

多目标选址优化模型研究综述

宋 杨 哈弗得

东华大学 上海 200051

摘要: 本文系统整理多目标选址优化模型的研究背景、主要类型和求解算法,总结各种模型的适用场合和应用限制,剖析目前研究中普遍存在的共性问题,探究模型优化和实际应用的发展趋向,给以后有关研究的深入和工程实践的落实赋予全面的理论参照和思路启迪,助力多目标选址决策朝更加科学、高效、契合实际的方向前进。

关键词: 多目标优化; 选址模型; 求解算法; 帕累托前沿

引言

随着城市化加速和供应链完善,多目标选址优化模型应运而生并成为研究热点,该模型以统筹多重目标、实现整体最优为宗旨,通过量化目标和约束来建立数学模型求解最优方案,已经广泛应用于物流、市政等领域,并且随着运筹学和人工智能的交叉融合而不断改进,但是仍然存在目标量化难、约束复杂等问题,本文基于国内外研究成果,对它的核心类型、求解方法和应用实践进行系统的综述,分析其不足并展望未来,以厘清研究脉络,为后续理论创新和实践应用提供支撑,推动选址决策向多目标协同最优转变。

一、多目标选址优化模型的核心理论基础

(一) 多目标优化的核心内涵

多目标优化(Multi-Objective Optimization, MOO)是相对于单目标优化而言的一类优化问题,它具有两个或者两个以上相互冲突、不能同时达到最优的目标函数,各个目标之间没有绝对的优先级排序,需要通过权衡协调来实现整体最优。多目标优化没有唯一的最优解,而是存在一组非支配解构成帕累托前沿,前沿上任意解在不损害其他目标性能的前提下,不能进一步提高某一目标性能,选址决策需要根据实际需求从中选择最优方案。多目标优化的核心要素有目标函数、决策变量、约束条件,目标函数是选址优化的主要指标,决策变量是影响选址结果的因素,约束条件是选址需要遵守的限制因素,三者相互制约,共同构成多目标选址优化模型的基础框架^[1]。

(二) 多目标选址优化的核心特征

根据选址决策的特殊性以及多目标优化的核心内涵,多目标选址优化模型有三个主要特点,即目标冲突性、

约束复杂性、应用针对性。目标冲突性是指各种目标之间存在着相互制约的关系,降低建设运营成本可以缩小服务覆盖范围,但是会增大成本,提高响应速度会增加成本,这是其主要难点;约束复杂性是指选址要考虑自然、经济、社会、政策等各方面的约束,部分约束不能量化,增加了模型的构建难度;应用针对性是指不同领域选址需求不同,目标函数和约束条件要符合具体场景,应急设施选址关注响应时间最短,物流选址关注成本和效率平衡,不存在通用模型。

二、多目标选址优化模型的主要类型及应用

(一) 物流配送中心多目标选址优化模型

物流配送中心作为供应链核心节点,选址决策对配送效率、运营成本、客户服务质量有直接影响,是多目标选址优化模型应用最广泛的领域之一,该类模型的核心目标具有明显的经济性、效率性导向,主要包括成本目标、效率目标和可持续目标;约束条件主要有土地可用性约束、配送能力约束、交通便利性约束和服务半径约束;在实践中,模型目标和约束要结合企业的规模和区域特点进行调整,大型连锁企业区域配送中心侧重于优化运输成本和覆盖范围,采用多中心模式,城市末端配送中心侧重于优化响应时间并兼顾土地成本和交通管制,常用“成本最小化+配送时间最短化+碳排放最低化”的目标组合实现双赢,集合覆盖模型和线性加权法的结合思路也广泛应用于此,先用集合覆盖模型保证服务基本可达性,再用加权和法平衡多目标^[2]。

(二) 公共服务设施多目标选址优化模型

公共服务设施选址决策的核心是提高公共服务的公平性、可及性,兼顾经济性、社会效益,与物流配送类模型的经济性导向不同,其主要目标包括服务公平性目标、服务可及性目标、成本目标、资源利用率目标;约

束条件主要是人口分布约束、服务容量约束、规划约束和环境约束；该类模型典型应用为城市社区医院选址，核心目标是“服务公平性最大化+居民就医时间最短化+建设运营成本最小化”，约束条件包括人口密度、交通便利性等以避免服务重叠或盲区，学校选址还要考虑学区划分和教育资源均衡，公共服务设施选址中服务公平性、可及性权重一般高于成本，体现公益属性，集合覆盖模型也常用于此类选址以保证服务全覆盖。

（三）应急设施多目标选址优化模型

应急设施选址决策的核心是提高应急响应能力，最大限度地减少突发事件造成的人员伤亡和财产损失，具有很强的时效性和安全性导向，其核心目标主要有应急响应时间最短化、应急覆盖范围最大化、应急资源利用率最大化、建设运营成本最小化；其约束条件具有很强的特殊性，主要包含应急响应时间约束、应急资源约束、地理环境约束、交通可达性约束；该类模型的典型应用是城市消防站选址，核心目标为“应急响应时间最短化+应急覆盖范围最大化+成本最小化”，约束条件包括响应时间阈值、服务半径、消防资源配置等，可全面提升城市应急救援能力，应急物资储备库选址还要考虑物资运输的便利性和安全性，且两阶段法在此类选址中应用广泛，第一阶段用集合覆盖模型生成满足基本覆盖要求的候选方案，第二阶段用多目标决策方法筛选最优方案。

（四）能源设施多目标选址优化模型

能源设施选址决策的核心是平衡能源供应效率、安全性、可持续性，兼顾经济性和环境影响，其核心目标有能源供应效率目标、安全性目标、环境目标、成本目标；约束条件有能源需求约束、安全距离约束、环境约束、土地资源约束、电网、交通等配套设施约束；典型应用为新能源充电桩选址，核心目标是“能源供应效率最大化+覆盖范围最大化+环境影响最小化”，约束条件包括电动汽车保有量、交通便利性、电网接入条件等，可推动新能源汽车产业发展和绿色能源普及，光伏电站选址还要考虑光照条件、土地利用效率等，以实现光伏能源高效利用^[3]。

三、多目标选址优化模型的求解算法

（一）传统求解算法

传统求解算法的核心思路就是将多目标优化问题转化为单目标优化问题，通过量化目标权重、约束处理等方式求解单一最优解，常用的算法主要有加权和法、约束法、理想点法等，加权和法是最基础常用的算法，通

过给各个目标函数赋予权重并线性组合成综合目标函数来求解，原理简单、计算方便，适用于目标函数线性、约束条件简单的问题，但是权重确定主观性强，难以处理非线性和目标冲突严重的问题，实际应用中常采用专家打分、层次分析法（AHP）、熵权法等降低主观性；约束法把一个目标作为主要优化目标，其余目标转化为约束条件并设定阈值求解，能有效处理目标冲突严重的问题，帕累托最优解有效性强，但是约束阈值设置主观、计算效率低，适合目标数量较少的问题；理想点法先求解各单目标最优解，用候选解与理想点的距离来筛选最优解，不需要设置权重、客观性强，但是对目标函数线性性要求高，目标冲突严重时理想点可能不在可行域内，适用于目标函数线性、约束条件简单的小规模问题^[4]。

（二）智能优化算法

随着多目标选址优化问题越来越复杂，传统的求解算法的局限性越来越明显，智能优化算法由于具有很强的全局搜索能力、鲁棒性和适应性，成为主流，它们大多基于自然进化规律或者人类智能，可以同时搜索出多个帕累托最优解，有效地解决了目标复杂、约束多样的大规模选址问题，常用的算法有遗传算法、粒子群优化算法、模拟退火算法、蚁群算法等。遗传算法是基于生物进化理论，把候选方案编码成染色体，通过种群迭代搜索最优解，全局搜索能力强、适用范围广，但是计算复杂度高、容易早熟收敛；粒子群优化算法模拟鸟觅食行为，以粒子为候选方案，原理简单、计算高效、收敛快，但是局部搜索能力弱、容易陷入局部最优，常与遗传算法结合使用；模拟退火算法基于固体退火原理，允许接受较差的解来避免局部最优，局部搜索能力强，但是全局搜索能力弱、收敛慢；蚁群算法模拟蚂蚁觅食行为，通过信息素引导搜索，鲁棒性强、求解多样性好，但是计算复杂度高、收敛慢，适用于路径优化类选址问题。

（三）算法对比与选择原则

传统求解算法和智能优化算法各有优劣，适用场景也大相径庭，其中传统算法计算简便、原理简单，但主观性强、鲁棒性差，适合于目标函数线性、约束条件简单、规模较小的多目标选址问题，而智能优化算法则具有更强的全局搜索能力和鲁棒性，能够很好地处理非线性、多约束、大规模的多目标选址问题，但是计算复杂度高、收敛速度不同，需要根据实际问题来调整相关参数；多目标选址优化模型的算法选择要遵循三大原则，即贴合模型复杂度，目标函数简单、约束条件少的问题

用传统算法，目标复杂、约束多样的问题优先用智能优化算法，兼顾计算效率和求解精度，大规模选址问题用收敛速度快的粒子群优化算法，对求解精度要求高的问题用遗传算法、粒子群优化算法，根据应用场景选择合适的算法，近年来，深度强化学习、图神经网络等新技术也开始应用于多目标选址求解，进一步提高了算法的自适应能力和求解精度^[5]。

四、多目标选址优化模型研究存在的问题

(一) 目标函数量化难度大，权重设置主观性强

多目标选址优化模型的核心就是建立和量化目标函数，但是部分目标函数为定性目标，难以用具体的数值量化，需要采用模糊评价、专家打分等方式将其转化为定量指标，转化过程主观性强，影响模型的科学性和客观性。同时目标权重的确定是重要的环节，无论传统算法还是智能优化算法，权重大多依靠专家的经验 and 主观判断，不同的设置会导致求解结果存在较大差异，难以形成统一的标准，尤其是在目标数量多、冲突严重的情况下，权重的合理性很难保证，进而影响选址决策的科学性。目前元学习驱动的自适应权重分配机制虽然有所尝试，但是还没有被广泛地应用到实际的选址场景中。

(二) 约束条件考虑不全面，贴合实际性不足

现有多目标选址优化模型的约束条件大多集中于土地、交通、成本等显性因素，对政策法规、社会文化、生态环境等隐性约束考虑不全面，造成模型与实际场景脱节。部分模型没有考虑城市规划调整、土地政策变化等动态约束，选址方案很难落地，没有考虑生态承载力、居民意愿等隐性约束，容易产生环境和社会矛盾。另外，大多数模型都是静态的，假设目标和约束不会随时间而变化，不能适应人口分布、能源需求等动态变化的实际需要，造成选址方案缺乏长效性。

(三) 求解算法存在短板，优化效率有待提升

智能优化算法已经成为多目标选址优化模型的主要求解方法，但是仍然存在明显的不足，即计算复杂度高，在大规模选址问题中迭代次数多、耗时长，不能满足实时决策的要求；容易出现早熟收敛、局部最优等问题，造成求解精度和多样性不足，难以选出最优方案；算法参数设置没有统一标准，多依靠经验调整，增加应用难度，而且不同算法的适配性差异大，缺少场景化优化，不能充分发挥算法的优势。目前深度强化学习、生成对抗框架等新型求解思路虽然已经出现，但是还没有形成成熟的应用体系，还需要进一步探索。

(四) 理论与实践应用脱节，落地难度大

现有多目标选址优化模型研究大多集中在理论层面，主要研究模型的构建以及算法的改进，缺少将模型与实际场景深度融合，造成模型实用性差、落地难。一方面，理论模型大多基于理想化的假设，和实际复杂的环境存在较大差异，所求得的最优方案很容易由于土地价格波动、政策调整等现实因素而无法执行；另一方面，部分模型过于复杂，求解需要专业的技术人员和设备的支持，不能被企业、政府等实际应用主体所接受和推广，从而导致理论价值无法转化为实际价值。除此之外，目前的研究大多只关注单一领域，缺少跨领域融合，不能满足复合型选址场景的需求。

结语

多目标选址优化模型是统筹多个目标、实现科学选址的工具，随着城市化推进和供应链完善，在物流、公共服务等各个领域应用价值越来越大。本文对本模型的核心理论、主要类型、求解算法进行了系统的综述，剖析了目前研究中目标量化难、约束不全面、算法效率低、理论与实践脱节等问题，并从学科交叉的角度来展望未来。未来要继续加强模型的实用性、科学性，完善目标量化和权重确定的方法，改进求解算法并探索新的算法应用，促进静态模型向动态转变，加强理论与实践的融合以及跨领域的研究，助力选址决策走向科学、高效、绿色、协同发展，为工程建设和资源配置提供支撑。

参考文献

- [1] 谢小川, 许建梅, 黎明. 基于海象算法的模糊多目标高校校区微型消防站选址优化[J]. 四川大学学报(自然科学版), 2025, 62(06): 1385-1398.
- [2] 万中田, 冼钟业, 温纪营, 等. 考虑电网动态变化的多因素电力负载均衡性优化变电站选址[J]. 自动化与仪器仪表, 2025, (06): 166-169+174.
- [3] 袁鑫. 自适应大规模多目标优化算法及其应用[D]. 湖州师范学院, 2024.
- [4] 涂福荣, 刘克天. 基于改进的多目标粒子群算法的分布式光伏电源优化配置[J]. 新余学院学报, 2024, 29(02): 58-66.
- [5] 黄子晴, 林兵, 卢宇, 等. 面向多目标优化的充电站选址定容方法[J]. 福建师范大学学报(自然科学版), 2024, 40(02): 23-35.