

基于 GIS 的城市公共汽车站可达性研究

裴玉龙¹, 潘恒彦¹, 马部珍²

(1.东北林业大学交通学院, 黑龙江 哈尔滨 150040; 2.银川市规划编制研究中心, 宁夏 银川 750000)

摘要: 公共汽车站可达性可衡量公共交通设施的便利程度。从居民出行点与公共汽车站的最短距离、出行者的出行阈值以及车站的平均服务范围三个方面出发, 构建车站空间可达性度量模型, 对出行者到达公共汽车站的难易程度进行度量。考虑途经车站的线路配车数量、高峰与平峰运营速度等因素, 建立车站网络可达性度量模型, 对出行者通过某个车站到达区域其他地方的机会大小进行度量。将车站空间可达性与车站网络可达性相结合, 建立潜点网络可达性度量模型, 对空间中各出行潜点到达其他区域的难易程度进行度量。选取哈尔滨市二环快速路范围内区域为研究对象, 通过 GIS 手段对公共汽车站可达性进行建模与运算。结果表明, 公共汽车站可达性空间分布不均衡, 公共汽车出行分担率与公共汽车站可达性具有相关性。

关键词: 交通规划; 公共汽车; 车站; 可达性; GIS

Accessibility of Urban Bus Stops Based on GIS

Pei Yulong¹, Pan Hengyan¹, Ma Buzhen²

(1.School of Traffic, Northeast Forestry University, Harbin Heilongjiang 150040, China; 2.Yinchuan Planning & Research Center, Yinchuan Ningxia 750000, China)

Abstract: The accessibility of bus stops can be used to evaluate the convenience of public transportation facilities. Based on the shortest distance between residents' travel origins and bus stops, travel threshold and bus stops' average service coverage, this paper develops an accessibility model to measure the difficulty of travelers accessing to bus stops. Considering the number of buses, peak and non-peak traveling speed and other factors, a stop network accessibility model is established to measure the probability of travelers to reach other places in the region around certain bus stop. Combining the spatial accessibility with the stop network accessibility, an accessibility model of latent points is developed to estimate the accessibility of each position to other areas. Taking the Second Ring Road in Harbin as an example, the accessibility of bus stops is modeled and calculated by GIS. The results show that the spatial distribution of bus stops accessibility is unbalanced, and there is a correlation between residents' travel and bus stops accessibility.

Keywords: transportation planning; bus; stops; accessibility; GIS

收稿日期: 2019-09-09

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目“基于广义交通枢纽的城市多模式交通网络协同规划理论与方法”(51638004)、国家重点研发计划课题“突发事件影响下的交通网络承载能力变化与影响机理研究”(2018YFB1600902)

作者简介: 裴玉龙(1961—), 男, 黑龙江桦川人, 博士, 教授, 博士生导师, 院长, 主要研究方向: 交通规划与管理、交通安全。E-mail: peiyulong@nefu.edu.cn

通信作者: 潘恒彦(1994—), 男, 山东乐陵人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 交通运输规划与管理。E-mail: 1251699836@qq.com

0 引言

可达性^[1]是评价服务设施布局合理性的重要指标, 不同领域学者对其定义不同^[2], 可以是出行者从出发地到达目的地所付出的

成本^[3], 也可以是以一定的出行范围为界限所能获得的资源与服务数量^[4]。可达性的概念最早由沃尔特·汉森(Walter Hansen)^[5]提出, 指节点之间相互联系的难易程度。可达性不仅与出行时间、出行距离有关, 还与人

口规模等相关。文献[6]针对区域综合可达性提出了量化指标。文献[7]根据实测交通量建立了可达性评估函数,用以评估就业与交通可达性的相互关系。文献[8]是中国最早的可达性研究,对可达性的内涵、意义以及度量方法进行阐述。文献[9]对可达性的评价方法进行了总结与对比,阐述了各种模型的优缺点。文献[10]以北京市朝阳区为例,借助GIS手段,提出基于公共汽车站权重和线路辐射范围权重的区域公共汽车可达性计算方法。文献[11]以城市公共交通可达性为基础,对大连市医疗服务水平的空间差异以及均等化水平展开研究,并对其空间分布特征进行分析。文献[12]以伦敦公共交通可达性为研究对象,详细解释了公共交通可达性水平,并基于ArcGIS与TransCAD软件,用等时线地图以及服务范围图对可达性进行表述。

既有研究中,针对可达性空间分布特征的分析以及公共汽车站可达性与居民出行的相互关系研究相对较少。本文旨在建立度量模型,对出行者到达公共汽车站的难易程度、出行者凭借某一车站到达其他区域的机会大小以及出行者基于公共交通系统从某一位置到达其他区域的难易程度进行度量。同时对公共汽车站可达性的空间分布特征及其与居民出行的相互关系展开研究。

1 车站可达性度量模型

1.1 车站空间可达性

本文从两个层面度量车站空间可达性:1)公共汽车站的可接近程度,用最短距离法与服务范围法进行综合度量;2)出行者从出行起点到达车站的便利程度,用最短距离法与出行阈值法进行综合度量。最短距离法侧重于对出行起点与车站空间距离的度量,是以下两种计算方法的前提。服务范围法侧重于以公共汽车站为中心,对其服务范围内的公共汽车需求点进行检索;模型从车站服务能力出发,对比其服务范围内的公共汽车需求,进而对公共汽车站是否能够满足居民出行进行评价。出行阈值法侧重于以居民点为中心,对其在某一阈值内可达的公共汽车站进行检索;模型从出行点自身需求强度出发,对比可达范围内的公共汽车站服务能力,进而对出行点的需求能否得到满足进行评价。

1.1.1 最短距离法

如图1所示, d_{ij} 表示出行起点小区 i 到达车站 j 的距离,则对于起点 i 而言,车站最短可达距离

$$d_{s-i} = \min[d_{iA}, d_{iB}, d_{iC}, \dots], \quad (1)$$

式中: d_{s-i} 为起点 i 到达车站 j 的最短距离/km; d_{iA}, d_{iB}, \dots 分别表示起点 i 距离车站 A, B, \dots 的距离/km。图1中,起点1, 2, 3的车站最短可达距离分别为 d_{1A}, d_{2D}, d_{3E} 。最短可达距离越长,公共汽车站的可接近程度越低,说明居民出发点与公共汽车站之间的阻抗越大。

出行者往往通过步行、自行车等交通方式从起点前往车站,车站可达距离

$$d_{iA} = \min[d_{iA-walk}, d_{iA-bike}, d_{iA-else}, \dots], \quad (2)$$

式中: $d_{iA-walk}, d_{iA-bike}, d_{iA-else}$ 分别为起点 i 到达车站 A 通过步行、自行车以及其他出行方式的可达距离/km。

1.1.2 服务范围法

如图2所示, S_F 表示公共汽车站 F 的服务半径,根据研究需求可取不同值,国家相关规范中提到,公共汽车站最大服务范围取500 m。基于车站辐射范围的车站可达性度量模型

$$d_{average-j} = \sum_{i=1}^n a_i d_{s-ij}, \quad (3)$$

式中: $d_{average-j}$ 为车站 j 与出行起点之间的平均可达距离/km; n 为车站 j 服务范围内的起点数量; a_i 为各出行起点的权重,权重由出行起点的居民出行强度比值确定; d_{s-ij} 为在车站 j 的服务范围 S 内,起点 i 到车站 j 的距离/km。图2中,公共汽车站 F 的平均可达距离为 $a_1 d_{1F} + a_3 d_{3F}$ 。

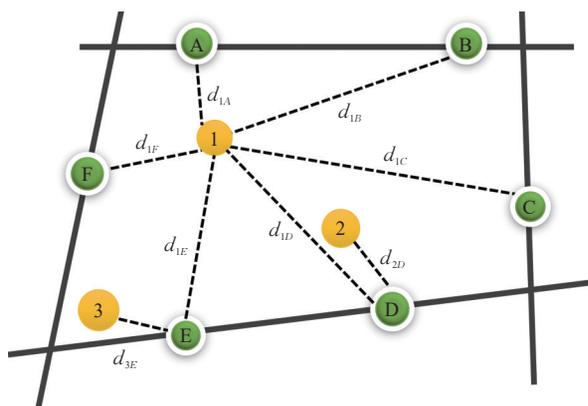


图1 最短距离模型

Fig.1 Shortest distance model

1.1.3 出行阈值法

随着车站 j 与出行起点 i 距离的增加, 车站 j 被选择的概率降低。出行阈值 Y 取 500 m, 对出行起点的车站可达性建立度量模型

$$d_{Y-i} = \sum_{j=1}^n a_j d_{Y-ij}, \quad (4)$$

式中: d_{Y-i} 为起点 i 在出行阈值 Y 下, 车站的平均可达距离/km; n 为起点 i 在出行阈值 Y 范围内的车站数量; a_j 为各出行公共汽车站的权重, 权重由公共汽车站的经停线路数量比值确定; d_{Y-ij} 为在出行阈值 Y 范围内, 起点 i 到车站 j 的距离/km。图 3 中, 起点 1 在出行阈值 Y 下的车站平均可达距离为 $a_A d_{1A} + a_F d_{1F}$, 起点 2 在出行阈值 Y 下的车站平均可达距离为 $a_C d_{2C} + a_D d_{2D} + a_E d_{2E}$ 。车站平均可达距离越长, 居民出发点与公共汽车站之间的阻抗越大。

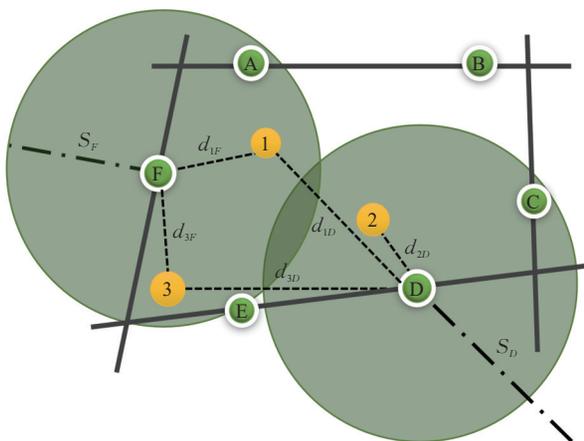


图2 车站辐射范围模型
Fig.2 Bus stop coverage model

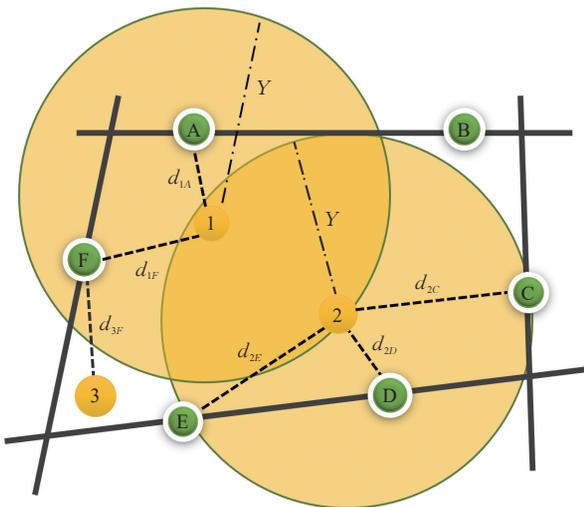


图3 出行阈值模型
Fig.3 Travel threshold model

1.2 车站网络可达性

本文将车站网络可达性定义为出行者通过车站的经停线路到达其他地方的机会的大小, 包括出行者可达范围以及可达质量。

1.2.1 车站网络可达性影响因素

可达域指途经所研究车站的线路中, 所有其他车站的服务范围的几何计算值, 可达域包括直达可达域与换乘可达域, 线路的经停车站数量是主要影响因素。出行者通过不同的公共汽车线路, 得到的服务质量不同。文献[13]指出, 线路非直线系数、发车频次、运营速度、车辆实际载荷率等是主要影响因素。

1.2.2 度量模型的建立

由于多方式公共交通网络复杂, 出行者行为差异大, 换乘可达的度量存在困难, 本文只考虑直达层面公共汽车站网络可达性的计算。车站网络可达性度量模型

$$K_i = \frac{A_i}{S} \times \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \left(a_w \sum_{w=1}^W m_{nw} \right) = \frac{A_i}{S} \times \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \left(a_w \sum_{w=1}^W \frac{M_{nw} - \min M_{nw}}{\max M_{nw} - \min M_{nw}} \right), \quad (5)$$

式中: K_i 为车站 i 的网络可达性; A_i 为经过车站 i 的线路的其他车站服务范围的几何计算值, 其中公共汽车站服务范围为 500 m; S 为研究区域的面积/km²; N 为经停车站 i 的线路数; a_w 为第 w 个影响因素的权重; W 为模型考虑因素的数量; m_{nw} 为第 n 条公共汽车线路第 w 个影响因素的指标归一值; M_{nw} 为第 n 条公共汽车线路第 w 个影响因素的指标值。本文将线路配车数量、线路非直线系数、高峰与平峰时段运营速度、线路运营长度作为影响因素, 并默认具有相等的权重。

1.3 潜点网络可达性

本文将潜点网络可达性定义为: 出行潜在点通过其临近的公共汽车站进入公共汽车网络系统后, 到达区域其他地方的难易程度。基于传统的潜力模型^[14-15]建立潜点网络可达性模型, 将出行潜能与空间阻抗因素相结合。潜点网络可达性的影响因素主要从两方面考虑: 1) 出行潜点到达公共汽车站的难易程度, 即前文所述的车站空间可达性; 2) 出行潜点基于临近公共汽车站, 到达网络其他地方的难易程度, 即前文所述的车站网络可达性。实际上, 潜点网络可达性将车站空间可达性与车站网络可达性相结合, 用于

度量两者的综合空间效应。

潜点网络可达性度量模型

$$Q_i = \frac{\sum_{j=1}^J K_j}{\sum_{j=1}^J \frac{A_i}{S} \times \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \left(a_w \sum_{w=1}^W m_{nw} \right)} \frac{1}{d_{ij}}, \quad (6)$$

式中： Q_i 为潜点*i*的网络可达性； J 为潜点*i*在一定出行阈值范围内，能够到达的公共汽车站数量； K_j 为车站*j*的网络可达性； d_{ij} 为潜点*i*与车站*j*之间的距离/m。

2 数据处理

本文需要的数据包括：中心城区的公共汽车站及线路位置、运营信息、中心城区的道路网情况、城市居民的全方式出行信息。其中公共汽车站及线路位置数据、道路网数据可通过百度地图免费开放的API接口，运用数据爬虫技术获得；公共汽车线路运营信息通过走访公交公司及实地调查得到。对于居民的全方式出行数据，本文通过对全市居民出行普查数据进行处理后得到，其中每一位出行者的出行起讫点均以经纬度进行记录，数据中涵盖了出行者的出行时间、交通方式、出行目的等信息，可筛选出与公共汽车出行相关的数据信息。

既有的可达性研究一般以交通小区或一定大小的栅格为基本分析单元。参考文献[16]考虑到实验的运算效率，在本文研究的区域内部，每隔250 m插入一个数据采集点，作为居民出行潜点与数据分析单元。

对数据采集点划定250 m服务区，作为出行潜点的居民出行强度搜集范围。采集与统计每一个服务区内居民出行信息。将数据进行归一化，归一值作为每一个出行潜在点的居民出行强度。对每一个数据采集点，搜索其500 m出行阈值范围内公共汽车站位置，计算各路径的平均值，并给予各车站相同的权重。基于公式(4)，得到各数据采集点的车站平均可达距离，具体操作流程如图4所示。

城市全方式交通网络由公共交通(地铁、公共汽车等)、非机动车、机动车交通构成。由于哈尔滨市气候寒冷，自行车出行分担率低，居民常通过步行到达公共汽车站。即服务区的生成仅考虑公共汽车网络及步行交通网络。通过前文数据获取手段，得到城市全方式交通网络数据，建立基于ArcGIS的地理数据库。运用ArcGIS10.2中网络分析(Network Analyst)模块，生成公共

汽车站的50 m, 100 m, 150 m, ..., 500 m服务区；10个多边形服务区构成的面状要素，可分别近似看作公共汽车站的0~50 m, >50~100 m, >100~150 m, ..., >450~500 m可达范围。将居民出行位置的经纬度数据导入软件中，生成点状要素。筛选出其中与公共汽车有关的出行数据。基于空间位置连接上述点状与面状数据。统计每个可达范围内居民出行点数与公共汽车出行点数，进而得到每个可达距离范围内的公共汽车出行分担率。

统计各车站经停的线路，并将各途经线路运营信息赋值到各车站的属性中；基于公式(5)得到各车站的网络可达性；基于公式(6)得到各潜点的网络可达性。进而得到整个研究区域的车站网络可达性与潜点网络可达性情况，具体操作流程如图5所示。

3 案例分析

3.1 区域可达性数据可视化

本文选取哈尔滨市中心城区由二环快速

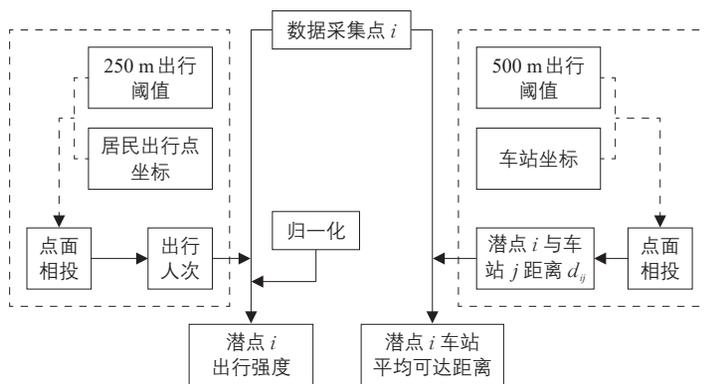


图4 潜点出行强度和车站平均可达距离技术流程

Fig.4 Techniques of travel intensity and average accessible distance of bus stops

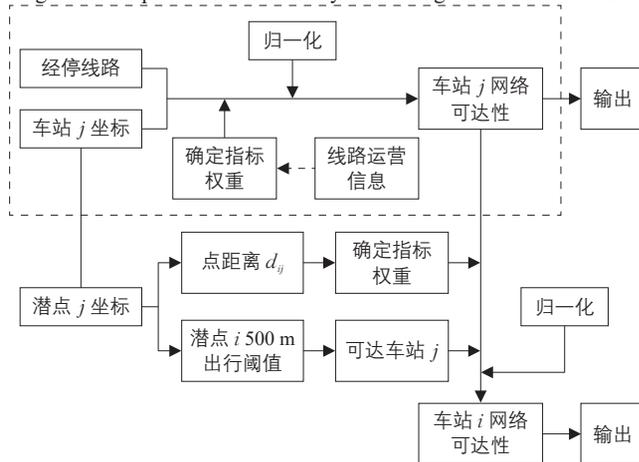


图5 车站网络可达性与潜点网络可达性技术流程

Fig.5 Techniques of bus stop network accessibility and latent point network accessibility

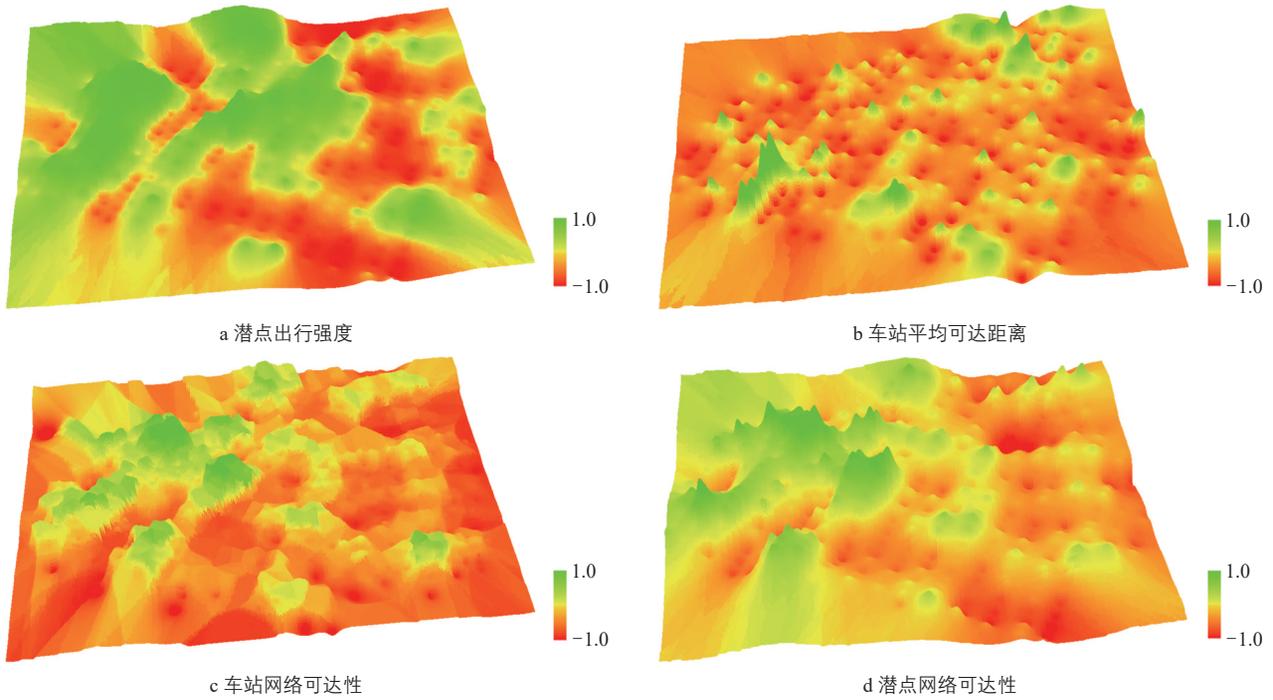


图6 区域可达性可视化分析结果

Fig.6 Visualization of regional network accessibility

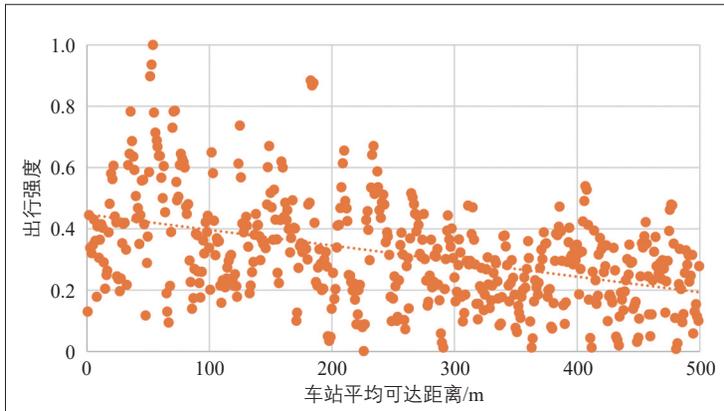


图7 潜点出行强度与车站平均可达距离呈负相关

Fig.7 Negative correlation between travel intensity and average accessible distance of bus stops

路(和兴路—公滨路—南直路—海员街—东北新街—北新街—友谊路—河鼓街—康安路)围成的区域作为研究对象^[17]。通过前文数据处理方法对研究区域进行分析。利用空间数据插值^[18],通过已知位置点数据信息估算未知点数据信息。空间数据插值分析基于地理学第一定律,即地物之间的相关性与距离有关,一般来说,距离越近,地物间相关性越大,距离越远,地物间相异性越大^[19]。远距离点的数据与已知点数据差异大的概率较高。常用方法包括趋势面法、克里金法等。本文在研究区域中每隔250 m插入一个数据采集点。采用反距离权重法^[20],即数值贡献

率与距离呈反比例变化关系,以系统默认的搜索半径,对未设置潜在点的区域进行数值估算。通过数据建模及软件操作获得居民出行强度、车站平均可达距离、车站网络可达性、潜点网络可达性三维可视化图(见图6)。

3.2 可达性与居民出行相互关系分析

将潜点出行强度与车站平均可达距离做散点图进行对比分析(见图7)。运用SPSS软件计算两者的相关系数,得到Person相关系数、Kendall's Tau-b相关系数和Spearman相关系数分别为-0.141, -0.121和-0.180,且在0.01的显著性水平下。可知两者呈负相关关系,即潜点出行强度越高,其到达车站的平均距离越短。

同理,将潜点出行强度与潜点网络可达性做散点图进行对比(见图8),计算两者相关系数,得到Person相关系数、Kendall's Tau-b相关系数和Spearman相关系数分别为0.606, 0.406和0.567,且在0.01的显著性水平下。可知两者呈正相关关系,即潜点的出行强度越高,潜点的网络可达性越高。这说明研究区域在可达性方面,除少量区域存在强出行需求而其网络可达性较差的现象外,多数公共汽车站布局能够满足出行者出行需求与供给。居民出行强度高的地方,出行者能够更容易到达附近公共汽车站,进入公共

汽车网络，前往区域其他地方。

随着距离增加，空间特定服务设施的使用呈递减趋势^[21]。步行时间的增加伴随着出行成本的增加，进而影响出行者的交通方式选择。计算车站平均可达距离与居民公共汽车出行分担率的相关系数，得到 Person 相关系数、Kendall's Tau-b 相关系数和 Spearman 相关系数分别为 -0.870，-0.867 和 -0.733，可知两者在 0.01 的显著性水平下呈负相关关系。随着公共汽车站可达距离的增加，公共汽车出行分担率随之衰减。对实验数据分别进行幂函数、线性函数、对数函数、指数函数拟合，拟合优度 R^2 分别为 0.763 6，0.758 4，0.712 4，0.705 5。就本次实验而言，幂函数线性拟合结果最优(见图 9)。

3.3 可达性空间自相关分析

空间自相关检验能够分析区块某地理属性与其邻域区块上相同属性的相关程度^[22]。空间自相关理论认为：距离越近的物体，其共性越强。若某一区块的地理属性值高，而其临近区块的属性值同样高时，则在空间上存在正相关关系，反之为负相关。Moran's I 常被用于空间自相关的度量分析中^[23]。当 Moran's I > 0 时，相邻区块间属性相似，呈现空间正自相关现象，即属性高或低的区块集聚；当 Moran's I < 0 时，区块间属性高低间隔分布，呈现空间负相关现象，当 Moran's I = 0 时，区块间属性高低分布无规律。而 General G 系数可用于判别区块的高(低)集聚现象^[24]。

按照河流、铁路、道路等屏障对研究区域进行区块划分^[25]，并对潜点出行强度、车站平均可达距离、车站网络可达性与潜点网络可达性 4 个指标的空间分布进行空间自相关分析(见表 1)。由 P 值可知，除车站平均可达距离外，其他 3 个指标均可看作存在空间集聚现象。

聚类分析结果如图 10 所示。图中红色表示指标高值聚类区域，蓝色表示低值聚类区域，且颜色越深，聚类现象越明显。淡黄色区域表示无意义，即高低相间，无空间集聚现象存在。图 10a 中，西北部区域与中部居民出行强度较高的集中区域分布着志愿者广场、中央大街、斯大林公园、哈尔滨火车站、医科大学第四附属医院等，是满足居民娱乐、购物、交通以及就医的场所；东南部

蓝色的区域为省人民法院、检察院、卫生厅等事业单位以及老旧小区聚集地，东北部蓝色区域为马家沟、哈牡客专牡绥线等铁路线的交汇处，人口密度低，两地居民出行强度低，形成区域中居民出行强度低集聚区域。

图 10b 中，除边缘区域存在低集聚现象外，内部区域为淡黄色，即无明显高(低)集聚现象，与图 6b 中的三维可视图相对应。这反映出对每个出行潜点而言，其到达车站的难易程度在空间上并无明显的空间集聚特征，不存在某些地方比另一个地方更容易到

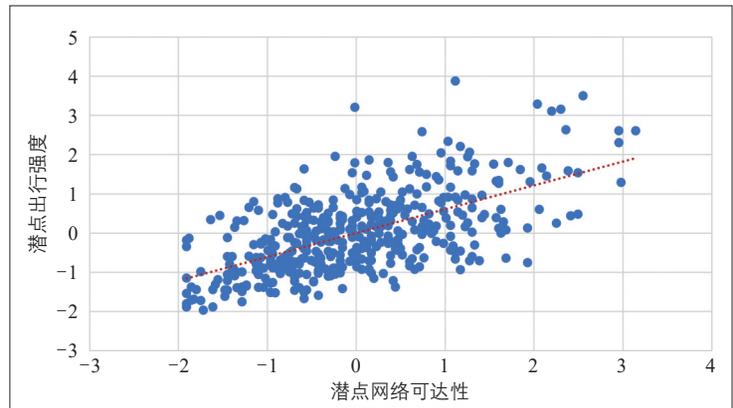


图 8 潜点出行强度与车站网络可达性呈正相关

Fig.8 Negative correlation between travel intensity and network accessibility of bus stops

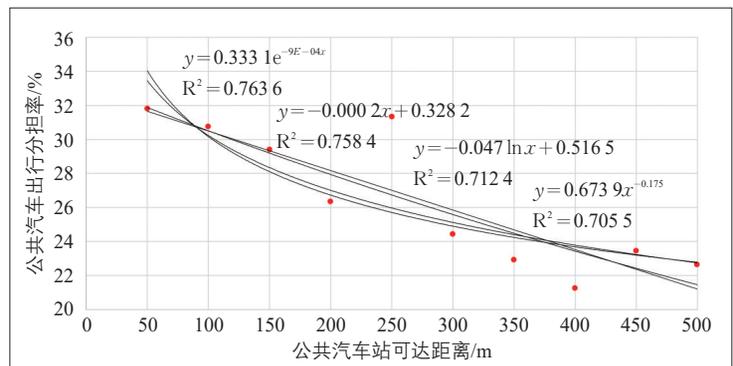


图 9 公共汽车出行分担率衰减趋势

Fig.9 Attenuation trend of bus travel mode share

表 1 指标空间自相关检验结果

Tab.1 Test results of spatial autocorrelation of indicators

指标	Moran's I 指数	Z 得分	P 值	是否空间集聚
潜点出行强度	0.077 60	3.089	0.002 ¹⁾	是
车站平均可达距离	0.310 27	0.825	0.409	否
车站网络可达性	0.302 38	10.41	0.000 ¹⁾	是
潜点网络可达性	0.347 44	11.96	0.000 ¹⁾	是

1) 在 5% 的置信区间内检验通过。

达车站的现象，研究区域的车站布局相对合理。

通过对比图 6c 与图 10c、图 6d 与图 10d 可知，车站网络可达性与潜点网络可达性的空间分布情况相似。车站网络可达性高的地方，居民能够借助临近公共汽车站进入公共汽车网络，并更容易到达区域其他地方，车站可达性高的区域周围，潜点可达性高。结合图 10 可知，潜点出行强度越高，潜点网络可达性越高，即研究区域的公共汽车布局相对合理，使居民出行强度高区域的出行者更容易到达区域其他地方。

3.4 小结

1) 研究区域西北部以及中部区域车站网络可达性、潜点网络可达性以及潜点出行强度高，其他区域潜点出行强度相对较弱，可达性相对较差。

2) 中央大街、斯大林公园、医科大学第四附属医院等商业、旅游、就医区域，车站网络可达性高，潜点网络可达性高，两者存在高集聚。出行者能够较容易地就近到达公共汽车站，进入公共汽车网络后能够较容易地到达区域其他位置。而在一些行政用地

与河流、铁路交会处，两项指标存在低集聚现象。

3) 潜点出行强度越高，到达车站的平均距离越短，同时车站网络与潜点网络可达性高，即潜点出行强度高的地方更容易到达区域其他位置。除一些高潜点出行强度、低可达性的区域，研究区域内公共汽车站布局相对合理，就公共汽车站可达性而言，能够满足居民出行需求。

4) 车站平均可达距离方面，空间不存在集聚现象，车站空间布局相对均衡。随着公共汽车可达距离的增加，公共汽车出行分担率随之衰减。

4 结语

本文提出公共汽车站空间可达性的度量模型，用以衡量出行者从出行起点到达公共汽车站的难易程度。通过建立车站网络可达性与潜点网络可达性度量模型，衡量出行者通过某车站以及区域中某出行潜点到达其他区域的难易程度。通过 ArcGIS 软件对哈尔滨市二环快速路以内区域进行建模与分析，印证了该方法的有效性。

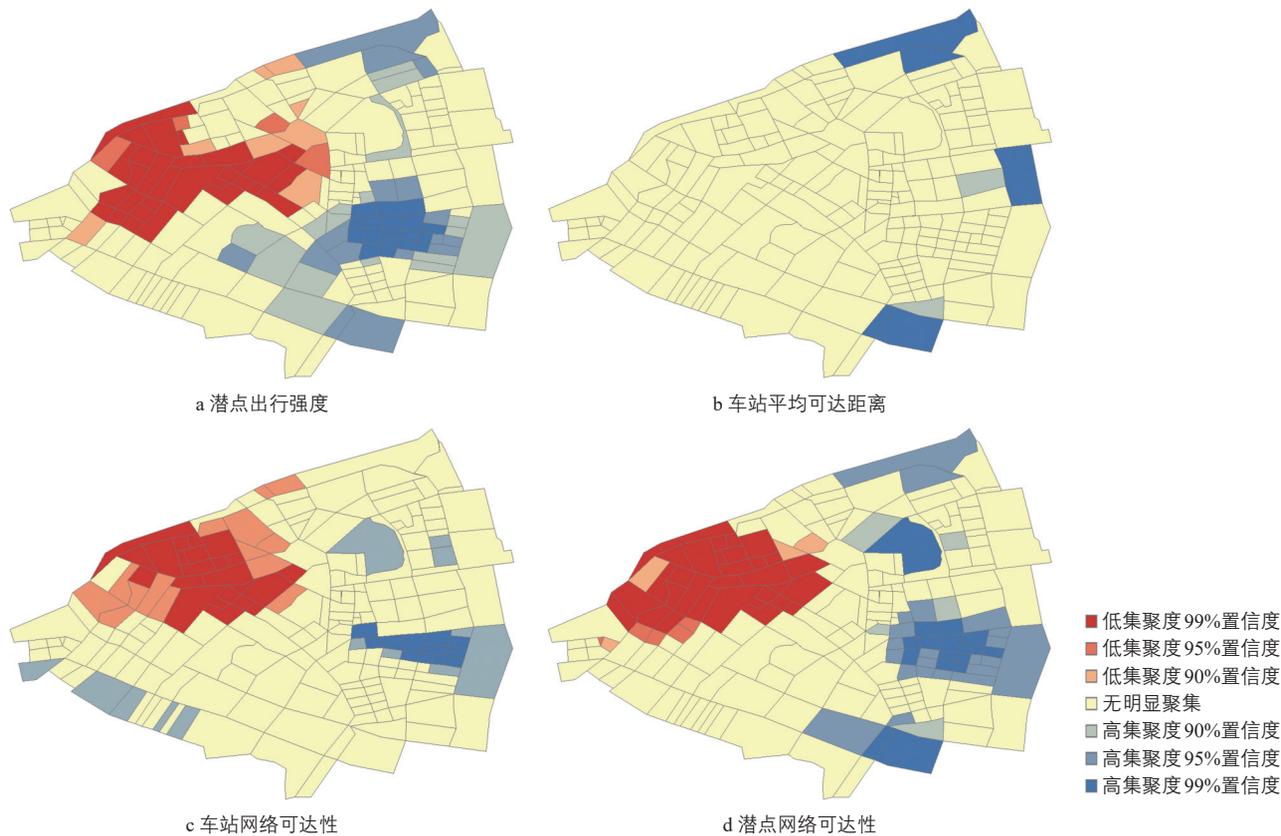


图 10 可达性空间聚类分析

Fig.10 Aggregation analysis of spatial distribution of accessibility

本文也存在一定的研究局限性。首先,出行者需进行不同交通方式的转换完成出行,在网络可达性的度量模型中,忽略了公共汽车线路换乘对可达性的影响,同时实际运算中仅考虑出行者步行到达公共汽车站的距离。其次,随着城市多方式公共交通网络的建立,公共交通可达性的度量应将地铁等轨道交通方式考虑其中。最后,本文以全市居民出行普查数据为基础进行分析,未将城市用地性质等因素做充分考虑。后续应结合上述内容进一步深化研究。

参考文献:

References:

- [1] 张志伟, 母睿, 刘毅. 基于可达性的城市交通与土地利用一体化评价[J]. 城市交通, 2018, 16(2): 19-25.
Zhang Zhiwei, Mu Rui, Liu Yi. Evaluation on the Integration of Urban Transportation and Land Use Based on Reachability[J]. Urban Transport of China, 2018, 16(2): 19-25.
- [2] 陈洁, 陆锋, 程昌秀. 可达性度量方法及应用研究进展评述[J]. 地理科学进展, 2007(5): 100-110.
Chen Jie, Lu Feng, Cheng Changxiu. Advance in Accessibility Evaluation Approaches and Applications[J]. Progress in Geography, 2007(5): 100-110.
- [3] Cheng Jianquan, Bertolini L, le Clercq F. Measuring Sustainable Accessibility[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2007, 2017(1): 16-25.
- [4] Case R B. Accessibility-Based Factors of Travel Odds: Performance Measures for Coordination of Transportation and Land Use to Improve Nondriver Accessibility[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2011, 2242(1): 106-113.
- [5] Hansen W G. How Accessibility Shapes I and Use[J]. Journal of the American Institute of Planners, 1959, 25(2): 73-76.
- [6] Allen W B, Liu D. Accessibility Measures of US Metropolitan Areas[J]. Transportation Research Part B: Methodological, 1993, 27(6): 439-449.
- [7] Ozbay K, Oznen D, Berechnan J. Modeling and Analysis of the Link Between Accessibility and Employment Growth[J]. Journal of Transportation Engineering, 2006, 132(5): 385-393.
- [8] 宋小冬, 钮心毅. 再论居民出行可达性的计算机辅助评价[J]. 城市规划汇刊, 2000(3): 18-22+75.
Song Xiaodong, Niu Xinyi. The Computer-aided Evaluation on Accessibility[J]. Urban Planning Review, 2000(3): 18-22+75.
- [9] 李平华, 陆玉麒. 可达性研究的回顾与展望[J]. 地理科学进展, 2005(3): 69-78.
Li Pinghua, Lu Yuqi. Review and Prospectation of Accessibility Research[J]. Progress in Geography, 2005(3): 69-78.
- [10] 陈艳艳, 魏攀一, 赖见辉, 等. 基于GIS的区域公交可达性计算方法[J]. 交通运输系统工程与信息, 2015, 15(2): 61-67.
Chen Yanyan, Wei Panyi, Lai Jianhui, et al. A Calculation Method of Area Public Transit Accessibility Based on GIS[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2015, 15(2): 61-67.
- [11] 郭建科, 邱煜焜, 王方雄, 等. 基于城市公共交通可达性的医疗服务空间分异及均等化: 以大连市为例[J]. 公路交通科技, 2019, 36(4): 135-143.
Guo Jianke, Qiu Yukun, Wang Fangxiong, et al. Spatial Differentiation and Equalization of Medical Service Based on Accessibility of Urban Public Transport: A Case Study of Dalian[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2019, 36(4): 135-143.
- [12] 张天然, 朱春节. 伦敦公共交通可达性分析方法及应用[J]. 城市交通, 2019, 17(1): 70-76+13.
Zhang Tianran, Zhu Chunjie. Method and Application of Public Transport Accessibility in London[J]. Urban Transport of China, 2019, 17(1): 70-76+13.
- [13] 韩彪, 聂伟, 王卫平, 等. 基于公交车站的可达性度量模型[J]. 深圳大学学报(理工版), 2013, 30(1): 98-102.
Han Biao, Nie Wei, Wang Weiping, et al. Accessibility Measurement Model Based on Bus Stop[J]. Journal of Shenzhen University (Science and Engineering), 2013, 30(1): 98-102.
- [14] 陈少沛, 丘健妮, 庄大昌. 基于潜力模型

- 的广东城市可达性度量及经济联系分析[J]. 地理与地理信息科学, 2014, 30(6): 64-69.
- Chen Shaopei, Qiu Jianni, Zhuang Dachang. Urban Accessibility Measure and Economic Connection Analysis in Guangdong Province Based on Potential Model[J]. Geography and Geo-Information Science, 2014, 30(6): 64-69.
- [15] 周雨阳, 唐松涛, 陈艳艳. 基于潜能模型的就医出行公共交通可达性分析[J]. 交通科技与经济, 2019, 21(4): 12-15+48.
- Zhou Yuyang, Tang Songtao, Chen Yanyan. Accessibility Analysis on Public Transport of Hospital Trip Based on Potential Model[J]. Technology & Economy in Areas of Communications, 2019, 21(4): 12-15+48.
- [16] 陆欢, 戴晓峰, 陈方, 等. 城市公交空间公平性评估方法研究[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2019, 43(2): 281-285.
- Lu Huan, Ji Xiaofeng, Chen Fang, et al. Research on Evaluation Method of Urban Public Traffic Spatial Equity[J]. Journal of Wuhan University of Technology (Transportation Science & Engineering), 2019, 43(2): 281-285.
- [17] 王道强. 基于旅行时间调查的哈尔滨市主要道路拥堵特征分析[J]. 交通科技与经济, 2019, 21(3): 38-44+80.
- Wang Daoqiang. Analysis of Congestion Characteristics of Main Trunk Roads in Harbin Based on Travel Time Survey[J]. Technology & Economy in Areas of Communications, 2019, 21(3): 38-44+80.
- [18] 吴啸龙, 杨志强, 龚云. 球坐标多面函数空间数据插值方法研究[J]. 测绘科学, 2019, 44(3): 47-50+85.
- Wu Xiaolong, Yang Zhiqiang, Gong Yun. Research on the Method of Space Data Interpolation Using Multi-Quadric Equations with Spherical Coordinates[J]. Science of Surveying and Mapping, 2019, 44(3): 47-50+85.
- [19] 禹文豪, 艾廷华, 杨敏, 等. 利用核密度与空间自相关进行城市设施兴趣点分布热点探测[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2016, 41(2): 221-227.
- Yu Wenhao, Ai Tinghua, Yang Min, et al. Detecting "Hot Spots" of Facility Pois Based on Kernel Density Estimation and Spatial Autocorrelation Technique[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2016, 41(2): 221-227.
- [20] 刘光孟, 汪云甲, 王允. 反距离权重插值因子对插值误差影响分析[J]. 中国科技论文在线, 2010, 5(11): 879-884.
- Liu Guangmeng, Wang Yunjia, Wang Yun. Impact of Inverse Distance Weighted Interpolation Factors on Interpolation Error[J]. Sciencepaper Online, 2010, 5(11): 879-884.
- [21] 黄正东, 丁寅, 张莹. 基于GIS可达性模型的公交出行预测[J]. 公路交通科技, 2009, 26(S1): 137-141.
- Huang Zhengdong, Ding Yin, Zhang Ying. Predicting Bus Trip Generation with Gis-Based Accessibility Model[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2009, 26(S1): 137-141.
- [22] 宁秀红, 郭龙, 张海涛. 基于空间自回归和地理加权回归模型的不同尺度下土地利用程度研究[J]. 华中农业大学学报, 2013, 32(4): 48-54.
- Ning Xiuhong, Guo Long, Zhang Haitao. Comprehensive Degree of Land-Use at Different Scales Based on Spatial Autocorrelation Regression and Geographically Weighted Regression Models[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2013, 32(4): 48-54.
- [23] Kumari M, Sarma K, Sharma R. Using Moran's I and GIS to Study the Spatial Pattern of land Surface Temperature in Relation to Land Use/Cover Around a Thermal Power Plant in Singrauli District, Madhya Pradesh, India[J]. Remote Sensing Applications: Society and Environment, 2019, 15: 100239.
- [24] 张松林, 张昆. 全局空间自相关Moran指数和G系数对比研究[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2007, 46(4): 93-97.
- Zhang Songlin, Zhang Kun. Comparison Between General Moran's Index and Getis-Ord General G of Spatial Autocorrelation[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2007, 46(4): 93-97.
- [25] 郭峤枫. 浅析交通小区划分问题[J]. 黑龙江科技信息, 2010(28): 270+269.