

基于位置感知设备的人类移动研究综述

刘 瑜,肖 昱,高 松,康朝贵,王 瑶 莉
(北京大学遥感与地理信息系统研究所,北京 100871)

摘要: 每个人在地理空间内的移动看似随机而没有规律, 然而一个较大规模人群的移动却隐藏着特定的模式。为了研究某些地理问题, 如交通、疾病传播等, 可以从个体行为出发, 在地理信息系统的支持下, 发现人类移动模式, 并构筑基于个体的模拟模型, 从而建立微观和宏观之间的桥梁, 并支持相应的决策过程。信息通讯技术的发展, 一方面改变了人们的空间行为模式, 另一方面使得基于位置感知设备获取海量人类移动数据成为可能。近年来, 上述研究一直是地理信息科学及相关领域的热点, 该文对此进行了总结和评述。

关键词: 基于个体的模型; 人类移动模式; 位置感知设备; 信息通讯技术; 时间地理学
中图分类号: P208 文献标识码: A 文章编号: 1672- 0504(2011)04- 0008- 06

0 引言

人地关系是地理学研究的基础之一。20 世纪 70 年代地理学“行为革命”阶段, 学者开始关注出行行为本身的再现、规律探讨及行为特点对地理环境和规划决策的影响^[1,2]。时间地理学的兴起更是给地理学中出行行为研究带来了新的突破。时间地理学在时空轨迹的基础上, 将时间分配和空间选择相结合, 从而研究个体的日常空间行为及相关的时空制约, 并服务于交通、服务设施规划等应用^[3,4]。近年来, 信息通讯技术 (Information and Communication Technologies, ICT) 的发展, 对个体行为及其研究带来了深远的影响。首先, ICT 在一定程度上改变了人们的生活方式。目前, 以因特网 (Internet) 和手机 (Mobile Phone) 为主体的 ICT 给人们带来了极大便利。Janelle 总结了人们在 4 种时空约束下的通讯方式: 当面同步 (Synchronous Presence)、当面异步 (Asynchronous Presence)、远程同步 (Synchronous Telepresence) 及远程异步 (Asynchronous Telepresence)^[5]。ICT 增强了人们的远程通讯能力, 弱化了距离对于活动的约束, 从而改变了人们在空间上的物理移动方式^[6,7], ICT 对于人们的空间移动有替代、增强和协同 3 种作用^[8]。Nobis 等探讨了手机使用与人们活动模式之间的关系^[9,10]。Shaw 等则根据时间地理学理论^[11], 扩展了时空棱柱 (Space time Prism) 的概念, 建立了一个框架以集成表示人们在物理空间和虚拟空间中的活动, 以表现虚拟空间中的活动和交互^[12,13]。其次, 手机、GPS 接

收设备等位置感知设备 (Location Aware Device, LAD) 的广泛应用, 使得获取长时间序列、海量高精度个体移动轨迹成为可能, 从而可以分析相应的人类移动模式并探究其反映的地理空间特征, 避免了传统时间地理学研究中活动日志调查方法精度较低且缺少对时空活动轨迹的连续和完整的描述的缺点^[14,15]。

面向个体研究方法的兴起及 ICT 的相应发展, 为地理信息科学乃至整个地理学带来新的机遇和挑战^[16]。图 1 描述了围绕个体空间移动的一个研究框架, 需要基于 ICT, 采集、加工和管理海量个体移动性数据, 挖掘其中隐含的模式, 对一个区域居民的宏观活动特征进行实证研究。进而, 通过构筑基于个体的概念模型, 模拟并探究城市规划、交通规划、公共卫生、社交网络 (Social Network)^[17] 等方面的特定社会问题与个体行为之间的关系。从图 1 看出, 人类移动模式是该研究框架的核心, 它已经成为国际上的一个热点领域, 在 Science、Nature、PNAS 等刊物及国际会议上, 近年来有多篇相关文章发表^[17-22]。

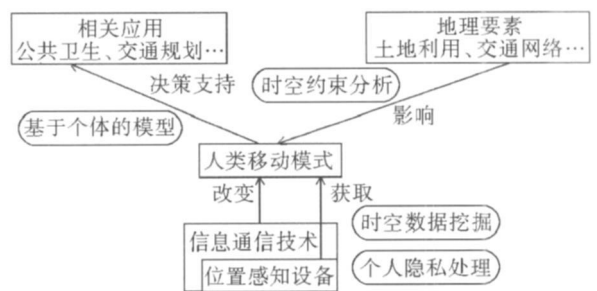


图 1 人类移动模式的相关研究框架
Fig. 1 A research framework on human mobility patterns

收稿日期: 2011-03-16; 修订日期: 2011-04-25

基金项目: 海外及港澳学者合作研究基金“中国交通网络和城市系统演化实证研究”(40928001)

作者简介: 刘瑜 (1971-), 男, 副教授, 主要研究方向为地理信息科学。E-mail: liuyu@urban.pku.edu.cn

1 基于位置感知设备的人类移动数据获取

位置感知(Location Awareness)是指通过导航设备能够获取特定个体或物品的位置,进而基于位置的服务(Location Based Service, LBS)可以根据移动终端的位置提供相应的服务。移动电话系统和卫星导航系统是在区域和全球尺度上提供位置感知支持,相应的终端设备为手机和GPS接收机。手机利用基站定位,精度相对较低,但是可以连续追踪个体的位置变化,尤其是当前手机使用非常普及,手机定位使得采集海量个体移动信息成为可能。GPS接收机能够更为精确地记录地理坐标,然而采集个体移动信息需要配备大量GPS接收机并涉及隐私问题,因而在研究中多向小规模人群发放并需签署相应协议,如Rhee等采用GPS研究人类活动性,参与人数只有44名^[22]。由于车载GPS的普及,尤其是配备GPS的浮动轨迹车被广泛应用于实时路况监控,因此有很多人类移动研究基于车载GPS轨迹开展。除了直接对个体或车辆进行跟踪并分析其轨迹外,还有一些研究则通过跟踪特定物品,如加盖标记的一美元纸币(<http://www.wheresgeorge.com>)、“旅行虫”(Travel bug)(<http://www.geocaching.com>)等,这些物品的移动轨迹也能反映人类移动的特点^[21, 23]。

1.1 配备GPS的浮动车

浮动车(Floating Car)技术是智能交通系统(Intelligent Transportation System, ITS)中采用的获取道路交通信息的技术手段之一^[24]。每辆浮动车都装配有GPS接收设备,以记录车辆的位置及速度信息。基于多辆浮动车采集的数据并结合基础道路信息,可以获取实时的城市交通状况,如车速、流量、拥堵情况等^[25, 26]。在浮动车数据处理中,需要根据道路网络,考虑GPS定位精度和采样间隔,推测车辆的运行状况并与实际道路匹配^[27, 28]。浮动车及其它配备GPS的车辆同样可以用于分析个体的空间活动模式, Jiang等基于出租车轨迹探讨了在路网约束下个体移动的模式^[29]。目前,我国在很多城市开展了基于浮动车(多为出租车)的路况实时监控工作,这为分析人类移动乃至城市空间动态提供了重要的数据源。然而,由于出租车只能记录特定乘客在较短时段内的时空轨迹,难以分析较长时段内个体的活动特征,因此,出租车数据主要用于分析一些较为宏观的城市交通及土地利用状况^[30]。

1.2 手机定位数据

近年来,随着手机的广泛使用,基于手机数据的人类移动研究成为当前研究的热点。通常,手机通话数据一般记录了主被叫的编码、通话日期、通话时间、通话时长、基站位置等信息,当然为了保护用户隐私,已做匿名化处理。通过对一个较长时段内通话记录的处理分析,可以获得大样本量(百万至千万级别)的个体较为连续和完整的时空轨迹^[6](图2,见封2)。

利用手机信号采集个体时空数据具有独特的优势:1)采集个体位置和移动信息真实;2)定位精度高、信号覆盖广;3)可实时、动态获取移动信息;4)可减少行为数据编码过程的信息损失,适合大规模采集。但基于手机数据获取的移动轨迹也存在两个问题:首先,如果采用被动式获取个体位置(即只有当用户拨打或接收电话时,其位置才会被记录),则基于手机提取的轨迹与用户实际移动轨迹可能存在差异。其次,个体位置是通过通话时路由基站的位置近似得出,存在精度问题。基于基站的空间分布,可以建立Voronoi图,Voronoi多边形的面积表示了定位精度。Ahas等开展的手机定位实验表明,在城市定位精度可达200~600m,在郊区精度也能保持在1~2km^[31, 32]。然而,随着记录时间的加长,根据手机定位数据计算的移动模式度量,如回转半径(Radius of Gyration)、熵等,会趋向稳定,并与实际轨迹的度量一致。

2 基于位置感知设备的人类移动研究内容

每个人的活动如同分子运动,看似杂乱无序,实则存在潜在的模式,发现这种模式并揭示其影响因素,需要采集海量的个体轨迹数据。基于海量个体移动性时空数据,主要有两个研究方向:第一个方向侧重于方法学方面的研究,又可以分为面向数据的方法学研究和面向应用的方法学研究,前者主要研究处理和加工海量时空轨迹数据的方法^[33],后者则通过基于个体的模型,在个体行为和宏观社会经济现象之间建立联系,并服务于相关应用;第二个方向侧重于实证研究,即根据实际数据,计算个体移动宏观统计特征,进而考虑时空异质性,对人类移动模式做出解释。

2.1 方法学探讨

2.1.1 时空数据表达与数据挖掘 时空数据挖掘一直是地理信息科学的研究重点,近年来,由于LAD的广泛应用,该方面研究多侧重于基于时空路径的可视化表达与数据挖掘。地学可视化有助于发

现大量地学数据所蕴含的模式^[34],对时空路径的可视化多基于三维(x, y, t)时空立方体(Space time Aquarium)表达(图 3, 见封 2),在三维可视中,除了表达时空轨迹外,还可以表现个体活动类型^[35]。此外, Demsšr 等将密度分析方法引入时空立方体中,以可视化时空路径模式^[36]。时空轨迹数据挖掘的主要任务包括发现频繁到访区域^[37]、异常路径、相似路径^[38]以及未来位置预测等。为了发现时空轨迹模式,需要对空间进行划分以实现数据聚合。通常,空间划分采用规则的网格划分,然而不合适的空间划分会带来计算量过大或特定模式丢失等问题,因此 Jeung 等采用隐马尔可夫模型实现轨迹的预测,以避免空间划分带来的问题^[39];除隐马尔可夫模型,神经网络、Kalman 滤波等方法也可用于预测时空路径。

2.1.2 时空约束分析 时间地理学研究人们在时空内活动之间的关系及约束^[11]。时空路径(Space time path)和时空棱柱(Space time prism)是时间地理学中的两个重要概念(图 3),前者表达了个体的移动轨迹,后者则表示在给定时空约束前提下所能到达的空间范围^[40]。时空约束应用于很多社会学研究中,以分析设施时空可达性及相应的社会问题,如公平、性别等^[41-43]。通常时空棱柱是基于各向同性的速率约束建立,但现实决定速率的阻力是不均匀的,Miller 等考虑这种不均匀,利用速率场的概念探讨了时空棱柱的构建方法^[44]。考虑 ICT 的发展,时空棱柱方法同样可以用于表达个体在虚拟空间的活动(如网上购物)的约束^[12,13]。此外,基于 LAD 提供的时空路径,可以更精确地分析个体时空可达性。然而,由于大部分 LAD 数据不包含活动信息,因此需要借助于其它途径(如调查问卷)获取活动信息。此外,基于浮动车数据可以获取动态交通状况,从而建立具有动态变化的速率场并基于此分析时空可达性的动态变化^[30]。

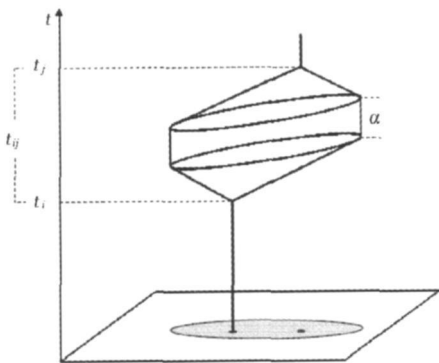


图 4 时空路径和时空棱柱
Fig. 4 Space time path and space time prism

2.1.3 个体移动数据分析中的隐私处理 随着人

们对于自身隐私关注度的不断提高,如何规避个人隐私问题已成为限制移动定位数据获取和研究发展的重要阻力^[45]。例如,欧盟各国法律明确规定,个人信息不得以商业目的提供给第三方,此类政策和法规加剧了利用手机数据开展人类移动研究的困难。在实际研究中,研究者不得不采用各种手段回避这一问题:如 Ratti 等运用汇总的手机时空行为数据研究城市空间结构的时间变化规律,避免了其与单个样本真实活动的关联^[46];Markkula 探讨了个人信息匿名化的数据存储与处理方式等^[47],这对于科学研究的公正性和合法性给出了一定程度上较为合理的解决方案;Piórkowski 利用诺基亚手机 GPS 移动轨迹共享网站上人们自愿分享的个人时空移动轨迹数据进行研究,以避免对他人隐私的侵犯^[48],也充分体现了自发式地理信息(Volunteered Geographic Information, VGI)采集方式的优势^[49]。

2.1.4 基于个体的模型构筑 基于 Agent 的模型(Agent-Based Model, ABM)可用于模拟大量 Agent 之间的行为和交互过程,据此模拟复杂系统的宏观特征^[50],并解释复杂的自然和社会现象。目前 ABM 已广泛应用于流量管理、组织行为模拟、市场模拟、扩散模拟等领域^[47]。当 Agent 模拟对象为个体时,可称为基于个体的模型;在基于个体的模型中考虑空间因素并与地理信息系统相结合,可以处理疾病传播^[51,52]、交通模拟^[53,54]、个体在空间的移动^[55]及人流疏散等问题。建立基于个体的模型,需要形式化表示个体的行为和交互特征,这些属性的宏观统计特征与实际尽可能一致。基于位置感知设备获取的海量空间移动信息,有助于更好的构筑并验证 ABM。

2.2 实证研究

2.2.1 个体活动模式分析 近年来,随着物理学、动力学等模型及相关学者的介入,个体出行活动模式逐渐被大众所熟知和接受。在时间规律方面,Ahas 等通过统计居民的通话和移动频率,发现居民在 24 h 内的活动强度具有明显的差异性和规律性^[56]:无论是工作日还是非工作日,个体的活动强度都存在“双峰”特性,其 24 h 变化呈倒“W”型曲线规律,即 9-11 时是一天内的高峰值区间,12-15 时有所降低;而 16-18 时又形成峰值区间,18 时之后强度逐渐减弱;23 时至次日 5 时达到最低值。在空间规律方面,Brockmann 等认为货币的流通反映了较大空间尺度上人类移动特征,并通过 46 万张一美元钞票的轨迹追踪分析发现,人们的出行距离总体

上呈现胖尾分布(Fat-tail)规律,而且与随机分布模式有着明显的差别^[21]。Rhee 等则采用 GPS 数据,研究了人们在较小空间尺度下的空间移动特征,认为具有较强的 Lévy 移动特点^[22]。González 等分析了 6 个月内 10 万名匿名手机用户的轨迹,指出 Brockmann 等观察到的分布模式实际是个体的 Lévy 移动和人群异质性卷积的效果^[18]。Song 等指出个体的出行具有非随机性,人们总是频繁地出现在某些特定的地点,不管行为活动的多样性如何,人类活动总是遵从简单的重现模式、高度的可预测性^[19,20]。简而言之,人类空间运动已被证明具有多种特征:1) 空间行程分布的不均匀性,其行程分布满足具有尾部截断的幂率分布,说明其远大于平均行程的长程运动的概率远高于传统的随机运动描述;2) 具有明显的局域性,其远离某个小区域的概率随时间的衰减而减小;3) 具有较强的规则性和可预测性,即个体一般存在少数几个经常前往的地点。此外,对于不同社会群体行为模式差异的研究是移动模式研究的另一个热点方向。除时空路径外,考察个体的行为特征还需对个体日常活动(如工作、用餐、购物等)进行分类。然而,基于 LAD 获取的数据不包括个体的活动类型,需要基于时空路径及相关服务设施的空间分布,推断个体在特定时空点的活动类型。例如, Huang 等利用时空数据挖掘技术从用户的通话记录中获取居民日常活动的重要位置(锚点),如住处、工作地点、休闲场所等,这些信息对于理解城市内部的功能分区、空间布局等有着重要的现实意义^[57]。Phithakkitnukoon 等利用美国马萨诸塞州 100 万手机用户信息,结合餐馆、商店、剧院等设施的空间分布,得到个体每天的活动模式特征^[58]。

2.2.2 宏观活动系统分析 区域空间结构和人类移动间存在相互作用,因此可以利用海量个体移动数据反映宏观活动系统的特征及区域空间结构的影响。其中,由于城市是人们社会经济活动最为集中的区域,该方面研究多针对特定城市开展^[42,43,59,60]。单个用户的手机数据可以反映个体的活动模式,而一个城市海量的手机数据可以展现该城市的动态变化特征,为研究者提供更为直观的观察和分析手段,从而更好地解决从微观到宏观的行为汇总难题^[61],有助于了解城市的交通路况、人口密度、经济活动强度、资源分配等状况。在该方面研究中,通常直接采用小区基站的话务量度量响应区域的活动强度,而忽略个体的具体移动轨迹。Ratti 等收集了意大利

米兰市 232 个手机基站的话务量,进行了“移动景观(Mobile Landscapes)”项目研究,不仅对居民的时空活动进行了动态刻画,而且剖析了现代大城市所出现的职住分离(Work-home Separation)和空间错位(Spatial Mismatch)现象^[46]。Candia 等基于手机通话数据,分析了人们活动的时空分布特征,并通过考察一个时段内移动和通话信息,发现异常事件的空间分布^[62]。Sevtsuk 等采用手机基站的话务量(Erlang 量)反映人口分布动态,进而得出人们的活动在不同时间周期(如小时、日、周等)都有很强的规律性^[63]。由于车辆的运动受限于路网,因此可以基于车辆轨迹计算道路(尤其是城市道路)的流量及交通状况,并分析其时空分布特征。Jiang 采用瑞典 Gävle 市的车载 GPS 轨迹数据,分析了道路流量的统计分布特征,发现了道路流量中的 20~80 现象,即 20% 的道路承担了 80% 的流量,并且 1% 最重要的道路承担了 20% 的交通量^[64];进而,有学者试图分析交通流量分布与道路网络中心性指标间的关系^[65]。然而由于个体活动的出发点和目的点(Origin destination)空间分布的异质性及个体活动的有限性,即人们并不总是选择最短路径出行,使得中心性指标难以直接解释交通流量分布;Jiang 等则根据路网拓扑结构,构造了一个全局综合指标,能够较好地预测交通流的分布^[66]。

3 结论

从个体角度出发研究地理空间问题,有助于建立“以人为本”的模型并进行空间科学决策。在基于个体的建模中,需要获取海量个体时空轨迹信息并发现其中的移动模式。ICT 技术的发展,一方面改变了人们的活动模式,另一方面也提供了采集海量人类移动数据的途径。近年来,基于手机、个人携带或车载 GPS 接收机获取的移动性信息的研究,在地理学、计算机科学乃至物理学领域受到广泛的重视。GIS 技术的发展为管理和分析海量个体移动数据提供了极大便利,基于 GIS 可以挖掘时空轨迹模式,进而考虑空间异质性,在宏观层面发现影响这些模式的地理因素,并服务于交通规划、传染病控制等应用领域。

参考文献:

- [1] BURNETT P, THRIFT N J. New approaches to travel behavior [A]. HENSHER D, STOPHER P. Behavioral Travel Demand Modeling [C]. London: Croom Helm, 1979: 116-136.

- [2] 柴彦威. 行为地理学研究的方法论问题[J]. 区域研究与开发, 2005, 24(2): 1- 4.
- [3] 柴彦威, 王恩宙. 时间地理学的基本概念与表示方法[J]. 经济地理, 1997, 17(3): 55- 61.
- [4] GOLLEDGE R G, STIMSON R J. Spatial Behavior: A Geographic Perspective[M]. New York: The Guilford Press, 1997.
- [5] JANELLE D. Metropolitan expansion, telecommuting, and transportation[A]. HANSON S. The Geography of Urban Transportation[C]. New York: The Guilford Press, 1995. 407- 434.
- [6] KANG C, GAO S, LING X, et al. Analyzing and geovisualizing individual human mobility patterns using mobile call records [A]. Proceedings of the 18th International Conference on Geoinformatics[C]. 2010. 1- 7.
- [7] 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]. Transport Geography, 2011, 19(3): 422- 433.
- [8] MOKHTARIAN P L, MEENAKSHISUNDARAM R. Beyond tele substitution: Disaggregate longitudinal structural equations modeling of communication impacts [J]. Transportation Research Part C, 1999, 7(1): 33- 52.
- [9] NOBIS C, LENZ B. Communication and mobility behaviour——a trend and panel analysis of the correlation between mobile phone use and mobility [J]. Transport Geography, 2009, 17(2): 93- 103.
- [10] THULIN E, VILHELMSON B. Mobiles everywhere: Youth, the mobile phone, and changes in everyday practice [J]. Young, 2007, 15(3): 235- 253.
- [11] HÄGERSTRAND T. Innovationsföroppet U r Korologisk Sympunkt[M]. Lund, Sweden: C. W. K Gleerup, 1953.
- [12] YU H, SHAW S L. Exploring potential human interactions in physical and virtual spaces: A spatiotemporal GIS approach [J]. International Journal of Geographical Information Science, 2008, 22(4): 409- 430.
- [13] SHAW S L, YU H. A GIS-based time-geographic approach of studying individual activities and interactions in a hybrid physical-virtual space [J]. Transport Geography, 2009, 17(2): 141- 149.
- [14] GOODWIN P. Some problems in activity approaches to travel demand[A]. CARPENTER S, JONES P. Recent Advances in Travel Demand Analysis[C]. Gower: Aldershot, 1983. 470- 474.
- [15] WANG D. Conjoint Approaches to Developing Activity Based Models[D]. Netherlands: Eindhoven University of Technology, 1998.
- [16] PFAFF J. Mobile phone geographies [J]. Geography Compass, 2010, 4(10): 1433- 1447.
- [17] LIBEN-NOWELL D, NOVAK J, KUMAR R, et al. Geographic routing in social networks[J]. PNAS, 2005, 102(33): 11623- 11628.
- [18] GONZÁLEZ M C, HIDALGO C A, BARA BÁSI A L. Understanding individual human mobility patterns[J]. Nature, 2008, 453: 779- 782.
- [19] SONG C, QU Z, BLUMM N, et al. Limits of predictability in human mobility[J]. Science, 2010, 327: 1018- 1021.
- [20] SONG C, KOREN T, WANG P, et al. Modelling the scaling properties of human mobility[J]. Nature Physics, 2010, 6: 818- 823.
- [21] BROCKMANN D, HUFNAGEL L, GEISEL T. The scaling laws of human travel[J]. Nature, 2006, 439: 462- 465.
- [22] RHEE I, SHIN M, HONG S, et al. On the levy-walk nature of human mobility[J]. IEEE INFOCOM 2008, IEEE, 2008, 1597- 1605.
- [23] BROCKMANN D, THEIS F. Money circulation, trackable items, and the emergence of universal human mobility patterns[J]. IEEE Pervasive Computing, 2008, 7: 28- 35.
- [24] SCHÄFER R, THIESENHUSEN K, BROCKFELD E, et al. A traffic information system by means of real-time floating car data[C]. ITS World Congress, Chicago, 2002.
- [25] KOBAYASHI T, SHINAGAWA N, WATANABE Y. Vehicle mobility characterization based on measurements and its application to cellular communication systems[J]. IEICE Transactions on Communications, 1999, 82(12): 2055- 2060.
- [26] LI X, LI X, TANG D, et al. Deriving features of traffic flow around an intersection from trajectories of vehicles[A]. Proceedings of the 18th International Conference on Geoinformatics[C]. 2010.
- [27] BRAKATSOULASS, PFOSE S, SALLAS R, et al. On map matching vehicle tracking data [A]. Proceedings of the 31st VLDB Conference[C]. 2005. 853- 864.
- [28] LV W, ZHU T, WU D, et al. A heuristic path estimating algorithm for large-scale real-time traffic information calculating [J]. Science in China Series E-Technological Sciences, 2008, 51(S1): 165- 174.
- [29] JIANG B, YIN J, ZHAO S. Characterizing human mobility patterns in a large street network[J]. Physical Review E, 2009, 80: 21- 136.
- [30] LI Q, ZHANG T, WANG H, et al. Dynamic accessibility mapping using floating car data: A network constrained density estimation approach[J]. Transport Geography, 2011, 19(3): 379- 393.
- [31] AHAS R, LAINESTE J, AASA A, et al. The spatial accuracy of mobile positioning: Some experiences with geographical studies in Estonia [J]. Location Based Services and Telecartography, Lecture Notes in Geoinformation and Cartography, 2007, 5: 445- 460.
- [32] AHAS R, AASA A, SILM S, et al. Mobile positioning in space-time behavior studies: Social positioning method experiments in Estonia [J]. Cartography and Geographic Information Science, 2007, 34(4): 259- 273.
- [33] BAYIR M A, DEMIRBAS M, EAGLE N. Mobility profiler: A framework for discovering mobility profiles of cell phone users [J]. Pervasive and Mobile Computing, 2010, 6(4): 435- 454.
- [34] MACEACHREN A M, KRAAK M J. Research challenges in

- geovisualization[J]. *Cartography and Geographic Information Science*, 2001, 28: 3– 12.
- [35] REN F, KWAN M P. Geovisualization of human hybrid activity travel patterns[J]. *Transactions in GIS*, 2007, 11(5): 721– 744.
- [36] DEMŠŠR U, VIRRANTAUŠ K. Space time density of trajectories: Exploring spatiotemporal patterns in movement data [J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2010, 24(10): 1527– 1542.
- [37] GIANNOTTI F, NANNI M, PEDRESCHI D, et al. Trajectory pattern mining[A]. *Proceedings of ACM KDD'07*[C]. 2007. 330– 339.
- [38] GIDÓFALVI G, PEDERSEN T B. Mining long, sharable patterns in trajectories of moving objects [J]. *GeoInformatica*, 2009(13): 27– 55.
- [39] JEUNG H, SHEN H T, ZHOU X. Mining trajectory patterns using hidden Markov models[A]. *Proceedings of the 9th International Conference on Data Warehousing and Knowledge Discovery*[C]. 2007. 470– 480.
- [40] MILLER H J. Modeling accessibility using space time prism concepts within geographical information systems[J]. *International Journal of Geographical Information Systems*, 1991, 5(3): 287– 302.
- [41] KWAN M P. Space time and integral measures of individual accessibility: A comparative analysis using a point based network [J]. *Geographical Analysis*, 1998, 30(3): 191– 216.
- [42] KWAN M P. Gender, the home work link, and space time patterns of non employment activities[J]. *Economic Geography*, 1999a, 75(4): 370– 394.
- [43] KWAN M P. Gender and individual access to urban opportunities: A study using space time measures[J]. *Professional Geographer*, 1999b, 51(2): 210– 227.
- [44] 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.
- [45] MINCH R P. Privacy issues in location aware mobile devices [A]. *Proceedings of the 37th Hawaii International Conference on System Sciences*[C]. 2004. 1– 10.
- [46] RATTI C, FRENCHMAN D, PULSELLI R M, et al. Mobile landscapes: Using location data from cell phones for urban analysis[J]. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 2006, 33(5): 727– 748.
- [47] MARKKULA J. Dynamic geographic personal data——new opportunity and challenge introduced by the location aware mobile networks [J]. *Cluster Computing*, 2001, 4(4): 369– 377.
- [48] PIÓRKOWSKI M. Sampling urban mobility through our line repositories of GPS tracks[A]. *Proceedings of the 1st ACM International Workshop on Hot Topics of Planet Scale Mobility Measurements*[C]. 2009. 1– 6.
- [49] GOODCHILD M F. Citizens as sensors: The world of volunteered geography[J]. *GeoJournal*, 2007, 69(4): 211– 221.
- [50] BONABEAU E. Agent based modeling: Methods and techniques for simulating human systems[J]. *PNAS*, 2002, 99(S3): 7280– 7287.
- [51] BIAN L. A conceptual framework for an individual based spatially explicit epidemiological model [J]. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 2004, 31: 381– 395.
- [52] BIAN L, LIEBNER D. A network model for dispersion of communicable diseases[J]. *Transactions in GIS*, 2007, 11(2): 155– 173.
- [53] KHALESIAN M, DELAVAR M R. A multi agent based traffic network micro simulation using spatiotemporal GIS[J]. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2008, XXXVII (B2).
- [54] BENENSON I, MARTENS K, BIRFIR S. PARKAGENT: An agent-based model of parking in the city[J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2008, 32: 431– 439.
- [55] GIMBLETT R, ROBERTS C A, DANIEL T C, et al. An intelligent agent based model for simulating and evaluating river trip scenarios along the Colorado River in Grand Canyon National Park[A]. GIMBLETT H R. *Integrating GIS and Agent Based Modeling Techniques for Understanding Social and Ecological Processes*[C]. Oxford Press, 2000. 245– 275.
- [56] AHAS R, ASA A, SILM S, et al. Daily rhythms of suburban commuter's movements in the Tallinn metropolitan area: Case study with mobile positioning data [J]. *Transportation Research Part C*, 2010, 18:45– 54.
- [57] HUANG W, DONG Z, ZHAO N, et al. Anchor points seeking of large urban crowd based on the mobile billing data[J]. *Advanced Data Mining and Applications, Lecture Notes in Computer Science*, 2010, 6440: 346– 357.
- [58] PHITHAKKITNUKON S, HORANONT T, DI LORENZO G, et al. Activity aware map: Identifying human daily activity pattern using mobile phone data[J]. *Human Behavior Understanding, Lecture Notes in Computer Science*, 2010, 6219: 14– 25.
- [59] CHOWELL G, HYMAN J M, EUBANK S, et al. Scaling laws for the movement of people between locations in a large city [J]. *Physical Review E*, 2003, 68: 066102(1– 7).
- [60] SHOVAL N. Tracking technologies and urban analysis [J]. *Cities*, 2008, 25: 21– 28.
- [61] ARENTZE T A, TIMMERMANS H J P, HOFMAN F, et al. Data needs, data collection, and data quality requirements of activity-based transport demand models [J]. *Transportation Research Circular*, 2000, E– C008, II– J/1.
- [62] CANDIA J, GONZÁLEZ M C, WANG P, et al. Uncovering individual and collective human dynamics from mobile phone records[J]. *Physics A: Mathematical and Theoretical*, 2008, 41: 224015(1– 11).
- [63] SEVTSUK A, RATTI C. Does urban mobility have a daily routine? Learning from the aggregate data of mobile networks [J]. *Urban Technology*, 2010, 17(1): 41– 60.

- [9] 陶超, 谭毅华, 蔡华杰, 等. 面向对象的高分辨率遥感影像城区建筑物分级提取方法[J]. 测绘学报, 2010, 39(1): 39–45.
- [10] 谭衢霖, 高姣姣. 面向对象分类提取高分辨率多光谱影像建筑物[J]. 测绘工程, 2010, 19(4): 31–38.
- [11] 刘正军, 张继贤, 孟亚宾, 等. 基于分类与形态综合的高分辨率影像建筑物提取方法研究[J]. 测绘科学, 2007, 32(3): 38.
- [12] 谭衢霖, 沈伟, 高姣姣. 高分辨率遥感影像分割提取构筑物评估[J]. 北京交通大学学报, 2010, 34(1): 105–109.
- [13] BAATZ M, SCH • PE A. Object oriented and multi scale image analysis in semantic networks[A]. Proc. of the 2nd International Symposium on Operationalization of Remote Sensing [C]. 1999.
- [14] 将波涛. 插件式 GIS 应用框架的设计与实现——基于 C# 和 ArcGIS Engine9.2[M]. 北京: 电子工业出版社, 2010. 163–196.
- [15] 杜培军. 遥感原理与应用[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2006. 113–154.
- [16] 梅安新, 彭望录, 秦其明, 等. 遥感导论[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001. 98–123.

A Study of Building Extraction Based on Morphological Rehabilitation and Rule-Oriented Classification

HUANG Jin-ku^{1,2}, FENG Xian-feng¹, XU Xiu-li³, DING Qing^{1,2}

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049;

3. The Antu Digital Technology Development Ltd of Beijing, Beijing 100085, China)

Abstract: Building extraction is a significant studying realm of Remote Sensing. In this paper, a morphological rehabilitation and rule-oriented classification method is proposed, and Laoshan District, Qingdao City is used as the experimental area. Firstly, a coarse building contour is obtained from the Quick Bird image through the algorithms including pretreatment, small scale segmentation, merging segmentation, rule-based classification, morphological rehabilitation and edge detection. Secondly, to make the building contour more accurately, an extraction system is developed with the ArcGIS Engine platform. According to the different morphology of building contours, methods, such as manual tracking digitization, automatic digitization and model digitization, are adopted in this system, respectively. At this stage, both the vector building contour obtained from the first step and the preprocessed remote sensing image are treated as basic maps. Finally, precise building contours are extracted. Compared with the supervised classification, the method can extract buildings more effectively, and lets the work of building extraction become much more automatic and intelligent.

Key words: high resolution remote sensing image; building extraction; model library; image segmentation; digitalization

(上接第 13 页)

- [64] JIANG B. Street hierarchies: A minority of streets account for a majority of traffic flow [J]. International Journal of Geographical Information Science, 2009, 23(8): 1033–1048.
- [65] KAZERANI A, WINTER S. Can betweenness centrality explain traffic flow[A]. Proceedings of the 12th AGILE International Conference on Geographic Information Science[C]. 2009. 1–9.
- [66] JIANG B, LIU C. Street based topological representations and analyses for predicting traffic flow in GIS[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2009, 23(9): 1119–1137.

A Review of Human Mobility Research Based on Location Aware Devices

LIU Yu, XIAO Yu, GAO Song, KANG Chao-gui, WANG Yao-li

(Institute of Remote Sensing and Geographical Information Systems, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: Understanding human mobility patterns is valuable in many geographical applications, such as transportation planning and epidemic disease controlling. By integrating individual based models and geographical information systems, and adopting identified human mobility patterns, the geographical dynamics can be investigated and simulated so that scientific decisions can be made. With the development of information and communication technologies, human mobility patterns have been significantly changed. Meanwhile, widely applied location aware devices, including mobile phones and GPS receivers, provide great convenience for collecting large volume individuals' trajectories. Recently, it is a hot topic to analyze and interpret human mobility patterns using such trajectory data in the fields of time geography and geographical information science. In this paper, recent research in the related fields was reviewed.

Key words: individual based model; human mobility pattern; location aware devices; information and communication technologies; time geography

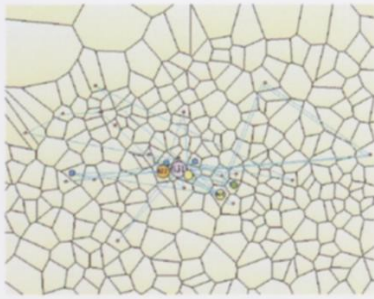


图 2 基于手机通话数据及基站位置获取个体移动轨迹
Fig. 2 Individuals' trajectories extracted according to locations of mobile phone calls

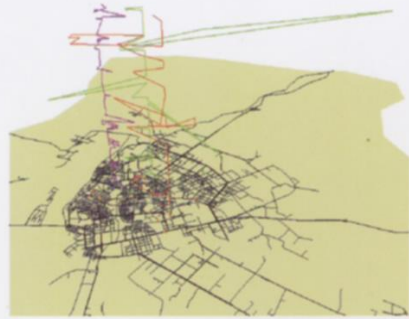


图 3 个体移动时空轨迹的可视化
Fig. 3 Visualization of individuals' trajectories



图 3 建筑物矢量图的粗提取
Fig. 3 The process of extracting the building vector coarsely

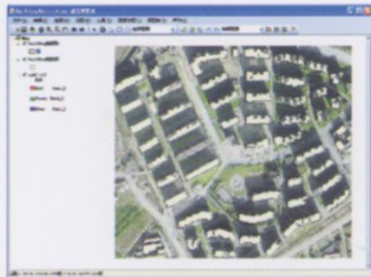


图 5 建筑物提取系统界面
Fig. 5 The interface of the building extraction system

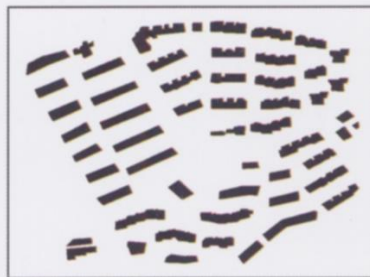


图 6 试验区建筑物轮廓提取结果
Fig. 6 The building extraction result of the test area

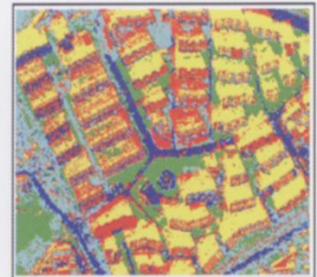


图 7 监督分类结果
Fig. 7 Supervised classification result

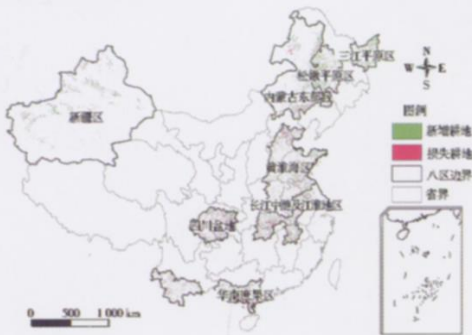
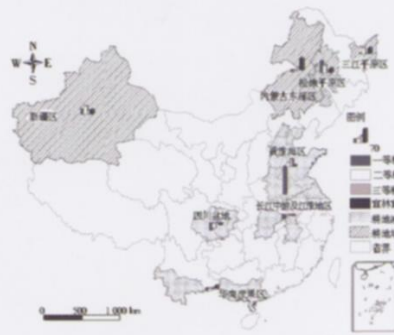


图 2 农业主产区的耕地动态变化分布
Fig. 2 The dynamic change of farmland in main agricultural production regions



注：柱状图代表各区耕地净变化量的耕地质量分配情况，正值代表净增加耕地，负值代表净减少耕地。
图 3 八大农业主产区新增耕地和转用耕地的质量情况
Fig. 3 Quality description of farmland in each main agricultural production region