

基于粒子群算法的模糊层次分析模型^{*}

李壮阔, 薛有添

(桂林电子科技大学 商学院, 广西 桂林 541004)

摘要: 针对模糊层次分析法中存在的模糊判断矩阵一致性检验和修正困难、元素权重计算繁琐的问题,从模糊判断矩阵的定义角度出发,构建了基于粒子群算法的模糊层次分析模型(PSO-FAHP),提出了包含模糊判断矩阵一致性修正及各元素排序过程的非线性带约束优化问题,引入粒子群算法实现了问题的求解,并分析了模型的合理性。最后通过数值算例对比了模型的计算结果,验证了模型的正确性。对模糊层次分析法的实践应用具有一定的指导意义。

关键词: 粒子群优化算法; 模糊层次分析法; 模糊判断矩阵; 一致性

中图分类号: TP301.6; F224.1

文献标志码: A

文章编号: 1001-3695(2012)12-4549-04

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.12.038

Fuzzy analytic hierarchy process model based on particle swarm optimization

LI Zhuang-kuo, XUE You-tian

(School of Business, Guilin University of Electronic Technology, Guilin Guangxi 541004, China)

Abstract: According to the fact that fuzzy judgment matrix consistency tested and modified difficultly, elements weight calculated tediously existing in fuzzy analytic hierarchy process, based on the definition of fuzzy judgment matrix, this paper constructed a model of fuzzy analytic hierarchy process based on particle swarm optimization(PSO-FAHP). It proposed a nonlinear constrained optimization problem including consistency modified and elements ranking alternative of fuzzy judgment matrix, solved the problem with particle swarm optimization and analyzed the rationality. Finally, it contrasted the calculation results with some numerical examples and verified the correctness of the model. PSO-FAHP model is of certain guiding significance for practical application of fuzzy analytic hierarchy process.

Key words: particle swarm optimization(PSO) algorithm; fuzzy analytic hierarchy process(FAHP); fuzzy judgment matrix; consistency

层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)由美国运筹学家 Saaty 教授于 1973 年提出^[1],由于其简单、灵活、实用,被广泛用于解决各领域的复杂决策问题^[2]。AHP 的有效使用关键在于构造出具有满意一致性的判断矩阵,不少专家学者对 AHP 判断矩阵的构造及其一致性检验、修正问题进行了大量研究,取得了一定成果。为了解决判断矩阵的一致性和人们思维一致性问题,荷兰学者 Laarhoven 等人^[3]在 1983 年提出了用三角模糊数(triangular fuzzy number)进行模糊比较判断,并运用三角模糊数的运算和对数最小二乘法求元素排序,即模糊层次分析法(FAHP)。对 FAHP 的研究分为两种,一种是基于模糊数的 FAHP^[4],另一种是基于模糊一致矩阵的 FAHP^[5]。考虑到使用计算机编码实现的难易,本文研究的是后者。

目前,对模糊层次分析法的改进研究主要集中在对模糊判断矩阵的构造^[6-8]及其一致性检验、修正方法^[9-11]和层次排序计算问题^[12-14]。但采用智能优化算法对其进行改进的研究并不多见。刘泽双等人^[15]提出了基于遗传算法的模糊综合评价新模型,用标准遗传算法检验、修正判断矩阵的一致性和计算判断矩阵各要素的权重,并将其应用在科技人才创新能力评价中。李世威等人^[16]通过将决策者对各目标属性的模糊评判信息转换为目标偏好信息,采用多指标模糊排序法确定决策者

权重,依据目标权重构建判断多目标 Pareto 解的适应度函数,并采用粒子群算法对该多目标问题进行求解。

粒子群优化(PSO)算法是由 Kennedy 等人^[17]于 1995 年提出的一种新智能优化技术。该算法源于对鸟群觅食行为的研究,一经提出便立即得到了学术界的广泛关注。与遗传算法(genetic algorithm, GA)相比,PSO 算法具有思想简单、算法易编程实现、需调整参数较少等优点,目前已被广泛应用于函数优化、神经网络训练、模糊系统控制以及 GA 的应用领域。鉴于 PSO 算法的优良特性,本文在模糊层次分析法中引入 PSO 算法,提出 PSO-FAHP 模型,将模糊判断矩阵的一致性修正过程及各层次各元素排序过程转换为非非线性带约束系统优化问题,并用目标函数值作为衡量模糊判断矩阵一致性的标准,其最优解即为原模糊判断矩阵在最满意一致性下的模糊一致判断矩阵及其各元素的排序。

1 粒子群算法

粒子群算法是一种群体智能优化算法,模拟鸟群的觅食行为,通过个体之间的相互协作使群体达到最优^[18],如同这样的场景:一群鸟在一个区域内寻找食物,假设这个区域只有一块

收稿日期: 2012-04-24; 修回日期: 2012-06-04 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71163008); 广西自然科学基金资助项目(2012jjDAG0009)

作者简介: 李壮阔(1976-),男,河北保定人,教授,博士,主要研究方向为物流与供应链管理、经济博弈论、智能算法; 薛有添(1986-),男,广西桂林人,硕士研究生,主要研究方向为物流与供应链管理(xueyoutian@qq.com)。

食物,所有的鸟都不知道食物在哪里,但是它们知道当前的位置距离食物还有多远。最简单有效的搜寻方法是搜寻目前离食物最近的鸟的周围区域,其余鸟追随该鸟继续搜寻,直至找到食物位置。

在粒子群算法中,每个优化问题的解是搜索空间中的一只鸟,称为粒子。所有的粒子都有一个由优化函数决定的适应度值,每个粒子还有一个速度决定它们飞行的方向和距离。粒子群初始化为一群随机粒子,追随当前的最优粒子在解空间中不断搜寻,并通过迭代寻找最优解。在每一次迭代中,粒子通过跟踪两个“极值”来更新速度和位置:一个是粒子本身所找到的最优解,称为个体极值;另一个是整个群体目前找到的最优解,称为全局极值。粒子更新速度和位置的公式如下:

$$v_{id}^{(t+1)} = wv_{id}^{(t)} + c_1 r_1 (p_{id}^{(t)} - x_{id}^{(t)}) + c_2 r_2 (p_{gd}^{(t)} - x_{id}^{(t)}) \quad (1)$$

$$x_{id}^{(t+1)} = x_{id}^{(t)} + av_{id}^{(t+1)} \quad (2)$$

其中: $v_{id}^{(t+1)}$ 表示第 $t+1$ 次迭代第 i 号粒子在第 d 维的速度; $x_{id}^{(t+1)}$ 表示第 $t+1$ 次迭代第 i 号粒子在第 d 维的位置; $p_{id}^{(t)}$ 表示第 t 次迭代第 i 号粒子第 d 维度的个体极值; $p_{gd}^{(t)}$ 表示第 t 次迭代第 i 号粒子第 d 维度的全局极值; c_1 、 c_2 称为学习因子, c_1 是粒子跟踪自己历史最优值的权重系数,表示粒子自身的认识, c_2 是粒子跟踪群体最优值的权重系数,表示粒子对整个群体知识的认识; w 称为惯性因子,表示保持原来速度的系数; r_1 、 r_2 是 $[0,1]$ 内均匀分布的随机数; a 称为约束因子,通常设置为1。标准PSO算法的参数设置为: $w=0.8$, $c_1=c_2=2$, $a=1$ 。PSO算法过程如图1所示。

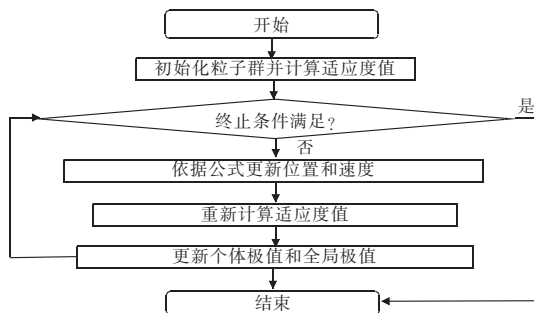


图1 PSO算法流程

2 基于粒子群算法的模糊层次分析模型(PSO-FAHP)

2.1 PSO-FAHP模型的提出

假设某层元素 C 与其下层元素 $a_1, a_2, \dots, a_n$ 有联系,则元素 $a_1, a_2, \dots, a_n$ 相对于 C 两两比较表示为

C	a_1	a_2	$\dots$	a_n
a_1	r_{11}	r_{12}	$\dots$	r_{1n}
a_2	r_{21}	r_{22}	$\dots$	r_{2n}
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\dots$	$\vdots$
a_n	r_{n1}	r_{n2}	$\dots$	r_{nn}

其中: r_{ij} 表示元素 a_i 和 a_j 相对于元素 C 比较时,元素 a_i 和 a_j 具有模糊关系“...比...重要得多”的隶属度。矩阵 $R=(r_{ij})_{n \times n}$ 称为模糊判断矩阵^[5]。

因此,PSO-FAHP模型构建的基本步骤为:

a) 构造用于确定各评价指标权重值的模糊判断矩阵 $R=(r_{ij})_{n \times n}$;

b) 利用PSO算法对模糊判断矩阵 R 进行一致性检验及修

正,并计算各元素权重值 $w_i(i=1,2,\dots,n)$,要求满足: $w_i>0$ 且 $\sum_{i=1}^n w_i=1$ 。

首先,根据模糊判断矩阵 R 的定义,若 R 是模糊一致判断矩阵,即 R 具有完全一致性,则有

$$r_{ij}=0.5+a(w_i-w_j) \quad i,j=1,2,\dots,n \quad (3)$$

其中: a 为两元素间重要程度差异的度量单位,其取值范围为 $a \geq \frac{n-1}{2}$ 。 a 取值越小,表明决策者非常重视元素间重要程度的差异;反之,则表明决策者不是非常重视元素间重要程度的差异^[14]。

此时模糊判断矩阵 R 具有如下性质:

a) 模糊判断矩阵的单位性:

$$r_{ii}=0.5+a(w_i-w_i)=0.5$$

b) 模糊判断矩阵的互补性:

$$r_{ij}=0.5+a(w_i-w_j)+0.5-0.5=1-[0.5+a(w_j-w_i)]=1-r_{ji}$$

c) 模糊判断矩阵的一致性条件:

$$\begin{aligned} r_{ij} &= 0.5 + a(w_i - w_j) + aw_k - aw_k + 0.5 - 0.5 = \\ &= 0.5 + a(w_i - w_k) - [0.5 + a(w_j - w_k)] + 0.5 = \\ &= r_{ik} - r_{jk} + 0.5 \end{aligned}$$

其中:性质c)表示相互关系可以定量传递,它是性质a)和b)的充分条件。

现在的问题是已知模糊判断矩阵 $R=(r_{ij})_{n \times n}$,来推求各评价指标的权重值 $w_i(i=1,2,\dots,n)$ 。如果模糊判断矩阵 R 满足式(3),决策者能精确度量 $a(w_i-w_j)$,即 $r_{ij}=0.5+a(w_i-w_j)$,模糊判断矩阵 R 具有完全一致性,则有

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n [0.5 + a(w_i - w_j) - r_{ij}]^2 = 0 \quad (4)$$

然而,由于实际问题的复杂性、人们主观意识的差异性以及其他诸多因素,一般情况下,模糊判断矩阵 R 并不具有完全一致性,这种不满足一致性的特性在实际应用中是客观存在的,且无法完全消除。FAHP只要求模糊判断矩阵 R 具有满意的一致性,以适应各种实际的复杂系统。若 R 不具有满意的一致性,则需要修正。设 R 经修正后的模糊判断矩阵为 $Y=(y_{ij})_{n \times n}$, Y 所对应的各元素权重仍记为 $w_i(i=1,2,\dots,n)$,则称使式(5)取得最小值的 Y 矩阵为 R 的最满意模糊一致判断矩阵。

$$\min \text{CIF}(n) = \sum_{i=1}^n \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (z_{ij} - \bar{z}_i)^2} / n +$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n [0.5 + a(w_i - w_j) - y_{ij}]^2 / n^2 \quad (5)$$

$$\text{s. t.} \quad \begin{cases} y_{ii}=0.5 \\ y_{ij}+y_{ji}=1 \\ y_{ij}=y_{ik}-y_{jk}+0.5 \\ \sum_{i=1}^n w_i=1 \\ w_i>0 \end{cases} \quad (6)$$

其中: $\text{CIF}(n)$ 为一致性指标函数(consistent index function)。由模糊互补矩阵是模糊一致矩阵的充要条件是任意指定行和其余各行对应元素之差为某一常数^[5],即模糊判断矩阵的加性一致性原理^[10]。因此,令 $z_{ij}=r_{1j}-y_{ij}$, $\bar{z}_i=\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n z_{ij}$, z_{ij} 表示 r_1 行和 y_i 行对应元素相减之差,通过计算其标准差来反映模糊判断矩阵 Y 的加性一致性。 r_{1j} 表示原模糊判断矩阵 R 的第一行

各元素,决策者依据最有把握的元素对原模糊判断矩阵进行一致性修正。不失一般性,假设对第一行元素最有把握;其他符号同上。

式(5)是一个常规方法较难处理的非线性带约束优化问题,其中权重值 $w_i (i=1,2,\dots,n)$ 和修正后模糊判断矩阵 $Y=(y_{ij})_{n \times n}$ 的右上三角除第一行元素以外的各元素为优化变量,共有 $(n-1)(n-2)/2+n$ 个。显然,式(5)左边的 $CIF(n)$ 值越小,则模糊判断矩阵 R 的一致性就越高;当取全局最小值 $CIF(n)=0$ 时,则 $Y=R$ 且式(4)和(5)成立,此时模糊判断矩阵 R 具有完全一致性。根据约束条件式(6)可知,该全局最小值是唯一的。一般来讲,当模糊判断矩阵的一致性指标函数 $CIF(n)<0.1$ 时,可认为该模糊判断矩阵具有满意的一致性,据此计算得出的各评价指标权重值是可以接受的。

PSO 算法是一种通过不断迭代搜寻全局最优解的智能优化算法,用来求解式(5)较为简单有效。本文通过利用 MATLAB 数学软件编程实现了 PSO 算法对式(5)的求解。PSO-FAHP 模型求解的主要步骤如下:

a) 确定目标函数。这里式(5)就是目标函数,因此编写适应度函数 $CIF()$ 。

b) 编码。权重值 $w_i (i=1,2,\dots,n)$ 和修正后模糊判断矩阵 $Y=(y_{ij})_{n \times n}$ 的右上三角除第一行元素以外的各元素为优化变量,对其进行实数编码。粒子的维度数为优化变量的个数,即 $(n-1)(n-2)/2+n$ 维。其中,每个优化变量都必须限定在 $(0,1)$ 范围之内。构建矩阵 $parSwarm$ 和 $optSwarm$,其中 $parSwarm$ 矩阵记录各个粒子的位置、速度及当前适应度值信息; $optSwarm$ 矩阵记录各个粒子的位置、个体极值及全局极值信息。粒子的位置信息即为各优化变量的解,全局极值即为最优目标函数值。

c) 初始化种群。 $initSwarm()$ 函数实现各粒子的初始化,使用 MATLAB 中随机数生成函数 $rand()$ 对粒子的位置及速度信息进行随机赋值,并计算各粒子的适应度值,通过比较得到最优的适应度值作为全局极值记录下来。

d) $baseStepPso()$ 函数实现粒子的位置、速度信息更新。调用 $baseStepPso()$ 函数可按式(1)(2)对粒子的位置及速度信息进行更新,并重新计算粒子的适应度值,更新粒子的个体极值与全局极值。

e) 编写 $psoProcess()$ 函数作为主调函数。 $psoProcess()$ 函数实现对适应度函数 $CIF()$ 、初始化函数 $initSwarm()$ 以及位置速度更新函数 $baseStepPso()$ 的调用,并能设置粒子规模数 $swarmSize$ 、迭代次数 $interCount$ 、粒子速度范围 $minV$ 及 $maxV$ 等参数。当满足一致性精度要求或达到预先设置的最大迭代次数时, $psoProcess()$ 函数停止迭代并返回最优解。

2.2 PSO-FAHP 模型的合理性分析

PSO-FAHP 模型是从原模糊判断矩阵 R 的一致性程度出发,构造出式(5)修正模糊判断矩阵的准则函数,根据式(5)可知,原模糊判断矩阵 R 具有完全一致性的充要条件是该式取全局最小值 $CIF(n)=0$,因此,该模型较为直观和简便。PSO-FAHP 模型是通过原模糊判断矩阵 R 中最有把握的元素根据加性一致性原理进行修正调整的,故修正后的模糊判断矩阵 Y 是最优的模糊一致判断矩阵。目前常用的计算判断矩阵权重的方法主要有特征值法、对数回归法、最小平方法、最小偏差法、行和归一化法等,这些方法是将权重值计算和判断矩阵一

致性检验分开进行的。当判断矩阵的一致性不符合要求精度时,需要先修正判断矩阵再重新进行一致性检验,这样极大地增加了计算量。本文提出的 PSO-FAHP 模型把权重值计算和模糊判断矩阵的一致性检验及其修正结合起来,在一致性指标最小化下推求权重;在模糊判断矩阵已定的情况下,通过调整各要素的权重来改进一致性指标值。由于 PSO-FAHP 模型是直接根据模糊判断矩阵的定义推导出描述模糊判断矩阵一致性程度的一致性指标函数,用该指标值度量模糊判断矩阵的一致性更为直观、合理。

不少学者对模糊层次分析法中层次排序方法进行了研究。文献[12]根据模糊判断矩阵的一致性条件,从拟合角度出发,构造式(7)二次规划问题求解元素权重:

$$\begin{aligned} \min z = & \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (r_{ij} - 0.5 - 0.5w_i + 0.5w_j)^2 \\ \text{s. t. } & \sum_{i=1}^n w_i = 1, w_i \geq 0 \end{aligned} \quad (7)$$

文献[13]给出了不同标度下的通用权重计算公式:

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n r_{ij} + \frac{n}{2} - 1}{n(n-1)} \quad (8)$$

文献[14]推导论证了模糊判断矩阵的权重计算公式:

$$w_i = \frac{1}{n} - \frac{1}{2a} + \frac{1}{na} \sum_{j=1}^n r_{ij} \quad i=1,2,\dots,n \quad (9)$$

其中, $a \geq \frac{n-1}{2}$, 其含义同上。

下面通过不同的数例对比 PSO-FAHP 模型和式(7)~(9)的计算结果,以验证 PSO-FAHP 模型的正确性、精确性、科学性。由模糊判断矩阵的加性一致性原理知,模糊判断矩阵 R_1 具有完全一致性; R_2 、 R_3 不具有完全一致性,但 R_2 可经修正一对元素具有完全一致性, R_3 需修正多对元素才具有完全一致性(修正时假设决策者对各模糊判断矩阵中第一行元素最有把握)。

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.9 & 0.7 \\ 0.1 & 0.5 & 0.3 \\ 0.3 & 0.7 & 0.5 \end{bmatrix} \quad R_2 = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.4 & 0.6 & 0.6 \\ 0.6 & 0.5 & 0.6 & 0.7 \\ 0.4 & 0.4 & 0.5 & 0.5 \\ 0.4 & 0.3 & 0.5 & 0.5 \end{bmatrix}$$

$$R_3 = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.3 & 0.6 & 0.7 \\ 0.7 & 0.5 & 0.7 & 0.5 \\ 0.4 & 0.3 & 0.5 & 0.4 \\ 0.3 & 0.5 & 0.6 & 0.5 \end{bmatrix}$$

PSO-FAHP 模型在 MATLAB 7.2 环境下实现,设置粒子群算法的种群规模为 20,最大迭代次数为 500 次,则四种方法的结果对比如表 1、2 所示。

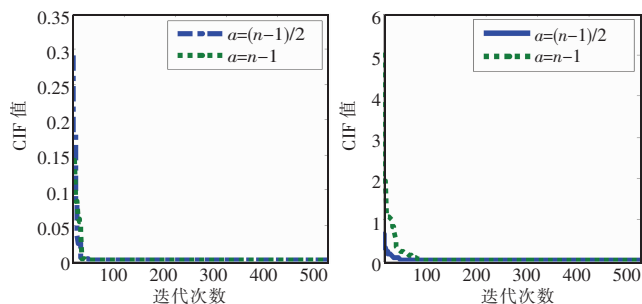
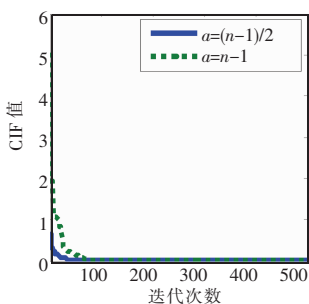
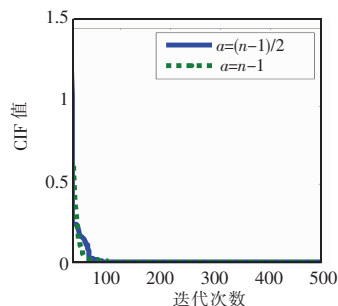
表 1 四种权重计算方法结果对比($a=(n-1)/2$)

权重计算方法	模糊判断矩阵	权重值 w				CIF 值	运行时间/s
		w_1	w_2	w_3	w_4		
式(7)	R_1	0.7000	0	0.3000	/	0.0100	/
式(8)	R_1	0.4333	0.2333	0.3333	/	/	/
式(9)	R_1	0.5333	0.1333	0.3333	/	/	/
PSO-FAHP	R_1	0.5295	0.1368	0.3336	/	1.6e-4	1.125
式(7)	R_2	0.3333	0.4833	0.1833	0	0.0367	/
式(8)	R_2	0.2583	0.2833	0.2333	0.2250	/	/
式(9)	R_2	0.2667	0.3167	0.2167	0.2000	/	/
PSO-FAHP	R_2	0.2674	0.3334	0.2011	0.1981	1.1e-4	1.166
式(7)	R_3	0.3667	0.5167	0.1167	0	0.2167	/
式(8)	R_3	0.2583	0.2833	0.2167	0.2417	/	/
式(9)	R_3	0.2667	0.3167	0.1833	0.2333	/	/
PSO-FAHP	R_3	0.2669	0.3991	0.2010	0.1331	3.4e-5	1.332

表2 四种权重计算方法结果对比($a = n - 1$)

权重计算方法	模糊判断矩阵	权重值 w				CIF 值	运行时间/s
		w_1	w_2	w_3	w_4		
式(7)	R_1	0.7000	0	0.3000	/	0.0100	/
式(8)	R_1	0.4333	0.2333	0.3333	/	/	/
式(9)	R_1	0.4333	0.2333	0.3333	/	/	/
PSO-FAHP	R_1	0.4323	0.2335	0.3342	/	$4.2e-5$	1.031
式(7)	R_2	0.3333	0.4833	0.1833	0	0.0367	/
式(8)	R_2	0.2583	0.2833	0.2333	0.2250	/	/
式(9)	R_2	0.2583	0.2833	0.2333	0.2250	/	/
PSO-FAHP	R_2	0.2602	0.2895	0.2253	0.2250	$5.9e-4$	1.231
式(7)	R_3	0.3667	0.5167	0.1167	0	0.2167	/
式(8)	R_3	0.2583	0.2833	0.2167	0.2417	/	/
式(9)	R_3	0.2583	0.2833	0.2167	0.2417	/	/
PSO-FAHP	R_3	0.2599	0.3243	0.2235	0.1923	$4.1e-4$	1.447

PSO-FAHP 模型计算三个模糊判断矩阵的性能分别如图2~4所示。

图2 PSO-FAHP 计算模糊判断矩阵 R_1 的性能图3 PSO-FAHP 计算模糊判断矩阵 R_2 的性能图4 PSO-FAHP 计算模糊判断矩阵 R_3 的性能

由以上对比分析结果显示,式(7)未考虑到元素间重要程度差异 a ,因此计算出来的结果有权重值为 0 的情况,但元素间的权重大小比较是正确的,随着 a 值的增大,元素权重值间的差异在减少。当 $a = n - 1$ 时,式(8)与(9)的计算结果是完全一样的,在考虑到元素间重要程度差异 a 后,决策者可以在不同的 a 值下选择较合理的权重值。对于具有完全一致性和无须修正过多元素就达到完全一致性的模糊判断矩阵,PSO-FAHP 模型计算结果与式(8)(9)的结果是一致的;对于需经过修正多对元素实现完全一致性的模糊判断矩阵,PSO-FAHP 模型仍能以精确的一致性指标值快速有效地计算出各元素的权重值。由表1、2可知,使用本文提出的 PSO-FAHP 模型修正模糊判断矩阵、计算元素的权重值所需要的时间是极其少的,能大大提高利用模糊层次分析法进行分析决策的效率。表中数据表明,随着模糊判断矩阵维度的增加及模糊判断矩阵达到完全一致性所需修正的元素增多,PSO-FAHP 模型运行时间有所增加,但增加的时间并不明显。另外,由图2~4可知,PSO-FAHP 能进行快速自适应全局优化搜索,快速收敛于全局最优值。在四种权重计算方法中,PSO-FAHP 模型对一致性程度不同的模糊判断矩阵都能以较高的一致性指标精度计算各元素

权重,其计算结果稳定性好、适应性强、可靠性高。

3 结束语

针对模糊层次分析法中存在的模糊判断矩阵一致性检验、修正困难,元素权重计算繁琐问题,提出了基于粒子群算法的模糊层次分析模型(PSO-FAHP)。由模糊判断矩阵的定义出发,将模糊判断矩阵的一致性修正过程及各层次各元素排序过程转换为非线性带约束系统优化问题,并引入 PSO 算法对此问题进行求解。对模型的合理性进行了分析,为了验证模型的正确性,采用三个一致性程度不同的数值算例将 PSO-FAHP 模型与另外三种权重计算方法进行对比。结果显示,PSO-FAHP 模型对一致性程度不同的模糊判断矩阵都能以较高的一致性指标精度计算各元素权重,其计算结果稳定性好、适应性强、可靠性高。PSO-FAHP 模型能够直接使用计算机完成模糊判断矩阵一致性的修正调整及各层次排序计算过程,避免了手工对模糊判断矩阵调整、计算各层次各元素权重的麻烦,在一定程度上提高模糊层次分析法的使用效率,对模糊层次分析法的实践应用具有一定的指导意义。

参考文献:

- [1] SATTY T L. The analytic hierarchy process[M]. New York: McGraw-Hill, 1980.
- [2] 王莲芬,许树柏. 层次分析法引论[M]. 北京:中国人民大学出版社,1990.
- [3] LAARHOVEN F J M, PEDRYCZ W. A fuzzy extension of Saaty's priority theory[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1983, 11(3): 229-241.
- [4] 常大勇,张丽丽. 经济管理中模糊数学方法[M]. 北京:北京经济学院出版社,1995.
- [5] 张吉军. 模糊层次分析法(FAHP)[J]. 模糊系统与数学, 2000, 14(2): 80-88.
- [6] 樊治平,姜艳萍,肖四汉. 模糊判断矩阵的一致性及其性质[J]. 控制与决策, 2001, 16(1): 69-71.
- [7] 肖四汉,樊治平,王梦光. Fuzzy 判断矩阵的一致性分析[J]. 系统工程学报, 2001, 16(2): 142-145.
- [8] 陶余会. 如何构造模糊层次分析法中模糊一致判断矩阵[J]. 四川师范学院学报:自然科学版, 2002, 23(3): 282-285.
- [9] 姜艳萍,樊治平. 一种校正模糊判断矩阵一致性的新方法[J]. 模糊系统与数学, 2002, 16(2): 74-78.
- [10] 宋光兴,杨德礼. 模糊判断矩阵的一致性检验及一致性改进方法[J]. 系统工程, 2003, 21(1): 110-116.
- [11] 姜艳萍,樊治平. 模糊判断矩阵一致性的调整方法[J]. 数学的实践与认识, 2003, 33(12): 82-87.
- [12] 姜艳萍,樊治平. 基于模糊判断矩阵的一种方案排序方法[J]. 东北大学学报:自然科学版, 2000, 21(4): 450-452.
- [13] 徐泽水. 模糊互补判断矩阵排序的一种算法[J]. 系统工程学报, 2001, 16(4): 311-314.
- [14] 吕跃进. 基于模糊一致矩阵的模糊层次分析法的排序[J]. 模糊系统与数学, 2002, 16(2): 79-85.
- [15] 刘泽双,章丹,康英. 基于遗传算法的模糊综合评价法在科技人才创新能力评价中的应用[J]. 西安理工大学学报, 2008, 24(3): 376-381.
- [16] 李世威,王建强,曾俊伟. 一种模糊偏好排序的多目标粒子群算法[J]. 计算机应用研究, 2011, 28(2): 477-480.
- [17] KENNEDY J, EBERHART R C. Particle swarm optimization [C]// Proc of IEEE International Conference on Neural Networks. 1995: 1942-1948.
- [18] 刘波. 粒子群优化算法及其工程应用[M]. 北京:电子工业出版社, 2010.