

基于虚实空间交互的社区生活圈服务设施评估 与优化配置:研究进展与展望

张姗姗^{1,2}, 甄峰^{1,2}, 孔宇^{1,2}, 邹思聪^{1,2}

(1. 南京大学建筑与城市规划学院, 南京 210093;

2. 江苏省智慧城市规划与数字治理工程研究中心, 南京 210093)

摘要: 社区是与居民日常生活关系最密切的空间单元。信息技术的发展影响了居民日常活动模式以及使用社区服务设施的方式,促使以虚实空间交互为主要特征的社区生活圈开始形成。在这一背景下,亟待创新社区生活圈规划设计与建设思路,探究虚实空间交互的社区生活圈设施评估与布局优化方法,解决当前社区设施配套不完善、服务效能低、与居民需求不匹配等实际问题。在梳理社区生活圈设施评估与布局优化研究进展的基础上,提出虚实空间交互的社区生活圈研究思路,从虚拟服务对居民活动与社区空间影响的路径与机制、基于虚实空间交互视角下的配套设施评估和布局优化模拟方法三个方面,提出重点研究内容和研究思路。这对于社区生活圈研究体系的丰富和深化、实证研究的开展以及社区生活圈规划建设实践具有重要意义。

关键词: 社区生活圈;设施布局;空间优化;虚实空间交互

社区是满足居民日常生活服务的基本空间单元,随着中国城镇化进程的不断推进,社区中设施配套不完善、服务效能低、服务空间分布不均等问题日益凸显。而社区生活圈规划通过分析居民日常活动特征及居民活动与设施的时空交互模式,应对社区居民的差异化需求,突破传统的标准化设施配置方式^[1,2],已经成为解决社区设施配置问题、优化设施空间资源利用的重要手段^[3,4]。自2018年住房和城乡建设部新版《城市居住区规划设计标准》提出将生活圈概念应用到居住区分级控制中,至2021年自然资源部发布的《社区生活圈规划技术指南》进一步提出应以社区生活圈为基本单元,科学配置生活服务要素内容和指标,引导居民各类活动。新时期的国土空间规划体系进一步明确了社区生活圈规划在总体规划、详细规划、专项规划等不同层面的具体要求,同时指出应在总体规划层面提出社区生活圈的发展目标、配置标准和布局引导,在详细规划层面落实服务要素的空间方案,并将社区生活圈规划与相关专项规划及城市体检等工作相衔接。这也标志着社区生活圈规划已成为新时代国土空间规划体系的重要组成部分。

面向新时代的社区生活圈规划实践需求,如何通过科学定量手段支撑社区生活圈配套设施的评估与布局优化,已成为城乡规划研究与实践共同关注的重点科学问题。相关研究结合新时间地理学、行为地理学等理论,探索了社区生活圈设施评估与优化配置的

收稿日期: 2022-11-21; 修订日期: 2023-04-26

基金项目: 国家自然科学基金项目(52008201, 42330510); 江苏省“双创博士”项目(JSSCBS20210046); 自然资源部国土空间智能规划技术重点实验室开放课题(20220306)

作者简介: 张姗姗(1989-),女,安徽六安人,助理教授,硕士生导师,主要从事规划新技术研究。

E-mail: zhangshanqi@nju.edu.cn

通讯作者: 甄峰(1973-),男,陕西汉中,博士,教授,博士生导师,主要从事智慧城市、大数据与城市规划研究。E-mail: zhenfeng@nju.edu.cn

新方法,并提出设施布局优化的策略和建议^[5,6]。但随着信息通信技术的快速发展,居民日常活动将进一步受到技术的影响与冲击^[7],线上与线下服务的交互融合也导致社区服务供给模式发生转变^[8]。从政策层面看,《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》(2021年)、《“十四五”城乡社区服务体系建设规划》(2022年)和《数字中国建设整体布局规划》(2023年)均明确提出了要提供线上线下融合的社区生活服务、打造智慧便民生活圈。在实践中,上海市、杭州市、成都市等地也开启了对于技术赋能的未来社区规划设计的探索。因此,考虑线上服务对居民日常活动和实体设施布局的影响,并将线上服务纳入到社区生活圈规划中,构建线上线下融合的社区生活圈,应对社区居民生活的数字化转型,已成为优化社区设施配置、提升社区服务的一项重要任务。

目前,部分学者关注到实体活动线上化带来的空间转型^[9],探索了线上服务与线下设施配套相结合的社区生活圈规划方法,提出线上线下服务圈配套策略^[8]。然而,相关研究主要根据线上服务特征和居民行为调查提出线上线下社区生活圈的优化策略,对于虚拟空间介入下社区居民与设施的复杂交互机制尚有待进一步研究,亦缺乏虚实空间交互视角下社区生活圈设施评估与布局优化的定量分析框架与方法。基于此,本文梳理面向社区生活圈规划的居民与设施时空交互特征分析思路,总结社区生活圈研究范式的发展进程。在此基础上,提出在虚实空间交互视角下,社区生活圈设施评估与布局优化的研究思路,以期在社区服务设施的科学合理布局提供支撑。

1 社区生活圈设施评估与优化配置研究进展

为了系统性地探究社区生活圈设施评估与优化配置研究进展,本文选取 Web of Science 数据库和 CNKI 数据库,系统性地梳理了2010年后发表的相关文献。在初步检索阶段,选取社区生活圈、15分钟城市(15-minute city)、公共服务设施配置与信息通讯技术(ICT)作为关键词。进一步,对检索得到的文献进行相关性分析和质量评估,最终选取了76篇文献进行探索分析。总体来看,传统的社区设施配置主要基于居住区规划设计标准,相关研究也从空间静态视角出发,基于设施和人口的空间分布,进行设施评估与规划布局。随着社区生活圈概念的提出,研究内容和实践更加强调基于居民日常活动系统的时空资源配置,研究视角和方法逐步转向了时空动态视角和虚实交互视角(表1)。因此,本节从空间静态视角、时空动态视角和虚实交互视角三个方面梳理社区生活圈设施评估与优化配置的研究重点,评述研究进展。

1.1 空间静态视角

传统的社区设施配置主要从设施供给视角出发,利用“千人指标”“服务半径”等方法,对设施种类与规模进行标准化配置。相关研究从设施和人口分布的匹配关系测度服务设施的供需关系,聚焦于从空间可达性和空间公平性两方面评价设施的服务范围以及人们获得服务的机会和能力。其中,空间可达性主要关注人们获得某项公共服务的难易程度,相关研究通过计算从社区或住宅出发,在一定出行距离范围内,可获得公共服务设施的数量和多样性,对社区公共服务设施的服务水平进行评估^[10,11]。空间公平性则主要强调需求者能够均等地享有使用公共服务设施的机会,研究以两步移动搜索法等可达性分析的结果为基础,利用基尼系数、洛佩兹曲线等方法评价设施分布的空间公平性和服

表1 不同视角下社区生活圈设施评估与优化的研究内容

Table 1 Research content of evaluation and spatial optimization of "15-minute life circle" service amenities in three different perspectives

研究视角	社区生活圈设施评估		社区生活圈设施优化配置	
	研究内容	常用研究方法	研究内容	常用研究方法
空间静态视角	可达性评估	覆盖率、最短距离法、最小旅行成本法、累积机会法	设施布局模式分析	Rieply's <i>K</i> 函数分析、空间同位模式分析
	公平性评估	两步移动搜索法、基尼系数	设施配置标准	理论研究、指标体系构建
	效用性评估	满意度评价、边际效益分析	区位选址分析	经典区位分配模型、公平最大化模型、多目标规划模型
时空动态视角	生活圈范围划定	核密度法、标准置信椭圆法、聚类分析法、结晶增长法	线下生活圈设施优化配置策略	定性
	活动—设施时空匹配特征	可达性分析、双变量空间自相关、网络分析法		
虚实交互视角	线上服务特征	线上化率分析、服用使用率分析	线上线下生活圈设施优化配置策略	定性
	服务与活动匹配特征	出行链分析		

务均等性，提出提升公共服务设施均等化水平的空间路径^[12,13]。也有研究考虑人口社会经济属性，关注弱势群体获取医疗、教育、绿地公共服务设施或空间等的机会和能力^[14-16]。除设施的可达性和公平性，设施的社会经济效益也是设施评价的重要维度^[17]，相关研究从居民满意度、经济效益与健康效益等不同方面对设施配置产生的外部效应及作用机制进行了探讨。

设施布局优化方面，相关研究主要聚焦于三个方面。（1）基于设施的空间分布。利用Rieply's *K*函数分析与空间同位模式分析等方法，探讨设施布局的空间集聚模式、不同类型设施的空间同位模式等，总结设施配置的空间规律^[18]。（2）探讨社区设施的规划标准。在对比现有规划标准和解读设施配置理念的基础上，提出社区设施配置的准则^[19,20]。（3）运用区位选址模型支撑科学设施布局。公共服务设施的区位选择一直是城市公共服务设施布局的重要研究问题，学者们围绕服务设施的区位选择模型展开了深入的理论和探索。传统方法主要利用人口规模和用地性质估算居民的需求，并根据道路网络的空间分布，分析设施布局与居民需求的匹配关系，求解设施布局的最佳位置^[17,21,22]。相关实证研究运用传统P-重心模型、最小化阻抗模型与最大化覆盖模型等提出公共服务设施的空间配置方案^[23,24]。近年来，一些学者关注到区位分配中的公平性问题，构建了公平最大化模型^[25]。也有学者在空间优化模型中考虑多个优化目标，利用多目标智能算法（如多目标遗传算法、非支配排序遗传算法、模拟退火算法等）求解满足多个规划目标的设施布局方案^[26,27]。但这些方法主要考虑设施的区位因素，对于居民行为的考虑多基于交通调查、问卷行为等静态截面数据，并根据最短路径假设将居民的出行简化为两点之间的最短距离，未充分顾及居民行为的时空动态特征^[28,29]。

1.2 时空动态视角

当前中国城市正经历增量扩张向存量发展的转型，规划理念从过去主要关注数量规模转向重视内涵质量，规划方法从只关注空间转向时空一体化的规划^[1]。基于时空动态视

角,社区生活圈设施评估方法进一步拓展。(1)拓展了可达性评价方法。包括从个体行为视角出发,加入诊疗次数、交通方式选择与出行路线选择等个人选择偏好,以期更加真实地反映服务的可达性水平^[30,31];也有研究将可达性评价方法从空间维度拓展到时空维度,借鉴时间地理学的理论和方法,构建时空可达性指标,测度设施供需关系在不同时间段的变化^[32,33]。(2)以手机信令、智能设备跟踪与空间社交媒体等为代表的时空活动大数据使得实时、全面、精确地获取人类活动规律成为可能^[34,35]。相关研究从居民活动视角出发,构建了生活圈设施评估模型。例如,赵鹏军等^[36]利用手机信令数据提取了居民日常活动特征,并通过双变量空间自相关方法,测度了居民活动与设施供给的空间匹配关系。李颖等^[37]基于典型人群的日常出行序列,从居民日常出行所选择空间路径的距离接受度、步行适宜度与设施叠合度等维度对设施的有效使用进行综合评估。但时空匹配测度的方法仍存在一定不足,时空可达性指标虽将可达性分析从空间向时间维度进行了拓展,但已有方法主要考虑设施供给随时间发生的变化(如设施开放与否)。而顾及居民活动特征的测度方法,多从空间维度测度居民的日常活动空间,对于居民日常活动的时间规律及其与设施供给的时间变化之间的量化分析仍较为缺乏。

在社区生活圈设施配置方面,学者提出应通过刻画居民日常活动特征及其与社区时空资源的互动关系,指导社区生活圈设施的精准化配置。通过居民行为活动数据,识别居民日常活动的空间单元,即居民在居住地附近开展文体、休闲、医疗与购物等日常活动的空间,成为了社区生活圈规划研究的基础^[38]。相关研究基于居民出行调查、GPS轨迹等数据提取居民日常出行活动的时空特征,进而利用标准置信椭圆法、聚类分析法、结晶增长法等获取居民日常活动空间^[39-41]。由于出行调查数据采集成本高、时效性差与调查对象数量有限,近年来,一些学者探索了利用时效性高、覆盖范围广的手机信令数据、自行车刷卡数据等时空大数据识别居民日常活动空间的方法^[42,43],并进一步对比了不同类型人群日常活动空间的差异^[44]。在居民时空行为特征分析基础上,结合社区居民的社会经济属性,构建“社区—行为”和“人群—行为”的谱系关系,指导社区公共服务设施的差异化配置^[1]。相关实证研究在探索不同人群活动空间特征^[43]、设施使用频率^[2]与设施使用偏好^[45]的基础上,提出社区生活圈设施的分层优化配置策略。

1.3 虚实交互视角

在智能技术的影响下,使得原本需要线下完成的活动可以在线上实现,居民的活动形式、时空利用特征等方面都发生了变化^[46]。例如,使用外卖与快递等服务,居民可以自行选择物品配送时间与收货地点,提升了活动时间和场所的灵活性,相关实证研究也表明,更多的线上服务使用会降低对于实体服务的使用率^[47]。而通过虚拟增强现实等技术,居民可以在家实现线上教育、运动等活动,为居民摆脱空间约束,提供了新的体验途径^[48](图1)。

线上服务的普及改变了居民的日常生活方式,也将影响社区生活圈的设施配置和空间组织形式^[8]。对于餐饮、购物等生活服务类设施,线上化服务增强了实体设施的服务范围与服务效率,一方面,居民可以通过当日配送、外卖等服务享受到15分钟生活圈范围外的服务,部分实体空间因其功能被线上服务取代而得到释放,社区实体空间营建需要进一步适应虚拟服务的影响,利用居民接受的虚拟服务来辅助空间合理的虚拟化^[9]。另一方面,设施布局选址的灵活性也大大提升,可以选择距离相对较远的区位,降低服务成

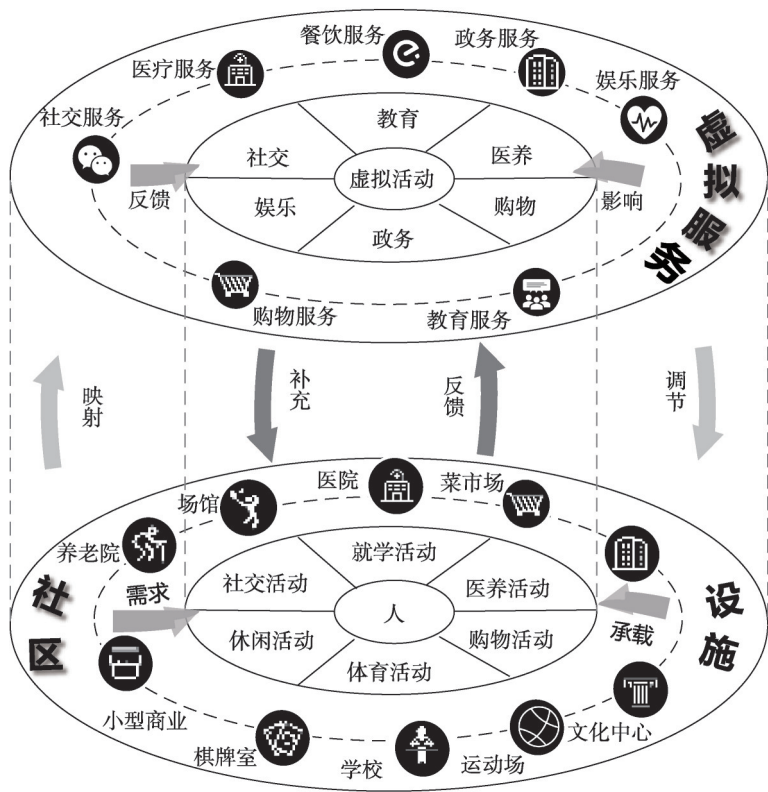


图1 社区居民虚实活动与虚实服务交互作用关系

Fig. 1 The conceptualization of virtual-physical space interaction

本，提高服务效率。对于医疗、教育等设施，线上服务可以补充线下服务，使得实体设施配置可以在一定程度上突破时空制约，进而改变传统社区设施的布局方式。相关研究关注了不同类型线上服务的应用特征，并从社区生活圈尺度刻画了线上服务的供给情况与潜在需求，探索了影响各类线上活动的关键因素^[49]。也有研究从居民活动视角，探究了虚拟活动对于实体活动的潜在替代作用^[9]。在此基础上，一些学者提出了线上线下生活圈设施配套体系构想，通过在线医疗、在线政务、在线教育与在线购物等线上服务补充线下社区生活圈设施配置^[8]，探讨了虚拟空间介入下实体空间的功能转型与完善策略^[9]，并强调在未来的社区规划编制中，要基于“人—技术—空间”一体的思想构建智慧社区生活圈^[50]。

总体来看，如何通过科学定量手段对社区生活圈设施进行评估与布局优化，已成为社区生活圈研究的重点科学问题。在研究视角上，社区生活圈规划正在经历从静态到动态、从空间到时空、从实体空间到虚实空间的转变。在设施评估方面，以居民多样化的日常生活需求为基础，重点关注从居民时空行为需求视角分析服务水平与评价设施现状。在研究范式上，从传统的问卷数据和活动日志数据等扩展到GPS调查数据和手机信令数据等时空大数据，更加关注挖掘居民时空行为规律与不同群体的差异化活动模式，分析“空间—行为”的动态关系^[36,44]，探索测度居民行为需求与设施服务时空匹配关系的方法。在设施优化配置方面，主要基于社区生活圈设施的评价结果及居民活动特征，定性地提出布局优化策略。对于如何量化居民与服务设施的时空交互特征，并将其与区位

分析方法相结合,辅助社区公共服务设施的布局优化决策,尚缺乏深入的方法和实证研究^[51,52]。而随着信息通讯技术对居民日常活动的影响,虚实空间交互成为学者们开展社区生活圈研究的新视角,相关研究已开始关注社区生活圈的概念内涵、服务体系与技术方法在数字化时代所发生的变化,但虚实空间交互视角下的研究尚处于起步阶段,对于虚实空间交互作用下居民活动与社区生活圈设施的协同作用机制、设施布局评估与优化配置方法等还有待进一步研究。

2 基于虚实空间交互的社区服务设施评估与优化配置研究展望

随着虚拟服务的介入,社区生活圈设施配套亟待新理念和新方法。虚拟服务对居民活动与社区空间的影响是一个复杂的交互反馈过程,受到社会、经济、技术与空间等多方面因素的影响,且随着技术发展和外部环境的变化而不断演进^[46]。因此,需要进一步厘清虚拟服务对居民活动与社区空间影响的路径与机制,为构建“活动—设施”协同的社区生活圈提供理论依据,并在此基础上,创新顾及虚实空间交互的社区生活圈评估和优化配置方法。

2.1 虚拟服务对居民活动与社区空间影响的路径与机制

厘清居民活动与设施配置之间的关系一直是公共服务设施研究的重点问题,对于设施配置具有指导意义。虚实空间交互作用下,社区居民虚实活动与虚实服务交互作用关系更加复杂,需要进一步探索虚拟服务影响下社区居民时空行为的新特征,以及虚实服务对居民活动的影响与作用机制。

(1) 虚实空间交互作用下,居民活动表现出对于固定场所的依赖性降低,而时空选择的灵活性提高的特点,二者共同构筑了时空约束低、弹性化、虚实融合的活动空间^[7,53]。需要构建虚实活动交互建模方法,针对购物、休闲、医疗与教育等不同类型居民日常活动,识别虚实活动的时空规律相较于传统活动的异同,分析居民对于实体空间设施的需求及其使用模式所发生的变化。具体而言,利用多源活动数据,提取社区不同居民群体日常活动的轨迹、主要活动点、线上和线下活动的类型等信息,将虚、实活动分别抽象成时间序列的有序集合,并基于活动的空间位置、属性等,建立虚实活动网络的关联关系,借鉴复杂网络的分析方法,从时空特征、交互关系等方面探索虚实活动的交互模式。

(2) 需要挖掘居民虚实活动交互的影响因素与作用机制。一方面,居民的虚拟活动受到个体经济社会属性、区位特征、社区环境与设施配套等多方面因素的影响^[54],需要进一步厘清实体设施配置对虚拟活动使用的影响。例如,线下服务的缺失可能在一定程度上导致线上活动的活跃,在设施配套不足且成员年龄结构偏年轻化的社区,线上服务的使用率更高^[49]。另一方面,虚拟服务提高了居民日常活动选择的灵活性和弹性,需要进一步探究虚拟服务对实体活动影响的机制。针对不同类型的活动,构建虚实服务使用场景,运用问卷调研方法,调查居民在不同场景下对虚实服务选择的偏好,进而探究虚实活动的影响因素与作用机制,总结虚拟活动对实体活动的补充、替代和中立等效用,以期为顾及虚拟服务的社区生活圈设施配置提供依据。

2.2 社区生活圈服务设施评估

虚实交互视角下社区生活圈服务设施的综合评估需要将实体设施和虚拟服务的评价相结合,研究建立虚实空间视角下的综合评估方法。(1) 需要考虑虚拟服务的空间效

应, 建立顾及实体设施与虚拟服务的综合可达性评估方法。部分虚拟服务, 如餐饮外卖、生鲜配送等, 依托实体店铺而存在, 因而也受到实体空间的约束。例如, 外卖配送服务多数有 2~5 km 配送距离的限制。但在服务范围内, 距离对于虚拟服务与实体服务的影响存在差异^[55]。对实体服务而言, 在服务品质相似的情况下, 与居民居住地的距离越远的服务设施吸引力越小, 因此, 对实体服务的可达性评估中常常考虑距离衰减效应。而对于虚拟服务, 如在配送范围内, 距离对于居民的影响可以忽略, 或者被配送时间(服务准备时间与实际配送时间之和)的影响所取代。同时, 步行适宜性等与实体服务可达性相关的指标, 在测度虚拟服务时也应做相应的调整。

(2) 社区生活圈服务设施评估不仅需要考虑居民的活动范围, 还需要考虑居民获取虚拟服务的能力。与居民需要通过步行、骑行等交通方式到达服务地点从而获得实体服务不同, 虚拟服务的获取对于个体出行的依赖相对较低, 居民可以通过线上直接获取或通过配送等方式获取虚拟服务。但社区设备与网络基础设施情况和居民的数字化特征(如对于线上服务的接受程度与使用能力)会影响居民虚拟服务的能力^[49,56]。因此, 在评估中需要将社区的数字化生活方式作为居民获取服务能力的一项指标, 并将其与居民的活动特征相结合, 对居民获取实体和虚拟服务的模式进行综合分析。

(3) 需要基于居民线上线下活动模式与需求, 测度设施的供需匹配关系。虚拟服务一方面改变了居民线下活动的时空特征, 另一方面改变了设施的空间组织形式及其时空供给模式。应通过时空数据分析居民活动的时空特征变化, 估算居民实体和虚拟服务需求, 量化居民活动与设施布局的时空互动关系, 测度虚拟服务影响下居民活动和设施供给的时空动态匹配特征。

2.3 社区生活圈服务设施优化配置

受到虚拟服务的影响, 生活圈的设施布局不仅要响应居民活动特征和服务需求的变化, 还应考虑虚拟服务对不同等级、不同类型的服务设施在服务范围、区位选择等方面的差异化影响。

(1) 突破“千人指标”的传统设施配置方法, 充分考虑社区的差异化特征和居民线上线下活动需求, 构建融合社区生活圈的设施配置指标优化模型, 对现有的社区生活圈服务设施配置标准进行修正。根据社区居民的人口结构、社会经济属性、日常活动与线上化水平等特征, 在居民线上线下活动预测的基础上, 估算居民线上线下服务需求, 预测社区线上、线下设施供需关系类型。

(2) 基于社区供需关系特征和居民线上、线下服务需求, 对服务设施的空间配置指标进行校正, 分别从线下活动圈、物流配送扩展圈等不同层级明确不同类型服务设施的配置规模和数量等要求。同时, 虚拟服务的使用受到居民个体的信息化水平影响, 因此, 需要结合社区的区位特点(如城市、城郊、乡村)和人员结构特征, 形成差异化的社区生活圈设施配套策略。

(3) 需要创新社区公共服务设施布局优化的定量分析手段。在厘清虚拟服务对实体活动影响的基础上, 利用时空活动大数据构建居民时空行为网络, 提取居民时空行为特征, 并将其与区位分析相结合, 发展顾及虚拟服务与居民时空行为特征的布局优化模型。在社区层面, 对社区服务设施进行布局优化的核心是准确估算社区居民的行为需求, 应在居民时空行为分析的基础上, 通过提取居民使用设施的频率、强度等时空参数, 结合点需求和流量需求模型, 估计居民对于设施的使用需求。同时, 根据居民行为特征(如路径选择、设施使用偏好等)构建优化模型的匹配条件。进一步, 基于设施评

估中所发现的问题,结合虚拟服务的特点,解析空间优化模型的布局目标,构建相应的目标函数;利用遗传算法、模拟退火算法等空间优化模型的计算方法,求解可在最大程度上实现布局目标的设施布局位置。

(4)为了更好地支撑社区生活圈设施布局决策,也需要进一步探索设施布局模拟方法。根据社区属性(如社区类型、人口结构等),模拟不同方案下社区居民的日常活动和设施使用利用情况等,包括居民在不同时间段利用设施的频率和强度,到访不同设施的路径选择等,进而结合社区评估方法对不同布局的实施效果进行评价。这些方法可以支撑布局方案的比选,为社区生活圈布局优化决策提供科学依据。

3 讨论

随着信息技术的不断发展,居民日常活动受到虚拟空间与实体空间的双重影响,虚实交互的活动空间正逐步取代传统的实体活动空间,成为未来社区生活圈空间的主导形式。在此背景下,社区生活圈研究亟待形成新的认识与研究范式,构建虚实空间交互的社区生活圈规划和研究体系。本文回顾了社区生活圈设施评估与布局的研究视角与研究内容的发展趋势,总结了现有研究的不足,通过解析虚实空间交互作用下居民活动与社区生活圈设施的互动关系,从虚拟服务对居民活动与社区空间影响的路径与机制、设施评估、设施优化配置三方面提出未来社区生活圈研究的主要方向。

基于未来社区生活圈公共服务设施评估和优化配置方法的结果,也需要在规划层面明确社区生活圈的规划设计与营建策略,并应对可能出现的新问题。(1)需要进一步完善虚实空间交互的营造策略。虚拟服务虽可以在一定程度上补充或部分替代实体服务,但实体空间仍在居民的休闲、运动、邻里交往等方面起着不可替代的作用。应该进一步研究虚拟技术与社区空间融合的策略,辅助实体空间转型、促进社区的场所营造、增强空间活力^[57]。(2)需要探索多方参与的工作机制,特别是结合技术赋能居民的社区参与与治理^[35]。信息技术的快速发展加速了居民需求的变化,需要动态、精准感知居民诉求,并将其反馈到社区生活圈设施评估与优化配置中^[56]。这不仅需要融合部门数据和手机信令等多源大数据,对人口规模变化和居民虚实活动特征等进行动态跟踪,也需要建立居民需求调研的常态化机制,及时掌握居民虚实服务需求的变化^[58]。(3)要警惕可能出现的诸如数字鸿沟等挑战^[59]。虚拟服务虽提高了居民获取服务的便捷性和灵活性,但可能进一步加剧弱势群体的不公平问题。这也要求未来的社区规划需要结合社区差异化特征,从虚实空间视角针对性地提出在地化的社区生活圈规划策略,满足不同社区不同群体的日常活动需求^[56],真正实现技术赋能助力国土空间规划时代的社区生活圈营建。

参考文献(References):

- [1] 柴彦威,李春江.城市生活圈规划:从研究到实践.城市规划,2019,43(5):9-16,60. [CHAI Y W, LI C J. Urban life cycle planning: From research to practice. City Planning Review, 2019, 43(5): 9-16, 60.]
- [2] 李萌.基于居民行为需求特征的“15分钟社区生活圈”规划对策研究.城市规划学刊,2017,(1):111-118. [LI M. Research on the planning countermeasures of "15-minute community life circle" based on the characteristics of residents' behavioral needs. Urban Planning Forum, 2017, (1): 111-118.]
- [3] 于一凡.从传统居住区规划到社区生活圈规划.城市规划,2019,43(5):17-22. [YU Y F. From traditional residential area planning to community living circle planning. City Planning Review, 2019, 43(5): 17-22.]
- [4] 黄瓴,明峻宇,赵畅,等.山地城市社区生活圈特征识别与规划策略.规划师,2019,35(3):11-17. [HUANG L, MING J Y, ZHAO C, et al. Characteristic identification and planning strategies of community living circles in mountainous cit-

- ies. *Planners*, 2019, 35(3): 11-17.]
- [5] 魏伟, 洪梦瑶, 谢波. 基于供需匹配的武汉市15分钟生活圈划定与空间优化. *规划师*, 2019, 35(4): 11-17. [WEI W, HONG M Y, XIE B. Delineation and space optimization of Wuhan's 15-minute living circle based on supply and demand matching. *Planners*, 2019, 35(4): 11-17.]
- [6] 林小如, 吕一平, 刘凌云. “二孩”政策背景下厦门市社区生活圈单元中基础教育设施规划优化策略. *规划师*, 2019, 35(24): 13-18. [LIN X R, LYU Y P, LIU L Y. Planning optimization strategies for basic education facilities in Xiamen's community life circle units under the background of "two-child" policy. *Planners*, 2019, 35(24): 13-18.]
- [7] 孔宇, 甄峰, 张姗姗. 智能技术对城市居民活动影响的研究进展与展望. *地理科学*, 2022, 42(3): 413-425. [KONG Y, ZHEN F, ZHANG S Q. Research progress and prospect of the impact of smart technology on urban residents' activities. *Scientia Geographica Sinica*, 2022, 42(3): 413-425.]
- [8] 牛强, 易帅, 顾重泰, 等. 面向线上线下社区生活圈的服务设施配套新理念新方法: 以武汉市为例. *城市规划学刊*, 2019, (6): 81-86. [NIU Q, YI S, GU C T, et al. New ideas and new methods of supporting service facilities for online and offline community life circles: Taking Wuhan as an example. *Urban Planning Forum*, 2019, (6): 81-86.]
- [9] 郭烁, 夏正伟. 虚实结合: 虚拟空间介入下的社区居民生活空间优化之策. *规划师*, 2021, 37(3): 85-90. [GUO S, XIA Z W. Combination of virtuality and reality: Strategies for optimizing living space of community residents under the intervention of virtual space. *Planners*, 2021, 37(3): 85-90.]
- [10] 韩增林, 李源, 刘天宝, 等. 社区生活圈公共服务设施配置的空间分异分析: 以大连市沙河口区为例. *地理科学进展*, 2019, 38(11): 1701-1711. [HAN Z L, LI Y, LIU T B, et al. Spatial variation analysis of public service facilities configuration in community life circle: A case study of Shahekou district, Dalian city. *Progress in Geography*, 2019, 38(11): 1701-1711.]
- [11] 周弦. 15分钟社区生活圈视角的单元规划公共服务设施布局评估: 以上海市黄浦区为例. *城市规划学刊*, 2020, (1): 57-64. [ZHOU X. Layout evaluation of public service facilities in unit planning from the perspective of 15-minute community life circle: A case study of Huangpu district, Shanghai. *Urban Planning Forum*, 2020, (1): 57-64.]
- [12] WANG F. Inverted two-step floating catchment area method for measuring facility crowdedness. *Professional Geographer*, 2018, 70(2): 251-260.
- [13] XING L, LIU Y, WANG B, et al. An environmental justice study on spatial access to parks for youth by using an improved 2SFCA method in Wuhan, China. *Cities*, 2020, 96: 102405, Doi: 10.1016/j.cities.2019.102405.
- [14] MAYAUD J R, TRAN M, NUTTALL R. An urban data framework for assessing equity in cities: Comparing accessibility to healthcare facilities in Cascadia. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2019, 78: 101401, Doi: 10.1016/j.compenvurbsys.2019.101401.
- [15] HIGGS G, JONES S, LANGFORD M, et al. Assessing the impacts of changing public service provision on geographical accessibility: An examination of public library provision in Pembrokeshire, South Wales. *Environment and Planning C: Politics and Space*, 2018, 36(3): 548-568.
- [16] PAEZ A, MERCADO R, FARBER S, et al. Mobility and social exclusion in Canadian communities: An empirical investigation of opportunity access and deprivation from the perspective of vulnerable groups. *Policy Research Directorate Strategic Policy and Research*, 2009.
- [17] 湛东升, 张文忠, 谌丽, 等. 城市公共服务设施配置研究进展及趋向. *地理科学进展*, 2019, 38(4): 506-519. [ZHAN D S, ZHANG W Z, CHEN L, et al. Research progress and trend of urban public service facility allocation. *Progress in Geography*, 2019, 38(4): 506-519.]
- [18] CHEN Y, CHEN X, LIU Z, et al. Understanding the spatial organization of urban functions based on co-location patterns mining: A comparative analysis for 25 Chinese cities. *Cities*, 2020, 97: 102563, Doi: 10.1016/j.cities.2019.102563.
- [19] 武田艳, 何芳. 城市社区公共服务设施规划标准设置准则探讨. *城市规划*, 2011, 35(9): 13-18. [WU T Y, HE F. Discussion on the guidelines for setting standards of urban community public service facilities planning. *City Planning Review*, 2011, 35(9): 13-18.]
- [20] 宋志英, 李淑敏, 胡智英. 天津市居住区公共服务设施指标体系研究. *城市*, 2008, (1): 55-57. [SONG Z Y, LI S M, HU Z Y. Research on the index system of public service facilities in residential areas of Tianjin. *City*, 2008, (1): 55-57.]
- [21] DREZNER T. Gravity models in competitive facility location. *International Series in Operations Research and Management Science*, 2019, 281: 253-275.
- [22] MURRAY A T. Advances in location modeling: GIS linkages and contributions. *Journal of Geographical Systems*, 2010,

- 12(3): 335-354.
- [23] 彭永明, 王铮. 农村中小学选址的空间运筹. 地理学报, 2013, 68(10): 1411-1417. [PENG Y M, WANG Z. Spatial operations in the site selection of rural primary and secondary schools. *Acta Geographica Sinica*, 2013, 68(10): 1411-1417.]
- [24] 韩增林, 杜鹏, 王利, 等. 区域公共服务设施优化配置方法研究: 以大连市甘井子区兴华街道小学配置为例. 地理科学, 2014, 34(7): 803-809. [HAN Z L, DU P, WANG L, et al. Research on optimum allocation method of regional public service facilities: Taking the allocation of Xinghua Street Primary School in Ganjingzi district, Dalian as an example. *Scientia Geographica Sinica*, 2014, 34(7): 803-809.]
- [25] LI M, WANG F, KWAN M P, et al. Equalizing the spatial accessibility of emergency medical services in Shanghai: A trade-off perspective. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2022, 92: 101745, Doi: 10.1016/j.compenvurb-sys.2021.101745.
- [26] GU W, WANG X, MCGREGOR S E. Optimization of preventive health care facility locations. *International Journal of Health Geographics*, 2010, 9: 17, Doi: 10.1186/1476-072X-9-17.
- [27] 刘萌伟, 黎夏. 基于 Pareto 多目标遗传算法的公共服务设施优化选址研究: 以深圳市医院选址为例. 热带地理, 2010, 30(6): 650-655. [LIU M W, LI X. Research on optimal site selection of public service facilities based on pareto multi-objective genetic algorithm: Taking Shenzhen hospital site selection as an example. *Tropical Geography*, 2010, 30(6): 650-655.]
- [28] MURRAY A T. Maximal coverage location problem: Impacts, significance, and evolution. *International Regional Science Review*, 2016, 39(1): 5-27.
- [29] 刘锴, 孙小慧, 左志. 电动汽车充电站布局优化方法研究综述. 武汉理工大学学报: 交通科学与工程版, 2015, 39(3): 523-528. [LIU K, SUN X H, ZUO Z. A review of research on layout optimization methods for electric vehicle charging stations. *Journal of Wuhan University of Technology: Transportation Science & Engineering*, 2015, 39(3): 523-528.]
- [30] 王丽娜. 基于老年人群行为模式的北京朝阳区公共绿地可达性研究. 北京: 北京林业大学, 2019. [WANG L N. Research on the accessibility of public green space in Chaoyang district, Beijing based on the behavioral patterns of the elderly group. Beijing: Beijing Forestry University, 2019.]
- [31] 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. 地球信息科学学报, 2020, 22(2): 175-186. [ZHENG Y H, LIU X H. A personal space-time accessibility analysis method for medical location recommendations. *Journal of Geo-Information Science*, 2020, 22(2): 175-186.]
- [32] CHEN B Y, WANG Y, WANG D, et al. Understanding the impacts of human mobility on accessibility using mass mobile phone tracking data. *Annals of the American Association of Geographers*, 2018, 108(4): 1115-1133.
- [33] WANG Y, YU B, YUAN H, et al. Measuring temporal variation of location-based accessibility using space-time utility perspective. *Journal of Transport Geography*, 2018, 73: 13-24.
- [34] LIU Y, LIU X, GAO S, et al. Social sensing: A new approach to understanding our socioeconomic environments. *Annals of the Association of American Geographers*, 2015, 105(3): 512-530.
- [35] 张姗姗, 甄峰, 秦萧, 等. 面向城市社区规划的参与式感知与计算: 概念模型与技术框架. 地理研究, 2020, 39(7): 1580-1591. [ZHANG S Q, ZHEN F, QIN X, et al. Participatory perception and computation for urban community planning: Conceptual model and technical framework. *Geographical Research*, 2020, 39(7): 1580-1591.]
- [36] 赵鹏军, 罗佳, 胡昊宇. 基于大数据的生活圈范围与服务设施空间匹配研究: 以北京为例. 地理科学进展, 2021, 40(4): 541-553. [ZHAO P J, LUO J, HU H Y. Research on the matching of living circle scope and service facilities space based on big data: Taking Beijing as an example. *Progress in Geography*, 2021, 40(4): 541-553.]
- [37] 李颖, 颜婷, 曾艺元, 等. 行为量化分析视角下的公共服务设施有效使用评估研究. 规划师, 2019, 35(2): 66-72. [LI Y, YAN T, ZENG Y Y, et al. Research on the effective use of public service facilities from the perspective of behavioral quantitative analysis. *Planners*, 2019, 35(2): 66-72.]
- [38] 肖作鹏, 柴彦威, 张艳. 国内外生活圈规划研究与规划实践进展述评. 规划师, 2014, 30(10): 89-95. [XIAO Z P, CHAI Y W, ZHANG Y. A review of domestic and foreign living circle planning research and planning practice. *Planners*, 2014, 30(10): 89-95.]
- [39] 柴彦威, 李春江, 夏万渠, 等. 城市社区生活圈划定模型: 以北京市清河街道为例. 城市发展研究, 2019, 26(9): 1-8, 68. [CHAI Y W, LI C J, XIA W Q, et al. The model of urban community life circle delineation: Taking Qinghe street in Beijing as an example. *Urban Development Studies*, 2019, 26(9): 1-8, 68.]
- [40] 季珏, 高晓路. 基于居民日常出行的生活空间单元的划分. 地理科学进展, 2012, 31(2): 248-254. [JI J, GAO X L. Di-

- vision of living space units based on residents' daily travel. *Progress in Geography*, 2012, 31(2): 248-254.]
- [41] 黄建中, 张芮琪, 胡刚钰. 基于时空间行为的老年人日常生活圈研究: 空间识别与特征分析. *城市规划学刊*, 2019, (3): 87-95. [HUANG J Z, ZHANG R Q, HU G Y. Research on the daily life circle of the elderly based on spatiotemporal behavior: Spatial recognition and feature analysis. *Urban Planning Forum*, 2019, (3): 87-95.]
- [42] 王德, 傅英姿. 手机信令数据助力上海市社区生活圈规划. *上海城市规划*, 2019, (6): 23-29. [WANG D, FU Y Z. Mobile phone signaling data helps shanghai community living circle planning. *Shanghai Urban Planning Review*, 2019, (6): 23-29.]
- [43] 索超, 蒋金亮. 基于居民行为特征的社区生活圈边界测度方法探索: 以江苏省宜兴市为例. 2019城市发展与规划论文集, 2019: 232-238. [SUO C, JIANG J L. Exploration of the boundary measurement method of community life circle based on residents' behavior characteristics: Taking Yixing city, Jiangsu province as an example. 2019 Urban Development and Planning Papers, 2019: 232-238.]
- [44] 邹思聪, 张姗姗, 甄峰. 基于居民时空行为的社区日常活动空间测度及活力影响因素研究: 以南京市沙洲、南苑街道为例. *地理科学进展*, 2021, 40(4): 580-596. [ZOU S C, ZHANG S Q, ZHEN F. Research on spatial measurement of community daily activities and influencing factors of vitality based on spatiotemporal behavior of residents: Taking Shazhou and Nanyuan streets in Nanjing as examples. *Progress in Geography*, 2021, 40(4): 580-596.]
- [45] 刘倩. 居民需求视角下社区生活圈配套设施优化策略研究. 西安: 西北大学, 2019. [LIU Q. Research on optimization strategies of supporting facilities in community life circle from the perspective of residents' needs. Xi'an: Northwest University, 2019.]
- [46] 孔宇, 甄峰, 张姗姗. 智能技术对城市居民活动影响的研究进展与展望. *地理科学*, 2022, 42(3): 413-425. [KONG Y, ZHEN F, ZHANG S Q. Research progress and prospect of the impact of smart technology on urban residents' activities. *Scientia Geographica Sinica*, 2022, 42(3): 413-425.]
- [47] XI G, CAO X, ZHEN F. The impacts of same day delivery online shopping on local store shopping in Nanjing, China. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2020, 136, 35-47.
- [48] 李伟健, 龙瀛. 技术与城市: 泛智慧城市技术提升城市韧性. *上海城市规划*, 2020, (2): 64-71. [LI W J, LONG Y. Technology and city: Pan-smart city technology enhances urban resilience. *Shanghai Urban Planning Review*, 2020, (2): 64-71.]
- [49] 牛强, 朱玉蓉, 王盼, 等. 社区生活圈线上化及其关键影响因素初探: 以武汉市典型社区为例. *城市发展研究*, 2021, 28(5): 111-118. [NIU Q, ZHU Y R, WANG P, et al. A preliminary study on the online community life circle and its key influencing factors: Taking typical communities in Wuhan as an example. *Urban Development Studies*, 2021, 28(5): 111-118.]
- [50] 甄峰, 孔宇. “人—技术—空间”一体的智慧城市规划框架. *城市规划学刊*, 2021, (6): 45-52. [ZHEN F, KONG Y. Smart city planning framework of "Human-Technology-Space". *Urban Planning Forum*, 2021, (6): 45-52.]
- [51] 龙瀛, 毛其智. 城市规划大数据理论与方法. 北京: 中国建筑工业出版社. [LONG Y, MAO Q Z. Theory and Method of Urban Planning Big Data. Beijing: China Architecture and Building Press.]
- [52] 马潇雅, 刘远刚, 赵翔. 城市公共服务设施优化配置模型研究的近期进展与展望. *测绘通报*, 2020, (2): 9-16. [MA X Y, LIU Y G, ZHAO X. Recent progress and prospects of research on optimal allocation model of urban public service facilities. *Bulletin of Surveying and Mapping*, 2020, (2): 9-16.]
- [53] 龙瀛. 颠覆性技术驱动下的未来人居: 来自新城市科学和未来城市等视角. *建筑学报*, 2020, (z1): 34-40. [LONG Y. Future human settlements driven by disruptive technologies: From the perspectives of new urban science and future cities. *Architectural Journal*, 2020, (z1): 34-40.]
- [54] 王德, 朱礼才淇, 晏龙旭. 移动网络使用特征及其虚实空间联动性研究. *同济大学学报: 社会科学版*, 2022, 33(1): 56-66, 77. [WANG D, ZHU L C Q, YAN L X. Research on the characteristics of mobile network usage and its virtual and real space linkage. *Journal of Tongji University: Social Science Edition*, 2022, 33(1): 56-66, 77.]
- [55] ZHANG S, LUAN H, ZHEN F, et al. Does online food delivery improve the equity of food access? A case study of Nanjing, China. *Journal of Transport Geography*, 2023, 107: 103516, Doi: 10.1016/j.jtrangeo.2022.103516.
- [56] 孔宇, 甄峰, 张姗姗, 等. 智能技术支撑的社区规划: 概念模型与技术框架. *城市规划*, 2023, 47(1): 15-24, 114. [KONG Y, ZHEN F, ZHANG S Q, et al. Community planning supported by intelligent technology: Conceptual model and technical framework. *City Planning Review*, 2023, 47(1): 15-24, 114.]

- [57] 张恩嘉, 龙瀛. 空间干预、场所营造与数字创新: 颠覆性技术作用下的设计转变. 规划师, 2020, 36(21): 5-13. [ZHANG E J, LONG Y. Spatial intervention, placemaking and digital innovation: Design transformation under the effect of disruptive technology. Planners, 2020, 36(21): 5-13.]
- [58] 宋明洁, 卢新海, 潘方杰. 基于地理设计的智慧国土空间规划框架构建: 以县级国土空间总体规划为例. 自然资源学报, 2022, 37(11): 2990-3004. [SONG M J, LU X H, PAN F J. A Geodesign framework for smart territory spatial planning: A case study for county-level comprehensive territory spatial planning. Journal of Natural Resources, 2022, 37(11): 2990-3004.]
- [59] 朱晓丹, 叶超, 李思梦. 可持续城市研究进展及其对国土空间规划的启示. 自然资源学报, 2020, 35(9): 2120-2133. [ZHU X D, YE C, LI S M. Research progress of sustainable cities and its implications for national territory spatial plan. Journal of Natural Resources, 2020, 35(9): 2120-2133.]

The evaluation and spatial optimization of community life circle service amenities from a perspective of virtual-physical space interaction: Research progress and agenda

ZHANG Shan-qi^{1,2}, ZHEN Feng^{1,2}, KONG Yu^{1,2}, ZOU Si-cong^{1,2}

(1. School of Architecture and Urban Planning, Nanjing University, Nanjing 210093, China; 2. Provincial Engineering Research Center of Smart City Planning and Digital Governance, Nanjing 210093, China)

Abstract: The community is the space unit most closely related to the daily life of residents. Developments in information and communication technology (ICT) have affected the daily activity patterns of urban residents and the way they use community service amenities. A new form of community life circle characterized by the interaction of virtual and physical spaces has emerged. Against this backdrop, it is urgent to innovate planning methods of community life circles, and explore the approaches of evaluating and optimizing the layout of community life circle amenities based on the interaction between virtual and physical spaces. These explorations will help tackle with practical challenges related to insufficient community amenities facilities, low efficiency of public service and mismatch between service provision and the needs of local residents. This paper first reviews the research progress regarding quantitative approaches of evaluating and optimizing community life circle amenities. Future research directions regarding the planning of community life circle based on the perspective of virtual-physical space interactions are then proposed. Specifically, future research should focus on the mechanisms of how virtual service impact residents' activities and community space, the dynamic evaluation method of amenities based on the interaction of virtual and real space and the simulation method for optimizing the spatial layout of service amenities. This paper will enrich our understanding of community life circle and facilitate the empirical research and the practice of planning community life circle from the new perspective.

Keywords: community life circle; the layout of service amenities; spatial optimization; virtual-physical space interaction