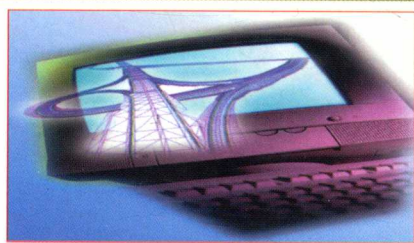




高等学校教材

交通系统 仿真技术

刘运通 石建军 熊辉 编著
周伟 主审



人民交通出版社
China Communications Press

面向21世纪课程教材

高等学校教材

Jiaotong Xitong Fangzhen Jishu

交通系统仿真技术

刘运通 石建军 熊 辉 编著
周 伟 主审

人民交通出版社

内 容 提 要

本书为面向21世纪交通版高等学校教材,该书对交通系统仿真技术作了系统而全面的介绍。主要内容包括:计算机仿真基础、交通系统仿真建模(如道路设施模型、交通生成模型、交通行为模型、排队模型、交叉口延误模型等)。此外,还介绍了国外一些交通系统仿真软件。

本书可作为交通工程专业及公路与城市道路专业研究生的教学参考用书,也可供交通运输规划与管理方面的科技人员使用参考。本书最后给出的大量参考文献可供希望进一步深入了解本书内容的读者查阅。

图书在版编目(CIP)数据

交通系统仿真技术 / 刘运通, 石建军, 熊辉编著.
北京: 人民交通出版社, 2002.10
ISBN 7-114-04398-8

I.交... II.①刘...②石...③熊... III.交通工
程学—系统仿真 IV.U491.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第054776号

高等学校教材 交通系统仿真技术

刘运通 石建军 熊 辉 编著
周 伟 主审

正文设计:姚亚妮 责任校对:尹 静 责任印制:杨柏力

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街10号 010-64216602)

各地新华书店经销

北京凯通印刷厂印刷

开本:787×1092 1/16 印张:13 字数:302千

2002年9月 第1版

2002年9月 第1版 第1次印刷

印数:0001—3500册 定价:26.00元

ISBN 7-114-04398-8

U·03240



面向 21 世纪交通版

高等学校教材(公路与交通工程)编审委员会

主任委员:王秉纲(长安大学)

副主任委员:胡长顺(长安大学)

陈艾荣(同济大学)

王 炜(东南大学)

杜 颖(人民交通出版社)

委 员:周 伟(交通部交通科学研究院)

郑健龙(长沙交通学院)

张建仁(长沙交通学院)

刘小明(北京工业大学)

梁乃兴(重庆交通学院)

周志祥(重庆交通学院)

裴玉龙(哈尔滨工业大学)

黄 侨(哈尔滨工业大学)

钟 阳(哈尔滨工业大学)

黄晓明(东南大学)

叶见曙(东南大学)

赵明华(湖南大学)

郭忠印(同济大学)

杨晓光(同济大学)

王殿海(吉林大学)

徐 岳(长安大学)

符锌砂(华南理工大学)

秘 书 长:韩 敏(人民交通出版社)

总 序

当今世界,科学技术突飞猛进,全球经济一体化趋势进一步加强,科技对于经济增长的作用日益显著,教育在国家经济与社会发展中所处的地位日益重要。进入新世纪,面对国际国内经济与社会发展所出现的新特点,我国的高等教育迎来了良好的发展机遇,同时也面临着巨大的挑战,高等教育的发展处在一个前所未有的重要时期。其一,加入WTO,中国经济已融入到世界经济的发展进程之中,国家间的竞争更趋激烈,竞争的焦点已更多地体现在高素质人才的竞争上,因此,高等教育所面临的是全球化条件下的综合竞争。其二,我国正处在由计划经济向社会主义市场经济过渡的重要历史时期,这一时期,我国经济结构调整将进一步深化,对外开放将进一步扩大,改革与实践必将提出许多过去不曾遇到的新问题,高等教育面临加速改革以适应国民经济进一步发展的需要。面对这样的形势与要求,党中央国务院提出扩大高等教育规模,着力提高高等教育的水平与质量。这是为中华民族自立于世界民族之林而采取的极其重大的战略步骤,同时,也是为国家未来的发展提供基础性的保证。

为适应高等教育改革与发展的需要,早在1998年7月,教育部就对高等学校本科专业目录进行了第四次全面修订。在新的专业目录中,土木工程专业扩大了涵盖面,原先的公路与城市道路工程,桥梁工程,隧道与地下工程等专业均纳入土木工程专业。本科专业目录的调整是为满足培养“宽口径”复合型人才的要求,对原有相关专业本科教学产生了积极的影响。这一调整是着眼于培养21世纪社会主义现代化建设人才的需要而进行的,面对新的变化,要求我们对人才的培养规格、培养模式、课程体系和内容都应作出适时调整,以适应要求。

根据形势的变化与高等教育所提出的新的要求,同时,也考虑到近些年来公路交通大发展所引发的需求,人民交通出版社通过对“八五”、“九五”期间的路桥及交通工程专业高校教材体系的分析,提出了组织编写一套面向21世纪的具有鲜明交通特色的高等学校教材的设想。这一设想,得到了原路桥教学指导委员会几乎所有成员学校的广泛响应与支持。2000年6月,由人民交通出版社发起组织全国面向交通办学的12所高校的专家学者组成面向21世纪交通版高等学校教材(公路类)编审委员会,并召开第一次会议,会议决定着手组织编写土木工程专业具有交通特色的道路专业方向、桥梁专业方向以及交通工程专业教材。会议经过充分研讨,确定了包括基本知识技能培养层次、知识技能拓宽与提高层次以及教学辅助层次在内的约130种教材,范围涵盖本科与研究生用教材。会后,人民交通出版社开始了细致的教材编写组织工作,经过自由申报及专家推荐的方式,近20所高校的百余名教授承担约130种教材的主编工作。2001年6月,教材编委会召开第二次会议,全面审定了各门教材主编院校提交的教学大纲,之后,编写工作全面展开。

面向21世纪交通版高等学校教材编写工作是在本科专业目录调整及交通大发展的背景下展开的。教材编写的基本思路是:(1)顺应高等教育改革的形势,专业基础课教学内容实现与土木工程专业打通,同时保留原专业的主干课程,既顺应向土木工程专业过渡的需要,又保持服务公路交通的特色,适应宽口径复合型人才培养的需要。(2)注重学生基本素质、基本能

力的培养,将教材区分为二个主层次与一个辅助层次,即基本知识技能培养层次与知识技能拓宽与提高层次,辅助层次为教学参考用书。工作的着力点放在基本知识技能培养层次教材的编写上。(3)目前,中国的经济发展存在地区间的不平衡,各高校之间的发展也不平衡,因此,教材的编写要充分考虑各校人才培养规格及教学需求多样性的要求,尽可能为各校教学的开展提供一个多层次、系统而全面的教材供给平台。(4)教材的编写在总结“八五”、“九五”工作经验的基础上,注意体现原创性内容,把握好技术与教学需要的关系,努力体现教育面向现代化、面向世界、面向未来的要求,着力提高学生的创新思维能力,使所编教材达到先进性与实用性兼备。(5)配合现代化教学手段的发展,积极配套相应的教学辅件,便利教学。

教材建设是教学改革的重要环节之一,全面做好教材建设工作,是提高教学质量的重要保证。本套教材是由人民交通出版社组织,由原全国高等学校路桥与交通工程教学指导委员会成员学校相互协作编写的一套具有交通出版社品牌的教材,教材力求反映交通科技发展的先进水平,力求符合高等教育的基本规律。各门教材的主编均通过自由申报与专家推荐相结合的方式确定,他们都是各校相关学科的骨干,在长期的教学与科研实践中积累了丰富的经验。由他们担纲主编,能够充分体现教材的先进性与实用性。本套教材预计在二年内完全出齐,随后,将根据情况的变化而适时更新。相信这批教材的出版,对于土木工程框架下道路工程、桥梁工程专业方向与交通工程专业教材的建设将起到有力的促进作用,同时,也使各校在教材选用方面具有更大的空间。需要指出的是,该批教材中研究生教材占有较大比例,研究生教材多具有较高的理论水平,因此,该套教材不仅对在校学生,同时对于在职学习人员及工程技术人员也具有很好的参考价值。

21世纪初叶,是我国社会经济发展的重要时期,同时也是我国公路交通从紧张和制约状况实现全面改善的关键时期,公路基础设施的建设仍是今后一项重要而艰巨的任务,希望通过各相关院校及所有参编人员的共同努力,尽快使全套面向21世纪交通版高等学校教材(公路类)尽早面世,为我国交通事业的发展做出贡献。

面向21世纪交通版
高等学校教材(公路类)编审委员会

人民交通出版社

2001年12月

前 言

交通系统仿真是一门在数字计算机上进行交通实验的先进技术。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,从而实现对现有系统或未来系统的行为进行再现或预先把握。因此,交通系统仿真技术在交通规划与设计、交通评价与决策、交通控制与管理、交通方案优化与比选等方面有着十分广阔的应用前景。

交通系统仿真技术是随着电子计算机技术的发展而发展起来的一门新兴学科,虽然早在50年前就已出现,但直到近20年才趋于成熟,而在我国只是近10来年才被普遍认识和接受。为了促进这一技术在我国的应用和发展,我们将近年来在交通系统仿真科研和教学工作中的—些浅略的体会与初步的经验,以及所了解的国内外的—发展情况进行汇总,编撰成本书,以飨读者。

本书酝酿于1996年,动笔于1997年,送审稿完成于2001年10月。本书部分内容曾在北京工业大学向研究生讲授。从初稿形成至今的几年间,交通系统仿真研究在高等院校和科研单位有了长足的进展,新成果、新模型不断涌现。因此,本书的成书过程是一个几经补充和修改的过程。

本书共分十四章,其中第一、六、七、九、十章由刘运通编写;第二、三、四章由石建军编写;其余各章由熊辉编写。全书由刘运通统稿,由交通部科学研究院周伟教授主审。

本书在编写过程中得到了许多同行的大力支持。首先感谢我的导师 W. Leutzbach 教授,德国卡尔斯鲁厄大学交通研究所(Institut für Verkehrswesen der Universität Karlsruhe)的 R. Wiedemann 教授,德国 PTV(Planungsbüro Transport und Verkehr, Karlsruhe)公司的 U. Brannolte 教授,他们为本书的编写提供了丰富的资料;感谢周伟教授,他在对本书的审阅过程中提出了许多很好的建议;感谢研究生姚恩建、董佩明、郑弘等人,他们在资料的收集、整理和汇总方面做了大量的工作;另外,也要感谢为本书的录入付出了辛勤劳动的众多同事。最后,还要感谢人民交通出版社的韩敏副总编,正是在他的大力支持下,本书才得以顺利出版。

本书参阅了国内外大量的文献资料,由于条件所限,不及与原著者—取得联系,引用与理解不当之处,尚希见宥。

限于作者水平,书中谬误在所难免,恳请读者和专家指正。

作 者

2002年6月于北京

目 录

第一章 绪论	1
第一节 系统仿真的概念	1
第二节 交通系统仿真的目的及其作用	3
第三节 交通系统仿真技术在国外的发展与现状	5
第四节 交通系统仿真技术在我国的发展与现状	7
第五节 交通系统仿真技术的前景与展望	9
第六节 本书的主要内容	11
第二章 计算机仿真基础	12
第一节 模型与数学模型	12
一、模型	12
二、数学模型分类	14
第二节 建模与仿真	16
一、建模	17
二、验模	19
三、仿真	20
第三节 面向对象技术的基本原理	21
一、面向对象技术的出发点和基本原则	21
二、面向对象技术的基本特征	21
三、面向对象技术的定义	22
四、面向对象技术的常用术语	23
第四节 面向对象的系统建模技术	28
一、静态结构模型和动态行为模型	28
二、系统内部模型和系统外部模型	29
三、建模技术的表示法和语义学	29
四、面向对象建模中的抽象层次	29
第三章 连续系统的数字仿真方法	31
第一节 仿真模型和仿真算法	31
第二节 数值积分法	32
一、欧拉法	32
二、龙格—库塔法	33
三、阿达姆斯法	35
四、预估—校正法	36
五、数值解的稳定性与误差	36
第三节 离散相似法	37

一、连续系统离散化模型	37
二、吐斯丁法	38
三、时域的离散化模型—状态转换法	39
四、用根匹配法建立离散化模型	40
五、离散化模型的精度与稳定性	41
第四节 仿真算法的比较和选择	41
第五节 连续动态系统仿真程序	41
一、编写仿真程序常用的语言	41
二、数字仿真程序的编写	42
第四章 离散系统的数字仿真方法	43
第一节 基本概念	43
第二节 系统仿真的推进	44
一、事件驱动法	45
二、时间驱动法	47
第三节 离散事件系统仿真的一般步骤	47
第四节 离散事件系统仿真策略	48
一、术语及符号	49
二、事件驱动法	50
三、活动扫描法	51
四、进程交互法	52
五、三阶段法	54
六、四种仿真策略的比较	57
第五章 专用仿真语言简介	59
第一节 概述	59
一、专用仿真语言的优点	59
二、专用仿真语言的发展	59
第二节 GASP IV 仿真语言	60
第三节 GPSS 仿真语言	60
第四节 SIMSCRIPT 仿真语言	61
第五节 SIMAN 仿真语言	61
第六节 SIMLIB 仿真语言	62
第六章 交通系统仿真方法与步骤	65
第一节 交通系统仿真的特点	65
第二节 微观仿真与宏观仿真	67
一、基本概念	67
二、微观仿真模型的基本要素	68
三、宏观仿真模型的基本要素	69
第三节 交通系统仿真的步骤	69
第四节 高速公路单向交通流仿真程序的开发示例	73
第七章 道路设施模型	80

第一节	道路设施模型的功能	80
第二节	道路设施模型的建立	80
第三节	道路设施计算机图形模型	81
第四节	信号灯控制平面交叉口图形模型示例	82
第五节	道路条件对基本期望车速的影响	84
第八章	交通生成模型	86
第一节	交通流的统计分布	86
一、	车辆到达分布	86
二、	车头时距分布	87
第二节	随机数的产生	88
第三节	随机变量的产生	89
一、	反变换法	89
二、	组合法	91
三、	卷积法	92
四、	接受—拒绝法	94
第四节	正态分布随机变量的产生	95
一、	近似法	95
二、	直接变换法	96
第五节	泊松分布随机变量的产生	96
第九章	车辆跟驰模型	98
第一节	概述	98
第二节	车辆跟驰特性分析	99
第三节	国外车辆跟驰模型研究综述	99
一、	刺激—反应模型	99
二、	安全距离模型	104
三、	生理—心理模型	105
四、	模糊推理模型	106
五、	元胞自动机模型	107
第四节	国内车辆跟驰模型研究综述	108
一、	基于动力学的改进车辆跟驰模型	108
二、	改进的微观车辆跟驰模型	109
三、	基于可变跟驰时间和随机因素的车辆跟驰模型	109
四、	基于滞后时间的非线性模型	110
第五节	行为阈值模型	110
一、	模型的理论基础	110
二、	模型的表述	112
第十章	换车道模型	118
第一节	概述	118
第二节	模型发展回顾	119
一、	判断性换车道模型	119

二、强制性换车道模型	121
三、模型评述	123
第三节 基于需求产生的换车道模型	124
一、需求产生	124
二、安全检核与换车道执行	129
第四节 基于行为阈值的换车道模型	129
一、模型描述	130
二、车道转换类型	131
第五节 强制性换车道模型	132
第十一章 排队模型	133
第一节 基本概念	133
第二节 $M/M/1(\infty)$ 排队模型	134
第三节 $M/M/C(\infty)$ 排队模型	136
第四节 $M/M/1(N)$ 排队模型	137
第五节 $M/M/C(N)$ 排队模型	139
第六节 $M(N)/M/1$ 排队模型	141
第七节 $M(N)/M/K$ 排队模型	142
第八节 $M/G/1(\infty)$ 排队模型	143
第九节 排队系统仿真实例	143
第十二章 交叉口延误模型	146
第一节 车流在交叉口的延误	146
第二节 信号交叉口延误模型	146
一、稳态延误模型	146
二、瞬态延误模型	150
第三节 无信号交叉口延误模型	153
一、基本假设	153
二、延误模型	153
三、临界间隙的计算	154
第十三章 宏观交通仿真模型	159
第一节 概述	159
第二节 出行时间模型	159
一、交通强度作为距离的函数	160
二、平均速度作为距离的函数	160
第三节 一般路网模型	161
一、路网通行能力	161
二、速度—流量关系	161
三、关系模型	163
第四节 两相流(Two-Fluid)理论	163
一、模型表述	163
二、模型参数的简单讨论	164

三、模型参数的计算机仿真	164
第十四章 实用交通仿真软件简介	166
第一节 概述	166
第二节 PARAMICS 软件介绍	170
一、开发历程	170
二、系统构成	171
三、软件特点	172
四、应用情况	172
第三节 AIMSUN2 软件介绍	173
一、交通模型	173
二、交通控制与管理	174
三、图形用户界面	174
四、仿真输出	174
五、应用情况	176
第四节 TRIPS 软件包介绍	177
一、TRIPS 的组成	177
二、TRIPS 的适用性	178
参考文献	180

有工程的及非工程的系统。机械、电气、水力、声学等都属于工程系统；而经济、社会、经济、交通、管理系统等都属于非工程系统。

系统的分类方法很多,其中最重要的一种分类方法是按其状态变化是否连续分为连续系统和离散系统两种。

若一个系统的状态是随时间连续变化的,就称为连续系统。这类系统通常可以用微分方程或一阶状态方程来描述,也可以用差分方程或一阶离散状态方程来描述。无论用微分方程还是用差分方程来描述,只要实际状态变化是连续的,都应归为连续系统。究竟采用哪一种方法描述,取决于研究者是对系统状态随时间连续变化的整个过程感兴趣,还是仅对某些时间点感兴趣,或者是所能得到的数据资料仅仅限于某些时间点。例如,在经济系统中,往往所能得到的统计数据也只是按月、季度,甚至按年的,尽管这类系统实际的状态变化是连续的,但仍采用差分方程来描述。

另外还有一种系统,其状态变化只在离散时刻发生,而且往往又是随机的,通常采用布尔代数来表征这种变化,所以又称为离散事件系统。在工程系统或非工程系统中都有许多这类系统,如通信系统、交通管理系统等。这类系统通常规模庞大,结构复杂,一般很难用解析法求得结果,因此,更有必要用系统仿真技术进行系统分析或设计。

对于连续系统和离散系统这两类系统,其仿真方法完全不同,这将在本书第三、四两章详细讨论。

系统仿真研究的目的在于对现有系统或未来系统的行为进行再现或预先把握。为了达到这个目的,需要了解某一系统在特定条件或环境下特定运行状态时,将该系统置于该特定条件或环境下,该系统本身作完整的实际运行,当然可以得到系统的运行特性并止复杂参数。但是,这往往需要付出昂贵的代价,而对于某些正在设计中的系统,如规划的垦殖网系统、社会经济系统或具有灾难性后果的系统,如道路交通事故的再调查,甚至根本无法进行系统的实际运行。于是,对系统

第一章 绪 论

第一节 系统仿真的概念

仿真是指对真实事物的模仿。“仿真”一词另外一个常见的提法是“模拟”。根据“国际标准化组织(ISO)标准”中《数据处理词汇》部分名词解释,“模拟(Simulation)”与“仿真(Emulation)”两词的含义分别为:“模拟”即选取一个物理的或抽象的系统的某些行为特征,用另一系统来表示它们的过程;“仿真”即用另一数据处理系统,主要是用硬件来全部或部分地模仿某一数据处理系统,以致于模仿的系统能像被模仿的系统一样接受同样的数据,执行同样的程序,获得同样的结果。鉴于目前实际上已将上述“模拟”和“仿真”两者所含的内容都统归于“仿真”的范畴,而且都用英文 Simulation 一词来表达,因此,本书所讨论的仿真概念也就这样泛指。

系统仿真则是模仿现有系统或未来系统运行状态的一种技术手段。这里所说的系统是广义的。系统是指相互联系又相互作用着的对象之间的有机结合。这种比较概括的含义包含所有工程的及非工程的系统。机械、电气、水力、声学系统等都属于工程系统;社会、经济、交通、管理系统等都属于非工程系统。

系统的分类方法很多,其中最重要的一种分类方法是按其状态变化是否连续分为连续系统和离散系统两种。

若一个系统的状态是随时间连续变化的,就称为连续系统。这类系统的动态特性可以用微分方程或一组状态方程来描述,也可以用差分方程或一组离散状态方程来描述。无论是用微分方程还是用差分方程来描述,只要实际状态变化是连续的,都应归为连续系统一类。究竟采用哪一种方法描述,取决于研究者是对系统状态随时间连续变化的整个过程都感兴趣,还是仅对某些时间点感兴趣,或者是所能得到的数据资料仅仅限于某些时间点。例如,在一些社会经济系统中,往往所能得到的统计数据也只是按月、季度,甚至按年的,尽管这类系统实际的状态变化是连续的,但也只能用差分方程来描述。

另外还有一种系统,其状态变化只在离散时刻发生,而且往往又是随机的,通常用“事件”来表征这种变化,所以又叫离散事件系统。在工程系统和非工程系统中都有许多这类系统,如通信系统、交通管理系统等。这些系统通常规模庞大、结构复杂,一般很难用解析法求得结果,因此,更有必要用系统仿真技术进行系统分析或设计。

对于连续系统和离散系统这两类系统,其仿真方法完全不同,这将在本书第三、四两章详细讨论。

系统仿真研究的目的在于对现有系统或未来系统的行为进行再现或预先把握。当人们需要了解某一系统在特定条件或环境下的运行状态时,将该系统置于该特定条件或环境下,对系统本身作完整的实际运行,当然可以得到系统的运行特性和主要参数,但是,这往往需要付出昂贵的代价。而对于某些正在设计中的系统,如规划的道路网系统、社会经济系统或具有灾难性后果的系统,如道路交通事故的再现等,甚至根本无法进行系统的实际运行。于是,对系统

进行仿真研究,在不需要现有系统参与或未来系统存在的情况下,利用仿真模型进行仿真实验,通过对仿真输出结果的分析、对比和评估来获得系统的行为表现,无疑是一种经济可行的方法,并已引起人们的广泛关注。

其实,系统仿真并不是什么新的概念,而是人们早已广泛应用的研究方法。人们自古以来就知道用军事演习来模仿战争。此外,像实验室环境下的科学实验、生产过程的试运行、在模拟驾驶器上培训机动车驾驶员等,都是根据相似原理对实际系统的实验或仿真。电子计算机的问世和控制论的创立,为系统仿真研究提供了新的技术手段,使得以最少的花费、最短的时间、最便利的操作来完成诸如军事演习、贵重系统的破坏性实验或未来复杂系统的性能预测等工作成为了可能。通过在计算机上进行的仿真实验,可以得到被仿真系统的动态特征,估计和评价现有系统或未来系统的优劣和所采用策略或方案的正确性,从而将系统仿真的概念赋予了新的内容,使之成为辅助决策的重要手段之一。

因此,系统仿真的概念可以表述为:所谓系统仿真,是以控制论、相似原理和计算机技术为基础,借助系统模型对现有系统或未来系统进行实验研究的一门综合性新兴技术。利用系统仿真技术,研究系统的运行状态及其随时间变化的过程,并通过对仿真运行过程的观察和统计,得到被仿真系统的仿真输出参数和基本特性,以此来估计和推断现有系统或未来系统的真实参数和真实性能,这个过程称为系统仿真过程。

例如,某条城市道路经常发生交通拥堵,有关部门计划对其进行改造,并已提出若干改造方案和详细的设计资料。为了预测改造后的交通状况,评价各个改造方案的优劣,可以根据改造后的道路条件、交通量的增长和吸引情况、交通组成等,建立相应的仿真模型,通过计算机进行仿真运行后,得到未来交通流的各项参数,为有关部门提供方案比选或是否进行改造的决策依据。

从以上概念和实际问题可以看出,系统仿真具有如下特征:

1. 系统仿真是一种有效的“实验”手段,它为一些复杂系统创造了一种计算机实验环境,使系统以往的和未来的行为及其长期动态特性,能在极短的时间内在计算机上得到重现和预见。
2. 为了有效地进行仿真实验,需要建立仿真模型。仿真模型是对实际过程或实际问题的抽象和简化,通常包含系统中的逻辑关系和数学关系。
3. 系统仿真的输出结果是在仿真运行过程中,由仿真软件自动地、不断地对系统行为和系统状态进行观察和统计得出的。每次仿真运行只是对系统行为的一次随机抽样,因此,一次完整的仿真实验往往由多次独立的重复仿真运行所组成。
4. 系统仿真的目的通常是要对具有多种随机因素的复杂系统作出综合评估。而仿真对于现有系统或未来系统而言,每一次仿真计算的结果,都只是基于仿真实验所使用样本的随机抽样。因此还需要通过必要的统计推断,才能得出对现有系统或未来系统真实性能的估计。

从学科领域上划分,系统仿真是运筹学的一个重要分支,它与线性规划和网络技术一起并称为运筹学的三大支柱。在复杂系统的求解中,系统仿真具有如下优点:

1. 许多复杂的、受多种随机因素影响的系统,往往很难用数学模型进行精确的描述,或者即使是建立了相应的数学模型,也无法求解。系统仿真则可以根据系统内部的逻辑关系和数学关系,面向系统的实际过程和系统行为来构造模型,从而得到复杂随机系统的解。这是系统仿真技术得以广泛应用的最基本的原因。
2. 系统仿真具有直接面向问题的特点,这使得仿真模型与实际过程在形式上和内容上有着对应性和直观性,从而避免了建立抽象数学模型的困难,大大简化了建模过程,使仿真研究

的注意力可以集中在所论问题或过程本身。由于这一特点,使广大的非计算机专业的人员都能成为系统仿真技术的直接使用者。

3.应用系统仿真技术,可以直接控制实验条件或输入参数,得到系统的不同结果或考察系统的极限状态和特殊行为。当有多个备选方案时,还可以从中进行优选。因此,系统仿真为系统分析和决策人员提供了一种有效的实验环境。

然而,任何事物都不会十全十美,系统仿真技术也存在着固有的缺点,如:

1.仿真实验需要进行大量独立的、重复的运行,需要占用较大的计算机内存并耗费较多的机时。

2.系统仿真本身不具有优化功能,每次仿真实验只能给出实际问题的一个可行解,而要获得问题的最优解或满意解,通常需要进行反复多次的仿真实验,因此带有枚举法的弱点。

3.构建仿真模型是直接面向问题的建模过程,对于同一个实际问题,由于建模人员自身素质的差异或对问题把握了解的深度不同,往往会构造出不同的仿真模型,其仿真运行结果自然也就不同。因此,仿真建模常被称为非精确建模,从某种意义上说,仿真建模是一种“艺术”而不是技术。

以上缺点虽然是由仿真本身的性质造成的,但是随着计算机科学的迅速发展和仿真实理论研究的不断深入,这些问题已经或将会得到解决。一方面,随着计算机硬件技术的改造,计算机内存已大大扩展,运算速度已显著加快,仿真需用的机时可望减少到可以接受的程度。另一方面,近年来,已有大量优秀的仿真软件开发出来,特别是将系统仿真与优化技术相结合的新型仿真—优化软件已经出现,从而使在仿真环境下同时进行优化处理成为可能。此外,近年来从统计学角度提出的仿真模型确认的理论,可以使仿真建模实现从非精确性向精确性过渡,从“艺术”领域转向技术领域。

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、经济学科以至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、生态平衡、医学、交通工程、经济规划、商业经营、金融流通等各个方面都获得了成功的应用,取得了显著的经济效益。其在国外发展的统计资料表明,运筹学各个分支在管理科学中的应用,以系统仿真的应用项目最多,约占全部应用项目的1/3。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,在高新技术项目的论证、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,为领导和管理部门提供了决策依据,并取得较好的经济效益。

第二节 交通系统仿真的目的及其作用

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。因此,交通系统仿真在道路运输系统及其各组成部分的分析和评价中发挥

着重要的作用。

交通仿真模型与其他交通分析技术,如需求分析、通行能力分析、交通流模型、排队理论等结合在一起,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、某条高速公路或高速公路网、双车道或多车道县(乡)公路系统等等。另外,交通系统仿真还可用来分析和评价交通集散地,如停车场、中转站、机场等的规划设计及运行状况。

当然,交通系统仿真不仅限于道路运输系统,在其他运输系统中也得到了广泛的应用,如公共交通系统、轨道交通系统、航空运输系统、水运系统、行人交通系统、传送带运输系统等。但是,本书将不涉及这些运输系统,而只限于讨论道路运输系统中的交通仿真技术。

相对于其他交通分析技术,交通系统仿真技术具有许多优点,如:

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,如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. 不仅能提供交通流参数的均值和方差,还能提供时间—空间的序列值。

4. 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,因此即可以进行实时仿真,又可以进行欠时仿真或超时仿真。

5. 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,如道路交通事故的仿真研究等。

6. 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。

7. 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。

8. 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。

9. 能够处理相互影响、相互作用的复杂的排队过程。

10. 当交通到达和离去方式不服从传统的数学分布时,可以用系统仿真来解决。

11. 当其他的交通分析技术不适用时,系统仿真往往能有效地解决问题。

尽管交通系统仿真技术有许多优点,但它绝不是包治百病的万灵药,也有许多缺陷和局限性,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、进行有效性检验,如果忽视了这一点,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、统计分析等等,而且需要对所研究的道路交通系统有充分的了解。

4. 一些仿真软件的使用者只懂得简单地套用其数据模型,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”,对其含义并不了解,这将极可能导致错误的结论。

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,既不是惟一的一个也不是最好的一个。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”。事实上,这正是系统仿真技术本身固有的缺陷。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。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

这样一个阈限,即精确的描述失去其意义。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”。

因此,当我们面临一个实际的交通问题需要解决时,首先要考虑选用其他的交通分析方法,而交通系统仿真技术只是最后的选择。也就是说,只有当确认其他方法不足以解决所论问题时,才需要进行仿真实验。同时,对仿真输出结果要采取审慎的态度,应结合其他定性的或定量的分析方法,对真实系统的行为作出正确的推断。

第三节 交通系统仿真技术在国外的发展与现状

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三个发展阶段。

第一阶段,20世纪40年代末至60年代初,为诞生期。

根据已掌握的文献资料,世界上第一例用数字计算机进行的仿真研究是由 Von Neumann 和 Ulam 于 20 世纪 40 年代末完成的,用来处理核防护问题,这是因为该问题的试验研究花费巨大并且非常危险,而分析研究又过于复杂。

几乎与此同时,即 1949 年,在 M. Asimow 与 D. L. Gerlough 进行的非正式讨论中,就提出了交通仿真的建议。而最早的工作是英国道路研究试验室(Road Research Laboratory)于 1951 年完成的交叉口交通仿真。

在美国,第一份关于交通仿真的研究报告发表于 1953 年,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,密执根大学(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驰的仿真研究;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。

第二阶段,20世纪60年代初至80年代初,为发展期。

交通系统仿真技术在 20 世纪六七十年代得到了迅速的发展,这一期间,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流仿真,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,加利福尼亚大学伯克利分校(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,这一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(Universität Karlsruhe)交通研究所(Institut für 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