

优质均衡视角下多目标优化学区 划分模型研究

王海涛, 王颖超, 张翔, 赵红, 崔哲

[摘要]学区划分是一种改善教育资源分配、推动地区内教育公平发展的教育治理策略。它通过将同一地区内的多所基础教育学校整合为一个学区,打破学校之间的界限,实现资源共享,扩大高质量教育资源的覆盖范围,逐步促进地区内的优质教育均衡发展。本文运用最短路径的方法研究了多目标优化问题,并应用于学区划分进行分析,对学生的上学步行距离、学校的综合质量、学区边界的稳定性和学校的服务能力进行了目标优化,并将其与基于 Huff 吸引力的划分模型及现有模型进行对比分析,通过分析整体上学平均距离、整体分配的学校平均综合质量、学区边界的稳定性以及评价函数等各项因素,表明最短路径划分模型是表现最好的模型,划分结果也更科学合理,能够对各个目标进行合理优化。

[关键词]优质均衡; 学区划分; Huff 吸引力模型; 多目标优化模型

一、引言

义务教育具有公共性、普惠性、基础性、发展性等特征,是基本公共教育服务体系建设的核心组成部分。在我国推进义务教育均衡发展的过程中,城乡义务教育发展从“缩小城乡教育差距”,到“县域内义务教育均衡发展”,再到“城乡融合发展”的变迁,十余年来,城乡义务教育一体化在城乡学生入

[收稿日期] 2024-04-01

[基金项目] 国家社科基金课题 2019 年度一般课题“优质均衡视角下学区划分优化模型研究”(BFA190059)。

[作者简介] 王海涛, 中国海洋大学教育系, 电子邮箱地址: htwang@ouc.edu.cn; 王颖超, 中国海洋大学信息科学与工程学部, 电子邮箱地址: wangyingchao 0509@163.com; 张翔, 青岛市教育装备与信息中心, 电子邮箱地址: 362348418@qq.com; 赵红, 中国海洋大学数学科学学院, 电子邮箱地址: zhaohong@ouc.edu.cn; 崔哲, 中国海洋大学教育系, 电子邮箱地址: 1462866340@qq.com。

学机会均等、城乡教育资源配置均衡两方面取得重大进展(郑磊等, 2023)。随着基本均衡的实现, 我国义务教育的发展目标朝着更优质、更均衡的方向迈进。2023年, 中共中央办公厅、国务院办公厅印发了《关于构建优质均衡的基本公共教育服务体系的意见》, 提出到2035年, 义务教育学校办学条件、师资队伍、经费投入、治理体系要适应教育强国需要, 市(地、州、盟)域义务教育均衡发展水平显著提升, 绝大多数县(市、区、旗)域义务教育实现优质均衡, 适龄学生享有公平优质的基本公共教育服务, 总体水平步入世界前列(薛二勇, 2023)。因此, 未来义务教育改革的任务之一是扩大优质教育资源总量和覆盖面, 促进其普及和共享, 以满足人民群众对高质量教育的需求(金晨和胡耀宗, 2021)。

尽管优质均衡发展是我国义务教育的迫切需求, 但许多地区仍然存在着义务教育的非均衡发展问题。教育的不均衡表现在设施设备资源的不均衡分布、优质教育资源的短缺、骨干教师资源的不均匀分布, 以及学校之间的资源壁垒和恶性竞争(邬志辉和杨清溪, 2022)。这导致了“择校热”现象, 背后实际上是对优质教育资源的选择。在这种情况下, 以学区划分为核心的资源共享思路开始兴起。学区划分通过整合同一区域内的学校, 促进资源共享, 逐步实现更广泛的优质均衡发展。我国学区制改革在有效缓解“择校热”、促进城乡一体化建设和提高基层教育治理水平等方面已取得了显著成效(郭元婕, 2022), 通过学区划分, 可有效解决资源分布不均衡的问题, 从而提供公平优质的教育服务。

科学合理地制定学区边界是实施教育公平的关键举措。本文综合考虑多种因素进行多目标优化, 以期建立更加优化的多目标规划数学模型, 实现学生上学步行距离最小化, 学校最大限度地满足周边居民的入学需求, 尽量为学生选择综合质量优秀的学校, 学区边界的微调等。本研究提出建立的新模型为最短路径划分模型, 并将其与现有模型、基于 Huff 吸引力的多目标划分模型等进行了实证模拟和对比分析, 通过对比整体上学平均距离、整体分配的学校平均综合质量、学区边界的稳定性以及评价函数等各项因素, 表明最短路径划分模型是表现最好的模型。

二、相关研究述评

(一) 学区划分相关研究

学区划分是指县级教育行政部门在上级教育行政部门指导统筹下, 根据当地适龄学生的数量、不同等级学校的规模和分布, 以及学区周围的交通网

络情况等，来确定适龄学生就学范围的过程。其主要目的是为了实现“就近入学”的原则，让适龄学生能够在就近的学校就读。学区划分将特定地域内的适龄学生划分在不同的学区，学生可以在该学区内的学校申请入学。之后，学生可以根据毕业小学的所在地升入相应的初中学校。

义务教育学校的传统规划方式，第一步是先明确需要建设的学校总量，这需要通过预测学龄儿童占总人口的比例来确定，预测的总人口数是根据近年人口的增长率来测算。第二步是计算学校的规模，参照规范规定，用每生用地面积乘以学生数量来确定。校间距离是根据学校所在区域的位置来确定的，一般常用方法是以学校为圆心，按照国家和当地的规范标准，以规范规定的一个固定距离作为半径画圆，从而大致确定服务区域和非服务区域。

我国在学校布局规划研究方面起步较晚，基础理论和研究方法相对滞后。义务教育学校布局规划主要由规划部门布局、教育部门进行学区划分，被动跟随国家政策发展，规划规模和实际规模可能出现较大误差，从而导致规划规模与实际覆盖学区不匹配的矛盾，引发入学难等问题(沈若宇等，2019)。

我国公共服务设施的发展和西方发达国家相比，在体制基础和发展进程上存在根本性区别，因此在学校布局规划研究方面借鉴国外成功经验主要集中在区位理论下的空间公平和可达性研究(于敬，2013)，如学区重叠优化、学校资源整合、就学需求区域化等。在分析工具方面，多使用GIS等空间模拟分析技术。目前关于学校布局规划方法的研究多从规划学角度出发，数据支撑多限于学校规模、户籍人口方面，存在数据支撑不足，对于校内空间及学区相应数据的综合研究不足，学校动态规模、就学动态人口、交通数据等有所欠缺。

我国制定学区划分政策的主要目的是确保每个年龄段的孩子都能够就近上学，并解决一系列备受关注的热点问题，如限于优质教育资源的有限性及其分配机制，基础教育的数量、质量与获取机制会显著影响土地和住房价格，形成具有时空异质性的资本化效应(林雄斌等，2024)。一般来说，学区划分的制定需要进行几个方面的基础调研。首先是学校的承载能力，划分学区时必须考虑各所学校不同承载能力。其次是区域内适龄儿童的数量，包括一定时期内的预期数量。最后是学校的位置与适龄儿童上学的便利性，应最大程度地考虑就近原则(汪明，2015)。王玉璟和孔云峰(2009)针对义务教育就近入学原则，定义了4种就近入学场景：严格就近入学、学额限制的相对就近入学、学区连续的就近入学和学校布局调整下的就近入学，并构造了相关的优化模型，讨论了每个模型的优势与局限。

(二)多目标优化相关研究

多目标规划是运筹学的一个重要分支,以线性规划为基础,常用来解决一些多目标决策问题。目前,多目标规划法的应用领域十分广泛,包括经济、教育等各方面。国内外学者也利用该方法解决了许多科研中的多目标决策问题。Anuradha等(2024)提出了一个多目标随机优化框架,以最小化CESS提供商的投资和运营成本以及生产消费者的运营成本,同时考虑到实际和无功能耗以及生产消费者光伏发电的不确定性。王勋和晋严尊(2024)针对多源供应商的订单分配问题建立一种基于多目标混合整数规划模型,该模型可以依据供应商过往的各项能力表现,确定使用的供应商数量和订单分配数量,并考虑实际采购过程中阶梯降价的情况。Chen(2024)基于企业社会责任解释变量构建了企业社会责任与经济效益之间的指标评价体系,并利用多目标规划和ANP计算了约束条件设置和指标权重。Chen(2024)分析了二等生教育管理的定义和特点,基于传统静态多目标规划算法的算法理论、动态多目标规划方法和DMOP算法的性能指标,构建了BOPPPS多目标规划教学模型。

多目标优化研究多于一个目标函数在给定区域上的最优化。多目标优化的解决办法有很多,可以通过构建评价函数的方法,将多目标优化问题转化为求评价函数的单目标优化问题;也可以通过分层序列法、协调曲线法等方法,将多目标优化问题单一化,变成求解一系列单目标优化问题。许多学者在多目标优化方法领域进行了很多有意义的研究。宋英杰和韩礼欢(2024)针对高维投资组合优化问题,提出了一种基于非支配排序和混合搜索的多目标优化算法。Lyu等人(2024)介绍了一种新的两阶段多目标优化方案,采用预测全局经济优化算法来最大化经济目标,采用自适应方法来协调可持续性目标,从而有助于实现经济目标和可持续性之间的最佳折衷。Liu等人(2024)提出了一种碳风险下产业价值链的多目标优化方法,该方法在碳风险下实现了经济和环境目标之间的稳定和平衡,确保了产业价值链的安全。郑怡昕和王重仁(2024)为了提高信用债违约预测的准确性和稳定性,便于金融风险的管理,提出一种基于多目标优化的加权软投票集成算法。Mao等人(2024)利用粒子群优化算法的多目标应用下的一种多目标优化算法,导出了MOPSO算法,该算法能识别和衡量中国金融市场风险溢出的强度。Guo(2024)从大学生社会实践的运行机制入手,基于解决社会实践中存在的问题的目标,提出了多目标优化问题,并通过添加NDX算子和变异算子的自适应调整对NSGA-II算法进行了优化,从而解决了多目标最优化问题。因此,多目标优化方法应用领域极其广泛,可以解决很多现实中的实际问题。

Huff 概率模型基于万有引力原理,计算两者之间的吸引力。最早由哈夫

提出,通过计算购物场所各种条件对消费者的引力和消费者所感觉到的各种阻力,从而决定商圈规模大小。Del Gatto 等人(2018)将 Huff 模型应用在意大利的零售业,建立了一个包含企业异质性的竞争模型。Lin 等人(2016)结合 Huff 模型和地理信息系统技术(GIS),开发了一个框架,用于推导出停车换乘(PnR)集水区的空间边界。Lei 和 Ye(2018)基于 GIS 技术和 Huff 模型方法,对超级购物中心的选址进行了研究。Marić 和 Šiljeg(2017)等以扎达尔定居点购物中心为例,分析了 Huff 模型在市场竞争中的应用。Lu 等人(2017)利用手机定位数据探索采样位置对 Huff 模型校准的影响。

在应用于学区划分的研究方面,孔云峰(2012)利用线性回归的方法,构建最优学区划分模型。粟敏光和董琳琳(2017)利用加权距离成本的方法进行学区规划。然而现有模型大都只考虑学生上学步行距离和学校的服务能力两种因素,对学校的综合质量、学区边界的稳定性(模型规划的学区边界与原始学区重叠的比例)等方面缺乏深入的研究。

综上所述,如何科学合理地制定学区边界和进行学区管理建设日益受到社会的广泛关注,有关学区划分理论和优化方法的研究有了很大的进步。在政府的引导下,我国的中小学学区划分和布局从过去的单纯空间布局朝着教育资源的均衡发展和配置的方向转变,最大限度地满足人们的入学需求,保障义务教育阶段儿童拥有优质的教学资源。本文通过大量的文献研究和调研,对比了多种学区划分理论和分析方法,并对其分析和总结。在此基础上,运用统计学和数学建模的方法,对学区划分方法进行优化,提出了最短路径划分模型。以某副省级城市的一个区为案例,对模型进行验证分析,并将其与现有的学区划分模型和基于 Huff 吸引力的学区划分模型进行对比分析,综合比较整体上学平均距离、整体分配的学校平均综合质量、学区边界的稳定性等各项指标。实证研究结果表明,最短路径划分模型是表现最好的模型,该模型对各个目标进行了合理的优化,划分结果也更科学合理,具有较强的可操作性。

三、优质均衡视角下多目标优化学区划分模型的构建

本文采用最短路径方法研究了多目标优化问题,并将其应用于学区划分进行分析,对学生的步行上学距离、选择学校的综合质量、学区边界的稳定性和学校的服务能力进行了目标优化。同时,将这一方法与基于 Huff 吸引力的划分模型及现有模型进行了对比分析。

(一) 数据处理

本文选取某副省级城市某区的数据进行研究,原始数据包括:2017年和2018年该区新入学学生的家庭住址信息、学校地址信息、学校学位数、学校的综合质量排名等。共有25所小学,2017年学生总数为4203人,2018年为4249人。数据处理流程见图1,步骤如下:

1. 划分居民单元*i*。将相同路、号的学生的家庭住址分为同一个居民单元。2017年学生住址被分为1803个居民单元,2018年被分为1793个居民单元。

2. 获取地址经纬度。通过调用高德开放平台地理/逆地理编码API(通过HTTP/HTTPS协议访问远程服务的接口,提供结构化地址与经纬度之间的相互转化的能力),将学生家庭住址、学校地址等转换为经纬度数据。

3. 获取步行距离并求平均值 d_{ij} 。首先,通过调用高德开放平台路径规划API(以HTTP形式提供的步行、公交、驾车查询及行驶距离计算接口),计算学生*i*与学校*j*之间的步行距离。然后,将同一居民单元内学生到学校的步行距离求平均值,并将此值作为该居民单元到该所学校的步行距离 d_{ij} 。

4. 统计每所学校的学位数 c_j 和综合质量 b_j 。该数据由当地教育部门提供,如表1所示。

5. 计算吸引力 P_{ij} 。吸引力即通过考虑学校的综合质量和学生上学步行距离两种因素,计算学校对学生的吸引力,吸引力越大表示学生划分到该学校的可能性越大。根据公式(1)和(2)计算各个学校*j*对每一个居民单元*i*的吸引力 P_{ij} 。

$$A_{ij} = \frac{b_j}{d_{ij}^2} \quad (1)$$

$$P_{ij} = A_{ij} \times \frac{1}{\sum_{j=1}^m A_{ij}} \quad (2)$$

6. 计算 B_j ,根据公式(3)计算,对学校的综合质量 b_j 进行标准化。

$$B_j = \frac{b_j}{\sum_{j=1}^m b_j} \quad (3)$$

7. 计算权重值 R_{ij} 。权重值的设定是为了学区边界的稳定性,对原始学校和其他学校之间分配不同的值,当模型为某居民单元选择学校时,会优先选择权重值大的学校。对于每一个居民单元*i*,将其原始所属的学校权重值

设为 $R_{ij} = \frac{1+\mu}{m+\mu}$,其他学校的权重值分别设为 $R_{ij} = \frac{1}{m+\mu}$, m 为可供选择的学校数量(本文中 $m=25$, $\mu=0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3, \dots, 1$)。

8. 统计每个居民单元内学生人数 a_i 。

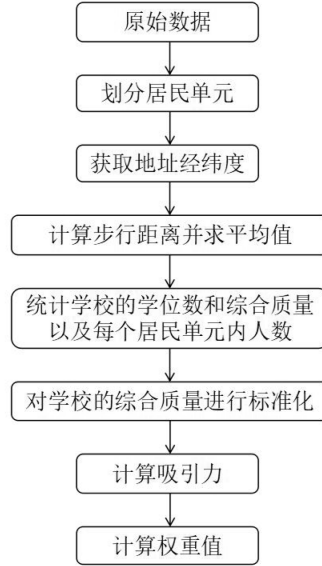


图1 数据处理流程图

表1 各学校综合质量评分和学位数

学校代号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
综合质量	7	8	6	8	7	6	7	7	6	9	7	7	8	
学位数	2017	34	25	73	372	148	67	145	98	340	239	182	212	208
	2018	42	23	79	291	128	68	177	96	366	209	213	299	254
学校代号	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25		
综合质量	7	7	8	9	8	8	7	7	8	7	6	8		
学位数	2017	158	174	75	233	361	103	170	167	136	119	42	337	
	2018	198	160	90	203	311	106	184	113	172	95	55	340	

(二)方法与模型

本文在现有模型的基础上，提出了基于 Huff 吸引力的规划模型和最短路径划分模型。现有模型优化目标较单一，只是在坚持就近入学的原则下，对学生的上学需求进行了优化。基于 Huff 吸引力的规划模型是多目标优化模型，综合考虑学生上学步行距离、学校的服务能力和对学生的吸引力等多种因素进行优化。最短路径划分模型是本文提出的新模型，优化目标包括学生上学距离最短、学校最大限度地满足学生入学需求、选择综合质量高的学校

和学区边界的微调,并综合考虑多种因素进行分析。模型中变量的含义参见表 2。

表 2 变量含义

变量	含义
i	居民单元
j	学校
d_{ij}	居民单元 i 到学校 j 的步行距离
c_j	j 学校的学位数
b_j	j 学校的综合质量
P_{ij}	学校 j 对居民单元 i 的吸引力
B_j	对 b_j 进行的标准化值
R_{ij}	j 学校对于居民单元 i 的权重值
a_i	居民单元 i 内学生人数
x_{ij}	决策变量

1. 现有模型

现有模型综合考虑居民单元到学校的步行距离和学校的服务能力(学位 数)两种因素,并最大限度地满足周边居民单元的入学需求。其中, x_{ij} 为决 策变量($0 \leq x_{ij} \leq 1$),表示第 i 个居民单元内有 $(x_{ij} \times a_i)$ 人被划分到第 j 所 学校。

$$\text{优化目标: } \max \left(\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n x_{ij} a_i R_{ij} \right)$$

$$\text{约束条件: } \sum_{i=1}^n x_{ij} a_i \leq c_j \quad \forall j \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} \leq 1 \quad \forall i \quad (5)$$

2. 基于 Huff 吸引力的规划模型

该模型首先通过 Huff 模型计算各个学校对周边居民单元的吸引力,并综 合考虑步行距离、学校的服务能力、学校的综合质量等因素,按照寻求吸引 力较大的学校和满足最大入学需求的目标进行规划。

$$\text{优化目标: } \max \left(\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n x_{ij} a_i p_{ij} R_{ij} \right)$$

$$\text{约束条件: } x_{ij} (d_{ij} - 4) \leq 0 \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} a_i \leq c_j \quad \forall j \quad (7)$$

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} \leq 1 \quad \forall i \quad (8)$$

3. 最短路径划分模型

该模型综合考虑学校的综合质量、步行距离、学校的服务能力等因素，以最短路径、选择综合质量高的学校和最大限度的满足入学需求为目标进行规划。

$$\text{优化目标: } \min \left(\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n x_{ij} (d_{ij} - a_i B_j R_{ij}) \right)$$

$$\text{约束条件: } \sum_{i=1}^n x_{ij} a_i \leq c_j \quad \forall j \quad (9)$$

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} \leq 1 \quad \forall i \quad (10)$$

4. R_{ij} 的合理判定

针对一些已经存在学区边界的城市，学区边界的大幅度调整会引起居民的质疑和反对，因此需要通过调节权重值 R_{ij} 来实现学区边界的微调，从而进行合理的规划，并通过本文建立的评价函数来选择合理的 R_{ij} ，评价函数见公式(13)。

$$b_{\mu} = \frac{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n x_{ij} a_i b_j}{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n x_{ij} a_i} \quad (11)$$

$$d_{\mu} = \frac{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n x_{ij} a_i d_{ij}}{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n x_{ij} a_i} \quad (12)$$

$$E(\mu) = \frac{b_{\mu}}{d_{\mu}^2} \quad (13)$$

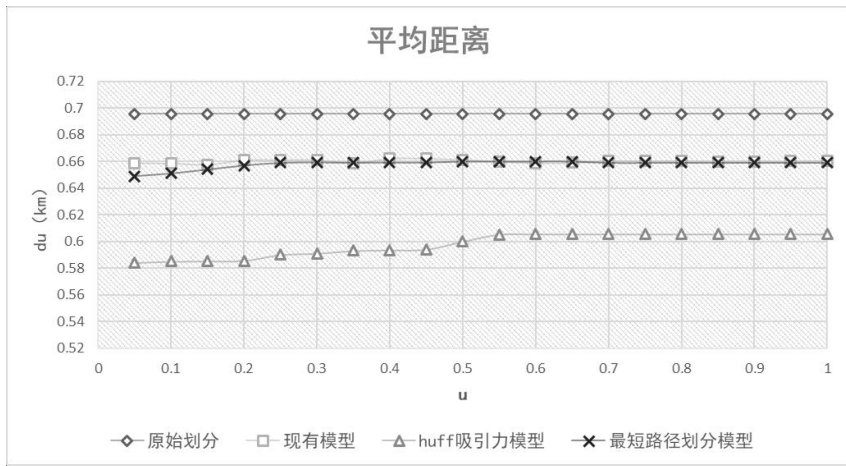
(三) 模型结果分析

本文主要分析了平均距离、平均综合质量、学区边界的稳定性以及评价函数四个方面，为了验证模型的精准度，利用2017年和2018年两年的数据结果进行综合比较。除此之外，本文对每个模型实行了整体划分和非整体划分两种方案，整体划分即同一个居民单元必须被划分到同一所学校，不可拆分；非整体划分方案与之相反，即同一个居民单元可以被拆划分到不同的学校，此种方案的优势在于充分利用综合质量高的学校的学位数。通过对比同一模型中不同划分方案的两种结果，分析得出表现最好的模型和方案。由于限制条件过多，最短路径划分模型并不适用于实施整体划分方案，无法找到全局最优解。

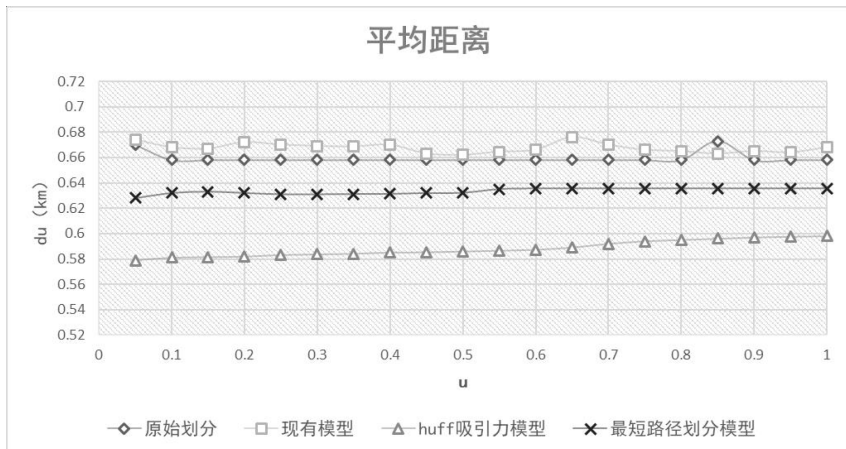
1. 基于平均距离分析

(1)非整体划分方案

由图 2 可知，Huff 吸引力模型相较于现有模型、最短路径划分模型以及原始划分，学生上学平均距离最小，虽然随着 μ 的增大有增大的趋势，但整体平均距离依旧远远小于其余三种划分结果；平均距离较低的是最短路径划分模型；综合两年的数据结果曲线图可以看出，在 2017 年的划分结果中，现有模型的平均距离小于原始划分，但是在 2018 年，现有模型的平均距离却大于原始划分，主要是由于 2018 年原始划分的平均距离降低，而现有模型的平均距离在数值上并没有很大的波动。



A. 2017 年



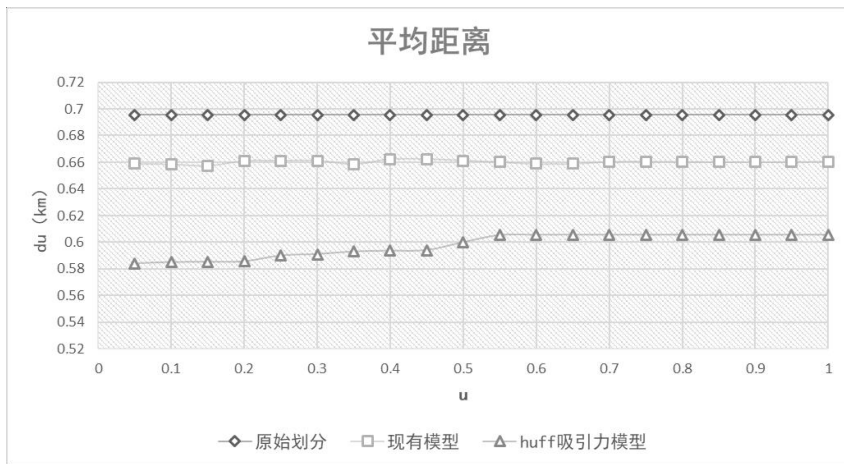
B. 2018 年

图 2 整体平均距离曲线图(非整体划分方案)

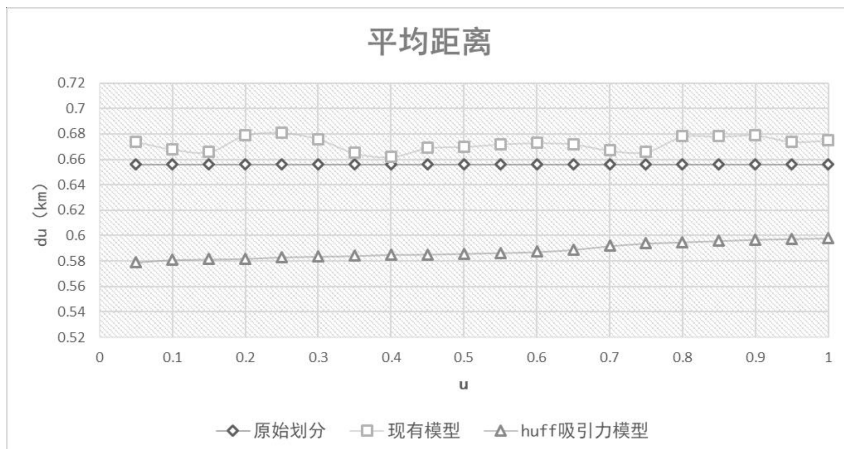
(2) 整体划分方案

由图3可知，Huff吸引力模型相较于现有模型和原始划分结果，其平均距离依旧最小；与原始划分结果相比，现有模型在两年的划分结果中平均距离的数值并没有很大的变化，只是2018年原始划分的平均距离比2017年约降低了0.05km，导致两者大小关系发生了改变。

无论是整体划分还是非整体划分方案，Huff吸引力模型的平均距离都是最小，这一结果足以证明该模型在平均距离最小化方面的优势。



A. 2017年



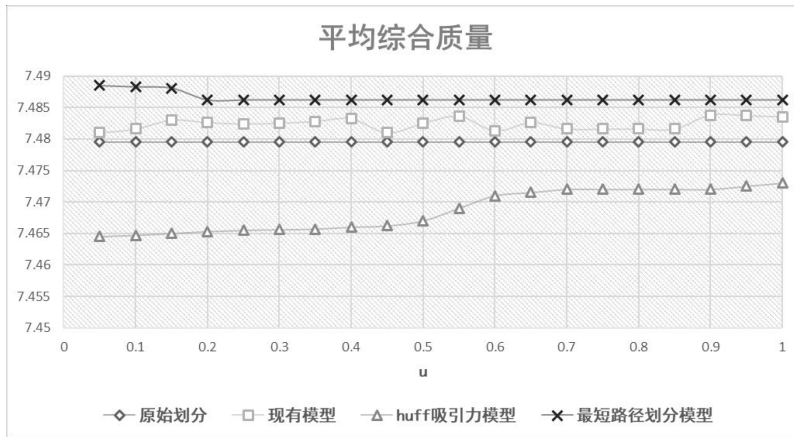
B. 2018年

图3 整体平均距离曲线图(整体划分方案)

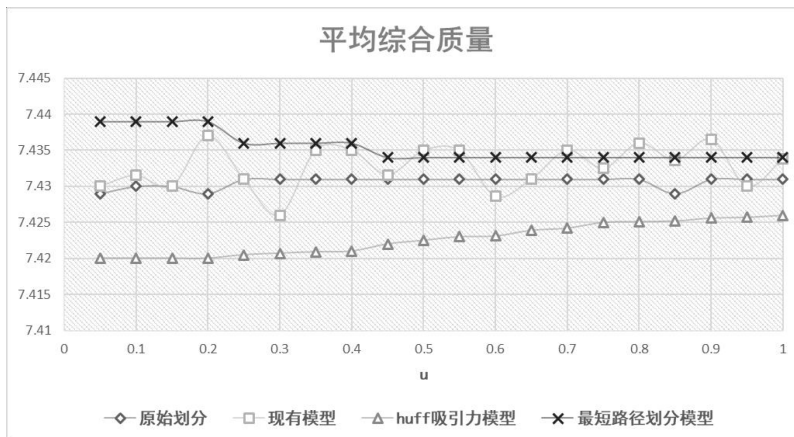
2. 基于平均综合质量分析

(1)非整体划分方案

由图 4 可知，相较于其他两个模型划分结果和原始划分，最短路径划分模型在学校的平均综合质量方面的分数最高，比原始划分高约 0.007 分，比现有模型高约 0.005 分，比 Huff 吸引力模型高约 0.015 分，其中 Huff 吸引力模型的分数最低，约低于原始划分结果 0.008 分。对比两年的数据，由平均综合质量曲线图可以看出，Huff 吸引力模型和最短路径划分模型相对稳定，但是现有模型的划分结果却有较大波动，原因是由于现有模型只考虑了学校的学位数、学生上学步行距离两个因素，并未对平均综合质量进行目标优化，导致这一因素在该模型中有较大波动。



A. 2017 年

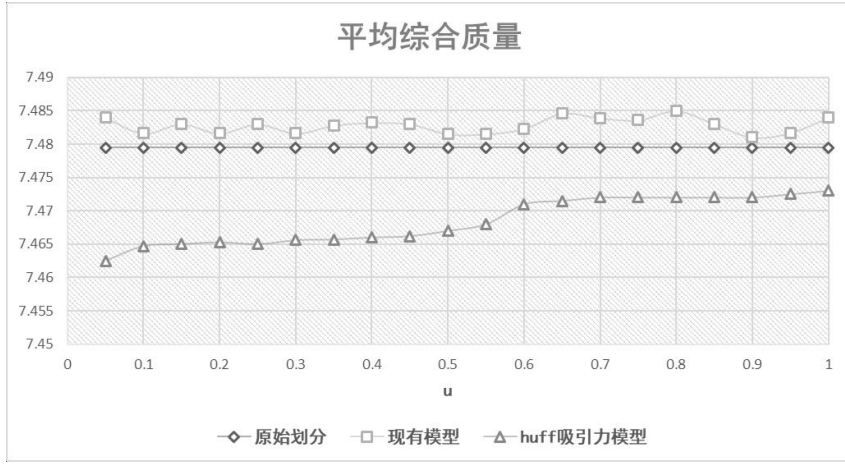


B. 2018 年

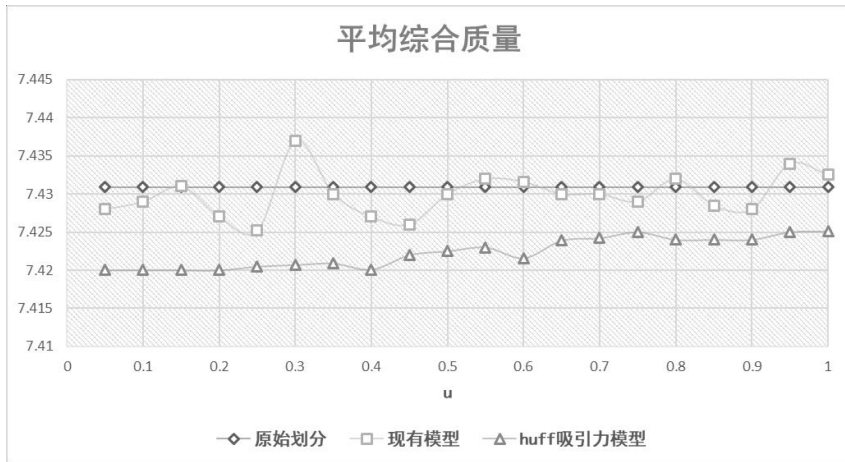
图 4 整体平均综合质量曲线图(非整体划分方案)

(2)整体划分方案

由图5可知,现有模型在平均综合质量方面上下波动比较大,不稳定,图5-B更加直观地反映了这一现象。而 Huff 吸引力模型随着 μ 的增大,平均综合质量也稳步上升。该方案与上述非整体划分方案相比,两种模型曲线走势相同,数值上也并无较大差异。



A. 2017年



B. 2018年

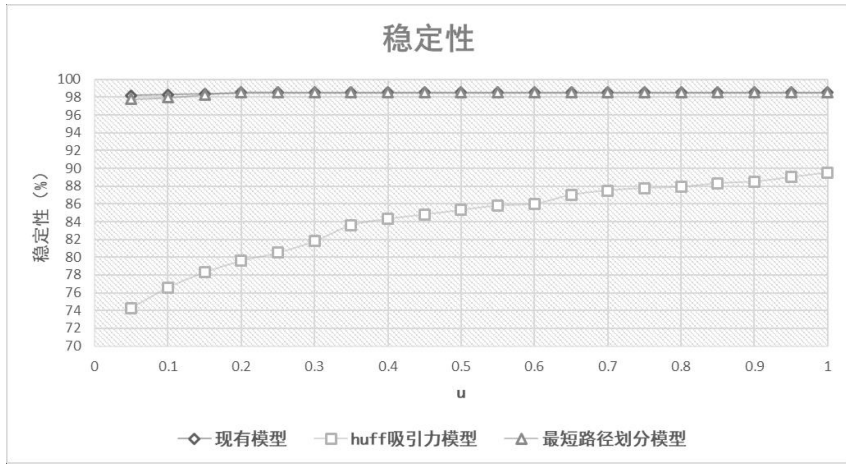
图5 整体平均综合质量曲线图(整体划分方案)

3. 基于规划边界的稳定性分析

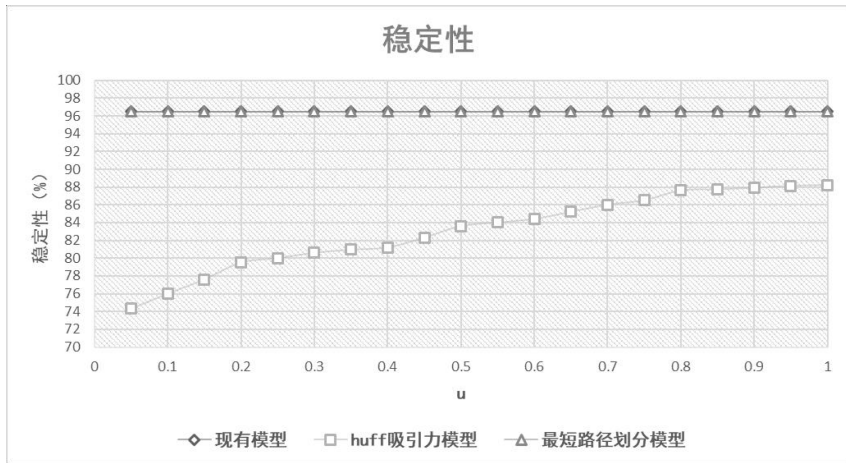
(1)非整体划分方案

稳定性即新模型划分的结果与原始学区重复的比例。由图6可知,最短

路径划分模型与现有模型的稳定性曲线几乎重合，且随着 μ 的增大没有较大的波动和改变；而吸引力模型却与另外两种模型有所不同，以 74% 为基点随着 μ 的增大而增大。 μ 的改变会直接影响权重值， μ 的增大会导致原始学校的权重值增大，当新模型进行划分时会优先考虑原始学校，但是现有模型和最短路径划分模型随着 μ 的增大持稳定状态，证明权重值的改变对这两个模型的划分结果影响较小；与此同时，Huff 吸引力模型随着 μ 的增大呈明显上升趋势，由此可得，该模型与其他两个模型相比，受权重影响较大。



A. 2017 年

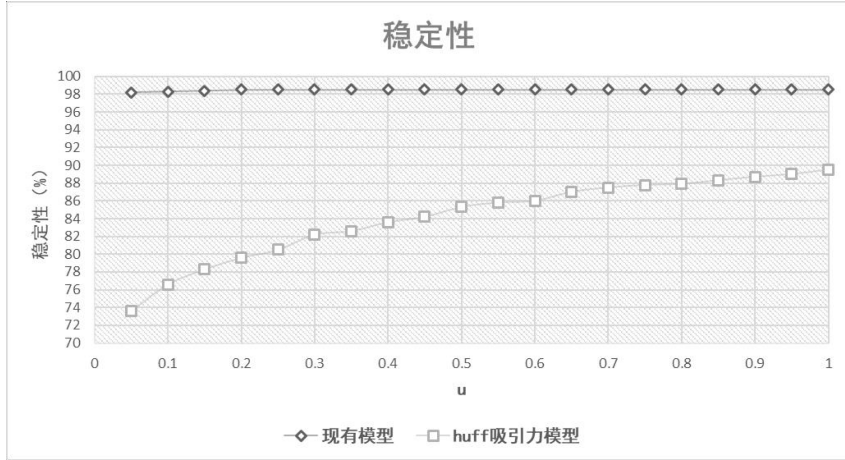


B. 2018 年

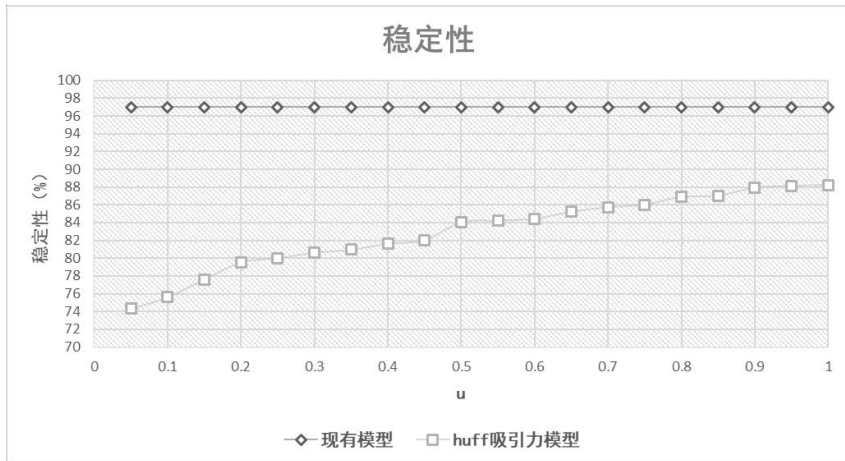
图 6 整体稳定性曲线图(非整体划分方案)

(2) 整体划分方案

由图7可知,整体划分方案与非整体划分方案中,两种模型的稳定性曲线趋势保持一致,数值大小方面的差异也微乎其微。



A. 2017年



B. 2018年

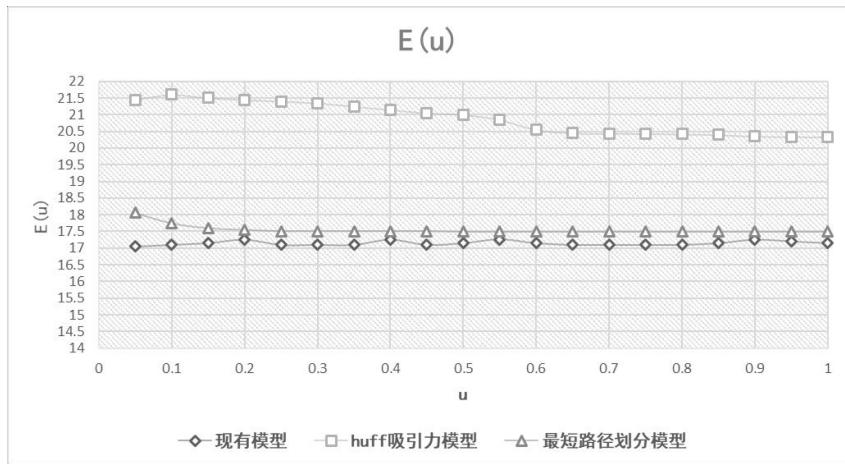
图7 整体稳定性曲线图(整体划分方案)

4. 基于评价函数分析

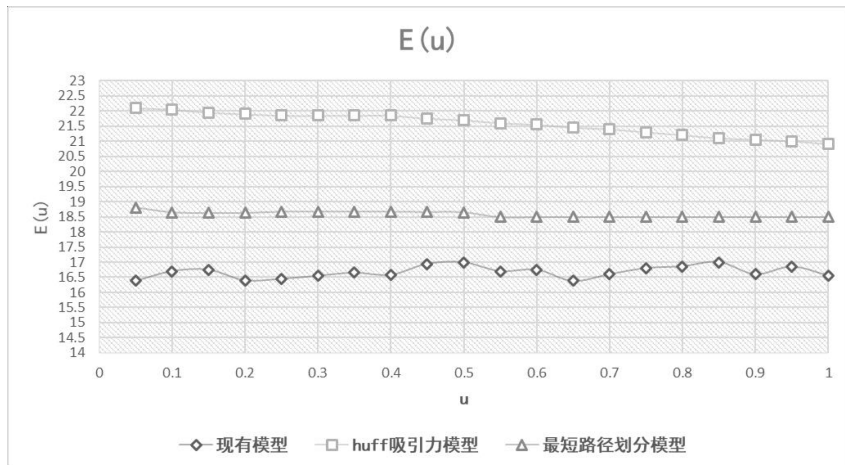
(1) 非整体划分方案

评价函数 $E(\mu)$ 的设定是为了计算寻找合适的权重值,从而确定模型的最佳划分结果。由图8可知,Huff吸引力模型的评价函数曲线呈先增后减的趋势,在 $\mu=0.1$ 时取最大值,虽然随着 μ 的增大, $E(\mu)$ 的值有所波动,但

是并未超过 $E(\mu=0.1)$ 的值,且整体呈平稳减小的趋势。因此可以得出,当 $\mu=0.1$ 时,为 Huff 吸引力模型的最佳权重值;最短路径划分模型的 $E(\mu)$ 值一直随着 μ 的增大而减小,但是减小的趋势并不是很明显,只是微小变化,两年的数据结果皆是如此,再一次证明该模型受权重值变化的影响较小,并由此可得当 $\mu=0.05$ 时,为该模型的最佳权重值;而现有模型与其他两种模型不同,其 $E(\mu)$ 值的曲线图随着 μ 的增大而上下波动,无法通过 $E(\mu)$ 的计算值得出最佳权重值,但是其上下波动的差值很小,最大值与最小值之间仅差 0.255。由此可得, μ 的改变对现有模型的划分结果影响较小,进一步说明权重值的改变对此模型影响较小。



A. 2017 年

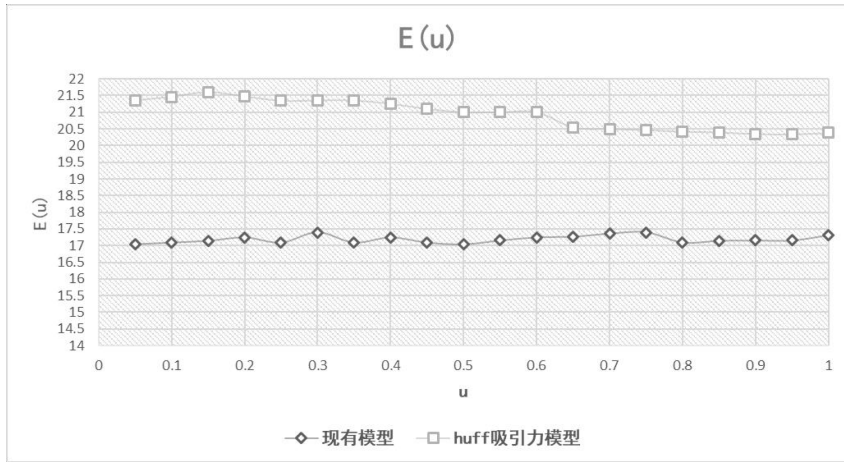


B. 2018 年

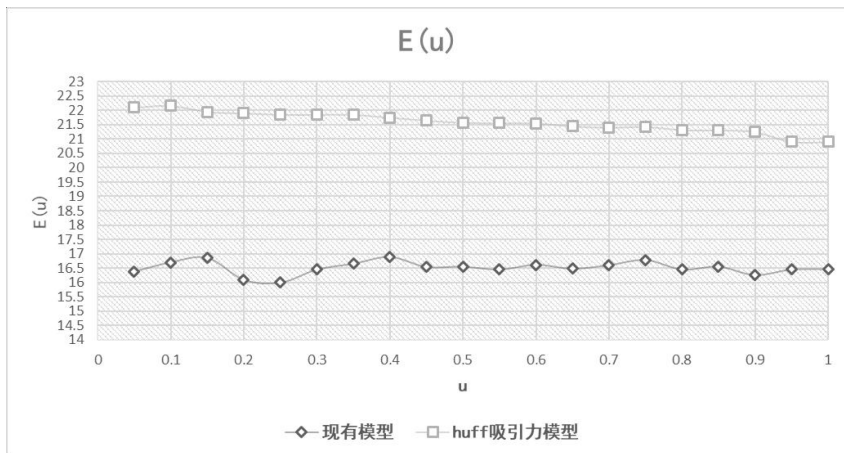
图8 评价函数 $E(\mu)$ 曲线图(非整体划分方案)

(2) 整体划分方案

与上述非整体划分方案的曲线图相比, 现有模型和 Huff 吸引力模型的评价函数曲线图大致相同, 证明无论是哪种划分方案, 只是约束条件发生了改变, 优化目标和影响因素并没有发生改变, 因此曲线的趋势也大致相同。



A. 2017年



B. 2018年

图9 评价函数 $E(\mu)$ 曲线图(整体划分方案)

四、结论与讨论

本文综合考虑学校的综合质量、学校的学位数和学生上学步行距离等多

方面的因素对学区划分的影响,利用现有模型、基于 Huff 吸引力的规划模型和最短路径划分模型等模型进行多目标优化,得到如下结论:

1. Huff 吸引力模型在平均距离方面最有优势

该模型相较于其他模型,平均距离最小,比原始划分的平均距离值约小 0.1km;但是其平均综合质量分数最低,比原始划分约低 0.008 分;本文通过评价函数的值来选择合适的权重值,该模型的曲线变化图呈先增后减的趋势,在非整体划分方案中,当 $\mu=0.1$ 为该模型的权重最优值;在整体划分方案中,当 $\mu=0.15$ 时为该模型的权重最优值。

2. 最短路径划分模型平均综合质量分数最高

在非整体划分方案中,最短路径划分模型在平均距离方面仅次于 Huff 吸引力模型,比原始划分小约 0.04km;其平均综合质量分数最高,比原始划分高约 0.007 分。

3. Huff 吸引力模型和最短路径划分模型在各项指标均较稳定

最短路径划分模型稳定性曲线变化较平稳,随着权重值的增大变化不明显,由此证明权重值的改变对该模型的稳定性影响较小。Huff 吸引力模型的稳定性也随着权重值的增大而增大。综合对比两年的数据结果,Huff 吸引力模型和最短路径划分模型在各项指标均较稳定,各个曲线的走势无异常,整体无较大差异。

4. 同一种模型实施两种不同的划分方案时,划分结果略有不同,但曲线图的趋势并没有改变

综合平均距离和平均综合质量两个因素,通过对比可得,在非整体划分方案中,最短路径划分模型最能兼顾几种影响因素,在各项指标中均有优势。在整体划分方案中,Huff 吸引力模型更加优秀,划分结果也更加科学合理。

对比整体划分和非整体划分两种方案,只是约束条件发生了改变,优化目标和影响因素并没有变,因此同一种模型实施两种不同的划分方案时,划分结果略有不同,但是平均距离、平均综合质量、稳定性和评价函数等曲线图的趋势并没有改变,只是数值上有微小的变动。

义务教育学区划分是落实就近入学,促进教育公平的重要保障。这一改革在全国各地一直在进行,但是在制度创新、政策设计和实际操作中存在不少需要破解的问题和难题,处理不当,容易引发社会矛盾。本文对相应的数理模型构建的义务教育学区划分方案进行研究,有望为教育行政部门从宏观和中观层面完善义务教育综合治理提供决策参考,为深化义务教育领域综合治理的实践提供理论及方法论指导。

[参考文献]

- 郭元婕, 2022:《新时代我国学区制改革的困境与出路——基于我国六个省份的实证研究》,《中国教育学刊》第12期。
- 金晨、胡耀宗, 2021:《义务教育学校绩效管理的全球性图景与中国实践》,《上海教育科研》第10期。
- 孔云峰, 2012:《利用GIS与线性规划学校最优学区划分》,《武汉大学学报(信息科学版)》第5期。
- 栗敏光、董琳琳, 2017:《基于加权距离成本的最优学区划分算法》,《测绘与空间地理信息》第12期。
- 林雄斌、牛步青、窦茜茜、钟晶晶、林伊婷、杨家文, 2024:《基础教育空间资本化效应与空间优化策略》,《中国软科学》第3期。
- 沈若宇、李志民、李昌华, 2019:《基础教育设施布局规划发展研究》,《华中建筑》第6期。
- 汪明、姜朝晖、廖德凯, 2015:《义务教育阶段就近入学为何遭公平诘问?》,《云南教育(视界综合版)》第6期。
- 王勋、晋严尊, 2024:《基于多目标规划的供应商订单分配方法研究》,《中国管理信息化》第2期。
- 王玉璟、孔云峰, 2021:《义务教育就近入学优化建模研究》,《地球信息科学学报》第9期。
- 邬志辉、杨清溪, 2022:《新发展阶段需要什么样的基本公共教育服务体系?》,《中国教育学刊》第7期。
- 薛二勇, 2023:《以义务教育优质均衡发展为教育强国建设奠基》,《人民教育》第20期。
- 于敬, 2013:《我国公共服务设施规划研究综述》,《城市时代, 协同规划——2013中国城市规划年会论文集(02—城市设计与详细规划)》。
- 郑磊、郑逸敏、陈荣雨, 2023:《从缩小差距到融合发展: 城乡义务教育一体化的现实与思考》,《教育经济评论》第6期。
- 郑怡昕、王重仁, 2024:《基于多目标优化加权软投票集成算法的信用债违约预警研究》,《现代电子技术》第8期。
- Anuradha, K. B. J., J. Iria and C. P. Mediwaththe, 2024, “Multi-objective Planning of Community Energy Storage Systems under Uncertainty”, *Electric Power Systems Research*, 230: 110286.
- Chen, H., 2024, “Study on the Application of BOPPPS Teaching Model Based on Multi-objective Planning in the Educational Management of Second Class Students”, *Applied Mathematics and Nonlinear Sciences*, 9(1): 1-15.

- Chen, X., 2024, "Research on the Balance between Corporate Social Responsibility and Economic Benefits Based on Multi-objective Planning", *Applied Mathematics and Nonlinear Sciences*, 9(1): 1-16.
- Del Gatto, M. and C. S. Mastinu, 2018, "A Huff Model with Firm Heterogeneity and Selection. Application to the Italian Retail Sector", *Spatial Economic Analysis*, 13(4): 442-456.
- Guo, P., 2024, "Combined with Multi-objective Optimization Algorithm of College Art Professional College Students' Social Practice Nurturing Function and Realization Way", *Applied Mathematics and Nonlinear Sciences*, 9(1): 1-19.
- Lei, Z. and A. Ye, 2018, "Research on Location Selection of Super Mall Based on GIS Technology and Huff Model", In *International Conference on Economic Management and Green Development (ICEMGD 2018)*, pp.194-203.
- Lin, T. G., J. C. Xia, T. P. Robinson, D. Olaru, B. Smith, J. Taplin and B. Cao, 2016, "Enhanced Huff Model for Estimating Park and Ride (PnR) Catchment Areas in Perth, WA", *Journal of Transport Geography*, 54(6): 336-348.
- Liu, J., Y. Chen, H. Ji, X. Sun and X. Li, 2024, "A Multi-objective Optimization Method for Industrial Value Chain under Carbon Risk", *Computers & Industrial Engineering*, 189: 109906.
- Lu, S., S. L. Shaw, Z. Fang, X. Zhang and L. Yin, 2017, "Exploring the Effects of Sampling Locations for Calibrating the Huff model Using Mobile Phone Location Data", *Sustainability*, 9(1): 159.
- Lyu, C., S. Zhan, Y. Zhang and Z. Song, 2024, "Synergistic Two-stage Optimization for Multi-objective Energy Management Strategy of Integrated Photovoltaic-storage Charging Stations", *Journal of Energy Storage*, 89: 111665.
- Mao, R., F. Liang and J. Wang, 2023, "A Multi-objective Optimization Algorithm Based on the Identification of Risk Spillover Intensity Measurement in Chinese Financial Markets", *Applied Mathematics and Nonlinear Sciences*, 9(1): 1-15.
- Marić, I. and A. Šiljeg, 2017, "Application of Huff Model in Analysing Market Competition-Example of Shopping Centres in the Settlement of Zadar", *Geoadria*, 22(1): 41-64.

Research on Multi-objective Optimization Model for School District Division from the Perspective of High-quality Equilibrium

WANG Hai-tao¹, WANG Ying-chao², ZHANG Xiang³, ZHAO Hong⁴, CUI Zhe¹

(1. Department of Education, Ocean University of China;

2. Faculty of Information Science and Engineering, Ocean University of China

3. Qingdao Educational Equipment and Information Center;

4. School of Mathematical Sciences, Ocean University of China)

Abstract: School district division is an educational governance strategy that improves the distribution of educational resources and promotes equitable development of education within a region. By integrating multiple basic education schools in the same area into one school district, it breaks down the boundaries between schools, realizes resource sharing, expands the coverage of high-quality educational resources, and gradually promotes the balanced development of high-quality education in the region. This paper uses the shortest path method to study the multi-objective optimization problem, and applies it to school district division for analysis. It optimizes the students' walking distance to school, the comprehensive quality of the school they choose, the stability of the school district boundary, and the school's service capacity. It is compared with the Huff attractiveness-based division model and the existing model. By analyzing various factors such as the overall average distance to school, the average comprehensive quality of the overall allocated school, the stability of the school district boundary, and the evaluation function, it is shown that the shortest path division model is the best-performing model, and the division results are more scientific and reasonable, and each goal is reasonably optimized.

Key words: high quality balance; school district division; Huff attraction model; multi-objective optimization model

(责任编辑: 郑磊 责任校对: 郑磊 刘泽云)