

doi:10.16055/j.issn.1672-058X.2015.0012.001

基于新区间直觉 Vague 熵的皖江承接转移决策模型*

丁 鑫¹, 童婉宁¹, 产慧贤¹, 徐丹青¹, 毛军军^{1,2}

(1.安徽大学 数学科学学院,合肥 230601; 2.安徽大学 计算智能与信号处理教育部重点实验室,合肥 230039)

摘 要:给出了一个新的 Vague 熵,并以此确定了新的指标权值定义法,从而给出了基于新 Vague 熵的区间直觉模糊多属性决策模型;构建了工业承接能力评价指标体系,并利用新的多属性决策模型,对皖江城市带九市工业承接能力进行评估,计算各市的综合属性值,从而确定工业优先转移方向.

关键词:工业承接能力;新的 Vague 熵;区间直觉模糊集;多属性评价

中图分类号: O29 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-058X(2015)12-0001-08

经济全球化和区域经济一体化的发展,加速了国际国内产业分工,推动了产业跨区域的转移.沿海地区受制于高昂的生产成本、资源环境压力和周边国家的竞争,迫切需要升级产业结构,将某些产业逐步向基础设施日趋完善、要素成本低和内需市场广阔的中西部转移.而皖江城市带便是承接产业转移的目的地之一.《皖江城市带承接产业转移示范区规划》(简称《规划》)说明了皖江城市带包括合肥、芜湖、马鞍山、铜陵、安庆、池州、巢湖、滁州、宣城九市全境和六安市金安区、舒城县.由于 2011 年巢湖市拆分为三部分,分别并入其他三市,因此未考虑巢湖市的承接能力.同时,为了满足“数据的可获得性”,整体考虑六安市的承接能力,并不单独评价金安区和舒城县.由此,着重研究合肥、芜湖、马鞍山、铜陵、安庆、池州、滁州、宣城、六安九市的工业承接能力.

《规划》还论述了皖江城市带承接产业转移的优势:交通体系完善;产业分工互补,合作基础好;配套能力强;资源丰富,承载空间大;生态环境优越;综合商务成本低.《规划》不仅论述了皖江城市带的优势,还提到了皖江城市带承接产业转移中存在的主要问题:缺乏规划引导.而正确的规划引导,需要对各市的承接产业转移的能力有正确认识.主要研究各市工业承接能力,将利用基于新的 Vague 熵的区间直觉模糊多属性决策模型,给出各市的综合属性值,从而确定产业的优先转移方向.

1 基于新 Vague 熵的区间直觉模糊多属性决策模型

1.1 区间直觉模糊集的基本理论

利用区间来表示直觉模糊集的隶属度和非隶属度能够较好的体现客观事物的复杂性和不确定性.由此,Atanassov 和 Gargov 给出了区间直觉模糊集的概念:

收稿日期:2015-02-30;修回日期:2015-04-16.

* 基金项目:国家自然科学基金(71371011);安徽省高等学校省级自然科学研究重点项目(KJ2013A033);安徽大学创新团队资助(KJTD001B);安徽大学大学生创新创业训练计划项目(201310357117);安徽大学研究生学术创新研究项目资助.

作者简介:丁鑫(1992-),男,江苏南京人,硕士研究生,从事数学应用研究.

定义 1^[1] 设 X 是一个非空集合, 则称 $A = \{x | ([t_A^-(x), t_A^+(x)], [f_A^-(x), f_A^+(x)]), x \in X\}$ 为区间直觉模糊集, 简称 $IVIFS(X)$, 其中 $[t_A^-(x), t_A^+(x)], [f_A^-(x), f_A^+(x)] \subset [0, 1], x \in X$ 分别表示隶属度和非隶属度区间, 且满足条件 $t_A^+(x) + f_A^+(x) \leq 1, x \in X$, 其中 $\pi_A^+(x) = 1 - t_A^-(x) - f_A^-(x), \pi_A^-(x) = 1 - t_A^+(x) - f_A^+(x)$ 分别表示犹豫度的上下界.

为简单起见, 可将区间直觉模糊集记为 $A = ([a, b], [c, d])$.

定义 2^[2] 设 $A = ([a, b], [c, d])$ 为区间直觉模糊集, 均值也即得分函数可记为

$$S(A) = \frac{a + a(1 - b - d) + b + b(1 - a - c)}{2} = a + b - ab - \frac{1}{2}(ad + bc) \quad (1)$$

1.2 改进的 Vague 熵

Vague 熵可以度量区间直觉模糊集的不确定性, 这种不确定性主要来自 3 个方面: 概念的“模糊性”; 人们对改良认识的“不完全性”; 区间“本身的模糊性”. “模糊性”主要表现为隶属度区间和非隶属度区间的接近程度, 认识的“不完全性”体现在犹豫度的大小, 区间“本身的模糊性”主要体现在区间的宽度上.

文献[1]定义了区间直觉模糊集的 Vague 熵, 但是其主要缺陷在于没有考虑隶属度区间和非隶属度区间的接近程度对 Vague 熵的影响. 就此给出了一个新的 Vague 熵的定义.

定义 3 (区间数之间的距离) 设区间数 $\tilde{a} = [a^-, a^+]$ 与 $\tilde{b} = [b^-, b^+]$, 则 $d(\tilde{a}, \tilde{b})$ 为区间数 \tilde{a} 与 \tilde{b} 之间的距离, 其中 $d(\tilde{a}, \tilde{b}) = \frac{|a^- - b^+| + |a^+ - b^-|}{2}$.

由定义 3, 用区间数之间的距离来度量隶属度区间 $\tilde{t}_A(x) = [t_A^-(x), t_A^+(x)]$ 和非隶属度区间 $\tilde{f}_A(x) = [f_A^-(x), f_A^+(x)]$ 的接近程度. 此距离与熵成反比, 区间距离越大, 隶属度与非隶属度区间的接近程度越小, 则熵越小.

同时, 用犹豫度区间的中间值 $\frac{\pi_A^-(x) + \pi_A^+(x)}{2}$ 来表示犹豫度的大小, 并考虑犹豫度区间的宽度 $\pi_A^-(x) - \pi_A^+(x)$ 对模糊熵的影响.

最后, 用 $t_A^+(x) - t_A^-(x) + f_A^+(x) - f_A^-(x)$ 来刻画隶属度和犹豫度区间宽度对模糊熵的影响.

以上的思考为文章提供了一个新的区间直觉模糊集的 Vague 熵, 如下:

定义 4 已知区间直觉模糊集 $A = ([t_A^-(x), t_A^+(x)], [f_A^-(x), f_A^+(x)])$, $\pi_A^+(x) = 1 - t_A^-(x) - f_A^-(x), \pi_A^-(x) = 1 - t_A^+(x) - f_A^+(x)$, 称

$$E_A = \frac{\pi_A^-(x) + \pi_A^+(x)}{4} + \frac{(\pi_A^-(x) - \pi_A^+(x))^2}{4} - \frac{|t_A^-(x) - f_A^+(x)| + |t_A^+(x) - f_A^-(x)|}{4} + \frac{(t_A^+(x) - t_A^-(x) + f_A^+(x) - f_A^-(x))^2}{4} + \frac{1}{2} = \frac{\pi_A^-(x) + \pi_A^+(x)}{4} + \frac{(\pi_A^-(x) - \pi_A^+(x))^2}{2} - \frac{|t_A^-(x) - f_A^+(x)| + |t_A^+(x) - f_A^-(x)|}{4} + \frac{1}{2} \quad (3)$$

为区间直觉模糊集 A 的熵.

E_A 具有如下性质:

- 1) 当 A 退化为普通集, 即 $A = ([1, 1], [0, 0])$ 或 $A = ([0, 0], [1, 1])$, $e(A)$ 最小且等于 0;
- 2) 当区间直觉模糊集 $A = ([0, 0], [0, 0]), A = ([0, 1], [0, 0]), A = ([0, 0], [0, 1]), A = ([0, 0.5], [0, 0.5])$ 时, 此时模糊性最强, 则 $E_A = 1$;

3) \bar{A} 是 A 的补集,即满足 $t_{\bar{A}}(x) = f_A(x)$, $1 - f_{\bar{A}}(x) = 1 - t_A(x)$, 则 $E_{\bar{A}} = E_A$;

4) $\forall A, B \in \text{IVIFS}(X)$, 若它们的隶属度, 非隶属度以及犹豫度的中间值分别相等, 且隶属度区间与非隶属度区间距离相等, 当 B 的区间宽度越大时, B 的 Vague 熵越大;

5) $\forall A, B \in \text{IVIFS}(X)$, 若 A 与 B 犹豫度区间相同时, B 的隶属度区间和非隶属度区间比 A 的更加接近, 则 B 的 Vague 熵更大.

证明 易证定义 4 满足性质 1) 至 5), 此处省略.

定义 5 有论域 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, 区间直觉模糊集 $A = \sum_{i=1}^n ([t_A^-(x_i), t_A^+(x_i)], [f_A^-(x_i), f_A^+(x_i)]) / x_i$,

则它的模糊熵为

$$E_A = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\pi_A^-(x_i) + \pi_A^+(x_i)}{4} + \frac{(\pi_A^-(x_i) - \pi_A^+(x_i))^2}{2} - \frac{|t_A^-(x_i) - f_A^+(x_i)| + |t_A^+(x_i) - f_A^-(x_i)|}{4} + \frac{1}{2} \quad (4)$$

定义 5 具有和定义 4 一样的性质, 且证明方法相同, 此处省略.

1.3 基于改进熵的指标权值定义法

在多属性决策中, 各个属性对于决策来说并不是同等重要, 需要对属性赋予权重, 从而对属性加以区别. 权重的赋予往往需要通过对数据信息加以分析, 这里使用文献[3]提供的, 利用 Vague 熵确定属性权重的方法.

假设对象集为 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, 属性集为 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$, 属性权重为 $w = \{w_1, w_2, \dots, w_m\}$, 其中 $\sum_{j=1}^m w_j = 1, w_j \in [0, 1] (j = 1, 2, \dots, m)$.

在实际决策中, 决策者往往希望确定信息越多越好, 不确定信息越少越好, 因此各属性的权重应该尽可能减少不确定信息, 即使得总熵最小, 因此建立如下非线性规划模型

$$\begin{aligned} \min & \sum_{j=1}^m w_j^2 E_j \\ \text{s.t.} & \sum_{j=1}^m w_j = 1, \quad w_j \in [0, 1] (j = 1, 2, \dots, m) \end{aligned} \quad (5)$$

上述模型可以通过 Lagrange 函数求解.

1.4 基于新 Vague 熵的区间直觉模糊多属性决策模型的具体步骤

步骤 1: 对于具有 n 个方案, m 个评价指标 (属性) 的区间直觉模糊集多属性决策问题, 首先构造决策矩阵 $A = (A_{ij})_{n \times m}$, 且 $A_{ij} = ([t_A^-(x_i), t_A^+(x_i)], [f_A^-(x_i), f_A^+(x_i)])$, $(i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m)$.

步骤 2: 由决策矩阵 $A = (A_{ij})_{n \times m}$, 利用定义 2, 计算 $A_{ij} = ([t_A^-(x_i), t_A^+(x_i)], [f_A^-(x_i), f_A^+(x_i)])$ 的得分函数

$$S(A_{ij}), \text{ 简记为 } S_{ij}, \text{ 从而得到得分函数矩阵: } S = (S_{ij})_{n \times m} = \begin{pmatrix} S_{11} & \cdots & S_{1m} \\ \vdots & & \vdots \\ S_{n1} & \cdots & S_{nm} \end{pmatrix}.$$

然后, 将得分函数矩阵标准化:

$$RS_{ij} = \frac{S_{ij}}{\sum_{i=1}^n S_{ij}}, (i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m)$$

$$\text{得到标准化的得分函数矩阵: } RS = \begin{pmatrix} RS_{11} & \cdots & RS_{1m} \\ \vdots & & \vdots \\ RS_{n1} & \cdots & RS_{nm} \end{pmatrix}.$$

步骤 3: 计算各个指标的熵, 第 j 个指标的熵为

$$E_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\pi_A^-(x_i) + \pi_A^+(x_i)}{4} + \frac{(\pi_A^-(x_i) - \pi_A^+(x_i))^2}{2} - \frac{|t_A^-(x_i) - f_A^+(x_i)| + |t_A^+(x_i) - f_A^-(x_i)|}{4} + \frac{1}{2}$$

其中 $j=1, \dots, m$.

步骤 4: 利用模型(5), 通过 Lagrange 函数求解, 计算得第 j 项指标的权重:

$$w_j = \frac{E_j^{-1}}{\sum_{j=1}^m E_j^{-1}}; j = 1, 2, \dots, m$$

步骤 5: 第 i 个方案的综合属性值为

$$z_i(w) = \sum_{j=1}^m w_j S_{ij}; i = 1, \dots, n$$

步骤 6: 利用 $z_i(w) (i \in N)$ 对方案进行排序与择优, $z_i(w)$ 越大则方案越优.

2 工业承接能力评价指标体系的构建

2.1 指标选取的原则

评价某市对于工业转移的承接能力, 需要从不同角度进行考虑, 选取的指标必须要遵循 3 个原则: 系统性原则、独立性原则、可获得性原则^[4]. 系统性是在指标选取过程中, 要尽量全面反映出产业承接能力的各个方面. 独立性是指选取的指标应该各有侧重, 反映出不同方面的实际情况, 要达到对于不同地区承接能力的综合比较. 可获得性指选取指标的过程中, 不仅要本着全面的原则, 更要注重客观实际, 数据一定要可以查得到.

2.2 指标选取的说明

根据上述 3 个原则, 选取了能够较为全面的评价皖江城市带工业承接能力的指标, 从产业基础能力、市场化指数、设施的产业配套能力、经济外向吸纳能力、技术创新能力和环境承载能力 6 个方面, 设计了 33 个评价指标组成指标体系, 如表 1 所示.

表 1 工业承接能力的评价指标

一级指标	编 号	二级指标
产业基础能力	1	成本因素 规模以上工业企业平均主营业务成本占九市的比例/%
	2	企业盈利能力 规模以上工业企业平均利润总额占九市的比重/%
	3	企业效益情况 工业增加值占九市的比重/%
	4	产业结构情况(工业水平) 工业产值占总产值的比重/%
	5	工业规模 地区工业总产值占九市的比重/%
	6	地区规模以上工业企业数占九市的比重/%
市场化指数	7	政府与市场的关系 地方财政支出占 GDP 的比重/%
	8	劳动力市场的发育程度 私营企业从业人数占从业人数的比重/%
	9	引进外资情况 港澳台外商企业数与总企业数比(工业)/%
	10	港澳台外商企业工业产值与工业总产值之比/%
	11	居民消费能力 人均社会销售零售额(元/人)占九市的比重/%

续表1

一级指标	编 号	二级指标
设施的产业配套能力	地方企业投资情况	12 固定资产投资总额占总产值的比例/%
	邮电、运输使用情况	13 邮电业务总量(万元)占九市的比例/%
		14 货物周转量/万 t km
		15 旅客周转量/万人 km
	水电	16 民用汽车拥有量/万辆
		17 公路线路年底到达数/km
		18 工业用电量/亿 kw 时
	经济外向吸纳能力	19 工业用水情况/万 m ³
		20 实际利用外资金额占地方经济规模的比重/%
技术创新能力	21 工业企业 R&D 人员占九市的比例	
	22 工业企业 R&D 经费支出占九市的比例	
	23 工业企业申请专利数占九市的比例	
环境承载能力	24 工业废水排放总量/万 t	
	25 废水治理设施数/套	
	26 废水的处理能力/万 t/日	
	27 工业废气排放总量/亿标 m ³	
	28 工业废气治理设施数/套	
	29 工业固体废物产生量/万 t	
	30 空气质量达到及好于二级的天数/d	
	31 道路交通噪声均值/分贝	
	32 人均水资源量/m ³ /人	
	33 森林覆盖率/%	

3 皖江城市带各市工业承接能力评价及其分析

3.1 原始数据的收集和处理

根据 2010-2013 年出版的《安徽统计年鉴》,首先收集了 2009-2012 年皖江城市带的各个城市在各指标下的数值,共有 4 年的数据,分别构成 4 个原始数据矩阵 $R_k = (R_{i,j}^k)_{9 \times 33}, k = 1, 2, 3, 4$.

然后,用 MATLAB 软件(以下数据处理和计算均用 MATLAB 完成),对以上 4 年数据分别进行标准化处理,具体方法如下:

对于效益型指标,有

$$RM_{ij}^k = \frac{R_{ij}^k - \min_j(R_{ij}^k)}{\max_j(R_{ij}^k) - \min_j(R_{ij}^k)}$$

对于成本型指标,有

$$RM_{ij}^k = \frac{\max_j(R_{ij}^k) - R_{ij}^k}{\max_j(R_{ij}^k) - \min_j(R_{ij}^k)}$$

由此得到 4 个标准化后的数据矩阵 RM_1, RM_2, RM_3, RM_4 , 其中 $RM_k = (RM_{ij}^k)_{9 \times 33}, k=1, 2, 3, 4$.

另外, 经过标准化后, 如果某指标的数值越大, 说明城市在该指标下的承接能力越强.

由于讨论的是区间直觉模糊集, 因此, 每个城市在某指标下的数据应该是一个区间. 以每个城市在某指标下所有 4 年数据的最小值为该区间的左端点, 最大值为右端点, 构造数据矩阵

$$RM = \begin{pmatrix} [RM_{1,1}^L, RM_{1,1}^R] & \cdots & [RM_{1,33}^L, RM_{1,33}^R] \\ \vdots & & \vdots \\ [RM_{9,1}^L, RM_{9,1}^R] & \cdots & [RM_{9,33}^L, RM_{9,33}^R] \end{pmatrix}$$

其中 $RM = ([RM_{ij}^L, RM_{ij}^R])_{9 \times 33}, RM_{ij}^L = \min_k RM_{ij}^k, RM_{ij}^R = \max_k RM_{ij}^k, k=1, 2, 3, 4$.

3.2 构造决策矩阵和得分函数矩阵

利用隶属度函数和非隶属函数, 将数据矩阵 $RM = ([RM_{ij}^L, RM_{ij}^R])_{9 \times 33}$ 转化为决策矩阵 $A = (A_{ij})_{9 \times 33}$, 且 $A_{ij} = ([t_A^-(RM_{ij}^L), t_A^+(RM_{ij}^R)], [f_A^-(RM_{ij}^L), f_A^+(RM_{ij}^R)]) \setminus \{ \text{kernlpt} \} (i=1, \dots, 9; j=1, \dots, 33)$.

使用升半梯形隶属度函数和降半梯形非隶属度函数.

升半梯形隶属度函数:

$$t_A(x) = \begin{cases} 0, & x < a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x < b \\ 1, & x \geq b \end{cases}$$

降半梯形非隶属度函数:

$$f_A(x) = \begin{cases} 1, & x < a \\ \frac{b-x}{b-a}, & a \leq x < b \\ 0, & x \geq b \end{cases}$$

其中, $a, b \in \mathbf{R}$.

另外, 由隶属度函数可以看出, 如果某城市在某指标下的数值越大, 则隶属度越大, 说明此城市在该指标下的承接能力越强.

由决策矩阵 $A = (A_{ij})_{n \times m}$, 利用定义 2, 计算 A_{ij} 的得分函数 $S(A_{ij})$, 简记为 S_{ij} , 从而得到得分函数矩阵

$$S = (S_{ij})_{9 \times 33} = \begin{pmatrix} S_{1,1} & \cdots & S_{1,33} \\ \vdots & & \vdots \\ S_{9,1} & \cdots & S_{9,33} \end{pmatrix},$$

$$(RS)_{ij} = \begin{pmatrix} RS_{1,1} & \cdots & RS_{1,33} \\ \vdots & & \vdots \\ RS_{9,1} & \cdots & RS_{9,33} \end{pmatrix}.$$

3.3 计算各指标的熵及权重

根据定义 5 计算各个指标的熵, 并且利用模型 (5) 计算每个指标的权重, 如表 2 所示.

3.4 计算各个城市的综合属性值

由表 2 结果可以计算出每个城市的综合属性值(表 3), 由表 3 可得出合肥市的综合属性值最高, 工业承接能力最强, 其次是芜湖市, 而池州市的承接工业能力最弱.

表 2 各指标的 Vague 熵及权重

指标编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Vague 熵 E_j	0.258	0.823	0.801	0.708	0.771	0.483	0.689	0.818	0.819
权重 w_j	0.072	0.023	0.023	0.026	0.024	0.038	0.027	0.023	0.023
指标编号	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Vague 熵 E_j	0.8	0.829	0.755	0.58	0.658	0.801	0.766	0.447	0.769
权重 w_j	0.023	0.022	0.025	0.032	0.028	0.023	0.024	0.042	0.024
指标编号	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Vague 熵 E_j	0.819	0.808	0.817	0.812	0.806	0.684	0.642	0.81	0.327
权重 w_j	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.027	0.029	0.023	0.057
指标编号	28	29	30	31	32	33			
Vague 熵 E_j	0.736	0.223	0.497	0.809	0.745	0.552			
权重 w_j	0.025	0.083	0.037	0.023	0.025	0.034			

表 3 皖江城市带各城市工业承接能力的综合属性值

城市	综合属性值 $z_i(w)$
合肥市	0.164
芜湖市	0.103
宣城市	0.104
安庆市	0.099
六安市	0.140
滁州市	0.110
马鞍山市	0.093
铜陵市	0.080
池州市	0.107

4 结束语

首先,对于权重未知的区间直觉模糊多属性模糊集进行多属性决策时,提出了一种利用改进的 Vague 熵确定属性权重的方法,改进的 Vague 熵更加能够反映模糊集的模糊性.然后按照区间直觉模糊集多属性决策问题方法的步骤,对皖江城市带九市承接工业产业转移的能力进行了评估.在评估的过程中,确定了基于 33 个评价指标的指标体系,此指标体系能够较为系统地、全面地反映出各市的工业承接能力.

从表 3 的结果可以得出结论,合肥市和芜湖市的工业承接能力最强.其实,从历年数据看,合肥市和芜湖市在各项指标下均位于领先地位.例如,从 2012 年数据看,在 33 项指标中,合肥市有 15 项排名第一,6 项排名第二;芜湖市有 1 项指标排名第一,有 7 项指标排名第二,11 项指标位列第三.作为《规划》中所提到的“一轴双核两翼”中的两核,合肥与芜湖可谓名副其实.因此,应该发挥合肥作为交通枢纽和研发创新中心、芜湖作为港口城市的优势,密切与周边几市的经济联系,促进跨江联动发展和一体化进程,推进新型工业基地建设,进而为“中部崛起”打下坚实基础.

(下转第 47 页)