

可达性度量方法及应用研究进展评述

陈 洁, 陆 锋, 程昌秀

(中国科学院地理科学与资源研究所 资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101)

摘 要: 可达性一直是地理学、土木建筑工程设计、交通运输经济学等学科的研究热点。已有的各种可达性度量方法目前已广泛应用于交通网络与城镇发展研究、交通基础设施的区域经济效应评价、选址分析、园林景观规划、社会文化等多个研究领域。随着应用需求的持续加大和技术研究的不断深入, 可达性度量方法也在快速发展, 其度量体系正在形成。本文首先从两个层面对可达性的涵义进行全面阐述; 在此基础上, 从网络特性的角度对拓扑法、距离法、累积机会法、等值线法、重力模型法、平衡系数法、时空法、效用法等目前常用的可达性度量方法进行系统分类, 并且从可达性影响因素入手对各种度量方法进行综合比较与评述; 然后, 针对不同的应用领域, 对各种度量方法的应用研究现状进行详细论述与剖析; 最后, 对可达性研究的发展方向进行深入讨论与展望。

关 键 词: 可达性; 度量; 进展; 评价

1 引言

可达性是人文地理学、城乡规划、地球信息科学、交通运输经济学等学科的研究热点之一。可达性研究最早起源于古典区位论, 旨在对空间上某一要素实体(点、线或区域)的位置优劣程度进行度量。随着自然科学和社会科学的不断发展和细化, 可达性的研究范围及其应用也越来越广泛。在与地理空间分布相关的自然科学领域, 可达性研究大体上可分为以下四个方面: 交通网络空间格局演变对区域发展影响研究: 将区域的演化与交通网络的发展看作一种空间互动过程, 通过可达性指标有效度量交通网络结构(航空网、铁路网、公路网等)进而评价区域获取发展的机会和控制市场的能力。如陆大道院士有关可达性变化对区域发展的影响研究^[1]; Dupuy&Stransky 有关欧洲城市公路可达性及其等级体系的探讨^[2]; Li&Shum、曹小曙等有关中国国家高等级干线公路网建设对区域和城市可达性的影响研究^[3,4]; 金凤君等有关中国铁路交通网的发展及空间经济结构演变的研究^[5]及中国航空客流网及城市地位与作用研究^[6]。吴威等、张莉等有关长江三角洲公路网可达性空间格局及其演化对区域和节点城市发展的影响研究^[7,8]; 罗鹏飞等有关沪宁地区高速铁路对沿线和临近区域可达性的影响研究^[9]; 徐的等有关江苏省高等级公路交通网络建设与节点城市区位评价研究^[10]; 张兵等有关湖南公路网络与区域效应研究^[11]; 新建交通基础设施的区域经济效应评价: 认为可达性变化引起区域内相对区位价值的变化, 从而扩大或减小区域经济发展差异^[12]。如 Linneker & Spence 有关伦敦 M25 环形公路所引起的可达性变化对区域经济发展作用的研究

收稿日期: 2007- 06; 修订日期: 2007- 07.

基金项目: 国家 863 项目(2006AA12Z209); 中国科学院知识创新工程前沿项目(CXIOG-D04-02)。

作者简介: 陈洁(1982-), 女, 博士研究生, 研究方向为交通地理信息系统。E-mail: chenj@reis.ac.cn

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.c>

究^[13]; Sasaki 等有关日本新建新干线所引起的可达性变化对区域经济和人口扩散作用的研究^[14]; Gutierrez 有关马德里-巴塞罗那-法国边境高速铁路对区域可达性影响的评价^[15]; 选址分析与区位评价: 包括工业(厂房、工矿)、商业(超市、购物中心)、服务业(学校、邮局、医院/诊所、仓储、物流配送站点、旅游景区)、房地产(办公、住宅)、金融业(银行、证券、保险)等社会部门或社会服务设施, 依据距离各类影响因子的接近程度, 对各类设施进行选址分析, 以及对设施布局、人居环境等进行区位评价^[16-22]; 园林与建筑设计、景观规划研究: 如江斌等有关伦敦 Tate 艺术馆的空间布局研究^[23]; Chen&Lu 有关北京故宫的内部空间构型研究^[24]; 城市空间公共场所设计^[25]等等。除上述研究领域外, 在与地理空间分布无关的其他网络形式中也存在可达性, 如计算机网络中节点的可达性度量^[26]、通讯系统中信息的可达性度量^[27]、以网络形式来表达的语言学中的词汇关系研究、传染病扩散研究、自然世界中的小世界网络现象研究等^[28-30]。这些研究主要是利用网络分析方法来分析以节点形式表达的个体之间的关系及其现象或物质在以网络形式表达的环境中的运动过程。

由于可达性研究的应用领域与研究对象种类繁多, 不同学者对于可达性概念的理解各不相同, 容易造成片面理解和模糊认识。因此全面阐述可达性的涵义, 进而构建完整的可达性度量方法体系, 具有重要的理论与实践指导意义。针对上述问题, 先后已有多位学者从事相关研究^[12, 30-34], 从路网结构评价、运输效率比较、地理区位研究等方面对可达性研究进行综述, 其中, Liu&Zhu 还实现了多种度量方法与 GIS 集成。但这些研究出发点和侧重点各有不同。此外, 对于诸如园林与场馆设计、景观规划等包含了心理认知因素的主观层面的可达性研究涉猎较少, 有关该领域的可达性度量方法研究也相对薄弱。鉴于此, 本文旨在全面诠释可达性概念的基础之上, 重点探讨基于网络特性的可达性度量方法分类体系与应用研究现状, 并对可达性研究的发展方向进行讨论与展望。

2 可达性涵义

可达性受到不同研究领域学者的广泛关注, 也因此产生了对可达性概念的不同理解。其中较有代表性的包括: 可达性是指在社会中产生的包括直接来源于个体作用与来源于整个社会如交通拥堵、环境污染等副产品作用的必然花费^[35]; 是指个人参与活动的自由度^[36]; 可达性是指在一定的交通系统中, 到达某一地点的难易程度^[37]; 可达性是指在合适的时间选择某种交通设施到达目的地的能力^[16, 38]; 是由土地利用-交通系统所决定的、人/货物通过一定的交通方式到达目的地或参与活动的方便程度^[33]; 可达性是指不同空间分布的点或区域之间相互影响的潜力^[39]; 可达性是指城市用地在时空上可接近的方便程度^[40]等。

对于可达性概念理解的差异, 本质上是来源于可达性不同层面的涵义。一为客观层面(交通运输或通讯可达性), 即各点之间交通、交流的便捷程度, 也就是区位评价; 二为主观层面(心理可达性), 即按人的意愿产生的对某一空间点或区域的主观选择优先级。目前有关可达性的研究大多是面向客观层面即交通运输或通讯可达性, 对于该层面的可达性的理解, 包括两种类型: 一种是从网络的空间配置角度考虑, 以人流、物流、信息流的便利程度来度量某一点位的可达性大小, 不同网络设施或网络目标对于待度量的点而言可能具有不同的权重。此时, 网络形态、密度、结构等与可达性度量密切相关。针对点或区域可达性的计算, 可以得

到有量纲的绝对数值。另一种是从 Tobler 地理学第一定律出发,认为空间上两点间的相互作用,随着距离的增大而减小,并且从社会经济学的角度,考虑两点间的吸引力规模,将待度量的点与外部所有其他点之间可能的影响之和视为外界施加到该点上的总潜能,亦即该点的可达性,分析由于空间位置差异而形成的需求点和吸引点之间潜在吸引力的规模和变化过程。此时,需要考虑所度量的点位的需求规模和吸引点的引力规模,而与交通网络空间形态无关。针对点或区域可达性的计算,只能得到相对的无量纲的计算结果,其在比较环境下才有意义。目前已有的可达性研究基本围绕上述两种类型展开,并根据应用需求差异,从理论和方法上发展了不同模型、参数和应用技术流程。对于主观层面即心理可达性研究,比如园林景观规划过程中,不但要考虑时空上的易达程度,还要考虑心理上的易达程度。这时考虑了人的心理感受对于环境的认知,因此可达性分析需要和人的心理感受相结合。此外,还包括由于个体差异,如个人需求、个人能力、机会等的差别,而导致的对交通方式不同选择。

3 可达性度量方法分类与比较分析

随着人们对可达性概念认识的深化与可达性概念在应用领域的扩展,可达性度量方法不断涌现并且不断改进。由于网络特性、影响因素以及空间尺度等的纷繁复杂,可达性度量方法表现出多样性。就已有的文献资料来看,目前常用的可达性度量方法主要包括:距离法、累积机会法、等值线法、重力模型法、概率法、频率法、平衡系数法、时空法、效用法、基于矩阵的拓扑法、基于空间句法的拓扑法等等。其中,针对交通网络空间格局演变对城镇体系发展影响研究常运用距离法、累计机会法、等值线法、重力模型法、基于矩阵的拓扑法;针对新建交通基础设施的区域经济效应评价常运用距离法、累计机会法、等值线法、重力模型法、效用法、平衡系数法;选址分析与区位评价常运用距离法、累计机会法、等值线法、重力模型法;针对城市园林与建筑设计、景观规划常运用基于空间句法的拓扑法与重力模型法;此外,有关社会文化等相关研究可能会涉及多种拓扑法。

以下将按照网络特性对目前常用的可达性度量方法进行分类,并从涉及的可达性影响因素、适宜的空间尺度等方面对各种可达性度量方法进行对比分析。

3.1 分类体系

按照网络特征的差异,可达性度量方法可按图 1 所示体系进行分类。

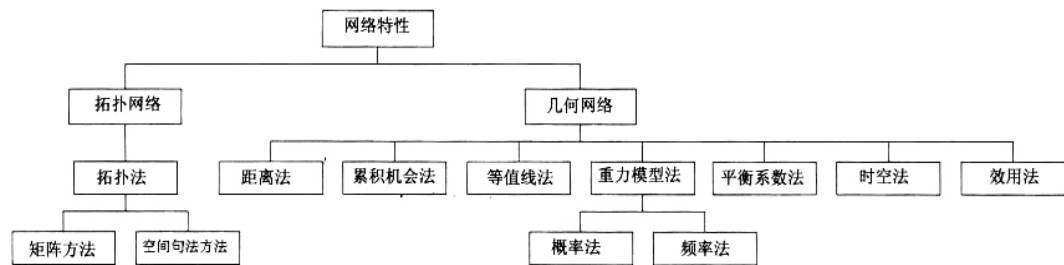


图 1 基于网络特性的可达性度量方法分类体系

Fig.1 Classification of the accessibility measurement approaches based on network characteristics

几何网络是交通网络的几何表现。基于几何网络的可达性度量方法使用空间距离、时间距离(跨越空间距离所需的时间)、经济距离(跨越空间距离所支付的费用)作为基本因子来度量可达性^[31]。建立在几何网络上的可达性度量方法主要包括距离法、累积机会法、等值线法、重力模型法、平衡系数法、时空法以及效用法等多种方法。

距离法^[41-43]是最为简单、直观的可达性度量方法。该方法使用各种距离作为可达性指标,距离越小,可达性水平越高。其度量方式主要包括相对可达性和总体可达性两种,前者采用两点之间的距离来度量它们之间的可达性水平,后者采用某点到其兴趣点集的距离之和来度量该点的可达性水平。距离法考虑了个体在交通网络中流动的耗费,但没有考虑距离的衰减以及各点的作用力规模等因素。

累计机会法^[44]和等值线法^[45]是在距离法的基础上发展而成的。其中,累计机会法是指在设定某一个出行成本(距离、时间、费用)的前提下,将从某地点出发能接近的机会的多少作为可达性指标。机会越多,可达性水平越高。这里的机会可以是就学、就业、医疗、购物、休闲机会等等,一个吸引点可以对应一个或者多个机会。等值线法进一步对出行成本进行分级,按不同成本等级分别累计可到达的吸引点的数量。数量越多,可达性水平越高。累计机会法和等值线法本质上都是通过对某点交通出行的便捷程度的评价来衡量可达性水平,未考虑度量点和吸引点之间的相互作用及其空间效应随距离的衰减。

重力模型法的思想来源于物理学的万有引力定律,1940、50年代斯图尔特将万有引力定律中的势能公式引入地理学^[46],通过计算某度量点以外的所有吸引点施加到该点的势能总和来评价该点的可达性。其中吸引点对待度量点作用力的距离衰减函数是重力模型的关键。在实际应用中,常见的距离衰减函数包括指数函数、幂函数、线性函数、对数函数等^[31],视实际计算的需要并结合研究区域的情况而定。重力模型法将空间上各吸引点的空间效应随距离而衰减与各吸引点自身的引力规模结合起来衡量可达性水平,吸引点和度量点之间的作用力规模越大、距离越小,则可达性水平越高。业界著名的 ArcGIS 软件系统也采用重力模型法来定义空间上某一点的可达性。

基于重力模型法的思想,还先后产生了概率法和频率法等可达性度量方法^[34]。概率法采用距离作为可达性指标,将前往吸引点的概率作为权重,对作用力进行修正,以使可达性度量更符合客观实际。概率法克服了传统的重力模型法中可达性评价结果不易用自然语言表达和在对多个方案进行操作时由于吸引点数目不一致导致计算结果无法比较的缺陷^[38,47]。频率法与概率法相似,不同之处在于它是将前往不同吸引点的频率作为权重,对作用力进行修正。

平衡系数法是由 Wilson 运用统计方法中的熵最大定律推导出的可达性度量方法^[48-50]。该方法在传统重力模型法之上对各点位流量进行约束,进而构建约束引力模型,包括单约束引力模型和双约束引力模型。当从需求点 i 出发的出行量 Q_i 数目固定即需求点受约束时,称为单约束引力模型,此时存在吸引点对需求点的竞争;当 Q_i 与从各需求点到吸引点 j 的到达量 D_j 数目均固定,即需求点与吸引点同时受约束时,需求竞争和供给竞争同时存在,称为双约束引力模型^[51]。

时空法是在 1970 年代 Hägerstrand 提出的时间地理学^[52]基础上形成的同时考虑空间与时间的可达性度量方法。该方法从个体角度出发,通过个体在特定的时空约束下,能够到达

的时间-空间区域以及相应活动的选择,来度量可达性水平,常用时空棱镜^[53-59]的方式进行计算,有两种具体计算方法:一种是计算时空棱镜的体积,以体积的大小表达可达性水平,在时间预算下,时空体积越大,个体参与活动的可能性越大,则可达性水平越高;另一种是统计时空棱镜内的诸如商业、娱乐网点数目作为评价的指标。当时空棱镜范围内没有任何可参与的活动,采用第二种计算方式更为可取。

效用法是在当时已有的可达性度量方法均不同程度带有主观或者经验主义色彩、缺乏理论支撑的背景下,借用微观经济学中消费者理论发展而成的^[37]。该方法从经济学的角度,将个体的出行行为看作一种消费行为,并以这种消费行为在交通-土地系统中获得的最终效益作为该个体的可达性水平的评价标准。效用法关键在于确定个体*i*在吸引点*j*可能获取的总体效益 V_{ij} ,当总效益减去出行费用或时间之后,即为个体获得的最终效益 U_{ij} ,其具体计算过程可由Hivex模型实现^[37,50]。时空法与效用法不仅考虑了交通因素和社会经济因素,还将可达性水平与个体出行行为直接建立起联系。

上述各种可达性度量方法均建立在几何网络之上,它们从不同角度出发,对现实中的几何网络尤其是道路交通网络的连通性、可达性水平进行度量与评价。与几何网络上的可达性研究不同的是,在区域航空网络、城市地铁网络中各点之间换乘次数、街区及场馆内部等的子空间之间的通视性度量等,诸如此类的可达性问题,拓扑距离比几何距离更重要。开展上述相关研究工作则需要应用基于拓扑网络的可达性度量方法。建立在拓扑网络上的可达性度量方法,根据度量因子所采用的运算方式差异,可划分为基于矩阵的拓扑法与基于空间句法的拓扑法。

基于矩阵的拓扑法通过整体可达性矩阵与最短距离矩阵运算来获取节点和网络的可达性水平^[57-59]。整体可达性矩阵可由网络的邻接矩阵导出。记*C*为邻接矩阵,*v*为网络中的节点数目,可以证明,*C*的*k*次幂 C^k 的元素 $c_{ij}^{(k)}$ 表示从点*i*经过*k*步到达点*j*的路径数目。可达性矩阵 $T=C^1+C^2+...+C^n$,某节点*i*到达所有节点的直接和非直接路径数目总和 $t_i=\sum_{j=1}^v t_{ij}$,由此可得出各节点的相对可达性指标 $T_i=t_i/(\sum_{i=1}^v t_i/v)$ 。最短距离矩阵可由网络的连通性矩阵导出。记最短距离矩阵为*D*,*v*为网络中的节点数目, d_{ij} 表示节点*i*与节点*j*之间的最短路径。某节点*i*到其他所有节点的最短路径总和 $d_i=\sum_{j=1}^v d_{ij}$ 。由此可得出各节点的相对可达性指标 $D_i=d_i/(\sum_{i=1}^v d_i/v)$ 。

基于空间句法的拓扑法是利用空间句法理论中的形态分析变量来衡量可达性水平。该方法通过空间分割,以分割形成的子空间为图节点,将整个网络转换成为空间连接图,运用图论的方法推导出一系列形态分析变量,如连接值、控制值、节点深度、局部集成度与整体集成度等,以描述空间在不同水平上的结构特征^[23,60,61]。此外,该方法还具有集成兴趣点到空间连接图以实现扩展空间句法的功能,并且可以依据兴趣点的不同吸引程度对连接线赋予不同的权重,这些功能对于城市规划、园林与建筑设计、景观规划等领域中度量某一点或某一区域的区位优势性具有十分重要的作用。

综上所述,以上各种可达性度量方法均可应用于区域或网络中某一部分以及整个区域或网络的可达性度量。由于可达性度量指标的选取以及度量方式的不同,使得各种方法的度量过程以及产生的度量结果各具特色。

3.2 影响因素

依据文中对可达性概念的界定,可达性主要受到土地利用、交通系统、时间和个体差异等四个因素的影响^[39]。不同的可达性度量方法出于不同层次的应用需求,涉及的影响因素类型及其制约程度也各不相同。针对具有地理空间分布特征的区域或地理网络,可分为三个应用层次。其中,仅仅涉及交通因素的可达性度量方法是最为基础的应用层次,如距离法。该层次涉及因素少,计算简单,易于理解。在基础应用层次之上,同时考虑交通因素和土地使用因素的层次是目前可达性研究与应用最为广泛的层次,如重力模型法、概率法、频率法、累积机会法、等值线法、平衡系数法等。累积机会法与等值线法都是以一定时间或距离内能到达的兴趣点数量的多少作为可达性指标,考虑了交通可达范围和各点的空间位置。平衡系数法是以迭代后形成的平衡系数作为可达性指标,考虑了各点之间的交通流量、交通阻力、各点规模、供给和需求竞争影响。重力模型及各种改进方法以吸引力大小和距离作为可达性指标,考虑了需求点与吸引点之间的交通阻力、吸引点的吸引力规模、空间作用强度等。最高应用层次是综合考虑了交通因素、土地利用因素、时间因素以及个体差异的可达性度量方法,如时空法和效用法。时空法从个体的角度出发,研究时空约束下的个体在空间中的出行状况,主要考虑了个体出行的交通方式、吸引点的位置分布、出行时间安排、参与活动的偏好与能力等等。效用法以个人从交通-土地利用系统所获得的最大效益为可达性度量指标,考虑了个体差异,能反映出人们实际的满意程度。针对地理空间分布特征不明显或作用力较弱、只强调要素间连通关系的拓扑网络(如物理存在的计算机网络、逻辑构建的关系网络)上的度量方法受到各类型的影响因素的制约较为特殊,它是采用空间的转换次数作为可达性指标,以流通转换频率来衡量流通阻力,同时可考虑需求点和吸引点的规模以及具体的活动时间安排、个体能力差异等因素。

简言之,各种可达性度量方法所受到的影响因素并不是一成不变的。例如,对于重力模型法,若距离衰减函数中的距离变量采用空间距离,则该法仅涉及交通因素和土地使用因素,当距离变量中考虑了人、出发点与目的地的时间制约,则该法同时涉及了交通因素、土地使用因素与时间因素。此外,拓扑法涉及的影响因素也相对灵活多变。因此,可达性度量方法涉及的影响因素应该依据具体的研究需求而定。

4 可达性度量方法应用研究

可达性度量方法在不同的应用需求下,能广泛适用于城市内部精细尺度及城市尺度、区域及国家宏观尺度等多种空间尺度。各种度量方法因为其应用领域与研究对象的各不相同,其代表性的研究工作也是各具特色。

距离法广泛用于各种尺度的可达性度量。其中,空间距离法常作为基础可达性指标参与路网空间格局研究,费用距离法常用于个体出行、物流运输等预算规划,时间距离法则非常

适用于最近吸引点具有绝对优先权的应急响应服务^[62]等应用领域。距离法具有直观、简洁的特点,适合于宏观层面的可达性评价。不足之处在于其过于简单,尤其采用欧氏距离时甚至忽视了实际的路网空间形态。在实际生活中,单独使用距离、费用或时间来度量可达性将会受到很多限制。目前,除了诸如应急响应服务等较为特殊的应用之外,单纯的距离法已逐渐被累积机会法、等值线法、重力模型法等度量方法所取代。

累积机会法、等值线法适用于不同时空条件下的交通设施状况、土地利用变化等比较研究。最为常见的如“服务半径”分析,通过绘制等距线、等时线来分析服务设施分布合理性^[47]。此外,比较不同位置居民一定出行时间内所能到达的工作、购物、医疗等机会点的数量,从而了解同一时期不同地区或者同一地区不同时期的公共设施的配置状况,典型的如一日交流圈研究^[63,64]。然而,采用累积机会法、等值线法计算出来的可达性水平没有考虑距离衰减效应。同时,这两种度量方法对空间边界的选择不可避免地带有主观性,可能掩盖不同地点的可达性差异;而且默认为所有机会点的期望值相同,忽略了需求的多样性。

重力模型法是目前应用最为广泛的可达性度量方法。该方法作为土地利用区位模型,广泛用于各种尺度下的可达性度量。最典型的如土地使用模式研究^[65]、经济发展潜力研究^[66,67]、交通规划研究^[47]、城镇发展研究^[68]等等。重力模型法最大的特色是将交通运输系统与社会经济活动纳入了统一的分析框架,因此可达性能同时反映交通运输系统的改善与社会经济活动的进展。由于模型及其距离衰减函数的灵活多样,在实际应用中,需要依据具体的研究需求确定模型、参数及其研究尺度。目前,重力模型法仍存在问题。第一,距离衰减函数的确定具有很大的主观性,不同衰减函数的衰减速率不同、适用性存在很大差异;第二,该方法将空间简化为点,被简化的原有空间区域的尺寸和形状都会影响到可达性的计算结果,需要在权衡数据量与精度的基础上确定空间简化方式。此外,个体差异如何表达、需求竞争如何体现、时间因素如何限定等,这些问题都将作为重力模型法的拓展研究方向,有待深入开展。

平衡系数法主要用于考虑竞争机制的可达性度量,该方法适用于城市尺度或者对结果精度要求不高的区域空间尺度研究,应用研究中常采用单约束模型与双约束模型^[51,69,70]。平衡系数法最大的优势就是考虑了可达性研究中可能涉及到的竞争影响机制,更贴近实际。采用单约束模型时,出发点需求规模固定,而目的地引力规模不固定,此时存在目的地对出发点的竞争;采用双约束模型时,出发点和目的地的作用力规模都固定,此时需求竞争与供给竞争同时存在。不足的是,该方法运算过程需要复杂的数学计算,理解比较困难。

上述各种度量方法都是针对某一群体,而时空法和效用法能将可达性的计算结果精确到每个个体,并且考虑了个体的差异。其中,时空法既可以应用于区域和国家尺度下的人口迁移模式研究,也常用于城市和城市内部尺度下某个体在时空上产生的位移等可达性研究,研究中常采用时空棱镜分析方法^[53,71]。效用法可以用于城市尺度下总收益与个体可达性选择的关系研究。此外,还可以根据实际应用需求将时空法与效用法进行结合^[54]。时空法和效用法都有很好的理论支撑,其中时空法具有行为理论基础,而效用法具有微观经济学理论基础。然而,这两种方法涉及数据量巨大,因此在实际应用中,若针对群体研究,可通过抽样的方法来减少数据量。

拓扑法广泛适用于以逻辑网络表达的地表现象和个体的可达性度量。基于矩阵的拓扑法常用于区域尺度下的航空网络、城市尺度下的公交网络、地铁线路等的可达性度量。最为

典型的如公路网演变研究^[57,72]。该方法将复杂的网络可达性运算转换成矩阵运算,尤其是针对拓扑网络的最小空间转换次数的计算非常方便。有关该方法的应用研究近年来比较少。相对于基于矩阵的拓扑法而言,基于空间句法的拓扑法适用于较为精细的空间尺度,常用于城市尺度下地铁线路、城市内部街区或公园等空间、建筑物内部空间等的可达性度量。基于空间句法,目前已产生了多种分析工具,如 Jiang B.等学者研发的 Axwoman[参见 <http://www.hig.se/~bjg/Axwoman.htm>]及 Lucas Figueiredo 等学者研发的 MindWalk[参见 <http://www.mind-walk.com.br/>]及相关应用研究成果^[23,24]。此外还包括伦敦空间句法公司先后承担的如英国玛格丽特历史核心区空间总体规划、英国国家卫生部医院病房设计等许多大型项目^[73,74]。基于空间句法的拓扑法最大的特色就是可以融合个体对环境的心理认知,考虑了心理可达性,对路径的选择具有主动权。该方法目前已成为园林与建筑设计、景观规划的一个研究热点。

5 可达性研究发展方向

可达性问题是在地理学从定性研究到定量分析转化的时代背景下提出来的。随着学科领域的不断丰富和智能计算、数据挖掘等现代数学方法的不断发展,在自然科学领域,可达性研究有望在以下几个方向继续向纵深发展。

(1) 时间-空间可达性研究。正如所有现象因在时间中存在而有历史、因在空间中存在而有地理,时间与空间是人类了解世界不能割裂的两大要素。同样,对于可达性研究,也需要同时考虑时间与空间要素。目前已有的可达性度量方法大多着眼于空间,很少考虑时间要素,在今后的研究中,如何结合实际应用需求,整合时间与空间要素,进而改进可达性度量方法,还亟待加强。

(2) 空间构形分析方法研究。可达性是通过人流、物流、信息流的效率效益来度量的,而运输网络系统建立在固有的物理空间结构形态之上。空间句法理论认为物理空间结构形态决定人流、物流、信息流的运动密度的不同分布,因此,在传统的通过不断改良流通模式、提高运输效率等方式来增强可达性的同时,深入研究物理空间结构、剖析网络形态,进而评估由于空间结构形态所导致的人流、物流、信息流潜在运动密度分布,将对网络规划、设施选址、网络建设等起到辅助决策等作用。空间句法能支持城市尺度下的空间构形分析,但目前在处理某些特定几何结构时还存在一些局限。完善空间句法、发展新的分析方法和算法等研究工作还有待于进一步强化。

(3) 拓扑度量方法研究。目前可达性研究绝大多数采取几何度量方法。就目前发展水平来看,几何度量方法的研究与应用相比,拓扑度量方法更为广泛与深入。而拓扑度量方法对于园林与场馆设计、景区导游、景观规划等研究领域具有广阔应用空间,有待于深入研究。

(4) 可达性度量方法适宜性模型构建。可达性是涉及自然科学和社会科学的综合问题。由于各种可达性度量方法针对不同的应用领域提出,侧重点各不相同,导致度量因子数目众多、适宜性差别巨大,极不利于应用中对可达性度量方法的有效选取。因此,需要对多种可达性度量方法进行综合研究,在此基础上建立完善的可达性度量体系,进而构建可达性度量方法适宜性模型,以实现可达性度量方法的统一管理 with 度量因子的统一调用,并根据实际应用需求,对研究区进行可达性度量方法的适宜性测试与比较研究。不过,构建可达性度量方法

适宜性模型是一项庞杂烦琐的工作,除了要集合众多度量因子、评估度量方法有效性、量化适宜性差异之外,还包括如何运用基于知识的系统技术去指导使用者获取有用信息,并选取最适合的度量方式以解决实际问题等,这些方面目前研究较少,有待加强。

(5) 可达性分析与 GIS 集成。目前标准 GIS 工具难以直接用于各种条件下的可达性计算过程,已有的 GIS 集成工具也无法较为全面地涵盖各种可达性度量方法。在完善的可达性度量体系建立之后,可利用现有 GIS 软件提供的二次开发能力,将可达性度量方法的适宜性模型集成到 GIS 软件平台中,这不仅能增强 GIS 的分析功能,而且能充分发挥集成系统/工具的专业性强、小巧灵活等优势。

参考文献

- [1] 陆大道. 区域发展及其空间结构. 北京: 科学出版社, 1995.
- [2] Dupuy G, Stransky V. Cities and highway network in Europe. *Journal of Transport Geography*, 1996, 4(2): 107~121.
- [3] Li Sming, Shum Yiman. Impacts of the national truck highway system on accessibility in China. *Journal of Transport Geography*, 2001, 9(1): 39~48.
- [4] 曹小曙, 薛德升, 阎小培. 中国干线公路网络联结的城市通达性. *地理学报*, 2005, 60(6): 903~910.
- [5] 金凤君, 王娇娥. 20 世纪中国铁路网扩展及其空间通达性. *地理学报*, 2004, 59(2): 293~302.
- [6] 金凤君. 我国航空客流网络发展及其地域系统研究. *地理研究*, 2001, 20(1): 31~39.
- [7] 吴 威, 曹有挥, 曹卫东等. 长江三角洲公路网络的可达性空间格局及其演化. *地理学报*, 2006, 61(10): 1065~1074.
- [8] 张 莉, 陆玉麒. 基于陆路交通网的区域可达性评价——以长江三角洲为例. *地理学报*, 2006, 61(12): 1235~1246.
- [9] 罗鹏飞, 徐逸伦, 张楠楠. 高速铁路对区域可达性的影响研究——以沪宁地区为例. *经济地理*, 2004, 24(3): 407~411.
- [10] 徐 昀, 陆玉麒. 高等级公路网建设对区域可达性的影响——以江苏省为例. *经济地理*, 2004, 24(6): 830~833.
- [11] 张 兵, 金凤君, 于 良. 湖南公路网络演变的可达性评价. *经济地理*, 2006, 26(5): 776~779.
- [12] 李平华, 陆玉麟. 可达性研究的回顾与展望. *地理科学进展*, 2005, 24(3): 69~77.
- [13] Linneker B, Spence N. Road transport infrastructure and regional economic development: The regional development effects of the M25 London orbital motorway. *Journal of Transport Geography*, 1996, 4(2): 77~92.
- [14] Sasaki K, Ohashi T, Ando A. High-speed rail transit impact on regional systems: does the Shinkansen contribute to dispersion? *The Annals of Regional Science*, 1997, 31: 77~98.
- [15] Gutierrez J. Location, economic potential and daily accessibility: an analysis of the accessibility impact of the high-speed line Madrid-Barcelona-French border. *Journal of Transport Geography*, 2001, 9: 229~242.
- [16] Moseley M J. Accessibility: the rural challenge. London: Methuen, 1979.
- [17] Dobson J. A regional screening procedure for land use suitability analysis. *The Geographical Review*, 1979, 69: 224~234.
- [18] Owen S H, Daskin M S. Strategic facility location: a review. *European Journal of Operational Research*, 1998, 111: 423~447.
- [19] 刘家明, 刘爱利, 陈 田. 滑雪旅游开发布局影响因素与对策研究——以内蒙古自治区滑雪旅游开发为例. *地理科学进展*, 2005, 24(5): 105~112.
- [20] 张文忠, 刘 旺, 孟 斌. 北京市区居住环境的区位优势度分析. *地理学报*, 2005, 60(1): 115~121.
- [21] 张文忠. 城市内部居住环境评价的指标体系和方法. *地理科学*, 2007, 27(1): 17~23.
- [22] 张 颖, 王 铮, 周 崑 等. 韦伯型设施区位的可计算模型及其应用. *地理学报*, 2006, 61(10): 1057~1064.
- [23] 江 斌, 黄 波, 陆 锋. GIS 环境下的空间分析和地学可视化. 北京: 高等教育出版社, 2002, 44~45.
- [24] Chen J, Lu F. Analysis of Spatial Configuration of the Palace Museum: An Application of the Axial-Based Space Syntax. In *Proceedings of Geoinformatics*, October 28~29, 2006.
- [25] 卡莫纳等编著, 冯江等译. 城市设计的维度. 江苏: 百通集团江苏科学技术出版社, 2005, 165~169.
- [26] 汪明峰, 宁越敏. 城市的网络优势——中国互联网骨干网络结构与节点可达性分析. *地理研究*, 2006, 25(2): 193~203.
- [27] 凯文·林奇 著. 林庆怡, 陈朝晖, 邓华 译. 城市形态. 北京: 华夏出版社, 2001, 133~144.
- [28] Watts D J, Strogatz S H. Collective dynamics of 'small-world' networks. *Nature*, 1998, 393: 440~442.

- [29] 邓肯·J·瓦茨 著. 陈禹等译. 有序与无序之间的网络动力学. 北京: 中国人民大学出版社. 2006. 137~160.
- [30] Kwan M-P, Murray A T, O Kelly M E, Tiefelsdorf M. Recent advances in accessibility research: Representation, methodology and applications, *Journal of Geographical Systems*, 2003, 5: 129~138.
- [31] 杨家文, 周一星. 通达性: 概念, 度量及应用. *地理学与国土研究*, 1999, 15(2): 61~66.
- [32] Liu Suxia, Zhu Xuan. Accessibility analyst: An integrated GIS tool for accessibility analysis in urban transportation planning. *Environment and Planning B*, 2004, 31(1): 105~124.
- [33] 杨育军. 可达性评价的比较研究与应用. 同济大学硕士学位论文, 2004, 17~32.
- [34] Sakkas N, Pérez J. Elaborating metrics for the accessibility of buildings. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2006, 30: 661~685.
- [35] Vickerman R W. Accessibility attraction and potential: a review of concepts and their use in determining mobility. *Environment and Planning A*, 1974, 6: 675~691.
- [36] Weibull J W. An axiomatic approach to the measurement of accessibility. *Regional Science and Urban Economics*, 1976, 6: 357~379.
- [37] Koenig J G. Indicators of urban accessibility: theory and application. *Transportation*, 1980, 9: 145~172.
- [38] Geertman S C M, Ritsema Van Eck J R. GIS and models of accessibility potential: an application in planning *International Journal of Geographical Information System*, 1995, 9(1): 67~80.
- [39] Transportation Statistics Annual Report (TSAR). Bureau of Transportation Statistics, US Department of Transportation, 1999.
- [40] 钮心毅. GIS支持下的城市中可达性的评价方法. 同济大学硕士学位论文, 1999.
- [41] Ingram D R. The concept of accessibility: a search for an operational form. *Regional Studies*, 1971, 5: 1012~1076.
- [42] Baxter R S, Leniz G. The measurement of relative accessibility. *Regional Studies*, 1975, 9: 15~26.
- [43] Kirby H R. Accessibility indices for abstract road networks. *Regional Studies*, 1976, 10: 479~482.
- [44] Wachs M, Kumagai T G. Physical accessibility as social indicator. *Socio-Economic Planning Science*, 1973, 7: 437~456.
- [45] Breheny M J. The measurement of spatial opportunity in strategic planning. *Regional Studies*, 1978, 12: 463~479.
- [46] 周一星. 城市地理学. 北京: 商务印书馆, 2003. 359, 362.
- [47] 宋小冬, 钮心毅. 再论居民出行可达性的计算机辅助评价. *城市规划汇刊*, 2000, 3: 18~22.
- [48] Wilson A G. A statistical theory of spatial distribution models. *Transportation Research*, 1967, 1: 253~269.
- [49] Wilson A G. A family of spatial interaction models and associated developments. *Environment and Planning*, 1971, 3(1): 1~32.
- [50] Fotheringham A S. A new set of spatial-interaction models: the theory of competing destinations. *Environment and Planning A*, 1983, 15: 15~36.
- [51] 姚士谋, 王书国, 陈爽等. 区域发展中“城市群现象”的空间系统探索. *经济地理*, 2006, 26(5): 726~730.
- [52] Hagerstrand T. "What about people in regional science?" *Papers of the Regional Science Association*, 1970, 24: 7~21.
- [53] Miller H J. Modeling accessibility using space-time prism concepts within geographical information systems. *International Journal of Geographical Systems*, 1991, 5(3): 287~301.
- [54] Miller H J. Measuring Space-Time Accessibility Benefits within Transportation Networks: Basic Theory and Computational Procedures, *Geographical Analysis*, 1999, 31(2): 187~212.
- [55] Yu H, Shaw S-L. Revisiting Hagerstrand's time-geographic framework for individual activities in the age of instant access. *Societies and Cities in the Age of Instant Access*. The Netherlands: Springer Science, 2007, 103~118.
- [56] Koenig J G. A theory of urban accessibility. *Proceedings of PTRC, Summer Annual Meeting*, 1975.
- [57] Gauthier H L. Transportation and the growth of the Sao Paulo economy. *Journal of Regional Science*, 1968, 8(1): 77~94.
- [58] Wheeler D C, O Kelly M E. Network topology and city accessibility of the commercial Internet. *Professional Geographer*, 1999, 51(3): 327~339.
- [59] O Kelly M E, Grubestic T H. Backbone topology, access and the commercial Internet, 1997~2000. *Environment and Planning B*, 2002, 29(4): 533~552.
- [60] Hillier B. *Space is the machine: a configurational theory of architecture*, Cambridge: Cambridge University Press, 1996, 82,

88~143.

- [61] Jiang B, Claramunt C, Batty M. Geometric Accessibility and Geographic Information: Extending Desktop GIS To Space Syntax. *Computers, Environment and Urban Systems*, 1999, 23: 127~146.
- [62] 陈述彭. 台风防灾减灾信息系统. *地球信息科学*, 2006, 8(4): 1~3.
- [63] 王 德, 刘 锴. 上海市一日交流圈的空间特征和动态变化研究. *城市规划汇刊*, 2003, 3: 3~10.
- [64] 王 德, 刘 锴, 郭 洁. 沪宁杭三市一日交流圈的空间特征及其比较. *城市规划汇刊*, 2004, 3: 33~38.
- [65] Hansen W G. How accessibility shapes land- use. *Journal of the American Institute of Planners*, 1959, 25: 73~76.
- [66] Clark C, Wilson F, Bradley F. Industrial location and economic potential in Western Europe. *Regional Studies*, 1969, 3(2): 197~212.
- [67] Keeble D, Owens P L, Thompson C. Regional accessibility and economic potential in the European community. *Regional Studies*, 1981, 16(6): 419~432.
- [68] 宋小冬, 廖雄赳. 基于 GIS 的空间相互作用模型在城镇发展研究中的应用. *城市规划汇刊*, 2003, 3: 45~51.
- [69] Lakshmanan T R, Hansen W G. A Retail market Potential Model. *Journal of the American Institute of Planners*, 1965, 31: 134~143.
- [70] Fotheringham A S. Modelling Hierarchical Destination Choice. *Environment and Planning A*, 1986, 18: 401~418.
- [71] Recker W W, Chen C, McNally M G. Measuring the impact of efficient household travel decisions on potential travel time savings and accessibility gains. *Transportation Research A*, 2001, 35: 339~369.
- [72] Muraco W A. Intraurban Accessibility. *Economic Geography*, 1972, 48: 388~405.
- [73] 项琳斐. 玛格丽特城镇中心. *世界建筑*, 2005, 11: 56~59.
- [74] 项琳斐. 英国国家卫生部医院病房设计. *世界建筑*, 2005, 11: 70~71.

Advance in Accessibility Evaluation Approaches and Applications

CHEN Jie, LU Feng, CHENG Changxiu

(LREIS, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: Accessibility is a research topic in the field of geography, civil engineering and transportation economics. Currently, a range of accessibility measurement approaches have been widely used in transportation network and urban development planning, transportation infrastructure effects evaluation on regional economy, location- allocation researches, landscape planning, social culture researches, to name a few. With rapid increasing of application demands and unceasing development of technology researches, accessibility measurement approaches also develop swiftly and the methodology is being formed. Based on a comprehensive exposition of accessibility concept, this paper systematically discusses the state-of- arts of accessibility measurement approaches, carries out a classification of these approaches from the perspective of network characteristics, and comparably elaborates and evaluates these approaches according to their influencing factors. Then application of various approaches are discoursed and analyzed in detail, consistent with different application areas. Finally the research priorities of accessibility research are thoroughly discussed.

Key words: accessibility; measurement; state-of- arts; evaluation