

基于综合赋权和可拓理论的协作企业优选^①



杨静雅, 孙林夫, 吴奇石

(西南交通大学 信息科学与技术学院, 成都 610031)

通讯作者: 杨静雅, E-mail: 793200573@qq.com

摘要: 为给汽车售后服务供应链云平台的核心企业选择优秀的协作企业, 根据云平台不同核心企业对协作企业有不同的要求和标准, 以及待评价协作企业的客观特征, 采用基于层次分析法和模糊粗糙集法相结合的综合赋权法确定各协作企业评价指标的权重系数, 用层次分析法确定主观权重, 用模糊粗糙集法确定客观权重, 再集成主、客观权重得到综合权重系数; 最后基于可拓判别法对评价对象进行优度评价, 结果为各评价对象的等级划分和优劣顺序. 以汽车售后服务供应链云平台的售后服务商实际业务数据为实例进行对比分析, 结果证明了方法的有效性和可行性, 且较优于其它评价方法.

关键词: 汽车售后服务; 协作企业优选; 综合赋权; 层次分析法; 模糊粗糙集; 可拓判别法

引用格式: 杨静雅, 孙林夫, 吴奇石. 基于综合赋权和可拓理论的协作企业优选. 计算机系统应用, 2019, 28(4): 18-24. <http://www.c-s-a.org.cn/1003-3254/6862.html>

Cooperative Enterprise Optimization Based on Comprehensive Weighting and Extension Theory

YANG Jing-Ya, SUN Lin-Fu, WU Qi-Shi

(School of Information Science and Technology, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: Different core companies have different requirements and standards for the collaborative enterprises associated with the cloud platform, and the collaborative enterprises to be evaluated have different objective features. In order to select the best collaboration companies for the core enterprises of the after-sales automotive service supply chain cloud platform, the weight coefficient of the evaluation index of each cooperative enterprise is determined by the comprehensive weighting method based on the combination of the analytic hierarchy process method and the fuzzy rough set method. The subjective weight is determined by the analytic hierarchy process, and the objective weight is determined by the fuzzy rough set method. The comprehensive weight coefficient is achieved by reintegrating the main and objective weights. Finally, based on the extension discriminant method, the evaluation object is evaluated by the degree of goodness. The result is the ranking of each appraisal object and the order of the advantages and disadvantages. The actual service data of the after-sales service supply chain cloud service platform for the after-sales service is used as an example for comparative analysis. The results demonstrate the effectiveness and feasibility of the method, which are superior to other evaluation methods.

Key words: automotive service; cooperative enterprise optimization; comprehensive weighting; analytic hierarchy process; fuzzy rough set; extension judgment method

围绕汽车售后服务供应链的主体企业包括配件供应商、制造厂和售后服务商, 其中, 制造厂是核心企业,

配件供应商和售后服务商为协作企业. 汽车售后服务供应链云平台为实现供应链企业间的业务协同提供了

^① 基金项目: 国家重点研发计划 (2017YFB1400303)

Foundation item: National Key Research and Development Program of China (2017YFB1400303)

收稿时间: 2018-10-22; 修改时间: 2018-11-12; 采用时间: 2018-11-23; csa 在线出版时间: 2019-03-28

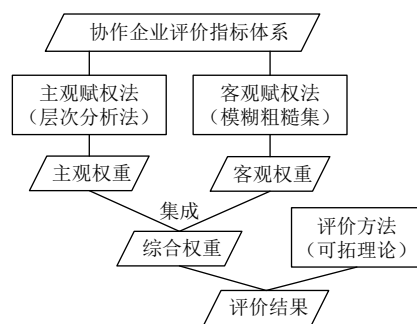
一种基于公共服务平台的解决方案,平台的运行、维护、升级等工作都由专业化的第三方软件运营商提供.作为汽车售后服务供应链云平台的增值服务,为平台上各条供应链的核心企业选择优秀的协作企业,可以使售后服务供应链企业间更好地配合与协作,有效改善售后服务质量,提高客户满意度,对核心企业乃至整个售后服务供应链的发展都至关重要.

目前,国内外学者关于企业评价优选研究的理论方法有很多,主要有灰色关联法(GRA)^[1]、模糊综合评价法^[2]、数据包络分析法(DEA)^[3]、优劣解距离法(TOPSIS)^[4]、可拓理论^[5-7]等,研究者也常将以上理论方法组合^[8-10],以得到更优的评价结果.文献[8]用层次分析法和模糊综合评价法对经销商的信用进行评价.文献[9]将模糊集合理论分别引入TOPSIS、VIKOR和GRA方法完成对绿色供应商的评估和选择.文献[10]采用将目标规划和DEA相结合的模型对可持续供应商进行评估.灰色关联法根据两个元素间变化趋势建立关联函数并以此确定彼此间的关联度,然而,关联度的取值不可为负,这与现实不相符,因为现实中很多事物之间的关系是反向变化;模糊综合评价法通过建立隶属函数来实现评价定性到定量的转换,然而,隶属度函数的建立没有统一标准,影响评价结果;DEA模型通常只能对短期、内部效果进行评估;TOPSIS法由于最优方案根据矩阵中的无量纲数据,通过主观设定权重求得,权重确定具有一定随意性,导致结果不够客观;可拓理论能全面分析待评对象属于某个集合的程度,更能从变化的角度评价对象,并且将评价对象进行分级和排序,从而使评价更合理.因此,本文选择可拓理论判别法计算评价结果.

此外,评价指标权重系数的确定是评价过程中的一个关键问题,权重系数反映了各评价指标间的相对重要性,其合理性直接影响结论的正确性与可信性.确定权重的方法主要有主观赋权法,包括层次分析法^[11]、Delphi法、相邻指标比较法等,有客观赋权法,包括熵值法、神经网络法、粗糙集法^[12,13]等,以及组合主客观赋权法的综合赋权法.本文根据汽车售后服务供应链云平台协作企业优选的特点,采用主观赋权法和客观赋权法相结合的综合集成赋权法来确定评价指标的权重系数.文献[14]用层次分析法确定权重系数,再基于可拓理论对含水层储气库进行评价选址;文献[15]用优势粗糙集法确定权重系数,再基于可拓理论对供应商进行评价;二者在确定权重系数时均未同时兼顾主

观信息和客观信息.文献[16]利用模糊粗糙集和专家评分法确定综合权重,再基于TOPSIS改进算法对供应商进行评估.模糊粗糙集理论^[17]是一种纯数据基础的方法,不需要提供研究对象的任何先验信息,而将评价模型中的权重问题转化成模糊粗糙集中的属性重要性评价问题,利用模糊粗糙集理论中的知识依赖性和属性重要性评价方法计算权重,避开了传统综合评价中的主观因素,使得评价过程和结果更加客观.层次分析法确定主观权重思路简单易理解,过程条理化便于计算.

综上所述,本文采用层次分析法确定主观权重,基于模糊粗糙集理论确定客观权重,最后集成主、客观权重得到综合权重,用该综合权重结合可拓理论判别法对协作企业进行评价优选,模型结构如图1所示.



1 本课题研究的协作企业优选的特点

汽车售后服务供应链云平台支持成千上百条售后服务供应链企业间的业务协作,相应地,平台上的核心企业也有成千上百家.不同的核心企业对与其有业务往来的协作企业的选择标准和重视条件不尽相同,比如,某些核心企业注重协作企业的服务质量,由此,协作企业的服务水平和技术水平等相关指标将被赋予较大权重;而某些核心企业在意协作企业的忠诚度,这样,协作企业的信用指标将被赋予较大权重.为此,汽车售后服务供应链云平台需要根据不同核心企业的要求和标准选择有针对性的考核指标,并赋予相应的不同权重.

由此可知,汽车售后服务供应链云平台协作企业优选的考核指标的选择和赋权需要人为因素的参与,因此,考核指标的主观赋权法需要被选择运用;主观赋权法是根据决策者主观上对各属性指标的重视程度来确定属性权重,其原始数据由决策者根据经验主观判断而得到.然而,主观赋权法过于依赖人为因素,评价结果具有很大的主观随意性,因此,需要客观赋权法来

平衡;客观赋权法基于原始数据之间的关系利用完善的数学理论和方法来计算权重,使评价结果更加客观、科学.综上所述,为了能够兼顾汽车售后服务供应链云平台不同核心企业的主观要求和待评价协作企业的客观特点,本文采用综合集成赋权法,将主观、客观两类赋权法有机结合,使所确定的权重系数同时体现主观信息和客观信息.

2 基于综合集成赋权法和可拓理论的评价模型

下面以售后服务商为例,研究协作企业的评价优选模型.

2.1 评价指标体系

作为售后服务商综合能力评价研究的重点之一,构建一个科学的售后服务商评价指标体系是评价方法能够应用的基础和前提,但不作为本文的研究内容.本文根据现有汽车售后服务供应链云平台企业间协作的业务内容和实际业务单据信息提炼出了影响售后服务商优劣的7个评价指标:客户满意度、报单真实性、报单及时性、维修及时性、维修效率、返修率、旧件处理规范性.

2.2 综合集成赋权

2.2.1 层次分析法确定主观权重

层次分析法确定主观权重的步骤如下:

Step 1. 建立层次结构模型.

Step 2. 根据常用标度法^[18,19]对各层元素进行两两比较,构造比较判断矩阵.对于 n 个元素,得到的两两比较判断矩阵为:

$B = (B_{ij})_{m \times n}$,其中 B_{ij} 表示因素和因素相对于目标重要值,根据其重要性等级给予赋值.

Step 3. 判断矩阵 B 一致性检验.

根据矩阵理论可得,如果 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ 是满足式 $Bx = \lambda x$ 的数,也就是矩阵 B 的特征根,则有 $\sum_{i=1}^n \lambda_i = n$,其中 x 为特征向量.当矩阵具有完全一致性时, $\lambda_1 = \lambda_{\max} = n$,其余特征根均为零;而当矩阵 A 不具有完全一致性时,则有 $\lambda_1 = \lambda_{\max} > n$,其余特征根 $\lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$ 有如下关系: $\sum_{i=2}^n \lambda_i = n - \lambda_{\max}$.因此,在层次分析法中引入判断矩阵最大特征值根以外的其余特征根的负平均值,作为度量判断矩阵偏离一致性的指标,即用 $CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$ 检查

决策者判断思维的一致性.当判断矩阵具有完全一致性时, $CI = 0$,反之亦然. CI 越大,不一致程度越大.为确定不一致程度的允许范围,引入一致性比率 CR ,当 $CR = CI/RI < 0.1$ 时,认为其不一致性可以被接受,不会影响排序的定性结果,其中 RI 为随机一致性指标^[18].

Step 4. 若判断矩阵 B 一致性检验通过,则 B 的特征向量 x 归一化后即权重向量;若检验不通过,则重新构造判断矩阵.

2.2.2 基于模糊粗糙集理论确定客观权重

设 $S = (U, A, V, f)$ 为一信息系统, U 为非空有限的对象集合, $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ 为非空有限的属性集合, V 表示属性值, $f: U \times A \rightarrow V$ 为信息函数,表示对每个 $f: U \times A \rightarrow V, a \in A$ 有 $f(u, a) \in V$.

定义 1. 模糊关系 R 定义为: $\forall u_i, u_j \in U, \forall a_m \in A$, 有

$$u_i R u_j = \left\{ (u_i, u_j) \in U \times U \mid \frac{1}{n} \sum_{m=1}^n |V'_{im} - V'_{jm}| \leq \alpha \right\} \quad (1)$$

其中,对象 u_i 与对象 u_j 的相似度定义为 $(1 - \alpha)$, V_{im} 表示第 i 个对象在第 m 个属性下的属性值, V'_{im} 表示原始数据标准化后的模糊信息系统的属性值.

定义 2^[20,21]. 设 $S = (U, A, V, f)$ 中所有与 u_i 模糊相似的对象集称为 u_i 的模糊相似类,用 $FR(u_i)$ 表示,则对 $\forall u_i, u_j \in U$,有:

$$FR(u_i) = \left\{ (u_j) \in U \mid \frac{1}{n} \sum_{m=1}^n |V'_{im} - V'_{jm}| \leq \alpha \right\} \quad (2)$$

定义 3. 设 $S = (U, A, V, f)$ 中某一 $u \in U$ 和 U 上的一个模糊关系 $R \subseteq A$,给定阈值 $\delta \in (0.5, 1]$ ^[22],则定义 X 的变精度粗糙集 δ 的上下近似集^[20,23]分别为:

上近似集:

$$\bar{R}_\delta(X) = \cup \left\{ u \in U \mid \frac{|X \cap FR(u)|}{|FR(u)|} > 1 - \delta \right\} \quad (3)$$

下近似集:

$$\underline{R}_\delta(X) = \cup \left\{ u \in U \mid \frac{|X \cap FR(u)|}{|FR(u)|} \geq \delta \right\} \quad (4)$$

其中, X 为所有属性 A 产生的划分.

定义 4. 设 $R \subseteq A$,属性 A 产生的划分 $X = \{X_1, X_2, \dots, X_t\}$,则近似分类质量为

$$\gamma_R(X) = \frac{\sum_{s=1}^t |R_\delta(X_s)|}{|U|} \quad (5)$$

定义 5. $S = (U, A, V, f)$ 中,属性 $a_m \in A$ 的重要性定

义为:

$$\text{imp}(a_m) = 1 - \gamma_{A-\{a_m\}}(X) \quad (6)$$

定义 6. $S = (U, A, V, f)$ 中, 属性 a_m 在 A 的权重定义为:

$$w(a_m) = \frac{\text{imp}(a_m)}{\sum_{m=1}^n \text{imp}(a_m)} \quad (7)$$

2.2.3 计算综合权重

设 $w_m^{(sub)}$ 表示层次分析法得到的第 m 个指标的主观权重, $w_m^{(obj)}$ 表示运用模糊粗糙集理论得到的第 m 个指标的客观权重, 则第 m 个指标的综合权重为:

$$w_m = \frac{(w_m^{(sub)})^\eta (w_m^{(obj)})^\mu}{\sum_{m=1}^n (w_m^{(sub)})^\eta (w_m^{(obj)})^\mu} \quad (8)$$

式中, η, μ 分别为主观权重与客观权重的相对重要程度, 按实际需要取值, $0 \leq \eta, \mu \leq 1, \eta + \mu = 1$.

2.3 基于可拓判别法进行优度评价

可拓学是由蔡文于 1983 年创立的一门新学科, 它从定性和定量两个角度研究和解决不相容问题, 将矛盾问题通过物元理论进行变换和运算, 使其相容化. 可拓判别方法的基本思想是: 根据评价对象各指标的实际数据分析出一个合理的若干等级划分, 由专家意见或数据来确定各等级的数据范围, 再计算待评价对象数据与各等级集合的综合关联度, 根据综合关联度来确定它的等级, 即与哪个等级综合关联度越大, 说明它属于那个等级; 同等级的综合关联度越高, 说明它与该等级集合的符合程度越好.

设某一评价对象 u , 评价指标 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$, 其中 $a_m = (a_m, v_m)$ 是指标元, a_m 是评价指标, a_m 是指标值域 ($m = 1, 2, \dots, n$).

定义 7. 设 y 为实轴上的任一点, $Y_0 = (a, b)$ 为实域上的任一区间, 称:

$$\rho(y, Y_0) = \left| y - \frac{a+b}{2} \right| - \frac{b-a}{2} \quad (9)$$

为点 y 与区间 Y_0 之距.

定义 8. 对于某一评价对象 u , 若关于评价指标 A 符合要求的量值范围为 Y_0 , 量值允许的取值范围为 Y , 建立关联函数 $K(u)$ 表示对象 u 符合要求的程度, 称 u 为关于 A 的关联度.

基于可拓判别法进行优度评价的步骤如下:

Step 1. 确定评价指标及评价指标的权重系数, 3.1

和 3.2 节中已确定.

Step 2. 确定经典域和节域. 可拓理论中经典域 R_i 定义为:

$$R_i = \left\{ N_i \quad A \quad V_{mi} \right\} = \begin{bmatrix} N_i & a_1 & \langle a_{1i}, b_{1i} \rangle \\ & a_2 & \langle a_{2i}, b_{2i} \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & a_n & \langle a_{ni}, b_{ni} \rangle \end{bmatrix} \quad (10)$$

式中, N_i 为经典域描述的事件; A 为评价指标, a_m ($m = 1, 2, \dots, n$) 表示第 m 个评价指标, $V_{mi} = \langle a_{mi}, b_{mi} \rangle$ 为评价指标 a_m 相对于事件 N_i 的取值范围.

节域指各评价指标对应的从最低值到最高值的取值范围, 定义为:

$$R_p = \left\{ P \quad A \quad V_{mp} \right\} = \begin{bmatrix} P & a_1 & \langle a_{1p}, b_{1p} \rangle \\ & a_2 & \langle a_{2p}, b_{2p} \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & a_n & \langle a_{np}, b_{np} \rangle \end{bmatrix} \quad (11)$$

式中, P 为事件所有表现形式或类型的全体; $V_{mp} = \langle a_{mp}, b_{mp} \rangle$ 为评价指标 a_m 关于 P 所取的量值范围 ($m = 1, 2, \dots, n$). 在售后服务商评价中, P 表示服务商优劣等级的全体.

Step 3. 确定待评价的物元. 将收集到的待评对象各评价指标的数据用物元表示, 即:

$$R = \left\{ u \quad A \quad v \right\} = \begin{bmatrix} u & a_1 & v_1 \\ & a_2 & v_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & a_n & v_n \end{bmatrix} \quad (12)$$

式中, v_m 为评价指标 a_m 的实际取值.

Step 4. 计算物元各评价指标 v_m 关于各等级 i 的关联度 $K_i(v_m)$.

$$K_i(v_m) = \begin{cases} \frac{\rho(v_m, V_{mi})}{\rho(v_m, V_{mp}) - \rho(v_m, V_{mi})}, & \rho(v_m, V_{mp}) \neq \rho(v_m, V_{mi}) \\ -\rho(v_m, V_{mi}), & \rho(v_m, V_{mp}) = \rho(v_m, V_{mi}) \end{cases} \quad (13)$$

Step 5. 根据已确定的各评价指标的权重系数, 计算待评价对象关于各评价等级的归属程度, 即多因素综合关联度.

$$K_i(u) = \sum_{m=1}^n w_m K_i(v_m) \quad (14)$$

式中, w_m 为评价指标的综合权重系数.

Step 6. 根据综合关联度确定售后服务商的优先序.

基于可拓学的优度评价方法利用关联函数计算各评价指标符合要求的程度, 由于关联函数的值可正可负, 这样建立的优度更能反映一个对象优劣的程度, 使得评价更符合实际.

3 实例及结果分析

西南交通大学和四川省现代服务科技研究院等单位创建的汽车售后服务供应链云平台, 自搭建以来, 受到了各整车及零配件制造厂的青睐, 目前已经为全国5000多家与汽车生产相关的上下游企业提供服务, 本文依托于该平台, 以某汽车制造企业A为核心企业的汽车售后服务供应链为实例, 对企业A的售后服务商协作企业群进行评价优选.

本文选择8家售后服务商U1~U8为待评价研究对象, 将售后服务商的7个评价指标统一划分为3个等级: I级、II级、III级, 指定评价指标值域为[0, 5], [0, 2.5)、[2.5, 4)、[4, 5]分别对应III级、II级、I级. 通过对平台上该8家售后服务商的实际售后服务业务数据进行整理分析, 由专家打分^[6,13], 得到各服务商的评价指标取值, 如表1所示.

表1 售后服务商具体评价指标取值

评价指标	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8
客户满意度	3	2.5	3.5	3	3	2	2	1.5
报单真实性	3.5	4	1.5	3	2	3	1.5	3.5
报单及时性	3	3	3	3	4	2	4.5	3
维修及时性	4	2	2	2.5	2	3	2.5	2
维修效率	1	2	4	4	2.5	2.5	2	4.5
返修率	3.5	3	1.5	1	2	4	2	2.5
旧件处理规范性	2	1	3.5	4	3	2.5	4	2.5

3.1 评价指标权重确定

(1) 确定主观权重系数

运用常用标度法得到判断矩阵如下:

$$B = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 7 & 4 & 5 & 3 & 7 \\ 1 & 1 & 7 & 4 & 5 & 3 & 7 \\ 1/7 & 1/7 & 1 & 4/7 & 5/7 & 3/7 & 1 \\ 1/4 & 1/4 & 7/4 & 1 & 5/4 & 3/4 & 7/4 \\ 1/5 & 1/5 & 7/5 & 4/5 & 1 & 3/5 & 7/5 \\ 1/3 & 1/3 & 7/3 & 4/3 & 5/3 & 1 & 7/3 \\ 1/7 & 1/7 & 1 & 4/7 & 5/7 & 3/7 & 1 \end{bmatrix}$$

由判断矩阵计算出:

$$\begin{cases} CI = 4.4409e - 016 \\ CR = 3.3643e - 016 \end{cases}$$

由CI、CR验证判断矩阵B通过一致性检验, 进一步计算出主观权重向量为: [0.3258 0.3258 0.0465 0.0815 0.0652 0.1086 0.0465].

(2) 确定客观权重系数

首先, 采用极差正规化法将各对象的评价指标值标准化. 其次, 计算去除“客户满意度”指标后各对象的模糊相似类, 由式(1)、(2), 取 $\alpha=0.3$, 可得:

$$\begin{cases} FR(u_1) = \{u_1\}, \\ FR(u_2) = \{u_2, u_8\}, \\ FR(u_3) = \{u_3, u_4, u_5, u_7, u_8\}, \\ \vdots \\ FR(u_8) = \{u_2, u_3, u_4, u_8\} \end{cases}$$

由模糊相似类求得划分:

$$X = \{X_1, X_2, X_3\} = \{\{u_1\}, \{u_2\}, \{u_3\}, \{u_4\}, \{u_5, u_7\}, \{u_6\}, \{u_8\}\}$$

由式(4)求得当 $\delta=0.8$ 时, 下近似集 $R_\delta(X_1)=\{u_1\}$, $R_\delta(X_6)=\{u_6\}$; 由式(5)求得近似分类质量为0.25. 同理, 可以求得去除每个评价指标时的近似分类质量.

由式(6)、(7)得到客观权重为[0.1935 0.2341 0.1290 0.1290 0.1290 0.1290 0.1290].

(3) 求综合权重

由式(8), 为平衡主观权重和客观权重的重要性, 取 $\eta=\mu=0.5$, 求得综合权重向量w为[0.2524 0.2776 0.0779 0.1031 0.0922 0.1190 0.0779].

综合权重既兼顾了行业经验的主观作用, 又体现了客观数据的影响.

3.2 评价结果及分析

根据可拓判别法的步骤计算评价结果. 首先确定经典域:

$$R_1 = \begin{bmatrix} N_1 & \text{客户满意度} & \langle 0, 2.5 \rangle \\ & \vdots & \langle 0, 2.5 \rangle \\ & \text{旧件处理规范性} & \vdots \\ & & \langle 0, 2.5 \rangle \end{bmatrix}$$

$$R_2 = \begin{bmatrix} N_2 & \text{客户满意度} & \langle 2.5, 4 \rangle \\ & \text{报单真实性} & \langle 2.5, 4 \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & \text{旧件处理规范性} & \langle 2.5, 4 \rangle \end{bmatrix}$$

$$R_3 = \begin{bmatrix} N_3 & \text{客户满意度} & \langle 4,5 \rangle \\ & \text{保单真实性} & \langle 4,5 \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & \text{旧件处理规范性} & \langle 4,5 \rangle \end{bmatrix}$$

确定节域:

$$R_P = \begin{bmatrix} N_P & \text{客户满意度} & \langle 0,5 \rangle \\ & \text{保单真实性} & \langle 0,5 \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & \text{旧件处理规范性} & \langle 0,5 \rangle \end{bmatrix}$$

其次,根据式(13),求得每个评价对象各指标分别关于三个等级的关联度:

$$K(U1) = \begin{bmatrix} -0.2 & 0.33 & -0.33 \\ -0.4 & 0.5 & -0.25 \\ -0.2 & 0.33 & -0.33 \\ -0.6 & 0 & 0 \\ 1 & -0.6 & -0.75 \\ -0.4 & 0.5 & -0.25 \\ 0.33 & -0.2 & -0.5 \end{bmatrix},$$

$$K(U2) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -0.375 \\ -0.6 & 0 & 0 \\ -0.2 & 0.33 & -0.33 \\ 0.33 & -0.2 & -0.5 \\ 0.33 & -0.2 & -0.5 \\ -0.2 & 0.33 & -0.33 \\ 1 & -0.6 & -0.75 \end{bmatrix},$$

$$K(U8) = \begin{bmatrix} \vdots \\ 2 & -0.4 & -0.625 \\ -0.4 & 0.5 & -0.25 \\ -0.2 & 0.33 & -0.33 \\ 0.33 & -0.2 & -0.5 \\ -0.8 & 0.5 & 0.5 \\ 0 & 0 & -0.375 \\ 0 & 0 & -0.375 \end{bmatrix}$$

最后,根据式(14),分别用主、客观权重系数和综合权重系数求得各评价对象的综合关联度,如表2~4所示.

表2 各评价对象的综合关联度(主观权重)

评价对象	综合关联度		
	Ⅲ级	Ⅱ级	I级
U1	-0.2166	0.2916	-0.3036
U2	-0.1316	-0.0061	-0.2816
U3	0.6984	0.0114	-0.4207
U4	-0.0980	0.1652	-0.3424
U5	0.0679	0.0197	-0.4053
U6	-0.0238	0.0599	-0.3624
U7	0.7514	-0.2070	-0.4607
U8	0.4867	0.0642	-0.3667

由表2可知,售后服务商U1、U2、U4、U6对应的等级为Ⅱ级,其余售后服务商对应的等级为Ⅲ级,并且进一步确定这8家售后服务商的优劣顺序为:

$$U1 > U4 > U6 > U2 > U7 > U3 > U8 > U5$$

表3 各评价对象的综合关联度(客观权重)

评价对象	综合关联度		
	Ⅲ级	Ⅱ级	I级
U1	-0.1156	0.1848	-0.3584
U2	0.0221	-0.0439	-0.3835
U3	0.5366	0.0328	-0.4146
U4	-0.1371	0.1063	-0.3288
U5	0.0205	0.0080	-0.4009
U6	-0.0436	0.0553	-0.3778
U7	0.4366	-0.1194	-0.3559
U8	0.2069	0.1209	-0.3188

由表3可知,售后服务商U1、U4、U6对应的等级为Ⅱ级,其余售后服务商对应的等级为Ⅲ级,并且进一步确定售后服务商的优劣顺序为:

$$U1 > U4 > U6 > U3 > U7 > U8 > U2 > U5$$

表4 各评价对象的综合关联度(综合权重)

评价对象	综合关联度		
	Ⅲ级	Ⅱ级	I级
U1	-0.1687	0.2364	-0.3162
U2	-0.0636	-0.0208	-0.3157
U3	0.6242	0.0116	-0.4077
U4	-0.1046	0.1292	-0.3285
U5	0.0521	0.0091	-0.3934
U6	-0.0385	0.0596	-0.3546
U7	0.5991	-0.1648	-0.4050
U8	0.3384	0.0890	-0.3321

由表4可知,售后服务商U1、U2、U4、U6对应的等级为Ⅱ级,其余售后服务商对应的等级为Ⅲ级,并且进一步确定售后服务商的优劣顺序为:

$$U1 > U4 > U6 > U2 > U3 > U7 > U8 > U5$$

由表2~4得出的评价结果可以看出,通过综合权重计算的评价结果和仅用主观权重计算的评价结果更相似,各售后服务商被判定的等级一致,一定程度上证明本文方法有效可行.

根据文献[16]的方法实验,其评价结果和本文按综合权重得到的评价结果一致,但文献[16]不能给出各售后服务商的等级划分.此外,文献[16]的TOPSIS改进算法求规范决策矩阵过程比较复杂,不易求出正理想解和负理想解;并且,文献[16]的方法当两个评价对象

的指标值关于理想解对称时,无法得出准确结果。

4 结论与展望

根据汽车售后服务供应链云平台协作企业优选不仅要考虑不同核心企业对协作企业有不同的主观要求和标准,而且要兼顾待评价协作企业的客观特征,采用集成层次分析法和模糊粗糙集的综合赋权法确定各评价指标的权重系数;然后运用可拓判别法对评价对象进行优度评价,使得到的结果更符合实际、更科学,然而可拓法的等级划分具有一定的主观性,一定程度上会影响评价结果。如何优化可拓评价法或寻找更有效更精确的评价方法将是下一步的研究方向。

参考文献

- 1 邓聚龙. 灰理论基础. 武汉: 华中科技大学出版社, 2002.
- 2 Zadeh LA. Fuzzy sets. *Information and Control*, 1965, 8(3): 338–353. [doi: [10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)]
- 3 Araz C, Ozkarahan I. Supplier evaluation and management system for strategic sourcing based on a new multicriteria sorting procedure. *International Journal of Production Economics*, 2007, 106(2): 585–606. [doi: [10.1016/j.ijpe.2006.08.008](https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2006.08.008)]
- 4 Gwo-Hshiung T, Tzeng GH, Huang JJ. *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. Boca Raton: CRC, 2011.
- 5 蔡文, 杨春燕, 林伟初. 可拓工程方法. 北京: 科学出版社, 1997.
- 6 陈静, 孙林夫. 基于物元分析的产业链协同联盟盟员评价与优选模型. *计算机集成制造系统*, 2009, 15(9): 1743–1748.
- 7 Zhang X, Yue JJ. Measurement model and its application of enterprise innovation capability based on matter element extension theory. *Procedia Engineering*, 2017, 174: 275–280. [doi: [10.1016/j.proeng.2017.01.136](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.01.136)]
- 8 魏欢欢, 陆远. 基于 AHP 的汽车经销商信用模糊综合评价. *现代制造工程*, 2017, 39(3): 18–23.
- 9 Tavana M, Shabanpour H, Yousefi S, *et al.* A hybrid goal programming and dynamic data envelopment analysis framework for sustainable supplier evaluation. *Neural Computing and Applications*, 2017, 28(12): 3683–3696. [doi: [10.1007/s00521-016-2274-z](https://doi.org/10.1007/s00521-016-2274-z)]
- 10 Banaeian N, Mobli H, Fahimnia B, *et al.* Green supplier selection using fuzzy group decision making methods: A case study from the agri-food industry. *Computers & Operations Research*, 2018, 89: 337–347.
- 11 Saaty TL. Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 2008, 1(1): 83–98. [doi: [10.1504/IJSSCI.2008.017590](https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590)]
- 12 Pawlak Z. Rough sets. *International Journal of Computer & Information Sciences*, 1982, 11(5): 341–356.
- 13 吴立云, 杨玉中. 基于粗糙集-熵理论的绿色供应商选择模型研究. *工业工程与管理*, 2011, 16(2): 34–39. [doi: [10.3969/j.issn.1007-5429.2011.02.006](https://doi.org/10.3969/j.issn.1007-5429.2011.02.006)]
- 14 贾善坡, 金凤鸣, 郑得文, 等. 含水层储气库的选址评价指标和分级标准及可拓综合判别方法研究. *岩石力学与工程学报*, 2015, 34(8): 1628–1640.
- 15 许文亮, 杨玉中, 吴立云, 等. 基于优势关系粗糙集和可拓理论的供应商选择方法. *物流科技*, 2018, 41(3): 1–5, 29. [doi: [10.3969/j.issn.1002-3100.2018.03.002](https://doi.org/10.3969/j.issn.1002-3100.2018.03.002)]
- 16 田冉, 孙林夫, 李斌勇, 等. 基于模糊粗糙集的 TOPSIS 供应商评估方法. *计算机应用研究*, 2013, 30(8): 2319–2322. [doi: [10.3969/j.issn.1001-3695.2013.08.019](https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-3695.2013.08.019)]
- 17 Dubois D, Prade H. Rough fuzzy sets and fuzzy rough sets. *International Journal of General System*, 1990, 17(2–3): 191–209. [doi: [10.1080/03081079008935107](https://doi.org/10.1080/03081079008935107)]
- 18 Saaty TL. How to make a decision: The analytic hierarchy process. *Interfaces*, 1994, 24(6): 19–43. [doi: [10.1287/inte.24.6.19](https://doi.org/10.1287/inte.24.6.19)]
- 19 Saaty TL. *The Analytic Network Process*[Thesis]. Pittsburgh, USA: University of Pittsburgh, 2008.
- 20 Ziarko W. Variable precision rough set model. *Journal of Computer and System Sciences*, 1993, 46(1): 39–59. [doi: [10.1016/0022-0000\(93\)90048-2](https://doi.org/10.1016/0022-0000(93)90048-2)]
- 21 何亚群, 胡寿松. 一种基于粗糙-模糊集集成模型的决策分析方法. *控制与决策*, 2004, 19(3): 315–318. [doi: [10.3321/j.issn.1001-0920.2004.03.017](https://doi.org/10.3321/j.issn.1001-0920.2004.03.017)]
- 22 An AJ, Shan N, Chan C, *et al.* Discovering rules for water demand prediction: An enhanced rough-set approach. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 1996, 9(6): 645–653. [doi: [10.1016/S0952-1976\(96\)00059-0](https://doi.org/10.1016/S0952-1976(96)00059-0)]
- 23 郑小霞, 钱锋. 基于变精度粗糙-模糊集模型的诊断知识获取. *华东理工大学学报(自然科学版)*, 2006, 32(12): 1458–1462. [doi: [10.3969/j.issn.1006-3080.2006.12.020](https://doi.org/10.3969/j.issn.1006-3080.2006.12.020)]