

基于区间灰色语言 POWA 算子的 包装产业创新能力评价

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2018.04.010

周欢^{1,2} 郭珂^{1,2}
罗子灿^{1,2}

1. 湖南工业大学

商学院

湖南 株洲 412007

2. 湖南工业大学

湖南省包装经济研究基地

湖南 株洲 412007

摘要:在“创新驱动发展战略”下,评价包装产业创新能力、提高包装产业核心竞争力成为研究的热点。包装产业创新能力评价因素之间存在相互影响关系,为了较好地评价此类问题,提出用区间灰色语言变量描述各评价因素,构建了基于区间灰色语言 Power 有序加权平均算子的灰色模糊多准则决策模型,并将其应用于包装产业创新能力评价问题中,最后通过对不同区域包装产业创新能力的评价验证了所提出方法的有效性和可行性。

关键词:区间灰色语言变量;区间灰色语言 Power 有序加权平均算子;多准则决策;包装产业创新能力评价

中图分类号: C934

文献标志码: A

文章编号: 1674-7100(2018)04-0062-07

0 引言

2016年,工业和信息化部与商务部联合发布了《关于加快我国包装产业转型升级的指导意见》。该文件以创新发展为主线,以绿色发展理念、产业技术创新体系、清洁生产水平、配套扶持政策为关键因素,完整构建了我国包装行业提升竞争水平完成转型升级的发展框架。上述4个关键因素也成为衡量区域包装产业创新能力的重要标准。在对包装产业创新能力进行实际评估时,各因素并不是孤立的,而是存在着相互影响关系。例如,包装产业在制定绿色发展理念时往往受到区域包装企业技术创新水平的影响,即区域包装企业现有创新技术水平越低,相应的实际发展理念就可能越偏离绿色发展。因此,区域包装产业创新能力的评估不仅需要考虑到上述各因素的水

平,还要考虑因素间相互关系对于评价结果的影响,是一类典型的准则之间存在关联的多准则决策问题。同时,由于包装产业创新能力评价问题的复杂性,各因素评价信息具有模糊性和灰色性等不确定性,很难采用传统的评分法对各因素进行评价,而使用灰色模糊集^[1-2]且同时运用 Power 集成算子进行集结,可以兼顾这类问题的两种特点。

语言信息符合决策者的表达习惯,在描述模糊信息方面具有独特优势。灰色语言同时具有灰色性和模糊性特点,具有较强的描述不确定信息的能力。目前,灰色语言主要有两种表现形式:一种是,2009年王坚强等^[3]在灰色模糊数的基础上,利用语言评价与灰信息理论的特点,构建的由语言评价、隶属度、信息灰度三部分组成的灰色语言变量。吴建文^[4]在此基础上提出了灰色语言混合平均

收稿日期:2018-06-07

基金项目:湖南省包装经济研究基地基金资助项目(2017BZJJ03),“绿色包装与安全”专项研究基金资助项目(2017ZBLZ01),湖南省教育厅科学研究基金资助项目(17C0510),湖南省哲学社会科学基金资助项目(17YBQ038,17JD27),湖南省自然科学基金资助项目(2018JJ3132)

作者简介:周欢(1982-),女,湖南益阳人,湖南工业大学讲师,博士,主要研究方向为决策理论与应用,

E-mail: 27887182@qq.com

(grey linguistic hybrid averaging, GLHA) 算子与灰色语言混合几何平均 (grey linguistic hybrid geometric averaging, GLHGA) 算子, 综合考虑了集结元素位置关系和准则权重对决策的影响。另一种是, 刘培德等^[5]于 2011 年提出的区间灰色语言变量, 由语言评价价值与灰部 (闭区间) 两部分组成, 分别代表评价者对方案的评价价值以及做此评价时拥有的有效信息量, 并在此基础上提出了区间灰色语言变量加权几何集成 (interval grey linguistic weighted geometric averaging, IGLWGA) 算子。基于此类算子的计算简单明确, 但无法解决准则间存在关联的多准则决策问题。Power 算子^[6]运用一定的方法测量输入信息间的关联性并以权重的方式反映到集结过程中, 能较好地解决准则间存在关联的决策问题。因此, 本文拟将 Power 算子扩展到区间灰色语言环境, 构建多准则决策模型, 并将其用于包装产业创新能力评价问题中。

1 基本概念

1.1 区间灰色语言变量

定义 1^[7] 设语言评价集 $S = \{s_\alpha | 0, 1, \dots, 2t\}$ 为由奇数个语言术语组成的集合, t 为正整数, s_α 为语言变量可能的取值, 且满足以下特征:

- 1) 有序性, 当 $\alpha > \beta$ 时 $s_\alpha > s_\beta$;
- 2) 逆运算, $s_\alpha = \text{neg}(s_\beta)$, 其中 $\alpha + \beta = 2t$ 。

Herrera 给出了语言变量的运算规则^[8]:

- 1) $s_\alpha \oplus s_\beta = s_{\alpha+\beta}$;
- 2) $\lambda s_\alpha = s_{\lambda\alpha}$, $\lambda \in [0, 1]$ 。

为了更好地描述现实中广泛存在的模糊性与灰色性信息, 刘培德等^[5]在语言评价集和区间数的基础上提出了区间灰色语言变量。

定义 2^[5] 设灰色模糊数 $\tilde{A} = (\tilde{A}, A)$, 其模部 \tilde{A} 为语言变量 s_α , $s_\alpha \in S$; 其灰部 A 为闭区间 $[g_A^L, g_A^U]$, 表示决策者评价所获信息的点灰度区间, 那么称 \tilde{A} 为区间灰色语言变量。

区间灰色语言变量中, 灰部的灰度越大表示所获信息量越少, 其给出评价的可信程度与利用价值越低; 灰度越小则表示所获信息量越多, 给出评价的可信度与利用价值越高。

定义 3^[5] 设 $\tilde{A} = (s_\alpha, [g_A^L, g_A^U])$ 与 $\tilde{B} = (s_\beta, [g_B^L, g_B^U])$ 为两个区间灰色语言变量, 其运算规则为:

- 1) $\tilde{A} + \tilde{B} = (s_{\alpha+\beta}, [\max(g_A^L, g_B^L), \max(g_A^U, g_B^U)])$;
- 2) $\tilde{A} - \tilde{B} = (s_{\alpha-\beta}, [\max(g_A^L, g_B^L), \max(g_A^U, g_B^U)])$;
- 3) $\tilde{A} \times \tilde{B} = (s_{\alpha \times \beta}, [\max(g_A^L, g_B^L), \max(g_A^U, g_B^U)])$;
- 4) $\tilde{A} \div \tilde{B} = (s_{\alpha \div \beta}, [\max(g_A^L, g_B^L), \max(g_A^U, g_B^U)])$;
- 5) $k\tilde{A} = (s_{k\alpha}, [g_A^L, g_A^U])$;
- 6) $(\tilde{A})^k = (s_{\alpha^k}, [g_A^L, g_A^U])$ 。

两个区间灰色语言变量之间的距离可以用 Hamming 距离来衡量。

定义 4^[5] 设 $\tilde{A} = (s_\alpha, [g_A^L, g_A^U])$ 和 $\tilde{B} = (s_\beta, [g_B^L, g_B^U])$ 为两个区间灰色语言变量, 则 \tilde{A} 和 \tilde{B} 之间的 Hamming 距离为

$$d(\tilde{A}, \tilde{B}) = \frac{1}{4t} (|\alpha(1-g_A^L) - \beta(1-g_B^L)| + |\alpha(1-g_A^U) - \beta(1-g_B^U)|) \quad (1)$$

容易证明公式 (1) 满足以下特征:

- 1) $0 \leq d(\tilde{A}, \tilde{B}) \leq 1$, $d(\tilde{A}, \tilde{A}) = 0$;
- 2) $d(\tilde{A}, \tilde{B}) = d(\tilde{B}, \tilde{A})$;
- 3) $d(\tilde{A}, \tilde{B}) + d(\tilde{B}, \tilde{C}) \geq d(\tilde{A}, \tilde{C})$ 。

灰色区间语言变量的大小比较可以借助于连续区间有序加权平均 (continuous-interval-argument ordered weighted averaging, C-OWA) 算子^[9]。首先将区间灰色语言变量的灰部区间数转化为实数, 然后将模部的语言下标与该实数相乘, 最后利用乘积结果对其进行大小排序。

定义 5^[9] 设 $[a, b]$ 为区间数并且符合

$$f_\rho([a, b]) = \int_0^1 \frac{d\rho(y)}{dy} (b - y(b-a)) dy, \quad (2)$$

则称 f 为 C-OWA 算子。式中 $\rho: [0, 1] \rightarrow [0, 1]$ 为单元区间上的单调递增 (basic unit-interval monotonic, BUM) 函数, 且具有以下性质:

- 1) $\rho(0) = 0$ 。
- 2) $\rho(1) = 1$ 。
- 3) 若 $x > y$, 则 $\rho(x) \geq \rho(y)$; 若 $\rho(y) = y^\delta$ ($\delta \geq 0$),

$$\text{则 } f_\rho([a, b]) = \frac{(b + \delta a)}{(\delta + 1)}。$$

定义 6^[5] 设 $\tilde{A} = (s_\alpha, [g_A^L, g_A^U])$ 和 $\tilde{B} = (s_\beta, [g_B^L, g_B^U])$ 为两个区间灰色语言变量, 则两者之间的比较规则如下:

1) 如果不等式

$$\alpha f_{\rho} \left(\left[(1-g_A^U), (1-g_A^L) \right] \right) \geq \beta f_{\rho} \left(\left[(1-g_B^U), (1-g_B^L) \right] \right)$$

成立, 则 $\tilde{A} \geq \tilde{B}$;

2) 如果不等式

$$\alpha f_{\rho} \left(\left[(1-g_A^U), (1-g_A^L) \right] \right) < \beta f_{\rho} \left(\left[(1-g_B^U), (1-g_B^L) \right] \right)$$

成立, 则 $\tilde{A} < \tilde{B}$ 。

1.2 Power 有序加权平均算子

考虑到聚合元素间存在相互支持的情况, R. R. Yager^[6]通过引入支持度的概念提出了 Power 算子, 其利用集结权重体现准则间存在的相互支持关系。目前, 该算子已被扩展到中智集^[10]、犹豫模糊语言^[11]、直觉模糊数^[12]、犹豫模糊数^[13]、梯形直觉模糊数^[14]等环境中, 并被用于处理应急道路选择^[15]、人才评价^[16]等领域。考虑到位置信息, R. R. Yager 提出了 Power 有序加权平均 (power ordered weighted averaging, POWA) 算子。

定义 7^[6] 设 $\{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ 为实数集合, 令 $POWA: \mathbf{R}^n \rightarrow \mathbf{R}$, 若

$$POWA(a_1, a_2, \dots, a_n) = \sum_{i=1}^n u_i a_{\text{index}(i)}, \quad (3)$$

则称 POWA 为 Power 有序加权平均算子。

定义中: $a_{\text{index}(i)}$ 为集合中第 i 大元素;

$$u_i = g \left(\frac{R_i}{TV} \right) - g \left(\frac{R_{i-1}}{TV} \right), \quad g: [0, 1] \rightarrow [0, 1] \text{ 是单元区}$$

间上的 BUM 函数, $R_i = \sum_{j=1}^i V_{\text{index}(j)}$, $TV = \sum_{i=1}^n V_{\text{index}(i)}$,

$V_{\text{index}(i)} = 1 + T(a_{\text{index}(i)})$, $T(a_{\text{index}(i)})$ 为集合中第 i 大元素以外的其他元素对其的支持度, 且有

$$T(a_{\text{index}(i)}) = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \sup(a_{\text{index}(i)}, a_{\text{index}(j)}) \circ \quad (4)$$

$\sup(a_{\text{index}(i)}, a_{\text{index}(j)})$ 为集合中第 j 大元素 $a_{\text{index}(j)}$,

对第 i 大元素 $a_{\text{index}(i)}$ 的支持度, 且满足

$$\sup(a_{\text{index}(i)}, a_{\text{index}(j)}) = 1 - d(a_{\text{index}(i)}, a_{\text{index}(j)}) \circ$$

同时还满足以下性质:

- 1) $\sup(a_{\text{index}(i)}, a_{\text{index}(j)}) \in [0, 1]$;
- 2) $\sup(a_{\text{index}(i)}, a_{\text{index}(j)}) = \sup(a_{\text{index}(j)}, a_{\text{index}(i)})$;
- 3) 若 $|a_{\text{index}(i)} - a_{\text{index}(j)}| < |x - y|$, 则

$$\sup(a_{\text{index}(i)}, a_{\text{index}(j)}) \geq \sup(x, y) \circ$$

其中, $d(a_{\text{index}(i)}, a_{\text{index}(j)})$ 表示元素 $a_{\text{index}(i)}$ 与 $a_{\text{index}(j)}$ 间的 Hamming 距离。

显然, 如果聚合元素与其余元素间的 Hamming 距离越近, 那么其受到的支持度越大; 反之, 若距离越远, 聚合元素受到的支持度越小。

POWA 算子是非线性的, 其具有幂等性、有界性、交换性等性质。

定理 1 (幂等性) 设 $\{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ 为实数集合, $g(x) = x^2$, 如果集合中所有元素 $a_i (i=1, 2, \dots, n)$ 都相等, 即 $a_i = a$, 则: $POWA(a_1, a_2, \dots, a_n) = a$ 。

证明

$$\begin{aligned} POWA(a_1, a_2, \dots, a_n) &= u_1 a + u_2 a + \dots + u_n a = \\ & \left(\frac{R_1}{TV} \right)^2 a + \left(\frac{R_2}{TV} \right)^2 a - \left(\frac{R_1}{TV} \right)^2 a + \dots + \left(\frac{R_n}{TV} \right)^2 a - \left(\frac{R_{n-1}}{TV} \right)^2 a = \\ & \left(\frac{R_n}{TV} \right)^2 a = a \circ \end{aligned}$$

因此, POWA 算子满足幂等性。

有界性、交换性证明从略。

2 区间灰色语言 Power 有序加权平均算子

定义 8 设 $\{\tilde{a}_i | \tilde{a}_i = (s_{\tilde{a}_i}, [g_i^L, g_i^U])\} (i=1, 2, \dots, n)$ 为 n 个区间灰色语言变量的集合, 令 $IGLPOWA: \Omega^n \rightarrow \Omega$, 如果

$$\begin{aligned} IGLPOWA(\tilde{a}_1, \tilde{a}_2, \dots, \tilde{a}_n) &= \sum_{i=1}^n (\omega_i \tilde{a}_{\text{index}(i)}) = \\ & (S_{\omega_1 \tilde{a}_{\text{index}(1)}} [g_1^L, g_1^U]) + (S_{\omega_2 \tilde{a}_{\text{index}(2)}} [g_2^L, g_2^U]) + \dots + \\ & (S_{\omega_n \tilde{a}_{\text{index}(n)}} [g_n^L, g_n^U]) = \\ & \left(S_{\sum_{i=1}^n (\omega_i \tilde{a}_{\text{index}(i)})} \left[\max_i (g_i^L, g_n^L), \max_i (g_i^U, g_n^U) \right] \right), \quad (5) \end{aligned}$$

则称 IGLPOWA 为区间灰色语言 Power 有序加权平均 (interval grey linguistic power ordered weighted averaging, IGLPOWA) 算子。

定义中, $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)^T$ 为相关位置权重向量, $\omega_i = g \left(\frac{R_i}{TV} \right) - g \left(\frac{R_{i-1}}{TV} \right)$, $g: [0, 1] \rightarrow [0, 1]$ 是单元区

间上的单调递增函数, $R_i = \sum_{j=1}^i V_{\text{index}(j)}$, $TV = \sum_{i=1}^n V_{\text{index}(i)}$,

$$V_{\text{index}(i)} = 1 + T(\tilde{a}_{\text{index}(i)}), \quad T(\tilde{a}_{\text{index}(i)}) = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \sup(\tilde{a}_{\text{index}(i)}, \tilde{a}_{\text{index}(j)})$$

定理 2 设 $\{\tilde{a}_i | \tilde{a}_i = (s_{\tilde{a}_i}, [g_i^L, g_i^U])\}$ ($i=1, 2, \dots, n$) 为 n 个区间灰色语言变量的集合, 若 BUM 函数取 $g(x)=x$, 则 IGLPOWA 算子的位置权重为

$$\omega_i = \frac{R_i}{TV} - \frac{R_{i-1}}{TV} = \frac{1}{TV} V_{\text{index}(i)} = \frac{1 + T(\tilde{a}_{\text{index}(i)})}{\sum_{i=1}^n (1 + T(\tilde{a}_{\text{index}(i)}))}$$

则

$$\begin{aligned} IGLPOWA(\tilde{a}_1, \tilde{a}_2, \dots, \tilde{a}_n) &= \sum_{i=1}^n [\dot{E}_i \tilde{a}_{\text{index}(i)}] = \\ &= \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{TV} V_{\text{index}(i)} \tilde{a}_{\text{index}(i)} \right) = \\ &= \sum_{i=1}^n \left(\frac{1 + T(\tilde{a}_{\text{index}(i)})}{\sum_{i=1}^n (1 + T(\tilde{a}_{\text{index}(i)}))} \tilde{a}_{\text{index}(i)} \right) = \\ &= \sum_{i=1}^n \left(\frac{1 + T(\tilde{a}_{(i)})}{\sum_{i=1}^n (1 + T(\tilde{a}_{(i)}))} \tilde{a}_{(i)} \right) = \\ &= IGLPA(\tilde{a}_1, \tilde{a}_2, \dots, \tilde{a}_n) \end{aligned} \quad (6)$$

式(6)表明, IGLPOWA 算子变为区间灰色语言 Power 平均 (interval grey linguistic power averaging, IGLPA) 算子。

特殊地, 若 $g(x)=x$ 且 $\sup(\tilde{a}_i, \tilde{a}_j)=c, i \neq j$, 那么

$$\begin{aligned} IGLPOWA(\tilde{a}_1, \tilde{a}_2, \dots, \tilde{a}_n) &= \\ &= \sum_{i=1}^n \left(\frac{1 + T(\tilde{a}_{\text{index}(i)})}{\sum_{i=1}^n (1 + T(\tilde{a}_{\text{index}(i)}))} \tilde{a}_{\text{index}(i)} \right) = \\ &= \sum_{i=1}^n \left(\frac{\tilde{a}_{(i)}}{n} \right) \end{aligned}$$

即 IGLPOWA 算子变为区间灰色语言平均 (interval grey linguistic averaging, IGLA) 算子。

与 POWA 算子相同, IGLPOWA 算子具有幂等性、有界性、交换性等性质, 证明从略。

3 基于区间灰色语言 Power 有序加权平均算子的多准则决策方法

对于准则之间存在相互关系的多准则决策问题,

设 $A=(a_1, a_2, \dots, a_m)$ 为备选方案集, $C=(c_1, c_2, \dots, c_n)$ 为准则集。假设专家对备选方案 a_i 在准则 c_j 下的评价为区间灰色语言变量 $\tilde{r}_{ij}=(s_{ij}, [g_{ij}^L, g_{ij}^U])$, 其中, $s_{ij} \in S, i=1, 2, \dots, m, j=1, 2, \dots, n$, 则可得专家评价矩阵 $\tilde{R}=[\tilde{r}_{ij}]_{m \times n}$ 。下面利用 IGLPOWA 算子解决区间灰色语言多准则决策问题, 具体决策步骤如下:

第 1 步 根据专家给出的评价价值计算方案 a_i 下各准则值中第 k 大元素 $\tilde{r}_{i, \text{index}(k)}$ 对第 j 大元素 $\tilde{r}_{i, \text{index}(j)}$ 的支持度为 $\bar{S}_{jk}, j, k=1, 2, \dots, n, j \neq k$,

$$\bar{S}_{jk} = \sup(\tilde{r}_{i, \text{index}(j)}, \tilde{r}_{i, \text{index}(k)}) = 1 - d(\tilde{r}_{i, \text{index}(j)}, \tilde{r}_{i, \text{index}(k)}) \quad (7)$$

其中 $d(\tilde{r}_{i, \text{index}(j)}, \tilde{r}_{i, \text{index}(k)})$ 为元素 $\tilde{r}_{i, \text{index}(j)}$ 与 $\tilde{r}_{i, \text{index}(k)}$ 之间的 Hamming 距离。

第 2 步 根据 \bar{S}_{jk} 值计算 $T(\tilde{r}_{i, \text{index}(j)})$, 即第 j 大元素以外其他元素对其的支持度, 计算公式为

$$T(\tilde{r}_{i, \text{index}(j)}) = \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq j}}^n \sup(\tilde{r}_{i, \text{index}(j)}, \tilde{r}_{i, \text{index}(k)}) \quad (8)$$

第 3 步 计算位置权重

$$\omega_{ij} = g\left(\frac{R_{ij}}{TV_i}\right) - g\left(\frac{R_{i(j-1)}}{TV_i}\right) \quad (9)$$

其中, $R_{ij} = \sum_{j=1}^i V_{i, \text{index}(j)}, TV_i = \sum_{j=1}^n V_{i, \text{index}(j)}, V_{i, \text{index}(j)} = 1 + T(\tilde{r}_{i, \text{index}(j)})$ 。

第 4 步 利用 IGLPOWA 算子得到方案 a_i 的综合评价价值 \tilde{a}_i , 计算公式为

$$\begin{aligned} \tilde{a}_i &= IGLPOWA(\tilde{r}_{i1}, \tilde{r}_{i2}, \dots, \tilde{r}_{in}) = \sum_{j=1}^n (\omega_{ij} \tilde{r}_{i, \text{index}(j)}) = \\ &= (s_{\omega_{i1} \tilde{r}_{i, \text{index}(1)}}, [g_{i1}^L, g_{i1}^U]) + (s_{\omega_{i2} \tilde{r}_{i, \text{index}(2)}}, [g_{i2}^L, g_{i2}^U]) + \dots + \\ &= (s_{\omega_{in} \tilde{r}_{i, \text{index}(n)}}, [g_{in}^L, g_{in}^U]) = \\ &= \left(s_{\sum_{j=1}^n (\omega_{ij} \tilde{r}_{i, \text{index}(j)})}, \left[\max_j (g_{ij}^L), \max_j (g_{ij}^U) \right] \right) \end{aligned} \quad (10)$$

第 5 步 上一步计算得到的 \tilde{a}_i 为区间灰色语言变量, 若 \tilde{a}_i 表示为 $\tilde{a}_i = (s_{a_i}, [g_{a_i}^L, g_{a_i}^U])$, 则根据定义 5 和定义 6 计算排序值可对方案进行排序, 排序值的计算公式为

$$Q_i = a_i f_\rho \left(\left[(1 - g_{a_i}^L), (1 - g_{a_i}^U) \right] \right) \quad (11)$$

若排序值越大, 则该方案越优。

4 算例分析

经过连续几年的快速发展,我国包装产业在总量上已成为世界包装第二大,但仍存在创新能力弱,大而不强等问题。对包装产业创新能力进行合理评价,提升产业创新能力成为我国包装产业发展的关键。现对4个区域 $A=\{a_1, a_2, a_3, a_4\}$ 包装产业展开创新能力评价,评价指标包括绿色发展理念 c_1 、扶持政策力度 c_2 、产业技术创新体系 c_3 、清洁生产水平 c_4 。假设专家从这4个指标出发对4个区域包装产业创新能力给出了评估值,取值用区间灰色语言表示(见表1)。设 $S=\{s_0, s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_6\}=\{\text{非常差, 很差, 差, 一般, 好, 很好, 非常好}\}$ 为语言术语集,试对4个待评区域的包装产业创新能力进行综合评价。

表2 各方案准则值之间的距离

Table 2 The distances between each criterion of all alternatives

	$d(\tilde{r}_{i,\text{index}(1)}, \tilde{r}_{i,\text{index}(2)})$	$d(\tilde{r}_{i,\text{index}(1)}, \tilde{r}_{i,\text{index}(3)})$	$d(\tilde{r}_{i,\text{index}(1)}, \tilde{r}_{i,\text{index}(4)})$	$d(\tilde{r}_{i,\text{index}(2)}, \tilde{r}_{i,\text{index}(3)})$	$d(\tilde{r}_{i,\text{index}(2)}, \tilde{r}_{i,\text{index}(4)})$	$d(\tilde{r}_{i,\text{index}(3)}, \tilde{r}_{i,\text{index}(4)})$
a_1	0.108	0.050	0.108	0.058	0.218	0.158
a_2	0.283	0.367	0.300	0.083	0.017	0.067
a_3	0.158	0.108	0.083	0.267	0.075	0.192
a_4	0.050	0.067	0.183	0.083	0.167	0.250

表3 各方案准则之间的支持度

Table 3 The supports among each criterion of all alternatives

	$\text{sup}(\tilde{r}_{i,\text{index}(1)}, \tilde{r}_{i,\text{index}(2)})$	$\text{sup}(\tilde{r}_{i,\text{index}(1)}, \tilde{r}_{i,\text{index}(3)})$	$\text{sup}(\tilde{r}_{i,\text{index}(1)}, \tilde{r}_{i,\text{index}(4)})$	$\text{sup}(\tilde{r}_{i,\text{index}(2)}, \tilde{r}_{i,\text{index}(3)})$	$\text{sup}(\tilde{r}_{i,\text{index}(2)}, \tilde{r}_{i,\text{index}(4)})$	$\text{sup}(\tilde{r}_{i,\text{index}(3)}, \tilde{r}_{i,\text{index}(4)})$
a_1	0.892	0.950	0.892	0.942	0.783	0.842
a_2	0.717	0.633	0.700	0.917	0.983	0.933
a_3	0.842	0.892	0.917	0.733	0.925	0.808
a_4	0.950	0.933	0.817	0.917	0.833	0.750

表4 各方案准则的支持度

Table 4 The supports for the criterion from others

	$T(\tilde{r}_{i,\text{index}(1)})$	$T(\tilde{r}_{i,\text{index}(2)})$	$T(\tilde{r}_{i,\text{index}(3)})$	$T(\tilde{r}_{i,\text{index}(4)})$
a_1	2.617	2.734	2.734	2.517
a_2	2.050	2.617	2.616	2.483
a_3	2.433	2.651	2.650	2.500
a_4	2.600	2.700	2.700	2.400

第3步 依据表4中数据,运用式(9)计算各准则位置权重 ω_{ij} ,结果如表5所示。

表5 各方案准则的位置权重

Table 5 The criteria's position weights of all alternatives

	c_1	c_2	c_3	c_4
a_1	0.248	0.256	0.256	0.241
a_2	0.222	0.263	0.263	0.253
a_3	0.241	0.256	0.256	0.246
a_4	0.250	0.257	0.257	0.236

第4步 根据式(10)计算得到各方案的综合评

表1 区间灰色语言决策矩阵

Table 1 The interval grey linguistic decision matrix

	c_1	c_2	c_3	c_4
a_1	$(s_3, [0.3, 0.4])$	$(s_4, [0.3, 0.4])$	$(s_5, [0.5, 0.6])$	$(s_2, [0.3, 0.4])$
a_2	$(s_5, [0.2, 0.4])$	$(s_4, [0.5, 0.6])$	$(s_2, [0.3, 0.4])$	$(s_2, [0.1, 0.2])$
a_3	$(s_4, [0.3, 0.4])$	$(s_3, [0.4, 0.5])$	$(s_5, [0.3, 0.4])$	$(s_3, [0.2, 0.4])$
a_4	$(s_4, [0.3, 0.6])$	$(s_3, [0.2, 0.4])$	$(s_4, [0.2, 0.5])$	$(s_2, [0.4, 0.5])$

第1步 首先根据式(1)计算各方案下准则评价价值之间的Hamming距离,结果如表2所示。由于Hamming距离与次序无关,所以将相同的数值略去。然后,根据式(7)计算各方案准则间的支持度,结果如表3所示。

第2步 根据表3中的数据,利用式(8)计算 $T(\tilde{r}_{i,\text{index}(j)}) (j=1, 2, 3, 4)$,即第 j 大元素以外其他元素对其的支持度,结果见表4。

价值,分别为

$$\tilde{a}_1 = (s_{3.526}, [0.5, 0.6]), \tilde{a}_2 = (s_{3.314}, [0.5, 0.6]),$$

$$\tilde{a}_3 = (s_{3.769}, [0.4, 0.5]), \tilde{a}_4 = (s_{3.278}, [0.4, 0.6])$$

第5步 BUM函数取 $\rho(y)=y^2$,根据式(11)计算得到 $Q_1=1.528, Q_2=1.436, Q_3=2.010, Q_4=1.529$ 。由此可知,各区域包装产业创新能力排序结果为 $a_3 > a_4 > a_1 > a_2$ 。

5 结语

区间灰色语言变量同时具有灰色性和模糊性的特点,有着较好的描述不确定信息的能力。基于Power算子的多准则决策方法能较好地处理准则之间存在相互关系的多准则决策问题。本文在区间灰色语言多准则决策环境下,定义了区间灰色语言Power

有序加权平均算子, 构建了基于算子的多准则决策模型, 然后将其应用于包装产业创新能力评价问题中。该方法易于获取决策数据、贴合决策现实情况, 有着广泛的应用领域。

参考文献:

- [1] 陈大为. 灰色模糊集合(待续)[J]. 黑龙江水专学报, 2000, 27(4): 103-108.
CHEN Dawei. Grey Fuzzy Set (to Be Continued)[J]. Journal of Heilongjiang Hydraulic Engineering College, 2000, 27(4): 103-108.
- [2] 陈大为. 灰色模糊集合(续完)[J]. 黑龙江水专学报, 2001, 28(1): 115-120.
CHEN Dawei. Grey Fuzzy Set (Finished)[J]. Journal of Heilongjiang Hydraulic Engineering College, 2001, 28(1): 115-120.
- [3] 王坚强, 吴建文. 基于灰色语言判断矩阵的多准则决策方法探讨[J]. 现代商贸工业, 2009(23): 30-32.
WANG Jianqiang, WU Jianwen. Multi-Criteria Decision-Making Method Based on Grey Language Judgment Matrix[J]. Modern Business Trade Industry, 2009(23): 30-32.
- [4] 吴建文. 灰色语言多准则决策方法及应用研究[D]. 长沙: 中南大学, 2009.
WU Jianwen. Research on Grey Language Multi-Criteria Decision-Making Method and Application[D]. Changsha: Central South University, 2009.
- [5] 刘培德, 张 新. 一种基于区间灰色语言变量几何加权集成算子的多属性群决策方法[J]. 控制与决策, 2011, 26(5): 743-747.
LIU Peide, ZHANG Xin. Multi-Attribute Group Decision Making Method Based on Interval Grey Linguistic Variables Weighted Geometric Aggregation Operator[J]. Control and Decision, 2011, 26(5): 743-747.
- [6] YAGER R R. The Power Average Operator[J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 2001, 31(6): 724-731.
- [7] CALVO-FLORES M D, VERDEGAY J L, VILA M A. Linguistic Decision-Making Models[J]. International Journal of Intelligent Systems, 1992, 7(5): 479-492.
- [8] HERRERA F, MARTINEZ L. A 2-Tuple Fuzzy Linguistic Representation Model for Computing with Words[J]. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 2000, 8(6): 746-752.
- [9] YAGER R R. OWA Aggregation over a Continuous Interval Argument with Applications to Decision Making[J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part B: Cybernetics, 2004, 34(5): 1952-1963.
- [10] LIU P D, LIU X. The Neutrosophic Number Generalized Weighted Power Averaging Operator and Its Application in Multiple Attribute Group Decision Making[J]. International Journal of Machine Learning and Cybernetics, 2018, 9(2): 347-358.
- [11] ZHU C X, ZHU L, ZHANG X Z. Linguistic Hesitant Fuzzy Power Aggregation Operators and Their Applications in Multiple Attribute Decision-Making[J]. Information Sciences, 2016, 367/368, 809-826.
- [12] JIANG W, WEI B Y. Intuitionistic Fuzzy Evidential Power Aggregation Operator and Its Application in Multiple Criteria Decision-Making[J]. International Journal of Systems Science, 2018, 49(3): 582-594.
- [13] ZHANG Z M. Hesitant Fuzzy Power Aggregation Operators and Their Application to Multiple Attribute Group Decision Making[J]. Information Sciences, 2013, 234(10): 150-181.
- [14] WAN S P. Power Average Operators of Trapezoidal Intuitionistic Fuzzy Numbers and Application to Multi-Attribute Group Decision Making[J]. Applied Mathematical Modelling, 2013, 37(6): 4112-4126.
- [15] 戚筱雯, 张俊岭. 基于广义 Power 犹豫模糊混合集成算子的应急救援路径选择问题研究[J]. 中国管理科学, 2016, 24(专辑): 302-307.
QI Xiaowen, ZHANG Junling. Emergency Rescue Path Selection Problem Research Based on The Generalized Power Hesitant Fuzzy Hybrid Aggregation Operators[J]. Chinese Journal of Management Science, 2016, 24(Special Issue): 302-307.
- [16] 赵树平, 梁昌勇, 罗大伟. 广义直觉不确定语言 Power 几何集成算子及在人才评价中的应用[J]. 模糊系统与数学, 2015, 29(5): 122-132.
ZHAO Shuping, LIANG Changyong, LUO Dawei. Generalized Power Geometric Operators of Intuitionistic Uncertain Linguistic Numbers and Their Application to Talent Evaluation[J]. Fuzzy Systems and Mathematics, 2015, 29(5): 122-132.

Evaluating Innovation Ability of Packaging Industry Based on Interval Grey Linguistic POWA Operator

ZHOU Huan^{1,2}, GUO Ke^{1,2}, LUO Zican^{1,2}

(1. School of Business, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China;

2. Hunan Province Packaging Economy Research Base, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

Abstract: Under the “innovation-driven development strategy”, evaluation of the packaging industry’s innovation capability and core competitiveness promotion have become the research focal points. There exist some interactive relationships among the evaluating criteria of packaging industry’s innovation capability. In order to better evaluate such issues, interval grey linguistic variables were used to describe each piece of evaluation information, and the grey fuzzy multi criteria decision making model based on Power ordered weighted averaging operator of interval grey language was built. Based on this, the model was applied in the evaluation of packaging innovation capability. Finally, the effectiveness and feasibility of the proposed method were verified through the evaluation of the packaging industry innovation capability in different regions.

Keywords: interval grey linguistic variable; interval grey linguistic power ordered weighted average operator; multi criteria decision making; evaluation of packaging industry innovation capability



(上接第 21 页)

Exploring Cross-Media Reproduction Technology of Packaging Color

WANG Qiang¹, YANG Anning¹, CHEN Wen²

(1. School of Media and Design, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China;

2. College of Communication and Art Design, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: With the aim to meet the demand of color reproduction technology in the design and manufacture of packaging products in the modern packaging industry chain, by means of establishing a color reference platform from packaging design, packaging manufacturing to packaging application, an integrated soft-copy and hard-copy model named “4-process color plus spot color printing” with the application solution was proposed for processing printing and spot-color printing with high fidelity. The test results showed that: 1) after twice color matching of the IT8.7-3 sample, the average color difference was reduced to 2.50 and ΔE less than 3.00 was as high as 95.68%; 2) after the color matching and optimization algorithm being processed, the sample color block and the image approached the target requirement, with the image visual effect being consistent. The algorithm could meet the precision requirements of industrial production and achieve consistency in packaging design and product cross-media color reproduction.

Keywords: package color; cross-media; reproduction technology