

基于随机层次分析法的虚拟企业风险评价

卢福强, 薛岩松

(天津工业大学管理学院, 天津 300387)

摘要: 分析虚拟企业风险因素的层次结构以及量化评价中的不确定性, 设计了随机层次分析法 (SAHP) 来对其风险进行评价. 在随机层次分析法中, 将专家咨询法过程中的不确定性描述为随机变量, 得到随机判断矩阵. 进而应用随机模拟方法确定随机判断矩阵中元素的估计值. 运用随机层次分析法对某虚拟企业三个备选组建方案的风险评价进行了实证分析, 阐明该方法对于多指标、不确定性的最优方案选择问题是一种科学、可行的方法.

关键词: 随机层次分析法; 虚拟企业; 风险评价; 随机模拟方法; 层次结构

中图分类号: F272.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0411(2012)-01-0110-07

Stochastic Analytic Hierarchy Process Based Risk Evaluation for Virtual Enterprise

LU Fuqiang, XUE Yansong

(College of Management, Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300387, China)

Abstract: The hierarchy structure of virtual enterprise (VE) risk factors and the uncertainty in its quantitative evaluation are analyzed, and a stochastic analytic hierarchy process (SAHP) is designed to evaluate VE risk. For SAHP, the uncertainties in the process of expert consultative method are described by random variables, and a random judgment matrix is built. The stochastic simulation method is applied to estimating value of the elements in the random judgment matrix. The SAHP is employed to evaluate the risk of three optional organizing plans for VE, and the SAHP is illustrated as a scientific and practicable method for selecting optimal plan problem with multi-index and uncertainty.

Keywords: stochastic analytic hierarchy process (SAHP); virtual enterprise; risk evaluation; stochastic simulation method; hierarchy structure

1 引言 (Introduction)

虚拟企业的风险是由多种风险因素综合作用的结果, 在虚拟企业组建的过程中, 不同的组建方案中风险因素对虚拟企业产生的影响是不同的, 且对各方案的评估中存在不确定性, 使风险的量化评价较为困难^[1-5]. 为尽可能地降低组建中的风险, 应在风险评价的基础上优选组建方案, 这需要一种可将决策者的经验判断给予量化, 并将定量决策对象进行优劣排序、筛选的多目标决策方法. 层次分析法 (AHP) 利用专家咨询法给出的定性比较结果进行定量分析, 有效地将定性分析与定量分析结合在一起, 从数学分析的角度上给出了各方案比较的数量关系, 为解决特定条件下的多目标风险评价提供了科学、可行的思路^[6].

一些学者运用 AHP 对虚拟企业的风险进行了

评价, 得到了较好的效果^[7-8]. 另一些学者考虑了风险评价中的不确定性, 并设计了模糊层次分析法 (fuzzy analytic hierarchy process, FAHP), 主要是将模糊逻辑原理引入到 Saaty 的 AHP 中, 从而在一定程度上克服了 AHP 原有的弊端, 拓宽了 AHP 的运用范围^[7-10]. 本文从随机性的角度出发, 运用随机理论描述人们在使用 AHP 中所出现的判断不确定性, 进而提出了随机层次分析法 (SAHP), SAHP 中的随机性主要体现在判断矩阵的表示上, 针对决策者或专家判断中的不确定现象, 构造了随机判断矩阵, 即判断矩阵的元素是随机变量^[11-12].

本文将简要介绍 SAHP 的基本思想和步骤, 构建虚拟企业风险评价的指标体系, 在此基础上, 运用 SAHP 对某虚拟企业在不同组建方案下的风险评价进行实证分析.

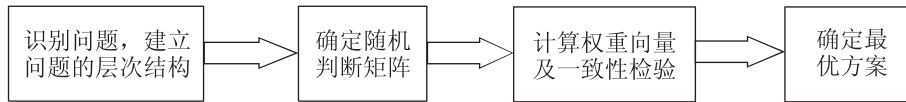


图 1 SAHP 的流程

Fig.1 The process of SAHP

2 随机层次分析法 (Stochastic analytic hierarchy process)

层次分析法是由美国匹兹堡大学的 Saaty 教授于 20 世纪 70 年代中期提出的, 它在解决多准则和多方案问题方面有着广泛的运用 [7-10]. 层次分析法是将评价对象或问题视为一个系统, 根据问题的性质和要达到的总目标, 将问题分解成不同的组成因素, 并按照因素间的相互关联度及隶属关系, 将因素按不同层次聚集组合, 从而组成一个多层次的分解结构系统, 把问题条理化、层次化.

AHP 用 1~9 标度法表示 a_{ij} (i 比 j 的重要程度), 但它并未充分反映人们判断的不确定性. 一些学者提出了模糊层次分析法拓宽了 AHP 的运用范围. 本文从随机性的角度出发, 运用随机理论描述人们在使用 AHP 时所出现的判断不确定性, 进而提出了随机层次分析法 (SAHP). 在 SAHP 中, 用随机变量 r_{ij} 代替判断矩阵中的元素 a_{ij} 来表示评价准则中各因素的相对重要性, 从而建立随机判断矩阵. 随机变量 r_{ij} 服从分布函数 Φ_{ij} , 由分布函数类型的不同来体现构造随机判断矩阵的不同角度. 对于随机变量 r_{ij} , 可以通过随机模拟方法来得到其在判断矩阵中的估计值, 从而确定判断矩阵. 在此基础上, 运用 AHP 方法就可以得到最优方案. SAHP 的流程如图 1 所示.

2.1 建立待解决问题的层次结构

明确具体问题, 确定整体目标及次级目标, 建立层次结构: 目标层、准则层和方案层.

表 1 9 级分制
Tab.1 The nine ranks

| 标度 a_{ij} | 含义 |
|-------------|-------------------------------------------------|
| 1 | i 因素与 j 因素相同重要 |
| 3 | i 因素比 j 因素略重要 |
| 5 | i 因素比 j 因素较重要 |
| 7 | i 因素比 j 因素非常重要 |
| 9 | i 因素比 j 因素绝对重要 |
| 2,4,6,8 | 以上两判断之间的中间状态的标度值 |
| 倒数 | 若 j 因素与 i 因素比较, 得到的判断值为 $a_{ji} = 1/a_{ij}$ |

2.2 确定随机判断矩阵

AHP 采用两两比较的方法, 通过决策者或专家判断隶属于同一个指标的两项子指标相对于父指标, 哪个更重要, 重要多少. 此外, 为了对重要性判断量化, AHP 引用 9 级分制进行比较, 见表 1.

比较判断矩阵的构建主要通过专家咨询法获得各指标两两之间的相对重要性. 专家需要用按 1~9 比例标度的含义为各评价指标两两之间的相对重要性赋值, 形成评价指标的两两比较判断矩阵. 为了得到更具普遍性的判断矩阵, 往往邀请数位专家对指标之间的相对重要性赋值. 由于不同专家主观偏好的差异, 导致了判断结果的不确定性. 为了描述该不确定性, 本文用随机变量 r_{ij} 代替 a_{ij} 来表示评价准则中各因素的相对重要性, 从而建立随机判断矩阵 A .

$$A = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{pmatrix}$$

其中随机变量 r_{ij} 服从分布函数 Φ_{ij} ($i, j = 1, 2, \dots, n$), n 表示进行比较的指标的数量, 不同类型的分布函数反映了决策者或专家对各指标相对重要程度的不同判断. 由于矩阵 A 中的元素是随机变量, 于是矩阵 A 是不确定的, 也就不能直接用于 AHP 方法的计算过程中. 可以应用随机模拟方法来求得随机变量 r_{ij} 的期望 $E[r_{ij}]$ 的估计值 e_{ij} , 从而确定随机判断矩阵 A .

随机模拟 [11-12], 也称为蒙特卡洛模拟, 是随机系统建模中刻画抽样试验的一门技术, 它主要依据概率分布对随机变量进行抽样, 虽然模拟技术只给出统计估计而非精确结果, 且应用其进行研究需要花费大量的计算时间, 但对那些无法得到解析结果的复杂问题来说, 这种手段可能是唯一有效的工具.

随机模拟的步骤如下:

步骤 1: 置 $L = 0$.

步骤 2: 由分布函数 Φ_{ij} 生成样本 u_{ij} ($i, j = 1, 2, \dots, n$).

步骤 3: $L = L + u_{ij}$.

步骤 4: 重复步骤 2 到步骤 3 共 H 次.

步骤 5: $e_{ij} = L/H$.

确定的随机判断矩阵 \mathbf{A} 如下:

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} e_{11} & e_{12} & \cdots & e_{1n} \\ e_{21} & e_{22} & \cdots & e_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ e_{n1} & e_{n2} & \cdots & e_{nn} \end{pmatrix}$$

由表 1 中判断矩阵元素的取值不难看出, 确定的随机判断矩阵 \mathbf{A} 中元素 e_{ij} 在区间 $\left[\frac{1}{9}, 9\right]$ 内, 但其并不一定满足等式 $e_{ij} = \frac{1}{e_{ji}}$.

2.3 计算权重向量及一致性检验

2.3.1 计算权重向量

对于判断矩阵 \mathbf{A} , 采用规范列平均法来计算权重向量^[11]:

$$a_{ij} = \frac{e_{ij}}{\sum_{i=1}^n e_{ij}}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{n}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

由此计算得到的权重向量包括以下两个:

(1) 确定单一准则下各方案的权重. 针对准则层中的每一准则对方案层中的各方案进行评估, 确定每一准则下各方案相对权重. 该权重(特征向量)表示为 $\mathbf{C}_k = (c_{k1}, c_{k2}, \dots, c_{kn})$ ($k = 1, 2, \dots, m$), 这里 m 表示准则的数量, n 表示方案的数量.

(2) 确定各准则的相对权重. 计算对于目标层和准则层中与之有关的准则之间的相对权重. 该权重(特征向量)表示为 $\mathbf{W} = (w_1, w_2, \dots, w_m)^T$.

2.3.2 一致性检验

为了尽量确保判断矩阵中各因素的相对重要程度不产生矛盾, 这里对判断矩阵的一致性进行检验.

首先, 计算判断矩阵的最大特征值 λ_{\max} . 步骤如下:

步骤 1: 由被检验的判断矩阵乘以其特征向量, 得到赋权和向量 $\bar{\mathbf{W}}$ (以各准则的相对权重为例) 即

$$\bar{\mathbf{W}} = \mathbf{A}\mathbf{W} = \begin{pmatrix} \bar{w}_1 \\ \bar{w}_2 \\ \vdots \\ \bar{w}_n \end{pmatrix} \quad (3)$$

步骤 2: 每个赋权和向量的分量分别除以对应的特征向量的分量, 其商记为 $s_i = \bar{w}_i/w_i$ ($i = 1, 2, \dots, n$).

步骤 3: 计算商的平均值, 记为 λ_{\max} .

$$\lambda_{\max} = \frac{\sum_{i=1}^n s_i}{n} \quad (4)$$

其次, 引入一致性指标 I_c ,

$$I_c = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (5)$$

在式 (5) 中 λ_{\max} 是判断矩阵的最大特征值, n 是因素的数量. 显然, 若判断矩阵具有完全一致性, 则有 $\lambda_{\max} = n$, 且 $I_c = 0$; 若 λ_{\max} 略大于 n , 则判断矩阵具有满意一致性.

当两两比较的因素较多也就是判断矩阵的维数较大时, 判断的一致性就较差. 为了更好地检验判断矩阵的一致性, 引进平均随机一致性指标 I_r , 其取值见表 2. 运用式 (6) 来计算判断矩阵的一致性比例 R_c ,

$$R_c = I_c/I_r \quad (6)$$

若 $n = 1$ 或 2 , 则判断矩阵具有完全一致性, 定义为 $R_c = 0$; 若 $n > 2$, 且求得 $R_c < 0.1$, 则判断矩阵具有满意一致性, 该判断矩阵可以用作层次分析; 若求得 $R_c \geq 0.1$, 则判断矩阵不具有满意一致性, 需要对判断矩阵进行调整和修正, 直到矩阵满足 $R_c < 0.1$ 为止.

表 2 I_r 取值

Tab.2 The value of I_r

| 维数 (n) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| I_r | 0.00 | 0.00 | 0.58 | 0.96 | 1.12 | 1.24 | 1.32 | 1.41 | 1.45 |

2.4 确定最优方案

由 2.3.1 节确定单一准则下各方案的权重, 可以得到每个方案对于各准则的特征向量 $(c_{1i}, c_{2i}, \dots, c_{mi})^T$ ($i = 1, 2, \dots, n$). 由层次总排序式 (4) 可以计算出第 i 个方案总的得分, $i = 1, 2, \dots, n$.

$$U_i = (w_1, w_2, \dots, w_m) \begin{pmatrix} c_{1i} \\ c_{2i} \\ \vdots \\ c_{mi} \end{pmatrix} \quad (7)$$

对各方案按得分由低到高进行排序 (U'_1, U'_2, \dots, U'_m), 得分最高者确定为最优方案, 即 $U^* = U'_1$.

3 虚拟企业风险评价指标体系 (Index system for risk evaluation of virtual enterprise)

虚拟企业的风险是多种风险因素综合作用的结果, 其主要包括内部和外部多种风险, 如市场风险、金融风险、政治风险、投资风险、能力风险、合作关

系风险等^[1-5], 每一种因素又可以细分为若干重要的指标, 限于篇幅, 不在这里展开说明. 虚拟企业风险评价指标体系如图 2 所示. 该评价指标体系包含以下 3 个层次:

- (1) 目标层. 这一层只有一个元素, 是对问题目标的描述, 即虚拟企业的风险.
- (2) 准则层. 这一层包括了实现目标所涉及的中间环节, 是对目标层的具体描述和扩展.
- (3) 指标层. 这一层是对准则的细化.

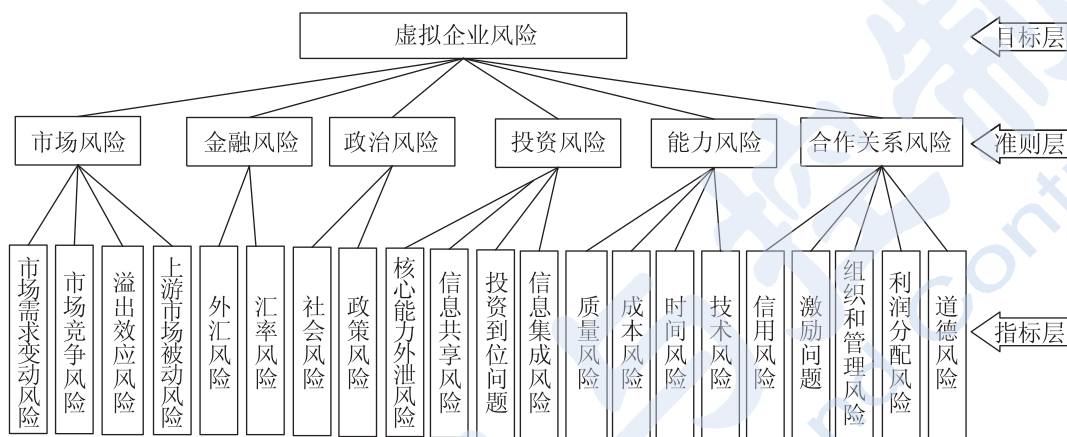


图 2 虚拟企业风险评价指标体系

Fig.2 The index system for risk evaluation of virtual enterprise

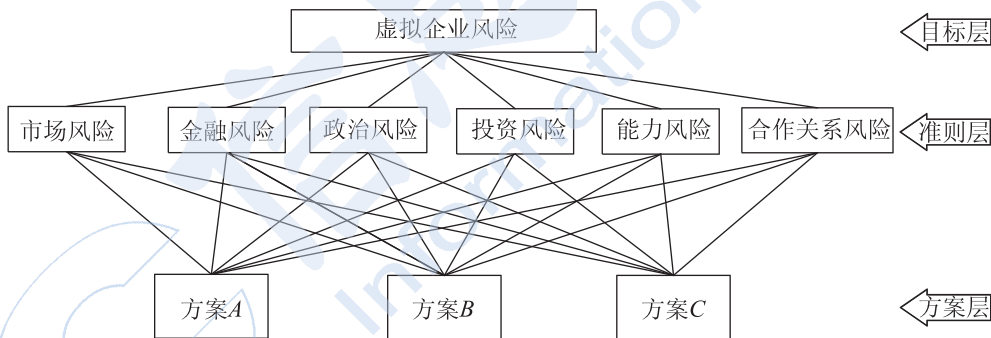


图 3 虚拟企业风险评价层次结构模型

Fig.3 The hierarchy structure for risk evaluation of virtual enterprise

4 随机层次分析法在虚拟企业风险评价中的运用 (Application of SAHP to risk evaluation of virtual enterprise)

4.1 建立评价虚拟企业风险的层次结构模型

本文对虚拟企业组建的各方案风险大小进行排序, 找出风险低的组建方案, 建立的风险评价层次结构模型如图 3 所示. 显然, 在该图中并未显示与市场风险相关的具体指标, 但在具体判断一个虚拟企业的市场风险时, 必须考虑该企业的市场需求变动风险、市场竞争风险、溢出效应风险和上游市场被动风险等指标. 对于金融风险、政治风险和投资

风险等, 也必须按同样的方法进行判断, 才能给出全面而正确的一个结论.

4.2 确定随机判断矩阵

根据层次分析法的原理, 通过专家咨询法来构造判断矩阵. 考虑到多位专家的偏好各不相同, 且决策中存在其它不确定因素, 于是判断矩阵中的元素是不确定的. 本文将不确定的元素描述为随机变量, 从而构建随机判断矩阵, 通过对多位专家的判断结果进行分析近似给出各随机变量所服从的分布函数. 运用随机模拟方法得到随机变量期望的估计值, 进而确定随机判断矩阵.

经过多位专家对A、B、C三个方案在市场风险、金融风险、政治风险、投资风险、能力风险、合作关系风险方面的咨询分析后得到, 准则层的随机判断矩阵为 \bar{A} ; 三个方案对各单一准则(市场风险、金融风险、政治风险、投资风险、能力风险、合作关系风险)的随机判断矩阵分别为 A_1 、 A_2 、 A_3 、 A_4 、 A_5 、 A_6 .

准则层中6个指标的随机判断矩阵 \bar{A} 见表3, 表中 I_1 表示市场风险, I_2 表示金融风险, I_3 表示政治风险, I_4 表示投资风险, I_5 表示能力风险, I_6 表示合作关系风险. 将随机判断矩阵中元素 r_{ij} ($i=1,2,\dots,6, j=i+1,\dots,6$)的分布函数 Φ_{ij} 近似为正态分布函数 $N(\mu_{ij}, \delta^2)$, 其中假设方差 $\delta=0.01$, 期望值 μ_{ij} 的取值列于表4. 随机判断矩阵中元素 $r_{ji}=1/r_{ij}$. 运用随机模拟方法计算矩阵 \bar{A} 中元素的估计值, 随机模拟过程中参数 $H=100$, 由此确定的随机判断矩阵见表5.

表3 随机判断矩阵A
Tab.3 Random judgment matrix A

| A | I_1 | I_2 | I_3 | I_4 | I_5 | I_6 |
|-------|------------|------------|------------|------------|------------|----------|
| I_1 | 1 | r_{12} | r_{13} | r_{14} | r_{15} | r_{16} |
| I_2 | $1/r_{12}$ | 1 | r_{23} | r_{24} | r_{25} | r_{26} |
| I_3 | $1/r_{13}$ | $1/r_{23}$ | 1 | r_{34} | r_{35} | r_{36} |
| I_4 | $1/r_{14}$ | $1/r_{24}$ | $1/r_{34}$ | 1 | r_{45} | r_{46} |
| I_5 | $1/r_{15}$ | $1/r_{25}$ | $1/r_{35}$ | $1/r_{45}$ | 1 | r_{56} |
| I_6 | $1/r_{16}$ | $1/r_{26}$ | $1/r_{36}$ | $1/r_{46}$ | $1/r_{56}$ | 1 |

表4 μ_{ij} 的取值
Tab.4 The value of μ_{ij}

| μ_{ij} | $i=1$ | $i=2$ | $i=3$ | $i=4$ | $i=5$ | $i=6$ |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $j=1$ | - | 3 | 4 | 1/2 | 2/3 | 1/2 |
| $j=2$ | - | - | 3/2 | 1/6 | 1/3 | 1/5 |
| $j=3$ | - | - | - | 1/7 | 1/6 | 1/8 |
| $j=4$ | - | - | - | - | 2 | 3/4 |
| $j=5$ | - | - | - | - | - | 2/3 |
| $j=6$ | - | - | - | - | - | - |

表5 确定的随机判断矩阵 \bar{A}
Tab.5 Estimated random judgment matrix \bar{A}

| \bar{A} | I_1 | I_2 | I_3 | I_4 | I_5 | I_6 |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| I_1 | 1 | 2.999 | 4.002 | 0.501 | 0.668 | 0.500 |
| I_2 | 0.333 | 1 | 1.500 | 1.667 | 0.334 | 0.198 |
| I_3 | 0.250 | 0.667 | 1 | 0.143 | 1.665 | 0.126 |
| I_4 | 1.996 | 0.600 | 6.993 | 1 | 2.000 | 0.752 |
| I_5 | 1.497 | 2.994 | 0.601 | 0.500 | 1 | 0.668 |
| I_6 | 2.000 | 5.051 | 7.937 | 1.330 | 1.497 | 1 |

类似地, 给出方案A、B和C分别对各单一准则

确定的随机判断矩阵分别为 A_1 、 A_2 、 A_3 、 A_4 、 A_5 、 A_6 , 见表6~11.

表6 确定的随机判断矩阵 A_1
Tab.6 Estimated random judgment matrix A_1

| A_1 | 企业A | 企业B | 企业C |
|-------|-------|-------|-------|
| 企业A | 1 | 4.001 | 0.752 |
| 企业B | 0.250 | 1 | 0.202 |
| 企业C | 1.330 | 4.950 | 1 |

表7 确定的随机判断矩阵 A_2
Tab.7 Estimated random judgment matrix A_2

| A_2 | 企业A | 企业B | 企业C |
|-------|-------|-------|-------|
| 企业A | 1 | 2.002 | 7.003 |
| 企业B | 0.500 | 1 | 6.001 |
| 企业C | 0.143 | 0.167 | 1 |

表8 确定的随机判断矩阵 A_3
Tab.8 Estimated random judgment matrix A_3

| A_3 | 企业A | 企业B | 企业C |
|-------|-------|-------|-------|
| 企业A | 1 | 0.502 | 2.002 |
| 企业B | 1.992 | 1 | 2.998 |
| 企业C | 0.500 | 0.334 | 1 |

表9 确定的随机判断矩阵 A_4
Tab.9 Estimated random judgment matrix A_4

| A_4 | 企业A | 企业B | 企业C |
|-------|-------|-------|-------|
| 企业A | 1 | 1.998 | 0.253 |
| 企业B | 0.501 | 1 | 0.333 |
| 企业C | 3.953 | 3.003 | 1 |

表10 确定的随机判断矩阵 A_5
Tab.10 Estimated random judgment matrix A_5

| A_5 | 企业A | 企业B | 企业C |
|-------|-------|-------|-------|
| 企业A | 1 | 0.665 | 3.998 |
| 企业B | 1.504 | 1 | 7.002 |
| 企业C | 0.250 | 0.143 | 1 |

表11 确定的随机判断矩阵 A_6
Tab.11 Estimated random judgment matrix A_6

| A_6 | 企业A | 企业B | 企业C |
|-------|-------|-------|-------|
| 企业A | 1 | 1.503 | 2.252 |
| 企业B | 0.665 | 1 | 0.998 |
| 企业C | 0.444 | 1.002 | 1 |

4.3 计算权重向量及一致性检验

对确定的随机判断矩阵 \bar{A} 、 A_1 、 A_2 、 A_3 、 A_4 、 A_5 、 A_6 计算权重向量(特征值向量)并进行一致性检验, 结果列于表12中.

针对确定的随机判断矩阵 \bar{A} 采用规范列平均法计算权重向量(特征向量), 得(0.153 0.105

0.039 0.237 0.157 0.309). 由此计算得到最大特征矩阵 $\lambda_{\max} = 6.534$. 计算一致性指标 $I_c = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = 0.107$, 查表 2, 并计算一致性比例 $R_c = I_c / I_r = 0.086$.

可见一致性比例 $R_c \leq 0.1$, 随机判断矩阵 \bar{A} 具有满意一致性.

$A_1 \sim A_6$ 算法同上, 结果见表 12.

表 12 权重向量和一致性检验结果

Tab.12 Weight vector and consistency check results

| 矩阵 | 权重向量 (特征值向量) | λ_{\max} | I_c | R_c | 检验结果 |
|-----------|---------------------------------------|------------------|--------|--------|-------|
| \bar{A} | (0.153 0.105 0.039 0.237 0.157 0.309) | 6.534 | 0.107 | 0.086 | 满意一致性 |
| A_1 | (0.392 0.100 0.508) | 3.001 | 0.0003 | 0.0003 | 满意一致性 |
| A_2 | (0.580 0.350 0.070) | 3.034 | 0.017 | 0.029 | 满意一致性 |
| A_3 | (0.298 0.538 0.164) | 3.010 | 0.005 | 0.009 | 满意一致性 |
| A_4 | (0.225 0.156 0.619) | 3.016 | 0.053 | 0.091 | 满意一致性 |
| A_5 | (0.355 0.561 0.084) | 3.003 | 0.001 | 0.003 | 满意一致性 |
| A_6 | (0.478 0.279 0.244) | 3.018 | 0.009 | 0.016 | 满意一致性 |

4.4 确定最优方案

由 2.3 节可以分别得到各准则的相对权重 (0.153 0.105 0.039 0.237 0.157 0.309). 此结果反映出在虚拟企业所面临的众多风险中, 合作关系风险对其影响最大, 包括信用风险、道德风险和利润分配风险等; 投资风险对其影响也很大, 包括核心能力外泄风险和信息共享风险等; 市场风险、金融风险和能力风险的影响程度比较接近, 而政治风险被认为是影响比较小的因素.

由 2.3 节还可以得到方案 A、B 和 C 对于各准则的特征向量 (0.392 0.580 0.298 0.225 0.355 0.478)^T、(0.100 0.350 0.538 0.156 0.561 0.279)^T 和 (0.508 0.070 0.164 0.619 0.084 0.244)^T.

由层次总排序式 (4) 分别计算出方案 A、B 和 C 的总得分 U_1 、 U_2 和 U_3 .

$$\begin{aligned}
 U_1 &= (w_1, w_2, \dots, w_5) \begin{pmatrix} c_{11} \\ c_{21} \\ \vdots \\ c_{51} \end{pmatrix} = 0.389 \\
 U_2 &= (w_1, w_2, \dots, w_5) \begin{pmatrix} c_{12} \\ c_{22} \\ \vdots \\ c_{52} \end{pmatrix} = 0.284 \\
 U_3 &= (w_1, w_2, \dots, w_5) \begin{pmatrix} c_{13} \\ c_{23} \\ \vdots \\ c_{53} \end{pmatrix} = 0.321
 \end{aligned}$$

由此总排序结果为 (U_2, U_3, U_1). 可以看出, 方案 B 使虚拟企业组建所面临的风险最小, 方案 C 次之, 方案 A 所带来的风险最大. 具体来看, 方案 B 所带来的风险主要来源于政治风险和能力风险, 合作关系风险、投资风险、市场风险和金融风险对虚拟企业的作用较小. 与准则层的相对权重进行比较, 可知在组建方案 B 下虚拟企业的风险较小. 在方案 B 下, 应注意政策风险、社会风险、质量风险、技术风险等对虚拟企业的影响. 对于方案 C, 虚拟企业的风险主要来源于影响较大的投资风险, 其次来源于市场风险, 其它风险带来的影响较小. 于是, 若在方案 C 下组建虚拟企业, 则应注意防范投资风险, 包括核心能力外泄风险、信息共享风险和系统集成风险等. 由方案 A 组建虚拟企业带来的风险最大, 原因在于该方案下的风险主要来源于合作关系风险和 市场风险, 其中合作关系风险对虚拟企业的组建影响最大. 于是, 在方案 A 下组建虚拟企业, 则应注意防范合作关系风险, 包括信用风险、道德风险和利润分配风险等. 综合以上分析, 在本例的情况下, 方案 B 是组建虚拟企业的最佳选择, 在该方案下才能使虚拟企业的风险尽可能地降低, 保证其组建成功.

5 结论 (Conclusion)

在虚拟企业组建的过程中, 运用随机层次分析法 (SAHP) 可以弥补专家咨询法等带来不确定性的不足. 利用随机模拟方法来确定随机判断矩阵, 进而运用层次分析法 (AHP) 确定最优方案. 从而更好地将定性与定量方法相结合, 科学地在多个指标、存在不确定性的方案中选择最优的方案, 有效地解决虚拟企业组建中的风险评价问题.

参考文献 (References)

- [1] Ip W H, Huang M, Yung K L, et al. Genetic algorithm solution for a risk-based partner selection problem in a virtual enterprise[J]. *Computers & Operations Research*, 2003, 30(2): 213-231.
- [2] 卢福强, 黄敏, 王兴伟. 虚拟企业风险管理的组织化分布式决策模型 [J]. *系统工程学报*, 2009, 24(6): 694-700.
Lu F Q, Huang M, Wang X W. Organizational distributed decision making model for risk management of virtual enterprise[J]. *Journal of Systems Engineering*, 2009, 24(6): 694-700.
- [3] 裴菁, 汪定伟. 动态联盟中多方案伙伴挑选问题的软计算算法 [J]. *系统工程学报*, 2002, 17(2): 121-125.
Pei J, Wang D W. Soft computing method for multi-plan in partner selection of dynamic alliances[J]. *Journal of Systems Engineering*, 2002, 17(2): 121-125.
- [4] 李向阳, 王颜新, 项同德. 虚拟企业组建模型化的框架 [J]. *管理科学*, 2003, 16(2): 18-21.
Li X Y, Wang Y X, Xiang T D. A modeling framework for virtual enterprise construction[J]. *Management Science in China*, 2003, 16(2): 18-21.
- [5] 卢福强, 黄敏, 王兴伟. 虚拟企业风险管理的机会约束规划模型及算法 [J]. *信息与控制*, 2009, 38(4): 399-405.
Lu F Q, Huang M, Wang X W. Chance-constraint programming model and algorithm for risk management of virtual enterprise[J]. *Information and Control*, 2009, 38(4): 399-405.
- [6] 韩伯棠. 管理运筹学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2009.
Han B T. *Management operation research*[M]. Beijing: Higher Education Press, 2009.
- [7] 刘晓君, 孟凡文. 模糊层次分析法在房地产投资风险评价中的应用 [J]. *西安建筑科技大学学报: 自然科学版*, 2005, 37(1): 135-137.
Liu X J, Meng F W. Application of AHP-fuzzy method in the appraisal of the risk of real estate investment[J]. *Journal of Xi'an University of Architecture & Technology: Natural Science Edition*, 2005, 37(1): 135-137.
- [8] Huang M, Ip W H, Yang H M, et al. A fuzzy synthetic evaluation embedded tabu search for risk programming of virtual enterprises[J]. *International Journal of Production Economics*, 2008, 116(1): 104-114.
- [9] Yang Z Q, Lin H. Assessment of knowledge shared risk in virtual enterprise based on modified analytic hierarchy process[C]//*Proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Information and Automation*. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2008: 20-23.
- [10] 余鲲鹏, 郭东强. 虚拟企业知识共享风险的模糊综合评价 [J]. *科技管理研究*, 2009(6): 119-121.
Yu K P, Guo D Q. A fuzzy synthetic evaluation for knowledge sharing risk in virtual enterprise[J]. *Science and Technology Management Research*, 2009(6): 119-121.
- [11] 刘宝碇, 赵瑞清. 随机规划与模糊规划 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1998.
Liu B D, Zhao R Q. *Stochastic programming and fuzzy programming*[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1998.
- [12] Liu Y K, Liu B D. A class of fuzzy random optimization: Expected value models[J]. *Information Sciences*, 2003, 155(1/2): 89-102.

作者简介:

卢福强 (1980-), 男, 博士, 讲师. 研究领域为虚拟企业风险管理, 智能算法设计.

薛岩松 (1964-), 男, 博士, 研究员. 研究领域为教育经济与管理.

