

两步移动搜寻法及其扩展形式研究进展

陶卓霖^{1,2}, 程 杨^{3*}

(1. 北京大学城市与环境学院, 北京 100871; 2. 北京大学城市规划与设计学院, 广东 深圳 518055;
3. 北京师范大学地理学与遥感科学学院, 北京 100875)

摘 要:两步移动搜寻法是公共服务设施空间可达性研究中的重要方法,在国内外公共服务设施布局研究中得到了广泛应用,且发展出了众多扩展形式。但国内研究中对两步移动搜寻法尤其是其扩展形式的应用还较为有限。本文对两步移动搜寻法的主要扩展形式进行系统梳理和总结,将国内外研究中提出的两步移动搜寻法扩展形式归纳为基于引入距离衰减函数的扩展、对搜寻半径的扩展、针对需求或供给竞争的扩展以及基于出行方式的扩展4类,并分析了各种扩展形式的优缺点、适用情景以及未来可能改进方向。旨在为相关研究的方法选择提供参考,促进两步移动搜寻法及其扩展形式在国内相关领域的应用和发展。

关键词:两步移动搜寻法;扩展形式;距离衰减函数;搜寻半径;三步移动搜寻法;研究进展

1 引言

公共服务设施对于满足人们日益增长的物质和文化生活需要及全面提升生活品质起着至关重要的作用。因此,公共服务设施的公平配置就成为其规划和布局的重要目标(Wang et al, 2013; Dada-shpoor et al, 2016),尤其是在基本公共服务均等化的政策背景下,这一目标显得更为重要。空间可达性评价方法能够识别出公共服务的稀缺区域,是衡量公共服务设施布局空间公平性的有效途径(宋正娜等, 2010; 陶卓霖等, 2015),因此也受到国内外研究的广泛关注,并开发出了丰富的方法体系(宋正娜等, 2010; Wang, 2012)。其中,两步移动搜寻法(Two-step floating catchment area method, 2SFCA)得到了广泛关注和应用,并且在后续研究中各种扩展形式层出不穷,形成了一个庞大的两步移动搜寻法模型族。在国内,近几年来两步移动搜寻法也受到越来越多的关注,在医疗(刘钊等, 2007; 胡瑞山等, 2012; 邓丽等, 2015; 付加森等, 2015)、教育(任若菡等, 2014)、养老(陶卓霖等, 2014; 赵东霞等, 2014)、

绿地(魏冶等, 2014)、旅游景点(张鹏飞等, 2015)等公共设施可达性以及就业可达性(王绮等, 2015)等领域均有应用,并且对两步移动搜寻法的部分改进形式也有应用(任若菡等, 2014; 陶卓霖等, 2014; 魏冶等, 2014; 邓丽等, 2015; 张鹏飞等, 2015)。但整体而言,国内研究中对两步移动搜寻法,尤其是其扩展形式的应用还较为有限。因此,本文通过对两步移动搜寻法的主要扩展形式进行系统梳理和总结,以期为相关研究的方法选择提供参考,促进两步移动搜寻法在国内相关领域的应用和发展。

2 2SFCA的原始形式及与其他方法的比较

2SFCA最早是由Radke等(2000)提出,由Luo等(2003)进一步改进并命名为两步移动搜寻法。2SFCA的基本思想为:①对每个供给点 j ,搜索所有在 j 搜寻半径(d_0)范围内的需求点(k),计算供需比 R_j ;②对每个需求点 i ,搜索所有在 i 搜寻半径(d_0)范围内的供给点(j),将所有的供需比 R_j 加总得到 i

收稿日期:2016-02;修订日期:2016-04。

基金项目:国家自然科学基金项目(41301164) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.41301164]。

作者简介:陶卓霖(1990-),男,江西万载人,博士研究生,研究方向为城市与区域规划,E-mail: taozhuolin@pku.edu.cn。

通讯作者:程杨(1982-),女,四川自贡人,副教授,主要从事健康地理学研究,E-mail: chengyang@bnu.edu.cn。

引用格式:陶卓霖,程杨. 2016. 两步移动搜寻法及其扩展形式研究进展[J]. 地理科学进展, 35(5): 589-599. [Tao Z L, Cheng Y. 2016. Research progress of the two-step floating catchment area method and extensions[J]. Progress in Geography, 35(5): 589-599.]. DOI: 10.18306/dlkxjz.2016.05.006

点的可达性 A_i^F (Luo et al, 2003):

$$A_i^F = \sum_{j \in \{d_{ij} \leq d_0\}} R_j = \sum_{j \in \{d_{ij} \leq d_0\}} \left(\frac{S_j}{\sum_{k \in \{d_{ik} \leq d_0\}} D_k} \right) \quad (1)$$

式中: i 表示需求点; j 表示供给点; A_i^F 表示根据 2SFCA 计算得到的需求点 i 的可达性; d_{ij} 是需求点 i 和供给点 j 间的距离; R_j 是供给点 j 的设施规模与搜寻半径 (d_0) 内所服务的人口比例; S_j 表示供给点 j 的供给规模; D_k 表示需求点 k 的需求规模。

另一个较常用的可达性评价方法为重力模型法, 也称为势能模型(宋正娜等, 2009)。实际上, 2SFCA 和重力模型法基于同一个理论框架(Luo et al, 2003), 都综合考虑了设施的供给规模、需求规模和供需之间的距离关系对可达性的影响, 两者的不同在于对距离因素的处理: 重力模型法采用了连续型距离衰减函数, 从而考虑了设施服务能力随距离衰减的特征, 但并未对设施的有效搜寻半径进行限制; 而 2SFCA 法采用二分法处理距离衰减, 即在搜寻半径阈值范围内的可达性相同, 而在搜寻半径范围之外则完全不可达。

此外, 还有其他几种较为常用的可达性评价方法: 最近距离法只考虑距离因素, 未对供需点规模因素进行考虑; Huff 模型考虑了设施规模和距离因素, 但未考虑需求点规模; 核密度法实际上与重力模型法同属一个框架, 采用的距离为欧氏距离, 无法考虑实际交通网络的影响, 也没有考虑需求点规模(陶卓霖等, 2014)。

综上可知, 在众多空间可达性评价方法中, 2SFCA 和重力模型法应用最为广泛, 考虑的因素最为全面, 模型的理论基础相似, 但 2SFCA 得益于两步移动搜寻的思想, 易于理解, 可操作性更强, 因此得到了更多的关注和发展, 为各种可能的扩展形式提供了可行的基本框架(McGrail et al, 2009)。

3 主要扩展形式

3.1 基于引入距离衰减函数的扩展

2SFCA 原始形式中对距离衰减的处理为二分法。一部分扩展形式针对距离衰减函数进行扩展, 本质上是在 2SFCA 的搜寻半径之内再加入一个额外的距离衰减函数, 具体函数形式因扩展形式而不同。

针对这类扩展, Wang(2012)提出了一个 2SFCA 的一般形式(Generalized 2SFCA), 在模型中加入一项距离衰减函数 $f(d_{ij})$, 用于概括和表示不同扩展中的距离衰减函数形式:

$$A_i = \sum_{j=1}^n \frac{S_j f(d_{ij})}{\sum_{k=1}^m D_k f(d_{kj})} \quad (2)$$

式中: A_i 是需求点 i 的可达性得分, 实际含义为需求点 i 的平均每个需求者可达的设施资源; $f(d_{ij})$ 是一般化的距离衰减函数; 其他变量含义与式(1)一致。 $f(d_{ij})$ 可进一步表示为:

$$f(d_{ij}) = \begin{cases} g(d_{ij}), & d_{ij} \leq d_0 \\ 0, & d_{ij} > d_0 \end{cases} \quad (3)$$

式中: f 是一般化的距离衰减函数; d_{ij} 是 i 和 j 的距离; d_0 是搜寻半径, 即设施的有效服务半径; $g(d_{ij})$ 表示在搜寻半径 d_0 范围内的距离衰减函数。在这一框架下, 可将 2SFCA 的各个扩展形式对距离衰减函数的改进概括为对函数 $g(d_{ij})$ 的替代。2SFCA 原始形式中将 $g(d_{ij})$ 处理为恒等于一个常数, 而在扩展形式中, 函数 $g(d_{ij})$ 可采用按距离区分权重的分段衰减形式、重力模型的距离衰减函数形式(如幂函数或指数函数等)、核密度形式或高斯形式等。下面介绍主要的几种距离衰减函数扩展形式(图 1)。

(1) 增强型 2SFCA

为解决 2SFCA 原始形式中对搜寻半径内可达性的差异未予以区分的不足, Luo 等(2009)进一步提出了增强型 2SFCA (Enhanced 2SFCA, E2SFCA), 将搜寻半径范围内的距离衰减函数 $g(d_{ij})$ 进行分段处理, 距离越近的分段内权重越大, 可达性越好。函数 $g(d_{ij})$ 可表示为:

$$g(d_{ij}) = \begin{cases} W_1, & d_{ij} \in D_1 \\ \dots, & \dots \\ W_r, & d_{ij} \in D_r \end{cases} \quad (4)$$

式中: 搜寻半径内的范围按距离分为 r 段; D_r 表示第 r 分段; W_r 表示第 r 分段内的可达性权重, 根据距离衰减原理, 通常距离越近的分段内权重越大。例如, 在 Luo 等(2009)的研究中, 具体将 30 min 的搜寻半径划分为 3 段: 0~10、10~20、20~30 min, 各段的权重根据高斯函数确定(Kwan, 1998); 实际结果发现 E2SFCA 的评价结果更符合直觉判断, 且对公共服务资源匮乏地区的识别更为精确。E2SFCA 方法在国内也已有一定应用, 如张鹏飞等(2015)采用其

对武汉市城市旅游景点可达性进行了评价。

E2SFCA 的不足之处为,对距离分段的划分以及权重的确定仍存在一定主观和理想化的成分。距离分段的数量和划分标准由研究者主观决定,而权重则是根据在假设搜寻半径范围内的设施和需求点各自服从正态分布的理想条件下的高斯函数来确定,与实际情况难免会存在偏差。

(2) 重力型 2SFCA

重力型 2SFCA(Gravity 2SFCA, G2SFCA)采用重力模型的距离衰减函数作为 2SFCA 搜寻半径内的距离衰减函数 $g(d_{ij})$ (陶卓霖等, 2014)。重力模型是空间相互作用领域发展最为成熟的模型,对其距离衰减函数的探讨也较为丰富,较为常用的函数形式有幂函数型、指数型、对数型等(王成金, 2009; 刘瑜等, 2014)。高斯型函数形式虽也有一些研究涉及(刘瑜等, 2014),但由于 2SFCA 扩展形式中有一类专门命名为高斯型 2SFCA,因此这里不再归类为重力型 2SFCA,而是单独作为一类进行介绍。以最为常见的幂函数形式为例,扩展后的重力型 2SFCA 搜寻半径内的距离衰减函数 $g(d_{ij})$ 可表示为:

$$g(d_{ij}) = d_{ij}^{-\beta}, d_{ij} \leq d_0 \quad (5)$$

式中: β 为距离衰减参数;其他变量与式(2)相同。例如, Wang 等(2013)、陶卓霖等(2014)以及 Tao 等(2014)在研究中均采用重力型 2SFCA 度量医疗设施或养老设施的空间可达性,并对距离衰减参数 β 的取值进行了敏感性分析。

重力型 2SFCA 将发展较为成熟的重力模型中的距离衰减函数引入到 2SFCA 中,从而将传统 2SFCA 和 E2SFCA 的离散型距离衰减函数改进为连续型函数(图 1c)。这一改进具有以下优点:一是刻画了传统 2SFCA 搜寻半径内的可达性差异,从而增强了可达性评价的准确性;二是不需要像 E2SFCA 那样对距离进行主观性的分段,且距离衰减函数的数学表达形式更为简洁,有效提升了模型形式的可读性;三是有利于重力模型的应用和发展中在函数形式和参数设定方面积累的经验。

(3) 核密度型 2SFCA

核密度型 2SFCA(Kernel Density 2SFCA, KD2SFCA)由 Dai 等(2011)提出,在 2SFCA 搜寻半径内加入核密度函数形式的距离衰减函数 $g(d_{ij})$, 可表示为:

$$g(d_{ij}) = \frac{3}{4} \left[1 - \left(\frac{d_{ij}}{d_0} \right)^2 \right], d_{ij} \leq d_0 \quad (6)$$

式中:核密度函数的带宽参数为搜寻半径 d_0 , d_0 取值越小则距离衰减效应越强,即可达性随距离增加而减弱的趋势越强;其他变量含义同式(2)。

核密度型 2SFCA 与重力型 2SFCA 类似,都具有连续型距离衰减函数,但两者的距离衰减函数形式不同。核密度型距离衰减函数为凹函数,当距离较小时,可达性随距离的衰减速度较慢;距离越大,则衰减越快(图 1e)。本文所用的幂函数形式的重力型距离衰减函数为凸函数,当距离较小时,可达性衰减较快;距离越大,则衰减越慢(图 1c)。

(4) 高斯型 2SFCA

高斯型 2SFCA(Gaussian 2SFCA, Ga2SFCA)由 Dai(2010, 2011)提出,采用高斯函数作为 2SFCA 搜寻半径内的距离衰减函数 $g(d_{ij})$, 可表示为:

$$g(d_{ij}) = \frac{e^{-1/2 \times (d_{ij}/d_0)^2} - e^{-1/2}}{1 - e^{-1/2}}, d_{ij} \leq d_0 \quad (7)$$

式中:各变量含义与式(2)相同。

Dai 将高斯型 2SFCA 运用到了医疗设施(Dai, 2010)和城市绿地(Dai, 2011)的可达性评价研究中。在国内,已有学者利用高斯型 2SFCA 评价沈阳市城市绿地可达性(魏冶等, 2014)和就业可达性(王绮等, 2015)。

高斯型 2SFCA 的距离衰减函数与重力型 2SFCA

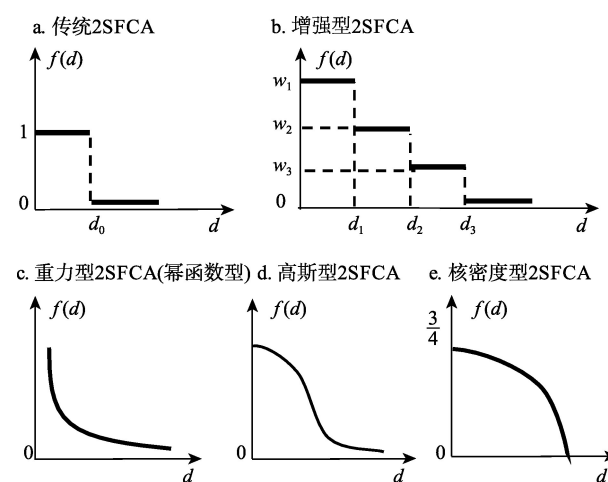


图1 主要距离衰减函数示意图

(资料来源:作者根据 Wang(2012)自绘)

Fig.1 Major forms of distance-decay function

(Data source: Wang (2012))

和核密度型2SFCA均不相同(图1d),后两种距离衰减函数中可达性衰减速率随距离的增加持续增大或减小,而高斯型距离衰减函数中的可达性衰减速率随距离的增加先加快后减慢。

(5) 对距离衰减函数选取的讨论

上述几类2SFCA扩展形式针对距离衰减函数进行改进,将2SFCA原始形式中搜寻半径内可达性无差异的二分法改进为不同类型的分段型或连续型距离衰减函数。不同扩展形式之间的差异主要在于距离衰减函数的衰减趋势不同,如E2SFCA的距离衰减函数为分段跳跃型衰减;幂函数形式的重力型2SFCA和核密度型2SFCA分别为凸型和凹型的连续衰减;而高斯型2SFCA为“S”型衰减,可达性随距离衰减速度在较近和较远阶段较慢,而在中间部分较快(Wang, 2012)。

在实际应用中,距离衰减函数形式的选取应根据案例的设施实际使用行为特点而定。最理想的状况是根据设施使用行为的实际调查确定距离衰减函数形式及相关参数值,但这往往需要耗费大量的人力和资金投入,且特定案例区域的调查结果不一定能扩展到其他区域应用,因此可操作性不强。值得注意的是,近年快速发展的手机数据、出租车轨迹数据和社交网络数据等大数据研究能对人类出行行为的距离衰减特征进行识别,从而为距离衰减函数形式的科学选取以及相应参数的标定提供有效支持(刘瑜等, 2014)。例如,齐兰兰等(2014)利用出租车轨迹数据对广州市医疗设施的出行特征进行了检验,发现医疗服务的使用行为确实符合距离衰减规律:1.5 km内人数最多,超过1.5 km后随距离增加出行人数逐渐减少。需指出的是,设施使用行为不仅受到距离衰减效应的影响,还受到设施的服务质量和收费水平、交通方式的差异以及设施使用者出行能力和经济能力等多方面因素的综合影响,因此在根据相关数据确定参数值时,应充分考虑这些因素对设施使用行为的影响。当缺乏距离衰减函数及参数值设定的充足依据时,应通过多情景分析提供更综合的结果参考,对关键参数的设定应进行敏感性分析(周慧等, 2015)。

3.2 对搜寻半径的扩展

除缺乏对搜寻半径内可达性差异的考虑外,2SFCA的另一个不足是采用单一的搜寻半径,对于所有设施和人群的搜寻半径均相同(McGrail et al, 2009)。一些研究尝试提出针对这一不足的扩展形式(Luo et al, 2012; McGrail, 2012; McGrail et al,

2014; 陶卓霖等, 2014)。

(1) 可变半径2SFCA

Luo等(2012)最早提出了一种搜寻半径可变的2SFCA扩展形式,并命名为可变半径2SFCA(Variable 2SFCA, V2SFCA)。具体做法为:在第一步搜寻,即以每个设施为中心进行搜寻时,首先设定一个初始的搜寻半径 d_0 ,若设施在当前搜寻半径内覆盖的需求量未达到最小服务量阈值(该研究中定为50万人),则逐步增加搜寻半径直到满足这一条件,将最终得到的搜寻半径作为第一步搜寻的设施供给搜寻半径 d_f ;而第二步搜寻,即以每一个需求点为中心进行搜寻时,与第一步类似,首先设定初始搜寻半径 t_0 ,逐步增加搜寻半径直到需求点在当前搜寻半径内所能获取的设施资源达到给定的最小阈值(该研究中定为每3500人1名医生),将最终的搜寻半径作为第二步搜寻的需求点搜寻半径 t_f 。

V2SFCA能够较为有效地解决采用单一搜寻半径可能遇到的两类问题:一是部分区域需求分布较为分散时,采用单一搜寻半径可能导致设施无法形成有效供给规模;二是供给分布较为分散时,采用单一搜寻半径可能导致需求点无法获取满足基本需求的公共服务资源,而在实际情况中,当设施数量很少时,需求者倾向于克服更远的距离以获取服务。但对于设施的最小服务量阈值和需求点获取的设施资源最小阈值的确定具有较大主观性,缺乏充足依据。

(2) 动态半径2SFCA

McGrail等(2014)提出了根据区域人口密度确定不同搜寻半径的扩展形式,即动态半径2SFCA(Dynamic 2SFCA, D2SFCA)。McGrail等(2014)首先根据人口密度将澳大利亚全国范围划分为主要城市(RA-1)、内部地区(RA-2)、外围地区(RA-3)、偏远地区(RA-4)和高度偏远地区(RA-5)5种类型,并根据既有调查数据和经验判断将5类地区的基本医疗服务搜寻半径依次设为30、45、70、120和200 min,并进行实证检验,发现根据人口密度的减小,逐步增大搜寻半径的方法是可行的,但上述5级搜寻半径的划分方法还较为粗略,所得结果中存在少量不合理的情况。

因此,McGrail等(2014)进一步改进了动态搜寻半径的划分方法。具体方法为,对任意相邻2类地区之间的界限进行平滑处理(例如,属于RA-4,但实际上更为邻近RA-3的需求点,设施选择行为可能

与RA-3更为接近),从而进一步在5类地区的基础上划分出3个子类,划分的3个原则如下:

第一,如果需求点周边的大部分(>50%)服务设施与该需求点位于同一类型地区或位于更高级别地区,则该需求点的搜寻半径保持不变。例如,假设需求点A位于RA-4且满足本条件,则需求点A的搜寻半径仍设置为RA-4的值,即120 min。

第二,如果需求点周边的少部分(25%~50%)设施与该需求点位于同一类型或更高级别类型地区,则该需求点的搜寻半径需要进行修正(该类型搜寻半径减去其与更低一级搜寻半径之差的1/3)。例如,假设需求点B位于RA-4且满足本条件,则需求点B的搜寻半径修正为: $120(\text{RA-4半径}) - 50(\text{RA-4与RA-3半径之差}) \times 1/3 = 103 \text{ min}$ 。

第三,如果需求点周边的极少数(<25%)设施该需求点位于同一类型或更高级别类型地区,则该需求点的搜寻半径也需修正(该类型搜寻半径减去其与更低一级搜寻半径之差的2/3)。例如,假设需求点C位于RA-4且满足本条件,则需求点C的搜寻半径修正为: $120(\text{RA-4半径}) - 50(\text{RA-4与RA-3半径之差}) \times 2/3 = 87 \text{ min}$ 。

D2SFCA在经过上述修正后(这里将修正后的方法称为Modified D2SFCA, MD2SFCA)得到的可达性评价结果更为恰当,但MD2SFCA的操作过程过于复杂,在实际中推广应用难度较大,相比之下D2SFCA的可操作性更强。总之,D2SFCA和MD2SFCA所提出的动态半径改进具有较强的实际意义,尤其适用于城市与农村地区混合的案例区域研究。

(3) 多级半径2SFCA

不同于McGrail等(2014)从需求角度根据人口密度划分动态的搜寻半径,陶卓霖等(2014)从供给角度出发,根据设施规模的不同,设定多级搜寻半径,这项扩展形式可称为多级半径2SFCA(Multi Catchment Sizes 2SFCA, MC2SFCA)。该研究在养老设施的案例中指出,规模不同的设施可能具有不同搜寻半径,通常规模越大,搜寻半径也会更大,从而将养老设施划分为大型(多于300个养老床位)、中型(100~300个床位)和小型(100个床位以下),参照已有研究对老年人口选择入住养老设施时的可接受距离,将搜寻半径依次设为2.0、1.0、0.5 h。研究结果发现采用多级半径后的MC2SFCA评价结果比采用单一半径的2SFCA更为合理。

事实上,除了规模因素外,公共服务设施的权

属性等属性也可能对其搜寻半径产生影响。以北京市养老设施为例,市属的公办养老设施以及规模较大的民办养老设施,往往面向全市范围接受老人入住,因此搜寻半径较大;而区属、乡镇或街道属的公办养老设施,服务范围可能限于各自管辖范围;规模较小的民办养老设施的市场范围也可能仅限于本地。

(4) 最近设施型2SFCA

Jamtsho等(2015)指出,2SFCA及其现有改进形式中,对设施服务范围的刻画都采用缓冲区—环形的方方法(Buffer-Ring Method),隐含假设是某一需求点会从其搜寻半径内的所有设施中进行选择。该研究认为这一假设在现实中往往难以满足,因此提出了任意需求点仅从搜寻半径内最近的一定数量(备选设施数量)设施中进行选择的设施服务范围方法(Nearest-Neighbor Method),从而构建了最近设施型2SFCA(Nearest-Neighbor 2SFCA, NN2SFCA)这一扩展形式。

在实际应用中,需求点备选设施数量的确定应根据具体案例中的需求点与设施分布情况及其之间的交通网络而确定,既可以对全部需求点设定相同的备选设施数量,也可类似于服务半径那样设定为可变的。例如,Jamtsho等(2015)在研究不丹的医疗设施时,分析发现在一些区域,离需求点第三近的设施距离较远,而将备选设施数量设为1又不精确,因此将备选数量设为2。

(5) 对合理设定搜寻半径的讨论

这类扩展形式从公共服务设施搜寻半径的角度对模型结构提出了重要改进,为公共服务可达性的科学评价作出了有益尝试。但整体上对搜寻半径的类型划分及具体数值的确定仍存在一定主观性,需要更多研究辅助选取参数。事实上,公共服务设施搜寻半径可从2个方面来确定:一是根据设施使用者实际愿意承受的出行距离;二是根据相关政策和规划的目标。国外已有很多研究关注了医疗设施的服务范围,如Allan(2014)以及Mazumdar等(2014)对相关研究进行了总结,但目前国内在这方面的研究还很不足。

最后,在上述已有搜寻半径的扩展形式之外,本文再提出一种可能的扩展形式:即设施服务范围的界定既不按照传统的缓冲区—环形方法,也不按照NN2SFCA中的Nearest-Neighbor方法,而是按照行政范围来划分(Administrative Boundary Method)。在中国现行制度安排下,公共服务设施的配

置通常是以特定行政单元为主体,对设施的服务范围也通常根据行政范围加以限制。因此采用行政范围划分的方法可能更适合中国的实际情况。需要指出的是,公共服务设施的搜寻半径受到多方面因素的共同作用,设施所承担的职能差异及其产生的设施层级性、设施供需分布及其空间相互作用方式,以及消费者获取服务的行为特点等因素都会对设施的搜寻半径产生影响,需要后续研究进行更深入地探讨。

3.3 针对需求或供给竞争的扩展

(1) 三步移动搜寻法(3SFCA)

Wan等(2012)、Bell等(2013)先后提出了2SFCA的扩展形式,且都命名为3SFCA(Three-step Floating Catchment Area),但两者的内涵并不相同。Wan等(2012)的3SFCA所增加的第三步搜寻考虑当一个需求点的搜寻半径内存在多个设施时,设施之间存在的竞争效应。该模型认为,在上述情况下,当需求点的一部分需求已经被一个设施满足,再从其他设施竞争资源时应将这部分已经满足的需求扣除,否则会高估规模较大的需求点的可达性,并认为在2SFCA基础上增加对设施间竞争效应的考虑能够提升模型的合理性。而Bell等(2013)提出的3SFCA对模型增加的第三步搜寻的含义是:将E2SFCA的评价得分合并为更大的人口单元,实质性改进较小。因此,后文中3SFCA专指Wan等(2012)提出的3SFCA。

3SFCA的具体实现是在传统的两步移动搜寻过程之前,增加一步包括全部需求点和设施在内的搜寻,计算需求点 i 与设施 j 之间的选择权重(Selection Weight),用于衡量位于同一需求点搜寻半径之内的多个设施之间的竞争效应:

$$G_{ij} = \frac{T_{ij}}{\sum_{k \in \{d_k \leq d_{ij}\}} T_{ik}} \quad (8)$$

式中: G_{ij} 表示需求点 i 与设施 j 之间的选择权重; T_{ij} 和 T_{ik} 分别表示需求点 i 选择设施 j 和设施 k 的权重,权重根据高斯函数分配。后续计算中,以E2SFCA(式(4))为基础,在权重 W_r 的基础上再乘以选择权重 G_{ij} 。事实上,3SFCA也可在其他对距离衰减函数进行扩展的模型上进行选择权重的改进,例如重力型2SFCA、高斯型2SFCA、核密度型2SFCA等。

在Wan等(2012)提出3SFCA之后,其他一些研究在其基础之上提出进一步改进。Delamater(2013)通过3SFCA与E2SFCA的系统比较,认为Wan等(2012)提出的3SFCA高估了设施之间的竞争效应,并提出改进形式(Modified 2SFCA)。

(2) 改进型2SFCA

Delamater(2013)指出,在2SFCA及其现有改进形式中,均隐含着一个假设,即所有的设施供给点在空间上都得到最优配置以满足系统内的需求,从而表现为根据现有的2SFCA模型族的评价结果,每个需求点的可达性得分乘以其需求规模并加总后恒等于设施总规模,并意味着所有的设施资源都得到了充分利用。而这一假设在现实世界中很难成立。因此,Delamater(2013)提出了改进型2SFCA(Modified 2SFCA, M2SFCA)^①这一重要扩展形式,允许设施的空间配置存在次优情况,即存在部分设施资源无法分配到需求点从而无法得到有效利用,前面提到的可达性得分的需求规模加权总和相较于总供给规模会存在一定损耗。该问题可归纳为:2SFCA及其现有改进形式虽然较好地度量了可达性(Accessibility)这一概念,但对设施资源的可用性(Availability)却缺乏考虑,而M2SFCA正是在可达性的基础上实现了对可用性的度量。

虽然M2SFCA放宽了2SFCA及其现有改进形式中的一项重要假设条件,使得模型更加符合现实条件,但其模型形式却较为简单:

$$A_i = \sum_{j=1}^n \frac{S_j f(d_{ij}) f(d_{ij})}{\sum_{k=1}^m D_k f(d_{kj})} \quad (9)$$

式中:各项变量含义均与式(2)相同;M2SFCA与Wang(2012)提出的2SFCA一般化框架(式(2))的差异在于在分子处多乘以一次距离衰减函数 $f(d_{ij})$ 。额外增加的这项 $f(d_{ij})$ 反映了设施所处区位的可达性状况,正是该指标影响了设施的资源是否能得到充分利用。还应注意到,只有在一种完全理想条件下,系统内全部设施资源都能够得到充分利用,即达到完全最优的系统状态。这个理想条件为,需求点与设施点之间不存在空间分离,不仅要求需求点和设施点的相互重叠,还要求每个需求点和设施点所代表的需求和资源都集中在一个点上。此外,Delamater(2013)提出的M2SFCA对距离衰减函数

^①注:改进型2SFCA的命名是为了与提出该改进的原文献保持一致,但该命名方式并不能准确反映这项改进形式的特点。后文中优化型2SFCA的命名方式也与此类似。

的处理是采用E2SFCA的形式,事实上也可采用其他形式替换。

(3) 胡弗型2SFCA

Luo(2014)指出,人们选择服务设施时综合考虑出行成本和设施点服务能力2个方面的因素,而3SFCA中扩展的选择权重 G_{ij} 中,未考虑设施供给方面的因素对设施选择行为的影响。因此有必要对3SFCA的选择权重变量进行修正,以综合考虑出行成本和设施点服务能力2个方面因素对出行选择的影响。Luo(2014)引入经典的胡弗模型(Huff model)来刻画选择权重变量,从而提出了胡弗型2SFCA(Huff 2SFCA, H2SFCA)这一扩展形式:

$$HG_{ij} = \frac{S_j d_{ij}^{-\beta}}{\sum_{k \in \{d_{ik} \leq d_{0i}\}} S_k d_{ik}^{-\beta}} \quad (10)$$

式中: HG_{ij} 表示采用Huff模型修正的选择权重变量;其他变量含义与式(2)相同。值得注意的是,Luo(2014)构建的模型中采用了较常用的幂函数作为选择权重变量中的距离衰减函数,实际应用中可根据需要和实际情况采用不同的距离衰减函数形式。

(4) 优化型2SFCA

不同于传统2SFCA中通过以设施为中心搜寻在半径内的需求点,并将搜寻半径内的需求点的总需求作为该设施的潜在使用者,Ngui等(2011)提出了优化型2SFCA(Optimized 2SFCA, O2SFCA),采用各设施在前一年的实际使用者数量(在该案例中为医疗设施,使用者为就医人数)作为设施的潜在使用者数量,从而改进了对同一设施资源可能面临来自多个需求点的竞争,是对传统2SFCA的一个有益补充。但优化型2SFCA需要较好的数据基础,数据的可获取性是该方法在实际应用中推广所面临的一个问题。

3.4 基于出行方式的扩展

(1) 多交通模式2SFCA

Mao等(2013)考虑了获取公共服务时可能采取不同交通模式的情况,提出了多交通模式2SFCA(Multi-mode 2SFCA, MM2SFCA),采用多交通模式之间的加权平均交通时间,对传统2SFCA中单一交通模式的交通时间进行了修正。通过与单一交通模式2SFCA的实证比较研究发现,多交通模式2SFCA更能够反映需求人群在交通能力方面的异质性。更重要的是,多交通模式2SFCA在实际应用中的可操作性较强,尤其是在交通方式较为丰富、

公共交通系统较为发达的城市区域更加具有应用前景。

(2) 基于通勤的2SFCA

Fransen等(2015)提出了基于通勤的2SFCA(Commuter-based 2SFCA, CB2SFCA),以考虑通勤行为对公共服务可达性的影响。在CB2SFCA中,需求数量不再是传统2SFCA中那样固定不变,而是根据通勤行为而有所变动,在一天之中需求个体的位置是可能变化的。CB2SFCA的第一步搜寻是以设施为中心进行:

$$R_k = \frac{S_k}{\sum_{i,j \in \{t_{ik} \leq t_f \text{ and } t_{ik} + t_{ij} \leq t_d + t_{ij}\}} n_{ij}} \quad (11)$$

式中: R_k 表示设施 k 的供需比; S_k 表示设施 k 的资源规模; t_{ij} 、 t_{ik} 和 t_{kj} 表示下标中相应的前一个地点到后一个地点的交通时间; t_f 表示设施的服务范围阈值,即搜寻半径; t_d 表示需求者由于通勤而愿意额外付出的最大绕道时间阈值,即由于要通勤而需绕道前往设施的时间减去直接前往设施的时间; n_{ij} 表示从 i 到 j 的实际通勤人数。类似地,第二步搜寻以需求点为中心,可表示为:

$$A_i = \sum_{j,k \in \{t_{ik} \leq t_f \text{ and } t_{ik} + t_{ij} \leq t_d + t_{ij}\}} R_k \quad (12)$$

式中: A_i 为可达性得分;其他变量含义如式(11)。CB2SFCA能够为通勤行为与公共服务设施使用行为相互衔接的情况提供更准确的衡量,但需要任意2个研究单元之间的通勤人数,在实际应用中如此高的数据要求很难满足。

4 总结与展望

本文总结了国内外最近研究进展中对2SFCA的14种扩展形式,并归纳为4种扩展类型,分别为:基于引入距离衰减函数的扩展,对搜寻半径的扩展,针对需求或供给竞争的扩展以及基于出行方式的扩展。将这4种类型共14种扩展形式及其主要扩展内容和典型文献总结为表1。

进一步将扩展形式之间的关系概括为图2。在基于引入距离衰减函数的扩展类型中,E2SFCA仍属于离散型距离衰减函数的扩展,而其他3种扩展形式属于连续型距离衰减函数。对搜寻半径的扩展类型中,V2SFCA、D2SFCA和MC2SFCA仍然继承了2SFCA原始形式中缓冲区—环形的设施搜寻

表1 2SFCA主要扩展形式
Tab.1 Major extensions of 2SFCA

扩展类型	扩展形式	主要扩展内容	典型文献
基于引入距离衰减函数的扩展	Enhanced 2SFCA	对搜寻半径范围内的距离衰减函数按距离进行分段	Luo等(2009)
	Gravity 2SFCA	在搜寻半径范围内加入重力模型的距离衰减函数,如幂函数、指数函数、对数函数等	Wang等(2013)、Tao等(2014)
	Gaussian 2SFCA	在搜寻半径范围内加入高斯函数型距离衰减函数	Dai(2010, 2011)
	Kernel Density 2SFCA	在搜寻半径范围内加入核密度函数型距离衰减函数	Dai等(2011)
对搜寻半径的扩展	Variable 2SFCA	分别调整两步搜寻的半径,以使得设施的搜寻半径内覆盖足够需求规模、需求点的搜寻半径内能获取基本的设施资源规模	Luo等(2012)
	Dynamic 2SFCA	根据各区域人口密度,设定不同的搜寻半径,适用于城乡混合的案例区域	McGrail等(2014)
	Multi Catchment Sizes 2SFCA	根据设施规模等级设定不同搜寻半径,规模越大的设施搜寻半径越大	陶卓霖等(2014)
	Nearest Neighbor 2SFCA	不同于传统2SFCA中采用的缓冲区-环形搜寻半径划定方法,提出需求点仅从最近的一定数量设施中进行选择的搜寻半径划定方法	Jamtsho等(2015)
针对需求或供给竞争的扩展	Three-step Floating Catchment Area	增加一步搜寻,计算需求点与设施之间的选择权重(Selection Weight),用于衡量位于同一需求点搜寻半径之内的多个设施之间的竞争效应	Wan等(2012)
	Modified 2SFCA	允许设施的空间配置存在次优情况,即存在部分设施资源无法分配到需求点从而无法得到有效利用,具体扩展是在E2SFCA模型分子处乘以一次距离衰减函数 $f(d_{ij})$	Delamater(2013)
	Huff 2SFCA	采用Huff模型,对3SFCA的选择权重变量进一步修正,以综合考虑出行成本和设施点服务能力两方面因素对出行选择的影响	Luo(2014)
	Optimized 2SFCA	采用各设施在前一年的实际使用者数量作为设施的潜在使用者数量,改进了对同一设施资源可能面临的来自多个需求点的竞争	Ngui等(2011)
基于出行方式的扩展	Multi-mode 2SFCA	采用多交通模式之间的加权平均交通时间对传统2SFCA中单一交通模式的交通时间进行了修正	Mao等(2013)
	Commuter-based 2SFCA	考虑通勤行为对公共服务可达性的影响,假设需求数量不再是传统2SFCA中那样固定不变,而是根据通勤行为而有所变动	Fransen等(2015)

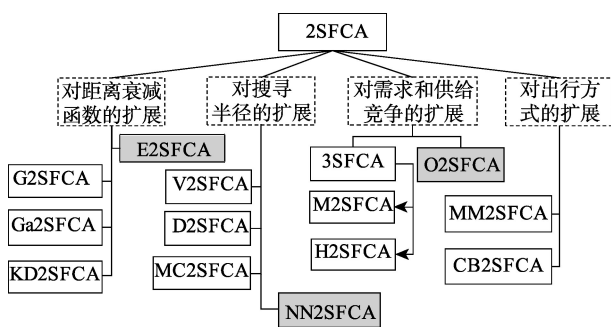


图2 2SFCA主要扩展形式的关系示意图

Fig.2 Relationships between major extensions of 2SFCA

范围划定方法,而NN2SFCA提出了新的仅考虑最近一定数量设施的Nearest Neighbor搜寻范围划定方法,在3.2的小结中,本文也提出了另一种适用于中国国情的基于行政范围的搜寻范围划定方法。针对需求或供给竞争的扩展类型中,3SFCA是最早做出尝试的扩展,随后M2SFCA和Huff 2SFCA都

是在其基础上提出了进一步发展,而Optimized 2SFCA属于另一类扩展方式。基于出行方式的扩展类型中,MD2SFCA和CB2SFCA分别从不同角度作出了改进。不同类型的扩展形式之间也能够同时组合应用,后3类扩展形式大多是在基于引入距离衰减函数的扩展的基础上构建的,在未来研究中后3类扩展之间也可以尝试相互结合,从而进一步提升可达性评价的准确性。

由于2SFCA方法在医疗设施领域应用最为广泛,最早也是在医疗设施的研究中提出,因此本文中涉及的2SFCA扩展形式同样大部分是在医疗设施布局研究中发展出来的。但这些扩展形式的适用范围并不局限于医疗设施,而是如同已有应用案例中表现出的那样,在各类公共设施中都具备应用价值。然而,各种2SFCA扩展形式适用于哪种公共设施并不可一概而论,既受到设施特点的影响,也受到具体研究区域对设施使用安排的影响。研究

者在选择适用的方法时,应对这两方面进行分析,再结合 2SFCA 各种扩展形式所作改进的特点进行选择。本文总结的 2SFCA 扩展形式的 4 个维度为应用研究中的方法选择提供了基本框架。

本文对广泛应用的 2SFCA 方法及其丰富的扩展形式进行了系统梳理和总结,并且分析了各扩展形式的优缺点、适用情景以及未来可能的改进方向,这些扩展形式从公共服务设施空间可达性的不同方面,或者是对同一方面提出了不同的改进,研究者可根据具体案例特点选择合适的一种扩展形式或多种扩展形式相结合,从而更准确地度量公共服务设施空间可达性。

参考文献(References)

- 邓丽,邵景安,郭跃,等. 2015. 基于改进的两步移动搜索法的山区医疗服务空间可达性:以重庆市石柱县为例[J]. 地理科学进展, 34(6): 716-725. [Deng L, Shao J A, Guo Y, et al. 2015. Spatial accessibility of medical services in mountainous regions based on modified two-step floating catchment area method: A case study of Shizhu County, Chongqing[J]. Progress in Geography, 34(6): 716-725.]
- 付加森,王利,赵东霞,等. 2015. 基于 GIS 医疗设施空间可达性的研究:以大连市为例[J]. 测绘与空间地理信息, 38(4): 102-105. [Fu J S, Wang L, Zhao D X, et al. 2015. Accessibility evaluation in public health care facilities based on GIS: A case study of Dalian[J]. Geomatics & Spatial Information Technology, 38(4): 102-105.]
- 胡瑞山,董锁成,胡浩. 2012. 就医空间可达性分析的两步移动搜索法:以江苏省东海县为例[J]. 地理科学进展, 31(12): 1600-1607. [Hu R S, Dong S C, Hu H. 2012. A two-step floating catchment area (2SFCA) method for measuring spatial accessibility to primary healthcare service in China: A case study of Donghai County in Jiangsu Province[J]. Progress in Geography, 31(12): 1600-1607.]
- 刘瑜,龚俐,童庆禧. 2014. 空间交互作用中的距离影响及定量分析[J]. 北京大学学报:自然科学版, 50(3): 526-534. [Liu Y, Gong L, Tong Q X. 2014. Quantifying the distance effect in spatial interactions[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 50(3): 526-534.]
- 刘钊,郭苏强,金慧华,等. 2007. 基于 GIS 的两步移动搜寻法在北京市就医空间可达性评价中的应用[J]. 测绘科学, 32(1): 61-63. [Liu Z, Guo S Q, Jin H H, et al. 2007. Application of the GIS-based two-step floating catchment area method in measurement of spatial accessibility to hospitals in Beijing[J]. Science of Surveying and Mapping, 32(1): 61-63.]
- 齐兰兰,周素红,闫小培. 2014. 广州市医疗设施可达性模型中端点吸引的影响因素检验[J]. 地理科学, 34(5): 580-586. [Qi L L, Zhou S H, Yan X P. 2014. Endpoint attractive factors of medical facilities' accessibility: Based on GPS floating car data in Guangzhou[J]. Scientia Geographica Sinica, 34(5): 580-586.]
- 任若茜,王艳慧,何政伟,等. 2014. 基于改进的两步移动搜寻法的贫困区小学教育资源空间可达性分析:以重庆市黔江区为例[J]. 地理信息世界, 21(2): 22-28. [Ren R H, Wang Y H, He Z W, et al. 2014. Research on spatial accessibility of primary school education resources in poverty area based on modified two-step floating catchment area method: A case study of Qianjiang[J]. Geomatics World, 21(2): 22-28.]
- 宋正娜,陈雯. 2009. 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, 28(6): 848-854. [Song Z N, Chen W. 2009. Measuring spatial accessibility to health care facilities based on potential model[J]. Progress in Geography, 28(6): 848-854.]
- 宋正娜,陈雯,张桂香,等. 2010. 公共服务设施空间可达性及其度量方法[J]. 地理科学进展, 29(10): 1217-1224. [Song Z N, Chen W, Zhang G X, et al. 2010. Spatial accessibility to public service facilities and its measurement approaches[J]. Progress in Geography, 29(10): 1217-1224.]
- 陶卓霖,程杨,戴特奇. 2014. 北京市养老设施空间可达性评价[J]. 地理科学进展, 33(5): 616-624. [Tao Z L, Cheng Y, Dai T Q. 2014. Measuring spatial accessibility to residential care facilities in Beijing[J]. Progress in Geography, 33(5): 616-624.]
- 陶卓霖,程杨,戴特奇,等. 2015. 基于公平最大化目标的 2020 年北京市养老设施布局优化[J]. 地理科学进展, 34(12): 1609-1616. [Tao Z L, Cheng Y, Dai T Q, et al. 2015. Spatial optimization of residential care facility locations in 2020 in Beijing: Maximum equity in accessibility[J]. Progress in Geography, 34(12): 1609-1616.]
- 王成金. 2009. 中国交通流的衰减函数模拟及特征[J]. 地理科学进展, 28(5): 690-696. [Wang C J. 2009. Function simulation and regularity of distance decay of inter-urban traffic flow in China[J]. Progress in Geography, 28(5): 690-696.]
- 王绮,修春亮,魏冶,等. 2015. 基于高斯两步移动搜索法的沈阳市就业可达性评价[J]. 人文地理, 30(2): 78-82. [Wang Q, Xiu C L, Wei Y, et al. 2015. Evaluation of job accessibility of Shenyang using Gaussian based 2-step floating catchment area method[J]. Human Geography, 30(2): 78-82.]
- 魏冶,修春亮,高瑞,等. 2014. 基于高斯两步移动搜索法的沈阳市绿地可达性评价[J]. 地理科学进展, 33(4): 479-

487. [Wei Y, Xiu C L, Gao R, et al. 2014. Evaluation of green space accessibility of Shenyang using Gaussian based 2-step floating catchment area method[J]. *Progress in Geography*, 33(4): 479-487.]
- 张鹏飞, 蔡忠亮, 张成, 等. 2015. 基于E2SFCA的城市旅游景点的潜在空间可达性分析[J]. *测绘地理信息*, 40(1): 76-79. [Zhang P F, Cai Z L, Zhang C, et al. 2015. Potential spatial accessibility to urban scenic spots based on E2SFCA[J]. *Journal of Geomatics*, 40(1): 76-79.]
- 赵东霞, 韩增林, 王利, 等. 2014. 基于两步移动搜寻法的城市居家养老服务设施可达性研究: 以大连市沙河口区低龄老年人为例[J]. *地域研究与开发*, 33(6): 27-32. [Zhao D X, Han Z L, Wang L, et al. 2014. Accessibility research about urban in-home service facilities for the elderly based on two-step mobile research: Taking low-aging elder people in Shahekou District of Dalian as an example[J]. *Areal Research and Development*, 33(6): 27-32.]
- 周慧, 蔡忠亮, 张鹏飞, 等. 2015. 增强型两步移动搜索模型的参数灵敏度研究[J]. *测绘地理信息*, 40(5): 65-69, 75. [Zhou H, Cai Z L, Zhang P F, et al. 2015. Parameter sensitivity study of the enhanced two-step floating catchment area model[J]. *Journal of Geomatics*, 40(5): 65-69, 75.]
- Allan D P. 2014. Catchments of general practice in different countries: A literature review[J]. *International Journal of Health Geographics*, 13(1): 32.
- Bell S, Wilson K, Bissonnette L, et al. 2013. Access to primary health care: Does neighborhood of residence matter[J]. *Annals of the Association of American Geographers*, 103(1): 85-105.
- Dadashpoor H, Rostami F, Alizadeh B. 2016. Is inequality in the distribution of urban facilities inequitable: Exploring a method for identifying spatial inequity in an Iranian city [J]. *Cities*, 52: 159-172.
- Dai D J. 2010. Black residential segregation, disparities in spatial access to health care facilities, and late-stage breast cancer diagnosis in metropolitan Detroit[J]. *Health & Place*, 16(5): 1038-1052.
- Dai D J. 2011. Racial/ethnic and socioeconomic disparities in urban green space accessibility: Where to intervene[J]. *Landscape and Urban Planning*, 102(4): 234-244.
- Dai D J, Wang F H. 2011. Geographic disparities in accessibility to food stores in southwest Mississippi[J]. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 38(4): 659-677.
- Delamater P L. 2013. Spatial accessibility in suboptimally configured health care systems: A modified two-step floating catchment area (M2SFCA) metric[J]. *Health & Place*, 24: 30-43.
- Fransen K, Neutens T, De Maeyer P, et al. 2015. A commuter-based two-step floating catchment area method for measuring spatial accessibility of daycare centers[J]. *Health & Place*, 32: 65-73.
- Jamtsho S, Corner R, Dewan A. 2015. Spatio-temporal analysis of spatial accessibility to primary health care in Bhutan [J]. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 4(3): 1584-1604.
- Kwan M P. 1998. Space-time and integral measures of individual accessibility: A comparative analysis using a point-based framework[J]. *Geographical Analysis*, 30(3): 191-216.
- Luo J. 2014. Integrating the Huff model and floating catchment area methods to analyze spatial access to healthcare services[J]. *Transactions in GIS*, 18(3): 436-448.
- Luo W, Qi Y. 2009. An enhanced two-step floating catchment area (E2SFCA) method for measuring spatial accessibility to primary care physicians[J]. *Health & Place*, 15(4): 1100-1107.
- Luo W, Wang F H. 2003. Measures of spatial accessibility to health care in a GIS environment: Synthesis and a case study in the Chicago region[J]. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 30(6): 865-884.
- Luo W, Whippo T. 2012. Variable catchment sizes for the two-step floating catchment area (2SFCA) method[J]. *Health & Place*, 18(4): 789-795.
- Mao L, Nekorchuk D. 2013. Measuring spatial accessibility to healthcare for populations with multiple transportation modes[J]. *Health & Place*, 24(6): 115-122.
- Mazumdar S, Feng X Q, Konings P, et al. 2014. A brief report on Primary Care Service Area catchment geographies in New South Wales Australia[J]. *International Journal of Health Geographics*, 13(1): 38.
- McGrail M R. 2012. Spatial accessibility of primary health care utilising the two step floating catchment area method: An assessment of recent improvements[J]. *International Journal of Health Geographics*, 11(1): 50.
- McGrail M R, Humphreys J S. 2009. Measuring spatial accessibility to primary care in rural areas: Improving the effectiveness of the two-step floating catchment area method [J]. *Applied Geography*, 29(4): 533-541.
- McGrail M R, Humphreys J S. 2014. Measuring spatial accessibility to primary health care services: Utilising dynamic catchment sizes[J]. *Applied Geography*, 54(4): 182-188.
- Ngui A N, Apparicio P. 2011. Optimizing the two-step floating catchment area method for measuring spatial accessibility to medical clinics in Montreal[J]. *BMC Health Services Research*, 11(1): 166.
- Radke J, Mu L. 2000. Spatial decompositions, modeling and

- mapping service regions to predict access to social programs[J]. *Geographic Information Sciences: A Journal of the Association of Chinese Professionals in Geographic Information Systems*, 6(2): 105-112.
- Tao Z L, Cheng Y, Dai T Q, et al. 2014. Spatial optimization of residential care facility locations in Beijing, China: Maximum equity in accessibility[J]. *International Journal of Health Geographics*, 13(1): 33.
- Wan N, Zou B, Sternberg T. 2012. A three-step floating catchment area method for analyzing spatial access to health services[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 26(6): 1073-1089.
- Wang F H. 2012. Measurement, optimization, and impact of health care accessibility: A methodological review[J]. *Annals of the Association of American Geographers*, 102(5): 1104-1112.
- Wang F H, Tang Q. 2013. Planning toward equal accessibility to services: A quadratic programming approach[J]. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 40(2): 195-212.

Research progress of the two-step floating catchment area method and extensions

TAO Zhuolin^{1,2}, CHENG Yang^{3*}

(1. College of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China; 2. School of Urban Planning and Design, Peking University, Shenzhen 518055, Guangdong, China; 3. School of Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: Two-step floating catchment area (2SFCA) method is an important method of research on spatial accessibility to public services, which has been widely applied in studies on the spatial layout of public service facilities. Various extensions of 2SFCA have been developed. However, the application of the 2SFCA method and especially its extensions is still very limited in China. Thus, this study systematically summarizes the major extensions of the 2SFCA method. Such extensions found in existing literature can be classified into four categories. The first category focuses on the distance-decay function, replacing the dichotomous distance-decay form of the original 2SFCA by a multilevel discrete form as in the Enhanced 2SFCA, or continuous forms such as in the gravity-style, Gaussian-style, and Kernel-density-style distance-decay functions. The second category deals with the delimitation of catchment areas. The original 2SFCA form adopts a buffer-ring (BR) method delineating the catchment areas as concentric circles with certain radii of physical distance or travel time. A number of extensions have improved the BR method, including the Variable 2SFCA, the Dynamic 2SFCA, and the Multi Catchment Sizes 2SFCA. Moreover, a novel nearest-neighbor (NN) method for delineating the catchment areas by identifying a finite number of nearest facilities for each demand node has been proposed. The third category strives to improve the accuracy of 2SFCA by accounting for the competition among demand nodes or among supply nodes. The initial extension of this category is the Three-step Floating Catchment Area (3SFCA) method, following which other extensions such as the Modified 2SFCA and the Huff 2SFCA are proposed to make further improvements. The fourth category extends the travel means of the demand side, including the Multi-mode 2SFCA taking into account various potential transportation modes, and the Commuter-based 2SFCA integrating service visits and commuting behavior. The advantages and disadvantages, scenarios appropriate for their application, and potential improvements in the future of these extensions are also discussed. This study can contribute to the choice of method in relevant studies and promote the implementation and development of the 2SFCA method and extensions in relevant research fields in China.

Key words: two-step floating catchment area method; extension; distance-decay function; catchment area; three-step floating catchment area method; research progress