



# 行人交通安全

——基于视频检测和元胞自动机的人群疏散机理研究

朱 诺 / 著



东北林业大学出版社  
Northeast Forestry University Press



# 行人交通安全

——基于视频检测和元胞自动机的人群疏散机理研究

XINGREN JIAOTONG ANQUAN

——JIYU SHIPIN JIANCE HE YUANBAO ZIDONGJI DE RENQUN SHUSAN JILI YANJIU

朱 诺 / 著

东北林业大学出版社  
Northeast Forestry University Press

• 哈尔滨 •

版权专有 侵权必究

举报电话：0451 - 82113295

---

图书在版编目 (CIP) 数据

行人交通安全：基于视频检测和元胞自动机的人群疏散  
机理研究 / 朱诺著. — 哈尔滨：东北林业大学出版社，2016. 12

ISBN 978 - 7 - 5674 - 1008 - 4

I. ①行… II. ①朱… III. ①行人—交通运输安全—  
研究 IV. ①U491.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 015618 号

---

责任编辑：赵 侠 姚大彬

封面设计：宗彦辉

出版发行：东北林业大学出版社

(哈尔滨市香坊区哈平六道街6号 邮编：150040)

印 装：三河市天润建兴印务有限公司

开 本：710 mm × 1 000 mm 1/16

印 张：11.75

字 数：160千字

版 次：2017年10月第1版

印 次：2017年10月第1次印刷

定 价：49.90元

# 前 言

在各种交通方式中，步行可以独立地成为一种交通方式，并且构成各类交通出行的两端环节。在大型活动的场所里，人们一般采用步行的方式参与活动，各类设施都要满足行人行走的需要，行走的服务水平直接关系到活动的质量。因此，通过基于行人微观特征的宏观疏散行人流的研究，建立微观特征与宏观特征之间的联系，探索不同环境下不同行人流的特征和现象，是人群疏散研究的重点和热点，同时具有重要的理论意义，为行人的安全疏散和建筑物的整体结构合理化设计提出宝贵的方案。因此，本书从行人视频检测方法的研究、正常情况下的人群疏散模型研究和紧急情况下的人群疏散模型研究三个方面进行阐述。

第一，本书根据不同的交通状态，提出了低密度情况下基于行人运动的检测方法和高密度情况下基于人头的视频检测方法。在低密度状态下提出了基于行人运动的检测方法：从改进权值参数和控制方差两个方面对传统的高斯模型（GMM）进行了改进，有效地减少了由于交通冲突使得运动前景融入背景模型的可能；建立了基于 Kalman 滤波和 Mean-Shift 算法的目标跟踪方法，改进了多个运动目标相互合并或分离时的处理方法；通过 BP 神经网络对运动个体进行分类，进而得到行人的运动信息。在高密度状态下提出了基于人头的行人检测方法，提出了基于头发颜色在 RGB 和 HSV 颜色空间、脸部颜色



在 YUV 颜色空间的混合颜色模型进行头部区域检测；建立了基于 Canny 算法与小波变换的人头轮廓提取方法，实现对人头轮廓的提取；根据 Hough 变换提出了基于人头图像的圆环检测方法，对人头进行精确定位并统计行人流量。最后，通过实际的实验分析，验证了所提出的高、低密度状态下行人视频的检测方法的有效性和先进性。

第二，在对正常情况下的人群疏散模型研究中，本书建立了基于元胞自动机的动态参数模型。在传统的动态参数模型的基础上引入了感知参数，用来描述出口附近的行人密度对行人疏散路径和出口选择的影响，通过用不同的行人分布状态与以往模型进行比较，模拟结果证明这种改进是有效的，因为在对于门的选择上，除了对空间距离的要求以外，密度也是一个很重要的影响因素。本书分别对无障碍情况下和有阻碍情况下的人群疏散进行了研究：对于无障碍情况下的人群疏散，本书分别研究了安全出口的最佳位置，以及单个门和多个门的布局对疏散时间的影响，并对模型参数进行了最优选取，描述了疏散时间、系统规模、行人密度、出口宽度之间的关系；对于有阻碍情况下的人群疏散，本书考虑了障碍物布局对疏散时间的影响，同时考虑当障碍物发生位置移动时对疏散时间的影响，分析了障碍物移动时间、疏散时间、行人密度之间的相互关系。与此同时，为了验证所建模型的可靠性和实用性，本书进行了相应的实际疏散实验，通过本书所提出的视频检测方法和模型模拟的比较分析，发现模型的模拟过程与实际疏散过程基本相符。

第三，在对紧急情况下的人群疏散模型研究中，本书从视线受影响情况下的人群疏散、存在挤压情况下的人群疏散及发生火灾情况下的人群疏散三个方面来对紧急情况下的人群疏散模型进行研究。针对视线受影响的情况，本书从无疏散标志的从众疏散和有疏散标志的沿墙疏散两个角度进行了研究，引入了行人视野半径的概念，并分析了



行人视野半径、行人密度、出口宽度对疏散时间的影响；针对发生挤压的情况，本书构建了元胞容量可变的 CA 模型，模型从方向参数和从众参数两个方面进行了考虑，分析了出口宽度、系统规模、行人密度与疏散时间的关系；针对发生火灾的情况，本书建立了火灾发生情况下存在挤压的人群疏散模型，模型考虑了火灾的发生对系统的领域值和行人疏散行为的影响，分析了火灾蔓延时间、出口宽度、行人密度、系统规模与死亡人数的关系。最后，本书仿真了三种情况下的行人疏散过程，从疏散模拟图来看，模型和更新规则较为合理并符合实际。

# 目 录

<b>1</b>	<b>绪论</b>	<b>1</b>
1.1	研究背景	1
1.2	研究的目的和意义	4
1.3	国内外研究现状	6
1.4	研究的内容和方法	14
1.5	框架结构	18
1.6	本章小结	20
<b>2</b>	<b>行人视频检测与人群疏散模型的基础理论</b>	<b>21</b>
2.1	行人视频检测的基础理论	21
2.2	元胞自动机的基础理论	28
2.3	人群疏散模型的基础理论	34
2.4	本章小结	47
<b>3</b>	<b>行人视频检测方法的研究</b>	<b>48</b>
3.1	行人运动的基本特征	49
3.2	低密度状态下行人视频检测方法的研究	52



3.3	高密度状态下行人视频检测方法的研究 .....	63
3.4	本章小结 .....	75
<b>4</b>	<b>正常情况下的人群疏散模型 .....</b>	<b>76</b>
4.1	无障碍情况下人群疏散模型 .....	77
4.2	有障碍情况下人群疏散模型 .....	114
4.3	本章小结 .....	128
<b>5</b>	<b>紧急情况下的人群疏散模型 .....</b>	<b>130</b>
5.1	视线受影响情况下的人群疏散模型 .....	131
5.2	存在挤压情况下的人群疏散模型 .....	151
5.3	发生火灾情况下的人群疏散模型 .....	160
5.4	本章小结 .....	168
<b>6</b>	<b>研究总结及展望 .....</b>	<b>169</b>
6.1	主要研究结论 .....	169
6.2	研究展望 .....	170
	<b>参考文献 .....</b>	<b>172</b>
	<b>后 记 .....</b>	<b>179</b>



# 1 绪论

## 1.1 研究背景

随着中国国民经济的持续稳定发展，中国现代化、城市化水平显著提高，城市发展已进入快速增长时期，城市规模不断扩大，人口迅速增长，交通基础设施的建设也不断完善。发达的交通网络使居民的出行特点、出行环境均出现较大变化，居民出行频率、出行时间较以前有较大增加，加之我国部分区域人口密集，人们在短时间内高密度聚集变得更加容易。以北京为例，北京每年举办的大型活动数量庞大、类型众多、情况复杂，仅2010年举办的单场次参加人员在1000人以上的大型活动便有几千场，涵盖了经济、文化、体育、旅游、教育等社会生活的各个领域。2008年8月北京举办了第29届夏季奥林匹克运动会，8月8日开幕式当天，“鸟巢”周围奥林匹克中心区的人流达16万人（图1-1）；2010年5月上海举办第41届世界博览会，仅5月29日一天，上海世博园当日入园人数达50.50万；2010年11月广州举办第16届亚洲运动会，开幕式当天现场观众约有3万人，运动员约有1万人。这些大型活动的举办提高了我国在世界上的影响



力，促进了我国经济的发展；但是吸引的大量观众也会影响到当地的交通，特别是大型活动疏散时的交通问题。此外，春运期间的各汽车站、火车站，每天都有大量的旅客聚集（图 1-2）。据估计，春运期间很多大型火车站每天发送旅客超过 5 万人。与此同时，在学校的教学楼、大型商场、超市、礼堂，还有一些大型聚会，如展览会、招聘会等，每每都有大量密集的人员流动。



图 1-1 2008 年北京奥运会开幕式



图 1-2 2011 年北京站春运



人群拥挤造成的各种事故数量逐年增加，这不仅给社会经济造成了巨大的损失，而且给人民生命和财产造成了严重的损害。全世界每年举办（或举行）的各类社会活动中，因人群拥挤导致的踩踏事故时常发生，人员伤亡也在所难免。

1991年9月22日中秋节，山西省太原市“煤海之光”彩灯展，能容纳4万人的公园涌入了10万人，在通过园内一座石桥时，人员拥挤造成踩踏事故，106人丧生，98人受伤。

1994年12月8日，克拉玛依市友谊宾馆发生重大火灾，造成325人死亡，130人受伤，直接经济损失约100万元。

2000年12月25日，河南省洛阳市东都商厦发生特大火灾事故，造成309人死亡，7人受伤，直接经济损失275万元。

2004年2月5日，北京密云彩虹桥事件造成重大社会影响。当时行人过度拥挤在热点区域，抢占观景的最佳地点，使得人员处于超高密度并且拥挤人群持续受到挤压，造成了37人丧生、24人受伤的严重后果。

2008年9月20日，深圳市龙岗区龙岗街道龙东社区舞王俱乐部发生一起特大火灾。事故共造成43人死亡，88人受伤。火灾是由于舞台上燃放烟火造成的，起火点位于舞王俱乐部3楼，现场有一条大约10米长的狭窄过道。现场人员逃出时，过道上十分拥挤，因此造成惨剧。

2009年3月30日，科特迪瓦国家足球队在阿比让迎战马拉维队。这场比赛是2010南非世界杯和非洲国家杯预选赛。大约5万名球迷试图涌入仅能容纳3.5万名观众的体育场，造成踩踏事件，至少22人死亡，132人受伤。

2011年11月22日，柬埔寨首都金边举行的送水节活动发生严重踩踏事件，至少378人死亡，755人受伤。



从国内外的经验教训分析,只有了解大型活动的行人集散特性、行人的交通流特性,以及拥挤条件下的行人行为,才能够从行人规划、组织、管理和控制等方面减少行人自主的灵活性及行人彼此之间较强的非线性相互作用。因此,本书总结出针对行人运动特性的参数并建立数学模型,通过数据分析得出切实可行的解决方案,并利用这些成果在基础设施规划设计、行人交通组织、建筑物应急疏散、安全防范管理等方面提出科学化改进建议,这对行人流的理论研究及实际的行人疏散都有较强的指导意义。

## 1.2 研究的目的是和意义

### 1.2.1 研究目的

人群疏散特征是广场、商场、娱乐场所等大型活动场所设计的基础,同时也是行人疏散设施设立的重要依据。行人疏散设施是行人交通的主要基础设施之一,一般人群密集的场所,同时也是行人生活必需的场所。为了设计合理的行人疏散设施或者对现有的行人交通或聚集设施进行安全检查,可以通过模拟仿真不同环境下的行人流状态,对现有的交通设施、人群疏散规则,以及建筑设施进行分析,排除安全隐患。人群在不同环境下,其微观行为不同,从而导致不同的宏观行人流特征。在商业步行街购物时,行人倾向于毫无目的地闲逛;在大型超市购物时,行人有一定的目的性并绕过某些展台直接到达目的地;在视线受影响的情况下,行人更倾向于沿着疏散标志进行疏散;在紧急疏散的情况下(如火灾),行人急于移动到安全的环境中去。



通过对不同环境中的人群研究，可以掌握行人流的宏观特征，同时可以在模拟仿真的基础上，制定、设置合理的人性化人群疏散规则和诱导标志。对大型人群集散地如地铁枢纽站、轨道交通站台、体育馆场、大型游乐园等的人群聚集与疏散特征研究，可为人群大型集散地的设计和人群疏散提供理论基础；与此同时，为相关部门提供疏散策略与建议，在紧急情况下合理地分配疏散人流，避免人员伤亡和财产损失。

本书在已有研究的基础上，利用视频处理技术，针对行人的运动特点、疏散行为及所表现出来的疏散现象，深入研究人群疏散机理；研究在不同环境和条件下人群的疏散特性，并综合利用系统科学、管理科学、交通工程学、计算机科学和行为科学等学科的知识，建立科学的理论模型，并进行数值模拟和统计分析。研究成果将为基础设施规划设计、人群交通组织、建筑物应急疏散等提供科学依据。

### 1.2.2 研究意义

交通是人和物在空间上的位置移动，作为社会活动的主体，人同时也是交通系统的主体，是最为复杂的元素。行人交通理论是行人交通设施设计的基础理论，只有掌握行人交通的微观和宏观特征，才能设计合理化、人性化的交通设施，从而进一步提高交通设施的性能。

步行作为一种独立的交通方式，成为各类交通出行的两端环节。在大型活动的场所，人们一般采用步行的方式参与活动，因而各类设施都需要满足行人行走的需要，行走的服务水平直接关系到活动的质量。因此通过基于行人微观特征的宏观疏散行人流的研究，建立微观特征与宏观特征之间的联系，探索不同环境下不同宏观行人流特征和现象的生成机理，是人群疏散研究的重点和热点，并且具有重要的理论意义和应用价值，为保证人员安全疏散提出宝贵的经验。研究成果



可为建筑物的整体结构、安全出口位置、安全出口宽度、突发事件通道、疏散标志等的合理设计与设置提供科学依据。

可见,对人群疏散理论的研究,不仅具有科学研究的价值,更具有重要的实际应用价值。行人运动是一个复杂的物理过程,在整个运动的过程中,其行为要受许多因素的直接或间接影响,如场所类型、空间结构、组织管理、人群类型、运动特征、危险物资管理等方面。其中,人群在场所中的行为特征是影响人群聚集风险的重要因素。而群体之间(包括群体与个体)的相互作用,会影响人群的整体运动效果。为了预防由于人群密集而造成的潜在危险的发生,了解人群的运动(包括疏散)规律非常重要。对此,本书将综合考虑行人流理论、交通行为、人群组织与诱导及人群仿真等多个方面,来揭示人群疏散过程的演化机理,进而利用科学的人群疏散理论来管理和控制疏散过程,有效地减少拥堵和疏散时间,进而减少人民生命和财产的损失,这对提升我国城市行人交通的基础理论及应用水平均具有重要意义。

## 1.3 国内外研究现状

### 1.3.1 行人视频检测方法的研究现状

行人交通与其他的交通方式相比,有着自己的特性。因此,数据采集方法也与其他交通方式有所区别,这主要是由于两方面原因造成的。第一,行人本身的特点。由于行人体积较小,运行线路比较随意,因此基于感应的检测器的方法并不适用。第二,采集数据的多样性。行人数据的采集中不仅需要行人流量、速度、密度等宏观交通数



据,还需要行人的步幅、步频、集结人数、延误时间、启动时间和加速度等微观交通数据。

Ali 和 Dagless<sup>[1]</sup>与 Nakamura 等<sup>[2]</sup>分别运用了 AUTOSCOPE 系统和 TIPS 系统进行了行人交通数据的采集,结果发现,由于行人在体积、轮廓及行走路线上都与其他交通方式存在较大的差别,所以检测机动车数据的系统不能很好地应用于行人交通;Haritaoglu 等<sup>[3]</sup>通过分析摄像机采集的视频图像,将外形分析与跟踪技术结合起来跟踪行人,通过行人的头、躯干、四肢等关键部位来检测和跟踪行人;Hoogendoorn 等<sup>[4]</sup>利用摄像机跟踪行人运动轨迹,在实验检测区域内预先制定好行走线路,实验人员带着不同颜色的帽子以示区别,根据帽子的颜色和实验人员的编号得到运动轨迹;Kardi 等<sup>[5]</sup>运用图像处理技术来获取行人的交通数据,进而得到行人的交通特征及运行轨迹;王亮等<sup>[6]</sup>在跟踪人体运动中采用了运动模型和关节人体模型对行人进行建模分析;赵明等<sup>[7]</sup>采用单目视频图像序列对人体没有被遮挡部位的动作进行了跟踪,首帧采用手工标注人体特征点,但该方法基于单目视觉,无法准确估计被遮挡部位的位置,而且手工干预较多。

Haritaoglu 等<sup>[8]</sup>利用最小、最大强度值和最大时间差分值为场景中每个像素进行统计建模,并且进行周期性的背景更新;Lipton 等<sup>[9]</sup>利用两帧差分方法从实际视频图像中检测运动目标,进而用于目标的分类与跟踪;Viola 等<sup>[10]</sup>建立了基于图像灰度和行人运动信息的检测方法;Dalal 等<sup>[11]</sup>提出了一种在某个固定的单帧图像里,通过面向梯度方向最大值的直方图来描述行人特征的检测方法;Niyogi 等<sup>[12]</sup>采用“时空切片法”进行行人轨迹跟踪,首先分析行人下肢轨迹的时空交错模式,然后在时空域里定位人头和四肢的轨迹投影,进而描绘出行人的整体轮廓;Rohr<sup>[13]</sup>采用 14 个椭圆、柱状的模型来描述行人的基本特征和结构,人体躯干的中心被定义为系统坐标的原点,用以模



拟行人行走时所产生的三维图；Lefevre 等<sup>[14]</sup>采用矩形初始化 Snake 模型，针对足球比赛中多个足球运动员的轮廓进行了实时跟踪；Wren 等<sup>[15]</sup>在人的运动跟踪中使用区域模型，将人体分为头、躯干、四肢等部分，利用高斯分布建立人体和场景的模型，属于人体的像素被归属于不同的身体部分，通过跟踪各个小区域块来完成对整个人体的跟踪；Segen 等<sup>[16]</sup>用一个矩形框将行人封闭起来，质心（质量中心）被选择作为跟踪的特征，在跟踪过程中若两人出现相互遮挡时，只要质心的速度能被区分开来，跟踪仍能被成功地执行；Heikkila 等<sup>[17]</sup>采用 Kalnan 滤波对行人进行跟踪，通过历史数据预测分析运动目标的位置，可以缩小目标的搜索范围，实现快速跟踪。

现有的行人检测方法采用模块化、结构化设计，可扩展性较好，可以实时进行行人数据采集和统计。但由于行人是个复杂的个体，其本身的运动有着一定的不可预测性，因此行人运动轨迹的预测可能与实际的运动情况存在着一定的误差。另外，在不同的交通状态下（如不同的行人密度），行人会存在着不同的运动特性，而现有的行人检测方法并没有考虑交通状态的不同对行人检测的影响，比如在高密度状态下，行人之间相互遮挡现象比较严重，此时基于运动整体检测方法的有效性就有待于商榷。因此本书根据不同的交通状态，分别提出了低密度状态下基于运动的行人检测方法和高密度状态下基于人头的视频检测方法。

### 1.3.2 人群疏散模型的研究现状

目前对人群疏散模型的研究思路有两类：一类是从建立行人之间或行人与环境之间关系的模型入手；另一类是由借鉴成熟的交通流模型而发展起来的。根据模型对交通系统描述的细节程度不同，人群疏散模型可以分为宏观、中观、微观三种。





### (1) 宏观模型

宏观模型着重从全局的角度来研究行人运动特性, 人群被视为一个可压缩的实体或流体, 模型中不追踪单个行人的移动, 对个体运动、行为及其相互作用的细节描述较为粗糙。较早的宏观仿真模型是由 Fruin<sup>[18]</sup> 首先提出的, 主要参数是行人平均速度、行人密度和流量等, 模型主要研究行人的一些集聚性特点。Hughes<sup>[19]</sup> 分别运用连续统一体模型、二维流动模型及“思考流体”模型来模拟各种类型行人的行走行为, 进而得到人群的流动机理。徐尉南和吴正<sup>[20]</sup> 引进了流体力学的相关理论和思想, 把地铁站台内的人群移动看成是空间的流体运动, 根据行走方向, 采取一维和二维空间来进行描述, 通过实际的观测数据建立了一维和二维的客流运动模型。吴正等<sup>[21]</sup> 通过实际的观测数据来优化和标定客流运动模型的参数, 并对地铁站台内的客流疏散时间进行模拟和预测, 进而得到最少的疏散时间和最优的疏散效果。

大部分的宏观模型主要是针对行人群体行为及其评价进行分析研究, 如分析研究行人密度、速度和流量基本特征参数之间的关系; 分析研究行人群体流动的波动性; 分析研究行人群体拥挤机理及群集行为特性<sup>[22]</sup>; 分析研究行人交通设施或活动设施的服务水平和通行能力<sup>[23-26]</sup>; 分析研究行人交通设施综合体系评价方法<sup>[27-28]</sup>。

### (2) 中观模型

与宏观模型相比, 中观模型对行人运动的系统要素、个体运动、行为及其相互作用的阐述要更加细致。中观模型不仅可以描述宏观模型的空间和时间特性, 而且还能提供微观模型的某些核心数据。最早的中观模型由 Florian 等<sup>[29]</sup> 提出, 该模型通过若干个行人所构成的运动整体(也称队列单元)来描述人群运动, 这种方法可以描