

文章编号: 1001-893X(2011)06-0112-04

基于图形链的冗余多指标集比较删余缩减算法^{*}

袁志钢¹, 牛 犇², 王 坚², 潘 焱¹

(1. 解放军理工大学 通信工程学院, 南京 210007; 2. 总参陆航部驻成都地区军事代表室, 成都 610036)

摘 要:在指标权重及冗余指标检测的基础上, 采用链状结构对相关指标集合进行图形描述, 提出了基于图形链的冗余指标比较缩减算法。该方法进一步考虑了指标冗余的非传递性, 并有效发挥了指标权重在综合评价中的作用。实验结果表明, 该方法可显著改善删余评价方法的公正性, 避免了评价指标的过度删余, 对有效完成评价指标的鉴别与客观筛选有着重要意义。

关键词:多指标综合评价; 指标冗余; 删余处理; 图形链

中图分类号: N945 **文献标识码:** A doi: 10.3969/j.issn.1001-893x.2011.06.025

Graphic Chain-based Method for Selective Redundancy Elimination in Multi-attribute Decision

YUAN Zhi-gang¹, NIU Ben², WANG Jian², PAN Yan¹

(1. Institute of Communications Engineering, PLA University of Science and Technology, Nanjing 210007, China;

2. Military Delegation Office for Chengdu Region, Army Aviation Department of General Staff, Chengdu 610036, China)

Abstract: A novel selective redundancy-elimination method is proposed with extra-information like weight values, interrelations taken account for measurement. During the process, the graphic chain is used for description of the correlated indexes sets. The results demonstrate obvious performance enhancements yielded by the proposed method, and indicate its significance in decision justness and rational redundancy elimination.

Key words: multi-attribute decision; indexes redundancy; redundancy elimination; graphic chain

1 引 言

多指标综合评价在实际工程设计与应用中发挥着十分重要的作用^[1]。较之形式多样的评价方法^[2-4], 评价指标则构成了整个评价工作的基础。然而, 由于评价对象的多元性与复杂性, 实际中用以完成评价的指标集不免会冗余。在付出复杂度的同时, 这些冗余指标将直接影响指标权重, 并导致“伪裁判”问题的出现^[5], 致使评价结果有失公正, 因此对于冗余指标的鉴别与删余处理就显得至关重要。

就目前该问题的处理方法而言, 文献[5]在揭示指标冗余及其影响的基础上, 给出了直接删余算法, 其在冗余指标鉴别的基础上一次性完成指标删余处

理。该算法实现简便, 但其处理过程可能伴有大量非相关的指标被删除, 过度的删余处理又将致使评价工作变得片面, 同样会对综合评价造成不利影响。

针对上述问题, 本文在指标权重及冗余指标检测的基础上, 采用链状结构对相关指标集合进行图形描述, 提出了基于图形链的冗余指标比较缩减算法。该算法进一步考虑了指标冗余的非传递性以及指标权重的差异信息, 并将之应用于指标删余的筛选处理, 有效发挥了指标权重在指标各异性及工程综合评价的意义和作用。评价结果表明: 本文所提出的基于图形链的比较删余缩减算法可有效避免评价指标的过度删余, 显著改善删余评价方法的公正性, 有效降低了实际评价工作的复杂度。

^{*} 收稿日期: 2011-03-22; 修回日期: 2011-05-09

2 多指标综合评价及其分析模型

设评价指标共有 n 个,其构成的集合称为指标集 Φ 。评价对象共计 m 个,每个评价对象有 n 个评价指标 $u_i^j(j = 1, 2, \cdots, n)$ 与之对应,所有这些对象和其对应的指标值就构成了原始评价矩阵 $U = \{u_i^j\}_{m \times n}$ 。指标 j 所对应的权重系数记为 $\theta_j > 0$, 并有 $\sum \theta_j = 1$ 。

为简化表述,这里认为评价矩阵 U 是经过等测度处理的^[1]。于是评价对象 i 的综合评测结果为

$$z_i = \sum_{j=1}^n \theta_j \cdot u_i^j \tag{1}$$

3 多指标评价中的指标冗余问题

针对指标冗余,文献[5]引入了“同态指标”的概念,其定义如下:

定义 1:对于指标 $j, k \in \Phi$,若关系 $j \leftrightarrow k$ 在样本集 M 上几乎处处成立,则称指标 k 是关于指标 j 的同态指标,简称“同态”(Homostasis),并记为 $j \xrightarrow{a.e.} k$ 。

下面给出其判定定理,用以完成冗余指标的模糊评价与检测。

判定定理 1:设 M 为样本集, $\overline{P}_b^j$ 和 $\overline{P}_b^k$ 分别为样本序号关于指标 j 和指标 k 数值由小到大的排列,排列 $\overline{P}_b^j$ 的第 l 个元素记为 $\overline{P}_b^j(l)$,则若 j, k 为同态指标,必同时满足:

$$\begin{cases} \Delta a_j(\overline{P}_b^k(l), \overline{P}_b^k(l+1)) > 0 \\ \Delta a_k(\overline{P}_b^j(l), \overline{P}_b^j(l+1)) > 0 \end{cases} \tag{2}$$

凡满足式(2)的指标即为同态指标,对于指标集 Φ ,则称该指标集存在冗余。

4 冗余指标的检测与删减算法

4.1 直接删余处理算法

直接删余算法^[5]主要包括“冗余检测”和“删余处理”两个基本环节,其中,冗余检测主要依据“判定定理 1”采用模糊方法予以完成(详见 Step I-1 至 Step I-2)。

Step I-1:计算各指标间的同态隶属度。
设待检测指标 j, k ,并依据式(2)计算指标间具有相同变化的样本个数,这里记为 ξ^k 和 ξ^j :

$$\begin{aligned} \xi^k &= \text{cont}_l \{ l \mid \Delta a_k(\overline{P}_b^j(l), \overline{P}_b^j(l+1)) > 0 \} \\ \xi^j &= \text{cont}_l \{ l \mid \Delta a_j(\overline{P}_b^k(l), \overline{P}_b^k(l+1)) > 0 \} \end{aligned} \tag{3}$$

式中, $(\cdot)$ 表示满足该式约束条件的变量 l 的个数。利用式(3),即可得到指标 j, k 的同态隶属度:

$$A(k, j) = \frac{\min(\xi^k, \xi^j)}{m-1} \tag{4}$$

式中, $\min(\cdot)$ 表示取最小值。

Step I-2:同态指标的阈值与判决。

若隶属度 $A(k, j)$ 大于或等于相关阈值 $v_0 (\geq 0.70)$, 则 j, k 为同态指标,直至遍历整个指标集完成对所有指标的检测。

若存在同态指标(即指标冗余),则可得到冗余指标集 Υ :

$$\Upsilon = \arg \{ l \mid A(l, l') \geq v_0, \exists l' \in \Phi \} \tag{5}$$

Step I-3:基于权重排序的直接消除策略。

经过步骤 Step I-2 的处理后,若冗余指标集 Υ 非空,接下来就要完成删余工作。对于“权值优先策略”,将指标集 Υ 按权重由大到小进行排序,并从序列中的第一个指标(权重最大)开始,若发现有与之同态的次重要指标存在,则将该指标删除;若否,则转至下一指标,直至遍历整个指标集将冗余指标全部删除为止。

4.2 新的基于图形链的比较删余算法

基于指标权重优先的直接删余算法尽管实现简单,但该方法只注重了权重指标的保留,可能造成那些与之相关却彼此不相关的次重要评价指标被删除,从而导致指标各异性的下降,这同样会对综合评价产生不利影响。

本文将采用链式图形结构用以描述指标集 Υ 的相关性及其删余过程。图 1 给出了指标集 Υ 的链式结构,其中相关的指标对之间用实线相连接,这些指标首尾连接即构成一个相关拓扑。图中,指标 i 与 l 均与指标 j 具有一定相关性,而指标 i, l 之间则相互独立。就“删余算法 1”而言,若指标 j 权重最高,而指标 i 与 l 稍次之,则直接删余处理将保留指标 j 而将指标 i, l 删除。而事实上,考虑到指标 i 与 l 相互独立且权重与之接近,更为理想的选择是将指标 j 删除,从而使评价指标的多元性尽可能得以保持。

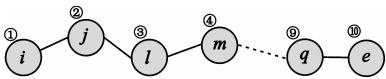


图 1 冗余指标集的链式拓扑结构
Fig.1 Chain topology of redundance indexes set

为有效克服指标相关性的影响,并最大限度保留重要指标和指标集的多样性,本文结合考虑指标

权重及同态信息,并将之联合用于完成冗余指标的比较筛选处理,提出了基于图形链的比较删余算法。现以图 1 所示的具有链状相关拓扑结构的冗余指标集合为例,具体介绍删余处理算法的基本步骤:

Step II-1:以指标链上前后相互关联的 3 个指标作为一组,计算分组内指标权重的累加值,并以此作为该分组重要性的评价价值。

$$\hat{\theta}_l = \sum_{k=l}^{l+2} \theta(\gamma_k) \tag{6}$$

式中, $\theta(\cdot)$ 为指标熵权, γ_k 表示冗余指标链 Υ 上的第 k 个指标, k 为序号。

Step II-2:选择裁剪分组。将所有分组的权重值 $\hat{\theta}_l$ 由小到大排序,并选取权重最小 $\min(\hat{\theta}_l)$ 的分组开始指标裁剪,从而避免重要指标先被删除。

Step II-3:判别相关指标分组的裁剪目标,并对删除指标进行登记。

在裁剪目标的具体判断上,需要借助同一量度以衡量指标权重与多元性在判别中各自的重要性。本文借助隶属度函数来量化指标的差异性,并将之作为修正因子,对指标权重进行修正。

$$\beta(\gamma_l, \gamma_{l+2}) = |1 - A(\gamma_l, \gamma_{l+2})| \tag{7}$$

式中, γ_l, γ_{l+2} 为可能被一并删除的指标,现将之视为整体进行处理,其权重修改如下:

$$\begin{aligned} \hat{\theta}(\gamma_l, \gamma_{l+2}) &= \max[\theta(\gamma_l), \theta(\gamma_{l+2})] + \\ &\beta(\gamma_l, \gamma_{l+2}) \cdot \min[\theta(\gamma_l), \theta(\gamma_{l+2})] \end{aligned} \tag{8}$$

该式意义在于指标差异性使得对象评判能够从中获得更多的额外信息。显然,对于独立指标, $\beta(\gamma_l, \gamma_{l+2}) = 1$, 此时指标集权重 $\hat{\theta}(\gamma_l, \gamma_{l+2}) = \theta(\gamma_l) + \theta(\gamma_{l+2})$; 而对于同向增长变量,由 γ_{l+2} 不能得到更多有别于 γ_l 的评价信息,此时 $\beta(\gamma_l, \gamma_{l+2}) = 0$, 对应的集合权重为 $\hat{\theta}(\gamma_l, \gamma_{l+2}) = \max[\theta(\gamma_l), \theta(\gamma_{l+2})]$ 。

而指标 γ_{l+1} 单独作为一个集合,权重大小不变 $\hat{\theta}(\gamma_{l+1}) = \theta(\gamma_{l+1})$, 并与子集 (γ_l, γ_{l+2}) 做权重比较,权重小的则判定为删除对象。

Step II-4:对剩余子链信息进行更新,判断是否存在关联指标,若存在则转入 Step I-1,否则转入 Step II-5。

Step II-5:根据登记的删除指标,完成评价指标集 Φ 和等测度矩阵 $U = \{u_i^j\}_{m \times n}$ 的删余处理,重新计算指标权重。

5 评价实例

下面以证券评价为例,对基于相关指标链的比

较删余处理算法的实际评价性能进行检验。评价指标有 4 项,即:收益率(u_1)、损失率(u_2)、证券价格(u_3)和行业景气度(u_4),表 1 给出了 5 种待评价证券的统计资料^[4]。

表 1 各评价对象的指标属性值
Table 1 The evaluation indexes of the objects

样本	u_1	u_2	u_3	u_4
1	0.922 5	0.385	0.165	0.690
2	0.885 0	0.230	0.285	0.630
3	0.805 0	0.885	0.620	0.815
4	0.635 0	0.845	0.525	0.500
5	0.655 0	0.808	0.950	0.565

在各属性中, u_1, u_4 为效益型属性, u_2, u_3 为成本型属性,因此还需将原始的样本指标属性集进行规范化,得到等测度矩阵 U' :

$$U' = \begin{bmatrix} 0.236\ 39 & 0.247\ 46 & 0.428\ 62 & 0.215\ 63 \\ 0.226\ 78 & 0.414\ 23 & 0.248\ 15 & 0.196\ 88 \\ 0.206\ 28 & 0.107\ 65 & 0.114\ 07 & 0.254\ 69 \\ 0.162\ 72 & 0.112\ 75 & 0.134\ 71 & 0.156\ 25 \\ 0.167\ 84 & 0.117\ 91 & 0.074\ 445 & 0.176\ 56 \end{bmatrix}$$

依据等测度 U' ,采用客观权重计算法确定指标熵权 $\theta_i (i = 1, 2, 3, 4)$,并依据式(4)计算指标间的同态隶属度,其结果分别如下:

$$\begin{aligned} \theta_1 &= 0.276\ 0, & \theta_2 &= 0.229\ 0, \\ \theta_3 &= 0.219\ 9, & \theta_4 &= 0.275\ 1. \end{aligned}$$

表 2 指标间同态隶属度计算值(阈值 $v_0 = 0.70$)

Table 2 The computation results of the indexes likeness quantity defined in formula (4)

属性	u_1	u_2	u_3	u_4
u_1	1	0.5	0.75	0.75
u_2	0.50	1	0.50	0.50
u_3	0.75	0.5	1	0.50
u_4	0.75	0.5	0.50	1

从上面结果可以看出,收益率 u_1 权重最大,并且与证券价格 u_3 、行业景气度 u_4 均具有强相关性,而证券价格 u_3 与行业景气度 u_4 的相关性则较弱。损失率 u_2 则相对独立,这一分析结果与实际情况相符合。设定阈值 $v_0 = 0.70$,此时对应的指标集相关拓扑如图 2 所示。

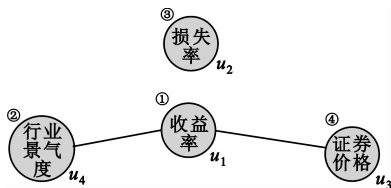


图 2 证券评测指标集的相关拓扑

Fig.2 Related topology of securities evaluation indexes set

为便于观察,图中依据指标权重大小对指标由 1 至 4 进行编号。接下来将 u_1 、 u_3 和 u_4 作为裁剪分组,判定删除指标。根据式(6)计算指标分组的累加权重 $\hat{\theta}(u_3, u_4) = 0.385\ 1$,并与指标 u_1 进行权重比较。显然, $\hat{\theta}(u_3, u_4) > \theta(u_1)$ 。因此,此处将指标 u_1 删除,而保留 u_3 和 u_4 ,这与实际中期望的结果是相吻合的。

图 3 为删余处理前后 TOPSIS 评价^[1]结果。其中,图 3(a)中的圈直线为直接删余算法所得的评价结果,方案优劣排序为 1-2-3-5-4,其评测结果总体上与原有 TOPSIS 评测结果有较大差异。图 3(b)给出了基于图形链的冗余指标比较缩减算法得出的评价结果(三角直线),如图,其在完成指标删余、降低复杂度的同时,评价结果与原 TOPSIS 多指标决策基本一致。

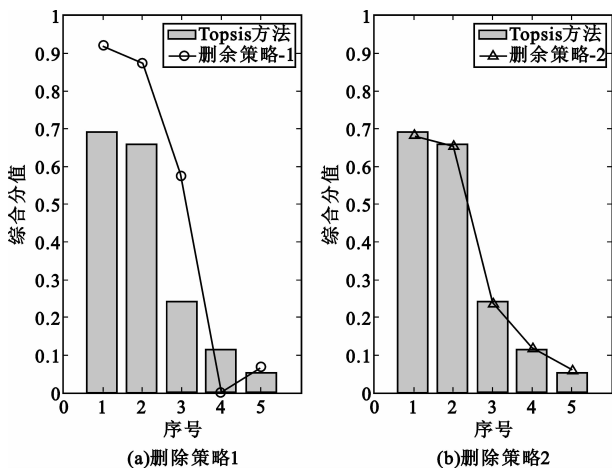


图 3 两种删余策略的 TOPSIS 评价结果

Fig.3 The multi-attribute evaluations by TOPSIS approach via redundancy elimination according to the two strategies discussed

6 结 论

冗余指标的检测与删除是多指标评价中十分重要的环节。针对直接删余算法在指标筛选合理性的不足和由此导致的过度删余问题,本文采用链状结构对相关指标集合进行图形描述,研究并提出了基于图形链的冗余指标比较缩减算法。评价结果表明:该方法可有效将指标权重、相关性等外信息综合应用于完成删余处理,有效兼顾了指标权重与指标各异性在工程综合评价中的作用,显著改善了删余评价算法的公正性,并有效降低评价的复杂度。该算法及结论具有一般性,可直接用于指导或解决其

它工程评价问题。

参考文献:

[1] 杨保安.多目标决策分析理论、方法与应用研究[M].上海:东华大学出版社,2008.
YANG BAO - an. Theory, Methods and Applications Researches of Multi - attribute Decision and Analysis [M]. Shanghai: Donghua University Press, 2008. (in Chinese)

[2] 荣先辉,李鹏,吕绪良.工程伪装效果的灰色聚类决策评判[J].解放军理工大学学报(自然科学版),2008,9(4):363-366.
RONG Xian - hui, LI Peng, LV Xu - liang. Grey Clustering Decision Evaluation of Engineering Camouflage Effectiveness [J]. Journal of PLA University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2008, 9(4): 363 - 366. (in Chinese)

[3] 吕绪良,林伟,许卫东.应用迭代自组织数据分析技术模糊聚类法划分伪装效能等级[J].兵工学报,2005,26(5):681-684.
LV Xu - liang, LIN Wei, XU Wei - dong. Applying the Fuzzy Clustering Analysis of ISODATA to the Classification of Camouflage Effectiveness [J]. Acta Armamentarii, 2005, 26(5): 681 - 684. (in Chinese)

[4] 曾三云,龙君.基于信息熵的模糊多属性决策方法[J].广西科学,2008,15(2):135-137.
ZENG San - yun, LONG Jun. Information Entropy - based Approach of Fuzzy Multi - attribute Decisions [J]. Guangxi Science, 2008, 15(2): 135 - 137. (in Chinese)

[5] 曹铁君,朱万红.基于模糊同态指标消除的新型多属性决策方法[C]//江苏省系统工程学会第十一届学术年会.镇江:江苏省系统工程学会,2009:560-566.
CAO Yi - jun, ZHU Wan - hong. Novel Multi - Attribute Decision Method Based on Elimination of Fuzzy Homostasis indices [C]//Proceedings of the 11st Annual Conference on Systems Engineering of Jiangsu Academic Community. Zhenjiang: Jiangsu System Engineering Society, 2009: 560 - 566. (in Chinese)

作者简介:

袁志钢(1980—),男,河北石家庄人,分别于2005年和2008年获解放军理工大学硕士和博士学位,现为讲师,主要研究方向为高速无线数据传输与系统设计;

YUAN Zhi - gang was born in Shijiazhuang, Hebei Province, in 1980. He received the M. S. degree and the Ph. D. degree from PLA University of Science and Technology in 2005 and 2008, respectively. He is now a lecturer. His research concerns high - rate wireless transmissions.

Email: yzhigang_ cn@163. com

牛 犇(1980—),男,江苏扬州人,2005年于解放军理工大学获硕士学位,现为工程师,主要研究方向为无线数据传输业务。

NIU Ben was born in Yangzhou, Jiangsu Province, in 1980. He received the M. S. degree from PLA University of Science and Technology in 2005. He is now an engineer. His research concerns wireless data transmission service.

Email: 290236096@163. com