

交通系统仿真及应用

吴娇蓉 编著

同济大学出版社

内 容 提 要

本书全面阐述了交通系统仿真技术及其在交通工程学科中的应用。全书共分七章,分别为绪论、交通仿真基础、微观交通仿真中常用模型、微观交通仿真软件 VISSIM 使用介绍、交通规划仿真中常用模型、交通规划仿真软件 VISUM 使用介绍和交通仿真应用实例等。

本书可作为高等院校交通工程专业的本科生和研究生教材,亦可供有关科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

交通系统仿真及应用/吴娇蓉编著. —上海:同济大学出版社,2004.8

ISBN 7-5608-2841-8

I. 交… II. 吴… III. 交通运输—系统工程—计算机仿真—高等学校—教材 IV. U491.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 068597 号

交通系统仿真及应用

吴娇蓉 编著

责任编辑 杨宁霞 陈全明 责任校对 郁 峰 封面设计 李志云

出 版 行 同济大学出版社
(上海四平路 1239 号 邮编 200092 电话 021-65985622)

经 销 全国各地新华书店

印 刷 常熟华顺印刷有限公司印刷

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 10.5

字 数 269 000

印 数 1—2100

版 次 2004 年 8 月第 1 版 2004 年 8 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 7-5608-2841-8/U·46

定 价 18.00 元

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换

前 言

随着信息技术的高速发展,交通工程专业在世界范围内已从传统的“软科学”迅速地发展为“实验交通工程学”。实验交通工程学是由日本京都大学等首先提出的交通工程学新的发展方向与趋势。“交通系统仿真及应用”这门课程是实验交通工程学的重要组成部分,是一门收集了大量交通信息后,在计算机上进行灵活交通实验的课程。交通现象十分复杂,而且随机性很强,因此,以计算机为辅助工具,利用交通仿真技术的可重复性和可延续性特点,模拟分析单个车辆(或交通流)、交通规划数据集合体与各种交通环境的相互关系,可以综合得出交通运行状况对公路、城市道路基础设施的交通适应性,实现对未来交通系统行为的再现和预先把握,帮助交通工程专业人员设计出多种交通改善方案和规划方案,以解决目前及将来产生的交通问题。

交通仿真技术在国外发展已趋于成熟,而在我国只是近十多年才被普遍认识和接受的。为了促进这一技术的发展,在国内建立起实验交通工程学,我们将历年来交通仿真研究成果、教学工作和实际工程课题中的一些体会与经验,以及所了解的国内外发展情况进行汇总,编撰成这部教材。本教材也可以作为高等院校交通工程专业的本科生、研究生和有关科技人员的参考书。

本教材的部分内容曾在同济大学向本科生讲授过。本教材的编写主要受益于2000年在德国 DR. BRENNER+MUENNICH Ingenieurgesellschaft mbH(布莱纳博士+慕尼黑工程事务有限公司)和 PTV(Planungsbuero Transport und Verkehr, Karlsruhe)公司的进修学习和2004年在美国加州大学埃文分校(University of California, Irvine)的进修学习以及大量工程实践经验的积累。本书2001年开始酝酿,于2002年动笔。

本教材共分七章,第一、第五、第七章由吴娇蓉编写,第二、第三章参考了刘运通等编著的《交通系统仿真技术》,第四章、第六章由叶彭姚、陈锦秀、吴娇蓉共同编写。全书由吴娇蓉主编。

在本教材的编写过程中,李林珠参与了文稿的录入工作,在此表示谢意。

本书参阅了国内外大量的文献资料,涉及内容较为广泛、复杂,限于作者水平,可能有引用与理解不当之处,错误在所难免,恳请读者提出宝贵的意见。

编 者

2004年4月于上海

目 录

前言

第一章 绪论	(1)
第一节 仿真技术的特点	(1)
第二节 交通系统仿真简介	(2)
第三节 国内外交通系统仿真技术的发展	(4)
第四节 交通系统仿真技术展望	(8)
第二章 交通仿真基础	(10)
第一节 交通仿真对象、模型和实验	(10)
第二节 实用交通仿真软件简介	(12)
第三节 交通系统仿真的步骤	(29)
第三章 微观交通仿真中常用模型	(34)
第一节 微观仿真模型基本要素	(34)
第二节 道路设施模型	(35)
第三节 交通生成模型	(37)
第四节 车辆跟驶模型	(40)
第五节 换车道模型	(58)
第六节 事件反应模型	(66)
第四章 微观交通仿真软件 VISSIM 使用介绍	(74)
第一节 VISSIM 微观仿真软件介绍	(74)
第二节 建立仿真路网	(76)
第三节 交通流特性及行驶规则的设置	(85)
第四节 评价参数检测器设置	(94)
第五节 仿真路网的测试与标定	(96)
第六节 公共交通仿真	(99)
第七节 动态交通分配	(102)
第五章 交通规划仿真中常用模型	(104)
第一节 交通生成预测模型	(105)
第二节 交通分布预测模型	(106)

第三节	交通方式划分预测模型	(109)
第四节	交通分配预测模型	(111)
第六章	交通规划仿真软件 VISUM 使用介绍	(115)
第一节	VISUM 软件介绍	(115)
第二节	建立交通网络	(118)
第三节	交通量分配	(129)
第七章	交通仿真应用实例	(138)
示例一	上海中山路(光新路—安顺路)非改机交通改善研究	(138)
示例二	天津开发区路网规划	(146)
示例三	杭州市民中心广场交通组织规划	(152)
参考文献	(160)

第一章 绪 论

随着信息技术的高速发展,交通工程专业在世界范围内已从传统的“软科学”迅速地发展为“实验交通工程学”。实验交通工程学是近年来对应于交通信息化与智能化的发展,由日本京都大学等首先提出的交通工程学新的发展方向与趋势。基本的出发点是基于大量的客观交通现象的数据,解析交通现象、构筑交通模型和交通理论,特别侧重于借助交通系统仿真技术进行动态、随机的交通现象及交通行为的研究,其成果将更切合实际,更科学,且具有实用性。

交通系统仿真及应用这门课程是实验交通工程学中的一部分,重点讨论交通系统仿真技术,以及交通仿真在交通工程学科中的应用。

第一节 仿真技术的特点

仿真(simulation),也被称作模拟,它是指为了解决问题而人为地模仿真实系统的部分或者整个运行过程。如果所研究的问题足够简单,那么可以用通常的微积分、概率论、代数方程等解析方法求解。但真实系统往往非常复杂,很难或者无法用理论方法求解,这时就不得不借助于仿真模型,利用仿真算法求解。不管是手工仿真还是计算机仿真,都不是利用数学解析方法或者物理实验方法,而是利用仿真模型产生一个人为的系统的经历,在仿真过程中获得数据,以便描绘或推断出与实际系统有关的运行特征或行为结果。经过近 30 年的发展,仿真已成为运筹学和系统分析中应用最广泛和最可接受的工具之一。之所以如此,是因为它有非常明显的优点,具体如下:

(1) 有些数据通过普通意义上的实验方法获得难度较大,或者是实验过程代价非常昂贵,这种情况下,仿真是惟一的求解算法。

(2) 具有可重复性。一旦建立了一个仿真模型,可以任意重复仿真过程,这是普通的实验方法所无法比拟的。

(3) 借助于仿真模型,可以对所仿真的物理过程有更深入的了解。换句话说,仿真模型追求的是过程,而解析模型讲究的是结果。

(4) 仿真模型对原始数据的依赖性不强,即使输入的数据有些粗糙,仿真方法也可用于帮助分析一个所建议的系统,而且用户可以通过不断地修正输入,逐步获得合理的结果。

(5) 解析模型通常需要许多简化假设,以便在数学上容易处理,而仿真模型则没有这么多限制。对于解析模型,分析者只能计算有限的系统性能指标(measures of performance),而对于仿真模型,产生的数据可用于估计任意可想到的性能指标。

系统仿真是近半个世纪以来发展起来的一门新兴技术学科,它与各门技术学科、管理学科、经济学科以及社会学科都有着紧密的联系,这正是系统仿真得到日益广泛应用的原因。它在航天、航空、军事、科研、工业生产、环境保护、医学、交通工程、经济规划、商业经营、金融流通等各个领域都获得了成功的应用,取得了显著的经济效益。我国自 20 世纪 80 年代初以来,也在管理领域中开始推广系统仿真技术,在高技术项目的论证、大型工程项目的研制

进度和预算、造船计划安排、机械制造企业计划和排序、城市交通管理、医院管理、商业服务、技术政策制定等方面都曾利用仿真技术进行预报预测、政策分析、计划安排、经济分析和调度配置等。

计算机仿真技术在交通工程中同样有着广泛的应用。从 20 世纪 60 年代起,国外就开始利用计算机对各种交通现象和交通特征进行仿真,到目前为止,已经开发出一些相当优秀的且实用性很强的软件。利用交通仿真模型,人们可以动态地逼真地仿真交通流和交通事故等各种交通现象,深入地分析车辆、驾驶员、行人、道路,以及交通流的交通特征,有效地进行交通规划、交通组织与管理、交通能源节约以及物资运输流量合理化等方面的研究。此外,通过计算机仿真,可以避免进行一些费用昂贵而且周期长的交通调查和现场实验,以很小的代价获得难以调查的数据,并再现多种交通现象,即可以从一个崭新的视角展开对问题的研究。

第二节 交通系统仿真简介

交通系统仿真是指用系统仿真技术来研究交通行为,它是一门对交通运动随时间和空间的变化进行跟踪描述的技术。从交通系统仿真所采用的技术手段以及所具有的本质特征来看,交通系统仿真是一门在数字计算机上进行交通实验的技术,它含有随机特性,可以是微观的,也可以是宏观的,并且涉及到描述交通运输系统在一定期间实时运动的数学模型。通过对交通系统的仿真研究,可以得到交通流状态变量随时间与空间的变化、分布规律及其与交通控制变量间的关系。

在交通仿真技术出现之前,交通工程师多采用经验方法和数学分析方法来分析交通现象。然而交通系统是一个典型的复杂系统,系统内要素的状态及其相互作用规律受多维随机因素的影响,往往难以用经验模型或数学分析模型来准确地描述。传统交通分析方法的局限性在 20 世纪 60 年代计算机的交通信号控制系统出现以后显得尤为突出,当时的交通工程师们希望找到一种更有效的交通分析方法优化交通控制的信号参数设计,从而开始了交通仿真的研究。相对于传统的数学解析分析方法,交通系统仿真技术具有如下优点:

(1) 不需要真实系统的参与,因此具有经济方便的优点,特别适用于对尚不存在的、规划中的交通系统行为的研究。

(2) 通过系统仿真,能清楚地了解交通流中哪些变量是重要的,以及它们是如何相互作用的。

(3) 系统动态模型的时间标尺可以与实际系统的时间标尺不同,因此,既可以进行实时仿真,也可以进行非实时仿真。

(4) 对于交通系统中的某些危险情况或灾难性后果,系统仿真是很有效的研究手段,可以开展道路交通事故的仿真研究等。

(5) 能重复提供同样的道路交通条件,从而可以对不同的规划设计方案进行公正的比选。

(6) 能不断改变系统运行条件,从而可以预测道路交通系统在各种情况下的行为。

(7) 能够随时间和空间改变交通需求,从而对道路交通拥堵作出预报。

(8) 能够处理相互影响、相互作用的复杂的排队过程。

尽管交通系统仿真技术具有很多优点,但也存在许多缺陷并有一定的局限性,如:

(1) 仿真模型需要大量的输入数据,对于某些实际问题,这些数据很难或根本无法获得;

(2) 仿真模型需要验证、标定和进行有效性检验,如果忽视这一点,仿真结果将会失实;

(3) 建立仿真模型不仅需要大量的知识,如交通流理论、计算机程序设计、概率论、决策论、统计分析等,而且需要对研究的道路交通系统有充分的了解,具备丰富的交通工程实践与应用经验;

(4) 如果只是简单套用交通仿真模型,而对于模型的限制条件和基本假设并不清楚,或将其视为“黑箱”,对其中含义不了解,都极可能导致错误的结论;

(5) 交通系统仿真技术对于系统模型有着极强的依赖性,而要建立系统模型,就必然要对真实系统进行简化和抽象,这必然要引起某种程度的“失真”。对于道路交通这样一个随机的、动态的、复杂的大系统,这一问题显得尤为突出。

交通仿真模型与其他交通分析技术,如通行能力分析、交通流模型、排队理论和需求分析等结合在一起,可以用来对多种因素相互作用的交通设施或交通系统进行分析和评估。这些交通设施或交通系统可以是单个的信号灯控制或无信号控制的交叉口,也可以是居民区或城市中心区的密集道路网,线控或面控的交通信号系统,高速公路、立交和多车道公路系统等。交通系统仿真还可以用来分析和评价交通集散地,如停车场、港区和机场等的规划设计与运行状况。现场数据采集、传输与仿真分析关系示意图如图 1-1。

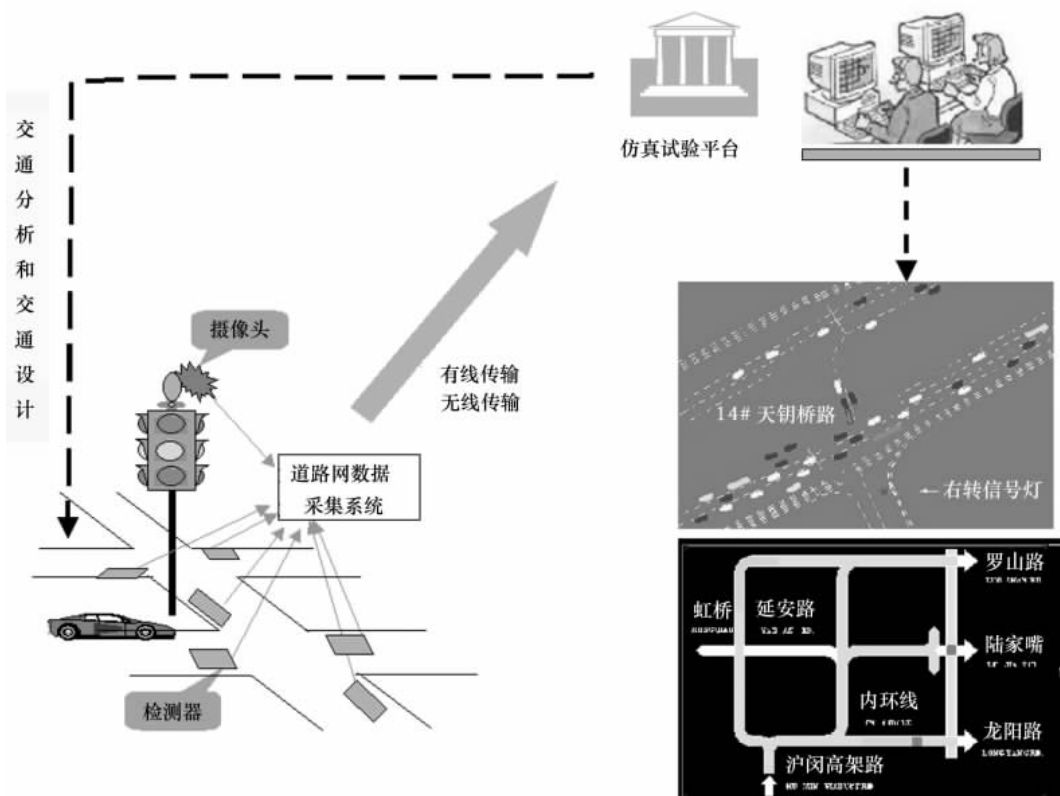


图 1-1 现场数据采集、传输与仿真分析示意图

应当指出,交通系统仿真只是为数众多的交通分析技术中的一个手段,既不是惟一的也不是最好的,因此,具体的交通工程问题,应采取切实有效的交通分析技术,可以是多种分析技术的综合。正如美国系统科学家 Zadeh 在其著名的“不相容定理”中所指出的,复杂性和精确性是互相矛盾的,随着系统复杂性的增加,人们对其进行精确描述的能力就要下降,直至达到这样一个阀限,即精确的描述失去了意义。在这种情况下,人们只能寻求某种“折衷”的办法,在精确性和有效性之间达成某种“妥协”。

第三节 国内外交通系统仿真技术的发展

一、国外的发展情况

交通系统仿真技术是随着电子计算机和系统仿真技术的发展而发展起来的。在国外大体上经历了以下三个阶段。

(一) 第一阶段为诞生期,指 20 世纪 50 年代至 60 年代初

1951 年,英国道路研究实验室(Road Research Laboratory)完成了交叉口的交通仿真。

1953 年,美国发表了第一份关于交通仿真的研究报告,介绍了加利福尼亚大学洛杉矶分校(University of California at Los Angeles)关于交叉口和高速公路的交通仿真模型。紧随其后,密歇根大学(University of Michigan)进行了交叉口交通仿真;在菲尔科(Philco)进行了主干道交通仿真;纽约港务局(Port of New York Authority)进行了公交终端站车辆跟车模型的仿真研究;中西部研究所(Midwest Research Institute)应用仿真技术开展了有关高速公路立交桥和匝道汇流交通的研究。

但是,上述工作大多讨论的是如何进行交通流仿真,直到大约 1960 年,用仿真技术研究交通流状态的可能性和可行性才得到普遍承认,并且开始开发一些交通系统仿真软件。

(二) 第二阶段为发展期,指 20 世纪 60 年代初至 80 年代初

交通仿真技术在 20 世纪六七十年代得到了迅速的发展,这期间,发表了大量的论文和专著。

在美国,Gerlough 和 Capelle 于 1964 年出版了名为《交通流理论导论》的专题论著,其中一章专门论述了交通仿真,该书于 1975 年修订,其中的交通流仿真一章增加了不少新的内容。1967 年 Fox 和 Lehman 在《交通季刊》上发表了一篇科学技术发展动态的文章,介绍了交通系统仿真的发展情况。1975 年加利福尼亚伯克利分校(University of California at Berkeley)出版了关于运输系统计算机仿真应用的文献汇编,并于 1977 年进行了增补和修订。

在欧洲,这期间有三本重要的专题论著发表,一本是 Wigan 编著的文献汇编,于 1969 年由英国道路研究实验室出版;第二本文献汇编于 1972 年由经济合作与发展组织(OECD—Organization for Economic Cooperation and Development)出版;第三本是德国卡尔斯鲁厄大学(University Karlsruhe)交通研究所(Institute fuer Verkehrswesen)的 Wiedemann 于 1974 年所著的《道路交通流的计算机仿真》一书,该书系统地介绍了交通流仿真方法及其模型建立。

与此同时,大量的交通系统仿真应用软件被开发出来,这些软件可以分为两种类型,一类以宏观交通仿真模型为基础,另一类则以微观交通仿真模型为基础。

20 世纪 60 年代初期起,宏观交通仿真模型首先被用于交通系统仿真。1963 年,美国 Gerlough 提出随机问题可以用扫描时间可变的时间扫描法解决,并由此出发推出了 TRANS 程序,用以评价道路网的信号配置。美国联邦公路局(Federal Highway Administration)在 1965~1966 年间研制的 SIGOP 系统采用了宏观的确定性优化模型,用以研究定时信号参数的最优化问题。其他比较重要的宏观交通仿真软件还有用于信号交叉口的 CAPCAL;用于城市干道网的 SPAN, MAXBANSSTOP, DASSER, TRANSYT;以及用于高速公路的 FREQ 和 FRECON 等。

20 世纪 60 年代末以来,基于微观仿真模型的交通系统仿真开始迅速发展起来。1971 年,Lieberman 提出了以随机时间扫描的方法描述单个车辆的运动,并从此出发,推出了 UTCS-1,用以评价路网的信号配置。1977 年,他又在 UTCS-1 的基础上开发了 NETSIM 系统,并且得到了广泛的应用。同期出现的其他比较著名的微观交通仿真软件还有由美国研制的用于信号交叉口的 TEXAS 和 SIGSIM,用于城市干道网的 NETSIM,用于高速公路的 INTRAS,以及用于乡村道路的由瑞典研制的 VTI 和由澳大利亚研制的 TRARR 等。

这一时期,德国人在微观交通仿真软件的开发研制方面也做了大量的工作。早在 1968 年,Wiedemann 就推出了 SIM-2,用以进行定时信号控制的城市双车道道路的仿真实验;1969~1970 年间,Ziegler 对其进行了改进,推出了 SIM-2/S。1974 年 Wiedemann 提出了车辆运动相互作用的微观模型即 INTAC,并开发了单车道仿真程序 INTAC-1;1975~1978 年间,Willemann 将其扩展到双车道情况,推出了 INTAC-2;1977 年,Hubschneider 对 INTAC-2 进行了重新标定,强化了其功能,开发出 MISSIS,用来对德国高速公路推荐车速 130km/h 的情况进行了仿真实验;同年,Brilon 开发出 SIMLA/1,用以研究乡村道路平直路段的交通状况;1981~1983 年间,Brannolte 将其推广到有曲线和纵坡的情况,推出了 SIMLA/2。在此期间的 1980 年,他还提出了丘陵地区高速公路的微观仿真模型 STEIGSIM;1975~1980 年间,Wettering 开发了 SIM-2 和 SIM-3/F,用来分析双车道或三车道公路上的车道转换规律。

(三) 第三阶段为成熟期,指 20 世纪 80 年代初至现在

到 20 世纪 80 年代初,交通系统仿真技术在美国已经得到了迅速的发展和广泛的应用,为了总结以往的研究成果,确定未来的研究方向,在美国运输局(U. S. Department of Transportation)支持下,由运输研究院(TRB)主持召开了一个专题研讨会,会议历时 3 天,有大约 75 人出席。会议有两个主要的议题:一是通报已开发出的和将要研制的交通系统仿真软件的功能和效用;二是反馈用户需求信息。会议得出结论:交通系统仿真技术已经具备了强大的功能,并且可以预计,今后仍将进一步发展,功能还将进一步加强。这次会议标志着交通系统仿真技术进入了一个新的发展阶段。这一时期,交通系统仿真技术的发展呈现如下特征:

(1) 系统建模开始突破微观模型与宏观模型的界限,出现了混合模型。一个典型的例子是由 Schwerdtfeger 1984 年提出的 DYNEMO 仿真模型,采用交通流的一般关系来描述车流运动,而将每辆车看作是一个基本单元,这一模型应用在车辆驶出高速公路的仿真实验中取得了很好的效果。另外,由 Van Aerde 于 20 世纪 80 年代中期开发的 INTEGRATION,混合使用了微观和宏观交通流模型,被认为是准微观模型。

(2) 仿真软件开始向大型化、综合性方向发展。例如,由 Hubschneider 从 1983 年开始

研制的 MISSION 软件,既可用于高速公路,又可用于城市道路;既可用于一般的交通流仿真,又可用于公共交通系统的仿真实验。这个软件在 1989~1991 年间还被成功运用于欧洲联盟 DRIVE 计划的研究中。再如,由英国 MVA 公司开发的 TRIPS 和美国 Caliper 公司推出的 TransCAD 软件包,都是以四阶段模型为基础,用于区域交通规划。值得一提的还有,由英国 Quadstone 公司从 1992 年开始开发的 PARAMICS,能够支持 100 万个节点,400 万个路段,32000 个区域的路网,并支持用户的二次开发。

除此之外,这一时期还研制出用于信号交叉口的 CALSIG(1988 年)、CAPSSI(1986 年)、POSIT(1985 年)、SIDRA2.2(1986 年)、SOAP-84(1984 年),用于高速公路的 CORQ,以及用于乡村道路的 TWOPAS 等。

(3) 研究重点从软件开发逐渐转向系统模型改进,包括模型的精练,如加入优化子模型和加入有效性测定、仿真模型集成、向个人计算机移植等。于是,已开发出的软件不断推出新的版本,以前面提到的一些软件为例,到 1983 年,SIGOP 已升级为 SIGOP-III;到 1987 年,TRANSYT 已升级为 TRANSYT 7F;1985 年,FREQ 已升级为 FREQ8PE,TRARR 已提出了第三版等。

(4) 新的技术开始用于交通系统仿真,主要表现在仿真界面更加友好,人机交互更加方便。另外,计算机图形技术的应用使得仿真过程更加透明和直观。其中一个典型的例子是德国卡尔斯鲁厄交通运输与规划公司(PTV—Planungsbuero Transport und Verkehr, Karlsruhe)于 20 世纪 80 年代末开始研制至今逐渐改进的系列软件,它由用于道路网交通分配的 VISUM、用于交通需求预测的 VISEM 以及用于交叉口和立交等交通运行分析的 VISSIM 三个独立的软件组成。这套软件采用了人机交互的图形化界面,1994 年后推出的软件版本均可在 Windows 环境下运行,可以同时观察多个交叉口的交通状况,并支持三维动画显示。另外,西班牙 TSS 公司近十年逐步发展起来的 AIMSUN2,为用户提供了十分友好的图形界面。

(5) 仿真技术在交通工程领域的使用越来越广泛。美国 TRB 年会在 1999~2004 年期间,每年公开发行的论文中使用微观仿真软件的论文篇数统计数据汇总见图 1-2,明显可见微观仿真软件使用呈现增长趋势。可以推断,中观仿真软件和宏观仿真软件在交通工程领域的使用前景也同样广阔。

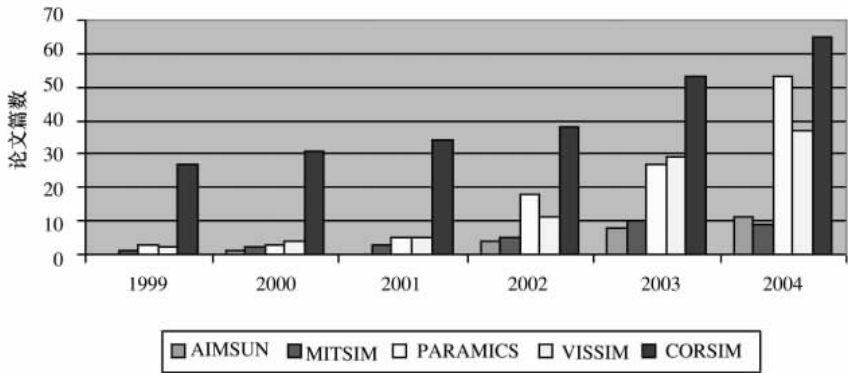


图 1-2 微观仿真软件在 TRB 年会论文中的使用情况汇总

二、中国的发展情况

在我国,用系统仿真技术进行道路交通的仿真实验开始于 20 世纪 80 年代,并且主要集中在高等院校等研究机构。早在 1984 年,北京工业大学就开始了交通仿真的研究工作,为了解直行汽车车队通过信号灯控制路口的运行状态,用 BASIC 语言编制了一个仿真程序,来求解头车运动方程和跟车方程;1985 年,采用 PASCAL 语言编制的程序并基于时间扫描方法对信号灯路口交通特性进行了仿真研究;20 世纪 90 年代初,采用以 C 语言编制的程序对高速公路路段通行能力进行了计算机仿真;1996 年,在 Windows 环境下以面向对象的程序设计语言 Visual C++ 开发了用于高速公路基本路段行车仿真研究的软件;近年来,又开展了高速公路基本路段通行能力和道路交织区交通行为的仿真研究。

同济大学在 20 世纪 90 年代初期,建立了优先控制 T 形交叉口车辆运行的仿真模型,并研制了相应的仿真软件,用来分析不同道路和交通条件对优先控制的 T 形交叉口通行能力的影响;20 世纪 90 年代后期,运用软件工程思想、对象建模技术(OMT)和真实化程序设计的概念,在需求分析的基础上,建立了名为 MicroSim 的高速公路入口匝道交通仿真软件的对象模型;2000 年年底,开发了城市道路交通微观仿真软件系统;20 世纪 90 年代,先后引进国外开发成熟的交通规划软件 MINUTP 和 VISUM, VISEM 软件,应用于城市道路和公路的交通规划;同时引进 VISSIM 微观仿真系统,对高速公路互通式立交的通行能力及延误进行了研究,开展了交通仿真应用于城市道路交通设计的课题研究,并尝试用该系统对交通设施方案进行交通分析和评价。

东南大学在交通系统仿真研究方面也取得了一系列研究成果,例如,20 世纪 90 年代中后期进行的城市交通网络研究、城市交通实时模糊控制研究,提出了单个交叉口交通实时模糊控制方法;另外,还采用动态微观仿真方法研究了路段通行能力,考虑驾驶员、车辆、道路、环境和交通规则相互关系及对通行能力的影响,从微观的角度出发建立了仿真模型。

清华大学交通研究所于 20 世纪 90 年代末期,在 Windows 平台以面向对象的设计思想开发了名为 TraSimul 的仿真软件,用以模拟城市平面交叉口的拥挤特性,为缓解城市平交路口的交通拥挤提供了有力的工具。

其他还有西南交通大学进行了初步的交通系统仿真及在交通控制中的应用研究,利用仿真技术进行了高速公路车头间隔分布规律及其应用的研究;华南理工大学利用交通仿真分析了信号交叉口的通行能力和服务水平;上海交通大学建立了宏观交通流分配仿真模型,实现了路网中的流量分配;北京理工大学开发了城市交通诱导仿真系统;天津大学利用仿真进行了交通流自组织管理控制研究,以交通流元细胞自动机模拟和仿真结果说明交通流中自组织现象并进行了理论分析与数学描述;中国科学技术大学进行了基于微粒跃动模型的交通仿真研究;吉林大学在交通系统仿真方面也开展了一系列研究,主要是用 GPSS 仿真语言对交叉口的交通状态进行仿真研究。此外,长安大学、西安交通大学、交通部公路科学研究所等单位也开展了交通仿真方面的研究工作。

第四节 交通系统仿真技术展望

一、计算机技术的发展将导致交通系统仿真技术的巨大变革

计算机的软件和硬件技术将直接影响交通系统仿真技术的发展和應用。计算机并行处理技术和处理能力的发展,可以使交通系统仿真从简单的物理道路和交通条件的仿真描述逐步发展到对复杂道路网络的交通仿真。面向对象编程被认为非常适合于描述交通环境中的人、车、路和环境之间的相互作用,有助于产生精确的交通流行为模型。

软件开发开放环境的发展促使多种分析工具能够通过连接和嵌套技术交互使用来解决复杂问题。例如 FHWA 的 TRAF-program 家族和 FHWA 的交通管理实验室,致力于为先进的交通管理系统开发一种分布式的、实时的仿真交通条件的实验平台(testbed);芬兰、瑞典和英国的科研人员围绕芬兰的 HUTSIM 程序的开放交通模拟环境部分正在开展相关工作。

二、交通流理论和相关科学理论的新发展为系统建模开辟新思路

目前,交通流分析中的宏观理论模型方面有一些新的进展,对基本的流密速关系提出新的见解,尤其是“两相流(Two-Fluid)理论”正逐步应用于城市路网集合流(车辆群)的交通状况研究。

传统的对交通流的描述都是基于连续的速度和距离变量,但目前交通仿真系统中引入了一种离散的概念,即建模时将道路和街道网络离散为在一个时间单元内仅能容纳一辆车,这种方法称为元胞自动机方法。在遵循描述驾驶员行为的准则和保持目前在车辆运动中的基本物理规律,车辆的运动是通过从前一个单元跳到下一个单元来实现的。

相关科学理论如模糊数学的发展和應用为人们提供了崭新的思维模式,在应用于交通领域描述驾驶员的行为时,从根本上打破了传统经典数学“二值”逻辑的局限。不同的驾驶员对基于自身驾驶经验的驾驶规则有不同的应用方式,并且同一驾驶员在不同的环境条件下对规则的应用也不相同,因此,用模糊逻辑和近似理论的方法来建立驾驶员行为的模糊模型是比较合理的。

三、仿真应用的研究面进一步扩大

随着交通仿真技术的不断发展,交通仿真从仅仅包括局部的或单一的交通设施仿真描述和分析发展到将几个交通设施集成到一个系统的网络体系的应用。同时,交通运行控制系统的仿真变得越来越重要,目前正开展对交通通信方面广泛的研究。越来越多的仿真系统将内置于控制系统,用以预测交通流的状态和各种控制措施的效果。以 ITS 为背景的交通仿真软件能够评价和分析 ITS 系统的效益。

在宏观交通研究领域,对个体出行链及非集计模型的基础研究已经形成了理论基础,因此,交通出行需求的仿真也在快速增长。出行需求仿真将使用 GIS 数据库和工具进行基本的数据输入和结果显示。该仿真方法不仅在城市集中化地区、拥堵区域的高峰小时交通分析中较为有效,而且在交通服务需求比较低的交通规划中也非常有用。

在交通安全研究中,虚拟现实系统和编程工具开始被普遍使用,该研究要求必须以足够

的精细程度分析驾驶员反应和行为,并通过仿真实现交通事故的再现。

在规划应用中虚拟现实技术可以给规划工作者提供更多的发挥空间,进行各种可能方案的描述与分析,也便于向决策者和公众展示规划。

第二章 交通仿真基础

交通仿真是再现交通流时间空间变化的一种技术和手段。交通仿真模型的建立以及交通仿真实验系统的开发与应用是交通仿真研究的核心内容。

第一节 交通仿真对象、模型和实验

一、交通仿真研究的对象

交通仿真的对象是由人、车(包括自行车)、路和环境组成的交通系统,该系统具有随机性、动态性、开放性和复杂性特点。因此,交通系统仿真的实体对象可以是真实物体,如道路和车辆;也可以是意义明确的数据集合体,如交通规划等。实体对象分为静态和动态两类,静态对象如道路和交通规划等,在一次仿真运行开始后,对象参数不再发生变化;动态对象如汽车和控制信号,在系统中受到其他因素的影响和制约,随时发生变化。在不同的初始状态和随机的用户输入条件下,各实体模型相互制约和作用的集合构成系统行为。交通仿真系统构成框架图如图 2-1。

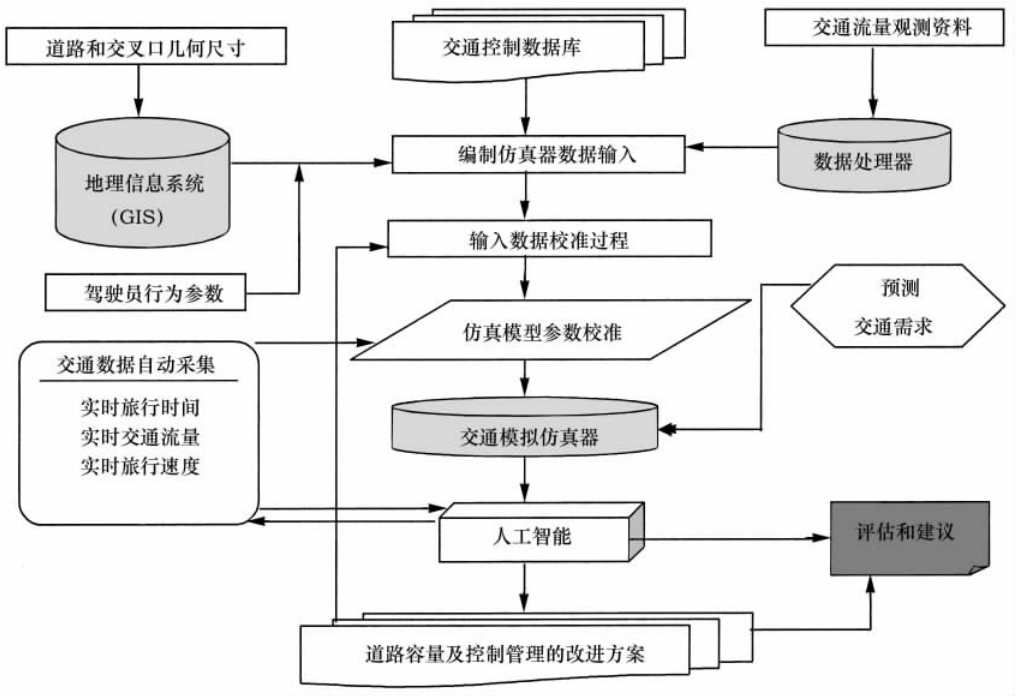


图 2-1 交通仿真系统构成框架图

二、交通仿真模型分类

根据交通仿真模型对研究对象描述程度的不同,可分为微观仿真、中观仿真、宏观仿真和交通规划仿真。

(1) 微观(MICROSCOPIC)交通仿真。其对交通系统的要素及行为的细节描述程度最高。例如,微观交通仿真模型对交通流的描述是以单个车辆为基本单元的,车辆在道路上的跟车、超车及车道变换等微观行为都能得到较真实的反映。

(2) 中观(MESOSCOPIC)交通仿真。对交通系统的要素及行为的细节描述程度较高。例如,中观交通仿真模型对交通流的描述往往以若干辆车构成的队列为单元的,能够描述队列在路段和节点的流入流出行为,对车辆的车道变换之类的行为也可以简单的方式近似描述。

(3) 宏观(MACROSCOPIC)交通仿真。对交通系统的要素及行为的细节描述处于一个较低的程度。例如,交通流可以通过流密速关系等一些集聚性的宏观模型来描述。对于车辆的车道变换之类的细节行为可能根本就不予以描述。

(4) 交通规划仿真。基于交通规划“四阶段”模型,对区域内出行者的出行行为进行仿真,用以评价现状和规划的道路网络、公交线网的总体性能。

结合国外常见的交通仿真系统软件在交通工程领域的研究和应用,可以将各仿真软件系统的仿真范围、仿真模型描述的对象进行比较(图 2-2 和图 2-3)。

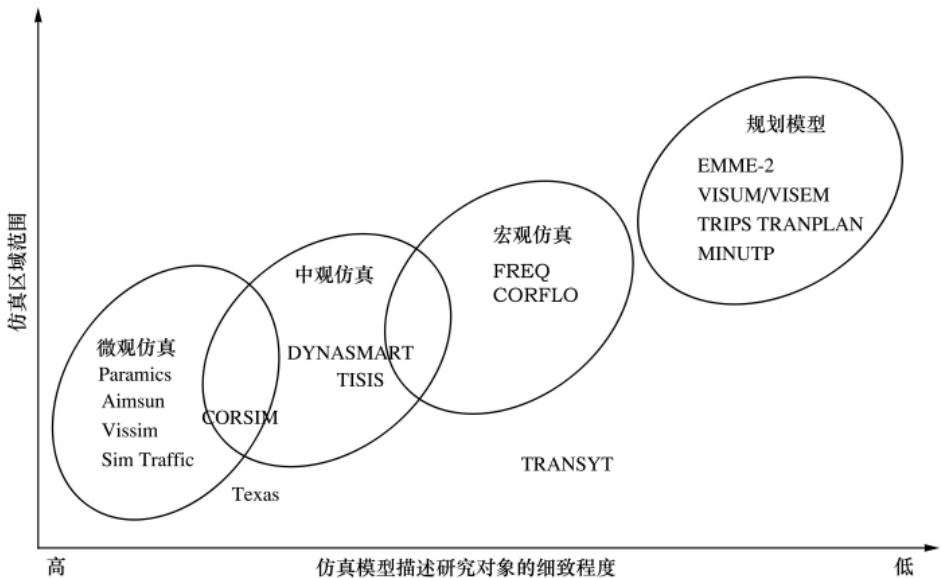


图 2-2 国外常见仿真软件系统的仿真范围、仿真模型描述对象比较

各类仿真系统软件都有一定的研究对象和仿真范围,仿真模型对仿真对象描述的细致程度直接关系到交通工程分析问题的深度。

三、仿真实验和仿真结果

交通系统仿真技术常用来对不同的道路新建或改建方案进行评价和比选,这就要求仿

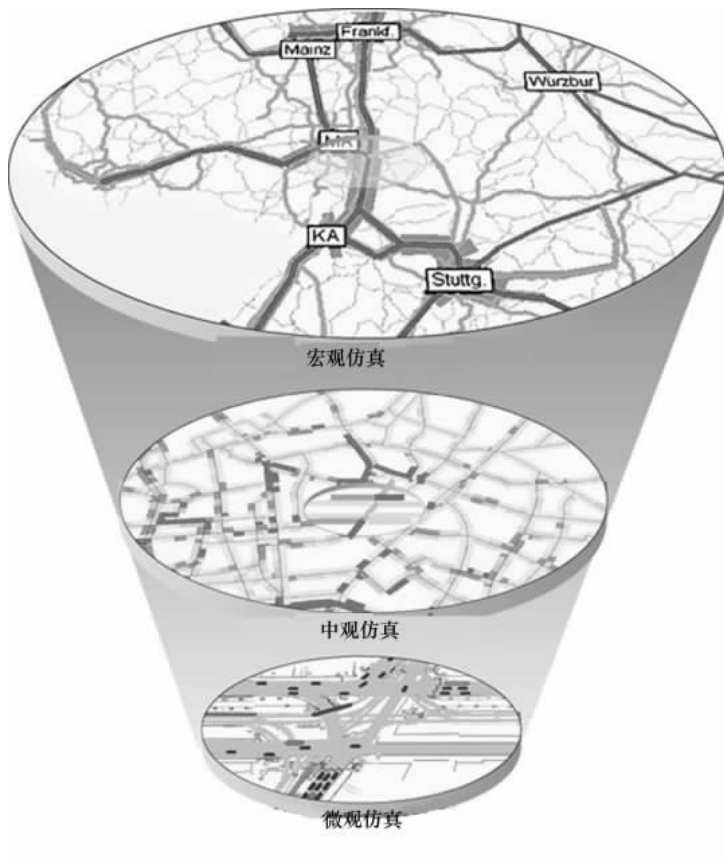


图 2-3 宏观、中观、微观仿真软件系统描述路网比较

真实实验过程能够反复提供同样的交通条件和环境条件,检验方案在同等条件下的运行状况;另一方面,由于交通系统仿真对象具有很强的随机性,而利用仿真模型正确地描述这种随机性往往是十分困难的,为检验和预见系统在某些突发事件如交通事故、车辆故障和交通控制措施变化等影响下的状态,在仿真实验过程中直接施加人工干预。例如,用鼠标在显示器上直接将某辆车设为故障车,将会使研究工作变得十分简便。这就要求交通系统仿真实验应具有更加友好的人机交互界面。

任何系统仿真研究的目的是通过仿真实验结果来推断被仿真的真实系统或假想系统的状态,而仿真模型的质量对于推断结论的正确与否起着决定性的作用。由于交通系统自身的复杂性,使得建立仿真模型时的抽象或简化尺度很难把握,如果处理不当,则会造成仿真模型的“失真”。这一问题通常有两种解决办法,其一是仿真实验开始前对模型进行标定;其二是仿真实验完成后对模型进行有效性检验,而后者尤其重要,也尤其困难。因此,对于仿真实验结果应采取审慎的态度对待,通常情况下,要根据所讨论问题的具体情况,与其他定性的或定量的分析方法相结合,推断出被仿真的真实系统或未来系统的状态。

第二节 实用交通仿真软件简介

到目前为止,国内外已经推出了几百种交通仿真软件,比较流行的也不下几十种。本节