

实码加速遗传算法在改进 TOPSIS 法中的应用

张 目^{1,2}, 周宗放¹

ZHANG Mu^{1,2}, ZHOU Zong-fang¹

1. 电子科技大学 经济与管理学院, 成都 610054

2. 贵州财经学院 金融学院, 贵阳 550004

1. School of Management and Economics, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China

2. School of Finance, Guizhou College of Finance and Economics, Guiyang 550004, China

E-mail: zhouzf@uestc.edu.cn

ZHANG Mu, ZHOU Zong-fang. Application of real coded accelerating genetic algorithm to improve TOPSIS method. Computer Engineering and Applications, 2009, 45(17): 235-237.

Abstract: In order to improve the TOPSIS method, respectively taking the feasible scheme close to ideal solution and far from negative ideal solution as the goal, two nonlinear programming models are established in this paper. Using real coded accelerating genetic algorithm (RAGA), two models above are solved. And then, the combination weight of index both having the adaptability to the decision-making method and the decision-maker's preference information is obtained conveniently. Therefore, the draw back of the traditional TOPSIS method is overcome to a certain extent by the improved TOPSIS method based RAGA. Through a specific example, it is proved that the proposed method is feasible and effective.

Key words: multi-attribute decision-making; TOPSIS method; nonlinear programming; real coded accelerating genetic algorithm; combination weight

摘 要: 为改进 TOPSIS 法, 分别以方案点靠近理想点和远离负理想点为目标, 构建非线性规划模型。运用实码加速遗传算法 (RAGA) 进行求解, 可较方便地获得兼具决策方法适应性和决策者偏好的指标综合权重。由此, 基于 RAGA 的改进 TOPSIS 法可在一定程度上克服传统 TOPSIS 法的不足。应用实例证明了该方法的可行性和有效性。

关键词: 多属性决策; TOPSIS 法; 非线性规划; 实码加速遗传算法; 综合赋权

DOI: 10.3778/j.issn.1002-8331.2009.17.071 **文章编号:** 1002-8331(2009)17-0235-03 **文献标识码:** A **中图分类号:** O221.2

1 引言

TOPSIS 法通过比较方案点距正、负理想点的距离大小来判断被评价方案的优劣, 是一种有效的多属性决策方法, 已广泛应用于社会经济和工程技术等领域^[1-2]。然而, TOPSIS 法有着不容忽视的不足之处: 与理想点欧式距离更近的方案可能与负理想点的欧式距离也更近, 按相对欧式距离对方案进行排序的结果有时并不能完全反映出各方案的优劣性^[3-4]。文献 [5] 以方案点靠近理想点和远离负理想点为目标, 对 TOPSIS 法进行了改进, 但由于设定的问题是复杂非线性优化问题, 采用传统的高等数学方法较难处理。本文运用模拟生物进化过程中优胜劣汰规则与群体内部染色体信息交换机制的通用性全局优化方法——实码加速遗传算法 (Real Coded Accelerating Genetic Algorithm, RAGA)^[6-7] 进行求解, 可较方便地获得兼具决策方法适应性和决策者偏好的指标综合权重。由此, 基于 RAGA 的改进 TOPSIS 法可在一定程度上克服传统 TOPSIS 法的不足。

2 实码加速遗传算法

遗传算法 (GA) 是模拟生物在自然环境中的遗传和进化过程而形成的一种自适应全局优化概率搜索算法。遗传算法的编码方案有二进制编码、实数编码、符号编码等, 与二进制编码相比, 实数编码具有无拓扑不连续问题、不需要解码过程、遗传操作简单、便于高精度数值优化等优点, 因而得到越来越广泛的应用。基于实数编码的加速遗传算法 (RAGA) 是对标准遗传算法 (SGA) 的改进, 能十分简便而有效地求解常规优化方法较难处理的复杂系统优化问题。RAGA 包括以下几个具体步骤: 例如求解如下最优化问题

$$\begin{aligned} \max & f(x) \\ \text{s.t.} & a_j \leq x_j \leq b_j \end{aligned}$$

步骤 1 在各个决策变量的取值变化区间 $[a_j, b_j]$ 上生成 N 组均匀分布的随机变量 $V_i^{(0)}(x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_p)$, 简记为 $V_i^{(0)}$, $i=1, 2, \dots, N, j=1, 2, \dots, p, N$ 为种群规模, p 为优化变量的个数。

基金项目: 国家自然科学基金 (the National Natural Science Foundation of China under Grant No.70671017)。

作者简介: 张目 (1968-), 男, 博士研究生, 副教授, 研究方向: 信用风险管理、金融工程、证券投资等; 周宗放 (1950-), 男, 博士生导师, 教授, 研究方向: 信用风险管理、金融工程、运筹优化等。

收稿日期: 2008-11-28

修回日期: 2009-02-02

$V_i^{(0)}$ 代表父代染色体。

步骤 2 计算目标函数值。将步骤 1 中随机生成的初始染色体 $V_i^{(0)}$ 代入目标函数, 求出对应的函数值 $f^{(0)}(V_i^{(0)})$, 按照函数值的大小将染色体进行排序, 形成 $V_i^{(1)}$ 。

步骤 3 计算基于序的评价函数 $eval(V)$ 。评价函数用来对种群中的每个染色体 V 设定一个概率, 以使该染色体被选择的可能性与其种群中其他染色体的适应性成比例。染色体的适应性越强, 被选择的可能性也应越大。设参数 $\alpha \in (0, 1)$, 定义基于序的评价函数为:

$$eval(V_i) = \alpha(1-\alpha)^{i-1}, \quad i=1, 2, \dots, N$$

步骤 4 进行选择操作, 以生成第 1 个子代群体。选择方法有轮盘赌选择、锦标赛选择、归一化几何选择等。例如采用轮盘赌选择, 旋转赌盘 N 次, 每次旋转都为新的种群选择一个染色体, 每个染色体被选中的概率为其适应度占种群总适应度的比例。经过选择操作, 得到一个新的种群 $V_i^{(2)}$ 。

步骤 5 对步骤 4 产生的新种群进行交叉操作。定义参数 P_c 作为交叉操作的概率。为确定交叉操作的父代, 从 $i=1$ 到 N 重复以下过程: 从区间 $[0, 1]$ 中产生随机数 r , 如果 $r < P_c$, 则选择 V_i 作为一个父代。用 V_1', V_2', \dots 表示选择的父代, 并把它们随机分成下面的对: $(V_1', V_2'), (V_3', V_4'), (V_5', V_6')$ 等。采用算术交叉法, 首先从区间 $(0, 1)$ 中产生一个随机数 c , 然后, 在 V_1' 和 V_2' 之间进行交叉操作, 产生两个后代 X 和 $Y: X=c \cdot V_1' + (1-c) \cdot V_2', Y=(1-c) \cdot V_1' + c \cdot V_2'$ 。经过交叉操作后, 生成新的种群 $V_i^{(3)}$ 。

步骤 6 对步骤 5 产生的新种群进行变异操作。定义参数 P_m 作为变异概率。按下面的方法进行变异。在 R^n 中随机选择变异方向 d , 如果 $V+Md$ 是不可行的, 那么, 令 M 为 0 到 M 之间的随机数, 直到其可行为止。其中 M 是一个足够大的数。如果在预先给定的迭代次数之内没有找到可行解, 则令 $M=0$ 。无论 M 为何值, 总用 $X=V+Md$ 代替 V 。经过变异操作后, 生成新的种群 $V_i^{(4)}$ 。

步骤 7 进化迭代。由步骤 4~步骤 6 得到的子代染色体 $V_i^{(4)}$, 按其适应度函数值从大到小进行排序, 算法转入步骤 3, 进入下一轮进化过程, 重新对父代群体进行评价、选择、交叉、变异, 如此反复进化, 直到最后。

步骤 8 上述 7 个步骤构成标准遗传算法。但 SGA 不能保证全局收敛性。此时, 可以采用第 1 次、第 2 次或第 3、第 4 次进化迭代所产生的优秀个体的变量变化区间作为变量新的初始变化区间, 算法进入步骤 1, 重新运行 SGA, 形成加速运行, 则优秀个体区间将逐渐缩小, 与最优点的距离越来越近。直到最优个体的优化准则函数值小于某一设定值或算法运行达到预定加速次数, 结束整个算法运行, 将当前群体中最佳个体指定为 RAGA 的结果。

3 基于 RAGA 的改进 TOPSIS 法

设有 m 个方案 A_1, A_2, \dots, A_m , n 个指标 C_1, C_2, \dots, C_n ; x_{ij} 为方案 A_i 在指标 C_j 下的指标值 ($i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n$); ω_j 为指标 C_j 的权重, $\omega_j \in [0, 1]$, 且 $\sum_{j=1}^n \omega_j = 1$; 则一个多属性决策问题可表示为由 $X=(x_{ij})_{m \times n}$ 和 ω_j 组成的初始化决策矩阵。基于 RAGA

的改进 TOPSIS 法具体步骤如下:

步骤 1 建立规范化矩阵 $Y=(y_{ij})_{m \times n}$ (无量纲化)

$$y_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}, \quad i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n \quad (1)$$

步骤 2 计算加权规范化矩阵 $V=(v_{ij})_{m \times n}=(\omega_j y_{ij})_{m \times n}$ 。

步骤 3 确定理想点 S^+ 与负理想点 S^- 。

$$S^+ = \{s_j^+ | j=1, 2, \dots, n\} = \{\omega_1^+ y_1^+, \omega_2^+ y_2^+, \dots, \omega_n^+ y_n^+\} \quad (2)$$

$$S^- = \{s_j^- | j=1, 2, \dots, n\} = \{\omega_1^- y_1^-, \omega_2^- y_2^-, \dots, \omega_n^- y_n^-\} \quad (3)$$

当 C_j 为效益型指标时, 有 $y_j^+ = \max_{1 \leq i \leq m} \{y_{ij}\}, y_j^- = \min_{1 \leq i \leq m} \{y_{ij}\}$; 当 C_j

为成本型指标时, 有 $y_j^+ = \min_{1 \leq i \leq m} \{y_{ij}\}, y_j^- = \max_{1 \leq i \leq m} \{y_{ij}\}$ 。

步骤 4 计算各方案与理想点、负理想点的欧氏距离平方^[5]:

$$sep_i^{+2} = \sum_{j=1}^n (v_{ij} - s_j^+)^2 = \sum_{j=1}^n (y_{ij} - y_j^+)^2 \omega_j^{+2} \quad (4)$$

$$sep_i^{-2} = \sum_{j=1}^n (v_{ij} - s_j^-)^2 = \sum_{j=1}^n (y_{ij} - y_j^-)^2 \omega_j^{-2} \quad (5)$$

步骤 5 构造非线性规划模型。显然, sep_i^{+2} 越小方案越优, sep_i^{-2} 越大方案越优。为确定指标权重 ω_j^+ 和 ω_j^- , 构造如下的非线性规划模型:

$$\min Z^+ = \sum_{i=1}^m sep_i^{+2} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (y_{ij} - y_j^+)^2 \omega_j^{+2} \quad (6)$$

$$\text{s.t. } 0 \leq \omega_j^+ \leq 1, \quad \sum_{j=1}^n \omega_j^+ = 1, j=1, 2, \dots, n$$

$$\max Z^- = \sum_{i=1}^m sep_i^{-2} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (y_{ij} - y_j^-)^2 \omega_j^{-2} \quad (7)$$

$$\text{s.t. } 0 \leq \omega_j^- \leq 1, \quad \sum_{j=1}^n \omega_j^- = 1, j=1, 2, \dots, n$$

步骤 6 运用 RAGA 求解上述非线性规划模型, 得出指标权重 ω_j^+ 和 ω_j^- 。式(6)或式(7)所设定的优化问题是一个以指标权重为优化变量的复杂非线性优化问题, 用常规优化方法较难处理, 实码加速遗传算法(RAGA)是一种通用的全局优化方法, 用它来求解该问题, 则十分简便而有效^[6-7]。此外, 对于式(7)所设定的问题, 为了转化为求极小值并保证函数值为正, 在原目标函数取反的基础上再加一个常数 $\lambda^{[8]}$, 例如 λ 可取正整数 100。

步骤 7 确定指标综合权重。在不同的情况下, 由于决策者可能会对理想点与负理想点有不同的偏好程度, 所以将各指标的综合权重定义为^[9]:

$$\omega_j = \alpha \omega_j^+ + (1-\alpha) \omega_j^-, \quad 0 \leq \alpha \leq 1; j=1, 2, \dots, n \quad (8)$$

其中, α 刻画了决策者对方案点靠近理想点这一准则的偏好程度。

步骤 8 计算各方案与理想点的相对贴近度。以 ω_j 替代式(4)中的 ω_j^+ 和式(5)中的 ω_j^- , 进而得出各方案与理想点的相对贴近度

$$c_i = \frac{sep_i^-}{sep_i^+ + sep_i^-}, \quad i=1, 2, \dots, m \quad (9)$$

c_i 越大, 方案 A_i 越接近于理想点, 则各方案可根据 c_i 大小进行优劣排序。

表1 高新技术企业自主创新能力评价指标体系

一级指标	二级指标	三级指标
潜在技术创新资源 A	经济资源存量 A_1	工业增加值 A_{11} ; 技术性收入 A_{12} (单位:万元)
	人力资源存量 A_2	科技活动人员 A_{21} ; R&D 活动人员 A_{22} (单位:人)
技术创新活动 B	技术开发经费支出 B_1	技术开发经费支出占产品销售收入比重 B_{11} (单位:%)
	科研经费支出 B_2	科技活动经费内部支出占产品销售收入比重 B_{21} ; R&D 经费支出占产品销售收入比重 B_{22} (单位:%)
技术创新产出能力 C	专利申请与获得 C_1	申请发明专利数 C_{11} ; 拥有发明专利数量 C_{12} (单位:件)
	技术创新产出收入 C_2	新产品收入占产品销售收入比重 C_{21} ; 高新技术产品收入占产品销售收入比重 C_{22} ; 技术性收入占总收入比重 C_{23} (单位:%)
技术创新环境 D	政府部门扶持 D_1	财政资金在科技活动经费筹集额中的比重 D_{11} (单位:%)
	金融机构支持 D_2	金融机构贷款在科技活动经费筹集额中的比重 D_{21} (单位:%)

4 应用实例

本文以某市高新技术企业为例,采用基于 RAGA 的改进 TOPSIS 法,按企业登记注册类型,对高新技术企业自主创新能力进行分类评价。根据高新技术企业自主创新能力的内涵^[9]和国家统计局(2005)从技术创新能力角度提出的企业自主创新能力评价指标体系,遵循指标选取的系统性、科学性、客观性、可比性及可操作性等原则,构建某市高新技术企业自主创新能力评价指标体系,见表1。

表1中,指标 A 反映了企业潜在的技术创新能力。指标 B 主要指企业的研发、技术改造、技术引进及技术推广等活动,可用企业在技术创新活动各个环节的经费投入来衡量。指标 C 反映各种要素组合产生的实际成效,是评价企业技术创新能力最直接、最重要的指标。指标 D 反映在一个给定的科技投入与制度体系下,外部环境对企业技术创新能力的复杂影响,包括企业所在地的信息化水平、市场竞争程度、政府部门的扶持与金融机构的支持等。

某市高新技术企业的登记注册类型共有 10 类,选取其中有代表性的国有企业、有限责任公司、股份有限公司、私营企业和外商投资企业作为待评价对象,分别用数字序号 I、II、III、IV、V 来表示。某市高新技术企业自主创新能力评价指标原始数据见表2。

表2 指标原始数据

方案	I	II	III	IV	V
A_{11}	85 393	732 511	585 672	21 461	119 194
A_{12}	198 280	115 026	285 391	2 929	18 569
A_{21}	5 399	19 289	7 794	1 050	3 013
A_{22}	1 213	10 245	3 292	518	1 936
B_{11}	17.00	15.54	5.12	13.53	16.30
B_{21}	14.32	6.26	4.97	10.43	6.53
B_{22}	6.06	2.98	2.79	3.76	2.96
C_{11}	34	357	105	23	58
C_{12}	78	356	127	15	45
C_{21}	19.35	31.02	9.55	17.25	10.05
C_{22}	60.02	74.03	59.41	60.82	62.10
C_{23}	23.62	4.41	11.73	3.70	4.11
D_{11}	18.27	38.40	21.00	2.71	0.50
D_{21}	4.70	17.23	13.24	12.50	0.40

注:表中数据来源于《2006年x市科技统计年鉴》。

由表2及式(1)可得规范化矩阵:

$$Y = \begin{bmatrix} 0.0899 & 0.0541 & 0.2485 & 0.1101 & 0.5361 & 0.6984 & \cdots & 0.3846 & 0.1843 \\ 0.7715 & 0.3138 & 0.8877 & 0.9303 & 0.4901 & 0.3053 & \cdots & 0.8083 & 0.6755 \\ 0.6168 & 0.7786 & 0.3587 & 0.2989 & 0.1615 & 0.2424 & \cdots & 0.4420 & 0.5190 \\ 0.0226 & 0.0080 & 0.0483 & 0.0470 & 0.4267 & 0.5087 & \cdots & 0.0570 & 0.4900 \\ 0.1255 & 0.0507 & 0.1387 & 0.1758 & 0.5141 & 0.3185 & \cdots & 0.0105 & 0.0157 \end{bmatrix}$$

高新技术企业自主创新能力评价指标均为效益型指标,由式(2)和式(3)可得理想点 S^+ 与负理想点 S^- :

$$S^+ = \{0.7715\omega_1^+, 0.7786\omega_2^+, 0.8877\omega_3^+, 0.9303\omega_4^+, 0.5361\omega_5^+, \cdots, 0.8083\omega_{13}^+, 0.6755\omega_{14}^+\}$$

$$S^- = \{0.0226\omega_1^-, 0.0080\omega_2^-, 0.0483\omega_3^-, 0.0470\omega_4^-, 0.1615\omega_5^-, \cdots, 0.0105\omega_{13}^-, 0.0157\omega_{14}^-\}$$

运用 RAGA 分别求解式(6)和式(7)所设定的最优化问题,选定父代初始种群规模为 50,交叉概率为 0.6,变异概率为 0.05,最大进化代数数为 100,加速次数 20 次,得出指标权重向量: $W^+ = (\omega_1^+, \omega_2^+, \cdots, \omega_{14}^+) = (0.0395, 0.0859, 0.0610, 0.0696, 0.0631, 0.0896, 0.0671, 0.1256, 0.0612, 0.0593, 0.0482, 0.0867, 0.0769, 0.0663)$, $W^- = (\omega_1^-, \omega_2^-, \cdots, \omega_{14}^-) = (0.0374, 0.0528, 0.0618, 0.0637, 0.0738, 0.0677, 0.0647, 0.1107, 0.0693, 0.0655, 0.0599, 0.0764, 0.0990, 0.0973)$ 。假定决策者对方案点靠近理想点这一准则的偏好程度 $\alpha = 0.5$,则由式(8)计算可得指标综合权重向量: $W = (\omega_1, \omega_2, \cdots, \omega_{14}) = (0.0385, 0.0694, 0.0614, 0.0666, 0.0685, 0.0787, 0.0659, 0.1180, 0.0653, 0.0624, 0.0541, 0.0815, 0.0879, 0.0818)$ 。最后,按照第3章步骤8得出各方案与理想点的相对贴适度及方案排序,结果见表3。为便于比较,本文还采用熵权-TOPSIS 法对各方案进行了排序,结果也列于表3中。

表3 方案排序结果与比较

方案	I	II	III	IV	V
相对贴适度(本文方法)	0.3981	0.6970	0.4211	0.2148	0.1418
排序	3	1	2	4	5
相对贴适度(熵权-TOPSIS法)	0.3463	0.6805	0.4711	0.1278	0.1071
排序	3	1	2	4	5

由表3可知,本文方法得出的某市各类高新技术企业自主创新能力由大至小排序为:有限责任公司、股份有限公司、国有企业、私营企业和外商投资企业,这与熵权-TOPSIS 法得出的排序结果完全一致,说明了本文方法的可行性和有效性。此外,技术创新活动和技术创新产出能力是评价高新技术企业自主创新能力的两大重要指标,本文方法对这两个指标的赋权(0.2131, 0.3813)比熵权法对这两个指标的赋权(0.0488, 0.3313)更具合理性。

5 结束语

为改进 TOPSIS 法,分别以方案点靠近理想点和远离负理想点为目标,构建非线性规划模型。由于设定的问题是复杂非

(下转 240 页)