

综合交通客运枢纽 仿真建模关键理论与方法

贾洪飞 © 著



科学出版社

综合交通客运枢纽仿真建模 关键理论与方法

贾洪飞 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是国家高新技术研究发展计划项目成果的凝练和总结。主要介绍了城市综合交通客运枢纽仿真建模理论与方法的研究现状,以及城市综合交通客运枢纽仿真系统功能需求分析;详细介绍了枢纽空间结构功能分解与建模的理论和方法;系统分析了城市综合交通客运枢纽行人流的微观、宏观及混沌特性;提出了完整的行人交通行为模型框架,在此框架下系统讨论了受限视野约束下的行人路径选择行为模型、楼梯与扶梯设施选择行为模型、描述行人运动的社会力模型以及行人队列选择和队列内行进模型;基于枢纽空间结构与功能模型、行人交通行为模型,详细介绍了行人智能体的导航模型与关键算法,并简要介绍了城市综合交通客运枢纽仿真系统 PS-SITH 的模块组成与应用案例;最后详细介绍了城市综合交通客运枢纽换乘量预测技术方法以及枢纽、交通组织优化技术。

本书可作为从事交通规划与管理专业的工程技术人员的参考用书,也可作为交通运输工程学科研究生的参考教材。

图书在版编目(CIP)数据

综合交通客运枢纽仿真建模关键理论与方法 / 贾洪飞著. —北京:科学出版社,2011

ISBN 978-7-03-031778-0

I. ①综… II. ①贾… III. ①交通运输中心-旅客运输-系统仿真-研究 IV. ①U115

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 125171 号

责任编辑:张海娜 / 责任校对:宋玲玲

责任印制:赵 博 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011 年 7 月第 一 版 开本:B5 (720×1000)

2011 年 7 月第一次印刷 印张:13 彩插:2

印数:1—2 500 字数:252 000

定价:55.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

在复杂的城市交通大系统中,客运交通系统是最主要的组成部分,与城市功能的关系最为密切,影响最大,也是城市交通中最复杂多变、面临矛盾和问题最突出的部分。作为客运交通系统网络节点的综合交通客运枢纽,是不同交通方式、不同方向客流集散、换乘的场所,实现交通功能的转换,通过各种交通方式的衔接配合和枢纽功能的充分发挥提高出行者的换乘效率。同时,综合交通客运枢纽占用空间面积大、资金投入多,一旦建成很难进行二次改造,因此对综合交通客运枢纽的结构与功能进行经济、高效的规划与设计具有重要社会经济意义,是改善和提高城市客运交通系统运输效率乃至整个城市交通综合运输效率的重要途径。

为改善步行交通环境,提高行人的舒适性,增加公共交通对居民出行的吸引力,综合客运枢纽的规划、设计和建设已引起我国政府和行业主管部门的高度重视。2005年9月,《国务院办公厅转发建设部等部门关于优先发展城市公共交通意见的通知》中提出:“为解决好城市交通问题,促进城市健康发展”,要“综合考虑各种交通方式、换乘枢纽配置,以及对外交通的衔接”;要“加强城市交通换乘枢纽建设”。综合交通客运枢纽的建设被认为直接关系到以公共交通为主导的客运一体化和公交优先发展战略的建立,关系到居民出行的顺畅便捷程度和“以人为本,公交为民”的人性化服务水平的高低。

近年来,我国许多城市的综合客运枢纽在运营过程中出现了较多问题,突出体现在枢纽内部空间的有效利用率相对较低、行人拥挤及换乘不便等问题上。除了急剧增加的交通量的影响外,导致综合客运枢纽运行效能低下的主要因素是目前“基于经验”的枢纽规划和设计准则,以及“基于可研客流预测”的运行作业计划,难以实现综合交通客运枢纽在结构和功能上的优化。因此,优化枢纽的结构(空间布局,如换乘节点的设计、站台分配等)和功能(空间管理,如车辆调度、空间利用等)是提高综合交通客运枢纽运行效能、减少对换乘负面影响的必要途径。

综合交通客运枢纽内的交通流运行是非常复杂的。这部分是由于枢纽内部不同过程(如行人行走、车辆运行)之间的相互作用,以及同类枢纽之间提供的服务不同(进出公交服务、买票、等候、就餐、购物等)导致的。另一个复杂的因素是枢纽内行人构成的异质性,即出行目的、年龄、性别等的差异。尽管有这些复杂性,但因为缺少定量的评价工具,多数客运枢纽的设计决策仍是沿用基于经验准则的传统方法。这些准则虽然来自于与枢纽内的行人行为相关的经验,但往往只考虑静态的情形,或只是针对某一特定情景,对设施规划和运营计划的相互作用没有考虑,而

且也未能提供这些准则的科学依据,导致这些准则经常被误解或误用。类似的争议存在于时间表的计划(各方式的调度计划),这涉及对出行者换乘实际所需时间的估计。不同类型的出行者,如年龄大的人与年轻人等需要不同的换乘时间。采用准确估计的换乘时间不但可以避免过长的等待时间,而且也会减少出行者错过接驳的可能性,故可提高出行者的舒适性和时间表的可靠性。

综合交通客运枢纽的设计过程离不开枢纽运行效果等定量信息的支持,但由于行人走行过程及整个客运枢纽系统的复杂性,即使是有经验的专家和具有熟练技能的设计人员,也难以采用手工计算来评价一个枢纽设计的整体质量。同时,枢纽评价通常需要检验不同情景(如某一设施的多种设计或布局方案)对行人流的走行规律以及枢纽整体运行效果的影响,因为交通枢纽造价高、工程复杂、实施难度大,建成后很难再进行较大规模的改造,所以难以进行物理测试。在这种情况下,利用计算机建立一种可用来测试不同决策方案的数值模拟工具成为替代分析模型的首选。模拟工具的优势就是可以获得评价所需的定量信息,从而可以在各种状态下对不同的设计方案做出客观的对比。

本书旨在研究城市综合交通客运枢纽仿真系统,提供建模理论与方法,基于系统模型对枢纽内行人流进行仿真分析,为综合交通客运枢纽设计和运营方案的优化、完善及特殊事件下行人流组织方案的制定提供理论依据和辅助决策手段。作者和研究团队在上述研究过程中发表论文 20 篇(其中 EI、ISIP 检索 12 篇),申请发明专利 2 项,获得软件著作权 2 项。

本书内容安排如下:第 1 章为绪论,介绍行人流仿真国内外研究现状以及综合交通客运枢纽行人仿真系统的功能需求分析;第 2 章介绍复杂适应系统仿真建模理论和基本方法;第 3 章介绍综合交通客运枢纽的空间结构分解与建模方法;第 4 章基于对综合交通客运枢纽行人交通特性的分析,建立行人交通行为模型;第 5 章设计综合交通客运枢纽功能与结构评价体系;第 6 章介绍 PSSITH 行人仿真系统和实例分析;第 7 章介绍综合交通客运枢纽换乘量预测方法;第 8 章介绍综合交通客运枢纽交通组织优化技术。

在本书撰写过程中参考了很多国内外有关客运枢纽仿真建模的书籍和学术论文,主要参考文献列于章后,作者在此对所参考的已列出和未列出文献的相应作者表示敬意和感谢。感谢吉林大学交通学院孙宝凤教授、唐明博士、罗清玉和宗芳副教授、杨丽丽和王琳虹等研究生,以及计算机学院陈震教授及其科研团队对本书撰写的协助。

限于作者水平,书中难免存在不当或疏漏之处,敬请读者批评指正。

贾洪飞
于吉林大学南岭校区

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 行人流研究现状	1
1.1.1 行人流宏观特征及其模型	1
1.1.2 行人流仿真模型中的微观交通行为模型	5
1.1.3 复杂系统建模方法和有关计算机技术	7
1.1.4 行人流仿真软件的开发情况	9
1.1.5 国内行人流研究现状	11
1.1.6 研究现状总结	12
1.2 仿真系统功能需求分析.....	13
1.2.1 用户需求.....	13
1.2.2 仿真系统的功能需求	16
1.2.3 图形用户界面	17
1.2.4 其他系统需求	18
参考文献	18
第 2 章 复杂适应系统仿真建模理论与方法	21
2.1 系统建模方法及仿真策略概述.....	21
2.1.1 基本概念.....	21
2.1.2 系统的数学模型	23
2.1.3 系统仿真策略	23
2.2 复杂适应性系统理论.....	25
2.2.1 复杂性研究的内容	25
2.2.2 复杂性系统理论研究方法概述	27
2.2.3 复杂适应系统理论的内容.....	30
2.2.4 复杂适应系统的基本特性和机制	31
2.3 复杂适应系统在交通领域中的应用方法.....	32
2.3.1 ABMS 的一般性描述	32
2.3.2 Agent 的定义	32
2.3.3 ABMS 的主要概念与思想.....	33
2.3.4 ABMS 的特点	34

2.3.5	应用 ABMS 方法于交通仿真的标准化步骤	34
2.3.6	综合交通客运枢纽系统的 CAS 特征	35
	参考文献	35
第 3 章	综合交通客运枢纽空间结构功能分解与建模	37
3.1	综合交通客运枢纽功能与结构分析	37
3.1.1	总体功能与结构分析	37
3.1.2	行人设施功能分析	39
3.2	综合交通客运枢纽行人设施与车辆设备模型	40
3.2.1	行人设施的认知图式	40
3.2.2	行人设施的一般化模型	41
3.2.3	行人设施的模型分类与参数设置	41
3.2.4	车辆设备模型	43
3.3	综合交通客运枢纽内的设施拓扑网络	44
3.3.1	设施特征点的定义	44
3.3.2	邻接的定义与性质	44
3.3.3	设施拓扑网络的定义	45
3.3.4	拓扑网络图实例分析	45
3.4	小结	48
	参考文献	48
第 4 章	行人交通特性分析与行为建模	49
4.1	综合交通客运枢纽行人流实验调查	49
4.1.1	实验设计	49
4.1.2	数据采集	50
4.2	行人心理与行为特征	54
4.2.1	视觉和注意	54
4.2.2	心理因素	54
4.2.3	换乘活动及其行为特征	55
4.3	行人流宏观特性分析	70
4.3.1	通道行人流特性分析	71
4.3.2	楼梯行人流特性分析	72
4.3.3	站厅行人流特性分析	73
4.4	短时行人交通流的混沌特性分析	76
4.4.1	实验数据初步分析	76
4.4.2	Lyapunov 指数定义	77
4.4.3	数值求解方法	78

4.4.4 实例分析·····	79
4.5 行人交通行为模型的建立·····	80
4.5.1 行人交通行为的模型框架·····	80
4.5.2 行人交通行为模型·····	86
参考文献·····	103
第5章 综合交通客运枢纽功能与结构评价体系设计 ·····	105
5.1 综合交通客运枢纽功能与结构评价体系设计思想·····	105
5.2 综合交通客运枢纽功能与结构评价指标·····	106
5.2.1 评价指标设计原则·····	106
5.2.2 评价指标选择流程·····	107
5.2.3 综合交通客运枢纽功能与结构评价指标体系·····	110
5.3 综合交通客运枢纽功能与结构评价标准·····	113
5.3.1 现有评价标准·····	113
5.3.2 评价指标分级·····	115
5.4 综合交通客运枢纽功能与结构评价方法·····	120
5.4.1 枢纽服务水平综合评价方法的选择·····	120
5.4.2 基于 DAGF 算法的综合评价方法·····	122
参考文献·····	124
第6章 PSSITH 系统简介与案例分析 ·····	126
6.1 系统概述·····	126
6.1.1 系统总体功能需求·····	126
6.1.2 建模子系统的功能模块·····	128
6.1.3 仿真系统的结构功能图·····	128
6.1.4 分析实验系统的结构功能图·····	129
6.1.5 三维仿真系统的结构功能图·····	130
6.2 行人智能体模型与关键算法·····	131
6.2.1 导航的概念及相关研究·····	131
6.2.2 行人智能体结构和导航模型·····	131
6.2.3 行人智能体的认知模型·····	133
6.2.4 行人活动的有限状态机模型·····	134
6.2.5 有限状态机原理·····	135
6.2.6 活动有限状态机模型算法·····	138
6.2.7 路径选择与运动行为算法·····	141
6.2.8 路径搜索算法·····	142
6.2.9 路径选择算法·····	144

6.2.10	弯道位置的多 Agent 竞争导航点问题	146
6.2.11	Agent 对人群的动态避障问题	147
6.2.12	运动模型算法	151
6.3	仿真行人流的特征参数统计	152
6.4	密度分布动态显示	153
6.5	实例分析	154
6.5.1	北京西直门交通枢纽实例分析	154
6.5.2	广州中山八站实例分析	159
	参考文献	163
第 7 章	综合交通客运枢纽换乘量预测	164
7.1	综合交通客运枢纽客流换乘特性	164
7.1.1	综合交通客运枢纽客流集散特点	164
7.1.2	综合交通客运枢纽换乘影响因素	164
7.2	综合交通客运枢纽影响范围	169
7.2.1	综合交通客运枢纽聚集效益分析	170
7.2.2	综合交通客运枢纽影响区与合理区	170
7.3	综合交通客运枢纽换乘量预测模型	173
7.3.1	基本模型介绍	173
7.3.2	模型比选	176
7.3.3	综合枢纽换乘量预测模型	176
7.4	实例应用	177
7.4.1	西直门综合交通客运枢纽数据调查	177
7.4.2	西直门综合交通客运枢纽换乘量预测	180
	参考文献	183
第 8 章	综合交通客运枢纽交通组织优化技术	184
8.1	综合交通客运枢纽交通组织基本要求	184
8.2	综合交通客运枢纽行人交通组织	185
8.2.1	行人交通对枢纽内部设施可靠性的影响	185
8.2.2	常态行人交通组织	188
8.2.3	突发事件下行人疏散交通组织	189
8.3	综合交通客运枢纽行车组织优化	191
8.3.1	协调调度的目标和原则	191
8.3.2	协调调度模型	193
8.3.3	实例应用	197
	参考文献	200

第 1 章 绪 论

1.1 行人流研究现状

关于行人流的研究起始于 20 世纪 50 年代,初期研究者主要从宏观层面观察行人流特征,建立速度、密度与流量的经验回归模型以及队列模型等,并提出服务水平概念、行人设施的设计要素,其目的在于为设计者和管理者提供一套行人设施规划指南。但是,早期宏观模型在解决一些行人设施规划与设计的实际问题时往往效果并不十分理想,为了深入了解行人交通流演化过程中的复杂现象,以便满足准确分析行人设施服务能力和定量评价行人设施的规划与设计等目的。20 世纪 90 年代初,研究者开始注重从微观角度研究行人流特征,在对行人个体的交通行为特性分析与建模的基础上,采用如下方法建立行人流模型:①采用统计物理学分析方法建立现代的行人流宏观模型(气体动力学模型与连续介质模型);②采用自下而上的仿真技术建立行人流仿真模型。本节以下内容将从行人流的宏观模型研究和微观行为建模与仿真两个方面来介绍国内外研究现状。

1.1.1 行人流宏观特征及其模型

行人流宏观模型采用集计方法,通过现场观察以及录像等方式,将人群运动现象作为一个整体来研究,包括排队模型、气体运动学(gas-kinetic)模型和连续介质(continuum theory)模型等。现有行人设施规划指南通常使用宏观模型所确立的行人流三参数关系以及“有关规范中要求达到的设施服务水平标准”为行人设施的规划与设计提供定量分析依据。

1. 行人流宏观特征和服务水平

1) 行人速度

行人速度指行人自由走行速度分布的均值,行人自由走行速度通常符合二维正态分布,国外相关研究结果见表 1.1。

表 1.1 有关文献中的行人速度观察结果汇总

来源	平均速度 /(m/s)	标准差 /(m/s)	观测地点
CROW	1.4	—	Netherlands
Daamen	1.41	0.215	Netherlands
Daly 等	1.47	—	United Kingdom
FHWA	1.2	—	United States
Fruin	1.4	0.15	United States
Hankin 和 Wright	1.6	—	United Kingdom
Henderson	1.44	0.23	Australia
Hoel	1.50	0.20	United States
Institute of Transportation Engineers	1.2	—	United States
Knoflachner	1.45	—	Austria
Koushki	1.08	—	Saudi-Arabia
Lam 等	1.19	0.26	Hong Kong
Morrall 等	1.4	—	Sri Lanka Canada
Navin 和 Wheeler	1.32	—	United States
O'Flaherty 和 Parkinson	1.32	1.0	United Kingdom
Older	1.30	0.3	United Kingdom
Pauls	1.25	—	United States
Roddin	1.6	—	United States
Sarkar 和 Janardhan	1.46	0.63	India
Sleight	1.37	—	United States
Tanariboon 等	1.23	—	Singapore
Tanariboon 和 Guyano	1.22	—	Thailand
Trogenza	1.31	0.30	United Kingdom
Virkler 和 Elayadath	1.22	—	United States
Young	1.38	0.27	United States

注：本表来源于文献[1]。

有较多因素影响行人速度,如行人属性(年龄、性别、出行目的、地域和文化差异)、设施类型和气温等。Bowman 等指出年龄高于 60 岁行人的速度显著低于年龄处于 18 岁到 60 岁之间成年行人的速度^[2];Wilson 等发现老年人平均速度不仅偏低低于成年人,而且老年人速度方差高于成年人^[3]。Weidmann 发现男性行人平均速度为 1.41m/s,女性行人平均速度为 1.27m/s;当气温为 25℃时,行人速度仅

达到平均速度的 92%，而当温度降低到 0℃ 时，行人速度增加到平均速度的 109%。从表 1.1 中可以看到，地域差别对行人速度也有影响，其中 Daamen 指出商业出行目的的行人速度较高 (1.45~1.61m/s)，通勤者速度较低 (1.34~1.39m/s)，购物和休闲速度最低 (0.99~1.10m/s)^[4]。不同类型设施(水平通道、扶梯和楼梯等)上的行人速度有所不同，Pauls 发现行人上楼梯速度介于 0.61m/s 和 0.90m/s 之间，而下楼梯速度为 0.70m/s，因此楼梯行人速度无论上行还是下行方向，都低于水平通道或站厅的行人速度 (1.34~1.4m/s)^[5]。

2) 三参数回归关系

行人流的三参数(速度、密度和流量)之间的关系反映行人流宏观特征，表 1.2 汇总的回归关系为国外研究者对其采集数据的样本点进行拟合的结果。

表 1.2 基于观察数据的行人流参数回归关系

数据来源	观察地点	回归关系
Older	商业街道	$v = 1.31 - 0.34\rho$ $q = 1.32\rho - 0.34\rho^2$ $q = 3.85v - 2.94v^2$
Fruin	美国通勤公共汽车站	$v = 1.43 - 0.35\rho$ $q = 1.43\rho - 0.35\rho^2$ $q = 4.08v - 2.86v^2$
Polus 等	以色列海法商业区人行道	$v = 1.31 - 0.27\rho$ $q = 1.31\rho - 0.27\rho^2$ $q = 4.94v - 3.76v^2$
Weidmann	不详	$v = v_m \left[1 - \exp \left(-1.913 \left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_{jam}} \right) \right) \right]$ $v_m = 1.34, \rho_{jam} = 5.4$
Sakar 和 Janardhan	加尔各答城市换乘区	$v = 1.46 - 0.35\rho$ $q = 1.46\rho - 0.35\rho^2$ $q = 4.17v - 2.86v^2$
Seyfried 等	受控单向队列的行人流试验	$v = -0.34 + 0.94\rho$

注：本表来源于文献[4]， v (m/s)、 ρ (人/m²)、 q (人/(m·s))。

3) 服务水平

服务水平(level of service, LOS)的概念首先由 Fruin 提出，将行人流的速度、密度或者流量作为指标来反映行人设施所提供服务的平均占有面积、舒适与安全程度，并将服务水平设为六个等级，每个等级对应了确定的速度、密度(可与平均占有面积相互转化)或是流量的变化范围，并且人行道、楼梯和队列区域的服务水平等级标准不同。Fruin 根据美国街道上(street environment)行人平面投影的厚度

和肩宽值(57.9cm×33cm,如图 1.1 所示),设定了不同类型设施服务水平等级的人均占有面积标准,具体见表 1.3。美国的 HCM (Highway Capacity Manual 2000)以及其他一些国家的相关行人设施规划与设计手册(如英国的 Green Guide),针对不同交通环境和本国人体特征对 Fruin 服务水平等级划分标准进行了相应的本土化修改^[6, 7]。

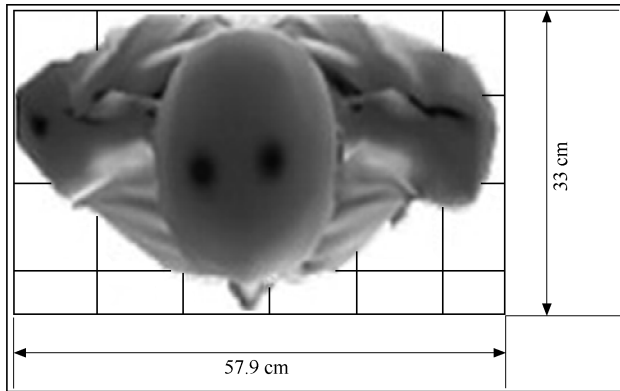


图 1.1 Fruin 使用的人体尺寸示意图

注: 图片来自于文献[7]。

表 1.3 Fruin 服务水平的六个等级标准

LOS	A	B	C	D	E	F
人行道	>3.25	3.25~2.32	2.32~1.39	1.39~0.93	0.93~0.46	<0.46
楼梯	>1.85	1.85~1.39	1.39~0.93	0.93~0.65	0.65~0.37	<0.37
队列区	>1.21	1.21~0.93	0.93~0.65	0.65~0.28	0.28~0.19	<0.19

注: 数据单位为 m²/人。

行人服务水平为评价行人活动空间的通行能力和舒适性提供了一个有效方法,同时也为估算行人设施的尺寸或数量提供理论依据。例如,《美国公共交通通行能力和服务质量手册》(TCQSM)对交通枢纽站内的步行通道的估算方法为:

(1) 基于期望的 C 级服务水平,从步行通道服务水平等级表中选择 C 级所对应的最大行人流率 q ($q=49$ 人/(m·s),参见 TCQSM 表 7-3);

(2) 估算高峰 15min 内步行通道的行人需求 Q (流量);

(3) 考虑到轮椅使用者和大件行李携带者所占据的额外空间,将 Q 乘以适当的调整系数;

(4) 将 Q 除以 15,得到设计行人流量(人/min),再将设计行人流量除以 C 级对应的最大行人流率 q ,即得到所需要有效通道宽度;

(5) 考虑到通道两侧的缓冲区,最后将有效宽度值再增加 1m,得到通道宽度

总体估算值^[8]。

2. 排队模型

在队列区范围内行人需要遵守排队规则,该过程的实现需要建模人员首先定义仿真环境中的队列区域。Lovas 对建筑物环境进行建模,将房间中心以及门视为节点,其中房间中心为决策点(decision point),基于这些节点构建了队列网络(queueing network),并相应建立了使用队列网络的行人模型^[9]。

3. 气体运动学模型和连续介质模型

行人流气体运动学模型首先由 Henderson^[10]提出,Helbing 在此基础上进一步考虑了行人流的动量与能量非守恒性,根据速度矢量方向的不同将行人分为不同类型,建立了具有各向异性的、类似于 Boltzmann 方程的气体运动学模型(Boltzmann-like gas kinetic model)^[11]:

$$\frac{d\hat{\rho}_\mu}{dt} = \frac{\hat{\rho}_\mu - \hat{\rho}_\mu}{\tau_\mu} + \sum_v \hat{S}_{\mu v} + \sum_v \hat{G}_{\mu v} + \hat{q}_\mu \quad (1.1)$$

该模型能够较好地描述平衡态下的行人流,但对于描述高密度下的行人流,还需要更进一步的行为建模与复杂解析过程。

Hughes 假设:①行人速度仅与其邻域密度有关;②有共同目的地的行人,如果他们与目的地有相同的距离(即所处位置的距离场势位相等),那么不会有相互交换位置的意图;③行人期望全局行程时间最短,但是在局部环境下他们会避免进入高密度区域。在此三个假设以及数量守恒的基础上建立了行人流连续介质模型,并根据 Greenshields 提出的速度-密度线性关系式,给出了特定行人流密度分布下(环形通道)的模型解析结果^[12]。

1.1.2 行人流仿真模型中的微观交通行为模型

从行人流的气态动力学模型研究开始,行人的意图、期望速度以及行人之间的相互作用等因素开始被研究者在建模过程中所考虑,但因为面向应用的特定行人流气态动力学模型求解较为困难,研究者现今倾向于建立行人交通行为模型,并借助于计算机仿真技术来模拟行人流的演化过程。从空间尺度上划分,枢纽内的行人交通行为可划分为局部的移动模型、全局的路径选择行为以及活动链模型。

1. 局部的移动模型

Okazaki 发展了连续空间上的磁场力运动行为模型^[13];Helbing 等假定行人之间存在社会力,提出了社会力模型用以描述连续空间上的运动行为^[14];Blue 等将元胞自动机模型应用于行人流仿真研究,使用简单规则和邻域信息来描述行人

的运动行为^[15];Schadschneider 为了通过简单规则生成行人的类似于“趋化性”行为,基于元胞自动机模型引入底层场(floor field)概念用以模拟相互距离较远的行人粒子之间的影响力^[16];Antonini 等根据行人速度和方向将行人前方空间离散为扇形网格,并基于离散选择模型确定行人下一时刻可能出现在某个网格上的概率^[17]。总之,目前的行人流微观模型通常将行人抽象为粒子,由这些行人粒子在虚拟环境中表现出行人交通行为。行人粒子通常有两种描述方式:一种是将行人在二维空间上抽象为圆形或其他图形(椭圆等),通过实体在连续空间上的移动来表现行人的行为;另外一种则是通过将二维空间离散为均匀的元胞(方格或其他形状),根据元胞的面积大小来确定这些元胞可以容纳行人粒子的最大数量,并且根据行人交通行为来定义行人粒子在元胞之间的移动规则。

2. 路径寻找和路径选择模型

运动模型基于行人邻域信息来控制行人的运动行为,这使得行人可以避免邻域内的障碍物以及其他行人,但是这些移动模型在含有较多障碍物的全局环境下,通常不能有效帮助行人到达其目的地,因此需要路径搜索以及选择模型来为行人提供能够贯穿起讫点的路径。

路径搜索模型为路径选择模型提供备选路径集合、备选路径集合的生成方法。Hirtle 等指出行人进行空间定位和路径搜索时,只需具备空间环境的网络拓扑知识^[18];Hunt 等研究指出行人的年龄、性别对于其空间定位有影响^[19];Raubal 使用描述性语言建立了在设施内的行人路径寻找模型^[20]。

在路径选择模型方面的研究有:Hoogendoorn 等将行人个体的行为分为策略层(出行时间和方式的选择)、战术层(活动计划表、活动地点和路径的选择)和操作层(走行行为),指出高层次行为决定低层次行为的选择集合,低层次行为的期望效用影响高层次行为,并基于行人个体期望的行为效用最大化假设,提出了连续空间上的行人路径与活动计划选择模型^[21];Dammen 等将路径垂直方向的高差因素引入到路径选择模型中^[22]。其他关于行人路径的研究还有许多,多是基于离散选择模型描述行人在设施拓扑网络中的路径选择行为,这里不再详述。

3. 活动链模型

活动链是行人为实现某个目的所经历的一系列子活动,以及这些子活动发生的场所和时间。Kitamura 等基于 Logit 模型研究出行者的活动计划^[23],Stretz、Arentze 和 Timmermans 等基于统计数据采用若干规则生成居民出行活动链^[24,25];Dammen、Thalman 等构建了活动“池”,根据实际环境中的活动链序列从活动池中为其行人智能体选择具体的活动^[4,26]。

1.1.3 复杂系统建模方法和有关计算机技术

与行人流有关的计算机技术涵盖大量内容,本节着重介绍虚拟环境和行人智能体建模有关的内容,主要包括多智能体复杂系统、行人智能体建模策略、虚拟环境模型和行人智能体的导航模型。

1. 基于多智能体的复杂系统建模方法

Wooldridge 等将人工智能(artificial intelligence, AI)定义为通过构建智能体(Agent)并展现其智能行为的计算机科学分支^[27];王红卫指出 Agent 是基于对象(object)发展而来的,它有很多特点与“对象”相同,如数据与方法的封装、继承和多态等^[28]。Carlos 认为 Agent 相对于 Object 也有其特殊的性质,主要体现在三个方面:Agent 可以对信息进行建模,对某些信息直接反应为行动,对于某些信息则根据协议进行交互行为,而 Object 只能被信息调用其算法;Agent 具有智力状态,即偏好和计划等;Agent 具有社会维度,关于 Agent 之间的社会关系在建模过程中必须明确^[29]。

Agent 的优点之一就是可以通过协议、通信、交互行为等方式有机构成复杂社会组织或系统,如果将该系统再赋予在特定的虚拟情景或真实环境中,则构成了多智能体系统(multi-agent systems, MAS)。Moulin 等提出了基于情景的多智能体系统建模方法(multi-agent scenario-based method, MASB method)。该方法包括以下四个方面的研究:①确定 Agent 和情景对象使用的语言;②确定 Agent 角色,包括进程、相关信息、Agents 之间的交互行为;③Agent 知识及数据建模、实体关系建模、实体存活周期建模;④仿真并确定不同情景下的人机交互界面^[30]。Charles 等在总结已有的基于 Agent 建模方法的基础上,系统地提出了面向复杂系统建模与仿真的 ABMS(Agent-based modeling and simulation)方法,给出了 ABMS 方法的标准六步骤^[31]:①确定 Agents 及其行为理论;②确定 Agents 之间的关系及其交互行为理论;③选择一个 ABMS 平台和 Agent 建模策略;④收集有关数据;⑤行为模型验证;⑥仿真结果分析。其中的 ABMS 平台,有著名复杂系统研究机构圣塔菲研究所开发的可扩展编程的 SWARM 平台,以及后来由其他研究机构发展的 NetLogo、JADE、JACK 等平台。

2. 行人智能体建模策略

在 Agent 模型结构方面,根据主体认知类型的不同,可以分为反应式、推理式、推理与反应混合式三种结构,其中后两种结构一般归于 BDI(belief-desire-intention)结构。由于行人微观行为的多级别决策特征,BDI-Agent 结构更适合于行人建模。BDI 行人 Agent 模型具备四个基本子模块:感知器、知识库、推理机、行

动器。Reynald 指出行人知识库 (Belief) 存放环境知识, 而推理机 (Desire, Intention) 产生行动序列, 并基于 JACK 平台实现了 BDI 行人 Agent 模型^[32], 斯坦福大学的 XiaoShan 使用 BDI 行人 Agent 模拟了简单场景下的行人紧急疏散行为^[33]。

3. 虚拟环境模型

用于人群疏散安全分析的虚拟环境模型, 只需描述建筑物内的可走行面域和障碍物即可, 通常描述空间的方式有连续形式和网格形式, 相应的可走行面域和障碍物也用这两种方式描述其占据的二维空间。大量微观行人仿真研究中的虚拟环境模型采用了网格形式描述(元胞自动机), 同时也有不少采用连续形式描述虚拟环境的研究和软件, 如 Still 等开发的 Legion 行人仿真软件^[34]、Daamen 等开发的 NOMAD 软件^[4]。

为了使虚拟环境能够为行人智能体提供必要的设施功能信息, 虚拟环境中的行人设施模型除了应具备几何形状和空间位置属性变量之外, 还需要具有功能属性, 以便使得行人智能体获取相关信息, 并在特定设施区域模拟与设施相应的交通活动。Legion 行人仿真软件将行人设施进行了详细分类, 用以体现各类设施的功能差别; NOMAD 仿真软件和 VISSIM 的行人仿真模块中也有对行人设施进行了的分类(如面域、楼梯、等候区和站台等), 但上述软件的研究机构均未给出其设施分类的依据和原理。

另外, 为了反映设施布局的空间结构以及行人在复杂场景下的活动衔接顺序, 多数仿真软件采用了链接(Link 或 Arc)对象, 但是对于链接缺乏严格的数学定义, 以至于用户在使用链接建立环境模型或者行人的活动链模型时, 过于灵活从而难以操作, 并使得仿真系统不能自动对链接进行有效性检测和纠错, 导致仿真过程可能出现死锁现象。

4. 行人智能体导航模型算法

行人智能体导航模型集成和实现行人行为模型中的路径寻找、路径选择、运动模型以及服务活动模型, 使得行人智能体在虚拟环境中能够模拟行人实际在起讫点(OD)之间的走行、接受服务以及和其他行人发生交互作用的过程。

当描述场景内行人活动种类较少时, 活动进程的控制问题一般被忽视, 但是当行人活动链包含多个不同种类的活动时, 如何动态控制行人智能体的活动进程则成为能否有效模拟行人实际行为的一个关键技术。Sunge、Issac 等使用有限状态机(Finite State Machines)来控制游戏场景中的行人活动进程^[35, 36], 而针对综合交通客运枢纽人流仿真过程中, 实现整个换乘过程中行人活动链动态控制以及单个活动进程的研究较少。

路径寻找行为在行人仿真系统中较少被模拟, 在一些通过行人认知仿真评价

建筑物内的标识设置是否合理的研究中,路径寻找行为模型才被深入分析并建立了相应模型,如 Raubal 等开发的行人寻路行为模拟软件^[20]。

待选路径集合的搜索算法属于机器人路径规划方法研究领域,从描述位姿空间(configuration space)的方式分类,包括有单元分解法(cell decomposition)、路线图法(roadmap)和势场法(potential fields),这三种方法可以再细分为若干类方法,这里不再详细介绍。根据待选路径集合,行人智能体可以根据路径选择模型获得具体的全局路径,但是关于行人局部路径动态选择算法方面的研究很少。

1.1.4 行人流仿真软件的开发情况

行人流仿真软件的开发从 20 世纪 80 年代左右,在国外得到蓬勃发展,本书对几个在安全和交通领域较为著名的软件作重点介绍。

1. EVACNET4

该软件在宏观层面上模拟行人流,不对行人个体行为进行刻画。其虚拟环境的建立方法是:将房间抽象为节点,门和通道被抽象为有向链接(Arcs),建立环境的网络模型。用户通过定义节点的行人数量等属性值,以及有向链接的服务能力和行程时间,基于队列模型来分析建筑物内行人安全疏散的最短时间。EESCAPE、FireWind 与 EVACNET4 类似,也是在宏观层面上模拟行人流的^[37]。

2. Legion

Legion 由建模模块(Model Builder)、仿真模块(Simulator)和分析模块(Analyser)三个应用模块组成,可用于地铁站、奥运场馆、机场和大型活动等人流聚集区域的步行人流模拟,已在 2000 年悉尼奥运会、2004 年雅典奥运会,以及伦敦、纽约和香港地铁规划中得到应用。

Legion 中的行人根据连续空间中记录的过去信息和环境信息,以不满意度最小为目标从可行集合中选择最佳行动方案。“最省力原则”(least effort)是行人行为逻辑的基础。模型中的行人在空间约束、速度约束、目标约束以及碰撞约束下,以时间、距离以及“努力”作为参数构造效用函数,采用模拟退火算法求解最优路径。

3. SimPed

为支持综合交通客运枢纽的规划和设计过程,荷兰代夫特科技大学(Delft University of Technology)与 Holland Railconsult 公司合作开发了 SimPed 仿真软件。SimPed 主要用来分析车站设计和布局、时间表设计及作为时间表一部分的月台分配以及大型步行区域的设计和布局对行人交通流的影响。根据瓶颈通行能力、服务水平评价换乘车站的性能,确定时间表的可行性。

SimPed 中的行人模型是半宏观的,行人个体的速度由速度-密度曲线确定。排队模型用来描述正在从事的活动。SimPed 软件通过量化行人穿过车站和在月台或者大厅等候时的服务水平,以及动画显示设施不同部分行人的舒适水平(见图 1.2),用来评价既有换乘车站(或部分)的布局、既有换乘车站的扩建或者改建的影响、新建车站布局方案选择、不同月台分配方案的选择和改变、时间表的选择和改变等。

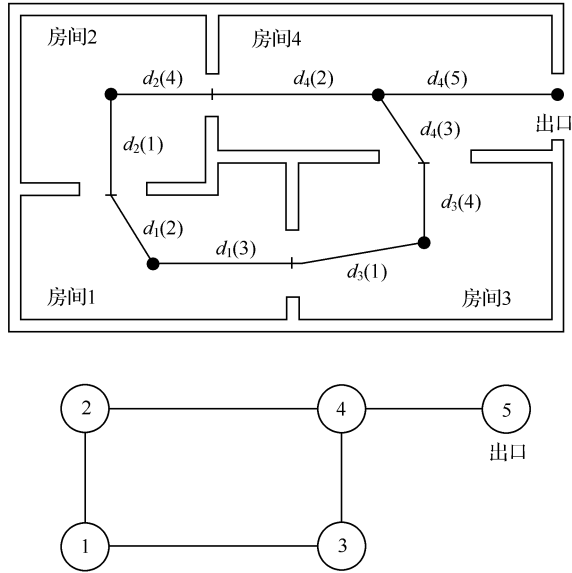


图 1.2 Lovas 的队列网络示意图

注: 图片来自于文献[9]。

4. VISSIM 行人仿真模块

VISSIM 是德国 PTV AG 公司开发的一款微观交通仿真软件,已经在我国业界广泛使用。PTV AG 公司发布的最新版本 VISSIM5.1 包含了行人仿真模块。VISSIM 行人仿真模块中使用社会力模型模拟行人微观运动,并聘请了社会力模型的创建者 Helbing 作为其科学顾问。

为了模拟大范围内行人的连续活动,VISSIM 中行人的行为被分成三个层次:①在战略层面:行人进行路径规划,并产生一系列的目的地;②在策略层面:行人进行目的地之间的路径选择,并产生初步的路径决策;③在最底层的行为层面:行人展开实际的行为,包括躲避对向的行人、穿越人群,或者只是简单地向目的地移动。

5. NOMAD

NOMAD 是由荷兰代夫特科技大学开发的微观模型,能够对行人微观行为进

行模拟,是 NOMAD 模型的主要特点。

NOMAD 可划分为输入条件和决策模型两个部分。输入条件包括五部分内容:仿真区域网络拓扑、不同行人组的活动内容、事件背景、行人流的组成、步行参数。决策模型分为两个层次:策略层模型和行动层模型。策略层模型是一个宏观层面的决策模型,可详细划分为两个子模型:活动区域选择模型和路径选择模型。其判断程主要依据最大效用原理,模型将步行时间、步行距离、服务时间、等待时间、排队时间等主要指标效用化后加以考虑。行动层模型可划分为三个子模型:步行模型、活动模型、等待模型。NOMAD 作为专门为交通枢纽内部行人组织评价而开发的模型,在模拟行人在多种条件下的复杂行为方面性能优异。

对综合交通客运枢纽内行人流进行仿真的目的在于分析枢纽规划方案的合理程度,及时了解现有枢纽的综合性能或待建枢纽方案的可行性,为枢纽规划提供定性、定量的依据,对枢纽运行进行有效监控和分析。通过对国内外行人仿真软件的分析,可知目前可用于综合交通客运枢纽仿真的软件主要存在以下特点:

(1) 初期开发的多数行人仿真软件主要应用于公共安全领域,常用于模拟火灾、恐怖袭击等非常规情景下的人群运动,而在限定模拟场景并给定人群目标的情况下,研究人群的行为特征、建立人群运动模型局限于安全疏散场景。

(2) 部分软件在宏观层面对行人流进行模拟,缺乏对行人和环境之间交互过程的描述,并且环境模型也较为粗略,因此限制了软件在其他研究领域的应用。

(3) 由于软件通常不能为用户明确提供其内置的行人导航模型和相关算法,导致在大范围场景行人流仿真过程中,如果没有专业技术指导人员的辅助,用户可能会遇到意想不到的死锁现象。

(4) 多数软件的模型是基于欧美国家或地区的行人行为特性而建立的,并没有采用亚洲地区不同国家的行人流数据对模型进行标定、验证。因此,难以直接用于我国的综合交通客运枢纽仿真,且不易进行二次开发。

1.1.5 国内行人流研究现状

国内对于行人流的研究亦取得了较为丰富的成果,初期研究多集中于某些特定环境与情景下的行人交通特性分析,当前行人流研究则更多集中于大型体育场馆、综合交通客运枢纽等复杂场景下的行人流仿真及实现。

在行人交通特性方面,Cheung 等研究了地铁站内的行人流在楼梯和扶梯设施入口处的分流特征,在考虑“通过设施时间”以及“队列延误时间”两个因素的基础上,建立了行人对于楼梯与扶梯设施的选择行为模型^[38];Huang 等在出行者不具有经验知识、不面临交通方式的选择,是同质群体、不具备全局网络知识,但具有路段行程时间信息的前提下,建立了宏观的随机用户均衡模型^[39];张培红等基于排队模型,研究了火灾时建筑物内人员疏散的行为规律^[40];Yang 等使用元胞自动机

模型,基于一些简单规则模拟了相互垂直的双向行人流的自组织和临界现象^[41];宋卫国基于社会力模型研究了建筑物出口的宽度和厚度对人员紧急疏散的影响^[42];曲昭伟等对长春市主要街道交叉口的的高峰和低谷时段的行人到达率和步速进行了标定^[43];陈然等对上海市夏季步行街和冬季校园的行人步幅、步速、步频进行了实测和初步分析^[44];裴玉龙等对哈尔滨市冬季和夏季的不同过街条件下的行人过街速度进行了调查,分析了行人自身属性及街道环境因素对行人过街速度的影响^[45]。关于这部分内容的国内研究还有很多,这里不再一一介绍。

在行人建模与仿真软件开发方面,陈鹏基于 GIS 环境下的矢量数据建立了行人多智能体仿真平台,解决了一些基于 GIS 矢量数据模拟行人动态流动的关键问题^[46];李得伟建立了一种基于元胞自动机和改进 A* 算法的轨道交通乘客集散模型,解决了使用元胞自动机模拟行人决策时可能会遇到的空间冲突问题和部分由于高密度人群导致的死锁问题,并开发了仿真软件 MTR-PedSIM^[47];赵光华在对地铁站内行人特性分析的基础上,将行人仿真应用于奥运地铁站的规划方案分析^[48];史建港对大型活动的行人交通特性进行了分析,提出了服务水平等级的划分方法,基于问卷调查和 logit 模型建立了拥挤状态下的行人行为模型^[49];于彦飞针对行人元胞自动机模型难以量化摩擦力和排斥力的问题,确定了量化的摩擦力和排斥力运算规则,在此基础上开发了用于人员疏散性能化评估软件 SafeGo^[50]。

1.1.6 研究现状总结

本章分别介绍了国内外关于行人流的研究及仿真软件的开发情况。总的来说,在分析多种场景下行人交通特性的基础上,目前建立了一些行人微观行为仿真模型,可以在一定精度下模拟行人安全疏散或乘客换乘中的人群动态变化过程。目前行人流仿真领域,需要进一步研究的问题主要有:

(1) 行人交通行为的理论尚需要进一步深入研究,以便为行人流仿真模型提供更为普适的完整的行人交通行为模型。

(2) 为了适应更为复杂的行人活动场景中行人流仿真,虚拟环境模型的建立有待于严格的数学描述和定义。

(3) 目前行人微观行为模型的参数值多来自于国外的有关研究文献,且多用于安全疏散分析,为了开发适用于我国的综合交通客运枢纽规划与设计、行人交通组织方案评价的行人流模型及仿真软件,需要基于综合交通客运枢纽行人交通特性分析,分析该环境下适用的行人微观行为模型,并研究一套行之有效的参数标定方法和验证方法。

(4) 目前尚缺乏一套能够描述在复杂环境下具有动态控制活动进程以及局部路径动态选择的行人智能体导航模型及算法,用来支持仿真系统中行人智能体对行人在实际环境中交通行为的保真模拟。

1.2 仿真系统功能需求分析

城市综合交通客运枢纽仿真系统的研发,改进了枢纽规划设计及方案的传统评价方法与技术,从微观角度仿真客运枢纽内各静态设施功能与构成、动态移动单元与行人行为、交通流组织管理与控制,并基于构建的综合交通客运枢纽运行效能的评价体系,可为综合交通客运枢纽的规划、设计者或运营管理者(统称为用户)提供各种设计、管理方案的定量分析结果数据。这些数据可用于评估枢纽的交通能力与效益、各种交通方式之间的协调性、局部与整体之间的关系,发现规划、设计或交通组织方案存在的问题,从而引导用户及时改善方案,以增强枢纽整体服务水平。为了进一步明确仿真系统所需具备的功能,以下分析各类用户对仿真系统功能的需求。

1.2.1 用户需求

将用户分为三类,分别为综合交通客运枢纽的规划(设计)人员、项目评估人员以及运营管理人员。各类用户对应城市综合交通客运枢纽规划、设计及运营等不同的阶段,对所使用的仿真系统功能都有着自身的需求,即希望通过使用仿真系统输出数据辅助其达到工作目标。

1) 规划(设计)阶段

在客运枢纽的规划与设计阶段,用户主要是项目评估及设计人员。这两类用户需要仿真系统提供各个设计方案的仿真分析结果,辅助其了解不同方案的枢纽运行状况及规律,进而找出各方案的优缺点并进行改进或选择,最终确定出最优方案。

2) 运营管理阶段

在运营管理阶段,管理者需要考虑的问题是:由于局部改建、固定节假日、临时大型活动以及高峰时段行人换乘需求量的急剧增加,很可能出现服务水平严重下降、换乘时间大幅增加等交通拥堵。仿真系统需要辅助运营管理人员了解:①综合交通客运枢纽改建或设备更新;②行人流组织方案和车辆调度方案实施情况下的枢纽运行状况及规律。

将仿真系统应用的研究范畴分为四类:①新枢纽建设方案的设计与评估;②已有枢纽的改(扩)建或设施设备更新;③特殊事件行人组织方案的检验;④提高高峰时段的服务性能。不同应用的各类用户需求分析结果如表 1.4 所示。

在给出不同应用阶段的用户期望分析之后,为进一步确定用户对数值试验系统的选择倾向,需要针对此类系统的技术特点对一系列的关键因素进行分析,这些因素是用户选择数值实验系统的决定性因素。关键因素分析及不同应用阶段中用户对各类因素的选择如表 1.5 和表 1.6 所示。

表 1.4 用户的仿真系统功能期望分析

应用类型	用户类型	用户期望		使用频率	用户开展工作的 方式	模拟区域
		使用目的	获得的信息			
规划设计阶段	规划、设计人员/ 市政规划部门	空间利用;提高服务性 能;最大限度提高信 息的有效性	预测的行人类 型及流量	每隔几年重复 一次	案头研究	整个枢纽
运行阶段	已有枢纽的改 建或设施设备 更新	空间利用;提高乘客满 意度;最大限度提高信 息的有效性;增加收 入;减少服务中断	目前的行人行 为与预测的变 化	每隔几年重复 一次(改建)、至 少每隔1年重 复一次(更新)	案头研究结合 对目前行人流 的调查,专家评 审。	整个枢纽/ 局部区域 (项目特定)
	提高服务性能	改善服务性能;增加收 入	目前的行人行为 与预测的变化	多年重复一次	案头研究	局部区域 (月台等)
	检验特定事件的 行人流组织方案	最大限度提高信息的 有效性,改善服务性能	预测的行人行 为及类型	1或2次重复	案头研究	整个枢纽

表 1.5 主要的技术特点及关键因素分析

技术特点	关键因素	作为关键因素的原因
实用性	既有模块或需要外部扩展	在长期项目中,项目组可多次重复内部的行人流模拟过程
模拟过程	粗略、详细或连续	所需的模拟过程依据要评价的区域以及需求的详细程度而变化
建筑设计图	输入图样或建立内部模型	在一个具有反复过程的综合项目中,建筑物数据应该可以在设计方案与行人流模拟软件之间无缝交换
行人的定义及行为	详细的知识或有限的知识	软件包能够定义详细的行人属性及行为参数,但是应用项目可能只有有限数量的正确的数据来支持这项功能
行人到达	软件包内部定义或从电子 表格中输入	对综合交通客运枢纽进行模拟时,有必要在某一层面上(微观、中观或宏观)定义乘客的到达模式,最简单的方法是局部区域采用行人到达率来描述行人的到达特性
目标点选择	事件驱动、多目标点或单目 标点	在大型综合交通客运枢纽内,有必要定义一系列行人移动的目标。在小区域目标比较简单,选择少
路径选择	是或否	在综合交通客运枢纽内,允许行人在不同路径之间选择以满足其目标是很重要的
行人组	是或否	在繁忙的、交叉的行人流的场景中,群体行为如家庭会影响行人的移动
多层建筑模拟	是或否	大型综合交通客运枢纽可能具有两层或多层,如与其他交通方式的换乘
适用范围	正常状态或紧急疏散	如果某个软件仅能作为模拟紧急疏散的工具,那么用其评价正常运营时不合适的
随机过程	是或否	在与性能相关的情形下,判断一系列可能的结果而不仅仅是单一的结果是很重要的
参数测量	仿真输出的参数	在技术支持的范围内,只需要根据仿真目的测量特定参数的项目

表 1.6 不同应用阶段考虑的关键因素

技术特点	新枢纽的建设	已有枢纽改建或设施设备更新	提高服务性能	检查特定事件
实用性	既有模块	既有模块	既有模块	外部资源
模拟过程	粗略的或详细的	粗略的或详细的(改建) /详细的或连续的(更新)	连续	详细的或连续的
建筑规划	输入	输入	软件包中建立	软件包中建立
行人定义及行为	有限的知识	详细的知识	详细的知识	有限的知识
行人到达	软件包内定义	软件包内定义	输入数据	软件包内定义
目标点选择	多点	多点	单点	多点
路径选择	是	是	是	无要求
行人组	无要求	无要求	无要求	无要求
多层建筑模拟	是	是	无要求	是
适用范围	正常状态及紧急疏散	正常状态及紧急疏散	正常状态及紧急疏散	正常状态及紧急疏散
随机过程	是	是	是	是
参数测量	服务水平、空间利用率	服务水平、流量、空间利用率	服务水平、流量	流量
完全适应的软件包	buildingEXODUS STEPS	STEPS	LEGION	buildingEXODUS STEPS

综合交通客运枢纽功能与结构数值实验系统,应用于综合枢纽的规划设计和运行两个阶段。在应用到运行阶段时,以“提高服务性能”为主要应用类型,“已有枢纽改建或设施设备更新”以及“检查特定事件”则作为本系统的附加功能,对这两类应用只作简单模拟(宏观层面上的模拟)。

根据上述用户期望分析,数值实验系统与用户期望相关的输入与输出如图 1.3 所示。

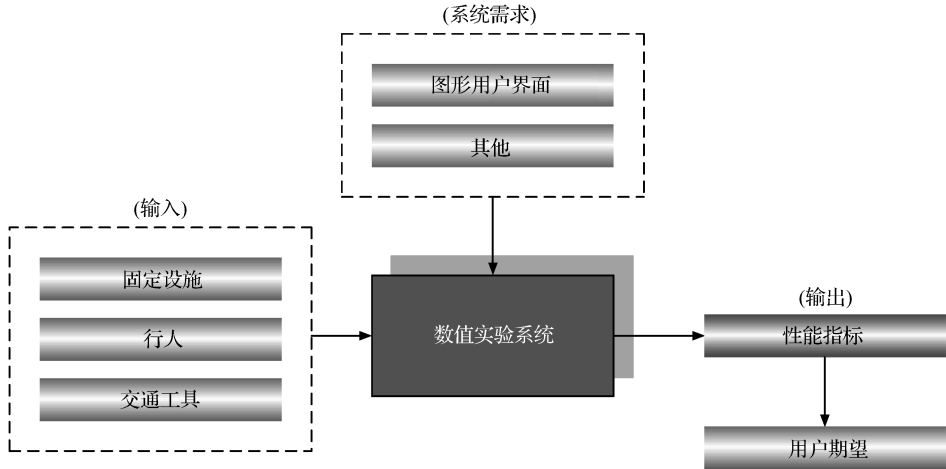


图 1.3 数值实验系统与用户期望相关的输入与输出

1.2.2 仿真系统的功能需求

仿真系统的功能需求主要涉及实验系统要模拟的过程和要素。与综合交通客运枢纽数值仿真相关的过程和要素如下：

(1) 行人在通道、楼梯(或扶梯)、站台等设施上的水平和垂直移动。这些过程不仅描述行人与设施之间的相互作用,也描述行人相互之间及行人与设施及障碍物(如墙壁和立柱等)的相互作用。

(2) 行人通过连接两个区域的设施(在其中行人可能或不会经历延误),如“门”类设施。

(3) 行人路径选择及导航。

(4) 行人执行各类活动,包括购票、检票、购物等。

(5) 行人在站台上等待车辆以及排队行为,等待过程模拟的关键是等待位置的选择(取决于区域密度的变化、车辆到达特性等影响因素)。

(6) 行人上下车行为。这里是指车辆到达之后行人的行为,如上车过程中的拥挤、上下车行人流交叉、行人动态更换上车位置等。通常需要考虑车辆属性及运

行特点对行人行为的影响。

1.2.3 图形用户界面

关于图形用户界面的主要需求是用户友好。所谓用户友好是指应用软件的界面对操作者而言是直观的和可以理解的。基于人机工程学的用户友好界面开发的基本原则是用户界面应具备高的可靠性、简单性、易学习和易使用性,以及立即反馈性。

1) 可靠性

界面对用户的操作应能作出适当的反应,并且能够容忍用户的误操作。即界面应该具有检测用户操作,并作出相应处理的机制。除此之外,界面还应该能够容忍系统内部某些部分可能发生的错误。

2) 简单性

简单性反映在系统的输入与输出两个方面:

(1) 输入方面:对于枢纽内数据量较大的行人数据以及车辆时间表等数据应该可以采用电子表格直接输入;对于枢纽设计结构的输入必须给出一个与目前枢纽设计过程中通常使用的绘图工具相似的表现形式;对于已有的仿真方案进行局部调整时(枢纽结构、交通工具时间表、行人数据表和模型参数等的改变)可以通过较少的工作来实现。此外,实验系统必须提供关键参数的缺省值,当需要时可以由用户改变。

(2) 输出方面:输出的信息应以简单和易理解的形式呈现给用户。仿真系统应具备一个详细而精确的分析子系统。为了支撑用户的分析需求,仿真系统的输出需要在所有发生的过程上广泛而详细,只要它们是有用的、能够增加信息的,如产生相应的图、表等。但是同时又要避免冗繁的信息,界面应对大量细节进行抽象,对用户隐藏尽可能多的不必要的信息。

3) 易学习和易使用性

用户界面应当提供多种学习和使用方式,以适合不同层次的用户,例如初级用户常依赖于菜单功能,而高级用户则更愿意使用快捷键进行操作。

4) 立即反馈性

用户界面对用户所有的输入都要作出反馈,使用户减少对回忆的依赖,以避免用户由于对当前状态不了解而引起操作失误。当系统需要较长时间进行处理时,界面应提供提示信息,使用户能够估计等待时间,处理其他事务。

5) 一致性

遵循流行的设计规范,对整个系统的各部分或系列软件采用一致的命令选择方式、对话、提示等,以减少用户操作错误。

1.2.4 其他系统需求

1) 运行环境

仿真系统是为上述三类用户提供服务的,这些用户主要使用的操作环境大都是个人计算机(低成本非专业计算机)的 Windows 环境,这就要求仿真系统必须能够在个人计算机上运行,且其界面必须看起来类似 Windows。

2) 可视化显示

为了验证仿真的结果并向用户显示在仿真期间发生了什么,被模拟的对象的各种活动过程应满足可视化要求,因此动画技术在仿真过程中是不可缺少的部分,通常在仿真软件中优先选择三维动画,如使用虚拟现实技术来建立三维空间中的仿真场景以及行人实体。同时,为了区分或突出枢纽内部设施或设施的某一部分(如楼梯台阶等)的重要特征,需要对其使用不同的颜色显示。

3) 仿真时间

为了将一个仿真研究的持续时间保持在合理的限度内,仿真模型的速度一般应比实际时间快,这就要求实验系统对设施结构的尺寸、行人和交通工具的数量具有较低的敏感度,即这些设施的大小、实体的数量的增减对实验系统运行的影响程度较低。

参 考 文 献

- [1] Daamen W, Hoogendoorn S P. Free speed distributions for pedestrian traffic [C]. The 85th Annual Meeting Transportation Research Board, 2006: 1—13.
- [2] Bowman B L, Vecellio R L. Pedestrian walking speeds and conflicts at urban median locations [C]. Transportation Research Record, 1984, 1438: 67—73.
- [3] Wilson D G, Grayson G B. Age-Related Differences in the Road Crossing Behavior of Adult Pedestrians [R]. Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne Berkshire England, 1980.
- [4] Daamen W. Modelling Passenger flows in Public Transport Facilities [D]. Delft: Delft University Press, 2004.
- [5] Pauls J. Calculating evacuation times for tall buildings [J]. Fire Safety Journal, 1987, 12: 213—236.
- [6] Fruin J J. Design for pedestrians: A level-of-service concept [C]. Highway Research Record, 1971, 355: 1—15.
- [7] Fruin J J. Pedestrian Planning and Design [M]. New York: Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners, 1971.
- [8] Hunte-Zaworski K. Transit Capacity and Quality of Service Manual (2nd Edition) [M]. Washington D. C.: Transportation Research Board, National Academy Press, 2004.
- [9] Lovas G C. Modeling and simulation of pedestrian traffic flow [J]. Transportation Research Part B, 1994, 28: 429—443.
- [10] Henderson. The statistics of crowd fluids [J]. Nature, 1971, 229, 381—383.
- [11] Helbing D. A fluid dynamic model for the movement of pedestrians [J]. Complex Systems, 1992, 6:

- 391—415.
- [12] Hughes R L. A continuum theory for the flow of pedestrians[J]. *Transportation Research Part B*, 2002, 36: 507—535.
- [13] Okazaki S. A study of pedestrian movement in architectural space, part 1: Pedestrian movement by the application on of magnetic models[C]. *Trans. of A. I. J.*, 1979, 283: 111—119.
- [14] Helbing D, Molnar P. Social force model for pedestrian dynamics [J]. *Physical Review*, 1995, E51 (5): 4282—4286.
- [15] Blue V J, Adler J L. Emergent fundamental pedestrian flows from cellular automata micro-simulation [C]. *Transportation Research Record*, 1998, 1644: 29—36.
- [16] Schadschneider A. Cellular automaton approach to pedestrian dynamics theory [A]//Schreckenberg M, Sharma S. *Pedestrian and Evacuation Dynamics* [M]. Berlin: Springer, 2005: 75—85.
- [17] Antonini G, Bierlaire M, Weber M. Discrete choice models of pedestrian walking behavior [J]. *Transportation Research Part B: Methodological*, 2006, 40: 667—687.
- [18] Hirtle S C, Hudson J. Acquisition of spatial knowledge for routes [J]. *Journal of Environmental Psychology*, 1991, 11: 335—345.
- [19] Hunt E, Waller D. Orientation and wayfinding: A review[R]. ONR Technical Report N00014-96-0380, 1999.
- [20] Raubal M. Human wayfinding in unfamiliar buildings: A simulation with a cognizing agent [J]. *Cognitive Processing*, 2001, 23: 363—388.
- [21] Hoogendoorn S P, Bovy P H L. Pedestrian route-choice and activity scheduling theory and models [J]. *Transportation Research Part B*, 2004, 38: 169—190.
- [22] Daamen W, Bovy P H L. Level changes in railway stations [C]. *Transportation Research Board Annual Meeting*, 2005.
- [23] Kitamura R, Chen C, et al. Micro-simulation of daily activity-travel patterns for travel demand forecasting [J]. *Transportation*, 2000, 27: 25—51.
- [24] Stretz P. TRANSIMS research highlights: Portland activity generation [C]. 80th Annual Transportation Research Board Meeting, Washington D.C., 2001.
- [25] Arentze T A, Timmermans H J P. Measuring the goodness-of-fit of decision-tree models of discrete and continuous activity-travel choice: Methods and empirical illustration [J]. *Journal of Geographical Systems*, 2003, 5(2): 185—206.
- [26] Thalmann D, Musse S R. *Crowd Simulation* [M]. London: Springer-Verlag London Limited, 2007: 119—122.
- [27] Wooldridge M J, Jennings N R. *Agent theories, architectures, and languages: A survey* [A]// *Intelligent Agents* [M]. Berlin: Springer, 1995: 1—39.
- [28] 王红卫. 建模与仿真 [M]. 北京: 北京科学技术出版社, 2002: 195—196.
- [29] Iglesias C A, Garijo M, Jos'e C, et al. A survey of agent-oriented methodologies, intelligent agent, agent theories [A]// *Architectures, and Languages* [M]. Berlin: Springer, 1998: 330—343.
- [30] Moulin B, Brassard M. A scenario-based design method and an environment for the development of multi-agent systems [A]// Lukose D, Zhang C. *First Australian Workshop on Distributed Artificial Intelligence*. Heidelberg: Springer-Verlag, 1996: 216—231.
- [31] Macal C M, North M J. Tutorial on agent-based modeling and simulation [C]. *Proceeding of the 2005*

- Winter Simulation Conference, 2005.
- [32] Reynald N A. Agent-based Approaches to Pedestrian Modelling [D]. Melbourne: University of Melbourne, 2007.
- [33] Pan X, Han C S, Dauber K, et al. A multi-agent based framework for simulating human and social behaviors during emergency evacuations [C]. Social Intelligence Design, Stanford, 2005; 24—26.
- [34] Still G K. Crowd Dynamics [D]. Coventry: Mathematics Department, Warwick University, 2000.
- [35] Sunge M, Gleicher M, Chenney S. Scalable behaviors for crowd simulation [J]. Eurographics, 2004, 23(3).
- [36] Isaac R, et al. Fragment shaders for agent animation using finite state machines [J]. Simulation Modelling Practice and Theory, 2005, 13: 741—751.
- [37] Kisko T M, Francis R L, Nobel C R. EVACNET4 User's Guide [M]. Florida: University of Florida, 1998.
- [38] Cheung C Y, Lam W H K. Pedestrian route choices between escalator and stairway in MTR stations [J]. ASCE Journal of Transportation Engineering, 1998, 124: 277—285.
- [39] Huang H J, LAM W H K. A stochastic model for combined activity destination route choice problems [C]. Annals of Operations Research, 2005; 111—125.
- [40] 张培红, 陈宝智. 火灾时人员疏散的行为规律 [J]. 东北大学学报(自然科学版), 2001, 22(1): 54—57.
- [41] Yang L Z, Fang W F, Li J, et al. Cellular automata pedestrian movement model considering human behavior [J]. Chinese Science Bulletin, 2003, 48(16): 1695—1699.
- [42] 宋卫国, 于彦飞, 陈涛. 出口条件对人员疏散的影响及其分析 [J]. 火灾科学, 2003, 12(2): 100—104.
- [43] 曲昭伟, 周立军, 王殿海. 城市信号交叉口自行车及行人到达与释放规律 [J]. 公路交通科技, 2004, 21(8): 93—94.
- [44] 陈然, 董力耘. 中国大都市行人交通特征的实测和初步分析 [J]. 上海大学学报, 2005, 11(1): 93—97.
- [45] 裴玉龙, 冯树民. 城市行人过街速度研究 [J]. 公路交通科技, 2006, 23(9): 104—107.
- [46] 陈鹏. 基于多智能主体的人群流动形态动态模拟研究 [D]. 上海: 同济大学, 2006.
- [47] 李得伟. 城市轨道交通枢纽乘客集散模型及微观仿真理论 [D]. 北京: 北京交通大学, 2007.
- [48] 赵光华. 行人仿真在奥运地铁站的应用研究 [D]. 北京: 北京工业大学, 2007.
- [49] 史建港. 大型活动行人交通特性研究 [D]. 北京: 北京工业大学, 2007.
- [50] 于彦飞. 人员疏散的多作用力元胞自动机模型研究 [D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2008.
- [51] 美国公共交通通行能力和服务质量手册 [M]. 杨晓光, 滕靖, 等译. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.

第 2 章 复杂适应系统仿真建模理论与方法

2.1 系统建模方法及仿真策略概述

2.1.1 基本概念

1. 系统、建模与仿真

系统是由互相联系、互相制约、互相依存的若干组成部分或要素结合在一起,形成的具有一定功能和运动规律的整体。实体、属性和活动是系统的三大要素。系统通常并不是孤立存在的,自然界中任何一个系统都将会受到系统之外因素的影响,这些外界因素称为系统的环境。因此在对一个系统进行分析时,需要考虑系统的环境,这也意味着首先要对系统边界进行界定,而系统边界的界定主要依赖于研究系统(问题)的目的。

模型是一个系统的物理的、数学或其他语言的逻辑表述,以某种确定的形式(实体、符号、图文等)描述系统的知识。建模与仿真是指构造现实世界中实际系统的抽象模型并在计算机上进行模型分析,以达到对实际系统或活动本质的实现的有关研究活动。系统建模与仿真研究活动涉及三个要素:实际系统、系统模型和计算机(以及效应器等),三者之间的关系如图 2.1 所示。

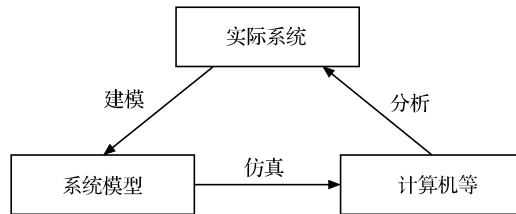


图 2.1 系统建模与仿真活动及其要素关系图

其中,建模过程主要任务是研究实际系统的元素、功能与结构,在把握主要矛盾和因素的基础上,使用数学方法对系统功能与结构进行抽象并描述系统行为。仿真阶段研究系统的数学模型如何在计算机上实现,分析过程指通过系统模型在计算机上的仿真与数据输出,基于相似原理研究实际系统的状态演化过程^[1]。