

基于出租车经验路径的城市可达性计算方法

胡继华,钟广鹏,谢海莹

(中山大学工学院智能交通研究中心,广州 510006)

摘 要:可达性计算中,始发地—目的地(Origin-Destination,简称OD)间的路径规划是一个很重要的问题。传统基于最短路径算法的路径规划存在与现实不符的可能,因此考虑出租车载客的经验路径,更符合现实的出行。本文基于潜能模型,综合考虑了人口分布、交通路网特征、兴趣点分布等因素,提出了城市可达性的计算方法,其中OD间行程时间采用出租车经验路径行程时间。然后以广州市中心城区为研究区域,进行网格划分,不同的网格分别作为OD;并采用一个月的广州出租车GPS数据,从中提取大量的载客经验路径,建立出租车经验路径数据库,将OD间的经验路径行程时间计算出来,最后完成了广州中心城区的可达性计算和分析。结果表明,广州中心城区可达性符合典型的势能分布,城市可达性在中心区最高,然后逐步向郊区递减。该结果验证了城市可达性计算方法具有较好的实用性和可计算性。

关 键 词:出租车;经验路径;服务能力;综合出行成本;可达性

1 引言

城市可达性用于反映出行者利用给定的交通系统从出发地点到达活动地点的便利程度,这个概念在编制交通规划和制定交通政策的过程中发挥着重要的作用,被认为是交通系统、土地利用和出行者相互作用的关键因素^[1]。可达性的概念被广泛应用于各个领域,如:城市规划、交通设施选址分析、商业地理学、时间地理学等。

然而,由于不同在的研究领域对于可达性的研究有不同的目的和需求,因此也有许多不同的可达性的度量模型。总结起来,包括:时空阻隔模型^[2]、累积机会模型^[3]、空间相互作用模型^[4]、时空约束模型^[5-6]、效用模型^[7]等。

可达性的大小受3方面因素的影响:土地使用因素、交通因素和个体因素^[8]。其中交通因素包括交通需求、交通工具因素、出行距离和时间等。因此,在实际的可达性计算中,OD间出行路径的规划及路径时间成本的计算显得尤其重要。目前,现有的路径规划算法大多只考虑道路网络的几何特征,搜索最短路径作为OD间的出行路径。而对于行程时间成本的计算,则通过最短路径的长度来替代。这种方法是在假设道路网格所有路径的行程车速

相等的理想情况下,并不满足实际的交通流情况。并且现实的出行路径并非都是道路网络中的最短路径,因此基于这种路径规划算法的可达性计算存在明显的不足。

本文考虑出租汽车驾驶员是一个长期行驶与于城市交通网络中的群体,对城市道路的交通状况非常熟悉。同时,他们对城市道路各时段的交通状况有较为全面的了解。因此,相比于其他出行者,人们认为出租车驾驶员行车路径的选择更为合理,能够相对较快地到达目的地。因此,本文结合出租车的经验路径,通过大量的出租车行驶轨迹数据进行提取归纳,建立了经验路径数据库,提出了一种基于出租车经验路径的路径规划方法。此外,为避免空间简化抽象产生的问题^[9],本文采用了一种基于网格划分的可达性计算方法。其核心思想是将研究区域划分成等距的网格来进行可达性计算。最终,本文以广州市中心城区为例,在基于出租车经验路的路径规划方法的基础上,计算研究区域的可达性特征。

2 路径规划方法

传统的路径规划一般都是基于城市道路网寻

收稿日期:2012-02; 修订日期:2012-04.

基金项目:国家自然科学基金项目(40971098)。

作者简介:胡继华(1971-),男,河南人,讲师,博士,主要研究方向为地图学与地理信息系统、时态GIS。

E-mail: hujihua@mail.sysu.edu.cn

找距离最短路径^[9-10]和时间最短路径^[11-12],一些学者则研究带转向延误和限制最短路径求解方法^[13-14]。这些研究基本上没有考虑到人对于路径选择的主观意识,这些主观意识表现为人们长期地出行活动中形成的路径选择经验。而出租车经验路径便是出租车司机经过长期的出行活动形成的比较合理的路径。因此如何将出租车司机行驶的经验路径用于公众自主出行的路径规划,具有现实意义。而将出租司机行驶的经验路径应用到路网的可达性计算中也更加符合现实的出行。

2.1 经验路径数据库

通过对大量的出租车GPS数据的提取与处理,得到大量的出租车行驶经验路径,建立经验路数据库。经验路径表结构设计字段包括:起点节点ID、终点节点ID、路径序列、出行次数和路径平均行程时间。对于建立数据库的流程如图1所示,主要包括两个过程,一个是通过大量的出租车GPS数据提取其载客轨迹路径,二是通过对大量经验路径的聚类分析得到经验路径数据库。

对于出租车载客路径的提取,以载客或空载状态为划分标准,通过对连续载客或空载时的状态数据的分析和累加,得到出租车每次载客时的行驶轨迹。而对于大量经验路径的聚类,可以将历史轨迹数据按不同的起止点存储在经验路径数据库中,记录相同路径的出行次数。其表示此OD出行路径的选择次数,次数越高,说明该路径越合理,被人选择的可能越大。因此在计算路网可达性时,对于OD间的路径规划,将优先选择聚类程度高的经验路径作为出行路径,将OD出行经验路径集的平均历史行程时间作为相应的时间成本。

2.2 基于网格的路径查询

由于经验路径数据库中的起止点采用的是道路节点,而网格的中心点通常不会与道路节点重

合,因此需要网格中心点与最近节点的匹配(图2)。首先对于起始网格中心点 S 和终止网格中心点 D ,寻找其最近的路网节点 S' D' 。其次从经验路径数据库中查询节点 S' 到 D' 出行次数最多的一条经验路径作为规划路径,并且返回该OD经验路径集的平均历史行程时间 t 。最终,路径 $S-S'-D'-D$ 便是网格 S 到网格 D 的规划路径,时间 t 便是该规划路径的预测行程时间。

由于,网格中心点到距其最近道路节点的直线距离很小,因此两点间行程时间可以由两点间直线距离和网格道路等级决定。其中,网格道路等级表示网格中主要道路的等级,其决定了网格内的行驶车速。可以得到规划路径行程时间计算公式如式(1)所示:

$$T_{SD}=t+\frac{LSS'}{V_s}+\frac{LDD'}{V_d}$$

(1)

式中: t 表示出租车出行经验路径集的平均历史行程时间; LSS' 、 LDD' 表示 SS' 与 DD' 的直线距离; V_s 、 V_d 表示由网格道路等级决定的理想行程车速; T_{SD} 是网格 S 到网格 D 的一个路径行程时间成本。

3 可达性计算方法

可达性是交通及城市研究中的一个非常重要和基础的指标,关于指标的评价方法繁多,因此如何选择一种合适的计算方法成为可达性研究中的一个重要问题。可达性表征的是人或物通过一定的交通方式到达目的地或参与活动的难易程度,更深层次地表征了不同性质土地之间,通过交通系统相互影响的潜力。所以很多城市空间属性与可达性有密切的关系,如道路网密度、人口密度、地价、建筑密度等。因此,为综合的考虑城市空间属性和可达性的联系,以及数据获取与处理的方便程度,

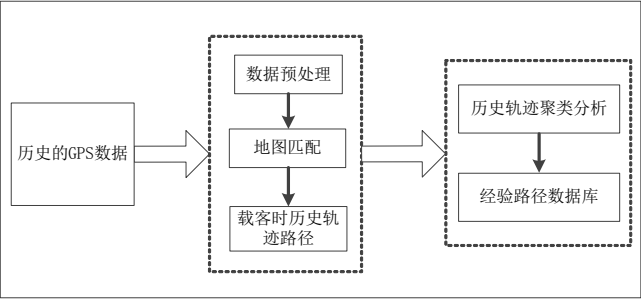


图1 经验路径数据库建立流程

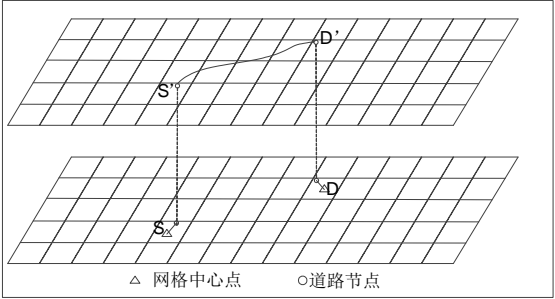


图2 网格中心点与最近道路节点的匹配

Fig.1 Established process of experience path database

Fig.2 Matching between grid's center point and road node

本文采用潜能模型进行可达性的计算分析。

1959年,Hansen^[4]在分析大都市区人口分布与居住用地开发模型中测算可达性指标时,明确指出了所使用的可达性概念是指“机会相互作用的潜力,而不是指相互作用的难易程度”,并提出了可达性指标的计算模型。这种可达性计算模型在实际的测算和建模过程中,通常要依赖于空间的简化,将不同尺度的研究区域抽象为点状区域,并将它们作为节点来研究各节点的可达性。这种计算方法存在2个问题:①计算单元的划分没有标准方法,划分尺寸和大小不同,各节点的可达性值也不相同;②以节点的可达性值来代替整个单元区域的值,空间的精度粗糙,并不能很好地体现空间上的可达性特性。因此,为了避免空间简化抽象所产生的问题,本文将研究区域网格化,定义网格可达性为:能够到达的所有网格的服务吸引力与中间克服阻力的比值的总和。其计算公式与最通用的可达性计算模型-潜能模型公式是一致的,见式(2):

$$P_i = \sum_{j=1}^n \frac{M_j}{T_{ij}^\alpha C_{ij}^\beta} \quad (2)$$

式中: P_i 表示网格 i 的可达性度量值; M_j 表示网格 j 的质量(服务能力); T_{ij} 表示网格 i 到网格 j 的路径行程时间成本; C_{ij} 表示网格 i 到网格 j 的路网阻抗; α 为时间成本系数; β 为阻抗系数。

3.1 网格路网阻抗计算

为了考虑城市路网分布这一空间属性对城市可达性的影响,本文引入网格路网阻抗的概念。该阻抗反映了网格的交通乘车便利程度,能很好地表征城市路网空间属性的分布对于城市可达性的影响。为了计算任意网格间的路网阻抗,首先考虑单元网格的路网阻抗。对于单元网格的路网阻抗,可以通过两种方法进行模拟。一种是道路密度法^[15],一种是土地利用类型相对阻力法^[16-17]。考虑已有研究数据,本文采用道路密度法来测算每个网格的路网阻抗。一般来说,道路密度越大,交通越方便,网格的路网阻抗值就越小。具体的计算公式如公式(3)所示:

$$C_i = \left(\frac{\sum_{k=1}^m \beta_k \times L_k}{area(G_i)} \right)^{-\mu} \quad (3)$$

式中: C_i 表示单元网格 i 的路网阻抗度量值; m 表

示网格内所具有的道路类型数; β_k 表示道路类型为 k 的影响因子; L_k 表示网格内 k 类道路类的道路长度; μ 表示相关性系数; $area(G_i)$ 表示网格所具有的面积。

由于网格是对城市区域的硬性划分,在实际的计算过程中,可能会存在相邻网格间交通值差异过大的情况。又因测算出来的网格路网阻抗仅为一个相对值,因此可以通过取对数的方法使结果更加平稳一些^[18],如公式(4)所示。

$$C_i = \log \left\{ \left(\frac{\sum_{k=1}^m \beta_k \times L_k}{area(G_i)} \right)^{-\mu} \right\} \quad (4)$$

对于网格 OD 间的路网阻抗,则考虑由出租车经验路径数据库得到的网格 OD 间的规划路径。该出行路径所经过所有单元网格的路网阻抗的总和便可作为该网格 OD 间路网阻抗,如公式(5)所示。

$$C_{ij} = \sum_{n=1}^{num} C_n \quad (5)$$

式中: C_{ij} 表示网格 i 到网格 j 路网阻抗总和; num 表示网格 i 到网格 j 的路径所经过的网格数量; C_n 表示所有经过单元网格的路网阻抗。公式中,通过对各网格路网阻抗的加和来表征网格 OD 间存在的一种路网阻抗,能很好的体现实际路网分布对于可达性计算的影响,使计算结果更加符合实际需求。

3.2 网格服务能力计算

对于公式(2)中目标网格 j 的质量(服务能力) M_j 的计算,可以根据网格内的人口密度、就业岗位数、兴趣点数、用地类型及规模等来度量。表征该网格在区域内的一种吸引力情况。其中,兴趣点为人们出行主要的集散点,单元网格内,兴趣点的数量及类别在一定程度上很好地反映了该网格所具备的服务能力。而对于网格的人口密度分布也直接决定了该网格在整个网格中的潜在吸引力,因此本文对于 M_j 的测度,主要考虑网格的人口密度,及网格内具备兴趣点数量和类别。具体计算如公式(6)所示,其中取对数是为了保证度量结果平稳性。

$$M_j = \log \left(F_j \times \left(\sum_{i=1}^n w_i \times p_i \right)^q \right) \quad (6)$$

式中: F_j 表示网格的人口密度; n 表示兴趣点种类数; w_i 表示兴趣点类别为 i 的影响因子; p_i 表示兴趣点类别为 i 的兴趣点数量; q 为相关系数。在实

际的计算过程中,由于网格的服务能力 M_j 只是一个相对值,因此可对各参数进行归一化处理后,最终计算取对数可使度量结果保持平稳变化。

4 实证研究

本文选择广州市作为案例的研究区域,以各网格的可达性为计算对象。研究区域包括广州市海珠区、越秀区、荔湾区等等。道路数据包括5种道路类型:主干道、次干道、快速路、支路和地铁。计算数据源是从有关部门获取得到广州市兴趣点分布数据、人口分布数据。

在对一系列空间数据配准和处理的基础上,本文将研究区域分成1km的等距网格。按公式(4)、(6)分别计算出网格路网阻抗 C_i 分布图和网格服务能力 M_j 分布图,计算结果分别如图3、图4所示。

根据式(2)需要计算网格 i 到网格 j 的综合成本费用,分别由两部份组成。其中一部份是网格 i 到网格 j 路网阻抗总和 C_{ij} ,可以用公式(5)计算得到;另一部份是网格 i 到网格 j 的路径行程时间成本 T_{ij} ,可以用式(1)计算得到。因为这两个值都为相对值,因此经归一化量纲后进行相加可以得到综合成本费用 G_{ij} ,见式(7)。

$$G_{ij} = T_{ij}^{\alpha} + C_{ij}^{\beta} \tag{7}$$

式中: α 为时间成本系数; β 为阻抗系数。

因此,利用式(2)计算得出了广州市划分的各单元网格的可达性情况,其空间分布如图5所示。

以上研究表明:位于广州市中心的越秀区人口密度大、交通设施完善、兴趣点数量大,使该区域具有较低的交通成本和较好的服务能力。因此这一中心区域的可达性指标一般很高,其各网格的可达性明显优于其他区域。相对来说白云区、黄埔区等周边区域因受限于其交通和公共设施服务能力,以及其人口分布,其可达性水平明显低于中心城区。从整体来看,整个城市网格的可达性度量值明显由城市中心到周边区域从高到低呈向外递减分布。图5可以清晰地反映出这种层次性的递减特征。这些结果可以为广州市的交通和设施规划提供一定的参考价值。

对于可达性计算模型的评价主要从两个方面来考虑:一是检查计算结果是否与实际的状况相符;二是观察累积频度分布图中的数值分布在高值

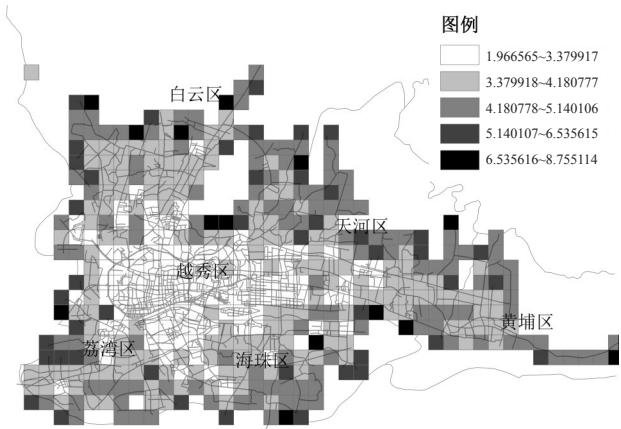


图3 网格路网阻抗 C_i 分布图
Fig.3 Distribution of grid's network impedance

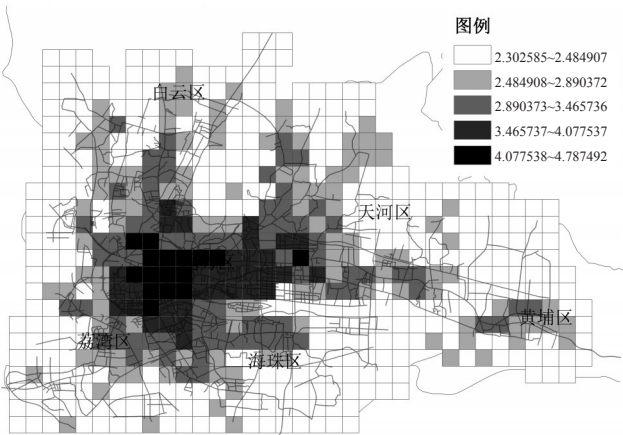


图4 网格服务能力 M_j 分布图
Fig.4 Distribution of grid's service capacity

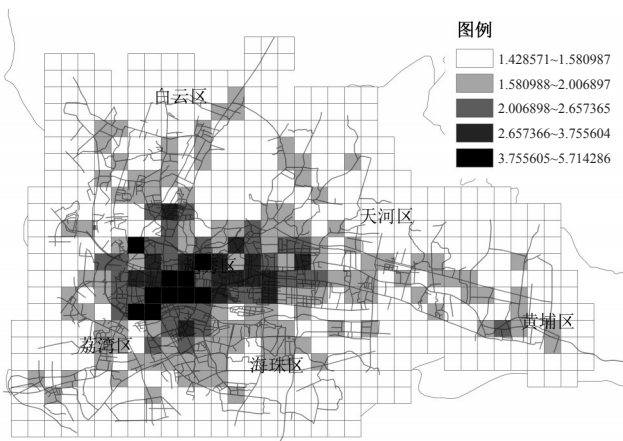


图5 网格可达性空间分布
Fig.5 Distribution of grid's transit accessibility

和低值的区间是否显著。本文应用潜能模型计算可达性,计算结果显示与实际的感性认知状况大体相符。而从统计规律上看,计算可达性的累积频度分布如图6所示,其中横坐标表征了可达性等级,从统计表中可以看出可达性过高或过低的单元网格并不多,可达性数值在高值和低值的区间也相当显著。根据以上两个原则,可以判断本文提出的基于出租车经验路径的潜能模型是合适的,它综合考虑了用地、交通和人口分布因素,所表达的信息也比较综合。因此,可以验证该方法是比较符合现实情况的,同时也是相对易于计算的。

5 结语

本文提出的基于出租车经验路径的可达性计算方法具有以下特点:

(1) 采用出租车经验路径的平均历史行程时间作为出行行程时间成本,避免了路径搜索时间,大大地提高了计算的效率。

(2) 研究区域的网格划分方式,避免了一般的小区划分空间简化方法所带来的不确定性,而且空间粒度可以利用网格的大小进行调整。

(3) 本文研究所需要的数据源需要大量的出租车历史轨迹数据作为依据,其它数据源获取和处理相对比较容易。

(4) 这种方法适用于研究城市内部的特定个体在区域中的微观可达性评估。

在出租经验路径数据基础上,对研究区域进行网格化,采用潜能模型分析区域的可达性特征。待续的研究中存在许多需要考虑的问题,如网格划分大小对于计算结果的影响、考虑路网动态交通流不同时段下的可达性情况等等,需要进一步研究。

参考文献

[1] 陆化普,王继峰,张永波. 城市交通规划中可达性模型及其应用. 清华大学学报:自然科学版, 2009, 49(6): 781-785.

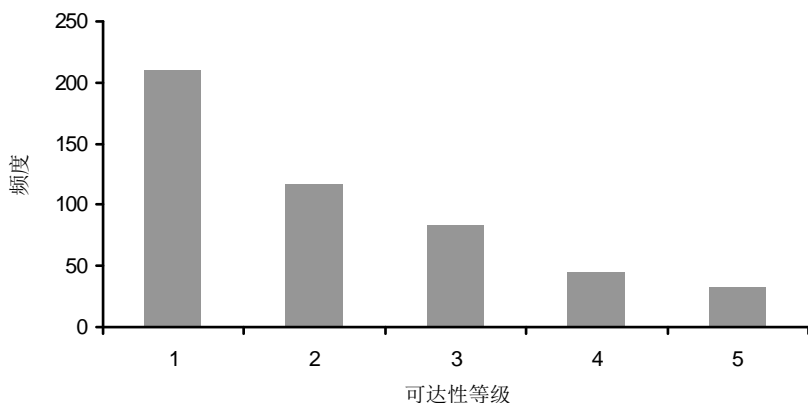


图6 网格可达性累积频度分布

Fig.6 Distribution of cumulative frequency about grid's transit accessibility

- [2] Ingram D R. The concept of accessibility: A search for an operational form. *Regional Studies*, 1971, 5(2): 101-107.
- [3] Wachs M, Kumagai T G. Physical accessibility as a social indicator. *Socio-Economic Planning Sciences*, 1973, 7 (5): 437-456.
- [4] Hansen W G. How accessibility shapes land use. *J Ame Inst Planners*, 1959, 25(1): 73-76.
- [5] Hagerstrand T. What about people in regional science. *Paper Regional Sci Assoc*, 1970, 24: 7-21.
- [6] Kwan M. Space-time and integral measures of individual accessibility: A comparative analysis using a point-based framework. *Geographical Analysis*, 1998, 30(3): 191-216.
- [7] 陈声洪. 上海城市交通分析和预测. 上海: 上海科学技术出版社, 1998.
- [8] 杨培军, 宋小东. 基于GIS的可达性评价方法比较. *长安大学学报*, 2004, 21(4): 27-32.
- [9] 陆锋. 最短路径算法: 分类体系与研究进展. *测绘学报*, 2001, 30(3): 269-275.
- [10] FISHER P. A primer of geographic search using artificial intelligence. *Computers & Geosciences*, 1990, 16(6): 753-776.
- [11] 陆锋, 卢冬梅, 崔伟宏. 交通网络限制搜索区域时间最短路径算法. *中国图像图形学报*, 1999(10A): 849-853.
- [12] 韩刚, 蒋捷, 陆军. 车载导航系统中顾及道路转向限制的弧段Dijkstra算法. *测绘学报*, 2002, 31(4): 366-368.
- [13] 任刚, 王伟, 邓卫. 带转向延误和限制的最短路径问题及求解方法. *东南大学学报: 自然科学版*, 2004, 34(1): 104-108.
- [14] 郑年波, 李清泉, 徐敬梅, 等. 基于转向限制和延误的双向启发式最短路径算法. *武汉大学学报: 信息科学版*, 2006, 31(3): 256-259.

[15] 马林兵, 曹小曙. 基于 GIS 的城市公共绿地景观可达性评价方法. 中山大学学报: 自然科学版, 2006, 45(6) : 111-115.

[16] 俞孔坚, 段铁武, 李迪华, 等. 景观可达性作为衡量城市绿地系统功能指标的评价方法与案例. 城市规划, 1999, 23(8) : 8-11.

[17] 周廷刚, 郭志达. 基于 GIS 的城市绿地景观引力场研究: 以宁波市为例. 生态学报, 2004, 24(6): 1158-1163.

[18] 马林兵, 曹小曙. 一种启发式 A 算法和网格划分的空间可达性计算方法. 地理研究, 2008, 27(1): 93-100.

A Computational Algorithm of Urban Accessibility Based on
Experiential Taxi Path

HU Jihua, ZHONG Guangpeng, XIE Haiying
(Research Center of Intelligent Transportation System, School of Engineering, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510006, China)

Abstract: Path search between OD is a main factor in urban accessibility calculation. The traditional shortest path search algorithm does not match the reality, so taking experiential path of taxi as travel path is considered more reasonable. Based on potential model, this paper proposes a computational algorithm of urban accessibility, which takes into account the distribution of population, the characteristics of traffic network and the distribution of POI, and it takes the travel time of experiential path as the time cost between OD. Then it chooses Guangzhou city as the study area, and divides urban areas into cells, and the OD is composed by different cells. At the same time, GPS data of Guangzhou taxi in a month was explored, and mass experiential paths were abstracted and stored in database, travel time of each experiential path was computed. Finally, urban accessibility of Guangzhou city was computed and analyzed. As the result shows, urban accessibility of Guangzhou city was a typical potential distribution, its value in central area is the highest, then it decreases as getting closer to suburban areas. The result also proves the computational algorithm’s practicability and its calculability.

Key words: taxi; experiential path; service ability; comprehensive travel cost; urban accessibility

本文引用格式:
胡继华, 钟广鹏, 谢海莹. 基于出租车经验路径的城市可达性计算方法. 地理科学进展, 2012, 31(6): 711-716.