITS以其强有力的技术手段和旺盛的生命力在综合运输体系的各个领域都取得了令人瞩目的成就。交通建模研究及仿真评价系统正是为适应新形势下城市交通控制的要求而提出来的。交通仿真克服了交通系统现场试验代价大、实施困难的缺点,为城市交通建设与研究提供了良好的试验平台,具有广阔的应用前景。交通信息获取、交通状况分析与评价是仿真系统实现交通模拟及方案论证功能所不可缺少的组成部分。

利用微观交通仿真协助交通规划和管理是提出问题、分析问题、解决问题的系统过程,从前期的数据采集到最终的报告成形要经历并完成需求分析、现状调查、优化方案设计、仿真工程建模、方案评价、方案跟踪对比等多项工作,涉及的数据量较大、步骤程序较多、工作任务繁重。如果没有一套与之配套的科学规范的标准化流程,仿真评价结果的真实可靠性将难以保证,因而对其工作流程进行标准化完善具有很大的现实意义。

同时,现有的交通仿真软件较为成熟,并且已具有相当大的商业性和通

用性。但由于交通运行环境不完全相同,所以在使用交通仿真软件时,特别需要关注模型的适用性、模型参数的标定和校验。

本书主要分三篇,共 11 章。第一篇系统地介绍了交通仿真的基础理论,包括交通仿真的概念、意义、功能与分类,国内外的研究现状,微观交通仿真模型的特点,微观交通仿真模型选取的基本原则,微观交通仿真模型校验的原理、方法;第二篇介绍了微观交通仿真工程的标准流程,包括仿真工程的实施原则和实施规范;第三篇介绍了北京地区的三个利用微观交通仿真对北京市道路交通进行组织优化与评价的应用案例。

全书由郭敏、杜怡曼和吴建平编著,宋延、李丹等参加了本书的研究、撰写和整理工作。本书中相关理论的研究,特别是应用案例的研究得到了北京市科学技术委员会、北京市交通管理局、科进英华(北京)智能交通有限公司、清华大学等单位的大力支持,在此表示衷心的感谢。

作 者

2012 年 2 月

目录 *mulu*

第一篇 交通仿真的基础理论

第 1 章 概论	3
1.1 北京城市道路交通现状	3
1.2 交通仿真	4
1.3 交通仿真的意义	5
1.4 交通仿真的功能	6
1.5 交通仿真的分类.....	14
1.6 交通仿真的研究现状.....	16
第 2 章 微观交通仿真模型	21
2.1 微观交通仿真模型的基本构成.....	21
2.2 跟车模型.....	22
2.3 换道模型.....	27
2.4 可接受间隙模型.....	29
2.5 自行车.....	30
2.6 行人.....	33
第 3 章 典型仿真软件的介绍	37
第 4 章 交通仿真软件的参数校验	43
4.1 参数校验的概念.....	43
4.2 交通仿真软件参数校验的必要性.....	43
4.3 参数校验流程.....	44

第二篇 微观交通仿真工程的标准流程

第 5 章	建立微观交通仿真标准工作流程的意义	49
第 6 章	微观交通仿真工程设计与实施原则	50
第 7 章	交通仿真常用专业术语	51
第 8 章	交通仿真工程实施规范	54
8.1	需求分析	55
8.2	现状数据采集与处理阶段	56
8.3	仿真模型标定与校验	60
8.4	现状模拟阶段	61
8.5	优化方案设计	62
8.6	优化方案仿真阶段	63
8.7	交通组织方案优化仿真评价方法建立	64
8.8	方案评价	70
8.9	选取最优方案阶段	70
8.10	仿真结果报告	70
8.11	项目实施和后评价	74

第三篇 北京应用实例

第 9 章	北京市平安大街—东四十条桥交通组织优化方案仿真评估报告 ...	77
9.1	现状描述	77
9.2	交通特性分析	82
9.3	仿真模型校验	90
9.4	现状交通仿真	91
9.5	优化方案设计与仿真	95
9.6	方案效果评估	106
9.7	优化方案选择	110
9.8	方案实施后评估	112
第 10 章	京通快速路公交专用道应用仿真评估报告	119
10.1	京通快速路现状描述	119

10.2	方案说明	122
10.3	流量调查	127
10.4	交通仿真	131
10.5	方案实施评估	134
10.6	方案实施后评估	138
第 11 章	万柳桥导改方案仿真评估报告	144
11.1	万柳桥路段现状介绍	144
11.2	万柳桥导改方案描述	144
11.3	万柳桥导改仿真分析	145
11.4	结论与建议	153
	参考文献	155

第一篇 交通仿真的基础理论

第1章 概 论

1.1 北京城市道路交通现状

随着机动车保有量的突飞猛进,我国许多城市已进入快速机动化的“汽车时代”。以北京为例,截至2010年10月底,北京市常住人口已达1 961.2万人,外省市来京人员704.5万人。截至2012年2月15日,北京市机动车保有量突破500万辆,平均每户拥有0.75辆机动车。

机动车保有量的突飞猛进,既给城市经济的繁荣引入了新的机遇,也给城市带来了交通拥堵、环境污染等一系列现实难题。机动车快速道路拥堵日益严重,已成为社会关注的焦点和热点。

交通拥堵的代价是巨大的。我国研究新型城市化战略的年度报告《2010中国新型城市化报告》称,中国上班族每天上班从家到单位单程花费的时间居世界首位。该份报告由中科院可持续发展战略研究组历时一年完成。报告显示,在列出的50个主要城市中,有17个城市上班的花费平均时间大于30min。其中,北京市上班平均花费的时间最长,平均要花上52min。北京市在早晚流量高峰期间,整个城区的道路基本处于拥堵状态。在一些路段,车辆的通行时速已降到10km/h以下,个别路段甚至降到5km/h以下,比步行速度还慢。据中国社会科学院数量经济与技术经济研究所2004年的测算,北京市因为交通拥堵造成的社会成本一天是4 000万元,相当于每年146亿元,全国一年因交通拥堵造成的损失为1 700亿元。同时,拥堵使车辆运行速度下降,造成运输资源浪费和运输效率降低,并给城市经济和社会发展带来巨大的损失。

机动车污染已经上升为我国城市大气和噪声的主要污染源,交通拥堵大大加剧了环境污染的程度。交通拥堵区域的汽车排放有害物质的浓度比在正常行驶区域高出5~6倍,汽车排放的一氧化碳、碳氢化合物、氮氧化物已占北京城市

大气污染总量的 40%~70%。因此,治理交通拥堵,也成为解决城市污染问题的主要环节。

当路网密度和城市用地发展到较为饱和的阶段时,科学的交通组织管理就成为治理交通拥堵、改善环境、解决城市交通问题最关键的手段之一。利用交通仿真等科技手段可以全面地掌握现有道路交通状态,利用数据为交通管理决策提供科学的支持,将经验式管理逐步转化为科学化管理。

1.2 交通仿真

随着现代科学技术的发展以及受土地资源的限制,世界各国已经逐渐从主要依靠扩大路网规模来解决日益增长的交通需求转移到利用高新技术来改造现有道路交通系统及其管理体系,从而达到大幅度提高交通运输网的通行能力和服务质量的目。自 20 世纪 90 年代提出智能交通系统(简称 ITS)概念以来,ITS 以其强有力的技术手段和旺盛的生命力在综合运输体系的各个领域都取得了令人瞩目的成就。交通建模研究及仿真评价系统正是为了适应新形势下城市交通控制的要求而提出来的。

交通仿真是智能交通运输系统的一个重要组成部分,也是计算机技术在交通工程领域的一个重要应用,它可以动态、逼真地仿真交通流和交通事故等各种交通现象,复现交通流的时空变化,深入地分析车辆、驾驶员和行人、道路以及交通的特征,有效地进行交通规划、交通组织与管理、交通能源节约与物资运输流量合理化等方面的研究。同时,交通仿真系统通过虚拟现实技术手段,能够非常直观地表现出路网上车辆的运行情况,对某个位置交通是否拥堵、道路是否畅通、有无出现交通事故以及出现上述情况时采用什么样的解决方案来疏导交通等在计算机上经济有效且没有风险地仿真出来。交通仿真作为仿真科学在交通领域的应用分支,是随着系统仿真的发展而发展起来的。它是以相似原理、信息技术、系统工程和交通工程领域的基本理论和专业技术为基础,以计算机为主要工具,利用系统仿真模型模拟道路交通系统的运行状态,采用数字方式或图形方式来描述动态交通系统,以便更好地把握和控制该系统的一门实用技术。

1.3 交通仿真的意义

随着社会的发展,影响交通系统的相关因素越来越多,而我们又总是力求寻找最优解决方案,以期解决各种交通问题。然而,在现实交通环境中,某些领域需要大量的资金投入,某些领域还隐含着很多不安全因素,这就使得寻求最优方案的期望变得很渺茫,甚至是不可能现实的。此时,应用计算机技术进行交通仿真就成为了一种很有效的技术手段。交通仿真是计算机技术在交通工程领域的一个重要应用。它不仅可以复现交通流的时空变化,为交通道路设计规划提供技术依据,而且还可以对各种参数进行比较和评价,以及进行环境影响评价等。同时,交通仿真系统通过计算机动画手段能够非常直观地表现出路网上车辆的运行情况,动画过程中哪个局部位置的交通拥挤比较突出,哪个地方比较畅通,均可以一目了然。因此,交通仿真就成了交通工程研究人员测试和优化各种道路交通规划、设计方案、描述复杂道路交通现象的一种直观、方便、灵活、有效的交通分析工具。交通仿真技术作为 ITS 的一项重要内容,伴随着 ITS 的蓬勃发展,目前已成为国内外交通工程界研究的热点领域之一。

交通仿真克服了交通系统现场试验代价大、实施困难的缺点,为城市交通建设与研究提供了良好的试验平台,具有广阔的应用前景。交通信息获取、交通状况分析与评价是仿真系统实现交通模拟及方案论证功能所不可缺少的组成部分。相对于实际交通,交通仿真存在以下优势:

①安全性。利用交通仿真对有危险性、可能带来灾难性后果的交通事件进行仿真,获得预测结果,不会对现有交通系统产生任何干扰,避免实地试验可能造成的伤害,如高速公路自动跟驰系统。

②科学性。根据个人经验对复杂交通系统进行交通组织优化具有区域局限性,且方案选择缺乏科学依据,利用交通模拟的输出数据进行科学定量的比较分析和评价,可以保证方案的科学性。

③可重复性。一旦建立了一个仿真模型,可以任意重复仿真过程,可以在相同条件下多次仿真,对不同的交通组织方案设计公正比选。

④经济性。通过现场试验检验和评估道路交通组织方案,不仅需要投入大量的人力和物力组织实施,还可能承担由此造成的意想不到的交通损失。利用

交通仿真技术进行方案评估,可以通过相同条件下的多次仿真,对不同的方案设计进行公正比选,从而克服交通系统现场试验代价大、实施困难的缺点,为制订道路交通组织方案提供良好的试验平台。

⑤易用性。仿真方法比以往的方法更容易应用,不需要太多的数学知识去建立一些解析模型。

⑥可控制性。不需要构建真实交通,可以模拟尚不存在的、规划中的交通现象。例如,对规划中的道路或者桥梁,可以通过仿真的手段模拟未来在这些交通设施上的交通流运行状况,对规划中的交通供给设施能否满足未来交通增长的需求进行科学的评估。

⑦交通分析的开放性。借助计算机技术,通过良好的用户输入输出界面,模型的运算结果可方便地与用户交互,增强模型应用的实用性和方便性。时间扫描技术的应用可以使道路交通仿真系统输出交通系统运行状态全过程的描述,不但可以输出各种用于评价的交通流运行状态指标,而且可以输出动态、直观的图片或影像,为决策者提供全方位的参考。

1.4 交通仿真的功能

交通仿真技术的优势,使其能更好地满足以下交通工程应用领域的交通分析需求。

①事前评估。对道路交通组织系统设计方案的评价分析,实现了对区域交通组织优化方案和管理控制措施的反复论证,验证了其科学有效性和可实施操作性,克服了交通系统现场试验代价大、实施困难的缺点,降低了由于交通组织方案缺乏论证、盲目上马造成的意想不到的事故和损失。

②现状评价。可以对道路几何设计方案的评价分析,评估现有交通基础设施的合理性和科学性,对于交通拥堵点、交通事故黑点进行分析,查找症结,针对问题提出优化方案,并对优化方案进行定量的效果评估。

③交通流预测。可以用于道路交通流预测预报,为出行者提供准确、及时的预测交通信息,为科学交通组织提供技术保证。

④交通事件预警。通过预警功能,为道路交通管理者实时、动态、科学地进行路网的调流、交通组织和诱导提供了可能。

⑤道路交通安全分析。

⑥交通工程理论研究。新交通技术和新设想的测试,如车流波的预防和控制研究。

1.4.1 道路交通组织仿真评价

由于城市空间有限,道路设施不可能无限制地增长。因此,采用现代化的管理方法和手段,科学地组织交通,调节疏导交通流量,充分发挥路网的效能,是缓解交通供给与需求矛盾的重要措施。在既有的城市路网交通基础设施中,不同的车流构成会产生不同的交通流运行状况。因此,不同的道路交通组织方式和管理水平会使路网产生不同的服务效果。为了最大限度地发挥路网的通行能力,交通管理部门有必要研究和评估各种交通量分布模式的运营效果,从中选取最佳的交通组织方式,并予以实施。道路交通组织仿真应用于城市交通规划与管理,可以有效地预测规划设施的未來交通状况,充分挖掘现有交通设施的潜力,提高交管部门的科学管理水平。道路交通组织仿真评估不仅可以应用于对交通规划布局 and 交通设施配置方案的效果评价,还可以应用于评估预期的交通需求增长给路网带来的交通压力、对公交优先政策和措施的事前评估和事后评价、轨道交通建设效果的模拟和评估以及各种道路交通组织方案的分析和比选。

对政府的交通管理部门来说,道路交通组织仿真评估经常应用于以下方面。

(1) 路网交通组织优化

城市交通主管部门为了最大限度地发挥现有道路系统的性能,必须通过多种管理措施和手段,规定各类道路的使用方式,对各种车辆的运行进行优化组织。

进行道路交通组织优化有着很强的现实需求,不仅在日常工作中需要对路网上的交通管理措施不断进行规划调整,而且需要经常进行奥运会等大型活动的交通组织工作。因此,如何充分发挥现有路网的潜力,指挥重大集会期间交通流的集结、停放与疏散,维护行车秩序,保证行车安全,是关乎广大交通参与者切身利益的重要议题。

制订城市道路交通组织管理方案,第一,要通过系统调查,对城市交通路网系统的现状进行分析,全面评价现有道路网的交通负荷、运行效率、安全状况等,分析其存在的主要问题。第二,要拟定交通组织方案需达到的各种定性、定量指

标,为交通参与者提供一个良好的交通环境和较高的服务水平。第三,要划分各类道路的使用功能,以充分发挥各类道路在路网中的作用。第四,规划和调整路网上的交通管理措施,包括宏观和微观交通管理措施,并对调整后的道路服务水平进行评估。第五,拟定详细的路网交通管理设施设置计划。道路交通组织仿真技术几乎可以应用于制订道路交通组织管理方案的全部过程中。

交通仿真技术应用于路网交通组织优化,具有十分突出的优点。它不仅是道路网交通运行现状评估的有力工具,而且可以对应用各种规划和调整方案后的路网服务水平进行评估,从而为交通组织优化方案的比选提供科学的判定依据。因此,交通仿真技术在道路交通组织优化领域有着广阔的应用前景。

(2)信号交叉口交通组织仿真

信号交叉口是城市路网中通行能力的限制节点,做好路口的交通组织对提高路网的通行能力具有十分重要的意义。依靠通常手段建立的交通管理措施或改善方案往往没有强有力的数据支持,缺乏对实施后效果的预测。运用交通仿真技术对设计方案进行模拟,并对仿真结果进行评价,将为方案比选提供科学的决策依据。

信号交叉口的交通组织可以采取的措施,包括微观交通管理措施的拟定、渠化交通组织方案的设计、交通信号配时方案的设计等。管理者不仅可以通过设置各种交通管理标志、标线来规定某些路段或路口,在某些时段、某个方向允许或禁止某类车辆的通行,而且可以采用绿化带、交通岛或者在道路上画线等方式来分隔车道,使各种不同行驶方向和不同速度的车辆顺着规定的方向互不干扰地行驶。同时,为了提高通行能力,保障交通安全,整治交通秩序,交通管理部门还需拟订合适的交通信号配时方案,使现有交通设施对人和物的运输能力得到最高效率的发挥。应用道路交通组织仿真技术可以逼真地模拟各种实际采用的交通组织措施,并对其实施效果进行评估。

在实际工作中,以上这些措施的应用往往是独立进行的,甚至分别由不同的政府主管部门组织实施。事实上,各种交通组织措施是相互作用、相互影响的,因此,不但需要关注单独采取某种措施的成效,而且对这些措施形成的各种组合方案的实施效果也有必要进行评估。应用道路交通组织仿真技术可以更加全面地考察各种影响因素,从而充分地挖掘现有交通设施的潜力。

影响信号交叉口效能发挥的因素是众多而复杂的,利用解析手段建立的交

叉口评估模型通常只能进行粗略的估算,一般可作为交叉口规划和设计的参考。而对于由各种交通组织方案所引起的微观交通行为的变更,往往难以通过建立数学模型来求解。交通仿真技术从微观层面上对构成交通系统的基本单元进行模拟,利用现代计算机的强大处理能力,在短时间内对未来的交通状态进行预测,可以为决策者提供进行宏观评估决策所需要的各种指标和参考。

(3)无信号交叉口运行状况仿真

在无信号控制的交叉口上,主要道路的车辆优先通行,沿次要道路行驶的车辆,让主要道路上的车辆先行,寻找机会穿越主要道路上车流的间隙,通过路口。

交通管理部门一般在交通量发展到接近停车或让路标志交叉口所能处理的能力时,才在这种交叉口上加设交通信号控制。交通信号灯设置得合理正确,可以降低车辆的停车延误,提高路段、交叉口的通行能力。

采用交通仿真的手段,可以从微观层面上模拟车辆对各种道路条件和交通条件的反应。通过试验的方法,考察主要道路的双向交通量取用不同的数值时次要道路最大可以通过的车辆数,从而为无信号交叉口的通行能力确定提供科学的参考。同时,应用交通仿真技术模拟无信号交叉口的运行状态,可以直观地评估特定交叉口的运行效果,为交叉口是否设置信号控制装置提供决策依据。

(4)交通信号协调控制仿真

交通信号协调控制包括干道交通信号协调控制和区域交通信号控制,也称线控制和现代面控制(简称面控)。线控制是面控制系统的一种简化形式,把一条干道上相邻的交通信号联结起来,通过调整各信号机的绿信比和相互间的相位差,使被控制的干道上形成“绿波带”,车辆在行驶中减少遇到红灯的次数,从而提高干道的通行能力。

现代的面控制技术是对城市路网某区域内全部交叉口的信号周期、绿信比、相位差和设在道路上的各种可变标志进行集中统一控制。面控制通过设在道路上的车辆检测器连续采集流量、行驶速度和车道占有率等交通信息。中心处理计算机根据交通信息的变化,进行信号动态控制与诱导,一方面,控制有关的终端信号机和可变标志以诱导车辆,另一方面,通过通信系统,发布交通阻塞情报,诱导车辆避开阻塞地点。因此,面控制系统对疏导交通、提高道路通行能力、减少交通事故和环境污染有明显的效果。

通常,人们采用数学运算的方法计算线控制或面控制系统所需采用的控制