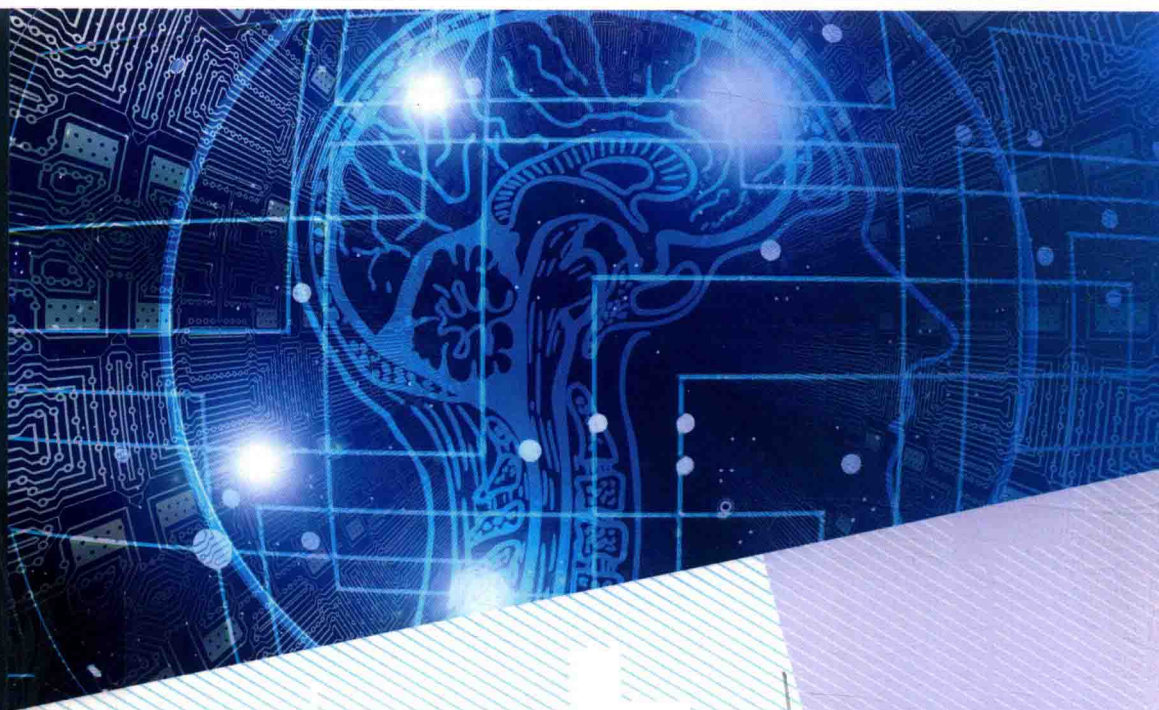


智能

科/学/技/术/著/作/丛/书

基于人工智能的行人流 模拟与仿真

李 军 著



科学出版社

智能科学技术著作丛书

基于人工智能的行人流 模拟与仿真

李 军 著



科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书探讨基于元胞自动机、增强学习和智能计算等人工智能方法在行人建模与仿真方面的应用。全书共5章,第1章系统讨论行人行为建模和行人仿真;第2章和第3章讨论基于元胞自动机理论的行人流仿真,分别讨论交织区行人流和大型商场行人疏散的问题;第4章讨论基于增强学习的行人流仿真;第5章讨论基于智能计算的行人流模拟。各章分别列出了详尽的参考文献,附录还详细列出了基于元胞自动机的行人流模拟程序。

本书可供高等学校从事交通规划与管理、人工智能与计算机科学、信息科学与工程等相关专业的师生及科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

基于人工智能的行人流模拟与仿真/李军著. —北京:科学出版社,2018.7
(智能科学技术著作丛书)

ISBN 978-7-03-058218-8

I. ①基… II. ①李… III. ①行人-交通系统-系统仿真 IV. ①U491.2-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 141848 号

责任编辑:张海娜 赵微微 / 责任校对:何艳萍

责任印制:张 伟 / 封面设计:十样花

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>

北京教图印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018年7月第 一 版 开本:720×1000 B5

2018年7月第一次印刷 印张:13 1/4

字数:267 000

定价:90.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《智能科学技术著作丛书》编委会

名誉主编：吴文俊

主 编：涂序彦

副 主 编：钟义信 史忠植 何华灿 何新贵 李德毅 蔡自兴 孙增圻
谭 民 韩力群 黄河燕

秘 书 长：黄河燕

编 委：（按姓氏汉语拼音排序）

蔡庆生（中国科学技术大学）

蔡自兴（中南大学）

杜军平（北京邮电大学）

韩力群（北京工商大学）

何华灿（西北工业大学）

何 清（中国科学院计算技术研究所）

何新贵（北京大学）

黄河燕（北京理工大学）

黄心汉（华中科技大学）

焦李成（西安电子科技大学）

李德毅（中央军委联合参谋部第六十一研究所）

李祖枢（重庆大学）

刘 宏（北京大学）

刘 清（南昌大学）

秦世引（北京航空航天大学）

邱玉辉（西南大学）

阮秋琦（北京交通大学）

史忠植（中国科学院计算技术研究所） 孙增圻（清华大学）

谭 民（中国科学院自动化研究所） 谭铁牛（中国科学院自动化研究所）

涂序彦（北京科技大学）

王国胤（重庆邮电学院）

王家钦（清华大学）

王万森（首都师范大学）

吴文俊（中国科学院数学与系统科学研究院）

杨义先（北京邮电大学）

于洪珍（中国矿业大学）

张琴珠（华东师范大学）

赵沁平（北京航空航天大学）

钟义信（北京邮电大学）

庄越挺（浙江大学）

作者简介



李军,1974年10月生,工学博士,吉林财经大学副教授,九三学社社员,吉林省互联网金融重点实验室成员,吉林大学量化金融研究中心研究员,中国计算机学会会员。1997年毕业于吉林大学计算数学专业,获理学学士学位。2004年6月毕业于吉林大学计算机软件与理论专业,获工学硕士学位。2011年6月毕业于吉林大学计算机软件与理论专业,获工学博士学位。吉林大学交通运输规划与管理博士后。2013年12月至2014年12月受国家留学基金

资助到美国罗德岛大学电气工程学院,从事博士后访问学者研究工作。主要研究方向为机器学习、大数据技术、交通人流分析。精通 Python 语言、MATLAB 语言下的数据分析与挖掘。主持完成吉林省科技发展计划项目 1 项(自然科学基金项目,20140101199JC),横向合作项目 5 项。参与国家自然科学基金面上项目 3 项(51378076,51278221,60373097)、吉林省科技发展计划项目 2 项,公安部应用创新计划项目 1 项,其他省部级项目 4 项。发表学术论文 40 余篇,其中 SCI、EI 检索论文 16 篇。参编专著及国家级教材共 4 部。

《智能科学技术著作丛书》序

“智能”是“信息”的精彩结晶,“智能科学技术”是“信息科学技术”的辉煌篇章,“智能化”是“信息化”发展的新动向、新阶段。

“智能科学技术”(intelligence science & technology, IST)是关于“广义智能”的理论方法和应用技术的综合性科学技术领域,其研究对象包括:

- “自然智能”(natural intelligence, NI),包括“人的智能”(human intelligence, HI)及其他“生物智能”(biological intelligence, BI)。

- “人工智能”(artificial intelligence, AI),包括“机器智能”(machine intelligence, MI)与“智能机器”(intelligent machine, IM)。

- “集成智能”(integrated intelligence, II),即“人的智能”与“机器智能”人机互补的集成智能。

- “协同智能”(cooperative intelligence, CI),指“个体智能”相互协调共生的群体协同智能。

- “分布智能”(distributed intelligence, DI),如广域信息网、分散大系统的分布式智能。

“人工智能”学科自1956年诞生以来,在起伏、曲折的科学征途上不断前进、发展,从狭义人工智能走向广义人工智能,从个体人工智能到群体人工智能,从集中式人工智能到分布式人工智能,在理论方法研究和应用技术开发方面都取得了重大进展。如果说当年“人工智能”学科的诞生是生物科学技术与信息科学技术、系统科学技术的一次成功的结合,那么可以认为,现在“智能科学技术”领域的兴起是在信息化、网络化时代又一次新的多学科交融。

1981年,“中国人工智能学会”(Chinese Association for Artificial Intelligence, CAAI)正式成立,25年来,从艰苦创业到成长壮大,从学习跟踪到自主研发,团结我国广大学者,在“人工智能”的研究开发及应用方面取得了显著的进展,促进了“智能科学技术”的发展。在华夏文化与东方哲学影响下,我国智能科学技术的研究、开发及应用,在学术思想与科学方法上,具有综合性、整体性、协调性的特色,在理论方法研究与应用技术开发方面,取得了具有创新性、开拓性的成果。“智能化”已成为当前新技术、新产品的发展方向和显著标志。

为了适时总结、交流、宣传我国学者在“智能科学技术”领域的研究开发及应用成果,中国人工智能学会与科学出版社合作编辑出版《智能科学技术著作丛书》。需要强调的是,这套丛书将优先出版那些有助于将科学技术转化为生产力以及对社会和国民经济建设有重大作用和应用前景的著作。

我们相信,有广大智能科学技术工作者的积极参与和大力支持,以及编委们的共同努力,《智能科学技术著作丛书》将为繁荣我国智能科学技术事业、增强自主创新能力、建设创新型国家做出应有的贡献。

祝《智能科学技术著作丛书》出版,特赋贺诗一首:

**智能科技领域广
人机集成智能强
群体智能协同好
智能创新更辉煌**

涂序彦

中国人工智能学会荣誉理事长

2005年12月18日

前 言

AlphaGo 战胜人类棋手以及深度学习的研究成果,掀起了人工智能研究的又一次热潮。作为人工智能方法的元胞自动机、增强学习和智能计算等方法,在行人建模与仿真方面也得到了广泛应用。

本书内容共 5 章,分别介绍如下。

第 1 章:总论。讨论行人行为、行人建模、行人仿真、避碰策略和疏散等问题。

第 2 章:基于元胞自动机模型的扩展交织区行人流线分析。讨论扩展交织区行人流线问题,利用基于背景场的元胞自动机模型模拟行人交织区的现象。

第 3 章:基于元胞自动机和事件驱动模型的商场疏散仿真。研究商场大规模行人疏散问题;给出一种系统化方法,该方法基于具有动态背景场的元胞自动机模型和事件驱动模型,可以应用于大规模人群疏散问题研究。本章以案例研究的形式,给出大型商场行人疏散的模拟。

第 4 章:基于增强学习的行人流仿真。描述增强学习的基本原理,并讨论增强学习在行人模拟中的应用。

第 5 章:基于智能计算的行人流模拟。描述粒子群算法的基本原理,并给出粒子群算法在行人移动和行人疏散中的应用。

附录中详细列出了基于元胞自动机的行人流模拟程序,这些程序基于 MATLAB 语言实现。

本书是作者在吉林大学交通学院从事博士后研究工作期间与导师贾洪飞教授共同努力取得的成果,并由国家自然科学基金面上项目“基于可靠性的综合客运枢纽内部大客流组织方法研究”(51378076)和吉林财经大学博士基金项目“基于大数据的行人出行行为分析”(2016B22)提供资助。作者参与了贾洪飞教授主持的国家自然科学基金面上项目“基于行人流线网络的轨道交通枢纽客流-设施协同管控方法研究”(51278221)以及李延忠教授主持的国家自然科学基金面上项目“基于可靠性的综合客运枢纽内部大客流组织方法研究”(51378076)的研究,在此表示感谢。从事博士后研究工作期间,作者与吉林大学唐明、李永行、原之路等博士针对大型交通枢纽内部的行人流线问题充分探讨,受益匪浅,在此向他们表示衷心的感谢。在美国罗德岛大学访学期间,何海波教授在科研方面的指导使作者受益良多;其间,与严俊、唐宇飞、唐波、王景、傅思遥、倪振、钟向楠等博士的科研探讨,使作者在科学研究的方法上得到了提升,在此也向他们表示衷心的感谢。

感谢父母给予的无私的爱,感谢爱人董元方博士和儿子乐乐的理解和支持,是

他们让这条科研之路充满欢乐与收获。

吉林财经大学管理科学与信息工程学院的领导在作者的科研工作上给予了大力支持。吉林大学博士生导师李雄飞教授引领作者开展机器学习领域的研究工作,长春理工大学李懋和教授、赵鸣霖教授、张衡教授也一直是作者学习的榜样。在此也向他们表示感谢。

谨以此书纪念李延忠教授,感谢他多年来的信任、指导和鼓励。

在本书的撰写过程中,作者参考了大量国内外相关文献,在此向文献的作者表示衷心的感谢。

希望本书起到抛砖引玉的作用,相信计算机科学与交通科学领域的专家学者相互交流,触发研究灵感,一定能取得更丰硕的研究成果。限于作者水平,本书难免存在不妥之处,希望读者不吝指正。

李 军

2018年2月于吉林财经大学

目 录

《智能科学技术著作丛书》序

前言

第 1 章 总论	1
1.1 行人行为	1
1.1.1 正常行为	1
1.1.2 恐慌状态下的行为	2
1.2 行人建模与仿真	2
1.3 行人建模	3
1.3.1 行人动力学宏观特性	3
1.3.2 行人动力学微观特性	5
1.3.3 现有行人模型分类	5
1.3.4 离散选择模型	6
1.3.5 元胞自动机模型	7
1.3.6 排队论模型	9
1.3.7 基于导航的模型	10
1.3.8 流体动力学模型	11
1.3.9 社会力模型	12
1.3.10 基于智能主体的模型	13
1.3.11 基于优化的模型	14
1.3.12 人群的建模	17
1.4 行人仿真	18
1.5 避碰策略	18
1.5.1 行人避碰	18
1.5.2 机器人和行人避碰	19
1.6 疏散	20
1.6.1 疏散标准	20
1.6.2 疏散模型分类	21
1.6.3 疏散模型比较	22
参考文献	25

第2章 基于元胞自动机模型的扩展交织区行人流线分析	33
2.1 交织区	33
2.2 交织区设置方式	34
2.3 基于背景场和行人行走习惯的元胞自动机模型	35
2.3.1 背景场	35
2.3.2 局部运动规则	37
2.3.3 靠右行走倾向	38
2.4 行人流实验及数值仿真	39
2.4.1 单一交织区情形下的行人流仿真	39
2.4.2 扩展交织区情形下的行人流仿真	40
2.4.3 单一交织区与扩展交织区的比较	42
2.4.4 两个瓶颈间隔的影响	44
2.5 结论	45
参考文献	45
第3章 基于元胞自动机和事件驱动模型的商场疏散仿真	48
3.1 简介	48
3.2 行人疏散相关研究	49
3.3 仿真模型	50
3.3.1 仿真方法概述	50
3.3.2 仿真场景	50
3.3.3 系统事件	52
3.3.4 模型表达	53
3.3.5 移动模式	55
3.4 背景场的形成	56
3.4.1 静态背景场	56
3.4.2 动态背景场	59
3.4.3 局部运动规则	60
3.5 仿真结果	61
3.5.1 仿真算法流程图	61
3.5.2 购物场景	62
3.5.3 顾客流量变化	62
3.5.4 顾客购物时间分布图	63
3.5.5 紧急疏散场景	64
3.5.6 疏散时间及出口宽度的影响	64
3.5.7 疏散时间及人数的关系	65

3.5.8 多出口场景	65
3.6 结论	67
参考文献	68
第4章 基于增强学习的行人流仿真	72
4.1 增强学习要素	72
4.2 Agent-环境接口	73
4.3 目标设置和如何达到目标	74
4.4 马尔可夫决策过程	74
4.5 值函数	75
4.6 增强学习在行人流仿真中的应用	77
参考文献	78
第5章 基于智能计算的行人流模拟	80
5.1 粒子群优化	80
5.1.1 粒子群算法起源	80
5.1.2 粒子群算法基本思想	81
5.1.3 粒子群算法流程	82
5.2 基于粒子群优化的行人流模拟	82
5.2.1 利用粒子群控制计算机图形学中的行人移动	82
5.2.2 基于粒子群算法预测行人疏散时间	84
参考文献	87
附录	89

第 1 章 总 论

行人行为及行人动力学的建模与仿真有必然的联系,但是,其兴趣点不同。行人建模专注于调整模型,以便模型反映出由实际行人研究中收集的数据;行人仿真的主要目的是重现行人的自然行为。尤其随着计算机图形学的发展,尽管两者存在不同,但是经常同时出现。在验证行人模型时,可以使用具有物理学定律和特定需求的虚拟环境。在这种真实环境中可以检查行人模型是否真实地生成了实际行人移动的特性。另外,城市环境仿真需要对城市中的行人进行建模,以便使其更具有真实性。近年来,随着新一代视频游戏和计算机图形学在工业界的广泛应用,行人建模和行人仿真的需求越来越广泛。

被仿真的行人需要具有自治性和对场景的感知性。仿真模型不仅需要具有再现行人移动的能力,还需要具有反映行人心理活动的能力,如决策和意识等。

本章讨论行人建模和行人仿真的主要方法。

1.1 行人行为

尽管人类行为非常复杂,但通过行走方式可以观察到行人行走表现出的基本模式。

1.1.1 正常行为

基于对行人行走的观察,可以得到如下结论。

(1) 行人对绕道(taking detour)或向相反方向行走(moving opposite)具有很强的反感,即使直接路线(direct route)人群拥挤。行人通常选择能够尽快到达下一目的地的多边形路线(polygon route)。如果可选的路线有多条,则行人会倾向于能够尽量直线行走的那一条路线。这一基本原则称为最小力原则(least effort principle),也就是说,行人倾向于在付出尽可能少的能量下尽快到达目的地。

(2) 行人倾向于按照自己的期望速度(individual desired speed)行走,以便既能准时到达目的地,又不至于走得过快,也就是采用使自己更舒适的方式,尽量减少能量消耗(least energy consuming)。人群的这个期望速度(desired speed within pedestrian crowds)的分布属于均值为 1.34m/s 、方差为 $0.26(\text{m/s})^2$ 的高斯分布。

(3) 行人与其他行人和边界(街道、墙和障碍物等)保持一定距离,可以称之为个人舒适区域(personal comfort zone)。这一距离随着行人密度的增加而下降。

例如,在站台、大厅、广场和海滩等场所,行人通常比较均匀地分布于可利用区域。行人密度(density of pedestrians)在特定小的区域会增加。例如,互相认识的人会形成小的组(group),组的规模(group size)服从泊松分布(Poisson distribution)。

(4) 行人在相向行走通过狭窄的过道(hallway)时,相向行人间会尽量避免冲突,因此行人会形成航道(lane formation),从而使行人能以较快速度通过,并避免与对向行人的冲突。

(5) 不同方向的行人通过瓶颈时,会出现振荡(oscillation)现象,当一方行人通过瓶颈时,其密度降低,直到另一方密度过高,并形成足够的力(force),使其能够通过瓶颈,此时,瓶颈处的行进方向改变^[1]。

1.1.2 恐慌状态下的行为

当行人面对紧急情况时(例如,人群抢最佳座位,顾客因商家促销引起快速行进等),正常情况下的很多行为不再保持。紧急情况下,行人呈现以下行为特征。

(1) 期望速度提高。

(2) 行人过于紧张,会更少考虑舒适区域,以及疏于发现更方便和更短的路线。例如,当处于紧急情况下的行人要离开建筑物时,如果其对建筑物结构不熟悉,则将向通常使用的出口行走,即便有更近或更安全的出口可以利用^[2]。

(3) 紧急情况下的行人有可能形成聚集(herding)和簇拥(flocking)行为,并且由于密度过大,行人会出现推挤(pushing)或其他身体接触。

(4) 紧急情况下,行人的期望速度比通常情况下高,这对行人流(pedestrian flow)模式的形成有很大影响。当大量行人以较高期望速度通过较小的门时,会出现拱形现象(arching phenomena)。门附近出现拥堵(clogged),行人间试图同时通过瓶颈,反而引起速度的降低,逐渐到达的行人在门附近形成拱形。这种情况通常会延长疏散时间,并有可能引起行人间的伤害。研究表明,这种现象可以通过在出口处放置障碍物(如柱子)的方式缓解。

(5) 在紧急情况下,当行人紧张并感到慌乱时,行人会出现从众跟随现象,这有可能使疏散更快,但是如果处于引领的行人并不十分清楚建筑物结构,反而会影响疏散^[2]。

1.2 行人建模与仿真

关于行人群的实证研究首先由心理学家 Le Bon 在 19 世纪提出。Le Bon 在其著作《乌合之众》中,从心理学角度研究了人群,特别是从属关系,人群中的个体特性是潜在的,而群体的集体共性心理占主导地位。这种集体共性心理具有一致

性、情绪化和理性上的欠缺的特点。1958年, Hankin 和 Wright 对地铁内的行人流进行了研究。1968年, Older 对商业街的徒步行人移动进行了研究。最初使用的评估方法基本上是基于直接的观察、图像和延时的影像。20世纪70年代后, 行人研究获得较大的进展, 在这一时期, 出现了第一个有数据支持的研究工作, Fruin 分析了服务水平(level of service, LOS)的概念, Pauls 研究了建筑物内的疏散问题, Templer 研究了楼梯上的行人移动, Predtechenskii 和 Milinskii 研究了移动手机的数据, 并给出了表达人群的解析公式。

20世纪80年代, 关于行人的研究分成两个不同的分支: 一个是关注单个行人移动、群体移动的分析与建模, 主要借助视频和闭路电视进行图像分析。这一分支在设计行人设施、计算通行能力、机场和地铁站出口辅助设施设置, 以及紧急和疏散路径规划分析等工程中有直接应用。这一分支关注由模型产生的数据与实际行人的数据间的关系。另一个是作为计算机图形学的发展, 对行人进行计算机图形学上的仿真, 实现虚拟行人。这一分支在虚拟场景、视频游戏、训练系统和教育系统等方面有广泛用途。这一分支关注单个主题行为与实际行人行为的相似性。

1.3 行人建模

行人出行具有各自的偏好、意图和目的地, 行人流的动态特性很难预测。行人在移动过程中, 会受到彼此间的影响, Helbing 等研究了行人运动的自组织现象^[3]。由于影响因素众多, 关于行人动力学特性的刻画具有一定难度。与其他位移模型相比, 行走与交通工具无关, 人行道、楼梯、电梯、交叉路口、商场等潜在的辅助设施具有高度的相异性, 信号灯、树木、公共设施、广告牌、商场橱窗等环境因素对行走也有影响。另外, 风、雨、雪等气象条件也对行走有影响。这些因素的综合影响使得行人行走建模具有很高难度。行人行走建模还需要考虑人群中老年人和儿童的比例等人口因素和社会学因素。另外, 单独行走和在人群中的行走有明显的区别。在人群中的行人行走速度和方向会受到其他人的影响, 这种影响是非单调的。实际上, 在特定的城市环境, 如商业街等, 行走速度与人群的规模有很大关系。另外, 心理学和文化习惯也会对行人行走产生影响。

基于以上诸多原因, 不可能给出一个单一的行人动力学模型。下面对主要的行人动力学模型, 按照宏观和微观分类介绍。

1.3.1 行人动力学宏观特性

从宏观角度对行人移动的分析主要使用流量、平均速度和区域等, 这种分析方法借鉴了车辆交通研究, 不考虑行人间的直接影响。

1. Fruin 关于服务级别的定义

Fruin 研究了宏观行人特性,其最大的贡献在于提出服务水平概念,该概念最初定义为公共集会场所安全性的准则。Fruin 基于宏观量级定义了不同的行人移动舒适程度。每一个服务水平表示一个操作条件的范围,水平 A 表示最佳操作水平,而水平 F 表示最差操作水平。行人服务水平的确定准则基于客观参数(如速度和平均可用空间等)以及主观参数(如行人通过行人流的能力)。表 1.1 给出的是 Fruin 定义的不同类型设施服务水平等级的人均占有面积标准。

表 1.1 Fruin 定义的不同类型设施服务水平等级标准 (单位: $\text{m}^2/\text{人}$)

服务水平	A	B	C	D	E	F
人行道	>3.25	$3.25 \sim 2.32$	$2.32 \sim 1.39$	$1.39 \sim 0.93$	$0.93 \sim 0.46$	<0.46
楼梯	>1.85	$1.85 \sim 1.39$	$1.39 \sim 0.93$	$0.93 \sim 0.65$	$0.65 \sim 0.37$	<0.37
队列区	>1.21	$1.21 \sim 0.93$	$0.93 \sim 0.65$	$0.65 \sim 0.28$	$0.28 \sim 0.19$	<0.19

Fruin 将上述数据应用于正常条件下的城市街头等城市环境。在其他环境下,这些数据不能充分描述现实场景。例如,Still 发现对于 Wembley 体育场出口的人群环境,其密度高于在无约束条件下移动的人群(即 Fruin 得到的数据)。

行人服务水平是评价行人通行能力和舒适程度的有效方法,同时,也为在理论上估算行人设施的尺寸和数量提供了依据。

2. 行人动力学的基本图

Predtechenskii 和 Milinskii 对行人流的宏观参数进行了研究,认为行人流的速度不仅与密度有关,还与路径的类型以及移动发生的条件相关。行人移动的基本图的描述能力起到重要作用,Predtechenskii 和 Milinskii 设计了在不同环境下(紧急、正常和舒适条件),不同场景和路径(水平路径、台阶上行、台阶下行、开放区域)下的基本图。学者对基本图进行了深入研究,Weidmann 使用了 25 种不同条件下的行人研究构成其基本图,其研究成果在规划研究中用于评估设施的通行能力。

在平面设施中的行人基本图具有如下特性。

(1) 随着密度升高,速度将降低,尽管其关系呈现非平凡形式。

(2) 图中有若干重要的点,这些点表现了行人流的动力学特性。设施的通行能力直接由最大行人流/密度曲线定义。自由流速度与平均最大速度对应。临界密度对应于无约束自由行走的下界。堵塞密度对应于速度为零的点。

(3) 可以用经验解析公式描述行人基本图,通常称为 Kladek 公式:

$$v_a(D) = v_f \left\{ 1 - \exp \left[-\gamma \left(\frac{1}{D} - \frac{1}{D_{\max}} \right) \right] \right\}$$

其中, γ (单位: m^{-2}) 是自由参数, v_f (单位: m/s) 是自由流速度, D (单位: m^{-2}) 是实际密度, $D_{\max}$ (单位: m^{-2}) 是无流动时的密度。实证研究表明, 当 $\gamma = 1.913\text{m}^{-2}$, $v_f = 1.34\text{m/s}$, $D_{\max} = 5.4\text{m}^{-2}$ 时, 可以得到理想结果, 尽管其受到实验条件的影响。

(4) 前后行人间距 (net-time headway) 定义为

$$\hat{T} = \hat{D}/v = \left[\frac{1}{\sqrt{D}} - \frac{1}{\sqrt{D_{\max}}} \right] / v$$

(5) 基本图在密度小于 0.2m^{-2} 及大于 4m^{-2} 时变化显著。在低密度时, 行人自由地选择自己的移动速度。在高密度时, 堵塞和聚集发生, 在个别环境下, 行人流可能出现骚乱和混乱。

除了这些共性, 在不同的物理环境和交通环境下, 基本图的形态和特征参数也有所不同。水平面、楼梯和瓶颈处都有其特定的基本图, 以及特定的交通流运行特征。

1.3.2 行人动力学微观特性

行人动力学微观特性以个体为研究对象。行人的微观特性包括个体步频和步幅、速度、加速度、个体间距、位置、互动和运动轨迹等。

步频是行人行走时的步数频率, 步数为步行者在单位时间内两脚着地的次数。行人的步频主要受行人出行目的、天气情况、携带行李、步行设施、周围行人速度等因素的影响。步幅是指行人行走时每跨出一步的长度。步幅的分布区间受性别、年龄、行人心理状况、身体条件等行人个体属性因素的影响。速度是描述行人交通状态的一个基本参数, 是指行人在单位时间内行走的距离, 通常称其为个体速度, 以避免与行人交通流的速度混淆。个体速度还可以细分为期望速度、最高速度、限制速度和实际速度。也可以从物理学角度, 将个体速度细分为瞬时速度和平均速度。加速度是单位时间内个体速度的增加量。个体间距是指行人在行走时, 与各个方向行人保持的距离。个体间距与行人的静态空间需求、动态空间需求有一定联系。位置是个体空间信息的量化描述。互动是不同个体之间在行进过程中的相互作用。运动轨迹是大量行人微观行为的综合结果, 运动轨迹从形态上反映了行人的集体行为。

1.3.3 现有行人模型分类

对于行人建模, 有不同的分类依据: 空间表示、群体表示、群体行为表示、目的和实用性等。其中, 可以根据群体表示, 将模型分为宏观模型和微观模型, 这种划分被很多行人交通软件采用。不同种类模型之间的区别在于组成个体控制动力学参数的方式不同。

宏观模型专注于个体空间分配, 个体没有改变其动力学参数 (速度、方向) 或控