

引用格式:郑允豪,刘晓慧.面向就医地点推荐的个人时空可达性分析方法[J].地球信息科学学报,2020,22(2):175-186. [Zheng Y H, Liu X H. Method of individual space-time accessibility analysis for medical site recommendation[J]. Journal of Geo-information Science, 2020, 22(2):175-186.] DOI:10.12082/dqxxkx.2020.190246

面向就医地点推荐的个人时空可达性分析方法

郑允豪¹, 刘晓慧^{2*}

1. 山东科技大学测绘科学与工程学院, 青岛 266590; 2. 山东建筑大学测绘地理信息学院, 济南 250101

Method of Individual Space-Time Accessibility Analysis for Medical Site Recommendation

ZHENG Yunhao¹, LIU Xiaohui^{2*}

1. College of Geomatics, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, China;
2. School of Surveying and Geo-informatics, Shandong Jianzhu University, Ji'nan 250101, China

Abstract: It is a practical need to select suitable medical sites from a large number of medical institutions for patients based on their needs and space-time constraints. Different from the common methods for personalized medical site recommendation, this paper proposed a new method of individual space-time accessibility analysis for the recommendation of medical sites, which considered the quantity of real-time resources of medical institutions, the personalized demands of medical users, and the space-time constraints to medical institutions. Next, this method was applied to select medical institution for urban residents. The proposed individual space-time accessibility analysis method is based on the gravity model, which is appropriately improved to enhance the method's metrizable and comprehensiveness. The method also integrates the time-geography science theory to enhance its practical applicability. Meanwhile, the path impedance factor in the model is interfaced with the AMap API, which enables the model to perform personalized real-time path calculation based on route preference and real traffic conditions. After obtaining data on relevant health care websites and open interface, this paper took Jinan as the research area and set up six scenarios, including two university libraries, two residential areas, and two large transportation stations with different users, different time, and different geographical locations, to test the effectiveness of the method. Results indicate: (1) The individual space-time accessibility analysis method in this paper considers several factors, not only emphasizing the objective constraints of real-time space-time resources, but also highlighting individuals' personalized demands. (2) The individual space-time accessibility analysis method in this paper is able to effectively measure the accessibility between individual medical users and medical sites based on the actual situation, not only adapting to different

收稿日期:2019-05-21;修回日期:2019-10-03.

基金项目:山东省高校科技计划项目(J16LH05);山东省自然科学基金项目(ZR2016DQ06);山东省住房和城乡建设科技计划项目(2018-K8-02);山东建筑大学博士基金项目(XNBS1404)。 [**Foundation items:** Science and Technology Project of Institutions of Higher Education of Shandong Province, No.J16LH05; Shandong Provincial Natural Science Foundation, China, No.ZR2016DQ06; The Housing and Construction Department Science-Technology Program of Shandong Province of China, No.2018-K8-02; Doctoral Research Fund of Shandong Jianzhu University, No. XN-BS1404.]

作者简介:郑允豪(1996—),男,山东青岛人,硕士生,主要从事时空数据挖掘及个性化推荐研究。E-mail:zhengyh1996@126.com

*通讯作者:刘晓慧(1984—),女,山西灵丘人,博士,主要从事时空数据挖掘及空间信息技术在应急决策中的应用研究。
E-mail: xhliu0512@163.com

space-time situations, but also providing guiding strategies for improving the quality of medical travels. (3) By the individual space-time accessibility analysis method in this paper, the suitability of each medical site can be ranked and travel advices in different space-time situations can be made, i.e., the method has high applicability of recommendation. In addition, our individual space-time accessibility analysis method for medical place recommendation integrates the Location Based Service and medical treatments, bring a new approach to digital medical services, not only providing methodological support for the functional construction of the related wise information technology of 120, but also having good application prospects.

Key words: individual space-time accessibility; personalized demands; Location Based Service; medical institutions recommendation; gravity model; Jinan

***Corresponding author:** LIU Xiaohui, E-mail: xhliu0512@163.com

摘要:目前如何根据用户需求以及时空制约条件合理安排就医出行,在海量的医疗机构中实现就医地点的合理推荐是人们的迫切需求。区别于常见的个性化医疗信息推荐方法,本文综合考虑医疗机构的实时资源规模、医疗用户的个性化需求以及前往机构的时空制约,提出一种面向就医地点推荐的个人时空可达性分析方法,并将方法运用于居民的就医出行场景中,实现就医地点的有效推荐。以济南市为研究区域,借助从高德地图API以及医疗健康网站中获取的地理信息数据与医疗机构资源数据,在不同用户、时间和地理位置的情境下,设置2处高校图书馆、2处居民点以及2处大型交通站共6个场景检验方法的有效性。实验表明,本文提出的个人时空可达性方法,能够有效度量医疗用户个体至就医地点间的可达程度,可解决不同时空情境下的就医地点推荐问题,同时也为相关智慧医疗技术的功能建设提供方法支撑,具有良好的应用前景。

关键词:个人时空可达性;个性化需求;位置服务;医疗机构推荐;重力模型;济南市

1 引言

随着城镇医疗水平的逐渐提高,医疗机构数量与就医人数迅速增长,使得智慧医疗领域的信息过载问题日益突出。医疗推荐技术作为一种针对医疗信息过载问题的重要解决方案^[1],逐渐成为当前的重要研究课题。例如,宁建飞等^[2]借助文本挖掘技术,提出一种基于词向量相似性度量的医疗机构科室推荐框架;Xu等^[3]将推荐模型与加密技术相结合,提出了一种能够提供隐私保护的医生推荐框架;López-Nores等^[4]提出了一种基于用户属性的协同过滤推荐方法,实现针对用户关注点的医疗健康药品推荐等。然而,现有的医疗推荐研究大多针对医生、科室以及药品等信息的推荐,少有考虑医疗机构地点及其自身的实时动态、地理位置等时空信息实现面向就医地点的推荐,虽然Chao等^[5]提出了一种基于LBS(Location Based Service)的医疗机构推荐方法,但实际上该方法仅是空间距离与人口信息的简单组合,缺少成熟的理论模型支持。因此,融合能够将用户的主观需求偏好以及医疗机构的客观时空信息相结合的成熟模型理论,实现面向就医地点的医疗机构推荐,对于完善现有的医疗推荐研究体系尤为重要,个人时空可达性模型的引入可以解决这一问题。

可达性(Accessibility),表示由一点到达另一点的难易程度^[6],其模型理论涉及学科广泛,主要在地理学、交通运输、城市规划中应用较广,多用于分析区域资源分布情况以及度量需方获取供方服务的便捷程度等^[6]。可达性概念涵义丰富,在时间地理学的研究框架中,其可分为以研究区域所有人口为研究对象的空间(地方)可达性和以个体为研究对象的个人时空可达性2类^[9-11]。其中空间可达性理论主要运用于地方或区位的设施空间布局特征研究^[12-15];个人时空可达性理论则常与时间地理问题进行结合,表示在时空制约条件下,个体的可达区域所限制的一定可衡量范围,这一范围也称作“时空棱柱”,该理论多用于进行空间规划与时空行为研究等^[16-17]。可以借助个人时空可达性的行为研究理论实现面向地点的推荐,如Hsu等^[18]指出,通过个人时空可达性模型分析个体的活动行为,能够为出行时的地点选择提供有价值的参考;Neutens等^[19]指出,若将个人时空可达性模型与个性偏好信息进行结合,将能够有效增加个人时空可达性分析结果在出行决策中的说服力;翟瀚^[20]、陈洁等^[21]在国内较早地将偏好因素加入个人时空可达性模型,实现面向活动地点的位置推荐;林青等^[22]在考虑偏好因素的基础上,针对旅游活动的特点,将时间成本加入个人时空可达性模型来计算各景点的可达性优势度,

将具有优势的景点连接实现旅游线路的推荐。利用考虑偏好因素的个人时空可达性模型可以衡量个人在时空条件下开展活动的自由度,既强调个人活动与出行行为的客观时空制约,又突出各种制约之下的个人主观选择过程,相比传统的推荐模型更注重行为与空间的融合,侧重于时空行为规律的挖掘。

同时将医疗机构的专业技能、实时医疗资源与时空信息相结合,结合个人时空可达性模型针对不同用户进行个性化的就医地点推荐是更符合实际需要的。本文在前人对医疗个性化信息推荐与运用个人时空可达性方法实现地点推荐的相关研究的基础上,兼顾空间位置和个性化医疗需求,提出一种综合考虑医疗机构实时资源规模、用户的个性化需求以及前往机构的时空制约的面向就医地点推荐的个人时空可达性方法,并设计了相关算法完成该方法的就医地点推荐实现,通过实例分析验证了该方法的实用性。

2 个人时空可达性模型

2.1 可达性度量模型

可达性可采用多种度量方法^[23],在医疗机构的可达性评价研究中主要有两步移动搜索法^[24-25]、机会累积模型法^[26]、网络分析法^[27-28]以及重力模型法等^[29-36]。在众多的可达性度量方法中,重力模型法作为一种源自于牛顿万有引力定律的特殊度量方法,能够将空间上各吸引点产生的空间效应与其自身的引力规模相结合来综合地衡量可达性水平,因此它相比其他以距离因素为主的可达性度量方法能够更好地刻画地点对个体的吸引现象^[23],从而借

此有效地计算医疗机构对患者的吸引力数值^[37],实现就医地点的可达性推荐。因此,本文选用重力模型法进行可达性度量。

重力模型在医疗机构的空间可达性评价研究中应用较广,并随着研究因素的复杂化,学者们对其进行了不同程度的改进。早期的重力模型以距离因素为主^[38],并未充分考虑供需双方提供或获取服务的能力;Guagliardo等^[30]、Joseph等^[31]以及宋正娜等^[35]在医疗机构的空间可达性研究中将人口因子加入重力模型以强调需方在可达性模型中的重要性;Lowe等^[32]在重力模型中突出了医疗机构的类型属性对可达性的影响;Chen等^[29]、Wang等^[33]以及吴建军等^[36]在重力模型中将供方因子改进为医疗机构的医生或床位资源情况;程敏等^[34]在重力模型中加入了医疗机构的等级规模因素。可见,现有的研究多是在传统重力模型的基础上增加或修改了模型影响因子,且使用的模型因子数据一般采用某一时间点的静态数值,能够实现一定区域医疗机构的空间可达性评价,为相关部门的规划决策提供依据。本文借鉴了前人对重力模型在医疗机构空间可达性评价中的理论与应用研究,并对前人用于度量医疗机构空间可达性的重力模型进行了改进,旨在突出个人时空可达性区别于空间可达性的时间属性与面向个体特点,使其更适用于就医地点推荐,如表1所示。

2.2 可达性模型度量方法

本文采用的重力模型度量方法,主要考虑就医地点推荐所涉及的目标医疗机构的实时资源规模、到达目标医疗机构的时空制约、用户个性化偏好信息3个影响因素,可达性度量模型如下:

表1 本文重力模型与前人重力模型^[29-36]对比

Tab. 1 Comparisons between the gravity model in this paper and that in previous studies

模型	模型因子	特点
前人的重力模型 ^[29-36]	综合考虑多因素的目标设施对需求者的吸引力数值,模型主要分为3个因子:目标设施因子、需求者因子以及二者间的距离阻抗因子,两者间的距离阻抗因子表示到达目标设施的距离、时间或费用,可以采用直线距离或交通网络距离来表示	能够考虑目标设施的多种影响因素,模型因子一般为某一时间点的静态数值,忽略了可达性条件会随时间发生变化的事实 ^[39] ,其中的距离阻抗因子受研究区域差异及城市交通状况的制约 ^[40] ,且需考虑路径阻抗的摩擦系数 β 进行综合分析,不适用于地点推荐
本文的重力模型	与前人的重力模型定义类似,本文在前人的重力模型理论研究的基础上,对模型因子进行了改进,更加突出它们的时间属性与面向个体特点,确保模型能够很好的实现个人时空可达性度量	与前人的重力模型相比,强调模型各因子的实时性,如距离阻抗因子改进为基于实时路径规划策略且考虑交通实况因素的到达目标设施的阻抗并设置时空约束衰减,目标设施因子改进为具有时间属性的实时动态因子等,同时为突出模型的面向个体特点,将需求者因子由人口规模等宏观因子改进为面向个人的个性化偏好因子,能够反映个人获取医疗服务的实时便捷程度,可用于地点推荐

$$A_{ij} = \frac{e^{-T_{ij}\beta} \cdot M_j}{C_{ij}} \quad (1)$$

式中： i 表示用户； j 表示目标医疗机构； A_{ij} 表示从用户所在位置到达目标医疗机构的可达性，可达性数值的大小体现出医疗机构 j 对用户 i 的适合程度； M_j 表示目标医疗机构资源规模的标准化数值； $e^{-T_{ij}\beta}$ 表示时空制约函数； T_{ij} 表示从用户所在起始点到达终止点的实时路径阻抗，考虑了区域差异与交通实况的影响，可以取时间或距离值； β 表示重力模型中的阻抗系数，通常取值1~2之间； C_{ij} 表示个性化因子，主要表现为用户 i 对目标医疗机构 j 的喜好情况。Guagliardo等^[30]认为，在原始重力模型表达式的分母处设置需方因子，能够有效地牵制位于分子处的供方因子，实现可达性的“供需平衡”。

时间地理学中，在个体可接受的时间区间 $[t_1, t_2]$ 内，从起点出发仅能抵达有限的空间范围，这一范围所构成的时空棱柱集合能够影响个体就医地点的选择(图1)，故需要考虑时空因素对可达性度量的衰减作用，在此处引入具有时空约束衰减特征的时空制约函数 $e^{-T_{ij}\beta}$ ^[41]，表示用户 i 的出行意愿随出行阻抗的增加而减弱的程度，采用负指数型函数衰减表示。通过负指数型函数描述时空制约因素，能够有效模拟个人出行意愿随出行阻抗的增加而减弱，在低成本区间内衰减剧烈，在高成本区间内趋于平缓的现象^[21]。陈建国等^[40]指出，考虑实际交通状况时， β 的取值对可达性影响不大，并且 β 越大，分异越小，越难区分可达性。考虑到本文的路径

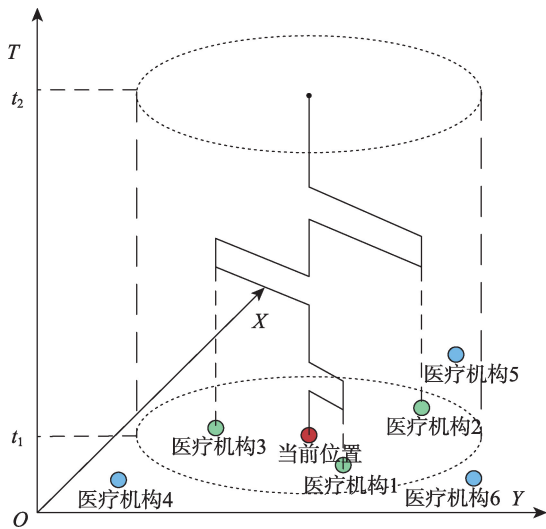


图1 基于时空棱柱的个人时空可达性表达

Fig. 1 Expression of individual space-time accessibility based on space-time prism

阻抗计算考虑到了交通实况，并在实验阶段借助高德API进行了算法实现，为了更好的区分出可达性，选择 $\beta=1$ 为默认取值较为合适^[42]。

$e^{-T_{ij}\beta}$ 、 M_j 、 C_{ij} 3个因子在代入式(1)前均采用极大值标准化方法处理为0~100间的数值。

可达性模型中的各个因子需要分别计算，其中目标医疗机构的资源规模 M_j 的计算公式为：

$$M_j = \delta \cdot \left(\frac{B_j + D_j}{2} \right) + (1 - \delta) \cdot V_j \quad (2)$$

在现有的研究中，医疗机构的资源规模因子 M_j 一般采用床位、医生数量等因素作为其评价指标^[29,33,36]，本文考虑到可达性模型的推荐适用性，将医疗机构的资源规模因子分为固定资源与实时接诊能力两部分。式(2)右侧第一项表示目标医疗机构的固定资源因素，是一个相对固定的数值，由于在可达性计算中医疗机构的固定资源规模采用医生或床位数度量指标均具有代表性^[36-37]，故本文的目标医疗机构的固定资源因素采用经极大值标准化处理后的医生因子 B_j 以及床位因子 D_j 的平均值来表示。式(2)右侧第二项的 V_j 表示目标医疗机构的接诊能力因子，是一个具有时间属性的实时数值，代表医疗机构在就医地点推荐情景中的“可变”资源规模因素。式(2)中， δ 是调整系数，决定了固定资源以及接诊能力因子的计算权重，当 j 为综合医院时，医疗机构的固定资源与接诊能力对于用户获取医疗服务同样重要，因此它们在总体的资源规模中具有相同影响，因此此时 δ 取值为0.5；当候选医疗机构集合中出现卫生院、诊所等小型医疗机构或用户不对医疗机构类型做限定时，考虑到部分小型医疗机构如诊所无法满足科室设置的标准性，以科室信息为核心的接诊能力因子 V_j 也因此无法具有可比性，因此将 δ 取值为1，仅考虑目标医疗机构的固定资源对总体资源规模的影响。

目标医疗机构接诊能力因子 V_j 的计算公式为：

$$V_j = \frac{c_{ij} \cdot \sum_{k \in U(i)} z \cdot o_k}{|U(i) \cap H(j)|} \quad (3)$$

其中，

$$c_{ij} = \begin{cases} 0 & U(i) \cap H(j) = \emptyset \\ 1 & U(i) \cap H(j) \neq \emptyset \end{cases}$$

$$o_k = \begin{cases} 5 & q_k = 0 \\ 3 & 0 < q_k \leq d_k \\ 1 & q_k > d_k \end{cases}$$

式中: $U(i)$ 表示用户 i 的目标科室集合; $H(j)$ 表示目标医疗机构 j 所含的科室集合; 考虑到用户在就医出行时, 可能会出现具有一个或多个目标科室的情况, 因此在 V_{ij} 的计算公式中设置科室过滤规则 $|U(i) \cap H(j)|$, 表示目标医疗机构所包含的目标科室数量; c_{ij} 为医疗机构 j 的所含科室集合 $H(j)$ 与用户 i 的目标科室集合 $U(i)$ 是否具有交集的判断值, 有则取1, 否则取0; $z \cdot o_k$ 代表接诊能力得分, 是一个0~100间的数值, 其中 o_k 为接诊能力指标, 随目标医疗机构 j 的所选科室 k 的出诊医生数 d_k 与等待人数 q_k 的变化而发生改变, 经过实地调查及多次实验比较, 最终选取1、3、5为接诊能力指标的标志值; z 为得分标准化常数, 默认取值为20。

计算完毕后, 将经极大值标准化处理的目标医疗机构接诊能力因子 V_{ij} 代入式(2)。

个性化因子 C_{ij} 的计算公式为:

$$C_{ij} = \frac{d}{P_{ij} + \Delta S_j} \quad (4)$$

式中: ΔS_j 表示个性化缓冲因子, 取值范围 $\Delta S_j \in (0, 1)$, 具体取值由用户决定, 数值越大, 则用户的个性化操作对可达性的影响就越大; d 表示个性化常量, 在复杂情况下, 可用于区分不同的用户人群, 并结合个人时空可达性累计度量公式进行人群行为研究, 默认取值为1; P_{ij} 表示用户针对目标医疗机构的个性化操作数值, 依据本文采用的实验数据中用户针对医疗机构的偏好行为以及其实际行动的对比反映情况, 经过多次实验, 最终分别根据用户对医疗机构的“无操作”、“仅具有查询记录”、“添加收藏夹”以及“添加黑名单”等行为, 分别选取1、2、4、0作为个性化操作数值 P_{ij} 的赋值。

基于上述的个人时空可达性模型, 可得出个人时空可达性最大度量 A_i^{\max} 以及个人时空可达性累计度量 A_i^{accu} , 可分别表达为:

$$A_i^{\max} = \max\{A_{ij}\} \quad (5)$$

$$A_i^{\text{accu}} = \sum_{j=1}^n A_{ij} \quad (6)$$

式中: A_i^{\max} 可用于就医地点推荐, 具有个人时空可达性最大度量值的目标医疗机构可作为最佳就医地点推送给用户。此外, 也可以将个人时空可达性度量值排名靠前的若干医疗机构作为最佳就医地点待选集合展现给用户进行TopN推荐。而 A_i^{accu} 则可用于度量个体在有限的时空条件下、经由个人偏

好引导、进行就医活动的整体自由度, 可延伸为面向不同就医群体的群体互动时空可达性评价研究^[43]。

3 方法实现及实例分析

为验证本文提出的运用个人时空可达性方法实现就医地点推荐的可行性, 本文基于该方法实现算法设计, 并以济南市为研究区域进行实例分析。

3.1 研究数据

本文实例分析所使用的济南市医疗机构数据主要来源于相关行业网站, 其中城市地理信息数据(如兴趣点数据、城市路网数据、实时路况数据等)来源于高德地图API, 医疗机构资源数据(如床位、医生数、科室情况等)来源于药智数据库^[44]、名医汇^[45]等医疗健康网站接口, 数据分布如图2所示。

与医疗机构相关的研究数据组织分为医疗机构基础信息与医疗机构科室信息2部分, 其中医疗机构基础信息数据存储了医疗机构的类别、等级、资源以及位置等基本情况, 医疗机构科室信息数据则存储了各个医疗机构的科室实时就诊情况。个性化信息数据存储了使用者对各医疗机构的喜好及关注情况, 可来源于医疗健康平台或针对性的问卷调查, 本文实验采用“医疗救助服务系统”^[46]的用户测试数据, 经结构化处理后依据模型因子取值规则将其存入本地个性化信息数据库, 以供算法计算使用。

3.2 模型实现

本文的就医地点推荐算法的主要思路是得到符合用户个性化需求、交通便捷且具有资源规模优势的最终医疗机构推荐结果集, 并对其进行地理可视化, 为用户的医疗机构选择提供参考。计算最终医疗机构推荐结果集以及可视化的过程是递进的, 该递进式的计算过程为: ① 根据用户的医疗需求, 生成一个初始医疗机构推荐结果集, 为可达性计算提供数据; ② 确定模型计算需要的参数以及数据; ③ 根据2.2节中提出的模型进行可达性计算, 生成最终医疗机构推荐结果集; ④ 借助可视化工具进行可达性分级可视化, 从而对推荐结果进行直观展示。算法的详细流程如图3所示。

为验证本文提出的就医地点推荐算法的可行性, 通过编写医疗机构推荐应用程序实现本文提出的个人时空可达性方法, 简要的实现流程如下:

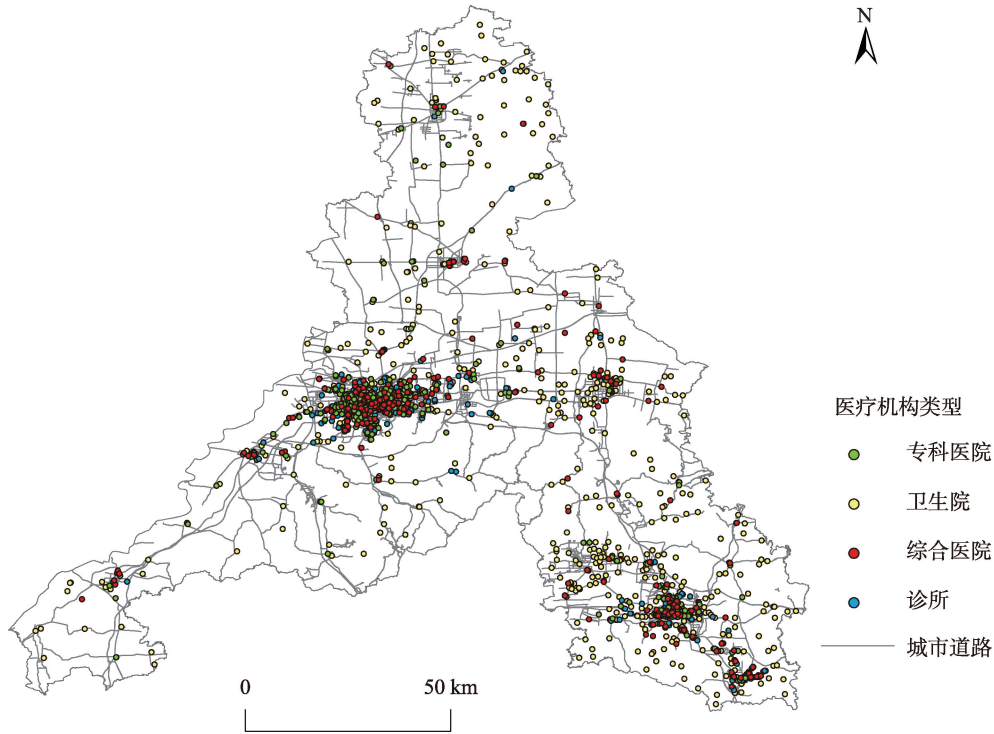


图2 2019年济南市医疗机构分布

Fig. 2 Distribution of medical sites of Ji'nan in 2019

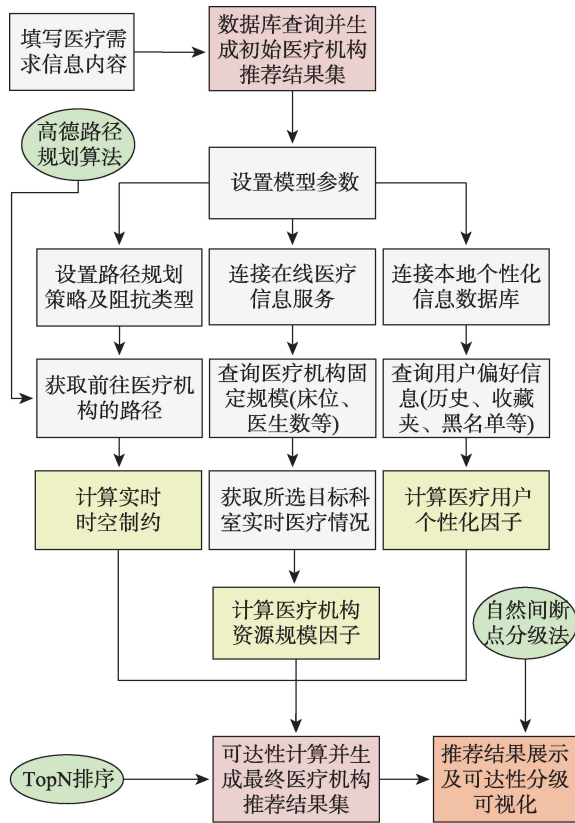


图3 就医地点推荐算法流程

Fig. 3 Flowchart of the proposed medical site recommendation algorithm

(1) 医疗需求获取阶段。通过将用户的需求信息转化为数据库检索信息进行医疗机构数据库查询,生成初始医疗机构推荐结果集,为可达性分析提供初始数据。

(2) 模型因子计算阶段。使用编写的功能模块对可达性模型的各个因子进行分别计算,各因子在运算前均采用极值标准化的方式进行处理。

医疗机构的资源规模因子 M_j 中,目标医疗机构 j 由初始医疗机构推荐结果集提供,目标科室集 $U(i)$ 则由使用者进行选择,借助设定的参数 j 与 $U(i)$,连接实时的在线医疗信息服务获取相关信息并结合式(2)与式(3)完成因子计算。

路径阻抗因子 T_{ij} 中,计算实时路径阻抗所需的路径规划策略与阻抗类型由使用者进行设定,并将其与高德地图 API 提供的计算方法进行对接,借助高德在线服务提供的实时地理信息数据,得到考虑交通路况的实时路径阻抗因子 T_{ij} 的数值,结合时空制约函数完成因子计算。

个性化因子 C_{ij} 中,个性化常量 d 与个性化缓冲因子 ΔS_j 数值由使用者设定,个性化操作因子 P_{ij} 的数值则通过对用户个性偏好数据进行检索计算得到。最后将个性化常量 d 、个性化缓冲因子

ΔS_j 、个性化操作因子 P_{ij} 与式(4)结合完成因子计算。

(3)时空可达性分析阶段。将各因子代入模型以计算得出各医疗机构的可达性数值集合,并进行排序与自然间断点分级,得到相应的最终医疗机构推荐结果集。

(4)推荐结果可视化阶段。借助GIS可视化技术,将不同医疗机构的推荐等级进行直观展示,生成可达性分级分布图,为用户最终的医疗机构选择决策提供参考。

3.3 场景分析

假设有6位具有不同医疗需求与偏好的用户,分别在不同时间和地点获取就医地点推荐信息。现以6位不同用户的就医出行情境以及经过编码的济南市核心区的20个三级甲等医院为例设置6个场景,并将各场景分为A、B、C3组:A组为2所高校的图书馆,B组为2处居民点,C组为2处大型交通站,每组的两个场景分别位于济南市的核心与边缘区域,场景的详细信息如表2所示。在场景设置中,为与相关数据源进行对接,意向科室类型采用的是名医汇网的科室分类标准,路径规划策略以及路径阻抗类型则与高德地图API中路径规划方法的参数标准相一致,此外个性化常量与个性化缓冲因子

严格按照本文提出的个人时空可达性模型进行设定,个性化医疗偏好中的收藏夹与黑名单信息则根据本文获取的个性化信息数据库中的用户数据进行提取。基于本文提出的就医地点推荐方法,面向各场景分别生成就医地点推荐结果(图4)。图4中的圆点代表医疗机构的空间位置,并标注了出发地前往该医疗机构的路径阻抗数值,其类型取决于用户对推荐参数的选择。每个医疗机构的可达性度量数值由医疗机构的资源规模、医疗用户的个性化需求以及前往机构的时空制约多个因素共同决定,且由于可达性度量值的大小不具有绝对意义,仅具有相对意义,因此将其按照图例根据数值由高到低划分为4个等级,同时在图中显示医疗机构的可达性、距离以及时间等信息,方便用户的参考选择。

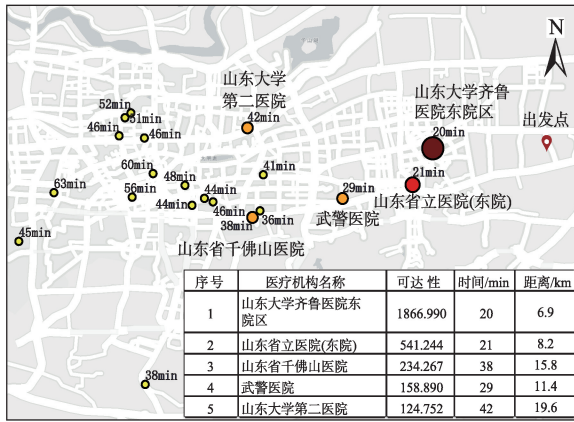
推荐结果显示,用户个性因素、时空制约因素、医疗机构资源因素都对医疗机构可达性具有一定影响,其中以时空制约因素最为典型,图5绘制了各个场景中时空制约函数(即可达性模型中的 $e^{-T_{ij}/\beta}$,数值越大则表示个体出行的时空制约因素越适宜)与可达性计算结果的标准化值(采用极大值标准化方式处理为0~100之间的数值)间的关联与差异性,结合图4与图5作出以下分析。

A组中的2个场景的出发地均是高校的图书馆,其中场景1的山东建筑大学图书馆处于济南市

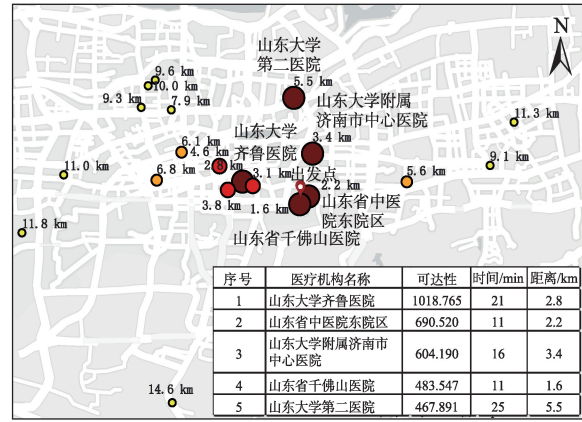
表2 就医地点推荐场景信息

Tab. 2 List of medical site recommendation scenarios

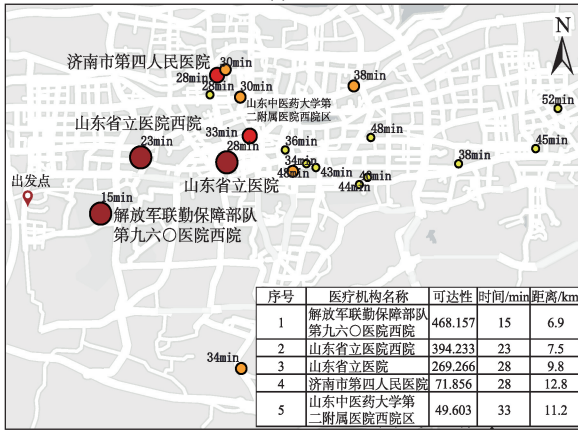
场景	出发地	出发时间	意向科室类型	路径规划策略	路径阻抗类型	个性化常量	个性化缓冲因子	个性化医疗偏好
A组	1 山东建筑大学图书馆	2019-04-06 17:32	外科	速度优先	时间	1	0.8	该用户收藏了山东省千佛山医院、山东大学第二医院等四所医院,对多所三甲医院有若干次查询历史,并把山东省立医院(东院)、山东省中医院等四所医院添加到黑名单
	2 山东师范大学图书馆	2019-04-07 11:03	口腔科、内科	距离优先	距离	2	0.2	该用户收藏了山东大学第二医院、济南市中医医院等四所医院,对多所中医院及三甲医院有若干次查询历史,并把山东省立医院、山东省千佛山医院等3所医院添加到黑名单
B组	3 绿城·腊山御园	2019-07-30 09:48	骨科	避免拥堵	时间	1	0.7	该用户收藏了山东省立医院西院,对多所三甲医院特别是山东省立医院各院区有若干次查询历史,并把山东大学齐鲁医院东院区添加到黑名单
	4 三箭瑞福苑	2019-07-31 11:55	中医科	距离优先	距离	2	0.9	该用户收藏了山东省中医院,对多所中医医院有查询历史,并把济南市中医医院添加到黑名单
C组	5 济南火车站(济南站)	2019-07-29 10:50	儿科、口腔科	速度优先	时间	1	0.5	无医疗偏好记录
	6 济南遥墙国际机场	2019-07-30 13:15	眼科	避免收费与拥堵	距离	1	0.5	无医疗偏好记录



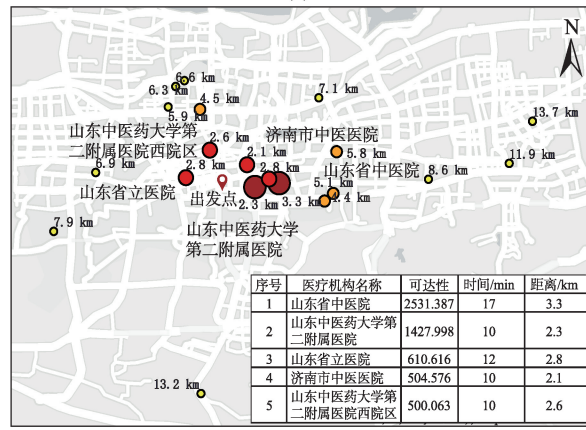
(a) 场景一



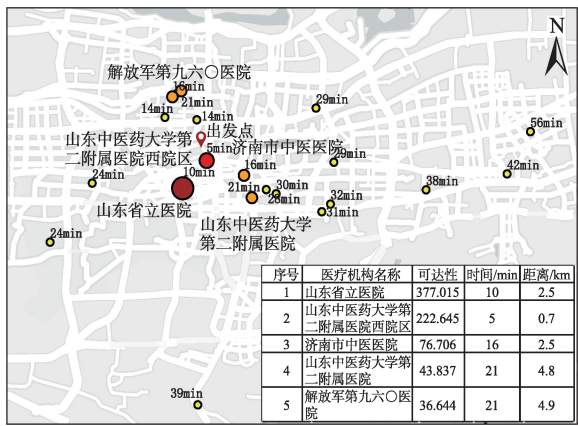
(b) 场景二



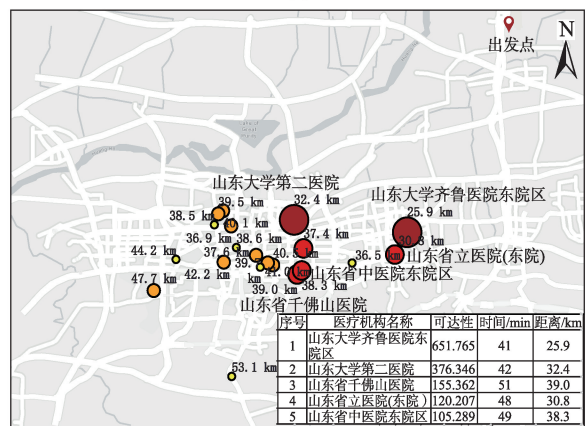
(c) 场景三



(d) 场景四



(e) 场景五



(f) 场景六

可达性等级 ● 较差 ● 一般 ● 较好 ● 最佳 0 5 km

图4 济南市就医地点可达性推荐结果

Fig. 4 Recommendation results of the medical sites in Ji'nan

的边缘区域,场景2的山东大学图书馆处于济南市的核心区域。场景1中,用户出发所处地理位置距济南核心区中心较远,故场景中各个医疗机构间的时空制约函数数值差异明显,对整体的可达性评价造成较大影响且两者走势具有一定的一致性。其中山东省立医院东院(编号7)的时空制约函

数数值虽然较高,但由于其受个性偏好因素的负面影响(黑名单),未能形成较高的可达性,造成了时空制约函数与可达性标准数值间的较大差异。场景2中,时空制约函数数值较高的山东省千佛山医院(编号6)同样因个性偏好因素的影响,其总体可达性并不突出,而山东大学齐鲁医院(编号11)的个

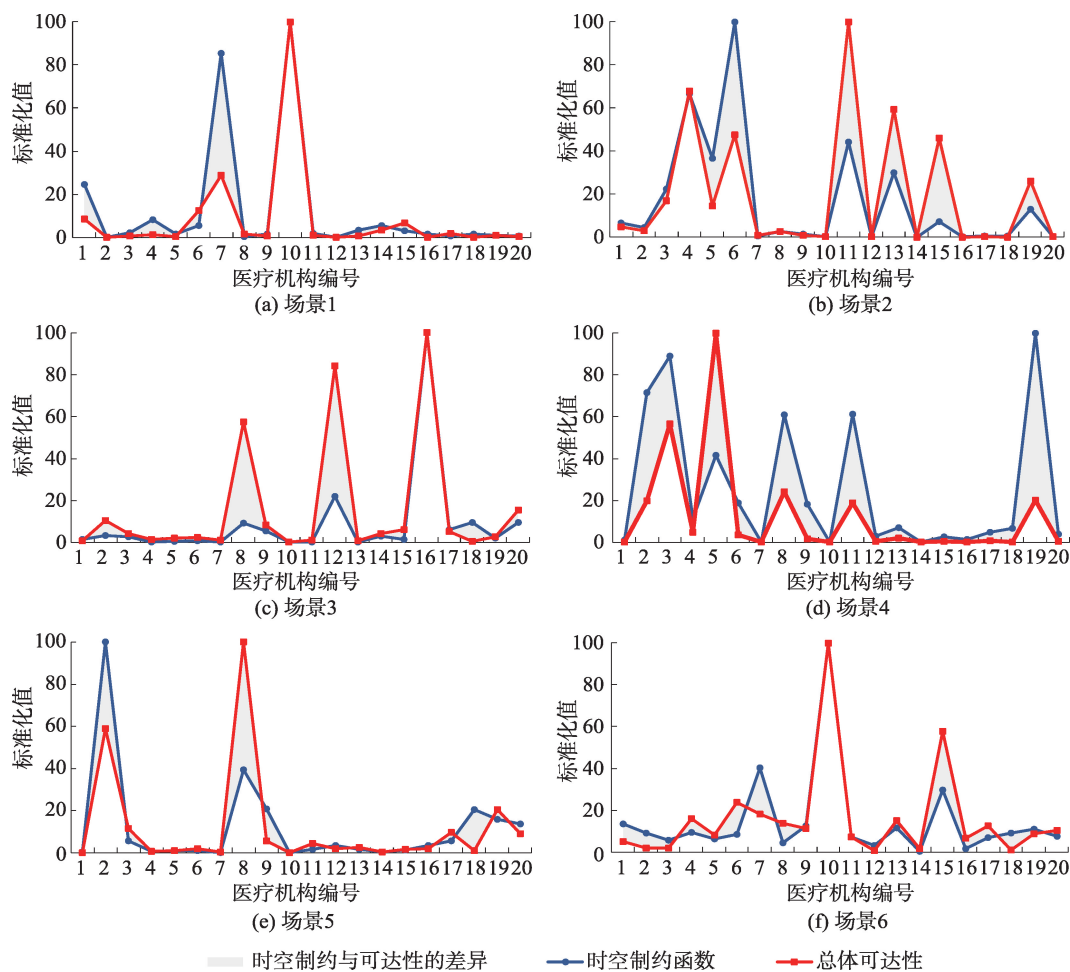


图5 就医地点推荐场景中的时空制约—可达性关系

Fig. 5 Relationship between space-time constraints and accessibility in the medical site recommendation scenarios

性偏好因素与资源因素较为适宜,时空制约因素并未对总体可达性数值的构成起绝对影响,最终仍形成了较高的可达性,故本算法优先向用户推荐了该医疗机构。此外,场景2中的山东大学附属济南市中心医院(编号13)、山东大学第二医院(编号15)以及济南市中医医院(19)的时空制约函数数值同样与可达性标准数值间的差异较大,以受个性偏好因素的正面影响(收藏夹)较大的山东大学第二医院(编号15)最为明显。

B组中的2个场景的出发地是济南市的两处居民点,其中场景3的绿城·腊山御园处于济南市的边缘区域,场景4的三箭瑞福苑处于济南市的核心区域。场景3中,解放军联勤保障部队第九六〇医院西院(编号16)虽无个性偏好记录且资源规模在众医疗机构中并不突出,但因用户所处位置具济南市核心区较远,明显的时空制约因素优势使其成为了可达性最高的医疗机构,算法也因此优先向用户推

荐了该医疗机构。此外,山东省立医院(编号8)以及山东省立医院西院(编号12)因资源规模优势以及个性偏好因素的正面影响(多次查询历史、收藏夹),形成了较高的可达性。场景4中,出发地三箭瑞福苑因处于济南市的核心腹地(东临山东省委,西接八一礼堂),时空制约因素不再对总体可达性起明显的主导作用,且由于用户所选目标科室的特殊性(中医科),各中医类医院如山东省中医院(编号5)、山东中医药大学第二附属医院(编号3)及其西院区(编号2)等的可达性普遍较高,其中山东省中医院因其资源规模与个性偏好优势,成为了总体可达性数值最高的医疗机构。此外,济南市中医医院(编号19)的时空制约因素虽然最为适宜,但是其受个性偏好因素的负面影响(黑名单)较大,并未形成绝对的可达性优势。

C组中的2个场景的出发地是济南市的两处大型交通站,其中场景5的济南火车站(济南站)处于

济南市的核心区域,场景6的济南遥墙国际机场处于济南市的边缘区域。虽然场景5和场景6中的用户并未具有个性偏好记录,本文的推荐方法仍然能够根据各个医疗机构的时空制约与资源规模因素得出合理的推荐结果。在场景5中,山东省立医院(编号8)巨大的资源规模优势弥补了其相比山东中医药大学第二附属医院西院区(编号2)的时空制约因素的不足,成为了总体可达性最高的医疗机构。在场景6中,由于济南遥墙国际机场所处地理位置距离济南市核心区过于遥远,时空制约因素在总体可达性计算中占据主导地位,资源规模因素的影响较为有限,山东大学齐鲁医院东院区(编号10)因其时空制约因素优势,成为了总体可达性最高的医疗机构。

4 结论与讨论

本文针对城镇居民就医出行与医疗推荐研究的发展现状,基于个人时空可达性理论,提出一种综合考虑多因素的面向就医地点推荐的个人时空可达性方法。将本文提出的个人时空可达性模型进行程序设计并与高德地图API以及医疗数据服务进行对接,既突出了个人时空可达性模型的个性化与时空特性,也借此实现了医疗机构的实时可达性计算与可视化表达,从而完成就医地点推荐方法的算法体系构建。以济南市为例采集相关数据,将就医地点推荐算法运用于就医地点推荐场景中,通过多个情境进行对比分析,阐述该方法的实际应用价值。

本文提出的个人时空可达性方法具有以下几方面的特点:

(1)相比前人的可达性模型,本文的可达性模型更加强调模型因子及其数据源的“实时性”,如医疗机构资源规模因子考虑了实时的目标科室诊疗情况,时空制约因素中的路径阻抗因子考虑了实时的交通状况。

(2)针对现有的医疗推荐方法在面向地点推荐方面的不足,本文在顾及用户医疗偏好的同时也考虑了医疗机构的地理位置因素,将医疗用户的主观因素与医疗机构的客观因素结合起来,实现一种能够使供需方影响平衡的推荐方法。

(3)对本文提出的个人时空可达性方法进行算法设计与实现,并通过6个不同的时空场景验证该

方法的就医地点推荐可行性。结果表明,本文的个人时空可达性方法既强调了客观的实时时空资源制约,又突出了个体的主观个性化需求,能够有效度量医疗用户个体至就医地点间的可达程度,为改善就医出行、提高就医质量提供策略与指导,并可解决不同时空情境下的就医地点推荐问题。

(4)本文提出的个人时空可达性方法能够实现与数字医疗健康平台的无缝结合,为智慧医疗技术的功能建设提供方法支撑,具有良好的应用前景。

但本文提出的方法在一些方面还有待改进,如模型因子数据源的获取较为理想化,某些私营及小型医疗机构的数据在本文实验中暂未获得;具有时间属性的模型因子数据如目标医疗机构接诊能力因子没有充分考虑时间流逝因素,而是直接采用了即时数据,若能添加相关的时间预测方法支持,本文方法的算法实现将会更加贴近实际应用场景;当初始医疗机构推荐结果集数目众多时,模型分析要消耗较长时间,算法的性能有待提高。此外,考虑到居民就医情景的复杂性,如居民的病情严重程度、经济能力、认知情况或会对推荐效果产生一定影响,故在未来的研究中,仍需继续探索如何向用户推荐更合理、更人性化的就医地点推荐方案。

参考文献(References):

- [1] 侯梦薇,卫荣,樊林,等.推荐系统在医疗领域的处理模型及应用研究[J].中国数字医学,2019,14(1):85-87. [Hou M, Wei R, Fan L, et al. Research on processing model and applications of recommendation system in medical-field[J]. China Digital Medicine, 2019,14(1):85-87.]
- [2] 宁建飞,黄发良.基于词向量句子相似度量度的医疗科室推荐[J].福建师范大学学报(自然科学版),2018,34(4):10-15. [Ning J, Huang F. Measuring sentence similarity based on word vector for medical department recommendation[J]. Journal of Fujian Normal University (Natural Science Edition), 2018,34(4):10-15.]
- [3] Xu C, Wang J, Zhu L, et al. PPMR: A privacy-preserving online medical service recommendation scheme in ehealthcare system[J]. IEEE Internet of Things Journal, 2019,6(3):5665-5673.
- [4] López-Nores M, Blanco-Fernández Y, Pazos-Arias J J, et al. Property-based collaborative filtering for health-aware recommender systems[J]. Expert Systems with Applications, 2012,39(8):7451-7457.
- [5] Chao H, Cao Y, Zhang J, et al. Population density-based hospital recommendation with mobile lbs big data[C].

- 2018 IEEE International Conference on Big Data and Smart Computing (BigComp). IEEE Computer Society, 2018:37-44.
- [6] Johnston R J. Dictionary of human geography[M]. Oxford: Basil Blackwell, 1994.
- [7] Condeço-Melhorado A, Reggiani A, Gutiérrez J. New data and methods in accessibility analysis[J]. *Networks and Spatial Economics*, 2018,18(2):237-240.
- [8] Yang J, Bao Y, Zhang Y, et al. Impact of accessibility on housing prices in Dalian City of China based on a geographically weighted regression model[J]. *Chinese Geographical Science*, 2018,28(3):505-515.
- [9] Kwan M, Murray A T, O'Kelly M E, et al. Recent advances in accessibility research: Representation, methodology and applications[J]. *Journal of Geographical Systems*, 2003,5(1):129-138.
- [10] Pirie G. Measuring accessibility: A review and proposal [J]. *Environment and Planning A*, 1979,11:299-312.
- [11] 李平华,陆玉麒.可达性研究的回顾与展望[J].*地理科学进展*,2005,24(3):69-78. [Li P, Lu Y. Review and prospectation of accessibility research[J]. *Progress in Geography*, 2005,24(3):69-78.]
- [12] 王汉东,乐阳,李宇光,等.城市商业服务设施吸引力的空间相关性分析[J].*武汉大学学报·信息科学版*,2011,36(9):1102-1106. [Wang H, Le Y, Li Y, et al. Spatial correlation analysis of attractiveness of commercial facilities[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2011,36(9):1102-1106.]
- [13] 丁慷,陈报章.城市医疗设施空间分布合理性评估[J].*地球信息科学学报*,2017,19(2):185-196. [Ding S, Chen B. Rationality assessment of the spatial distributions of urban medical facility[J]. *Journal of Geo-information Science*, 2017,19(2):185-196.]
- [14] Rabiei-Dastjerdi H A M S. Measuring spatial accessibility to urban facilities and services in tehran[J]. *Spatial Demography*, 2018,6(1):17-34.
- [15] Gharani P, Stewart K, Ryan G L. An enhanced approach for modeling spatial accessibility for in vitro fertilization services in the rural Midwestern United States[J]. *Applied Geography*, 2015,64:12-23.
- [16] 方志祥,李清泉,萧世伦.利用时间地理进行位置相关的时空可达性表达[J].*武汉大学学报·信息科学版*,2010,35(9):1091-1095. [Fang Z, Li Q, Xiao S. Representation of location-specific space-time accessibility based on time geography framework[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2010,35(9):1091-1095.]
- [17] Kim H, Kwan M. Space-time accessibility measures: A geocomputational algorithm with a focus on the feasible opportunity set and possible activity duration[J]. *Journal of Geographical Systems*, 2003,5(1):71-91.
- [18] Hsu C, Hsieh Y. Travel and activity choices based on an individual accessibility model[J]. *Papers in Regional Science*, 2004,83(2):387-406.
- [19] Neutens T, Versichele M, Schwanen T. Arranging place and time: A GIS toolkit to assess person-based accessibility of urban opportunities[J]. *Applied Geography*, 2010,30(4):561-575.
- [20] 翟瀚.个人时空可达性动态互动模型研究及应用[D].北京:首都师范大学,2014. [Zhai H. Research on dynamic interactive model of person-based space-time accessibility and application[D]. Beijing: Capital Normal University, 2014.]
- [21] 陈洁,陆锋,翟瀚,等.面向活动地点推荐的个人时空可达性方法[J].*地理学报*,2015,70(6):931-940. [Chen J, Lu F, Zhai H, et al. Making place recommendations: An individual accessibility measure to urban opportunities in space and time[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2015,70(6):931-940.]
- [22] 林青,晁怡,杨乃.一种考虑时间成本的旅游线路推荐方法[J].*地理与地理信息科学*,2017,33(6):25-29. [Lin Q, Chao Y, Yang N. A travel routes recommendation algorithm based on user's time constraints[J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2017,33(6):25-29.]
- [23] 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*,2007,26(5):100-110. [Chen J, Lu F, Cheng C. Advance in accessibility evaluation approaches and applications[J]. *Progress in Geography*, 2007,26(5): 100-110.]
- [24] 钟少颖,杨鑫,陈锐.层级性公共服务设施空间可达性研究——以北京市综合性医疗设施为例[J].*地理研究*, 2016,35(4):731-744. [Zhong S, Yang X, Chen R. The accessibility measurement of hierarchy public service facilities based on multi-mode network dataset and the two-step 2SFCA:A case study of Beijing's medical facilities [J]. *Geographical Research*, 2016,35(4):731-744.]
- [25] Delamater P. Spatial accessibility in suboptimally configured health care systems: A modified two-step floating catchment area (M2SFCA) metric[J]. *Health & Place*, 2013,24(6):30-43.
- [26] Love D, Lindquist P. The geographical accessibility of hospitals to the aged: A geographic information systems analysis within Illinois[J]. *Health Services Research*, 1995,29(6):629-651.
- [27] Huerta Munoz U, Källestål C, Medicinska F, et al. Geographical accessibility and spatial coverage modeling of the primary health care network in the Western Province

- of Rwanda[J]. *International Journal of Health Geographics*, 2012,11(1):40-50.
- [28] 张纯,李晓宁,满燕云.北京城市保障性住房居民的就医可达性研究——基于GIS网络分析方法[J].*人文地理*, 2017,32(2):59-64. [Zhang C, Li X, Man Y. Accessibility to health care service of the affordable housing residents in Beijing: base on gis network analysis[J]. *Human Geography*, 2017,32(2):59-64.]
- [29] Chen D, Wheeler K, Huang Y, et al. Evaluation of spatial accessibility to Ohio trauma centers using a gis-based gravity model[J]. *British Journal of Medicine & Medical Research*, 2015,10(7):1-12.
- [30] Guagliardo M F. Spatial accessibility of primary care: Concepts, methods and challenges[J]. *International Journal of Health Geographics*, 2004,3(1):3-15.
- [31] Joseph A E, Bantock P R. Measuring potential physical accessibility to general practitioners in rural areas: A method and case study[J]. *Social Science & Medicine*, 1982,16(1):85-90.
- [32] Lowe J, Sen A. Gravity model applications in health planning: Analysis of an urban hospital market[J]. *Journal of Regional Science*, 1996,36(3):437-461.
- [33] Wang F, Luo W. Assessing spatial and nonspatial factors for healthcare access: Towards an integrated approach to defining health professional shortage areas[J]. *Health & Place*, 2005,11(2):131-146.
- [34] 程敏,连月娇.基于改进潜能模型的城市医疗设施空间可达性——以上海市杨浦区为例[J].*地理科学进展*, 2018, 37(2):266-275. [Cheng M, Lian Y. Spatial accessibility of urban medical facilities based on improved potential model: A case study of Yangpu District in Shanghai[J]. *Progress in Geography*, 2018,37(2):266-275.]
- [35] 宋正娜,陈雯.基于潜能模型的医疗设施空间可达性评价方法[J].*地理科学进展*, 2009,28(6):848-854. [Song Z, Chen W. Measuring spatial accessibility to health care facilities based on potential model[J]. *Progress in Geography*, 2009,28(6):848-854.]
- [36] 吴建军,孔云峰,李斌.基于GIS的农村医疗设施空间可达性分析——以河南省兰考县为例[J].*人文地理*, 2008, 23(5):37-42. [Wu J, Kong Y, Li B. The spatial accessibility analysis of rural medical facilities based on GIS: A case study of Lankao County, Henan Province[J]. *Human Geography*, 2008,23(5):37-42.]
- [37] 彭菁,罗静,熊娟,等.国内外基本公共服务可达性研究进展[J].*地域研究与开发*, 2012,31(2):20-25. [Peng J, Luo J, Xiong J, et al. Review of domestic and foreign research on the basic public service accessibility[J]. *Areal Research and Development*, 2012,31(2):20-25.]
- [38] Hansen W G. How accessibility shapes land use[J]. *Journal of the American Planning Association*, 1959,25(2):73-76.
- [39] Moya-Gómez B, Salas-Olmedo M H, García-Palomares J C, et al. Dynamic accessibility using big data: the role of the changing conditions of network congestion and destination attractiveness[J]. *Networks and Spatial Economics*, 2018,18(2):273-290.
- [40] 陈建国,周素红,柳林,等.交通拥堵对急救医疗服务时空可达性的影响——以广州市为例[J].*地理科学进展*, 2016,35(4):431-439. [Chen J, Zhou S, Liu L, et al. Estimating the effect of traffic congestion on accessibility to emergency medical care services: Take Guangzhou as an example[J]. *Progress in Geography*, 2016,35(4):431-439.]
- [41] 周一星.城市地理学[M].北京:商务印书馆,2003:359-360. [Zhou Y. *Urban geography*[M]. Beijing: The Commercial Press, 2003:359-360.]
- [42] 黄应淮,刘小平,刘艳平,等.基于高德地图API的多种交通方式下城市公园时空可达性分析——以广州市海珠区为例[J].*地理与地理信息科学*, 2018,34(6):50-57. [Huang Y, Liu X, Liu Y, et al. Spatial and temporal accessibility of urban parks based on a map api by means of multiple transportation: A case study of Haizhu District in Guangzhou[J]. *Geography and Geo-information Science*, 2018,34(6):50-57.]
- [43] 翟瀚,陈洁,陆锋,等.群体互动时空可达性评价模型[J].*地球信息科学学报*, 2014,16(6):859-866. [Zhai H, Chen J, Lu F, et al. An assessment model for interactive group space-time accessibility[J]. *Journal of Geo-information Science*, 2014,16(6):859-866.]
- [44] 药智数据库[EB/OL].<https://db.yaozh.com/>. [Yaozh database [EB/OL]. <https://db.yaozh.com/>.]
- [45] 名医汇网[EB/OL].<http://www.mingyihui.net/>. [Mingyihui.com [EB/OL]. <http://www.mingyihui.net/>.]
- [46] 刘晓慧,郑允豪.医疗救助服务系统1.0[CP].著作权登记号:2019SR0142057. [Liu X, Zheng Y. Medical assistance and service system 1.0[CP]. Copyright Registration No.2019SR0142057.]