

基于博弈论云模型的校园共享图书柜综合评价研究

李翠玉, 孙靖*

(湖北工业大学 工业设计学院, 武汉 430068)

摘要: **目的** 针对校园共享图书柜综合评价过程中存在的模糊性和随机性问题, 引入了博弈论云模型理论对校园共享图书柜进行综合评价。**方法** 首先, 对海选的评价指标进行变异系数筛选, 建立了以运营方、产品设计、用户使用不同维度的综合评价指标; 其次, 利用博弈论算法将改进层次分析法确定的主观赋值权重和熵权法确定的客观计算权重进行组合赋权, 在此基础上引入云模型理论将定性描述转化成定量值, 通过数据分析和比较实现其综合评价和排序; 最后, 以三个校园共享图书柜样本的综合评价为例验证了该方法的可行性, 综合云指标参数及云图对比分析样本优化方向。**结论** 该方法能够客观真实地对产品方案进行综合评价, 其在处理评价模糊和随机问题有一定的优越性, 能够有效的为校园共享图书柜后期优化提供量化分析参考。

关键词: 校园共享图书柜; 变异系数; 博弈论组合赋权; 云模型; 综合评价

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2023)24-0197-09

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.24.022

Comprehensive Evaluation of Campus Shared Book Cabinet Based on Cloud Model and Game Theory

LI Cui-yu, SUN Jing*

(School of Industrial Design, Hubei University of Technology, Wuhan 430068, China)

ABSTRACT: The work aims to introduce game theory and cloud model theory to comprehensively evaluate the campus shared book cabinets, so as to solve the fuzziness and randomness in comprehensive evaluation of campus shared book cabinets. Firstly, the evaluation indicators collected extensively were screened for the coefficient of variation. Comprehensive evaluation indicators with different dimensions composed of operators, product design and using were established. Secondly, the subjective assignment weight and objective calculation weight formed by the combination of improved analytic hierarchy process and entropy weight method were used for game combination weighting. On this basis, cloud model theory was introduced to transform qualitative description into quantitative value, and the comprehensive evaluation and ranking were obtained through the data analysis and comparison. Finally, the feasibility of this method was verified with the comprehensive evaluation of three campus shared library cabinet samples as an example, and the sample optimization direction was analyzed by comprehensive cloud indicator parameters and cloud map comparison. This method can objectively and truly conduct a comprehensive evaluation of the product scheme. It has certain advantages in dealing with the fuzzy and random evaluation problems, and can effectively provide a quantitative analysis reference for the later optimization of the campus shared library cabinet.

KEY WORDS: campus shared book cabinet; coefficient of variation; game theory combination weighting; cloud model; comprehensive evaluation

“互联网+”时代, 第三方支付、大数据、云计算和空间定位等信息技术的推动, 资源闲置过剩以及

人们环保意识的增强催生了以协同消费为核心理念的共享经济^[1]。在继共享单车、共享充电宝、共享雨

收稿日期: 2023-07-11

基金项目: 教育部人文社科研究项目 (18YJC760147)

*通信作者

伞后,共享图书进入人们的视线,通过共享机制设计实现闲散书籍再次流通,低成本再次满足新用户需求^[2]。高校拥有大量学生资源,是一个图书需求量较大的场所,具有图书流通率高、闲置书籍量大等特点,在高校投放共享图书柜,可以很好的建立一个健康、共享的校园图书生态圈。共享图书柜是书籍流通软硬件载体,为此,相关学者对共享图书柜进行了研究,陈可欣等^[3]从概要设计、软件设计、APP开发、消毒系统等多个方面,对移动图书柜设计提出了新建议。吴紫柔等^[4]提出了一种基于二维码技术的移动图书站设计和服务方式。米高峰等^[5]探讨了符合现代年轻人需求的图书共享平台界面设计及功能交互的APP设计。这些研究多从创意设计和实现出发,缺乏对产品进行系统化的综合评价,本文旨在建立一个适用于校园共享图书柜的多目标综合评价模型,并论述各级子目标进行评价的一般方法。

目前,对于产品设计综合评价的研究,主要采用多属性决策方法,其基本思路是构建设计评价指标体系,然后采用不同赋权方法确定评价指标权重完成对方案的综合评价分析。吕欣等^[6]通过利用AHP计算各评价指标的权重值,TOPSIS对方案进行排序,科学地完成了对3款儿童安全座椅的综合评价。杨俞玲等^[7]将AHP-熵权法组合赋权运用到6种干预APP导航界面的设计方案评价中。吕帅等^[8]将熵权法和灰色关联分析相结合,构建了基于熵权和灰关联的信息终

端界面布局评价模型,对5款老年人ATM机界面布局方案进行评估。这些方法大多通过定性推理、主观判断来确定权重占比,因而具有主观性和模糊性。云模型评价法适用于指标边界模糊、不易量化的情况,能够避免评价的强主观性,实现定量数值和定性语言之间的相互转换,且结果以期望、熵及超熵3个数字特征或散点分布的形式展现,相比单一数值更可信。因此,本文提出一种基于博弈论云模型理论的综合评价模型、流程和应用,从运营方、产品设计、用户使用三个维度建立海选评价指标,通过变异系数筛选构建全面合理的评价指标体系,运用博弈论进行组合赋权,得出主客观最优组合权重,引入云模型实现定量与定性指标相互转化从而实现校园共享图书柜三个样本的综合评价。

1 综合评价流程和变异系数筛选评价指标

1.1 综合评价流程

本文提出了基于博弈论和云模型的校园共享图书柜综合评估模型,根据校园共享图书柜特征海选评价指标,经过变异系数筛选确定最终评价指标,通过主、客观权重博弈进行组合赋权,确定评价指标的等级量值区间,并将定性描述转化为云滴,形成相应的多层次综合云,基于云模型参数进行数据分析和比较,得出设计综合评价结论。其评价流程如图1所示。

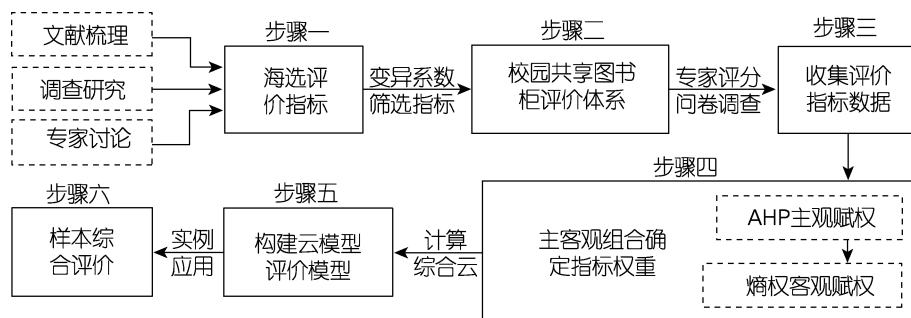


图1 校园共享图书柜综合评价流程

Fig.1 Comprehensive evaluation process of campus shared book cabinet

1.2 海选指标体系的构建

设计评价过程实际上是产品不断优化的过程,在此过程中,整合多重指标因素对产品方案进行综合评价和排序以此对产品优化方向作出判断,需要从不同维度综合考虑遴选产品评价指标^[9]。校园共享图书柜首先要经过产品设计师进行创意设计,从功能定义、造型展示、结构改良等方面体现产品的设计性,其次投入使用场所进行产品功能实现,要求运营方进行产品运营管理保证其功能目的,达到功能实现的要求,另外还需要考虑使用人群与产品之间的使用交互以及精神的获得。因此,本文主要从校园共享图书柜的运营管理(运营方)、产品设计(设计师)和用户使

用(用户)维度构建设计评价指标体系,综合考虑有形和无形的因素对校园共享图书柜的设计影响。

在建立校园共享图书柜设计评价体系前,笔者通过文献梳理、调查研究和专家讨论确定了经济性、管理性、功能性、创新性、吸引力5个一级指标,市场前景、信息自动录入效率、消毒杀菌功能、功能服务前瞻性等在内的38个二级指标,如表1第2、3、7列所示。 $U=\{[A_{11},A_{12},A_{13},A_{14},A_{15},A_{16},A_{17}], [A_{21},A_{22},A_{23},A_{24},A_{25},A_{26},A_{27},A_{28}], [B_{11},B_{12},B_{13},B_{14},B_{15},B_{16},B_{17},B_{18},B_{19}], [B_{21},B_{22},B_{23},B_{24},B_{25},B_{26}], [C_{11},C_{12},C_{13},C_{14},C_{15},C_{16},C_{17},C_{18}]\}$ 。海选指标集 U 是针对校园共享图书柜建立的评价指标体系,当评价对象发生改变时,其产品评价指标也会随之改变。

表 1 校园共享图书柜指标筛选结果
Tab.1 Screened results of campus shared library cabinet indicators

维度	一级指标	二级指标	均值	变异系数	是否保留	二级指标	均值	变异系数	是否保留
运营方 A	经济性 A ₁	市场前景 A ₁₁	0.767	0.609	否	运营成本 A ₁₅	0.531	0.757	是
		设计成本 A ₁₂	0.730	0.586	否	盈利率 A ₁₆	0.569	0.718	是
		制造成本 A ₁₃	0.716	0.509	否	回收期 A ₁₇	0.492	0.730	是
		安装维护成本 A ₁₄	0.450	0.873	是				
	管理性 A ₂	信息自动录入效率 A ₂₁	0.676	0.518	否	技术稳定可靠性 A ₂₅	0.380	0.899	是
		记录查询方便性 A ₂₂	0.727	0.505	否	运行信息安全性 A ₂₆	0.718	0.511	否
		数据管理便捷性 A ₂₃	0.600	0.716	是	图书卫生安全性 A ₂₇	0.683	0.532	否
		运营管理高效性 A ₂₄	0.514	0.758	是	售后服务持续性 A ₂₈	0.467	0.763	是
产品 B	功能性 B ₁	消毒杀菌功能 B ₁₁	0.427	0.776	是	指令反馈效率和方式 B ₁₆	0.706	0.514	否
		书籍兑换购买租赁 B ₁₂	0.539	0.715	是	软硬件协同性 B ₁₇	0.715	0.517	否
		在线提醒通知 B ₁₃	0.483	0.711	是	操作容错性 B ₁₈	0.420	0.792	是
		书籍破损丢失鉴定服务 B ₁₄	0.471	0.766	是	任务引导性 B ₁₉	0.382	0.933	是
	创新性 B ₂	界面设计 B ₁₅	0.457	0.756	是				
		功能服务前瞻性 B ₂₁	0.400	0.940	是	交互方式创新性 B ₂₄	0.423	0.809	是
		容纳结构创新性 B ₂₂	0.386	0.904	是	材料创新 B ₂₅	0.759	0.504	否
		造型设计创新性 B ₂₃	0.436	0.824	是	技术创新 B ₂₆	0.747	0.503	否
用户 C	吸引力 C ₁	使用功能有用性 C ₁₁	0.692	0.557	否	智能化程度 C ₁₅	0.667	0.519	否
		美学外观造型 C ₁₂	0.556	0.753	是	交互人性化 C ₁₆	0.560	0.633	是
		利益获取 C ₁₃	0.594	0.567	否	使用获得感 C ₁₇	0.391	0.897	是
		情感共鸣性 C ₁₄	0.688	0.533	否	共享环保性 C ₁₈	0.52	0.713	是

1.3 变异系数筛选设计评价指标

指标的变异系数反映了指标的信息含量,通过变异系数筛选出指标层中信息含量大的指标^[10],保证筛选后的指标对校园共享图书柜综合评价有显著影响。邀请 5 位专家采用百分制对评价指标进行重要度打分,其中,5 位专家包括 1 名高校共享图书柜管理人员,1 名智能图书柜产品设计师,1 名高校共享图书柜使用者,2 名高校智能产品设计研究学者,借鉴文献^[10-12]中的变异系数分析对 38 个二级指标进行筛选。

为消除数据量纲对指标筛选结果的影响,常采用数据标准化的方法将原始数据转化为区间[0,1]之间的数,假设 P_{jk} 表示第 k 个专家第 j 个指标标准化值, V_{jk} 表示第 k 个专家第 j 个指标原始打分值, m 表示专家数,标准化见式(1)。

$$P_{jk} = \frac{V_{jk} - \min(V_{jk})}{\max(V_{jk}) - \min(V_{jk})}$$

(1)

假设 r_j 表示第 j 个指标变异系数,被评价指标数为 n ,第 j 个评价指标评分均值为 $\bar{x}_j$,第 j 个指标第 k 个专家值为 x_{jk} ,则 r_j 为:

$$r_j = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (x_{jk} - \bar{x}_j)^2}}{\bar{x}_j}$$

(2)

$$\bar{x}_j = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_{jk}$$

(3)

变异系数越大,说明指标数据的差异性越大,对校园共享图书柜综合评价的结果影响越强。保留变异系数大于均值的指标,剔除其余指标,经过变异系数计算,保留 23 个指标,如表 1 第 4、5、6、8、9、10 列所示,根据专家讨论分析,将保留的二级指标 B_{11} 、 B_{12} 、 B_{13} 、 B_{14} 归纳为功能指令指标,最终,校园共享图书柜综合评价指标体系如图 2 所示。

2 基于博弈论云模型的校园共享图书柜综合评价模型

基于博弈论的主客观组合赋权,既考虑了客观数据的实际规律,又反应了决策者的决策意图^[13]。云模型以模糊数学理论和概率论为基础,体现的整体概念特征用云的数学特征来反映^[14],较好地解决评价中模糊性和随机性问题。基于博弈论组合赋权和云模型构建校园共享图书柜综合评价模型,评价模型如图 3 所示。

2.1 基于改进层次分析法的主观赋权

层次分析法是一种按照分解、比较判断、综合的思维方式,进行定性与定量分析的优化决策方法^[15],但由于现实中专家的专业背景和水平经验具有差异性,

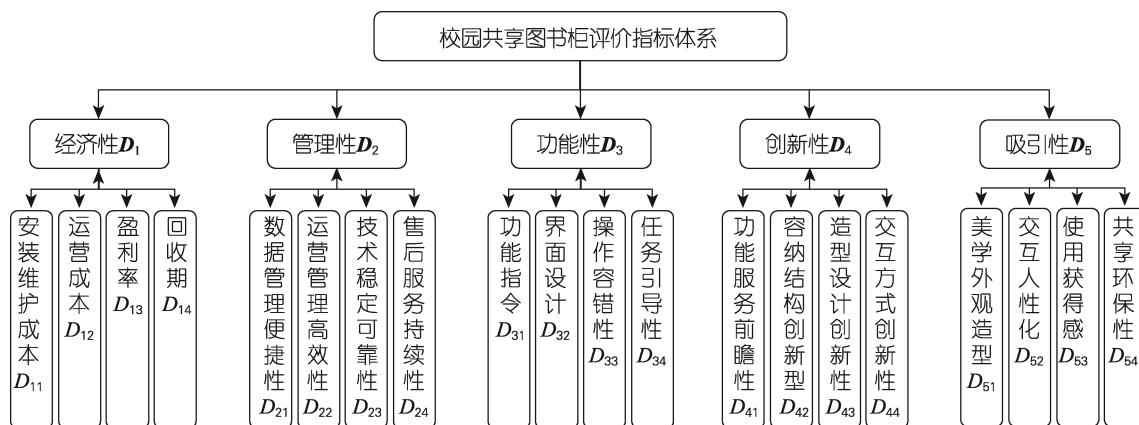


图2 校园共享图书柜评价指标体系

Fig.2 Evaluation indicator system of campus shared book cabinet

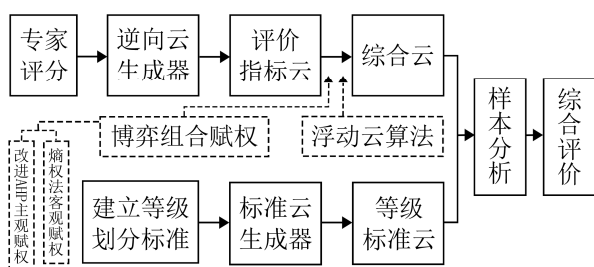


图3 博弈论云模型评价模型

Fig.3 Evaluation model of game theory cloud model

无法保证判断矩阵的一致性，需要进行多次一致性检验并修改判断矩阵，增加了计算工作负担，因此，提出改进的层次分析法^[13]。目前，对于层次分析法进行改进的研究主要有使用穆迪优先图表法进行改进、在确定样本所属质量级别上进行改进、判断矩阵构造对人的主观评价的量化过程进行改进、基于最优传递矩阵进行改进、聚类分析思想融合到群组层次分析法中进行改进。本文基于最优传递矩阵对层次分析法进行改进，其理论依据是利用最优传递矩阵，得到一个自然满足一致性要求的判断矩阵，不必进行一致性检验环节。

1) 以 1~9 级标度法^[16]构造判断矩阵 A ，见式 (4)。

$$A = (a_{ij})_{n \times n} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{pmatrix} \quad (4)$$

2) 求矩阵 A 的反对称矩阵 B ，见式 (5)。

$$B = b_{ij} = \lg a_{ij} \quad (5)$$

式中：特点为 $b_{ij} = -b_{ji}$ 。

3) 求矩阵 B 的最优传递矩阵 C ，使 $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (c_{ij} - b_{ij})^2$ 最小，见式 (6)。

$$C = c_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (b_{ik} - b_{jk}) \quad (6)$$

4) 构造优化矩阵 D ，见式 (7)。

$$D = d_{ij} = 10^{c_{ij}} \quad (7)$$

5) 将优化矩阵 D 归一化，见式 (8)。

$$\bar{d}_{ij} = \frac{d_{ij}}{\sum_{i=1}^n d_{ij}} \quad (8)$$

6) 行相加求和向量，见式 (9)。

$$w_i' = \sum_{j=1}^n \bar{d}_{ij} \quad (9)$$

7) 求权重向量，见式 (10)。

$$w_i = \frac{w_i'}{\sum_{i=1}^n w_i'} \quad (10)$$

2.2 基于熵权法的客观权重计算

熵权法是一种可以充分挖掘原始数据信息的赋权法，用熵值来判断指标的离散程度，进而判断指标对综合评价的影响，即评价指标的权重，减少人为因素对指标权重的影响。因熵权法的研究已相当成熟，故不再赘述，其计算步骤如图 4 所示。

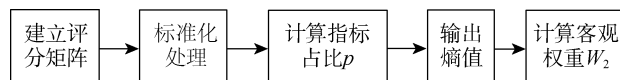


图4 熵权法客观权重计算步骤

Fig.4 Calculation steps of objective weight of entropy weight method

2.3 基于博弈论的组合赋权

为合理权衡主观和客观权重，本文引入了博弈论思想协调主客观权重之间的冲突以实现最优权重组合。博弈论是研究具有斗争和竞争性质现象的一种运筹学方法^[17]，以纳什均衡为协调手段，使得不同主体之间相互竞争与妥协以实现自身利益最大化的决策均衡。

采用改进的 AHP (层次分析法) 和熵权法计算

得到主客观权重 ω_1 和客观权重 ω_2 , 根据博弈论思想, 得到组合权重。具体过程如下。

1) 构造组合权重 ω , 见式 (11)。

$$\omega = \alpha_1 \omega_1^T + \alpha_2 \omega_2^T \quad (11)$$

式中: α_1 、 α_2 分别为主客观权重的组合系数。

2) 为使主客观权重利益最大化, 优化组合系数 α_1 和 α_2 以极小化组合权重和主客观权重间的偏差, 目标函数, 见式 (12)。

$$\min \sum_{k=1}^2 \alpha_k \omega_k^T - \omega_k^T \quad (12)$$

3) 由微积分性质求式 (11) 最优一阶导数条件的线性方程组, 见式 (13)。

$$\begin{pmatrix} \omega_1 \omega_1^T & \omega_1 \omega_2^T \\ \omega_2 \omega_1^T & \omega_2 \omega_2^T \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \omega_1 \omega_1^T \\ \omega_2 \omega_2^T \end{pmatrix} \quad (13)$$

4) 由式 (13) 求组合权重系数 α_1 、 α_2 , 并进行归一化处理, 见式 (14)。

$$\alpha_i^* = \frac{\alpha_i}{\sum_{i=1}^2 \alpha_i} \quad (14)$$

5) 求博弈组合赋权权重, 见式 (15)。

$$\omega^* = \alpha_1^* \omega_1^T + \alpha_2^* \omega_2^T \quad (15)$$

2.4 基于云模型的设计评价流程

云模型基于云的运算、推理和控制处理定性概念与定量描述之间的相互转换, 通过云发生器实现定性和定量之间的相互映射, 云发生器示意图如图 5。正向云发生器是实现从语言值表达的定性概念中获取定量数据范围、分布规律的算法, 其基本原理是根据云的数字特征 (E_x, E_n, H_e) 在论域空间内产生云滴, 每个云滴都是表示的语言值在数量上的一次具体实现, 逆向云发生器则将一定数量的精确数值转换成以恰当的语言值表示的定性概念^[18]。

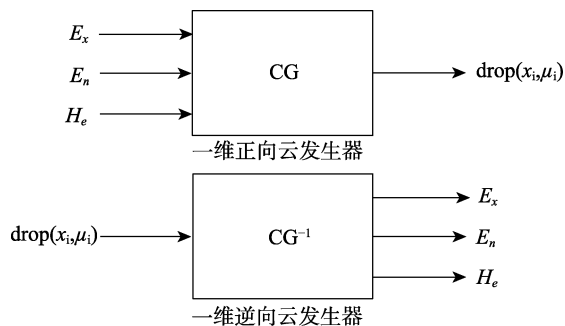


图 5 云发生器示意^[19]

Fig.5 Schematic diagram of cloud generator^[19]

确定评价标准云, 根据实际调查确定不同梯度的定性评语并形成评价等级集, 若实际调查中确定 L 个不同梯度的定性评语, 则评价等级集 V 见式 (16)。

$$V\{V_1, V_2, V_3, \dots, V_L\} \quad (16)$$

将论域 $[0, S]$ 为 L 个区间, 若 V_j 为评价等级集中第 j 个定性评语, 将其定量化转换为论域中第 j 个区间 $[S_j^{\min}, S_j^{\max}]$, 根据双边约束的评价等级范围进行求解评价等级集中每个区间的云数字特征, 将模糊的评价等级转化为评价云模型, 计算见 (17)。

$$\begin{cases} E_x = \frac{S_j^{\max} + S_j^{\min}}{2} \\ E_n = \frac{S_j^{\max} - S_j^{\min}}{6} \\ H_e = k \end{cases} \quad (17)$$

式中: k 根据模糊程度, 一般取 0.1。

构建设计评价综合评价云, 设共邀请 r 位专家对 m 项二级指标进行评价打分得到评价矩阵 Z_i , 则 $M = \{m_1, m_2, m_3, \dots, m_r\}$ 为评价决策者集, $C = \{c_1, c_2, c_3, \dots, c_m\}$ 为产品评价指标集, 评价矩阵 Z_i 表示见式 (18)

$$Z_i = \begin{pmatrix} Z_{11} & Z_{12} & \dots & Z_{1m} \\ Z_{21} & Z_{22} & \dots & Z_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Z_{r1} & Z_{r2} & \dots & Z_{rm} \end{pmatrix} \quad (18)$$

计算第 j 个评价指标的评价云 $Q_j = (E_{xj}, E_{nj}, H_{ej})$ 。

$$\begin{cases} E_{xj} = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r Z_{ij} \\ E_{nj} = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \times \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r |Z_{ij} - E_{xj}| \\ H_{ej} = \sqrt{S_j^2 - E_{nj}^2} \\ S_j^2 = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r (Z_{ij} - E_{xj})^2 \end{cases} \quad (19)$$

通过云模型浮动云算法和组合权重实现对指标云的集结, 得到设计评价指标的综合评价云 $Q = (E_x, E_n, H_e)$ 。

$$\begin{cases} E_x = \frac{\sum_{i=1}^m \omega_i E_{xi}}{\sum_{i=1}^m \omega_i} \\ E_n = \frac{\sum_{i=1}^m \omega_i^2 E_{ni}}{\sum_{i=1}^m \omega_i^2} \\ H_e = \frac{\sum_{i=1}^m \omega_i^2 H_{ei}}{\sum_{i=1}^m \omega_i^2} \end{cases} \quad (20)$$

3 校园共享图书柜综合评价实例应用

选取武汉市三所高校投放的校园共享图书柜

M1、M2、M3 为样本，利用上述方法对其进行综合评价并排序以此验证该方法的可行性。图 6 为样本 M1、M2、M3 效果图。

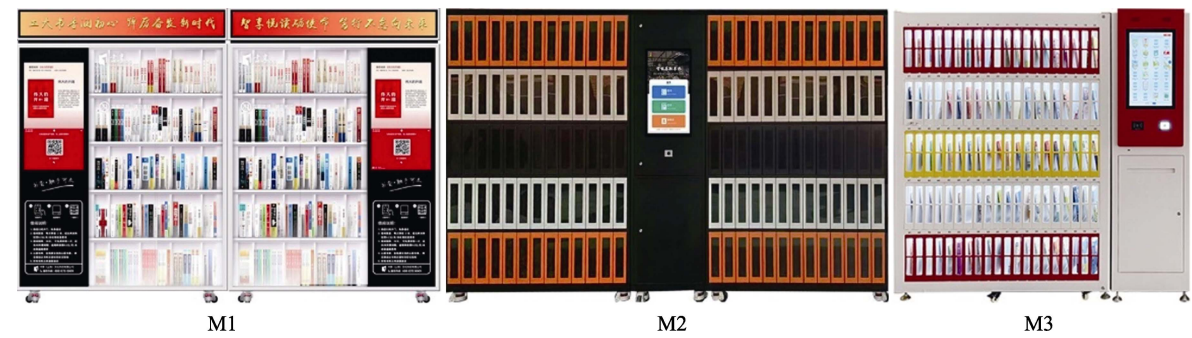


图 6 校园共享图书柜样本
Fig.6 Sample of campus shared book cabinet

3.1 评价指标权重确定

根据表 2 的校园共享图书柜评价指标体系，共邀请 15 名专家（包含 5 名从事智能图书柜设计的设计师，5 名高校共享图书柜运营管理人员，5 名高校共享图书柜使用者，运营管理人员和使用者皆为三个样本的相关接触者）对三个样本进行研讨和使用体验交流，以 1~9 级标度法两两对比建立判断矩阵。其中，2 名运营管理人员、2 名设计人员、2 名使用者共同研讨建立一级评价指标判断矩阵如表 2 第 2~6 列所示，5 名运营管理人员、5 名设计人员、5 名使用者分别研讨建立二级评价判断矩阵如表 3 第 3~6 列所示。基于改进层次分析法的计算步骤得出主观权重见表 2 第 7 列、表 3 第 7 列。

采用熵权法计算得到客观权重，结果见表 4。

运用博弈论思想均衡主、客观权重得出最优组合权重，主、客观权重及组合权重见表 5。

3.2 确定评价指标云和综合云

将评价标准划分为 5 个梯度的评价等级和评分区间，评价等级集 V 表示为{差，一般，中等，良好，优秀}，为确定等级量化数值，定义评价取值范围为 $[0,100]$ ，各评价等级对应的等级量化值为 $[0,25]$ ， $(25,50]$ ， $(50,75]$ ， $(75,90]$ ， $(90,100]$ 。利用式（17）计算标准云模型数字特征，见表 6。

表 2 层次分析法计算一级指标权重						
Tab.2 Calculation of first-level indicator weight by AHP						
一级指标	成对比矩阵					主观权重
D_1	1	3	1/2	4	2	0.278 0
D_2	1/3	1	1/4	2	1/2	0.109 0
D_3	2	4	1	4	3	0.397 8
D_4	1/4	1/2	1/4	1	2	0.097 1
D_5	1/2	2	1/3	1/2	1	0.118 2

表 3 层次分析法计算二级指标权重 Tab.3 Calculation of Secondary indicator weight by AHP						
一级指标	二级指标	成对比矩阵				权重
D_1	D_{11}	1	1/2	1/3	2	0.164 4
	D_{12}	2	1	1/2	3	0.284 8
	D_{13}	3	2	1	3	0.445 7
	D_{14}	1/2	1/3	1/3	1	0.105 1
D_2	D_{21}	1	1/3	1/2	1/4	0.094 0
	D_{22}	3	1	1/3	1/2	0.302 9
	D_{23}	2	1/3	1	1/3	0.142 8
	D_{24}	4	2	3	1	0.460 3
D_3	D_{31}	1	4	3	2	0.470 4
	D_{32}	1/4	1	2	1/3	0.135 8
	D_{33}	1/3	1/2	1	1/2	0.114 2
	D_{34}	1/2	3	2	1	0.279 7
D_4	D_{41}	1	2	3	1/2	0.300 7
	D_{42}	1/2	1	2	1/2	0.192 2
	D_{43}	1/3	1/2	1	1/2	0.122 8
	D_{44}	2	2	2	1	0.384 3
D_5	D_{51}	1	1/2	3	2	0.294 1
	D_{52}	2	1	2	3	0.416 0
	D_{53}	1/3	1/2	1	2	0.169 8
	D_{54}	1/2	1/3	1/2	1	0.120 1

邀请三所高校共 27 名运营维护人员，设计师，使用者对三个样本 20 个评价指标进行打分，由式（19）计算得出各评价指标云 $Q_j = (E_{xj}, E_{nj}, H_{ej})$ ，计算结果如表 7 所示。依据浮动云算法，将组合权重和指标云 Q_j 代入式（20）得出各个方案的综合云数字特征，如表 8 所示，通过正向云发生器，采用 Matlab 编码可生成综合评价云图，三个样本综合云图如图 7~9（Matlab 软件生成）所示。

表 4 熵权法计算权重
Tab.4 Calculation of weights by the entropy weight method

评价指标	信息熵值	熵权法权重
D_{11}	0.995 4	0.046 5
D_{12}	0.988 9	0.112 0
D_{13}	0.993 6	0.046 2
D_{14}	0.994 9	0.051 4
D_{21}	0.999 2	0.007 8
D_{22}	0.996 0	0.039 9
D_{23}	0.998 3	0.017 2
D_{24}	0.997 4	0.026 7
D_{31}	0.994 6	0.054 1
D_{32}	0.998 0	0.020 0
D_{33}	0.997 7	0.023 5
D_{34}	0.997 5	0.025 5
D_{41}	0.994 0	0.060 5
D_{42}	0.995 6	0.044 7
D_{43}	0.985 0	0.151 4
D_{44}	0.990 7	0.093 2
D_{51}	0.995 1	0.049 3
D_{52}	0.993 5	0.065 8
D_{53}	0.997 1	0.028 8
D_{54}	0.998 3	0.017 4

表 5 综合权重计算结果及指标排序
Tab.5 Comprehensive weight calculation results and indicator ranking

评价指标	AHP 权重	熵权权重	综合权重	排序
D_{11}	0.045 7	0.046 5	0.046 0	8
D_{12}	0.079 2	0.112 0	0.092 9	3
D_{13}	0.123 9	0.046 2	0.098 9	2
D_{14}	0.029 2	0.051 4	0.038 5	13
D_{21}	0.010 2	0.007 8	0.009 2	20
D_{22}	0.033 0	0.039 9	0.035 9	15
D_{23}	0.015 6	0.017 2	0.016 2	18
D_{24}	0.050 2	0.026 7	0.040 3	11
D_{31}	0.187 1	0.054 1	0.131 3	1
D_{32}	0.054 0	0.020 0	0.039 8	12
D_{33}	0.045 4	0.023 5	0.036 2	14
D_{34}	0.111 2	0.025 5	0.075 3	4
D_{41}	0.029 2	0.060 5	0.042 3	9
D_{42}	0.018 7	0.044 7	0.029 6	16
D_{43}	0.011 9	0.151 4	0.070 4	5
D_{44}	0.037 3	0.093 2	0.060 7	6
D_{51}	0.034 8	0.049 3	0.040 9	10
D_{52}	0.049 2	0.065 8	0.056 1	7
D_{53}	0.020 1	0.028 8	0.023 7	17
D_{54}	0.014 2	0.017 4	0.015 5	19

表 6 评价等级标准云模型
Tab.6 Evaluation grade standard cloud model

评价等级	评分区间	云模型特征参数
差	[0,25]	(12.50, 4.17, 0.10)
一般	(25,50]	(37.50, 4.17, 0.10)
中等	(50,75]	(62.50, 4.17, 0.10)
良好	(75,90]	(82.50, 2.50, 0.10)
优秀	(90,100]	(95.00, 1.67, 0.10)

表 7 三个样本评价指标云模型参数
Tab.7 Evaluation index cloud model parameters of three samples

二级指标	云模型参数		
	M1	M2	M3
D_{11}	(56.48,10.24,3.90)	(44.30,9.94,8.21)	(56.44,11.49,3.85)
D_{12}	(54.52,10.75,5.81)	(40.56,12.40,9.13)	(57.96,9.24,4.78)
D_{13}	(48.70,11.27,4.89)	(35.56,13.22,6.74)	(50.89,10.12,2.70)
D_{14}	(41.63,10.80,7.53)	(26.44,14.20,7.44)	(44.89,11.90,5.53)
D_{21}	(75.22,7.94,1.86)	(70.70,9.73,2.63)	(77.04,7.47,1.85)
D_{22}	(77.19,6.39,3.08)	(61.70,10.37,4.54)	(78.52,7.04,0.96)
D_{23}	(83.70,4.35,1.49)	(78.33,6.59,3.41)	(83.22,4.63,0.65)
D_{24}	(81.85,8.47,2.70)	(55.89,13.85,3.60)	(78.56,8.88,3.51)
D_{31}	(65.19,11.17,2.28)	(51.41,15.50,2.98)	(64.63,15.52,5.36)
D_{32}	(67.89,11.17,3.80)	(57.59,14.75,3.40)	(62.48,14.83,1.34)
D_{33}	(65.56,12.94,1.67)	(55.07,13.95,0.74)	(63.67,11.05,1.53)
D_{34}	(70.74,11.24,1.24)	(54.89,18.35,5.47)	(66.07,9.96,4.32)
D_{41}	(55.30,11.61,6.90)	(34.81,16.45,9.35)	(53.04,12.76,4.06)
D_{42}	(59.89,13.81,4.35)	(44.11,10.53,5.98)	(45.85,11.05,4.75)
D_{43}	(57.33,12.81,6.28)	(37.07,13.12,9.82)	(44.33,12.04,2.00)
D_{44}	(50.07,13.31,7.53)	(32.30,16.01,7.28)	(48.30,12.03,4.37)
D_{51}	(69.37,12.14,3.97)	(48.00,12.44,5.94)	(63.19,13.63,4.83)
D_{52}	(71.37,10.42,3.88)	(43.22,17.90,7.95)	(73.04,10.25,3.81)
D_{53}	(72.04,8.32,0.87)	(44.48,20.02,2.64)	(74.04,8.59,1.30)
D_{54}	(66.70,14.07,1.90)	(57.11,14.28,2.18)	(71.70,11.90,3.51)

表 8 三个样本综合评价云模型参数
Tab.8 Comprehensive evaluation cloud model parameters of three samples

样本	综合评价云模型参数
M1	(61.95, 11.20, 4.05)
M2	(45.59, 14.47, 6.02)
M3	(60.26, 11.87, 3.99)

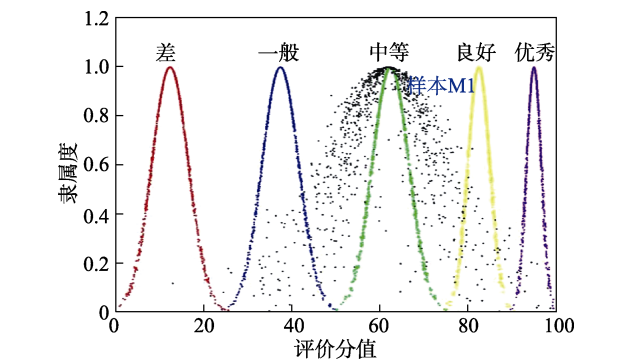


图 7 样本 M1 综合评价云图
Fig.7 Comprehensive evaluation cloud map of sample M1

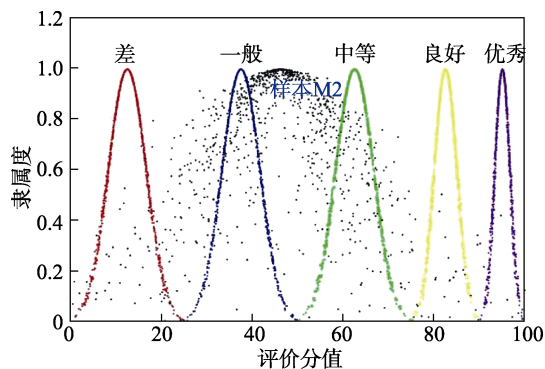


图8 样本 M2 综合评价云图

Fig.8 Comprehensive evaluation cloud map of sample M2

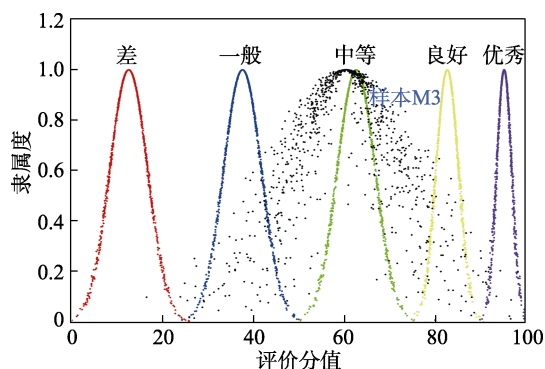


图9 样本 M3 综合评价云图

Fig.9 Comprehensive evaluation cloud map of sample M3

3.3 数据分析

评价的整体特征可以用云的数字特征(E_x, E_n, H_e)来反映,分布期望 E_x 代表定性概念量化的点,是论域中与云滴群的重心对应的位置, E_x 越大,样本的综合评价越高。熵 E_n 被用来综合度量定性概念模糊度和概率,代表云滴分布的模糊性和不确定性, E_n 越大,云滴在云图上的分布跨度越大,综合评价越不稳定。超熵 H_e 是熵的不确定性度量,反映了为云滴的凝聚程度, H_e 增大,云滴的凝聚程度越小,评价人员对方案评价的不确定性越大,即评价认同程度低。

根据三个样本的综合评价云模型参数及云图显示,样本 M1 与样本 M3 整体水平属于中等等级,优于样本 M2 一般等级。样本 M1 与样本 M3 的熵值差异较小且低于样本 M2,说明样本 M1 与样本 M3 不确定性基本一致且低于样本 M2,三个样本的超熵值也说明了评价人员对样本 M2 的认同程度低于样本 M1 与样本 M3,故总体来说,样本 M1 优于样本 M3 优于样本 M2。根据表 7 三个样本评价指标云模型参数对照可知,样本 M2 二级评价指标的期望值整体低于其余两个样本,在售后服务持续性、交互人性化、使用获得感评价指标差异最大,在下一步的优化改进上,应从这三方面考虑。

4 结语

此次研究将博弈论云模型理论引入到校园共享图书柜的综合评价中,利用变异系数从海选的 38 个评价指标中筛选出对综合评价影响较大的指标,并以博弈论进行主、客观组合赋权,运用云模型理论对 3 个样本进行排序,其综合评价结果为样本 M1 优于样本 M3 优于样本 M2。通过样本案例分析可知,基于博弈论云模型理论对校园共享图书柜进行综合评价具有可行性,可以帮助运营管理者、设计师进行合理决策,持续不断的优化产品,为产品改进设计提供了量化参考。在进行专家评分过程中,缺少统一的评分标准使得样本评分仍存在主观性和差异性,其次,还存在样本数量和样本评分数量不足的问题,后续需要对此进行改进,统一样本间评分标准,扩大样本及样本评分数量,以获得更为科学客观的综合评价结果。

参考文献:

- [1] 康思本. 共享图书发展难题与对策研究[J]. 国家图书馆学刊, 2020, 29(2): 79-88.
KANG Si-ben. Research on the Development Difficulties and Countermeasures of Sharing Books[J]. Journal of the National Library of China, 2020, 29(2): 79-88.
- [2] 张焱. 共享图书与传统图书馆的融合发展研究[J]. 山西档案, 2017(2): 121-123.
ZHANG Yan. Research on the Integration and Development of Shared Books and Traditional Libraries[J]. Shanxi Archives, 2017(2): 121-123.
- [3] 陈可欣, 齐伟伟, 曹文屹, 等. 基于共享经济下的移动图书柜设计方案研究[J]. 中小企业管理与科技(上旬刊), 2021(9): 161-163.
CHEN Ke-xin, QI Wei-wei, CAO Wen-yi, et al. Research on the Design Scheme of Mobile Bookshelf Based on the Sharing Economy[J]. Management & Technology of SME, 2021(9): 161-163.
- [4] 吴紫柔, 刘国成, 王华. 一种基于二维码技术的移动图书站设计[J]. 现代信息科技, 2018, 2(6): 1-3.
WU Zi-rou, LIU Guo-cheng, WANG Hua. Design of Mobile Library Based on Two Dimensional Code Technology[J]. Modern Information Technology, 2018, 2(6): 1-3.
- [5] 米高峰, 李思美, 赵梦飞. 全民阅读语境下图书资源整合与共享平台设计研究[J]. 出版广角, 2018(6): 61-63.
MI Gao-feng, LI Si-mei, ZHAO Meng-fei. Research on the Design of Book Resources Integration and Sharing Platform in the Context of National Reading[J]. View on Publishing, 2018(6): 61-63.
- [6] 吕欣, 刘玉云. 基于 AHP-TOPSIS 方法的儿童安全座椅设计方案评价研究[J]. 包装工程, 2019, 40(14): 150-155.

- LYU Xin, LIU Yu-yun. Evaluation of Design Alternatives for Child Safety Seat Based on AHP-TOPSIS[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(14): 150-155.
- [7] 杨俞玲, 张丙辰, 李寻, 等. 基于 AHP-熵权法的 ASD 儿童干预 APP 导航界面设计评价[J]. 包装工程, 2022, 43(12): 165-173.
- YANG Yu-ling, ZHANG Bing-chen, LI Xun, et al. Evaluation of Navigation Interface Design of ASD Children Intervention APP Based on AHP-Entropy Weight Method[J]. Packaging Engineering, 2022, 43(12): 165-173.
- [8] 吕帅, 李永锋. 基于熵权和灰关联的老年人信息终端界面布局评价研究[J]. 包装工程, 2023, 44(2): 128-136.
- LYU Shuai, LI Yong-feng. Research on Layout Evaluation of Information Terminal Interface for the Elderly Based on Entropy Weight Method and Grey Relational Analysis[J]. Packaging Engineering, 2023, 44(2): 128-136.
- [9] 李付星, 孙健. 产品造型设计方案的评价方法[J]. 机械设计, 2017, 34(4): 104-108.
- LI Fu-xing, SUN Jian. Evaluation Method of Product Modeling Design Scheme[J]. Journal of Machine Design, 2017, 34(4): 104-108.
- [10] 石宝峰, 迟国泰. 基于信息含量最大的绿色产业评价指标筛选模型及应用[J]. 系统工程理论与实践, 2014, 34(7): 1799-1810.
- SHI Bao-feng, CHI Guo-tai. Green Industry Evaluation Indicators Screening Model Based on the Maximum Information Content and its Application[J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2014, 34(7): 1799-1810.
- [11] 张云亮, 窦博鑫, 甘志, 等. 基于变异系数法建立蒲公英脆片不同因素与评价指标的选择[J]. 农产品加工, 2021(1): 52-59.
- ZHANG Yun-liang, DOU Bo-xin, GAN Zhi, et al. Established the Selection of Different Factors and Evaluation Indexes of Dandelion Chips Based on the Coefficient of Variation Method[J]. Farm Products Processing, 2021(1): 52-59.
- [12] 马大勇, 李安卓. 基于数据挖掘的船舶虚拟驾驶效果评价[J]. 舰船科学技术, 2022, 44(18): 181-184.
- MA Da-yong, LI An-zhuo. Research on Evaluation of Ship Virtual Driving Effect Based on Data Mining[J]. Ship Science and Technology, 2022, 44(18): 181-184.
- [13] 严惊涛, 刘树光. 基于组合赋权的对地攻击无人机自主能力云模型评价[J/OL]. 北京航空航天大学学报: 1-14[2022-11-19]. <https://doi.org/10.13700/j.bh.1001-5965.2022.0072>.
- YAN Jing-tao, LIU Shu-guang. Cloud Model Evaluation of Autonomous Capability of Ground-attack UAV Based on Combined Weighting[J/OL]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics: 1-14 [2022-11-19]. <https://doi.org/10.13700/j.bh.1001-5965.2022.0072>.
- [14] 沈进昌, 杜树新, 罗祎, 等. 基于云模型的模糊综合评价方法及应用[J]. 模糊系统与数学, 2012, 26(6): 115-123.
- SHEN Jin-chang, DU Shu-xin, LUO Wei, et al. Fuzzy Comprehensive Evaluation Method and Its Application Based on Cloud Model[J]. Fuzzy Systems and Mathematics, 2012, 26(6): 115-123.
- [15] 柴敏, 马彧. 基于 AHP 和加权灰色关联分析的并条机设计评价研究[J]. 包装工程, 2022, 43(4): 251-257.
- CAI Ming, MA Yu. Design and Evaluation of Drawing Frame Based on AHP and Weighted Grey Relational Analysis[J]. Packaging Engineering, 2022, 43(4): 251-257.
- [16] 李芳, 何思俊, 支锦亦, 等. 基于 AHP-熵权法的高速列车乘客车厢设计满意度评价[J]. 机械设计, 2020, 37(2): 121-125.
- LI Fang, HE Si-jun, ZHI Jin-yi, et al. Design Satisfaction Evaluation of High-speed Train Passenger Compartment Based on AHP-entropy Weight Method[J]. Journal of Machine Design, 2020, 37(2): 121-125.
- [17] 何乐平, 徐应东, 胡启军, 等. 基于博弈论-云模型的软岩隧道大变形风险评估[J]. 现代隧道技术, 2021, 58(6): 85-94.
- HE Le-ping, XU Ying-dong, HU Qi-jun, et al. The Risk Evaluation of Soft Rock Tunnel Based on Game Theory-Cloud Model[J]. Modern Tunnelling Technology, 2021, 58(6): 85-94.
- [18] 陈昊, 李兵. 基于逆向云和概念提升的定性评价方法[J]. 武汉大学学报(理学版), 2010, 56(6): 683-688.
- CHEN Hao, LI Bin. Qualitative Evaluation Method Based on Reverse Cloud and Concept Improvement[J]. Journal of Wuhan University(Natural Science Edition), 2010, 56(6): 683-688.
- [19] 叶琼, 李绍稳, 张友华, 等. 云模型及应用综述[J]. 计算机工程与设计, 2011, 32(12): 4198-4201.
- YE Qiong, LI Shao-wen, ZHANG You-hua, et al. Cloud Model and Application Overview [J]. Computer Engineering and Design, 2011, 32(12): 4198-4201.

责任编辑: 陈作