

基于区间直觉模糊集的物流服务商评价与选择

汪 恒^{1,2}, 兰培真¹

(1. 集美大学航海学院, 福建 厦门 361021; 2. 大连海事大学轮机工程学院, 辽宁 大连 116026)

[摘要] 为了帮助物流业务外包企业选择合适的物流服务商, 从服务质量、服务经济性、服务能力、企业形象和声誉、发展潜力 5 个因素出发, 筛选准时交货率等 19 项指标, 建立物流服务商评价指标体系。考虑评价信息的不确定性、模糊性及犹豫性等特征, 构建基于区间直觉模糊集的评价与选择模型, 利用加权算数平均算子实现评价信息集成, 采用区间直觉模糊熵确定评价指标权重, 通过区间直觉模糊集的相似度判定最优方案; 最后, 由算例进行实证分析。研究表明: 该模型在物流服务商评价与选择方面具有较好的可靠性和适用性, 评价结果能为外包企业选择物流服务商提供参考依据。

[关键词] 物流服务商; 区间直觉模糊集; 评价指标体系; 评价信息集成; 相似度; 评价与选择

[中图分类号] F 253; O 159

Evaluation and Selection of Logistics Service Providers Based on Interval-Valued Intuitionistic Fuzzy Sets

WANG Heng^{1,2}, LAN Peizhen¹

(1. Navigation College of Jimei University, Xiamen 361021, China;

2. Marine Engineering College of Dalian Maritime University, Dalian 116026, China)

Abstract: In order to help logistics business outsourcing companies choose reasonable and effective logistics service providers, 19 index factors such as “on-time delivery rate” are selected from the 5 aspects, including service quality, service economy, service capability, corporate image and reputation, development potential, then a logistics service provider evaluation index system is established. Considering the characteristics of uncertainty, ambiguity and hesitation of evaluation information, an evaluation and selection model based on interval-valued intuitionistic fuzzy sets should be constructed, which can integrate the evaluation information by IIWAA operator, calculate the weight of evaluation index by interval-valued intuitionistic fuzzy entropy, and determine the optimal solution by the similarity of two interval-valued intuitionistic fuzzy sets. Finally, it will be verified by practical calculation examples. The research indicates that the model has good reliability and applicability in the evaluation and selection of logistics service provides and the evaluation results can provide a reference basis for outsourcing enterprises to select logistics service provides.

Keywords: logistics service provider; interval-valued intuitionistic fuzzy sets; evaluation index system; evaluation information integration; similarity; evaluation and selection

[收稿日期] 2020-04-08

[作者简介] 汪恒 (1982—), 男, 讲师, 博士生, 主要从事海上交通安全评价研究。通信作者: 兰培真 (1962—), 女, 教授, 主要研究交通信息工程及控制。E-mail: peizlan@163.com

0 引言

选择合适的物流服务商对企业成功实施物流业务外包至关重要。然而,在企业实施物流外包的过程中,诸多客户对物流服务商不满意,主要原因有信息沟通与反馈滞后,缺乏运作程序的标准化,难以有效跟踪和监控物流活动,物流服务水平参差不齐等等。因此,建立合适的物流服务商评价指标体系,采用科学、有效、适用的评价模型,对于外包企业维持并增加市场份额、提高客户满意度意义重大。

针对物流服务商评价选择问题,前期研究皆侧重于评价指标体系构建和评价方法研究两个方面。在评价指标体系构建方面,对不同类别物流服务商的评价指标各有不同。文献[1]从经济性、信息化水平和发展潜力3个一级指标出发;文献[2]则选择技术性、经济性、硬件设施和资源性4个主要因素来评价农产品物流服务商;文献[3]考虑市场竞争力、服务能力、协调能力、信息化水平、安全性和兼容性6大因素,构建逆向物流服务商评价指标体系;文献[4]在评价会展物流服务商时选择了服务水平、信息水平、经济因素、运输能力、物流企业形象、发展潜力6个一级指标;在评价第三方物流服务商时,文献[5]从企业信誉、企业实力、协作能力、企业发展潜力4个方面进行了研究;文献[6]则考虑价格、时间控制、服务质量、兼容性、经营状况、资源水平6个方面因素;文献[7]以物流成本、服务质量、顾客满意度为主要考虑因素。通过分析可以看出:经济性、服务质量、技术能力、信息化水平、企业资信、发展潜力常被优先选择。

在评价方法研究方面,刘小兰等^[1]将数据包络分析法的客观性和层次分析法的主观性相结合,建立多目标 DEA-AHP 综合评价模型;杨怀珍等^[2]建立基于网络层次分析法(ANP)的多指标综合评价决策模型,并结合算例进行数值计算和模型验证;曹庆奎等^[3]引入基于 $M(1,2,3)$ 隶属度转换算法,对逆向物流服务商进行评价;秦立公等^[4]将 AHP 结合熵值法解决指标权重问题,利用模糊综合评价法进行会展物流服务商的选择;模糊层次分析法^[5]、基于直觉模糊集法^[6]、熵权-直觉三角模糊数法^[7]、模糊物元模型^[8]等方法也被经常采用;Kim S 等^[9]则从社会技术系统角度开发了一种混合多准则决策模型;Williams Z 等^[10]在聚类分析的基础上采用自适应选择模型;Ayçin E^[11]将灰色系统理论和 DEMATEL 方法相结合,以描述不确定和复杂问题决策。由此可见,各种评价方法研究的关键是如何克服评价信息的模糊性,从而使评价结果客观可靠。

物流服务商评价与选择涉及的因素众多,且部分因素边界模糊,量化困难,存在模糊性和不确定性,而评价者的决策过程又存在一定的犹豫性,区间直觉模糊集则在处理这些评价信息时更加全面、合理及有效。相对于直觉模糊集,其允许评价者给出隶属度、非隶属度的评价范围而非确定值;相对于模糊物元模型及模糊综合评价法,其增加了区间值和犹豫度的考量。

1 评价指标体系的建立

影响物流服务商选择的因素有很多,通过对文献梳理发现,物流服务质量、物流服务价格、物流服务能力、信息化水平、企业资信、企业发展潜力这6大因素被引用频率位居前列。此外,也有学者提到市场占有率、企业资源与信誉、协调能力、安全性、兼容性等因素。本文针对物流服务商选择的影响因素进行深入分析,基于文献研究及实际调研,经过因素罗列、对比、筛选、归纳和整理,本着科学、合理、全面、有效原则,建立物流服务商评价指标体系,如表1所示。该评价指标体系分为三层,即目标层、准则层 C_i 和末端指标层 C_{ij} 。

在物流服务质量方面,主要包括准时交货率、货物完好率、订单完成率、问题处理速度和顾客满意度5个子指标。“准时交货率”衡量物流服务商能按照约定时间准时将货物送至交货地点的水平,用准时发货物流量占物流总量的比率表示。“货物完好率”是指企业在提供物流服务的过程中,货物保持质量完好未损坏的比例。“订单完成率”就是实际完成的订单占计划完成物流订单总数的百分比。“问题处理速度”可表示为处理客户投诉、退换、索赔等问题所需的时间长度。“顾客满意度”即物流服务的实际表现与客户期望值之间的匹配程度。

表 1 物流服务商评价指标体系

Tab. 1 Evaluation index system of logistics service provider

目标层 B Target layer	准则层 C_i Criterionlayer	末端指标层 C_{ij} Terminal index layer
对物流服务商 进行评价 Evaluation of logistics service providers	服务质量 C_1 Service quality	准时交货率 C_{11} On-time delivery rate
		货物完好率 C_{12} Cargo intact rate
		订单完成率 C_{13} Order completion rate
		问题处理速度 C_{14} Problem handling speed
		顾客满意度 C_{15} Customer satisfaction
	服务经济性 C_2 Service economy	物流服务定价水平 C_{21} Logistics services pricing level
		物流服务性价比 C_{22} Logistics services costeffectiveness
		未来降价空间 C_{23} Future price reduction space
	服务能力 C_3 Service capability	物流服务范围 C_{31} Logistics service scope
		设施设备能力 C_{32} Facilities and equipment capability
		物流业务柔性 C_{33} Logistics business flexibility
		信息化水平 C_{34} Information level
	形象和声誉 C_4 Image and reputation	市场占有率 C_{41} Market share
		财务稳定性 C_{42} Financial stability
		企业资信水平 C_{43} Enterprise credit level
	发展潜力 C_5 Development potentiality	企业管理水平 C_{51} Enterprise management level
		净收益增长率 C_{52} Net income growth rate
		员工素质和技能 C_{53} Staff quality and skills
		技术研发投入 C_{54} Technology R&D investment

在物流服务经济性方面,“物流服务定价水平”主要衡量企业在物流服务定价上与市场预期的对比情况,以及对不同物流服务进行调价的能力。“物流服务性价比”是指物流服务质量水平与价格之间的对比关系,性价比高的物流服务商在选择过程中应优先考虑。“未来降价空间”考察物流服务商是否具备有效的物流成本控制手段,以及在合作期内能否给予更大的价格优惠。

衡量物流服务能力的指标主要包括物流服务范围、设施设备能力、物流业务柔性、信息化水平 4 个方面。“物流服务范围”可从提供物流服务的功能项目种类和覆盖区域范围上体现。“设施设备能力”主要反映为设施设备的规模大小及其能完成物流业务量的多少,兼顾设施设备的先进程度、运行效率、事故率、维修费等因素。“物流业务柔性”指的是物流服务商的业务应急处理能力和紧急情况快速响应能力,物流服务过程中的诸多不确定性表明,该指标是物流服务商服务能力的重要体现。“信息化水平”表现为信息平台搭建情况、信息技术与物流业务的结合情况、信息系统的兼容性和安全性等方面。

在企业形象和声誉方面,“市场占有率”是非常重要的一项指标,反映物流服务商在市场上的竞争能力和地位。“财务稳定性”是指在承担业务风险和偿还债务能力方面的可靠程度,可从流动比率、运营比率、负债比率等方面衡量。“企业资信水平”可由具有公信力的相关部门出具的资信证明来评判。

从长远来看,“发展潜力”也是选择物流服务商的一项重要指标。“企业管理水平”是企业在制定管理计划、规范管理体制、创新管理理念、培养管理人才等方面表现出的能力。“净收益增长率”用留存收益增加额占期初净资产的比例表示,净收益的不断扩大和积累将转化为企业的发展潜能。“员工素质和技能”可从工作责任心、沟通能力、合作精神、学历层次、技能证书等方面来衡量。“技术研发投入”可量化为当期物流技术的研发支出占营业收入的比例,该指标值越高,未来的竞争

优势越明显,发展前景越好。

2 区间直觉模糊集概述

设 X 为一非空集合, 则称 $A = \{ \langle x, \mu_A(x), v_A(x) \rangle \mid x \in X \}$ 为直觉模糊集, 其中, $\mu_A(x) \in [0, 1]$ 和 $v_A(x) \in [0, 1]$ 分别为集合 X 中元素 x 属于 A 的隶属度和非隶属度, 且满足 $0 \leq \mu_A(x) + v_A(x) \leq 1$, $\forall x \in X$ 。

隶属度和非隶属度值有时难以确定, 则可用区间数来表示, 如 $\mu_A(x) = [\mu_A^L(x), \mu_A^U(x)]$, $v_A(x) = [v_A^L(x), v_A^U(x)]$, 此时称 A 为区间直觉模糊集, 即

$$A = \{ \langle x, [\mu_A^L(x), \mu_A^U(x)], [v_A^L(x), v_A^U(x)] \rangle \mid x \in X \}。 \quad (1)$$

其中: $\mu_A^L(x)$ 和 $\mu_A^U(x)$ 分别表示集合 X 中元素 x 属于 A 的最小隶属度和最大隶属度; $v_A^L(x)$ 和 $v_A^U(x)$ 分别表示集合 X 中元素 x 属于 A 的最小非隶属度和最大非隶属度; 且 $0 \leq \mu_A^U(x) + v_A^U(x) \leq 1$, $\mu_A^L \geq 0$, $v_A^L \geq 0$ 。

同时, x 属于 A 的犹豫度为:

$$\pi_A(x) = [\pi_A^L(x), \pi_A^U(x)] = [1 - \mu_A^U(x) - v_A^U(x), 1 - \mu_A^L(x) - v_A^L(x)]。 \quad (2)$$

2.1 加权算数平均算子

设 $A_i = ([\mu_A^L(x_i), \mu_A^U(x_i)], [v_A^L(x_i), v_A^U(x_i)])$, $i = 1, 2, \dots, n$ 。为一组区间直觉模糊数, $\omega_i \in [0, 1]$ 为 A_i ($i = 1, 2, \dots, n$) 的权重, 且 $\sum_{i=1}^n \omega_i = 1$ 。则区间直觉模糊数的加权算数平均算子定义为^[12]:

$$f(A_1, A_2, \dots, A_n) = \sum_{i=1}^n \omega_i A_i = ([1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_A^L(x_i))^{\omega_i}, 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_A^U(x_i))^{\omega_i}], [\prod_{i=1}^n v_A^L(x_i)^{\omega_i}, \prod_{i=1}^n v_A^U(x_i)^{\omega_i}])。 \quad (3)$$

2.2 区间直觉模糊熵及熵权

对于任意的区间直觉模糊集 $A \in \text{IVIFSs}(x)$, $\forall x \in X$, 定义其熵为^[13]:

$$E(A) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [1 - \frac{1}{2} (|\mu_A^L(x_i) - v_A^L(x_i)| + |\mu_A^U(x_i) - v_A^U(x_i)|)] \ln [(\frac{\pi_A^L(x_i) + \pi_A^U(x_i)}{2}) \cdot (1 - \frac{1}{2} (|\mu_A^L(x_i) - v_A^L(x_i)| + |\mu_A^U(x_i) - v_A^U(x_i)|) + e - 1)]。 \quad (4)$$

公式 (4) 所示的熵函数考虑了区间直觉模糊集的所有要素, 即隶属度、非隶属度和犹豫度, 体现了信息的不确定性, 与现有熵函数相比更加直观合理。

熵是系统无序程度的一个度量, 熵权法利用各指标的变异程度, 计算各指标的熵值。熵值越小, 系统无序程度越小, 评估指标在综合评估中起到的作用越大, 其权重也越大; 反之, 熵值越大, 指标权重就越小。

假设某准则下有 n 个指标, 第 i 个指标的熵为 E_i , 知其权重为:

$$\omega_i = (1 - E_i) / \sum_{i=1}^n (1 - E_i)。 \quad (5)$$

2.3 区间直觉模糊集的距离及相似度

设 X 为一非空集合, 且 $A = \{ \langle x_i, [\mu_A^L(x_i), \mu_A^U(x_i)], [v_A^L(x_i), v_A^U(x_i)] \rangle \mid x_i \in X \}$, $B = \{ \langle x_i, [\mu_B^L(x_i), \mu_B^U(x_i)], [v_B^L(x_i), v_B^U(x_i)] \rangle \mid x_i \in X \}$ 为论域 X 上的区间直觉模糊集, $\pi_A(x_i) = [\pi_A^L(x_i), \pi_A^U(x_i)]$ 、 $\pi_B(x_i) = [\pi_B^L(x_i), \pi_B^U(x_i)]$ 为 A 和 B 的犹豫度。设 ω_i 为 x_i 的权重, 则基于 Szmidt 的区间直觉模糊集的赋权欧几里得距离定义为^[14]:

$$d(A,B) = \{ \frac{1}{4} \sum_{i=1}^n \omega_i [|\mu_A^L(x_i) - \mu_B^L(x_i)|^2 + |\mu_A^U(x_i) - \mu_B^U(x_i)|^2 + |v_A^L(x_i) - v_B^L(x_i)|^2 + |v_A^U(x_i) - v_B^U(x_i)|^2 + |\pi_A^L(x_i) - \pi_B^L(x_i)|^2 + |\pi_A^U(x_i) - \pi_B^U(x_i)|^2] \}^{1/2}。 \tag{6}$$

且定义 A 和 B 两个区间直觉模糊集的相似度为:

$$S(A,B) = 1 - d(A,B)。 \tag{7}$$

显然 $S(A,B)$ 越大, 说明区间直觉模糊集 A 和 B 的相似度越大。

3 物流服务商评价与选择模型构建

3.1 物流服务商评价与选择问题分析

物流服务商的评价与选择问题本质上属于多属性决策问题, 在指标权重完全未知、指标评判存在模糊不确定性的情况下, 可运用区间直觉模糊集理论来解决该评价问题。要在 n 个物流服务商中选出最佳的一个, 首先应对每个物流服务商在各末端指标上的表现进行评价, 采用区间直觉模糊集语言, 若对物流服务商 B_k 在指标 C_{ij} 上的评价信息记为 $([\mu_{ij}^L, \mu_{ij}^U], [v_{ij}^L, v_{ij}^U])^{(k)}$, 表示在指标 C_{ij} 上要选择 B_k 的隶属度区间值为 $[\mu_{ij}^L, \mu_{ij}^U]$, 不选择 B_k 的隶属度区间值为 $[v_{ij}^L, v_{ij}^U]$, 选择时的犹豫度区间值为 $[1 - \mu_{ij}^U - v_{ij}^U, 1 - \mu_{ij}^L - v_{ij}^L]$ 。可见, 若评价信息为 $([1, 1], [0, 0])$, 则表示在指标 C_{ij} 上 B_k 是最理想选择。

每个准则层指标的评价信息应由其下属多个末端指标进行评价信息集成获得, 可利用加权算数平均算子结合各指标权重来实现。对于未知的指标权重, 可基于区间直觉模糊熵及熵权理论来解决。再从准则层到目标层, 把评价目标看成准则层下各指标构成的区间直觉模糊集, 计算其与理想解之间的相似度, 得数最大的即为最优物流服务商。

3.2 物流服务商评价与选择模型

首先将各末端指标评价语言转化为区间直觉模糊数, 再应用加权算数平均算子实现各准则层下多个指标的信息集成, 并由区间直觉模糊熵理论计算量化各级指标权重, 最后利用区间直觉模糊集的相似度来解决模型最优解问题。其步骤如下:

1) 确定目标层方案集 B , 若有 m 个备选物流服务商, 即 $B = (B_1, B_2, \dots, B_m)$, 采用区间直觉模糊集语言, 对每个物流服务商下的末端指标进行评价, 用 $C_{ij}^{(k)} = ([\mu_{ij}^L, \mu_{ij}^U], [v_{ij}^L, v_{ij}^U])^{(k)}$ 表示第 k 个物流服务商下的指标 C_{ij} 的评价结果, 则每个指标由 m 个评价信息构成一个区间直觉模糊集 $C_{ij} = (C_{ij}^{(1)}, C_{ij}^{(2)}, \dots, C_{ij}^{(m)})$, 分别利用式 (4)、式 (5) 计算每个末端指标的区间直觉模糊熵 E_{ij} 及权重 ω_{ij} 。

2) 对准则层指标 C_i 下的各子指标利用式 (3) 进行信息集成, 记第 k 个物流服务商下指标 C_i 的信息集成结果为 $C_i^{(k)} = ([\mu_i^L, \mu_i^U], [v_i^L, v_i^U])^{(k)}$, 则准则层下 n 个指标评价信息构成物流服务商的区间直觉模糊集 $C = (C_1, C_2, \dots, C_n)$, 并计算指标 C_i 的区间直觉模糊熵 E_i 及权重 ω_i , 原理同步步骤 1)。

3) 为提供一种理论的评估标准, 定义理想解 $A^* = \{ \langle C_j, [1, 1], [0, 0] \rangle \mid C_j \in C \}$, 利用式 (6) 计算备选方案 B_k 与理想解之间的赋权欧几里得距离 $d(B_k, A^*)$ 。

4) 利用式 (7) 计算每个备选方案与理想解之间的相似度 $S(B_k, A^*)$, 对相似度结果进行排序, 并选出最优物流服务商。

4 算例分析

厦门某制造公司要将物流业务外包给专业物流企业, 现有 4 家备选物流服务商, 基于建立的物流服务商评价指标体系和计算模型, 对其进行评价后做出选择。

1) 确定方案集 $B = (B_1, B_2, B_3, B_4)$, 由熟悉当地物流行业的专家对各物流服务商进行评估, 给出相应的各末端指标区间直觉模糊数, 评价结果如表 2 所示。

表 2 各方案对应的末端指标评价结果

Tab. 2 Evaluation results of terminal indexes corresponding to each solution

指标 Index	B_1	B_2	B_3	B_4
C_{11}	$([0.7, 0.8], [0.1, 0.2])$	$([0.4, 0.5], [0.3, 0.5])$	$([0.6, 0.7], [0.1, 0.2])$	$([0.5, 0.6], [0.2, 0.4])$
C_{12}	$([0.7, 0.8], [0.1, 0.2])$	$([0.3, 0.4], [0.5, 0.6])$	$([0.4, 0.5], [0.4, 0.5])$	$([0.3, 0.4], [0.4, 0.6])$
C_{13}	$([0.8, 0.9], [0, 0.1])$	$([0.5, 0.7], [0.2, 0.3])$	$([0.4, 0.5], [0.3, 0.4])$	$([0.6, 0.7], [0.2, 0.3])$
C_{14}	$([0.4, 0.5], [0.4, 0.5])$	$([0.6, 0.7], [0.2, 0.3])$	$([0.5, 0.6], [0.2, 0.4])$	$([0.7, 0.8], [0.1, 0.2])$
C_{15}	$([0.7, 0.8], [0.1, 0.2])$	$([0.1, 0.2], [0.7, 0.8])$	$([0.3, 0.4], [0.4, 0.5])$	$([0.5, 0.6], [0.3, 0.4])$
C_{21}	$([0.2, 0.3], [0.4, 0.6])$	$([0.6, 0.7], [0.2, 0.3])$	$([0.4, 0.5], [0.4, 0.5])$	$([0.6, 0.7], [0.2, 0.3])$
C_{22}	$([0.6, 0.7], [0.2, 0.3])$	$([0.4, 0.5], [0.3, 0.5])$	$([0.5, 0.6], [0.2, 0.4])$	$([0.7, 0.8], [0.1, 0.2])$
C_{23}	$([0.4, 0.5], [0.3, 0.5])$	$([0.7, 0.8], [0.1, 0.2])$	$([0.4, 0.6], [0.2, 0.4])$	$([0.5, 0.6], [0.3, 0.4])$
C_{31}	$([0.8, 0.9], [0, 0.1])$	$([0.1, 0.2], [0.7, 0.8])$	$([0.2, 0.4], [0.5, 0.6])$	$([0.7, 0.8], [0.1, 0.2])$
C_{32}	$([0.7, 0.8], [0.1, 0.2])$	$([0.2, 0.3], (0.6, 0.7))$	$([0.1, 0.3], [0.6, 0.7])$	$([0.6, 0.7], [0.2, 0.3])$
C_{33}	$([0.7, 0.8], [0.1, 0.2])$	$([0.1, 0.2], [0.7, 0.8])$	$([0.2, 0.3], [0.6, 0.7])$	$([0.5, 0.6], [0.3, 0.4])$
C_{34}	$([0.6, 0.7], [0.1, 0.3])$	$([0.2, 0.3], (0.6, 0.7))$	$([0.3, 0.4], [0.5, 0.6])$	$([0.4, 0.6], [0.2, 0.4])$
C_{41}	$([0.8, 0.9], [0, 0.1])$	$([0.1, 0.2], [0.7, 0.8])$	$([0.2, 0.3], [0.6, 0.7])$	$([0.6, 0.7], [0.2, 0.3])$
C_{42}	$([0.5, 0.7], [0.1, 0.3])$	$([0.2, 0.4], [0.3, 0.5])$	$([0.2, 0.5], [0.2, 0.4])$	$([0.4, 0.5], [0.3, 0.5])$
C_{43}	$([0.6, 0.7], [0.2, 0.3])$	$([0.3, 0.4], [0.4, 0.5])$	$([0.4, 0.5], [0.3, 0.4])$	$([0.5, 0.6], [0.2, 0.4])$
C_{51}	$([0.5, 0.7], [0.2, 0.3])$	$([0.5, 0.6], [0.2, 0.3])$	$([0.4, 0.5], [0.3, 0.4])$	$([0.6, 0.8], [0.1, 0.2])$
C_{52}	$([0.4, 0.5], [0.3, 0.4])$	$([0.5, 0.6], [0.1, 0.3])$	$([0.3, 0.4], [0.2, 0.5])$	$([0.6, 0.7], [0.1, 0.2])$
C_{53}	$([0.5, 0.6], [0.1, 0.3])$	$([0.3, 0.4], [0.3, 0.5])$	$([0.2, 0.4], [0.4, 0.5])$	$([0.4, 0.6], [0.2, 0.4])$
C_{54}	$([0.6, 0.7], [0.2, 0.3])$	$([0.2, 0.5], [0.3, 0.5])$	$([0.3, 0.5], [0.3, 0.4])$	$([0.4, 0.6], [0.2, 0.4])$

利用式（4）、式（5）计算得出每个指标的区间直觉模糊熵及权重为：

$E_{1j} = (0.3921, 0.4535, 0.346, 0.4057, 0.3745)$, $\omega_{1j} = (0.201, 0.18, 0.216, 0.196, 0.207)$ ；

$E_{2j} = (0.4431, 0.4037, 0.4474)$, $\omega_{2j} = (0.326, 0.35, 0.324)$ ；

$E_{3j} = (0.2539, 0.31, 0.3166, 0.4107)$, $\omega_{3j} = (0.275, 0.255, 0.252, 0.218)$ ；

$E_{4j} = (0.2568, 9.564, 0.4882)$, $\omega_{4j} = (0.439, 0.258, 0.303)$ ；

$E_{5j} = (0.4148, 0.4762, 0.5279, 0.5311)$, $\omega_{5j} = (0.285, 0.256, 0.23, 0.229)$ 。

2) 利用式（3）计算各方案准则层指标的评价结果，如表 3 所示。

表 3 各方案对应的准则层指标评价结果

Tab. 3 Evaluation results of criteria level indexes corresponding to each solution

指标 Index	B_1	B_2	B_3	B_4
C_1	$([0.685, 0.794], [0, 0.206])$	$([0.404, 0.539], [0.332, 0.461])$	$([0.449, 0.551], [0.248, 0.379])$	$([0.542, 0.647], [0.215, 0.353])$
C_2	$([0.428, 0.533], [0.337, 0.444])$	$([0.58, 0.685], [0.184, 0.315])$	$([0.437, 0.57], [0.251, 0.43])$	$([0.611, 0.714], [0.179, 0.286])$
C_3	$([0.714, 0.819], [0, 0.181])$	$([0.149, 0.249], [0.651, 0.751])$	$([0.199, 0.351], [0.548, 0.649])$	$([0.573, 0.693], [0.183, 0.307])$
C_4	$([0.687, 0.815], [0, 0.185])$	$([0.191, 0.319], [0.475, 0.615])$	$([0.267, 0.42], [0.366, 0.511])$	$([0.525, 0.627], [0.222, 0.373])$
C_5	$([0.502, 0.635], [0.189, 0.323])$	$([0.398, 0.538], [0.202, 0.379])$	$([0.309, 0.454], [0.289, 0.446])$	$([0.518, 0.695], [0.137, 0.275])$

再计算得出准则层每个指标的区间直觉模糊熵及权重为：

$E_i = (0.4221, 0.4387, 0.3061, 0.4131, 0.4957)$, $\omega_i = (0.198, 0.192, 0.237, 0.201, 0.172)$ 。

3) 利用式(6)计算各方案与理想解之间的赋权欧几里得距离为: $d(B_k, A^*) = (0.334, 0.582, 0.56, 0.367)$ 。

4) 利用式(7)计算各方案与理想解之间的相似度为: $S(B_k, A^*) = (0.666, 0.418, 0.44, 0.633)$ 。得到 $S(B_1, A^*) > S(B_4, A^*) > S(B_3, A^*) > S(B_2, A^*)$, 因此应优先选择 B_1 作为外包物流服务商。通过对末端指标评价信息进行预判可知, 物流服务商 B_1 除了在“问题处理速度 C_{14} ”、“物流服务定价水平 C_{21} ”、“未来降价空间 C_{23} ”和“净收益增长率 C_{52} ”4项指标上处于劣势外, 在其他指标上大多处于绝对领先水平, 优先选择 B_1 符合预期。同时, 物流服务商 B_2 仅在“物流服务定价水平 C_{21} ”和“未来降价空间 C_{23} ”两项指标上占有优势, 在其他指标上全面落后, 其排名垫底也表明计算模型具有可靠性。

5 结束语

本文在吸收诸多研究成果的基础上, 建立全新的评价指标体系, 构建了基于区间直觉模糊集的评价模型。该模型集合了模糊综合评价、直觉模糊集、模糊层次分析法等方法的优点, 综合考虑评价中的不确定性、模糊性及犹豫性等特征, 使得其评价结果更客观可靠。算例分析结果也表明, 基于区间直觉模糊集的评价模型在物流服务商选择与评价方面具有较好的可靠性和适用性, 评价结果能为外包企业合理选择物流服务商提供有效依据。

[参考文献]

- [1] 刘小兰, 张悟移. 基于 DEA-AHP 的农产品物流服务商评价与选择 [J]. 昆明理工大学学报(社会科学版), 2013, 13(3): 68-72.
- [2] 杨怀珍, 熊炜. 基于 ANP 的农产品第三方物流服务商评价研究 [J]. 商业研究, 2011(3): 171-176.
- [3] 曹庆奎, 张京华. 基于隶属度转换的第三方逆向物流服务商评价 [J]. 河北工程大学学报(自然科学版), 2011, 28(3): 79-82.
- [4] 秦立公, 蒋俊美, 袁媛, 等. 基于模糊综合评价的现代会展物流服务商选择 [J]. 桂林理工大学学报, 2012, 32(4): 613-617.
- [5] 桂晓梅. 基于模糊层次分析法的第三方物流服务商选择 [J]. 物流商论, 2016(11): 110-112.
- [6] 林琳. 基于直觉模糊集的第三方物流服务商选择方法研究 [D]. 沈阳: 东北大学, 2010.
- [7] 徐登科, 欧阳璐. 基于熵权-直觉三角模糊数物流服务商的选择决策研究 [J]. 辽宁工业大学学报(自然科学版), 2020, 40(1): 57-61.
- [8] 黄先军. 模糊物元模型在物流服务商评价与选择中的应用 [J]. 统计与决策, 2015(12): 80-82.
- [9] KIM S, RAMKUMAR M, SUBRAMANIAN N. Logistics service provider selection for disaster preparation: a socio-technical systems perspective [J]. Annals of Operations Research, 2019, 283(2): 1259-1282.
- [10] WILLIAMS Z, GARVER M S, RICHEY JR R G. Security capability and logistics service provider selection: an adaptive choice study [J]. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 2019, 49(4): 330-355.
- [11] AYÇIN E. A grey DEMATEL integrated approach to determine third party logistics service provider selection criteria [J]. Alphanumeric Journal, 2018, 6(2): 277-292.
- [12] 孙小慧, 吴涛, 孙恒, 等. 一种基于区间直觉模糊集的多属性决策方法 [J]. 河南科技大学学报(自然科学版), 2013, 34(5): 87-90.
- [13] 江晓珍. 基于改进区间值直觉模糊熵的投资方案优选 [J]. 重庆理工大学学报(自然科学), 2019, 33(4): 227-236.
- [14] 谢建明, 刘三阳. 区间直觉模糊集的相似性测度及其应用 [J]. 数学的实践与认识, 2018, 48(4): 249-255.

(责任编辑 陈 敏 英文审校 周云龙)