

# 从时空 GIS 视野来定量分析人类行为的思考

萧世伦<sup>1,2</sup> 方志祥<sup>2</sup>

1 美国田纳西大学地理系,田纳西州诺克斯维尔市,37996-0925

2 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室,湖北 武汉,430079

**摘要:**从面向城市科学发展所必须的人类行为研究需求出发,从时空 GIS 的视野来看人类行为研究的基础问题与研究方法,剖析时空 GIS 对定量分析人类行为研究中的理想与现实间的鸿沟,以及所存在的理论与方法挑战,总结了时空 GIS 支撑人类行为研究的能力与不足,为大数据时代的人类行为研究前沿探索拓展思路。

**关键词:**大数据;时空 GIS;人类行为;时空分析

**中图法分类号:**P208

**文献标志码:**A

## 1 时空 GIS 与人类行为研究

人类行为的定量化分析<sup>[1]</sup>对复杂社会与经济现象的诠释具有相当大的帮助,对城市规划与管理、社会公共安全、区域经济发展、增值信息服务等都具有较大的应用价值。周涛等<sup>[1]</sup>详细总结了近年来的人类行为时间与空间特征的分析、建模与统计等方面的研究进展,并对人类动力学研究做了积极的展望。

大数据时代的来临为人类行为的定量化分析研究带来了机遇与挑战。如海量的人类轨迹跟踪数据为了解人类在高动态多尺度时空环境下的运动规律(包括周期性、相似性等)提供了非常好的数据源基础,但是针对大数据时代的人类行为研究需要明确几个问题:大数据能够解决哪些人类行为研究问题?什么规模的数据能够回答哪类人类行为研究问题?大数据时代的人类行为研究方法需要做什么创新?这几个问题还处于探索阶段。

面向大数据建模与分析需求,时空 GIS 是近些年来发展的 GIS 理论与方法的研究方向,偏重时间与空间的集成建模、表达与分析,为理解人类行为和现实时空现象提供基础方法支撑。Miller<sup>[2]</sup>在 GIS 平台上实现了时间地理理论框架的时空锥等基本概念,说明了时空 GIS 的可行性。Shaw 等<sup>[3-5]</sup>在 ArcGIS 平台的基础上开发了一个

开放的时空 GIS 扩展模块,支撑轨迹数据的建模、表达、查询与分析,实现人类活动的网络与现实交互建模分析,为人类行为研究提供基础工具。Kwan 等<sup>[6]</sup>分析了网络与现实空间混合下的人类行为模式。Fang 等<sup>[7]</sup>以时变交通网络为基础对时变时空锥建模,并以时空 GIS 方法分析多人的时空行程规划与优化。Chen 等<sup>[8]</sup>用时空 GIS 方法研究人类行为调查数据,分析北京市某些不同小区间居民的日常工作行为模式差异。总之,目前的时空 GIS 可以集成表达人的跟踪轨迹数据,并在此基础上支持一些人类行为模式的研究和探索。

但是,面向大数据时代的人类行为研究,目前的时空 GIS 还存在相当大的理论与方法挑战,特别是针对定量化分析人类行为方面理想与现实间存在较大的鸿沟。本文力图从时空 GIS 的视野来看人类行为研究的基础问题与研究方法,分析时空 GIS 支撑人类行为研究的能力与不足,为大数据时代的人类行为研究前沿探索拓展思路,并提供一定的借鉴。

## 2 时空 GIS 支撑人类行为研究能力

### 2.1 人类行为空间特性方面

人类行为空间特性方面的研究比较关注人类运动的空间规律(空间距离及其分布、传播速度与规律等),一些学者研究了偏好返回模型、层次性

交通模型、周期与随机游走模型、种群模型、传播模型、空间位置预测模型等,对空间特性进行建模。虽然人类行为存在不确定性,人类行为空间特性统计仍然可以在一定程度上反映群体的行为规律,如 Song 等<sup>[9]</sup>发现 93% 的人类移动是可以预测的。

时空 GIS 在人类行为时空特征研究方面可以基于时间地理理论框架<sup>[10]</sup>来判定人类运动的可达时空范畴,理解人类行为影响的边缘效应;不确定性下的时空锥理论<sup>[11-13]</sup>可以表达分析在空间环境下人类行为的不确定性程度及其影响规律;时空 GIS 的现实与虚拟空间的交互表达与分析可以帮助了解人类行为在受信息通信技术影响下的变化差异<sup>[5,14]</sup>,以及这些差异所存在的地域性区分程度,深入理解信息通信技术所带来的数字鸿沟影响,支撑社会公平性研究<sup>[15]</sup>;时空 GIS 中面向个体轨迹的数据分析方法可以验证人类行为及其交互研究中的空间分布规律(如出行距离的指数分布、移动步长与回旋半径的幂律分布、运动模式的高相似性)<sup>[1]</sup>,以及这些规律在不同尺度空间上的统计差异等。

总之,时空 GIS 可弥补“人类行为研究中的缺乏对空间分布特性直接和全面的观察”<sup>[1]</sup>,为探究社会化因素对人类行为的空间特性影响提供支撑方法,同时,时空 GIS 的量化描述与分析理论为人类行为研究的空间行为量化构建了实证基础。

## 2.2 人类行为时间特性方面

对人类行为时间特性研究包括了时间间隔、周期性等,验证人类行为的时间特性是否符合幂律分布、对数正态分布、双峰分布等<sup>[1]</sup>,典型的人类行为时间特性量化建模方法包括队列模型理论、记忆、兴趣、节律模型、社会交互影响模型等<sup>[1]</sup>。这些模型比较关注人类行为时间方面的统计特征,如周期性、记忆与兴趣变化特征等。

时空 GIS 可以以时空轨迹为基础,直观表达与分析人类移动行为的周期性(如宏观层面的度假-工作-度假-工作和微观层面的学习-锻炼-学习-锻炼),反映人类的生活习惯差异。对于周期性的度量,时空 GIS 可通过时间序列模式识别的方式对多个个体进行聚类,为人类行为研究的统计验证提供快速的基础分类数据<sup>[8]</sup>;同时,可以结合多期或者连续的海量个体时空轨迹数据,验证人类行为预测模型的精度和能力;在反映记忆与兴趣变化特征方面,时空 GIS 可用时空体来表达人类行为的个体与性别差异,如 ICT 影响下的人类网络购物行为<sup>[16]</sup>及性别差异导致的人类行为<sup>[17]</sup>。

总之,时空 GIS 可以在微观层次实现人类行为时间特性的分析,在宏观层次上的时间分布特性还有待进一步将理论与方法结合<sup>[18]</sup>。时空 GIS 为人类行为的时间特征研究提供基础的、可操作的分析方法,特别是针对大规模人类个体活动的时间特性分析需求,时空 GIS 有较大的理论和方法优势。

## 2.3 人类行为时空关系方面

人类行为研究对时空关系的统计和建模相对较少,主要是时空特征对传播模型的影响<sup>[1]</sup>。地理学科对居民活动与地理交互方面有一些研究,时空 GIS 可以利用居民出行调查数据、手机数据等分析居民日常行为社会分异的时空关系<sup>[19]</sup>,如社会的阶层化及其行为的空间范围与时间耗费等,以及这些行为的时空关联关系等。

# 3 时空 GIS 在人类行为研究上存在的问题

## 3.1 时间与空间的分割

人类行为研究中,往往在统计和建模分析上单独考虑时间或空间相对容易,对时间和空间统筹考虑得相对较少。时空 GIS 可以集成表达人类行为在时间和空间上的变化<sup>[20]</sup>,但是对人类行为研究中的统计与建模规律缺少集成化的模型支撑,其普遍思路是把时间和空间分割开来分别建模处理,然后通过时空 GIS 来进行可视化表达。这种时空割裂的状态不利于理解和反映人类行为的内在社会化动因,如情绪变化<sup>[21]</sup>、交通环境变化<sup>[7]</sup>、信息通信技术、社交网络等<sup>[22]</sup>。

## 3.2 关注移动行为,忽略停留期间的行为

受交通环境、动态网络等的影响,很多的人类行为研究工作比较关注移动行为<sup>[10,23]</sup>及其时空特征的定量描述,如出行路线的度量与预测<sup>[24]</sup>、通勤与出行距离分布的统计等。的确,人类的移动行为反映了出行习惯,但是人类大多数的工作、生活、娱乐都处于某些位置的停留状态,如通过主成分分析方法,用手机数据识别住宅和办公区<sup>[25]</sup>。但是这些研究方法的数学模型可能存在一些不符合现实世界的假设条件(如各向同性等)。目前的时空 GIS 研究对停留行为分析的理论基础与方法(如时空核密度等)存在一些制约,对停留期间的人类活动识别及其量化还存在一些难度。

## 3.3 强调几何表达,行为因素分析较弱

目前的时空 GIS 研究实现了时间地理框架基本元素的计算与分析,如时空路径<sup>[2-8, 18,26]</sup>、(时

变)时空锥<sup>[2-7,13,26]</sup>、时空可达性<sup>[12,26-28]</sup>、潜在路径区域和时空箱<sup>[26]</sup>以及交互的三维可视化效果。虽然这些几何表达形式可以一定程度反映出人类行为的时空约束,但对人类行为因素的分析还相当弱。时空 GIS 需要根据人类活动因素,把人类活动数据与环境数据相结合,建立人类活动机理的理论分析模型,从而支撑量化的社会人类活动研究与应用。

### 3.4 时空 GIS 的大数据处理能力弱

以手机数据、WiFi 数据、浮动车数据等为代表的城市人类活动感知数据是典型的大数据,其对象规模大,时效性强,数据量大。目前,时空 GIS 面向人类行为研究的任务需求还难以处理实时的大数据,其主要问题在于缺少高效的数据模型与组织架构,使之能够容纳日益膨胀的大数据;缺少高效的计算理论与模型,使之能够实时挖掘大数据中蕴藏的时空规律;缺少与城市地理、城市规划、交通地理、现代通信、人文社科等领域人类行为有关理论与应用的对接处理能力,应用推广能力相对较弱。

总之,时空 GIS 对人类行为量化研究的支持能力还相对较弱,国内外有一些学者已经开始了该方面的研究。

## 4 结 语

本文从时空 GIS 的视野分析了对人类行为研究的能力与不足,重点探讨了人类行为研究的时间特征、空间特征研究支撑能力,总结了时空 GIS 研究的时间与空间的分割处理;关注移动行为,忽略停留期间的行为;强调几何表达,行为因素分析较弱以及大数据处理能力不足等问题,也对时空 GIS 未来的研究提出了一些建议,为挖掘人类行为的规律性、周期性和形似性规律,并为进行人类行为预测、社会化因素剖析以及人类行为实证等研究工作打下基础。同时,也可以时空 GIS 处理人类行为的理论与方法更加丰富,促进多样化社会应用。

### 参 考 文 献

[1] Zhou Tao, Han Xiaopu, Yan Xiaoyong, et al. Statistical Mechanics on Temporal and Spatial Activities of Human[J]. *Journal of University of Electronic Science and Technology of China*, 2013, 42(4):481-540(周涛,韩筱璞,闫小勇,等.人类行为时空特性的统计力学[J]. 电子科技大学学报,2013,42(4):481-540)

[2] Miller H J. Modeling Accessibility Using Space-

time Prism Concepts Within Geographical Information Systems[J]. *International Journal of Geographical Information Systems*, 1991, 5:287-301

[3] Yu H, Shaw S L. Exploring Potential Human Interactions in Physical and Virtual Spaces: A Spatio-temporal GIS Approach[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2008, 22(4):409-430

[4] Shaw S L, Yu H. A GIS-based Time-Geographic Approach of Studying Individual Activities and Interactions in a Hybrid Physical-Virtual Space[J]. *Journal of Transport Geography*, 2009, 17(2):141-149

[5] Yin L, Shaw S L, Yu H. Potential Effects of ICT on Face-to-Face Meeting Opportunities: A GIS-based Time-Geographic Exploratory Approach[J]. *Journal of Transport Geography*, 2011, 19(3):422-433

[6] Ren F, Kwan M P. Geovisualization of Human Hybrid Activity-Travel Patterns[J]. *Transactions in GIS*, 2007, 11(5):721-744

[7] Fang Z, Tu W, Li Q, et al. A Multi-objective Approach to Scheduling Joint Participation with Variable Space and Time Preferences and Opportunities[J]. *Journal of Transport Geography*, 2011, 19(4):623-634

[8] Chen J, Shaw S L, Yu H, et al. Exploratory Data Analysis of Activity Diary Data: A Space-time GIS Approach[J]. *Journal of Transport Geography*, 2011, 19(3):394-404

[9] Song C M, Qu Z, Blumm N, et al. Limits of Predictability in Human Mobility[J]. *Science*, 2010, 327(5968):1018-1021

[10] Hägerstrand T. What About People in Regional Science? [J]. *The Regional Science Association*, 1970, 24:7-21

[11] Miller H J, Bridwell S A. A Field-based Theory for Time Geography[J]. *Annals of the Association of American Geographers*, 2009, 99(1):49-75

[12] Kuijpers B, Miller H J, Neutens T, et al. An Chorun Certainty and Space-time Prisms on Road Networks[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2010, 24:1223-1248

[13] Chen B Y, Li Q, Wang D, et al. Reliable Space-time Prisms Under Travel Time Uncertainty[J]. *Annals of the Association of American Geographers*, 2013, 103(6):1502-1521

[14] Ren F, Kwan M. The Impact of Geographic Context on e-Shopping Behavior[J]. *Environment and Planning B*, 2009, 36(2):262-273

[15] Wong D, Shaw S L. Measuring Segregation: An

- Activity Space Approach [J]. *Journal of Geographical Systems*, 2011, 13(2):127-145
- [16] Song S, O'Kelly M, Kwan M P. The Impact of Geographic Context on e-Shopping Behavior[J]. *Environment and Planning B*, 2011, 48(5): 891-909
- [17] Ren F, Kwan M P. The Impact of the Internet on Human Activity-Travel Patterns: Analysis of Gender Differences Using Multi-group Structural Equation Models[J]. *Journal of Transport Geography*, 2009, 17: 440-450
- [18] Shaw S L, Yu H, Bombom L. A Space-time GIS Approach to Exploring Large Individual-based Spatiotemporal Datasets [J]. *Transactions in GIS*, 2008, 12(4):425-441
- [19] Zhou Suhong, Deng Lifang. Spatio-temporal Pattern of Residents' Daily Activities Based on T-GIS [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2010, 65(12): 1 454-1 463(周素红, 邓丽芳. 基于 T-GIS 的广州市居民日常活动时空关系[J]. *地理学报*, 2010, 65(12): 1 454-1 463)
- [20] Shaw S L. Guest Editorial Introduction: Time Geography—Its Past, Present and Future[J]. *Journal of Transport Geography*, 2012, 23:1-4
- [21] McQuoid J, Dijst M. Bringing Emotions to Time Geography: the Case of Mobilities of Poverty[J]. *Journal of Transport Geography*, 2012, 23:26-34
- [22] Van den Berg P E W, Arentze T A, Timmermans H J P. A Path Analysis of Social Networks, Telecommuni-  
cation and Social Activity-Travel Patterns[J]. *Transportation Research Part C*, 2013, 26: 256-268
- [23] De Domenico M, Lima A, Musolesi M. Interdependence and Predictability of Human Mobility and Social Interactions[J]. *Pervasive and Mobile Computing*, 2013, 9:789-807
- [24] McNerney J, Stein S, Rogers A, et al. Breaking the Habit: Measuring and Predicting Departures from Routine in Individual Human Mobility [J]. *Pervasive and Mobile Computing*, 2013, 9: 808-822
- [25] Csáji B C, Browet A, Traag V A, et al. Exploring the Mobility of Mobile Phone Users[J]. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 2013, 392(6): 1 459-1 473
- [26] Guan Meibao. GIS Method in Time Geographic Research: Geocomputation and Geovisualization of Human Activity Patterns[J]. *Urban Planning International*, 2010, 25(6): 18-26(关美宝. 时间地理学研究中的 GIS 方法: 人类行为模式的地理计算与地理可视化 [J]. *国际城市规划*, 2010, 25(6): 18-26)
- [27] Fang Z, Shaw S L, Li Q. A Sensitive Indicator of Regional Space-time Accessibility [J]. *Annals of GIS*, 2010, 16(3):155-164
- [28] Li Q, Zhang T, Wang H, et al. Dynamic Accessibility Mapping Using Floating Car Data: A Network-Constrained Density Estimation Approach[J]. *Journal of Transport Geography*, 2011, 19(3): 379-393

## Rethinking Human Behavior Research from the Perspective of Space-time GIS

SHAW Shihlung<sup>1,2</sup> FANG Zhixiang<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Geography, University of Tennessee, Knoxville, 37996-0925, USA

<sup>2</sup> State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, Wuhan 430079, China

**Abstract:** This paper discusses the potential and challenges when developing space-time GIS in support of human behavioral research. It high lights major accomplishments of using space-time GIS, especially from the time-geographic perspective, to study spatial and temporal characteristics of human behavior. However, there are several existing challenges impeding further development of the theory and methods of space-time GIS to support integrated space-time analysis, holistic study of human activities at stationary locations and in motion, as well as going beyond analysis of geometric characteristics of space-time trajectory data to gain insights on key factors that influence human behavioral patterns. We hope this paper helps shed light on future directions for developing space-time GIS in support of human behavioral research in the age of big data.

**Key words:** big data; space-time GIS; human behavior; space-time analysis

**First author:** SHAW Shihlung, professor, PhD, PhD supervisor. His research interests focus on time geography, transport geography and space-time GIS. E-mail: sshaw@utk.edu

**Foundation support:** The National Natural Science Foundation of China, Nos. 41231171, 41371420.