DOI:10.13878/j.cnki.jnuist.2020.04.012

张皓宇[1]　韩莹[2]　季正武[2]

可持续气象信息中心的双极 PROMETHEE 动态评价方法

摘要

随着电子设备、计算机等大量的使用,全国气象信息中心的环境污染问题逐渐呈现出来.本文首次将可持续发展的概念引入到气象信息中心管理中.作为可持续发展的三大支柱,经济、环境、社会之间不可避免地存在冲突,双极模糊集对这类冲突信息具有强大的描述能力.考虑到可持续发展评价是一个多年的动态过程,本文提出了一种双极 PROMETHEE 可持续气象信息中心的动态评价方法.实例验证了新方法的有效性和可行性.

关键词

可持续发展;气象信息中心;双极模糊集;PROMETHEE;动态评价

中图分类号 C934;O159

文献标志码 A

收稿日期 2020-05-19

资助项目 国家自然科学基金委员会和浙江省联合重点项目(U1509217);国家自然科学基金(61503191)

作者简介

韩莹(通信作者),女,博士,副教授,研究方向为不确定信息处理的理论与方法.hanyingcs@163.com

1　辽宁省气象信息中心,沈阳,110166

2　南京信息工程大学 自动化学院,南京,210044

0　引言

我国多个行业的“十三五”规划中,都强调了可持续发展的重要性.随着信息特别是大数据时代的到来,各气象信息中心的电子产品、高性能计算机等淘汰更新加快,其环境污染问题逐渐呈现出来.有鉴于此,本文首次将可持续发展概念引入到气象信息中心的管理评价中.

PROMETHEE (Preference Ranking Organization Methods for Enrichment Evaluations)评价由所有方案对每个属性两两比较得出,比较结果由偏好函数衡量.这种比较方式使得 PROMETHEE 方法与其他评价方法相比,能够综合考虑到不同评价指标间的相对重要性以及同一评价指标下的相对偏好度,具有较大优势[1].经过多年的发展,PROMETHEE 方法衍生出了多种扩展版本[2-5].其中,PROMETHEE II 方法[6]相较于传统 PROMETHEE 方法,能够有效得到各评价方案的完全序而非偏序,因此本文采用 PROMETHEE II 评价方法.

然而,现有的 PROMETHEE II 方法在可持续气象信息中心评价中存在一些缺陷:由于可持续概念的引入,经济、环境、社会三大支柱之间的矛盾必然导致气象信息评价中产生大量冲突信息[7-8].新近提出的双极模糊集可以对冲突信息有效建模[9-13].因此,本文首先将 PROMETHEE II 方法推广到双极模糊环境.可持续发展显然是一个多年的动态变化过程,而现有的 PROMETHEE II 方法中都是静态的.因此,本文在 PROMETHEE II 方法中引入时间动态因子,从而实现对可持续气象信息中心的动态评价,实例分析表明了本文提出的新算法的有效性.

综上,本文给出了一种新的可持续气象信息中心的双极 PROMETHEE 动态评价方法.主要创新点如下:

1)首次将可持续发展概念和双极模糊理论引入到气象信息中心评价管理中,充分考虑了对可持续气象信息中心评价可能影响中的不确定性、冲突性;

2)将静态 PROMETHEE 方法推广到了双极模糊环境,并引入时间因子,利用非线性规划模型确定时间权重,从而可以实现对可持续气象信息中心的动态评价.

1 预备知识

本章主要回顾一些基本知识.

现实问题的处理中,数据的冲突和不相容越来越普遍,双极模糊集在实际应用中显然更符合决策者的需要.下面给出双极模糊集的一些相关概念以及运算法则[9].

设 U 为有限论域,任意的 $u \in U$,定义 $B^P: U \to [0,1]$,$B^N: U \to [-1,0]$,则称 $B=(B^P(u),B^N(u))$ 为论域 U 上的双极模糊集.正隶属度 $B^P(u)$ 表示元素 u 关于双极模糊集 B 对某性质的满足程度,而负隶属度 $B^N(u)$ 则表示对该性质相反性质的满足程度.

设在有限论域 U 上,任意的 $u \in U$,有两个双极模糊集 $A=(A^P(u),A^N(u))$ 和 $B=(B^P(u),B^N(u))$,若 $A \leqslant B$,则 $A^P(u) \leqslant B^P(u)$ 且 $A^N(u) \geqslant B^N(u)$.

PROMETHEE 方法中一个中心环节就是偏好函数的构建,为了使偏好函数能够更好地量化决策者的偏好差异.本文采用了无差别区间的线性关系偏好函数[14].设某评价问题的评价指标集为 $C=\{c_1,c_2,\cdots,c_n\}$,指标相关的无差别区间的线性关系偏好函数定义如下:

$$F[d_j(a,b)]=\begin{cases}0, & d_j(a,b)<q,\\ \dfrac{d_j(a,b)-q}{p-q}, & q\leqslant d_j(a,b)\leqslant p,\\ 1, & d_j(a,b)>p,\end{cases} \tag{1}$$

其中,$d_j(a,b)=f_j(a)-f_j(b)$,表示方案 a,b 评价指标 c_j 处的数值之差.p 取 $d_{\max}$ 表示方案 a,b 在不同指标下所能取得的最大数值之差;对应 $q=d_{\min}$ 表示方案 a,b 在不同指标下所能取得的最小数值之差.

2 模型与方法

本章将 PROMETHEE II 方法推广到双极,并引入时间因子,给出一种充分考虑气象信息中心可持续评价中冲突、不确定、动态变化等特性的双极 PROMETHEE 动态评价方法.

步骤 1:构建初始的双极模糊气象信息中心可持续评价矩阵.

假设待评价的气象信息中心集合为 $U=\{u_1,u_2,\cdots,u_m\}$,评价指标集为 $C=\{c_1,c_2,\cdots,c_n\}$,时间集为 $T=\{t^1,t^2,\cdots,t^l\}$.专家在 t^k 时刻下给出的初始双极模糊评价矩阵为 $\boldsymbol{A}^k=(a_{ij}^k)_{m\times n}$.其中,$a_{ij}^k=((a_{ij}^k)^P,(a_{ij}^k)^N)$ 为 t^k 时刻下专家给出的待评价的气象信息中心 u_i 在指标 c_j 下的双极评价值.指标权重向量 $\boldsymbol{\varpi}=(\varpi_1,\varpi_2,\cdots,\varpi_n)$,并满足 $\varpi_j\in[0,1]$,$\sum_{j=1}^{n}\varpi_j=1$.指标的权重信息完全未知.

步骤 2:利用非线性规划模型确定时间权重.

1) 通过式(2) 确定气象信息中心在 t^k 时刻下满足属性 c_j 的平均隶属度 $\bar{a}_{ij}^k$:

$$\bar{a}_{ij}^k=\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}(a_{ij}^k)^P. \tag{2}$$

2)通过式(3)确定气象信息中心在 t^k 时刻下属性 c_j 的信息熵 E_j^k:

$$E_j^k=\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}((a_{ij}^k)^P-\bar{a}_{ij}^k)^2. \tag{3}$$

3)建立非线性规划模型以确定时间权重,求解下述方程组后可得时间权重 $w_j^k=\dfrac{E_j^k}{\sum_{k=1}^{l}E_j^k}$:

$$\min\sum_{k=1}^{l}\frac{(w_j^k)^2}{E_j^k},$$

$$\text{s.t.}\sum_{k=1}^{l}w_j^k=1,w_j^k\in[0,1],k=1,2,\cdots,l.$$

当方案集在属性 c_j 下的评价值在某个时刻 t^k 离散程度较大时,那么 t^k 时刻所对应的时间权重就越大,其对决策结果的影响也就越大.

步骤 3:由式(4) 加权求得气象信息中心可持续发展综合双极模糊评价矩阵 $\boldsymbol{A}=(a_{ij})_{m\times n}$:

$$a_{ij}=\left(1-\prod_{k=1}^{l}\left(1-(a_{ij}^P)^k\right)^{w_j^k},-\prod_{k=1}^{l}\left|(a_{ij}^N)^k\right|^{w_j^k}\right). \tag{4}$$

步骤 4:对综合双极模糊评价矩阵 $\boldsymbol{A}$ 利用熵权法计算得到指标权重向量.

步骤 5:利用式(5)、(6) 分别计算总体偏好指数 $H(u_i,u_j)$ 和 $H(u_j,u_i)$:

$$H(u_i,u_j)=\sum_{j=1}^{n}\varpi_jP_j(u_i,u_j), \tag{5}$$

$$H(u_j,u_i)=\sum_{j=1}^{n}\varpi_jP_j(u_j,u_i), \tag{6}$$

其中,$P_j(u_i,u_j)$ 是由式(1) 计算得到的.

步骤 6:利用式(7)、(8) 分别计算方案 u_i 的流入量 $\phi^+(u_i)$ 与流出量 $\phi^-(u_i)$:

$$\phi^+(u_i)=\frac{1}{m-1}\sum_{u_j\in U}H(u_i,u_j), \tag{7}$$

$$\phi^-(u_i)=\frac{1}{m-1}\sum_{u_j\in U}H(u_j,u_i). \tag{8}$$

步骤 7:利用式(9)计算净流量 $\phi(u_i)$,并对所有气象信息中心进行优劣排序:

$$\phi(u_i)=\phi^{+}(u_i)-\phi^{+}(u_i). \tag{9}$$

根据各气象信息中心的净流量对方案集进行排序,净流量数值越高,对应气象信息中心的可持续发展能力越强.

3 实例验证

本章将通过一个实例,验证新提出的算法的有效性.

步骤 1:构建初始的双极模糊气象信息中心可持续评价矩阵.

对 4 个气象信息中心u_1,u_2,u_3,u_4的可持续发展能力进行评价.评价指标为:c_1,对地方经济产业支持力;c_2,绿色供应商选择;c_3,创新能力;c_4,设备仪器先进程度;c_5,碳减排能力;c_6,环保改善成本投入.全部为效益型指标.邀请专家对每个气象信息中心连续 4 年的可持续发展能力分别进行评价,得到初始双极模糊评价矩阵如表 1—4 所示.

步骤 2:利用非线性规划模型确定时间权重,得到时间权重矩阵 $\boldsymbol{W}$:

$$\boldsymbol{W}=\begin{pmatrix}0.093\ 7 & 0.085\ 9 & 0.382\ 8 & 0.437\ 5\\ 0.464\ 1 & 0.182\ 3 & 0.110\ 5 & 0.243\ 1\\ 0.264\ 7 & 0.104\ 6 & 0.444\ 4 & 0.186\ 3\\ 0.600\ 0 & 0.015\ 4 & 0.061\ 5 & 0.323\ 1\\ 0.286\ 3 & 0.128\ 1 & 0.133\ 1 & 0.452\ 6\\ 0.279\ 1 & 0.348\ 8 & 0.162\ 8 & 0.209\ 3\end{pmatrix}.$$

步骤 3:由式(4) 加权求得气象信息中心可持续发展综合双极模糊评价矩阵 $\boldsymbol{A}$, 如表 5 所示.

表 1 第一年双极模糊评价矩阵

Table 1 First year bipolar fuzzy evaluation matrix

信息中心	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5	c_6
u_1	(0.5,−0.4)	(0.5,−0.2)	(0.6,−0.4)	(0.7,−0.3)	(0.8,−0.4)	(0.8,−0.1)
u_2	(0.6,−0.1)	(0.6,−0.3)	(0.8,−0.6)	(0.9,−0.3)	(0.7,−0.2)	(0.8,−0.3)
u_3	(0.5,−0.4)	(0.7,−0.3)	(0.3,−0.4)	(0.8,−0.6)	(0.7,−0.2)	(0.7,−0.4)
u_4	(0.7,−0.3)	(0.8,−0.4)	(0.7,−0.1)	(0.5,−0.3)	(0.5,−0.5)	(0.6,−0.5)

表 2 第二年双极模糊评价矩阵

Table 2 Second year bipolar fuzzy evaluation matrix

信息中心	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5	c_6
u_1	(0.6,−0.3)	(0.4,−0.2)	(0.7,−0.4)	(0.8,−0.2)	(0.9,−0.5)	(0.8,−0.1)
u_2	(0.7,−0.2)	(0.7,−0.3)	(0.7,−0.5)	(0.8,−0.2)	(0.7,−0.2)	(0.8,−0.4)
u_3	(0.6,−0.4)	(0.7,−0.6)	(0.5,−0.4)	(0.8,−0.6)	(0.7,−0.2)	(0.6,−0.4)
u_4	(0.8,−0.5)	(0.6,−0.4)	(0.7,−0.1)	(0.8,−0.3)	(0.5,−0.5)	(0.7,−0.5)

表 3 第三年双极模糊评价矩阵

Table 3 Third year bipolar fuzzy evaluation matrix

信息中心	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5	c_6
u_1	(0.6,−0.4)	(0.5,−0.2)	(0.7,−0.4)	(0.8,−0.5)	(0.8,−0.3)	(0.7,−0.1)
u_2	(0.7,−0.2)	(0.7,−0.3)	(0.8,−0.3)	(0.7,−0.2)	(0.7,−0.3)	(0.7,−0.4)
u_3	(0.6,−0.4)	(0.6,−0.6)	(0.4,−0.4)	(0.8,−0.5)	(0.7,−0.2)	(0.7,−0.4)
u_4	(0.9,−0.5)	(0.8,−0.4)	(0.7,−0.1)	(0.7,−0.3)	(0.5,−0.5)	(0.8,−0.5)

表 4 第四年双极模糊评价矩阵

Table 4 Fourth year bipolar fuzzy evaluation matrix

信息中心	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5	c_6
u_1	(0.5,−0.4)	(0.4,−0.2)	(0.9,−0.4)	(0.8,−0.5)	(0.8,−0.3)	(0.7,−0.1)
u_2	(0.7,−0.2)	(0.7,−0.3)	(0.7,−0.3)	(0.7,−0.2)	(0.7,−0.3)	(0.8,−0.4)
u_3	(0.6,−0.4)	(0.6,−0.6)	(0.4,−0.4)	(0.6,−0.5)	(0.7,−0.2)	(0.7,−0.4)
u_4	(0.8,−0.5)	(0.6,−0.4)	(0.8,−0.1)	(0.5,−0.3)	(0.5,−0.5)	(0.6,−0.5)

表 5　综合双极模糊评价矩阵

Table 5　Comprehensive bipolar fuzzy evaluation matrix

信息中心	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5	c_6
u_1	(0.55,-0.39)	(0.48,-0.20)	(0.69,-0.40)	(0.74,-0.38)	(0.79,-0.35)	(0.57,-0.10)
u_2	(0.69,-0.21)	(0.65,-0.30)	(0.75,-0.40)	(0.82,-0.26)	(0.70,-0.26)	(0.59,-0.37)
u_3	(0.59,-0.40)	(0.66,-0.46)	(0.42,-0.40)	(0.74,-0.56)	(0.70,-0.20)	(0.51,-0.40)
u_4	(0.83,-0.48)	(0.76,-0.40)	(0.66,-0.10)	(0.52,-0.30)	(0.50,-0.50)	(0.49,-0.50)

步骤 4:对综合双极模糊评价矩阵 $\boldsymbol{A}$ 利用熵权法计算得到指标权重向量:

$\boldsymbol{\varpi}$ = (0.174 5,0.165 5,0.165 1,0.164 6,0.164 5,0.165 8).

步骤 5:利用式(5)、(6)分别计算总体偏好指数 $H(u_i,u_j)$ 和 $H(u_j,u_i)$,如表 6 所示.

表 6　待评价气象信息中心的总体偏好函数

Table 6　General preference function of meteorological information center to be evaluated

	u_1	u_1	u_1	u_1
u_1		0.159 038	0.302 956	0.371 202
u_2	0.333 538		0.597 209	0.401 058
u_3	0	0		0.164 500
u_4	0.268 909	0.064 206	0.417 850	

步骤 6:利用式(7)、(8)分别计算方案 u_i 的流入量 $\phi^+(u_i)$ 与流出量 $\phi^-(u_i)$,如表 7 所示.

步骤 7:利用式(9)计算净流量 $\phi(u_i)$,并对所有气象信息中心进行优劣排序.

气象信息中心可持续发展能力排序为:$u_2 > u_1 > u_4 > u_3$.

表 7　待评价气象信息中心的流出量、流入量与净流入量

Table 7　Outflow,inflow and net inflow of meteorological information center to be evaluated

	u_1	u_2	u_3	u_4
ϕ^+	0.166 639	0.266 325	0.036 879	0.150 193
ϕ^-	0.120 489	0.044 649	0.263 567	0.191 331
ϕ	0.046 000	0.221 600	-0.226 700	-0.041 100

4　对比分析

不考虑指标中的两极性与冲突性,仅使用双极模糊评价值中的正极数据求解,忽视负极数据,将双极模糊评价矩阵转化为普通的模糊评价矩阵,利用单极 PROMETHEE II 方法,时间权重沿用本例中数据,最终得到的净流量为(-0.029 4,0.117 6,-0.052,-0.036 1).为了方便对比前后净流量的变化,将双极值模糊环境下的净流量ϕ_1,及传统模糊集环境下的净流量ϕ_2绘成折线图进行对比,如图 1 所示.

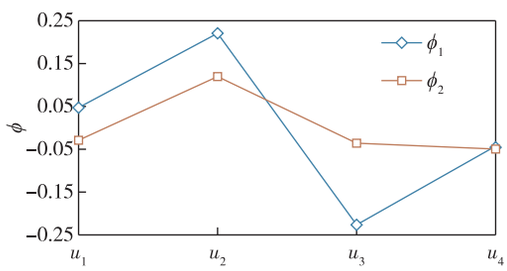


图 1　不同模糊环境下各个气象信息中心的净流量

Fig. 1　Net flow of each meteorological information center in different fuzzy environment

根据气象信息中心净流量排序可知,在只考虑单极的情况下的模糊 PROMETHEE II 方法中,气象信息中心可持续发展能力排序为:$u_2 > u_1 > u_3 > u_4$.与原有结果不同的是,在只考虑单极数据的情况下,气象信息中心u_3 的可持续发展能力要优于气象信息中心u_4.这是因为只考虑双极正极评价值的时候忽略了气象信息中心可持续化发展指标中存在的不相容性与两极性.

观察案例中的备选气象信息中心u_3 和u_4,当只考虑正面影响的时候,气象信息中心u_3 显然是优于u_4 的.但是,我们同时将指标中的负面效应也考虑进来,气象信息中心u_4 的评价就明显优于气象信息中心u_3.原因在于气象信息中心u_4 在负极数据上的评价要远优于气象信息中心u_3.

5　结束语

本文在双极模糊集的理论基础上,引入时间权重的概念,将在双极模糊集环境下的气象信息中心可持续发展能力评价研究由静态推广到了动态,并结合 PROMETHEE II 排序方法对气象信息中心可持续发展水平进行综合评价.新方法不仅利用双极模糊集的特性,考虑了气象信息中心可持续发展评价中属性的两极性与不相容性,还注意到了时间权重对评价结果的影响.通过具体的实例验证及结果分析,验证了建立的可持续气象信息中心发展能力动态评价模型的可

行性和合理性.在后续工作中,将研究如何从网络爬取有效数据,并引入深度学习方法进行研究.

参考文献

References

[1] Hwang C L, Yoon K. Methods for multiple attribute decision making [M]//Multiple Attribute Decision Making. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1981:58-191

[2] Doan N A V,de Smet Y.An alternative weight sensitivity analysis for PROMETHEE II rankings[J].Omega,2018, 80:166-174

[3] Gul M,Celik E,Gumus A T,et al.A fuzzy logic based PROMETHEE method for material selection problems [J].Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences,2018,7(1):68-79

[4] Qi X L,Yu X H,Wang L,et al.PROMETHEE for prioritized criteria [J]. Soft Computing, 2019, 23 (22): 11419-11432

[5] Wu Y N, Wang J, Hu Y, et al. An extended TODIM-PROMETHEE method for waste-to-energy plant site selection based on sustainability perspective [J]. Energy, 2018,156:1-16

[6] Zhang H J, Zhou Y, Gan Q H. An extended PROMETHEE-II-based risk prioritization method for equipment failures in the geothermal power plant[J].International Journal of Fuzzy Systems, 2019, 21 (8): 2490-2509

[7] 祝玉婷,韩莹,袁安富.基于改进的 Pythagorean 模糊语言集的可持续实验室评价方法[J].运筹与管理,2019,28(11):149-155
ZHU Yuting,HAN Ying,YUAN Anfu.Sustainable laboratory evaluation method based on improved Pythagorean fuzzy linguistic set[J].Operations Research and Management Science,2019,28(11):149-155

[8] Han Y,Lu Z Y,Chen S.A hybrid inconsistent sustainable chemical industry evaluation method[J].Journal of Industrial and Management Optimization, 2017, 15(3): 1225-1239

[9] Zhang W R.Yinyang bipolar relativity:a unifying theory of nature,agents and causality with applications in quantum computing, cognitive informatics and life sciences [M].Hershey:IGI Global,2011

[10] Bustince H,Barrenechea E,Pagola M,et al.A historical account of types of fuzzy sets and their relationships[J]. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 2016, 24(1): 179-194

[11] Han Y,Lu Z Y,Du Z G,et al.A YinYang bipolar fuzzy cognitive TOPSIS method to bipolar disorder diagnosis [J]. Computer Methods and Programs in Biomedicine, 2018,158:1-10

[12] Rashmanlou H, Samanta S, Pal M, et al. Product of bipolar fuzzy graphs and their degree[J]. International Journal of General Systems,2016,45(1):1-14

[13] 韩莹,陈胜.双极值模糊集研究综述[J].南京信息工程大学学报(自然科学版),2015,7(6):512-518
HAN Ying, CHEN Sheng. Research summary of bipolar-valued fuzzy sets[J].Journal of Nanjing University of Information Science & Technology (Natural Science Edition),2015,7(6):512-518

[14] 魏敏,李书昊,徐杰.高质量发展背景下中国省际旅游竞争力再测度:基于 PROMETHEE 方法[J].商业研究,2020(2):91-100
WEI Min,LI Shuhao,XU Jie.Re-measurement of China's inter-provincial tourism competitiveness under the background of high quality development: based on PROMETHEE method[J]. Commercial Research, 2020 (2):91-100

Bipolar PROMETHEE dynamic evaluation approach to sustainable meteorological information center

ZHANG Haoyu[1] HAN Ying[2] JI Zhengwu[2]

1 Liaoning Meteorological Information Center,Shenyang 110166

2 School of Automation,Nanjing University of Information Science & Technology,Nanjing 210044

Abstract The problem of environmental pollution in meteorological information center has emerged with the continuous application and replacement of electronic equipments.The concept of sustainable development was introduced into management of meteorological information center in this paper.Inevitable contradictions and conflicts exist between the three pillars of sustainable development,namely the economy,the environment,and the society.Bipolar fuzzy set has powerful capabilities to describe such conflict information.Considering the dynamic process of multi-year sustainable development evaluation,a bipolar PROMETHEE dynamic approach is proposed to evaluate the sustainability of meteorological information centers in this paper.Examples are given to demonstrate its feasibility and effectiveness.

Key words sustainable development;meteorological information center;bipolar fuzzyset;PROMETHEE;dynamic evaluation