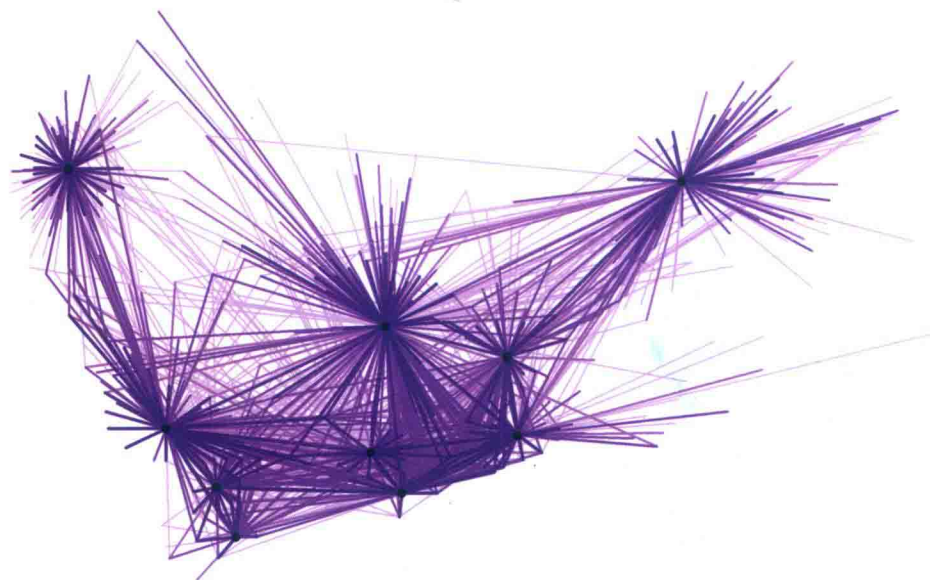


GIS

城市人群活动时空GIS分析

萧世瑜 方志祥 陈碧宇 著
尹 凌 陈 洁 杨喜平



科学出版社

城市人群活动时空 GIS 分析

萧世瑜 方志祥 陈碧宇 著
尹 凌 陈 洁 杨喜平

科学出版社

北 京

内 容 简 介

理解城市人群活动模式规律对城市空间优化、交通规划、出行与位置服务、行业设施选址与业务流优化等都具有重要意义。本书从轨迹数据质量评价、隐私问题、活动区域、人群聚集消散、可达性、适应性等多个角度来理解城市人群时空活动,与城市人群活动数据、城市功能与空间结构、人类动态等维度进行系统地联系,提出城市人群活动的时空 GIS 基础理论与方法,形成人群动态及其与空间结构适应性的初步分析手段,实际指导面向时空需求的城市设施选址与优化服务。

本书可供地理信息、测绘遥感、城市地理、国土、交通、物流等专业科研人员参考,也可作为高等院校的本科生或研究生教材。

审图号:粤(2018)02-75 号

图书在版编目(CIP)数据

城市人群活动时空 GIS 分析/萧世瑜等著. —北京:科学出版社,2018.9
ISBN 978-7-03-055271-6

I. ①城… II. ①萧… III. ①地理信息系统-应用-城市人口-人类活动-研究
IV. ①B03-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 274195 号

责任编辑:杨光华 / 责任校对:石娟娟
责任印制:彭 超 / 封面设计:苏 波

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>

武汉精一佳印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

开本:787×1092 1/16

2018 年 9 月第 一 版 印张:19 1/4

2018 年 9 月第一次印刷 字数:453 000

定价:198.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

序 一

城市是人类活动的主要空间。人类活动与城市经济、社会、环境、交通、医疗、教育等密切相关,对城市的形成、发展、空间结构和分布规律等产生影响。同时,城市空间结构布局深刻影响人类活动的时空模式,信息和通信技术的发展为捕捉人类的的活动提供了新的手段。时空 GIS 在分析人类活动方面具有很好的先天优势和很强的发展潜力。从时空视野科学探究城市人群活动机理,是地理信息科学与城市地理学相结合的一个基础研究问题,也是新时期我国城市科学规划与发展的决策基础。

萧世瑜教授长期从事交通地理学、时空地理信息科学研究,是该领域在国际上有重要影响的专家。《城市人群活动时空 GIS 分析》一书是萧世瑜教授领导的研究团队完成的最新成果,涵盖了他所承担的国家自然科学基金重点项目、863 项目子课题等,围绕时空地理信息科学面向城市人群活动而开展了诸多前沿的研究工作,这本书较为系统地论述城市人群活动的的数据特点、群体规律分析与结构适应性评价、以及设施优化等时空 GIS 分析理论与方法,实现 GIS 理论在时空建模与行为分析等方面的创新研究工作。这本书的理论与技术成果具有重要的参考价值,可以辅助我国城市空间模式可持续发展科学决策与精细化城市管理科学决策。

当前大数据时代,空间信息已经渗透到国民经济与生活的方方面面,是我国新时期城市发展研究与行业应用的宝贵资源,期待越来越多的科研工作者加入空间大数据的挖掘与分析研究应用中,为我国国家战略的发展和实现贡献力量。

中国科学院院士
中国工程院院士



2017 年 10 月 27 日

序 二

我国正处在新型城镇化、工业化和信息化的关键时期,城市面临着复杂的经济、社会与生态可持续发展问题。城市人群活动与城市经济、社会、环境、交通、医疗、教育等各方面问题息息相关,引起社会各界广泛关注。对城市人群活动的理解与认知是解决这些问题的基础,也是地理、测绘、信息、交通、规划、社会等多学科交叉研究的热点前沿。

面向城市的地球空间信息与互联网、云计算技术持续融合,产生了城市时空大数据,成为智慧城市的重要战略资源,也为面向城市问题的人群活动研究提供了基础条件。随着地球空间信息学和信息科学、城市学等学科的不断深入交叉融合,城市空间信息学(urban informatics)逐步形成,并正在成为测绘地理信息科学的重要发展方向。城市空间信息学具有动态演变、数据驱动、众源学习、协同决策、学科交叉等典型特征,需要突破复杂城市系统的时空建模与表达、现实物理空间与虚拟网络空间的相互作用机理、时空大数据分析 & 挖掘的理论与方法、城市时空决策的理论与方法等关键科学问题。实现以统一的时空基准为框架、以空间信息为载体、以信息技术为支撑,动态采集城市时空信息并进行处理、分析与服务,支持绿色、低碳、可持续城市发展的目标。

《城市人群活动时空 GIS 分析》一书由萧世瑜教授领导的研究团队完成。该团队自 2012 年以来承担了国家自然科学基金重点项目、863 子课题等项目,围绕时空 GIS 理论与分析方法开展了诸多前沿的研究工作,发表了高水平学术论文。这本书汇集了他和合作者在时空数据分析领域十年磨一剑的研究积累,代表了当前时空数据分析的研究前沿进展,重点放在基于时空大数据的城市群体活动规律分析,体现了城市空间信息学的一个重要特征,就是把人和人群的活动作为研究对象,是对传统 GIS 分析以自然作为分析对象的一个重大转变,也标志着测绘地理信息科学新的发展方向。

2005 年我在 UCSB 做访问学者时和萧教授偶遇并相识,后来邀请萧教授到武汉大学做中组部“千人计划”教授,开展合作研究,2012 年我到深圳大学任校长,继续交流合作。时间过得真快,一晃十多年过去了,这其中的许多活动还记忆犹新,仿佛就在昨天,我们一起考察 Smoky Mountains、长江三峡和深圳大鹏,一起组织研讨会、讨论重点项目 PPT。在此之前我曾经拜读过萧教授的“Geographic Information Systems for Transportation: Principles and Applications”一书,从中可以体会到萧教授在时空数据分析领域的前瞻性和创新性工作。相信这本书的出版,可以进一步推动我国在城市空间信息学领域的原创性研究。

深圳大学在郭仁忠院士的带领下,今年开始尝试办一个城市空间信息工程的本科专业,也是想在本科人才培养方面进行一些探索,这个专业的培养定位就是面向城市问题的

通专融合的复合型城市空间信息人才。培养目标是希望学生通过系统学习,具备两种思维——测绘和地理思维,一个能力——ICT 信息技术能力。在此基础上,形成时空数据的采集与处理、时空信息系统的开发、城市分析与应用三个培养方向,以满足粤港澳大湾区经济社会快速发展对城市时空大数据领域专业人才的需求。

相信这本书的出版能够吸引更多的年轻人参与到城市时空大数据的研究中来,也会对城市空间信息领域的人才培养起到积极的作用,并为推动以人为本的地理信息科学理论研究与技术发展发挥重要作用。

深圳大学校长 李清泉

2017 年 7 月 26 日于深圳

前 言

城市是人流、物质流、能量流、信息流等高度集中与复杂耦合的区域。城市化是当前中国所发生最重要的生活方式变革。《中国城市发展报告(2011)》指出:2011 年我国城镇人口占总人口的比重首次超过 50%,城镇居民的生活方式正在发生极其深刻的变化。快速城市化过程中,各种城市病逐渐显现:异常脆弱的基础设施、日益加剧的交通拥堵、不断下降的空气质量,以及逐渐降低的居民幸福感。城市人口活动与空间结构功能配置之间的相互适应匹配落差是这些现象产生的基础科学问题之一。一方面,政府部门投入巨额资金,加大城市基础设施建设,以改变日益增长的城市人口分布;另一方面,人们根据工作生活需求寻求最佳的活动范围,两者相互制约、相辅相成。如何衡量城市群体活动与空间结构之间的相互适应性就成了一个关键的重要科学研究问题,对指导我国城市空间模式可持续发展的科学决策与精细化城市管理、建设资源节约型和环境友好型社会等具有重要的研究意义。

城市空间结构深刻影响人类活动的时空模式,信息和通信技术的发展为捕捉人类的活动提供了新的手段。时空 GIS 初步具备分析人类活动的技术基础,但是缺乏现实与网络空间一体化下海量人类活动时空数据的高效建模和分析方法。人类活动与城市空间的相互作用是一个复杂过程,目前的群体活动与城市空间结构之间的适应性分析研究还相当缺乏,也导致空间结构设施选址优化模型、城市规划、旧城改造等缺乏有效的群体活动分析评价支撑方法。

随着大数据时代的来临,特别是手机数据、出租车数据、公交智能卡数据、城市视频等数据的普及应用,城市人群活动研究越来越受到重视,对城市空间规划、交通规划、交通出行、设施选址优化、智能位置服务等应用有较大的促进作用。其中,手机数据存在其采样覆盖面广、活动类型丰富等特点,蕴含大量的群体活动行为,如何科学地认识群体活动的行为规律及其影响是地理科学、信息科学和人文社会科学等领域的一个重要的基础科学问题,也是当前交叉学科研究的一个热点问题。另一方面,如何达到人的活动与城市布局的合理适应均衡,是在快速城市化进程中的一个关键科学问题,也是制约城市科学发展的交叉学科瓶颈理论问题,为地理信息科学、城市地理学、人文地理学等学科交叉的一个研究前沿。

在国家自然科学基金重点项目(41231171)的资助下,围绕该问题的研究工作,开展了一系列理论与方法研究,包括:构建现实与网络空间一体化的群体活动时空数据模型,发展基于海量手机数据的大规模群体活动识别及行为模式提取理论与方法,构建大规模群体活动与城市空间结构的适应度模型及其选址优化方法。本书结合该重点基金项目的研

究成果,尝试系统性论述城市人群活动的数据特点、群体规律分析与结构适应性评价以及设施优化等时空 GIS 分析理论与方法,实现 GIS 理论在时空建模与行为分析等方面的原始创新,对指导我国城市空间模式可持续发展科学决策与精细化城市管理有重要的指导意义。

本书各章节的撰写人员分别如下:第 1 章,方志祥(武汉大学)、萧世瑜(田纳西大学、武汉大学)、余红楚(武汉大学)、倪雅倩(武汉大学);第 2 章,尹凌(中国科学院深圳先进技术研究院)、萧世瑜(田纳西大学、武汉大学)、于洪波(俄克拉荷马州立大学)、赵志远(武汉大学)、陈碧宇(武汉大学);第 3 章,方志祥(武汉大学)、宋晓晴(武汉大学);第 4 章,尹凌(中国科学院深圳先进技术研究院)、赵志远(武汉大学)、陈碧宇(武汉大学);第 5 章,裴韬(中国科学院地理科学与资源研究所)、陈洁(中国科学院地理科学与资源研究所)、舒华(中国科学院地理科学与资源研究所)、郭思慧(中国科学院地理科学与资源研究所);第 6 章,方志祥(武汉大学)、萧世瑜(田纳西大学、武汉大学)、杨喜平(陕西师范大学);第 7 章,方志祥(武汉大学)、杨喜平(陕西师范大学);第 8 章,陈碧宇(武汉大学);第 9 章,方志祥(武汉大学)、冯明翔(武汉大学)、于冲(武汉大学);第 10 章,陈碧宇(武汉大学);第 11 章,方志祥(武汉大学)、萧世瑜(田纳西大学、武汉大学)。

感谢国家自然科学基金重点项目“基于海量手机数据的群体活动与城市空间结构适应度分析及选址优化”(41231171)对本课题组的大力支持,特别感谢李清泉教授、周成虎院士对本项目研究的指导!感谢参与项目研究的成员:萧世瑜教授、方志祥教授、裴韬研究员、黄正东教授、谢蓉教授、尹凌副研究员、乐阳副教授、陈碧宇副教授、陈洁助理研究员、张韬博士、周洋博士、杨喜平博士、鲁仕维博士、赵志远博士生、余红楚博士生、冯明翔博士生、刘立寒硕士、徐金垒硕士、张希瑞硕士、宋晓晴硕士、于冲硕士生、倪雅倩硕士生等。

在本书的相关研究和出版过程中,深圳市规划国土房产信息中心(深圳市空间地理信息中心)和深圳市综合交通运行指挥中心给予了大力支持,本书作者在此表示衷心感谢!同时感谢科学出版社编辑对本书的认真校核和协调。

由于作者水平有限,书中难免存在疏漏之处,敬请各位读者批评指正。

作 者

2017 年 7 月 2 日

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 城市人群活动	1
1.1.1 活动分类	1
1.1.2 活动特点	2
1.2 人群活动研究的主要科学领域	3
1.2.1 地理信息科学	3
1.2.2 城市地理学	6
1.2.3 交通工程学	8
1.2.4 统计物理学	11
1.2.5 人文地理学	13
1.3 本书主要内容	14
参考文献	16
第 2 章 时间地理学与时空 GIS	24
2.1 时间地理学概述及基本概念	24
2.1.1 概述	24
2.1.2 基本概念	25
2.2 基于时间地理学框架的时空 GIS	27
2.2.1 时间地理学与 GIS 的结合	28
2.2.2 时间地理学基本概念的 GIS 表达与分析	29
2.2.3 面向时间地理分析的 GIS 时空数据模型	31
2.2.4 行程时间不确定环境下的概率时间地理学	34
2.2.5 面向“物理-虚拟”混合空间活动的时空 GIS	39
2.3 本章小结	51
参考文献	51
第 3 章 城市人群活动轨迹数据	55
3.1 城市人群活动轨迹数据类型与特征	56
3.1.1 城市人群活动轨迹数据类型	56
3.1.2 城市人群活动轨迹数据特征	57
3.2 城市人群活动轨迹数据研究与应用	58
3.2.1 手机数据	59
3.2.2 交通智能卡数据	60
3.2.3 车载 GPS 数据	60
3.2.4 社交媒体签到数据	61
3.2.5 视频数据	63

3.2.6 其他数据	65
3.3 本章小结	66
参考文献	66
第4章 城市人群活动轨迹数据的适用性及隐私问题	76
4.1 轨迹数据的质量评价模型	76
4.1.1 轨迹数据质量评价指标体系	76
4.1.2 轨迹数据质量评价分析实验	79
4.2 轨迹数据的适用性分析	86
4.2.1 时空分辨率	87
4.2.2 语义属性	88
4.2.3 样本代表性	89
4.2.4 数据适用性	93
4.3 轨迹数据的隐私问题	97
4.3.1 轨迹数据的隐私问题概述	98
4.3.2 轨迹数据的隐私风险量化	98
4.3.3 轨迹数据的隐私保护方法	101
4.4 本章小结	105
参考文献	106
第5章 城市功能区识别	111
5.1 城市功能区的定义与划分	111
5.1.1 城市功能区的定义	111
5.1.2 城市功能区的划分	112
5.2 城市功能与人类行为的相互关系	113
5.2.1 人类行为-城市功能的互动	113
5.2.2 传感器数据-人类行为-城市功能的研究范式	113
5.3 城市功能区的识别方法	114
5.3.1 城市功能区划分方法分类及原理简介	114
5.3.2 研究实例	121
5.4 本章小结	127
参考文献	127
第6章 城市人群聚集消散特性分析	130
6.1 城市人群聚集消散时空模式分析	130
6.1.1 概述	130
6.1.2 人群聚集消散定义	131
6.1.3 人群聚集消散强度等级分类	132
6.1.4 人群聚集消散时空聚类	133
6.1.5 实验结果与分析	136
6.2 人群聚集消散稳定性定量评价模型	147
6.2.1 人群聚集消散过程及序列的定义	147
6.2.2 人群聚集消散过程稳定性评价模型	149

6.2.3 人群聚集消散序列稳定性评价模型	152
6.2.4 实验结果与分析	153
6.3 本章小结	158
参考文献	158
第7章 基于城市空间结构的人群出行特征分析	161
7.1 城市空间结构的定义与形式	161
7.2 城市人群出行骨架网络与中心性分析	162
7.2.1 城市人群出行整体骨架结构及其时空变化	162
7.2.2 城市人群出行区域中心性及其时空变化	167
7.3 城市人群出行多层次区域主体流向提取与分析	171
7.3.1 城市人群主体流向计算方法	171
7.3.2 多层次人群主体流向的综合	172
7.3.3 区域主体流向的表达	173
7.3.4 实验结果与分析	173
7.4 城市不同功能区人群出行特征提取与分析	176
7.4.1 居住区人群出行特征分布	177
7.4.2 工业区人群出行特征分布	182
7.4.3 商业区人群出行特征分布	186
7.4.4 交通枢纽区人群出行特征分布	189
7.5 本章小结	192
参考文献	192
第8章 城市时空可达性	195
8.1 可达性概念及其度量方法	195
8.1.1 可达性概念	195
8.1.2 基于地点的可达性度量方法	195
8.1.3 基于个人的可达性度量方法	197
8.2 行程时间不确定性环境下的时空可达性度量方法	198
8.2.1 不确定性环境下地点可达性评价模型	198
8.2.2 不确定性对地点可达性影响的实证分析	201
8.3 基于空间设施选择行为的可达性评价	204
8.3.1 空间设施选择行为分析	204
8.3.2 基于设施选择行为的可靠地点可达性评价模型	207
8.3.3 居民设施选择行为的实证分析	207
8.4 本章小结	215
参考文献	215
第9章 城市人群活动与空间结构适应性分析	217
9.1 城市人群活动与空间结构适应性概念与分析框架	217
9.1.1 适应性概念	217
9.1.2 分析框架	217
9.2 人群移动模式与城市空间可达性的适应性分析	218

9.2.1 基于出行网络的人群移动模式表达	218
9.2.2 城市空间可达性	220
9.2.3 适应性度量与分析依据	222
9.2.4 适应性分析实验	222
9.3 人群聚集消散模式与城市关键节点适应性分析	225
9.3.1 人群聚集消散模式	225
9.3.2 城市关键节点提取	226
9.3.3 适应性度量与分析依据	226
9.3.4 适应性分析实验	228
9.4 人群交互模式与城市多中心结构适应性分析	232
9.4.1 人群空间交互	233
9.4.2 城市多中心结构	234
9.4.3 适应性度量与分析依据	237
9.4.4 适应性分析实验	238
9.5 本章小结	244
参考文献	245
第 10 章 面向时空需求的城市设施选址与优化服务	248
10.1 基于大数据的交通设施空间布局优化	248
10.1.1 基于手机数据的自行车站点布局优化	248
10.1.2 基于浮动车数据的出租车充电站布局优化	258
10.2 基于大数据分析的设施服务推荐及出行路径优化	271
10.2.1 基于个体时空约束的设施推荐服务	271
10.2.2 不确定环境下的可靠路径规划服务	279
10.3 本章小结	287
参考文献	287
第 11 章 面向城市人群活动的时空 GIS 研究挑战与展望	290
11.1 时空 GIS 研究面临的问题和挑战	290
11.2 时空 GIS 的研究展望	291
11.2.1 地理范式向时空维的延伸	291
11.2.2 时空建模理论	291
11.2.3 时空活动预测	291
11.2.4 时空活动的智慧应用	292
11.3 本章小结	293
参考文献	293

第1章 绪论

本章简要介绍城市人群活动的分类及其特点,总结地理信息科学、城市地理学、交通工程学、统计物理学、人文地理学等领域中对人群活动的相关研究工作进展,并分析这些领域中研究人群活动所遇到的挑战。

1.1 城市人群活动

1.1.1 活动分类

城市人群活动是指人群出行、行为互动等,是城市中人类社会生活中不可或缺的一部分。狭义的城市人群活动是指现实物质空间的社会活动。随着信息技术和网络技术的普及,QQ、微信、百度地图、滴滴打车、新浪微博、美团外卖、推特网(Twitter)等社交媒体和手机应用程序(APP)的出现,网络空间的人群活动引起了国内外研究者和产业界的广泛关注。目前城市人群活动常常指广义的人群活动,包括现实空间的互动、网络空间的活动和社交空间的活动等。

1. 现实空间的互动

国际现代建筑协会(International Congresses of Modern Architecture, CIAM)于1933年8月在雅典会议上制定了一份关于城市规划的纲领性文件——“城市规划大纲”,即《雅典宪章》。《雅典宪章》认为,城市规划的目的在于综合城市四项基本功能——生活、工作、游憩、交通。因此,城市现实空间的活动包括通勤、购物、休闲娱乐及其派生出来的交通出行活动。一般来说,活动属性包括活动的起止时间、活动地点、活动具体地址、活动类型、参与活动人员等,而交通出行活动属性包括出行的起止时间、出行目的、出行前后的地点类型、出行具体地址和出行方式等。当前立足于城市人群活动的主观选择和客观制约并重的研究立场,活动需求增长、活动选择多元化、时空压缩下的活动聚集与消散等地理规律,与休闲经济、交通经济、娱乐经济、实体经济等多元化城市经济相辅相成,在新型城市化进程中发挥着重要作用。

2. 网络空间的活动

随着移动互联网的发展,现实空间活动逐渐延伸到网络空间,网络空间活动类型逐渐多元化,形成了独具特色的网络通信、网络购物、远程工作、在线休闲娱乐、在线自主学习等活动。一方面,网络空间的开放与自由决定了人的兴趣导向引导网络空间中的人群活动。比如,人们可通过中国大学慕课(massive open online courses, MOOC)等在线教育平台

开拓视野;可以在兴趣论坛发表见解进行主题讨论和信息共享;可以访问天地图、Google Earth 等在线/离线电子地图了解周边服务等。另一方面,网络通信改变了人们的生活,成为日常工作交通不可或缺的一部分,从而衍生出任务导向的网络活动,如视频会议、收发邮件、群讨论、在线学习等。

3. 社交空间的活动

社交空间的活动分为现实空间社交活动和网络空间社交活动两种类型。现实空间的社交活动往往指时空共存的群体互动,表示位于同一时段同一地点的群体活动,如朋友聚会、客户会面等,它是人类生活中不可或缺的一部分。网络空间的社交活动表示广义的群体互动活动,包括时空共存、时间共存、空间共存及非时空共存四种类型,如蓝牙在线传输图片、面对面传输文件属于时空共存;QQ 语音、微信视频等属于时间共存,但不属于空间共存;推特网关于同一旅游景点不同时间在推特分享的文本图片等属于空间共存但时间不共存;语音信箱、收发邮件属于非时空共存。

城市人群活动在“现实-网络-社交”空间交错关联复杂,研究混合空间的城市人群活动的时空关系、时空自由度、活动时间偏好、活动空间偏好、人群心理偏好等,长期以来一直受到人文地理学、交通学、规划学、行为学、地理信息科学等不同领域的广泛关注。

1.1.2 活动特点

现实空间、网络空间、社交空间构成了广义的人类活动空间,不同空间的活动结构、时空特征、频繁模式、活动导向等存在明显差异,因此,活动特点也迥然不同。活动在一定程度上反映城市人口、经济和环境等指标对活动特点的分析有助于深层次地理解活动节奏以及影响因素,如城市形态的密实度对活动模式的影响、活动空间交互的非平稳性和异质性等,为解决城市化问题提供新的思路和途径。

1. 现实空间的活动特点

现实空间活动主要包括生活、工作、游憩、交通,受时间-空间框架约束明显,呈现较强的时间-空间分异特征。时间维度上,人群活动在 24 小时内相似性与差异性并存(Ahas et al., 2010),其主要表现为工作日人群活动具有相似性,周末与工作日则存在较大差异。例如,工作日人群出行呈现出“双峰”特性,7:00~9:00、16:00~18:00 早晚高峰明显(宗芳, 2015;刘瑜等, 2011)。工作日和周末在出行距离上具有相似性,周末的活动强度与工作日存在明显区别,周六下午为休闲、购物等活动发生最频繁的时段。空间维度,城市人群活动复杂多变,但遵循可复现的模式,具有较强的规则性和可预测性(Song et al., 2010b),如人群活动虽然表现出出行距离不均衡性,但符合具有尾部截断的幂率分布(González et al., 2008),不少学者使用 Markov 模型、神经网络等方法预测人群移动、区域人数,区域人数预测准确率可达 90%(方志祥等, 2017a, 2017b;Liang et al., 2016;Fan et al., 2015)。此外,现实空间人群活动存在目的地选择偏好,绝大多数个体一天内的活动锚点个数不超过 4 个,日常出行次数 2~3 次,出行距离通常在 2~3 km,长距离出行较

少(康朝贵等,2017;徐金垒等,2015)。借助回转半径、活动锚点个数、移动频率等指标对不同城市居民日常出行特征进行比较,发现出行活动范围受城市结构的影响较大,具有相同停留点个数的居民的移动频率也存在差异(Xu et al.,2016)。此外,现实空间中年龄、性别对居民活动空间范围有明显影响。相比之下,中青年人具有更大的活动范围,对位置的访问不确定性更高,并且男性访问城区的次数高于女性(Yuan et al.,2016)。

2. 网络空间的活动特点

网络空间依托互联网的发展而产生,近年来被视为继陆海空天之后的“第5空间”。网络空间活动突破距离约束,较现实空间具有很强的自由性、开放性和自主性,呈现活动形式多样化、活动空间虚拟化、活动人员身份虚拟化、活动人员集群化与分散化并存等特征(周涛等,2013)。

①活动形式多样化,网络空间活动形式包括邮件发送、在线社交网络及视频、图片、音乐分享和网页搜索与访问与论坛、博客发布等。

②活动空间虚拟化,网络空间活动模糊了现实空间工作、娱乐空间的功能边界,丰富了活动空间“家”和“工作地”的语义信息(Hu et al.,2017;翟青,2015)。比如:居民在家可远程办公,也可生活娱乐。

③活动人员集群化与分散化并存,活动人员在网络空间中的分布呈现兴趣导向的集群现象,基于共同的兴趣导向形成论坛、群组等网上社区。网上社区是网络空间中信息交流的重要平台,方便人们进行讨论、通信和社交,细分到具体的主题,活动人群又呈现出分散化的特征(彭兰,2009),网络空间活动深刻改变人类思维方式、行为倾向、社区形态及自我认同能力的同时,也引发了网络诈骗、隐私泄露等社会问题(Yin et al.,2015;de Montjoye et al.,2013)。如何保护网络空间中的个人安全和隐私正受到越来越多的关注。

3. 社交空间的活动特点

社交空间以现实空间、网络空间中的社交关系网络为主要表现形式。居民在现实空间与网络空间的活动密不可分(Yin et al.,2015;Zhao et al.,2014),二者通过社交空间产生时空联动效应,表现出群体化、多元化、多层次等特征。网络社交空间中微博、微信等社交媒体平台为消息点对面辐射状的传播搭建了桥梁,现实社交空间呈现点对点的消息传播特点,具有一定的选择导向。带有地理标签的社交媒体数据提供了现实社交空间与网络社交空间人类交互活动的信息源,线上和线下的传播机制加快了消息传播速度、提升了传播深度和广度(朱恒民等,2016)。

1.2 人群活动研究的主要科学领域

1.2.1 地理信息科学

地理信息科学(geographical information science),20世纪80年代中期作为测绘、遥感和地理信息系统相关研究领域专业术语出现。加拿大拉瓦勒大学(1986年)和荷兰国际航空摄影与地学学院(1989年)相继成立以“地理信息科学”命名的系或专业。地理信息科学体现着地理科学(geography)和信息科学(informatics)及其他相关科学的融合

(fusion)。Goodchild(1992)认为,地理信息科学主要研究运用计算机技术对信息进行处理、存储、提取以及管理和分析过程中所提出的一系列基本理论问题和技术问题,如数据的获取和集成、分布式计算、地理信息的认知和表达、空间分析、地理信息基础设施建设、地理数据的不确定性及其对地理信息系统操作的影响、地理信息系统的社会实践等。本节主要论述地理信息科学在城市人群活动信息获取、存储、分析和应用方面的研究进展。

1. 城市人群活动信息获取

传统的城市人群活动信息获取源于个体活动日志或活动调查,通常搜集现实空间中个体典型日常活动数据如家务、通勤、工作、购物和娱乐等,搜集时间长、样本量少,存在活动获取上的偏差(Zhao et al., 2016)。随着移动通信终端和 GPS 跟踪器的普及,获取长时间序列、海量高精度的活动轨迹成为现实,能够获取的活动信息包括:活动目的、活动类型、活动地点、活动起止时间、持续时长、活动序列等。

城市人群活动是多个个体活动的综合,首先需要识别个体活动,再考虑个体活动的空间共存、时间共存、时空共存等关系(Shaw, 2006)。个体活动信息获取包括几何方法和统计方法两种。几何方法立足于个体活动特征,重点提取位置变化的活动信息,常见的活动点获取方法有移动圆法(Sadjadi et al., 2016)、基于规则的方法(Shih et al., 2016)、关键点法(Zheng et al., 2010)、密度聚类法(Shen et al., 2014),并与城市 POI(point of interest)进行匹配,原理简单,操作迅速。统计方法以个体活动的前后关联为基础,重在频繁访问地点、地段、空间位置、地点历史评价等要素的获取,需要顾及个体偏好以及长期的历史信息,计算复杂,需要一定数量的先验数据校正算法参数。停留是活动之外的重要特性,结合城市海量手机等手段识别用户停留时空分异特性(徐金垒等, 2015)可以加深对人类活动的理解。

城市人群活动信息的获取手段和能力正在发生翻天覆地的变化,在集成群体活动信息方面,信息和通信技术的发展极大地丰富了活动信息的获取方式方法,但如何快速地从海量活动信息中获取有价值的活动信息也是当前面临的巨大挑战。

2. 城市人群活动信息存储

城市人群活动具有时间共存、空间共存、时空共存的复杂特征,在时间维、空间维等存在连续变化、离散变化、步进变化等不同特征,现有的时空数据模型包括:时空立方体模型(space-time cube model)(Hägerstrand, 1970)、序列快照模型(sequential snapshots model)(Armstrong, 1988)、时空复合模型(space-time composite model)(Langran et al., 1988)、基态修正模型(base state with amendments model)(Langran, 1992)、基于事件的时空数据模型(event-based STDM)(Peuquet et al., 1995)、面向对象的时空数据模型(object-oriented STDM)(舒红等, 1997)、基于图论的时空数据模型(graph-based STDM)(Wilcox et al., 2000)、多版本时空对象进化数据模型(multi-version evolution data model of the spatio temporal object)等(余江峰等, 2005)、时空聚散动态模型(Fang et al., 2017),这些模型为城市人群活动信息存储提供了数据表达和组织基础理论,但是

现有模型在城市人群活动信息存储方面的适用性有待进一步提高。

相关学者根据城市人群活动的移动和停留的交替性,提出了 SMO_T (stop and move of trajectory) 模型(Spaccapietra et al.,2008)及其扩展模型,包括 IB-SMO_T(intersection-based stops and moves of trajectories)(Alvares et al.,2007)、CB-SMO_T (clustering-based stops and moves of trajectories)(Palma et al.,2008)、DB-SMO_T (direction-based stops and moves of trajectories)(Rocha et al.,2010)和 SMO_T+(extending SMO_T)(Moreno et al.,2014)等。近年来,有学者提出了 Motifs 模型(Schneider et al.,2013),该模型充分考虑城市人群活动的环境语义信息,有助于探索 activity、trip、tour、behavior 之间的交叉关联性,揭示城市人群活动的多维变化特征,为深入理解城市人群活动提供了新途径。

尽管目前相关研究在城市人群活动信息存储模型构建方面有所突破,但是在信息的检索、冗余信息剔除、语义信息准确存储方面还有很大的提升和完善空间。除此之外,城市人群活动信息的时空关联一体化存储模型也是当前亟待探讨的研究热点之一。

3. 城市人群活动信息分析

地理信息科学为城市人群活动信息的获取、存储、可视化、分析等提供了技术支撑和方法支撑,特别是在人群移动的时空 GIS 分析方法和出行模式识别等方面贡献尤为突出。

针对城市人群的活动空间,鉴于个人内在、人际交往、外在结构等主要制约机理,常采取标准误差椭圆、置信椭圆、最小凸多边形、潜在活动区域和回旋半径等指标进行刻画(刘瑜等,2014),采用地图、空间图谱等对城市人群活动空间分布格局、弱势群体特征、空间形态、社交网络等进行研究(赵莹等,2016)。时空 GIS 分析方面,以城市人群活动的时空同步制约、时空异步制约等为基础,取得了以时空路径、时空棱镜、时空可达性等以时间地理理论为基础的可视化表达和技术手段进展,包括在时空结构特征、活动空间特征、群体差异、时空动态等方面开展的实证研究(Shaw,2010;Shaw et al.,2016;Yu et al.,2008)。传统的时空 GIS 在城市人群互动分析方面,存在活动开放时间及个人活动需求考虑的不足,有学者提出以活动兴趣度、互动时长可行度、活动地点吸引度等为评价因子,构建改进的群体互动时空 GIS 评价模型(Shaw et al.,2009)。GIS 技术的变革和信息技术的发展将对城市人群活动产生重要影响,包括城市人群活动数据的丰富、时空分析方法的提升等,不仅如此,还将影响城市人群的生活思维 and 生活方式等。

通过分析频繁出行的周期韵律(Liu et al.,2012)、时空信息熵等统计指标(Peng et al.,2012),表明城市人群出行具有高可预测性(例如:出租车乘客的活动范围,基本是四个频繁场地+两条频繁路径)(Kang et al.,2016)。城市人群出行模式识别方法包括 K 均值聚类(Becker et al.,2011)、自组织聚类(Sagl et al.,2014)、dynamic time warping(Yuan et al.,2012)、主成分分析(Sun et al.,2011)、矩阵因子分解(Kang et al.,2016)等,结合不同的地理环境语义信息,进而获取城市人群以不同活动为导向的出行时空动态模式,评估城市大规模人群活动与城市空间结构以及基础设施之间的相互适应性,及时弥补人群活动与空间交互过程中所需的资源匹配落差仍是难点问题,是缓解当今城市共同涌现的交通问题、环境问题、贫富落差悬殊等社会问题的重要途径。