

基于时间阻抗函数的路网可达性研究

张生瑞,王超深,徐景翠

(长安大学公路学院,西安 710064)

摘 要 阐述了可达性的概念和在不同学科的应用范围,分析了可达性的影响因素,总结了现阶段在几何拓扑学上常用的可达性量化方法,指出重力模型法、距离法、累计机会法的使用条件和不足。在这一基础上,发现现存的问题主要是局限于空间尺度的量化不能准确地反应空间网络的联系程度,针对此问题,提出了基于时间阻抗函数的量化模型,以实际交通量作为主变量,能间接地反应空间需求强度。随后引入了节点重要度的概念,能更加直接地反映路网节点上社会、经济、交通等因素对可达性的影响,能很好地弥补时空法和效用法的不足。

关 键 词 可达性;度量方法;几何拓扑学;时间阻抗函数;节点重要度

1 引言

可达性又称通达性,是地理科学、区域与城市规划、交通运输规划等众多学科研究的一个重要概念。可达性由于受到不同研究领域学者的广泛关注,导致了对可达性概念的不同理解。其应用性无非主要包括以下几点:以网络中节点为理论基点,研究空间网络格局演变对区域发展的影响。以地理学者研究为主,例如区位势、增长极、点——轴系统等空间经济结构演化理论。选址分析与区位评价,如张文忠就居住环境的区位和评价指标体系进行了研究^[2]。园林与建筑设计、景观规划研究,如江斌等就伦敦 Tate 艺术馆的空间布局进行了研究。

城市空间公共场所设计等,Chen & Lu 就北京故宫的内部空间构型进行了研究^[3]。我国学者对于中小比例尺度的区域通达性研究还比较薄弱,特别是对于潜在的通达性研究更加薄弱。在度量方法上存在的共同缺陷是分别以出行时间或距离作为唯一标准,进行结点可达性和网络可达性的计算,没有考虑结点的交通需求情况和结点层次。

本文借鉴公路网规划理论,将潜在的通达性需求和节点层次,以节点重要度的概念融合到度量模型当中,为可达性研究提出了一种新的方法。

2 研究现状

2.1 可达性的概念

可达性是众多学科交汇研究的一个基本概念,由于研究层面的不同,使其具有了不同的基本含义。中国科学院地理科学与资源研究所的陈洁等(2007)将其分为两个层次^[6]:一为客观层面的可达性(交通运输或通讯可达性),二为主观层面的可达性(心理可达性)。由于第一层次的概念在量化函数上受人为因素影响较小,且是可达性的直接物质体现形式,对于加强地域之间的联系有直接关系,因此,现阶段我国学者主要研究第一层次上的概念。周一星教授^[12](1999)、陆玉麟教授^[4](2005)也曾对通达性的概念展开过专门的研究。在参阅众多文献以后,可以简单地认为可达性是指从一个地方到达另一个地方的容易程度,可以用旅行距离、旅行时间或感知距离来衡量。

2.2 可达性的影响因素

可达性是一个时空的概念,交通基础设施作为实现人和物空间移动的物质载体,是实现通达的最重要因素。现代技术革命,使得交通设施和承载工具发生了巨大改变,原有的以空间几何距离为主要

收稿日期:2008-06;修订日期:2008-07.

基金项目:

作者简介:张生瑞(1963-),男,长安大学教授,工学博士、博士后,现为长安大学工程设计研究院院长。主要研究领域:交通规划、交通运输可持续发展、交通安全与环保、综合交通运输等。E-mail: zhangsr@chd.edu.cn

通讯作者:王超深(1985-),男,主要研究方向为城市及区域规划。E-mail: pacific5241@126.com

影响因素的区位势理论，已不能很好解释许多现象。笔者认为在研究其影响因素时，应首先确定研究范围。对于大尺度的都市圈、城市群，在研究通达性时，除常规交通方式外，应着重研究航空、轨道等

交通方式，对于沿海城市还应包含海运和水运。对于中小尺度的城乡、区域及城市内部可达性研究，影响因素应更加细化。本文主要从交通角度进行可达性影响因素的分析，具体如表 1 所示。

表 1 可达性主要影响因素

Tab.1 The main influencing factors of accessibility

| 影响因素名称 | 具体说明 | 遴选指标 |
|-----------------|-------------------------|-----------------|
| 基础设施类型(载运工具的载体) | 例如机场、航道、轨道、高速公路或者国家等级公路 | 客运(货运)周转量、路网密度 |
| 交通结构 | 地铁、轻轨、公共汽车、小汽车 | 车辆保有量等 |
| 社会经济发展水平 | 人口比例、经济产值、就业人数 | 三产比例、城乡人口比例等 |
| 个体特征 | 居民收入、出行习惯 | 不同时空的出行人数等 |
| 出行特征 | 出行距离、时间、油耗、舒适性 | 路线长度、行走时间、出行费用等 |

对于上述遴选指标的过程，可以综合考虑定性和定量两种方法。例如：可以首先利用定性分析中的头脑风暴法等，通过专家讨论得出主要影响因素，然后利用因子分析、聚类分析等方法确定各因素的相关关系和对可达性的贡献率，确定权重，建立度量函数。

2.3 度量方法简介

由于网络特性的多样化和空间尺度的层次性，现有的网络可达性量化方法根据网络特征的差异大体上可以分为两大类：基于拓扑网络的度量方法和基于几何网络的度量方法。其中，拓扑网络度量法将现实中的网络抽象成图，通常只考虑点与点之间的连接性，而不考虑它们之间的实际距离等实体的物理几何参数，每一对互相连接的节点之间的距离被认为是等值的。几何网络度量法是将研究网络中重要物质载体的空间结构化，能比较准确地反映出实际状况，便于从实际调查角度建立量化模型，因此，得到了大多数学者的青睐。基于几何网络的度量方法主要有以下几种：

2.3.1 距离度量法

距离度量法是所有度量方法中最基本的一种，它使用空间距离、时间距离或经济距离来度量可达性，认为可达性计算就是计算空间阻隔程度，阻隔程度越低，可达性越好。在可达性的度量方法中，最为基础的一种叫相对可达性，它用两个地点之间的自然间隔距离来度量它们之间的可达性，在相对可达性的基础上，又定义了总体可达性，即某地到本区域内所有其他地点的相对可达性的总和，一般用直线距离、旅行距离、旅行费用、旅行时间或其他

的一些相关的变量来衡量。其基本表达式如下：

$$A_i = \sum_{j=1}^n f(C_{ij}) \tag{1}$$

式中： A_i 为 i 区域的综合可达性； $f(C_{ij})$ 为 i 和 j 两地之间的空间阻抗函数，其自变量可以为空间距离、运输成本等。空间阻抗函数一般有幂函数、指数函数、高斯函数等形式。利用距离度量法计算可达性，关键是确定空间阻抗函数，为了尽量反映可达性的实际变化规律，一般将众多的因素考虑到空间函数式当中，但到目前为止，仍没有一种考虑人的出行心理行为的表达函数。

2.3.2 重力度量法

重力度量法将自然间隔与各地理实体的自身属性结合起来对可达性进行衡量，用重力度量法度量所得的可达性通常也称为潜能或位势，它借用了物理学中的重力模型，认为城市等地理实体的空间效应随距离的增大而衰减，其最基本的表达式如下：

$$A_{ij} = \frac{M_i M_j}{d_{ij}} \tag{2}$$

式中： A_{ij} 为区域 i 到 j 的可达性； M_i 、 M_j 分别为 i 、 j 区的势能，根据不同的区域划分和实际情况，可以选取不同的指标或者赋予不同的权重进行组合，

分别为参数。重力度量法是使用最为广泛的一种方法，但也面临着一些问题。第一，潜能随距离衰减的速率在不同的情况下并非总是一致的。第二，区域划分的方法现在还没有一种公认的普通可行的方法，实际情况中为了数据获得的方便性，往往以行政小区为标准。

2.3.3 累积机会法

累积机会法用在设定的出行距离或出行时间之内,从某地点出发以能接近的机会的多少来衡量可达性。其基本思想是:人们在不同的出行时段和空间范围内所能接近的发展机会是不同的,只要时间足够长,居民就能接近所有的发展机会,这一观点符合人们的出行需求,这里的机会可以是就学、就业、购物、就医等。其表达式为:

$$A_i = \int_0^d f(s) ds \quad (3)$$

式中: A_i 为 i 区域的可达性,它反映了从基点至 d 距离内的机会可达性。 $f(s)$ 为机会分布函数。这一度量方法并不考虑距离衰减效应,可达性主要是受机会分布函数的影响。其存在的缺陷在于分布函数的多样性,即使在较小的网络状区域内分布函数也有多种不同的表现形式。此外,分布函数与该地区的交通结构有较大的关系,可能不会真实地反映交通基础设施的发展带来的可达性提高。

3 基于时间阻抗函数可达性度量方法

以上模型均适用于某些特定的理想情况或者静态的物理状态,在实际地域中有很大的不实用性。尽管现阶段许多学者在积极地改进各模型不足之处,出现了众多的组合模型,但是,其基本出发点依旧是以空间距离作为主变量,未考虑动态变化下的心理可达性影响因素。下文介绍一种综合考虑节点间距离、路段通行能力和节点吸引强度的量化模型,以实际交通出行量和出行时间为主变量,将节点的潜在势能以节点重要度概念融合到度量模型中,能很好地反映实际出行状况,及计算动态可变的可达性。

3.1 节点可达性

假定在现有的道路网络不发生明显改变的前提下(保证每条路段的交通量不发生改变),节点 i 和节点 j 之间共有 n 条路径,其中 l_{ij} 为两点之间实际距离,则节点 i 的可达性 k_i 如式(4)所示:

$$k_i = \frac{l_{ij}(\text{shortest})}{\sum_{s=1}^n l_{ij}^s} \quad (4)$$

式中: $\sum_{s=1}^n l_{ij}^s$ 表示节点 i 与 j 节点之间的所有 n 条路

径的总距离,其中 l_{ij}^s 不是 l_{ij} 的 s 次方,它是表示节点 i 与节点 j 之间的路径条数,便于计算总距离的一种表达形式。

由上式可知当 l_{ij} 为最小值时,即两点之间距离为 $l_{ij}(\text{shortest})$, k_i 取得最小值,此时节点具有最大可达性。但是在实际情况中,可达性往往以时间最小为衡量指标,此时虽然路径最小,但是在行为人均选择最短路径导致交通拥挤时,很有可能使得车速降低、时间延续加长,导致可达性降低。为此引入了道路阻抗函数的概念弥补这一缺陷。

3.2 道路阻抗函数

交通阻抗是指用交通网络上路段之间的运行距离、时间、费用、舒适度等指标单一或者综合起来表达出行难度的函数,它的大小可以直接反映节点之间的交通来往难易程度,其值越大说明交通便利性越低,空间联系越难,可达性越低。

交通结构的多元性导致了阻抗函数表达式的复杂性,为简便量化,本文选择出行时间随交通量增加而发生改变的公路网作为研究对象,对于出行时间与路网容量无关的轨道线不予单独考虑。车辆在公路路段上所需走行时间是随着该路段上交通流量的增加而增加,其走行时间——交通流量的关系可表达为:

$$t_a = f(q_a) \quad (5)$$

式中: t_a 为路段 a 的所需时间; q_a 为路段 a 上通过的交通流量。

对于公路阻抗函数,被广泛应用的是由美国道路局(Bureau of Public Road, BPR)开发的函数,被称为 BPR 函数,形式为:

$$t_a(q_a) = t_a(0) \left[1 + \left(\frac{q_a}{e_a} \right)^\alpha \right] \quad (6)$$

式中: e_a 为路段 a 的实际通行能力,即单位时间里可通过的最大车辆数; $t_a(0)$ 为道路 a 上的平均车辆自由走行时间; α 为待标定的参数, BPR 建议取: $\alpha = 0.15$, $\alpha = 4$, 也可由实际数据用回归分析求得。

对于参数 e_a 、 $t_a(0)$, 可由道路 a 的实测数据分析得到。

综合上面所述,为了将时间概念体现到计量模型中,公式(4)改进为式(7):

$$k_{it} = k_i \cdot t_a = \frac{l_{ij}(\text{shortest})}{\sum_{s=1}^n l_{ij}^n} t_a(0) \left[1 + \left(\frac{q_a}{e_a} \right) \right] \quad (7)$$

式中: k_{it} 为考虑时间阻抗函数的可达性。

假设在某一局域网络中有 p 个节点, 则整个网络中的可达性如式(8)所示:

$$A_{\text{net}} = \sum_{i=1}^p k_{it} = \sum_{i=1}^p \frac{l_{ij}(\text{shortest})}{\sum_{s=1}^n l_{ij}^n} t_a(0) \left[1 + \left(\frac{q_a}{e_a} \right) \right] \quad (8)$$

上述模型虽然考虑了外界交通量的增加对行走时间的的影响, 但是基本假设条件是网络中各个节点的吸引强度是相同的, 即交通需求相同, 这与实际情况是不符的, 为了更加准确地描述节点层次, 下文引入了节点重要度的概念。

3.3 基于节点重要度的网络通达性

公路网络中, 不同功能、地位的节点对区域经济的发展有着不同范围的影响, 反映路网中节点功能、地位大小的指标称之为节点重要度。通过引入节点重要度这个概念, 认为交通需求发生在节点上, 并按节点的重要度将节点划分为不同的层次, 这符合区域发展中增长极、区位优势及点轴理论等相关理论的描述。

节点重要度受很多方面因素的影响, 它与区域内政治、经济、文化、商业等方面都有联系。采用主成分分析法, 选择那些能反映节点功能强弱及地位高低的指标来计算节点重要度。在一般情况下, 可依据上述原则选择总人口、工农业总产值、国内生产总值或消费品零售总额中若干项作为节点重要度的相关指标, 式(9)为计算中可采用的一种公式:

$$I_i = \frac{P_i}{\bar{P}} + \frac{G_i}{\bar{G}} + \frac{S_i}{\bar{S}} \quad (9)$$

式中: I_i 为节点 i 的重要度; P_i 为节点 i 的人口数 (万人); G_i 为节点 i 的工农业总产值 (万元); S_i 为节点 i 的国内生产总值 (万元); \bar{P} 为所有节点人口的平均数 (万人); \bar{G} 为所有节点工农业总产值平均值 (万元); \bar{S} 为所有节点的国内生产总值平均值 (万元); 1 、 2 、 3 为各项指标的权重, 可通过主成分分析法确定。

通过节点重要度修订后的路网通达性表达式如式(10):

$$A_{\text{net}} = \frac{\sum_{i=1}^p k_{it} I_i}{\sum_{i=1}^p I_i} = \frac{\sum_{i=1}^p \left[\frac{l_{ij}(\text{shortest})}{\sum_{s=1}^n l_{ij}^n} t_a(0) \left[1 + \left(\frac{q_a}{e_a} \right) \right] \right] I_i}{\sum_{i=1}^p I_i} \quad (10)$$

文中引入时间阻抗函数和节点重要度两个概念, 从新的视角对区域可达性度量提出了一种新的方法。时间阻抗函数中以实际的交通量作为主变量, 能客观地反映人们的空间联系强度, 对于不同的地区, 参数可以用不同的方法随时标定, 大大提高了模型的实用性。节点重要度弥补了传统的拓补网络中路径缺乏几何参数的弊端, 可以根据实际情况, 分别取经济总量、人口总数、三产比例等多个指标赋予不同的权重进行节点重要度的标定, 客观上反应了影响可达性的潜在因素, 提高了可达性量化的准确性。

4 研究展望

可达性作为衡量两地区空间联系的重要指标, 在我国已进行了比较深入的研究, 并且取得了一定的研究成果。随着科学技术的发展和人们空间联系的日益多样性, 可达性的概念也在不断地深化和完善, 笔者认为在今后一段时间内, 可达性的研究应着重考虑以下几个方面:

(1) 不同地域范围的可达性研究。研究尺度对于概念内部组成有着重要的影响, 例如: 城市群、都市圈、城际或城乡范围等。

(2) 交通方式对可达性的影响。交通结构的升级和综合运输体系的初步形成, 必然对人们的出行需求和出行方式产生重大的影响。

(3) 信息发布、传递方式的多元化发展, 客观上对可达性产生了深远的影响。

(4) 生活习惯及人的主观意识等心理因素在可达性量化函数中的研究。

参考文献

- [1] 张文忠, 孟斌, 吕昕等. 交通通道对住宅空间扩展和居民住宅区位选择的作用——以北京为例. 地理科学, 2004, 24 (1): 7~13.
- [2] 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.
- [3] Chen J, Lu F. Analysis of Spatial Configuration of the Palace Museum: An Application of the Axial - Based

- Space Syntax. In Proceedings of Geoinformatics, 2006, 28~29.
- [4] 李平华, 陆玉麒. 可达性研究的回顾与展望. 地理科学进展, 2005, 24(3) :69~77.
- [5] Geurs KT, van Wee B. Accessibility evaluation of land-use and transport strategies and research directions. Journal of Geography, 2004, 12(2) :127~140.
- [6] 陈洁, 陆锋, 程昌秀. 可达性度量方法及应用研究进展评述. 地理科学进展, 2007, 25(6) :100~108.
- [7] 曹小曙, 闫小培. 经济发达地区交通网络演化对通达性空间格局的影响: 以广东东莞市为例. 地理研究, 2003, 22(3) :305~312.
- [8] Li Siming, Shum Yiman. Impacts of the national trunk highway system on accessibility in China. Journal of Transport Geography, 2001, 9(1) :39~48.
- [9] 曹小曙, 薛德升, 闫小培. 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.
- [10] Phillips Dunston. Analysing Infrastructure and Mobility in the Baltic Sea Region. Washington DC: TRB 78th Annual Meeting Preprint CD-ROM, TRB, National Research Council, 1999.
- [11] 过秀成, 胡斌, 陈凤军. 农村公路网规划布局设计方法探讨. 公路交通科技, 2002, 19(2) :91~94.
- [12] 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.
- [13] 徐旭, 曹小曙, 闫小培. 不同指标下的穗港城市走廊潜在通达性及其空间格局. 地理研究, 2007, 126(11) :179~186.
- [14] 鲁海军, 刘学军, 程建权等. 基于空间句法的城市道路网可达性分析. 中国水运, 2007, 7(07) :131~133.
- [15] Pooler J A. The Use of Spatial Separation in the Measurement of Transportation Accessibility. Transportation Research A, 1995, 29(6) :421~427.
- [16] 刘贤腾. 空间可达性研究综述. 城市交通, 2007, 5(6) :36~43.
- [17] Shen Q. Spatial Technologies, Accessibility and the Social Construction of Urban Space. Computers, Environment and Urban Systems, 1998, 22(5) :447~464.
- [18] Ingram D R. The Concept of Accessibility: A Search for An Operational Form. Regional Studies, 1971, 5(2) :101~107.
- [19] Allen W B, Liu D and Singer S. Accessibility Measures of U.S. Metropolitan Areas. Transportation Research B, 1993, 27(6) :439~449.
- [20] Mackiewicz A, Ratajczak W. Towards a New Definition of Topological Accessibility. Transportation Research B, 1996, 30(1) :47~79.
- [21] 杨涛, 过秀成. 城市交通可达性新概念及其应用研究. 中国公路学报, 1999(2) :25~30.

Research on Road Network Accessibility Based on Time Impedance Function

ZHANG Shengrui, WANG Chaoshen, XU Jingcui

(School of Highway, Chang'an University, Xi'an, 710064 China)

Abstract : The paper elaborates the accessibility concept and application scope in the different disciplines simply, analyzes the factors influencing accessibility, summarizes quantification method used commonly at the present stage in geometry topology, points out application conditions and insufficiency of the gravity model, the distance model, the accumulation opportunity method. In this foundation, discovers that quantification limiting to the spatial criterion can not respond the relation of the spatial network accurately, in view of this question, proposes the quantification model basing on the time impedance function, which takes the main variable by the practice capacity. This model can respond the spatial demand intensity indirectly. Then the paper introduces the node importance concept, it can reflect factors influencing accessibility in the road network even more directly, such as society, economy, transportation. This model can make up for the insufficiency of space and time method.

Key words : accessibility; measure method; geometry topology; time impedance function; node importance