

面向公共服务设施布局优化的规划支持系统设计*

Design of Planning Support System for the Optimization of Public Service Facilities Allocation

叶澄 张姗姗 李民健 李智轩 YE Cheng, ZHANG Shanqi, LI Minjian, LI Zhixuan

摘要 公共服务设施布局直接影响着城市空间利用效率和城市居民的生活质量,是城市规划的重要内容。现有规划编制实践主要依据千人指标和服务半径进行公共服务设施配置,缺少量化的手段和工具支撑设施的精准化布局决策。基于数据增强设计的理念,梳理公共服务设施布局需要考虑的关键因素,提出基于布局优化模型和智能优化算法的公共服务设施布局思路,构建面向公共服务设施布局优化的规划支持系统技术框架,以期推动设施布局规划技术创新,促进公共服务设施布局决策科学化。

Abstract As an important element of urban planning, allocating public service facilities in a city has a direct impact on the utilization efficiency of urban space and the life quality of residents. In the current practice of urban planning, the allocation of public service facilities is mainly based on the thousand indicator index and the service radius of the facilities, and quantitative research methods are lacking to support sufficiently accurate allocation analysis. Based on the idea of Data Augmented Design, this paper sorts out the key factors for the allocation of public service facilities and proposes the idea of quantitative allocation of public service facilities based on layout optimization models and intelligent optimization algorithms. A technical framework of planning support system for the optimization of public service facilities allocation is constructed in order to promote the update of facilities allocation technology and the scientific allocation of public service facilities.

关键词 公共服务设施;数据增强设计;布局优化模型;规划支持系统;技术架构

Key words public service facilities; Data Augmented Design; layout optimization model; planning support system; technical framework

文章编号 1673-8985 (2022) 03-0023-07 中图分类号 TU981 文献标志码 A

DOI 10.11982/j. supr. 20220304

作者简介

叶澄

南京大学建筑与城市规划学院

江苏省智慧城市设计仿真与可视化技术工程实验室

硕士研究生

张姗姗 (通信作者)

南京大学建筑与城市规划学院

自然资源部国土空间规划监测评估预警重点实验室

江苏省智慧城市设计仿真与可视化技术工程实验室

副研究员, zhangshanqi@nju.edu.cn

李民健

南京大学建筑与城市规划学院

江苏省智慧城市设计仿真与可视化技术工程实验室

硕士研究生

李智轩

南京大学建筑与城市规划学院

江苏省智慧城市设计仿真与可视化技术工程实验室

硕士研究生

0 引言

公共服务设施承载了城市居民的教育、医疗、体育和文化等多种服务功能,是重要的城市空间资源和社会资源^[1]。公共服务设施布局旨在对一定时期和一定区域内的公共服务资源进行合理的空间配置,以公平、高效地满足居民对于公共服务的需求。传统设施布局方法主要基于静态人口分布进行自上而下的指标分配和空间

选址,以服务半径和千人指标等规范标准为依据落实设施数量等刚性要求,具有标准化、平均化的特征^[2]。新型城镇化背景下,传统方法由于缺少对居民实际需求的考量,难以指导设施精准落位,不能满足公共服务设施配置人本化、精准化的实践需求^[3-4]。如何通过多源数据分析和布局优化模型支撑科学的公共服务设施布局决策,成为相关研究关注的热点^[5]。

*基金项目:国家自然科学基金青年项目“基于居民时空行为网络建模的社区公共服务设施布局研究”(编号52008201);江苏省“双创博士”(编号JSSCBS20210046);自然资源部国土空间规划监测评估预警重点实验室开放课题“基于活动—设施协同的公共服务设施规划评估研究”(编号LMEE-KF2021007)资助。

数据增强设计（Data Augmented Design, DAD）强调以定量城市分析为驱动,通过数据分析、建模、预测等手段,为规划设计全过程提供支持工具,提高规划设计的科学性^[6]。以DAD理念为引导,通过整合多源时空数据改进布局优化模型,建立围绕布局优化分析全过程的规划支持系统,有望为实现公共服务设施的精准化布局提供新思路。因此,本文基于数据增强设计理念,梳理公共服务设施布局的关键因素,提出布局优化模型的精准化改进方向,构建基于优化模型的公共服务设施布局总体思路。在此基础上,结合规划实践需求,提出面向公共服务设施布局的可交互规划支持系统设计,辅助规划师进行设施空间布局规划决策。

1 布局优化思路

公共服务设施布局优化过程可分为因素分析、问题建模、模型求解和方案比选4个主要环节（见图1）。在因素分析阶段,针对特定的布局优化情景,结合上位规划、规范标准、居民诉求等信息,总结、归纳、挖掘公共服务设施布局优化需要考虑的因素。在问题建模阶段,将影响设施布局的各方面因素转换为布局优化模型的决策变量、优化目标、约束条件、需求权重等模型参数。在模型求解阶段,选择合适的智能优化算法进行布局优化模型求解,通过反复迭代调整寻优参数和优化模型的各项参数,计算出稳定收敛、符合条件的空间布局方案。在方案比选阶段,借助定量指标比较方案差别,根据决策经验进行综合研判,最终输出公共服务设施布局优化策略。

1.1 公共服务设施布局关键因素分析

公共服务设施的精准配置首先需要梳理设施布局考虑的关键因素,把握不同类型、不同导向设施布局问题的特点和关注重点。在区位理论、时间地理学等相关理论,以及社区生活圈等实践要求的基础上,本文将公共服务设施布局决策中需要考虑的关键因素总结为设施规划理念、设施服务供给、居民服务需求和布局空间条件4个方面（见表1）。

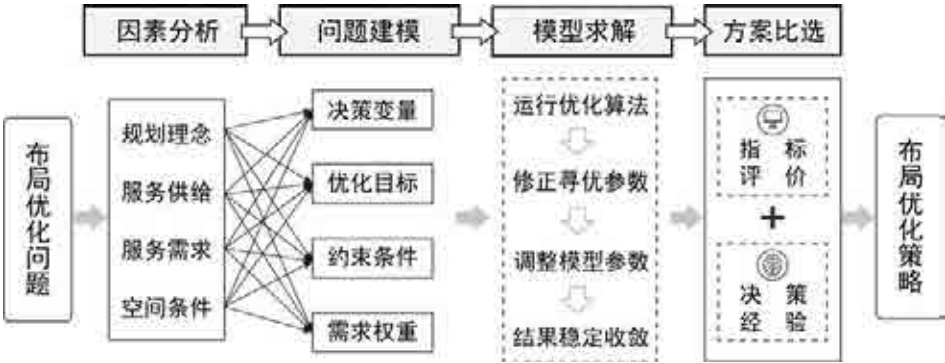


图1 公共服务设施布局优化问题求解总体思路
Fig.1 General idea of solving public service facilities allocation optimization problems

资料来源:笔者自绘。

表1 公共服务设施布局需考虑的关键因素
Tab.1 Key factors for the allocation of public service facilities

设施布局关注内容	关键因素	量化表达的可能形式
设施规划理念	效率性	居民获取服务的总移动成本、设施的服务覆盖范围 / 覆盖人数
	公平性	所有居民到最近设施的最远距离、居民到设施的可达性方差
	社会经济效益	财政支出、碳排放量
设施服务供给	数量	设施布局标准建议值、服务需求推算数量, 现状设施数量
	属性	设施类型、设施等级、设施规模、设施容量、服务半径、开放时间
居民服务需求	基本属性	分布、数量、性别、年龄段、收入、职业
	活动特征	活动点、活动路径、活动时长、移动半径、设施访问频率、设施选择偏好
布局空间条件	自然环境	地形、空气污染水平
	建成环境	交通网络、现有设施布局

资料来源:笔者自制。

(1) 设施规划理念方面,以人为本的公共服务设施布局强调设施布局的效率性、公平性和社会经济效益。其中,设施布局效率性一般通过居民到公共服务设施的总移动成本进行量化表征,成本越低,设施布局的效率性越好^[7]。设施布局公平性一般用居民就近获取服务的最大移动成本或成本差异来表征,最大成本或成本差异越小,设施布局的公平性越好^[8]。同时,公平性还体现在设施服务资源向弱势群体倾斜等举措上^[9]。近年来,设施布局的社会经济效益等也逐渐引起研究者的关注,合理的设施布局有助于提升设施利用率、减轻财政压力、引导居民的绿色健康行为^[10]。在实际规划场景中,公共服务设施布局通常需要综合考虑公平、效率、经济成本、生态环境等多维优化目标。

(2) 设施服务供给方面,需要重点考虑对设施数量和属性的布局优化。设施数量上,传统千人指标基于常住人口分布确定设施的配

置数量。然而,现有研究及规划实践表明根据实际服务需求推算合理的设施数量更符合公共资源精准配置的要求^[11]。设施属性上,不同类型、等级、规模的设施具有不同的服务能力和布局要求,但传统规划对此缺乏定量配置手段^[12]。例如,服务能力方面,社区卫生服务站、三甲医院等不同等级的设施具有不同的医疗水平和服务范围。医疗设施布局不仅强调各等级设施的总覆盖范围最大化以保障设施配置效率,也关注大型综合医院的布局均衡性以保证服务质量的空间公平性^[13]。布局要求方面,在布局垃圾站等邻避设施时,既要考虑设施与居民点的距离上限以降低运输成本,还要考虑距离下限以减少设施对居民的不良影响^[14]。而对于学校、公园等非邻避设施,则将提高设施的空间可达性作为设施布局的主要目标。

(3) 设施供给与居民需求的精准匹配是设施布局的重要目标,因此准确识别居民的共

性需求和不同群体的差异化需求是设施布局优化的核心^[15]。传统的设施布局分析方法利用居民点分布及其人口规模粗略估算需求点的设施服务需求,较少考虑不同群体对公共服务需求的差异。引入性别、年龄、收入等经济社会属性将居民划分为不同群体,分析不同群体之间的设施偏好和服务需求差异,可以提出公共服务设施差异化供给策略^[16]。手机信令、公交刷卡等多源时空数据的广泛应用,为动态感知居民活动与设施使用情况提供可能。利用空间聚类、复杂网络分析等方法挖掘居民的时空行为特征,可以更精准地刻画居民与设施的真实交互关系,提炼居民使用设施的时空规律,从而指导公共服务设施的精准化配置^[17]。

(4) 设施布局的空间条件也是设施优化布局中需要考虑的重要因素。例如,自然环境条件方面,山区复杂的地形会对居民出行方式和出行能力造成影响^[18]。建成环境条件方面,城市的道路与交通建设决定了城市空间网络的连接形态,进而决定了公共服务设施的空间可达性。此外,现有设施的布局也会影响新增设施的布局策略^[19]。

1.2 公共服务设施布局优化问题建模

区位分配模型是公共服务设施布局优化研究中应用最广,也是解决多目标优化、多条件约束的复杂设施布局问题最有效的方法之一^[20]。区位分配模型的一般思路是首先筛选设施布局的候选区位集合;其次根据设施布局要求,归纳布局优化目标和约束条件;最后利用智能优化算法从候选区位集合中求解出可在最大程度上满足要求的设施布局方案。经典布局优化模型如P-中位 (P-Media) 模型、P-中心 (P-Center) 模型、集合覆盖 (LSCP) 模型和最大覆盖 (MCLP) 模型,对设施供需匹配关系、空间环境制约等现实条件考虑较为简单,难以落实设施资源精准配置的目标。因此,精准化的公共服务设施配置需要在构建布局优化模型时进一步考虑设施间属性差异、居民需求偏好等因素。基于前文对公共服务设施布局关键因素的解读,本节从设施规划目标多元

表2 公共服务设施布局优化模型改进方向
Tab.2 The improvement direction of optimization models for allocating public service facilities

关键因素 优化方向	改进思路	应用场景
设施规划目标多元化	(1) 先验法, 根据决策偏好将多目标优化问题转为复合单目标优化问题; (2) 后验法, 求解近似最优解后再根据决策偏好选择满意方案	(1) 目标优先级明确的布局规划; (2) 目标优先顺序或权重分配不明确的布局规划
设施服务供给差异化	考虑服务内容、设施服务半径、服务容量等设施属性差异等对布局的影响	医疗、避难场所等多层级公共服务设施布局规划
居民服务需求精准化	(1) 行为活动规律分析; (2) 动态需求预测	精准化、前瞻性的设施布局规划
布局空间条件精细化	(1) 空间建模精细化, 准确测度设施空间可达性与居民出行成本; (2) 针对特定的设施布局决策情景综合考虑空间环境因素的制约	(1) 微观尺度的社区公共服务设施布局规划; (2) 考虑高层建筑物威胁的避难场所布局等

资料来源:笔者自制。

化、设施服务供给差异化、居民服务需求精准化和布局空间条件精细化4个方面提出公共服务设施布局优化模型的改进思路,并指出相关应用场景 (见表2)。

(1) 在优化目标方面,经典布局优化模型主要关注单一目标导向下的设施布局,难以平衡规划实践中的多元规划理念和政策导向。精准化的布局优化模型需要建立多元目标体系,综合考虑设施布局的多维效益。当规划的目标导向存在矛盾、冲突时,多目标优化模型可以通过对多个目标函数的折中处理寻求到合适的布局方案。具体而言,建立多目标体系的方法大致分为先验法和后验法两类^[21]。先验法通过分层序列、线性加权等方法将多目标优化问题转为复合的单目标优化问题,适用于有决策经验和专家知识来支持多目标权重分配的决策场景。后验法中各优化目标是相对独立的关系,通过特定的多目标算法来寻找模型的近似最优解,再根据决策偏好从中选择满意方案,适用于缺少足够信息支持优化目标排序或权重分配的决策场景。

(2) 在服务供给方面,经典布局优化模型不考虑设施的容量或服务水平差异,难以适应实际公共服务设施布局时综合考量设施区位和规模等级的要求。面向不同类型、不同等级设施的布局优化模型需要对设施的服务能力进行差异化表达,以提高设施资源配置结果的精准度。特别是医疗、避难场所等多层级设施,

不同等级设施的服务内容有重叠,但服务水平、服务容量等存在显著差异,布局优化既要实现数量均衡,也要保证质量均衡^[22]。

(3) 在服务需求方面,经典布局优化模型中居民对公共服务的需求被简化为对最近设施的访问需求,对居民的行为特征和设施使用偏好的考虑不足。重力原则模拟居民对设施的概率访问,是布局优化模型的重要改进形式。而借助多源时空大数据分析居民的行为活动规律,获取不同个体和群体的设施使用特征,精准估计居民时空服务需求并将其转换为模型参数,是布局优化模型精准化改进的核心内容。此外,居民的活动空间及对公共服务设施的需求通常是一个动态变化的过程,未来研究还需要关注对居民设施服务需求预测和动态模拟^[23]。

(4) 在布局空间条件方面,精准化的布局优化模型需要进一步提高空间建模能力,综合考虑空间环境因素的影响。传统的设施布局优化模型借助GIS技术测算网络距离或到达时长,近似表征居民访问设施的出行成本。基于时空大数据和互联网开放数据,精准化的布局优化模型能够提取居民动态移动轨迹、模拟动态交通运行情况,更准确、真实地测度公共服务的空间可达性。针对特定的布局优化决策情景,模型构建还需要考虑空气质量、周边建筑物高度等空间环境因素的制约^[24-25]。

1.3 公共服务设施布局优化模型求解

ArcGIS、SuperMap等GIS专业软件为公共服务设施布局优化模型的求解提供了可视化的工具支持。以ArcGIS为例,其叠置分析、要素转点工具可用于公共服务设施的候选区位筛选与候选点生成,网络分析拓展模块下的OD成本矩阵工具可用于交通权重网络的构建,位置分配分析工具可支持P-中位模型、P-中心模型等经典区位分配模型的求解,服务区分析工具可支持设施的服务覆盖范围分析。但目前的空间分析软件中内置的区位分配模型决策建模能力有限,只能解决一些典型布局优化问题,难以满足实际规划中差异化的布局要求。已有的研究更多是将GIS用于候选区位分析、数据可视化等步骤中^[26]。

考虑了多目标导向和复杂时空约束条件的设施布局优化模型往往是非线性规划问题,构建稳健性强、寻优效率高、规划领域知识驱动和优化算法成为获取科学布局优化方案的必要手段^[27]。大量研究表明启发式算法,即智能优化算法在解决复杂设施布局优化问题上具有显著优势,尤其是蚁群算法、粒子群算法等群智能算法因其出色的多目标寻优能力,在设施选址规划决策中应用广泛。如蚁群算法,其基本原理是通过模仿蚁群觅食行为,建立路径搜索与信息素更新机制实现群体间的信息传递,指导蚁群寻找全局最优解。单目标蚁群算法中信息素带来的正反馈会将蚂蚁汇聚至最优路径,而多目标蚁群优化算法在执行过程中会保存当前得到的近似最优解,并利用这些经验引导后续的搜索方向,最终得到一组近似最优解^[28]。在算法实践上,LINGO等通用优化求解器以及NumPy、SciPy等科学计算库为复杂布局优化模型求解提供了工具支持。

求解公共服务设施布局模型的过程是一个反复迭代、在抽象性与可解性之间不断取舍的过程。考虑的设施布局因素过于全面精细可能导致模型难以求解,甚至无法收敛的情况发生。根据优化算法的实际表现结果,有时需要通过降维、轻量化等手段简化模型结构或减小问题规模,使布局优化模型能够在合理的时间

内得到可接受的稳定收敛结果。降维方面,布局优化模型考虑的诸多因素之间本身存在着复杂的叠加替代作用,简化模型参数能够一定程度上避免模型过早停滞或无法收敛的情况。例如建设成本参数一定程度上可由设施数量和规模等级的约束来代替。将多目标问题进行拆解,通过多步优化实现模型求解也可以有效降低优化模型的复杂度^[29]。此外,对需求点、设施点的聚类合并能够减小OD矩阵的规模,使模型能在合理的时间范围内得到满足要求的近似最优解,便于模型在实际规划场景中推广和使用。例如,在生活圈设施布局中,将居民个体需求汇聚至社区网格单元,能够有效减少需求点数量,提升模型求解效率。

综上所述,精准化的设施布局优化需要关注多元目标导向、设施供需匹配关系和复杂约束条件对设施布局的影响。而在技术实践上,需要采用数据挖掘方法实现参数提取,采用智能优化算法实现模型求解,具有较高的技术门槛。因此,有必要构建面向公共服务设施布局的规划支持系统作为技术支撑,以促进模型方法在规划实践中的推广应用。

2 规划支持系统设计

规划支持系统为解决复杂公共服务设施布局优化问题搭建了分析问题、建立模型、模拟决策过程和方案的环境。以公共服务设施布局优化思路为理论和方法依据,本文进一步设计面向公共服务设施布局的规划支持系统,为设施布局优化提供自定义建模、智能化求解、定量化评价的工具支持。

2.1 系统功能需求

(1) 时空底座信息的动态接入

一般规划支持系统需要的城市运行数据以静态面板数据为主,而面向公共服务设施布局的规划支持系统还需要接入时空行为数据、开放爬虫数据等动态数据,以更好地反映居民需求和现有设施布局情况。除了用户自行上传相关数据,规划支持系统也应支持与其他信息平台、运营商平台的对接,提供数据调用、数据

抓取的脚本,以实现数据资源的自动更新。

(2) 设施布局优化的全流程支持

针对公共服务设施布局优化中问题建模、模型求解、方案比选各个环节设置独立的功能模块。每个模块封装了针对该环节的模型和算法,为专业分析提供技术支持。为使通用的布局优化模型适用于复杂多样的实际问题,系统应支持自定义参数功能以实现针对具体情景进行设施布局优化。例如,问题建模模块应支持模型优化目标数量和权重、约束条件内容和阈值、备选区位来源等参数的自定义设置。

(3) 设施布局规划的多方参与

公共服务设施布局规划需要让规划管理者、城市居民、开发商等多元主体参与到规划过程中来,从不同参与者提供的信息中获取知识,增进政策制定的有效性与科学性^[30]。通过对不同用户开放不同的权限,规划支持系统能够为促进规划决策多方参与、规划接受政府与社会公共监督、社会公众理解城乡规划工作提供新的途径。

2.2 系统技术架构

面向公共服务设施布局优化的规划支持系统总体技术架构包含数据层、数据管理层、模型层和应用层(见图2)。

(1) 数据层

系统应用的数据包括支撑公共服务设施布局优化支持分析的原始数据和由平台计算运行产出的分析数据。根据数据的实时性和标准化程度,原始数据可分为基础城市运行数据、时空轨迹数据和其他支持数据3类。基础城市运行数据用于表征城市建设与经济社会发展现状,包括土地利用、道路网络、POI分布等基础地理信息数据和人口规模、人口结构等社会经济统计数据。时空轨迹数据如手机信令数据、公交刷卡数据、悬浮车移动轨迹等,用于表征城市居民日常活动时空特征,进而识别居民群体差异化的服务需求。其他支持数据包括一系列难以标准化接入,但对公共设施布局规划有价值的信息,如依托爬虫技术采集的打卡评论数据、针对性的调研数据等。基础城市运行

数据由规划部门负责定期更新,而时空轨迹数据等应用性动态数据更新时间则较为灵活,可以根据规划业务需求进行动态更新。

(2) 数据管理层

管理层通过对系统数据集的处理和更新维护,形成公共服务设施布局优化所需的专题数据库。数据处理的主要步骤包括数据抽取、数据清洗、数据转换和数据格式化^[31],数据资源维护则包括数据质检和数据更新两步。通过数据处理,多源异构的时空数据将被转换为模型层支持的标准格式数据以支持公共服务设施布局优化分析。质检通过的数据将汇总加载至专题数据库,其中地理空间数据库和时空行为数据库存储原始数据的初步处理结果,以备后续分析中调用;供需分析数据库存储为确定模型参数进行的数理统计、空间聚类、OD矩阵构建等前置分析结果;设施布局数据库存储设施布局方案的空间信息以及相关的方案元数据、指标评价结果、评估报告等内容。

(3) 模型层

模型层为公共服务设施布局优化涉及的各个环节提供模型和算法支持,充分利用智能优化算法、数据挖掘算法等前沿技术来解决复杂情景下的布局优化问题。在问题建模环节,系统提供的服务需求分析模型能够为基于时空大数据的可达性测度和居民行为谱系挖掘提供支持。在模型求解环节,系统为设施布局优化分析提供成熟的优化算法和开放的参数

接口,便于规划师根据具体需要调整参数,建立符合规划需求的布局优化模型,并借助系统平台实现模型求解。在方案比选环节,根据规划政策导向和现实需求,系统提供服务覆盖度、公平性、财政投入等各项布局效益评价指标的计算模型,并输出设施布局评价报告,为规划师和管理者进行设施布局决策提供量化参考。

(4) 应用层

应用层是规划支持系统的前端,支持用户的在线交互行为并展示后台分析结果。基于平台整合的多源信息和GIS空间分析与可视化技术,系统向用户提供信息查询与可视化功能,例如分析单元内的人口规模、人口结构点选查询,或是居民获取服务的路径规划模拟与可视化。系统的核心功能则是为用户完成设施布局优化与评估工作提供技术支持,用户可以在系统中完成需求分析、设施布局优化和方案评估的整体规划流程。此外,系统还提供了面向公众的方案公示和群众意见反馈模块,以便及时根据居民需求对规划进行调整,切实践行以人为本的规划理念。

2.3 系统应用

根据系统架构和分析流程,笔者设计开发了面向公共服务设施布局优化的规划支持系统,主要功能界面如图3所示。以社区文体中心布局为例,利用该系统可以实现居民需求分

析、布局优化求解和布局方案对比的功能,提升布局规划的效率性和科学性(见图4)。首先根据文体中心的布局要求,筛选城市主干道进行等间隔采样作为设施备选点,保证设施的交通便利性。利用手机信令月度出行记录,在人口数量分布的基础上根据人群的社区驻留时间修正需求点的权重值,生成备选点与居民需求点之间的OD矩阵。基于OD矩阵进行设施布局优化,设置设施数量、服务容量限制等信息,使布局方案满足实际规划需求,保证设施布局的效率性和公平性。在布局优化模型计算的基础上,生成方案对比报告,量化对比不同方案的优劣程度,帮助规划师选择合适的方案。在设施道路投影点优化的基础上,综合考虑周边设施等因素,将实际设施选址位置选在距道路一定距离的缓冲环内。

3 总结与讨论

公共服务设施布局优化是人民城市建设的重要组成部分,对促进社会公平正义、提升人民生活质量和幸福感具有重要意义。本文面向设施布局科学化、人本化、精准化的发展需求,基于数据增强设计理念,提出公共服务设施布局优化的总体思路,探讨面向公共服务设施布局优化的规划支持系统技术框架设计。笔者所提出的思路和框架为新数据环境下的定量规划分析提供一条“从理论到模型”“从方法到工具”的可行路径参考,对城市公共设施



图2 公共服务设施布局规划支持系统技术架构

Fig.2 The technical framework of planning support system for allocating public service facilities

资料来源:笔者自绘。



图3 规划支持系统主要功能界面

Fig.3 Main function interface of planning support system

资料来源:笔者自绘。



图4 设施布局优化流程示意图
Fig.4 Flow diagram of facilities allocation optimization

资料来源:笔者自绘。

专项规划、社区生活圈设施精准化布局等实践工作具有一定指导意义。

未来需要进一步研究的方向主要有3方面。一是居民行为特征的挖掘。利用多源时空大数据挖掘居民行为特征,提取居民与设施的交互规律,提高居民需求建模真实性,是布局优化模型设计改进需要深入探索的问题。二是规划支持系统的研发建设。利用规划支持系统平台开展面向不同地区、不同等级、不同类型设施的布局规划实践,以验证本文提出的布局优化模型和规划支持系统设计思路的有效性。三是完善规划分析成果对规划建设的决策支持机制。本文没有详细讨论数据驱动的分析成果该如何支持人本驱动的设施规划建设活动,有待未来进一步论证^[32]。

参考文献 References

[1] 刘雪娇. 用途混合视角下的社区公共服务设施精细化规划策略探讨[J]. 城市发展研究, 2021, 28 (11): 31-37.
LIU Xuejiao. Discussion on refined planning strategy of community public service facilities from the perspective of mixed use[J]. Urban Development Studies, 2021, 28(11): 31-37.

[2] 庄少勤, 赵星烁, 李晨源. 国土空间规划的维度和温度[J]. 城市规划, 2020, 44 (1): 9-13, 23.

ZHUANG Shaoqin, ZHAO Xingshuo, LI Chenyuan. Dimension and temperature of the spatial planning[J]. City Planning Review, 2020, 44(1): 9-13, 23.

[3] 周岱霖, 黄慧明. 供需关联视角下的社区生活圈服务设施配置研究——以广州为例[J]. 城市发展研究, 2019, 26 (12): 1-5, 18.
ZHOU Dailin, HUANG Huiming. Community life cycle public facility configuration study based on demand-supply correlation: a case study of Guangzhou[J]. Urban Development Studies, 2019, 26(12): 1-5, 18.

[4] 蔡爱玲, 陶卓霖, 王钧, 等. 城市新区教育设施可达性评价与空间优化——以深圳市坪山区为例[J]. 地域研究与开发, 2021, 40 (1): 96-102.
CAI Ailing, TAO Zhuolin, WANG Jun, et al. Accessibility assessment and spatial optimization of educational facilities in newly urbanized areas: a case of Pingshan District, Shenzhen City[J]. Areal Research and Development, 2021, 40(1): 96-102.

[5] 黄晓春, 何莲娜, 程辉, 等. 城乡规划公共设施优化布置及选址模型建设与应用[J]. 建设科技, 2020 (10): 47-50.
HUANG Xiaochun, HE Lianna, CHENG Hui, et al. Construction and application of configuration optimization and site selection model for public facilities in urban and rural planning[J]. Construction Science and Technology, 2020(10): 47-50.

[6] 龙瀛, 沈尧. 数据增强设计——新数据环境下的规划设计回应与改变[J]. 上海城市规划, 2015 (2): 81-87.
LONG Ying, SHEN Yao. Data Augmented Design: urban planning and design in the new data environment[J]. Shanghai Urban Planning Review, 2015(2): 81-87.

[7] 刘静, 朱青. 城市公共服务设施布局的均衡性探究——以北京市城六区医疗设施为例[J]. 城市发展研究, 2016, 23 (5): 6-11.
LIU Jing, ZHU Qing. Research of equalizing layout of public service facilities: take health facilities of central six districts of Beijing for example[J]. Urban Development Studies, 2016, 23(5): 6-11.

[8] WANG F, TANG Q. Planning toward equal accessibility to services: a quadratic programming

approach[J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 2013, 40(2): 195-212.

[9] 许婧雪, 张文忠, 湛丽, 等. 基于弱势群体需求的北京服务设施可达性集成研究[J]. 人文地理, 2019, 34 (2): 64-71.
XU Jingxue, ZHANG Wenzhong, CHEN Li, et al. Research on the integration of Beijing service facilities accessibility based on the needs of disadvantaged groups[J]. Human Geography, 2019, 34(2): 64-71.

[10] TU W, LI Q, FANG Z, et al. Optimizing the locations of electric taxi charging stations: a spatial-temporal demand coverage approach[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2016, 65: 172-189.

[11] 程敏, 崔晓. 基于多目标改进免疫算法和GIS的养老机构空间配置优化研究——以上海市虹口区为例[J]. 地理科学, 2018, 38 (12): 2049-2057.
CHENG Min, CUI Xiao. Spatial optimization configuration of the residential care homes based on the multi-objective improved immune algorithm and GIS: a case study of Hongkou District in Shanghai[J]. Scientia Geographica Sinica, 2018, 38(12): 2049-2057.

[12] 陈煜婷, 张惠珍. 双层级医疗设施选址问题及禁忌搜索算法[J]. 运筹与管理, 2021, 30 (9): 56-63.
CHEN Yuting, ZHANG Huizhen. Two-level medical facility location problem and tabu search algorithm[J]. Operations Research and Management Science, 2021, 30(9): 56-63.

[13] 宋正娜. 竞争型公共设施区位决策——概念、选址原则及模型构建[J]. 地理科学, 2016, 36 (10): 1485-1494.
SONG Zhengna. Competitive public facilities location decision: concept, location selection principle and model construction[J]. Scientia Geographica Sinica, 2016, 36(10): 1485-1494.

[14] 程顺祺, 祁新华, 金星星, 等. 国内外公共服务设施空间布局研究进展[J]. 热带地理, 2016, 36 (1): 122-131.
CHENG Shunqi, QI Xinhua, JIN Xingxing, et al. Progress in domestic and foreign study on spatial

- layout of public service facilities[J]. Tropical Geography, 2016, 36(1): 122-131.
- [15] 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[J].地理研究, 2020, 39 (7): 1580-1591.
ZHANG Shanqi, ZHEN Feng, QIN Xiao, et al. The conceptual model and technical framework of participatory sensing and computing for urban community planning[J]. Geographical Research, 2020, 39(7): 1580-1591.
- [16] 刘倩.居民需求视角下社区生活圈配套设施优化策略研究——以西安市雁塔区为例[D].西安:西北大学, 2019.
LIU Qian. Research on optimization strategies of supporting facilities in community life circle from the perspective of residents' demand: a case study of Yanta District in Xi'an City[D]. Xi'an: Northwest University, 2019.
- [17] 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[J].地理科学进展, 2021, 40 (4): 580-596.
ZOU Sicong, ZHANG Shanqi, ZHEN Feng. Measurement of community daily activity space and influencing factors of vitality based on residents' spatiotemporal behavior: taking Shazhou and Nanyuan streets in Nanjing as examples[J]. Progress in Geography, 2021, 40(4): 580-596.
- [18] 戴军,苑惠丽,马颖忆.西部乡村基础教育设施“场势效应”评价与空间优化——以海东市蒲台乡为例[J].农业现代化研究, 2019, 40 (4): 692-701.
DAI Jun, YUAN Huili, MA Yingyi. Spatial optimization of field intensity effect of rural basic education infrastructure in rural Western China: a case study of Putai Township, Haidong, Qinghai[J]. Research of Agricultural Modernization, 2019, 40(4): 692-701.
- [19] ZHANG W, CAO K, LIU S, et al. A multi-objective optimization approach for health-care facility location-allocation problems in highly developed cities such as Hong Kong[J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2016, 59: 220-230.
- [20] 宋正娜,颜庭干,刘婷,等.新重力P中值模型及其在城市综合医院区位决策中的实证检验——以无锡市为例[J].地理科学进展, 2016, 35 (4): 420-430.
SONG Zhengna, YAN Tinggan, LIU Ting, et al. A new gravity P-median model and empirical test in urban comprehensive hospital location decision making: take Wuxi as an example[J]. Progress in Geography, 2016, 35(4): 420-430.
- [21] 陈刚,付江月.兼顾公平与效率的多目标应急物资分配问题研究[J].管理学报, 2018, 15 (3): 459-466.
CHEN Gang, FU Jiangyue. Multi-objective emergency resources allocation with fairness and efficiency consideration[J]. Chinese Journal of Management, 2018, 15(3): 459-466.
- [22] HAJIPOUR V, FATTAHI P, TAVANA M, et al. Multi-objective multi-layer congested facility location-allocation problem optimization with Pareto-based meta-heuristics[J]. Applied Mathematical Modelling, 2016, 40(7-8): 4948-4969.
- [23] 陶卓霖,程杨,戴特奇,等.公共服务设施布局优化模型研究进展与展望[J].城市规划, 2019, 43 (8): 60-68, 88.
TAO Zhuolin, CHENG Yang, DAI Teqi, et al. Research progress and prospect of public service facilities layout optimization models[J]. City Planning Review, 2019, 43(8): 60-68, 88.
- [24] 杜浩国,林旭川,张方浩,等.基于蚁群优化算法的应急避难场所选址模型研究[J].自然灾害学报, 2021, 30 (2): 89-101.
DU Haoguo, LIN Xuchuan, ZHANG Fanghao, et al. Study on emergency shelter location model based on ant colony optimization algorithm[J]. Journal of Natural Disasters, 2021, 30(2): 89-101.
- [25] NEEMA M N, OHGAI A. Multi-objective location modeling of urban parks and open spaces: continuous optimization[J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2010, 34(5): 359-376.
- [26] 李金泽,唐芃,龙灏.基于多源数据的城市公共应急服务设施选址模型研究[J].建筑科学, 2021, 37 (12): 62-70, 168.
LI Jinze, TANG Peng, LONG Hao. Research on the location selection model of emergency service facilities based on multi-source data[J]. Building Science, 2021, 37(12): 62-70, 168.
- [27] 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[J].测绘通报, 2020 (2): 9-16.
MA Xiaoya, LIU Yuangang, ZHAO Xiang. The recent progress and expectation of research on model for urban public service facilities location optimization problems[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2020(2): 9-16.
- [28] 东熠,刘景发,刘文杰.基于多目标蚁群算法的主题爬虫策略[J].计算机工程, 2020, 46 (9): 274-282.
DONG Yi, LIU Jingfa, LIU Wenjie. Focused crawler strategy based on multi-objective ant colony algorithm[J]. Computer Engineering, 2020, 46(9): 274-282.
- [29] 陈志芬,李俊伟,卢方欣,等.城市消防站选址布局优化及对雄安新区的启示[J].中国安全生产科学技术, 2018, 14 (9): 12-17.
CHEN Zhifen, LI Junwei, LU Fangxin, et al. Optimizing location of fire stations and it's enlightenments for Xiongan New Area[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2018, 14(9): 12-17.
- [30] 蒋华雄.西方规划支持系统的实施困境、解决路径及其启示[JOL].国际城市规划, 2022-04-20]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5583.TU.20200916.1423.002.html>.
- [31] 李哲睿,甄峰,张姗姗,等.面向国土空间安全的工业园区风险监测评估系统设计思路[J].自然资源学报, 2021, 36 (9): 2437-2448.
LI Zherui, ZHEN Feng, ZHANG Shanqi, et al. Design idea of risk monitoring and evaluation system for industrial park oriented to territorial spatial safety[J]. Journal of Natural Resources, 2021, 36(9): 2437-2448.
- [32] 秦萧,甄峰,魏宗财.未来城市研究范式探讨——数据驱动亦或人本驱动[J].地理科学, 2019, 39 (1): 31-40.
QIN Xiao, ZHEN Feng, WEI Zongcai. The discussion of urban research in the future: data driven or human-oriented driven[J]. Scientia Geographica Sinica, 2019, 39(1): 31-40.