

AHP 的改进算法及其在供应链中的应用

杨继君¹, 许维胜², 吴启迪², 孙 靖¹

YANG Ji-jun¹, XU Wei-sheng², WU Qi-di², SUN jing¹

1. 同济大学 经济与管理学院, 上海 201804

2. 同济大学 电子与信息工程学院, 上海 201804

1. School of Economics & Management, Tongji University, Shanghai 201804, China

2. School of Electronics and Information Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China

E-mail: peteryang810@sohu.com

YANG Ji-jun, XU Wei-sheng, WU Qi-di, et al. Improved AHP and its application in supply chain. *Computer Engineering and Applications*, 2008, 44(10): 205-208.

Abstract: With the extensive application of AHP in group decision making, some defects of it emerged. For example, when AHP is applied, incomplete matrix, different weights between experts and reliability of matrix are not enough taken into account. Owing to the defects of existing method, after possibility-satisfiability degree in multi-objective decision is introduced to compatibility check of AHP, the authors put forward an improved AHP based on possibility-satisfiability degree. Based on analysis of evaluation factors in supply chain nodal enterprise selection, the two layers of evaluating indexes are proposed. The model of supply chain enterprise selection by using improved AHP is set up. Finally, a case of this model's application is presented in order to prove efficient of the improved AHP and feasible of the model.

Key words: improved AHP; nodal enterprise selection; group decision making; possibility-satisfiability degree

摘 要: 针对层次分析法(AHP)在群组决策应用中的不足, 例如当 AHP 算法实际应用时, 对其残缺矩阵、专家权重不同以及可信度等情况考虑不足, 故将多目标决策中的可能满意度引入相容性检验与改进, 提出了基于可能满意度的判断矩阵相容性修正及排序的改进 AHP 算法。接着分析影响节点企业选择的诸多因素, 提出了两层评价指标体系。在此基础上应用改进的 AHP 算法建立节点企业选择模型。最后所采用一个实际的案例来验证所提算法的有效性和模型的可行性。

关键词: 改进层次分析法; 节点企业选择; 群组决策; 可能满意度

文章编号: 1002-8331(2008)10-0205-04 文献标识码: A 中图分类号: TP391

1 引言

供应链管理^[1]就是核心企业将各个节点企业进行整合, 以发挥供应链的整体竞争优势。能否选择正确的节点企业关系到联盟组织的成败。因此对核心企业来说, 对节点企业的选择是供应链管理众多决策中最为重要的环节之一, 是构成供应链及维护供应链的畅通首先要碰到问题。而层次分析法是解决该问题简单而有效的方法。层次分析法^[2]是一种定量与定性相结合的多目标决策分析方法, 其核心是将决策者、专家的经验判断给与量化, 从而为决策者提供定量形式的决策依据。在目标结构复杂且缺乏必要数据的情况下, 该方法尤为有效。基于上述优点, 所以 AHP 算法在供应链的伙伴选择中得到广泛应用。但是针对该算法在实际应用中存在的不足提出了改进的 AHP 算法。接着在分析影响节点企业选择诸多因素后确定了评价指标体系。在此基础上应用改进的 AHP 算法建立节点企业选择模型。

2 改进的 AHP 算法

AHP 算法应用于实际决策时, 往往存在一些不足之处如

在群组决策中, 该算法对其残缺矩阵、专家权重不同以及修正后判断矩阵的可信度等情况考虑不足, 同时修正迭代步长的选取也有较大的盲目性。为了解决 AHP 算法的上述不足, 故将多目标决策中的可能满意度引入相容性检验与改进, 提出了基于可能满意度的群组决策相容性修正及排序的改进 AHP 算法。

2.1 AHP 检验指标和判断矩阵的可能满意度

(1) 关于相容性的几个概念

定义 1 设 AHP 中有一个决策准则 Q , 支配 $n \geq 2$ 个子准则, 现有 $m \geq 2$ 个专家进行评价, $\gamma = (\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_m)$ (其中 $\sum_{i=1}^m \gamma_i = 1$) 为各专家的权重, 则记 $Q(n, m, \gamma)$ 为一个群组决策。

定义 2 H_{R_i} 为 n 阶正互反矩阵集合, 设 $A, B \in H_{R_i}$, $e^T A \cdot B^T e$ 称为 A, B 的相容度, 记为 $C(A, B)$ 。其中 $e^T = (1, 1, \dots, 1)$, $A \cdot B^T$ 是 A 与 B^T 的 Hadamard 乘积。

定义 3 在群组决策 $Q(n, m, \gamma)$ 中, $A^i \in H_{R_i}$ 为第 i 专家的判断矩阵, $w^i = (w_1^i, \dots, w_n^i)^T$ 为 A^i 的排序向量, $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$

基金项目: 上海市科委重点资助项目 (No. 04JC14073)。

作者简介: 杨继君 (1973-), 男, 博士生, 研究方向: 物流与供应链管理、博弈论。

收稿日期: 2007-07-17 修回日期: 2007-10-09

为群组决策的综合排序向量, 则定义矩阵 $W^i = w_j^i / w_j^i$ 为 A^i 的特征矩阵, 定义矩阵 $W = w_j / w_j$ 为 $Q(n, m, \gamma)$ 的综合特征矩阵。

(2)非残缺矩阵与残缺矩阵

对于非残缺矩阵: 设 $A, B \in H_{R_n}, SQ(A, B) = [C(A, B) - n] / n$ ($n-1$) 为矩阵 A, B 的相容性指标。在实际决策中, 往往允许专家就不确定或不愿发表意见的敏感性问题的保留意见, 这种情况就称为残缺判断。残缺判断矩阵的残缺项一般用 0 表示, 其指标为

$$SQ(A, B) = \frac{C(A, B) - n}{n(n-1) - \Delta_{A \cdot B^T}} \quad (1)$$

其中 $\Delta_{A \cdot B^T}$ 为 A 与 B^T 的 Hadamard 乘积中为 0 的个数。

在群组决策 $Q(n, m, \gamma)$ 中, $A^i \in H_{R_n}$ 为第 i 专家的判断矩阵, W^i 为 A^i 的特征矩阵, W 为综合特征矩阵, 则 A^i 的一致性指标如下:

$$SQ(A^i, W^i) = \frac{C(A^i, W^i) - n}{n(n-1) - \Delta_{A^i \cdot W^i}} \quad (2)$$

第 i 个专家在群组决策 $Q(n, m, \gamma)$ 中的相容性指标为:

$$SQ(A^i, W) = \frac{C(A^i, W) - n}{n(n-1) - \Delta_{A^i \cdot W}} \quad (3)$$

2.2 判断矩阵的可能满意度

可能满意度方法(Possibility-Satisfiability, PS)是一种综合考虑主观愿望与客观约束的多目标决策方法。可能度代表目标的实现程度, 用 $P \in [0, 1]$ 表示。当 $P=0$ 表示目标无法实现或处于初始状态; 当 $P=1$ 表示目标一定能够实现或已经实现。满意度则代表主观满意程度, 用 $S \in [0, 1]$ 表示。当 $S=0$ 为对结果完全不满意; $S=1$ 为对结果完全满意。可能满意度方法通过某种算法将满意度与可能度合成一个综合指标, 用 $PS \in [0, 1]$ 表示。这个指标综合体现可能度与满意度之间的关系, 通过优化 PS 可以解决可能度与满意度之间的矛盾。将这一思想应用于群组决策中判断矩阵相容性修正, 在尽可能保证可信度的前提下获得满意的相容性。

(1)可能度

群组决策中的可能度是与各专家判断矩阵和其综合特征矩阵的相容度相对应的。其综合相容性指标如下:

$$SQ(n, m, \gamma) = \sum_{i=1}^m \gamma_i SQ(A^i, W) \quad (4)$$

在初始状态时其综合相容性指标为 $SQ^{(0)}(n, m, \gamma)$, 经过 k 次调整后的相容性指标为 $SQ^{(k)}(n, m, \gamma)$ 。根据文献[5]有 $SQ^{(0)}(n, m, \gamma) \geq SQ^{(k)}(n, m, \gamma) \geq 1$ 。对应的可能度公式如下:

$$P(k) = \frac{SQ^{(0)}(n, m, \gamma) - SQ^{(k)}(n, m, \gamma)}{SQ^{(0)}(n, m, \gamma) - 1} \quad (5)$$

(2)满意度

群组决策中的满意度可以用各专家原始判断矩阵与调整后判断矩阵之间的偏差来衡量。综合偏差指标为:

$$\Pi^{(k)} Q(n, m, \gamma) = \sum_{i=1}^m \gamma_i SQ(A^{i(0)}, A^{i(k)}) \quad (6)$$

显然, $\Pi^{(k)} Q(n, m, \gamma) \geq 1$, 当 $k=0$ 时取等号。 $\Pi^{\max} Q(n, m, \gamma)$ 为调整过程中最大综合偏差指标。在群组决策中满意度指标可用如下公式表示:

$$S(k) = \frac{\Pi^{\max} Q(n, m, \gamma) - \Pi^{(k)} Q(n, m, \gamma)}{\Pi^{\max} Q(n, m, \gamma) - 1} \quad (7)$$

(3)可能满意度

可能满意度是在群组决策中依照某种算法进行综合的一个指标, 它表示调整后的判断矩阵的相容性及对原始信息的偏离程度。此处采用文献[6]中的乘法并合算法。其满意度计算公式如下:

$$PS(k) = P(k)^{(1+\alpha)} S(k)^{(1-\alpha)} \quad (8)$$

其中, $\alpha \in [0, 1]$ 为权重调整因子, 一般情况下取 0, 表示对可能度和满意度同等重视。当 $PS=1$ 时表示判断矩阵完全相容且完全可信; 当 $PS=0$ 时表示没有对原始判断矩阵进行任何调整。

2.3 相容性修正及排序算法

(1)最小总相容度群组决策排序算法

在采用 AHP 进行群组决策时, 综合排序向量显然应该让总相容度之和达到最小, 即 $CI(Q) = \min(F(w))$, 于是群组决策排序问题就转化为下面规划问题:

$$\begin{cases} \min F(w) = SQ(n, m, \gamma) = \sum_{i=1}^m \gamma_i SQ(A^i, W) = \\ \sum_{i=1}^m \gamma_i \frac{C(A^i, W) - n}{n(n-1) - \Delta_{A^i \cdot W^i}} \\ \sum_{j=1}^n w_j = 1 \end{cases} \quad (9)$$

$$C(A^i, W) = e^T A^i \cdot W^T e = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij}^i \frac{w_j}{w_i} \quad (10)$$

考虑到 W 为非残缺矩阵, 故有 $\Delta_{A^i \cdot W^i} = \Delta_{A^i}$, 将式(10)代入式(9)整理得:

$$\begin{cases} \min F(w) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^n \tau_i a_{ij}^i \frac{w_j}{w_i} - \Phi \\ \sum_{i=1}^n w_i = 1 \end{cases} \quad (11)$$

其中, $\tau_i = \frac{\gamma_i}{n(n-1) - \Delta_{A^i}}, \Phi = \sum_{i=1}^m \gamma_i \frac{n}{n(n-1) - \Delta_{A^i}}$ 规划问题(11)和最小偏差的排序模型是完全相同的, 类似文献[7]可以证明规划问题(11)存在唯一极小点 w^* 。

(2)对可能满意度的相容性修正及排序算法

在群组决策 $Q(n, m, \gamma)$ 中, A^i 被认为是 W 受扰动后的矩阵,

即 $a_{ij}^i = \frac{w_j}{w_i} \varepsilon_{ij}^i, \varepsilon_{ij}^i \geq 0$ 且满足如下关系式:

$$\begin{cases} \varepsilon_{ij}^i = \frac{1}{\varepsilon_{ji}^i}, a_{ij}^i > 0 \\ \varepsilon_{ij}^i = \varepsilon_{ji}^i = 0, a_{ij}^i = 0 \end{cases} \quad (12)$$

式(12)为在偏离原始判断最小的前提下获得相容可接受的判断矩阵, 本文基于可能满意度设计最大偏差项调整地加权平均算法。设 k 为迭代次数, SQ^* 为相容性指标临界值, 其具体算法如下:

步骤 1 令 $k=0, A^{i(0)} = (a_{ij}^i)$;

步骤 2 利用上面介绍的最小总相容度群组决策排序算法获得综合排序向量 $w^{(k)}$, 并计算其综合相容性指标 $SQ^{(k)}(n, m, \gamma)$;

步骤 3 若 $SQ^{(k)}(n, m, \gamma) \leq SQ^*$, 则转入步骤 6, 否则执行下一步;

步骤 4 计算各专家的偏差矩阵 $E^{(k)} = (\varepsilon_{ij}^{i(k)})$, 其中 $\varepsilon_{ij}^{i(k)} =$

$$a_{ij}^{(k)} = \frac{w_j^{(k)}}{w_i^{(k)}}; \text{ 设 } \varepsilon_{\max}^{(k)} = \max(\varepsilon_{ij}^{(k)}), \text{ 则令 } E^{(k)} = (\varepsilon_{ij}^{(k)}) = \begin{cases} \varepsilon_{ij}^{(k)}, & \text{当 } i=i^*, j=j^* \\ \varepsilon_{ij}^{(k)}, & \text{其他} \end{cases}$$

其中, $\theta \in [0, 1]$ 为加权系数。其值越小收敛越快, 但偏离原始偏好越远, 反之, 可以保留较多原始偏好, 但收敛速度较慢。

此处采用可能满意度来动态确定 θ 。具体做法为: 在每次调整过程中, θ 均取固定步长, 如 0.05, 依次从 0 变化到 1; 每次调整都按照公式(5)(7)(8)计算改进矩阵的可能满意度 $PS(k)$; 最后选取可能满意度最大的 θ 作为本次调整的最优加权系数 θ^* ;

步骤 5 计算 $A^{(k+1)} = (a_{ij}^{(k+1)})$;

步骤 6 $k=k+1$, 转入步骤 3;

步骤 7 输出 $k, A^{(k)}, SQ^{(k)}(n, m, \gamma), w^{(k)}$ 。

3 基于改进 AHP 算法的节点企业选择模型

3.1 节点企业选择的评价指标体系选择

参考对收集到的各种关于供应链节点企业选择要求的分析^[8,9], 确定了对节点企业选择影响比较大的相关要素指标项。指标体系模型如图 1 所示。图 1 为两层指标体系, 第一层为主要因素集, 第二层为细化指标集。

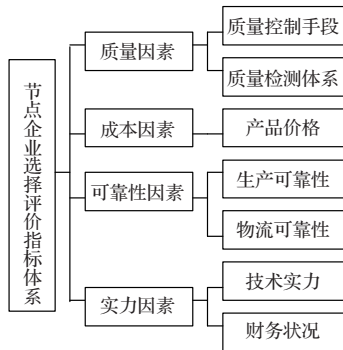


图 1 供应链节点企业评价指标体系模型

3.2 评价指标体系的量化及归一化处理

节点企业的选择问题涉及到定量和定性两类指标。为了增强可比性和消除不同量纲的影响, 对所选择的各类指标需要进行必要的量化和归一化, 其具体方法参见文献[10]。

(1) 多级指标的合成

对于上述采用两层指标体系的评价系统, 首先确定第二层细化指标的权重, 接着分别对其量化和归一化处理, 然后对各细化指标评价价值进行加权累加, 最后进行一次归一化处理求得第一层指标。其合成公式如下:

$$V_i^C = \frac{\sum_{t \in C} w_t V_i^t}{\max_{j \in \psi} (\sum_{t \in C} w_t V_j^t)} \quad (13)$$

其中, ψ 表示全体候选节点企业的集合; w_t 为 C 的二层细化指标 t 的权重; V_i^t 为候选节点企业 i 对二层指标 t 的归一化评价价值。

(2) 判断矩阵一致性和相容性检验

T.L.Saaty 教授分别于 1980 年在文献[4]和 1994 年在文献[11]提出了 AHP 中的两种检验即一致性检验和相容性检验。一致性检验主要用于判断单个专家判断矩阵的可接受程度, 一般

认为当一致性比率指标 $CR < 0.1$ 时, 其判断矩阵的一致性是可以接受的。而相容性检验主要用于群组决策, 在群组决策中, 有多个专家参与决策, 各自给出判断矩阵, 然后求其综合排序向量, 但当专家的分歧较大时, 勉强进行折中、综合, 其有效性值得考虑, 这就需要相容性检验来衡量综合排序向量的可接受程度。目前群组决策应用中 AHP 法判断矩阵相容性算法普遍存在不足(不足之处见第 2 章说明), 故对相容性检验算法进行了改进(详见第 2 章改进的 AHP 算法)。

4 案例应用

假设某供应链核心企业就某一零部件采购业务选择最优合作节点企业。现有 10 家候选企业即 $S = \{s_1, s_2, \dots, s_{10}\}$ 供其选择决策。

(1) 确定指标权重

首先确定图 1 中的第一层指标的权重。邀请 2 位专家(权重相同)分别对所选定的 7 项指标进行两两比较, 获得判断矩阵如下:

$$A^1 = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 2 & 5 & 5 & 3 & 7 \\ 1/3 & 1 & 1/2 & 4 & 3 & 1 & 5 \\ 1/2 & 2 & 1 & 5 & 3 & 2 & 7 \\ 1/5 & 1/4 & 1/5 & 1 & 1/2 & 1/4 & 3 \\ 1/5 & 1/3 & 1/3 & 2 & 1 & 1/4 & 3 \\ 1/3 & 1 & 1/2 & 4 & 4 & 1 & 5 \\ 1/7 & 1/5 & 1/7 & 1/3 & 1/3 & 1/5 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A^2 = \begin{bmatrix} 1 & 4 & 2 & 5 & 6 & 3 & 7 \\ 1/4 & 1 & 1/3 & 3 & 3 & 1/3 & 4 \\ 1/2 & 3 & 1 & 4 & 5 & 1 & 6 \\ 1/5 & 1/3 & 1/4 & 1 & 1 & 1/3 & 3 \\ 1/6 & 1/3 & 1/5 & 1 & 1 & 1/4 & 1 \\ 1/3 & 3 & 1 & 3 & 4 & 1 & 5 \\ 1/7 & 1/4 & 1/6 & 1/3 & 1 & 1/5 & 1 \end{bmatrix}$$

下面的计算采用 MATLAB7.1 编制程序, 按照 2.3 节介绍的步骤进行。对判断矩阵进行一致性检验:

$$\lambda_{\max}^1 = 7.2761, CR^1 = 0.035 < 0.1$$

$$\lambda_{\max}^2 = 7.2711, CR^2 = 0.034 < 0.1$$

两个判断矩阵满足一致性比率要求。当某个判断矩阵无法满足 CR 要求时, 可以要求相应专家对判断矩阵进行调整。

运用 2.3 节算法(设相容性指标临界值 $SQ^* = 1.010$)进行相容性修正, 判断矩阵相容性由初始值 1.0617 经过 17 次迭代后达到 $1.0098 < SQ^* = 1.010$ (若采用文献[12]介绍的方法进行调整, 需要经过 50 次迭代后才达到要求), 满足要求后停止迭代, 其指标权重为 $w = (0.3430, 0.1337, 0.2214, 0.0516, 0.0496, 0.1678, 0.0330)$ 。

(2) 筛选排序

由于候选企业数量比较多, 直接采用 AHP 法工作量比较大, 首先采用粗选模式淘汰 3 家。

对于定量指标以价格评价为例。假设 10 家候选企业提出的报价如表 1, 对其进行量化和归一化处理。假设核心企业能够接受的最高报价为 145.00 元。

从上面的价格评价结果得知: 候选企业 S_2, S_3 和 S_{10} 可直接淘汰。

对于定性指标, 以企业实力为例。假设企业实力各因素指标(技术实力、财务状况、管理水平)的权重分别为 0.2731、

表1 候选企业报价及价格评价

企业序号	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈	S ₉	S ₁₀
标价	111.40	146.00	163.48	115.50	115.00	124.50	134.80	121.00	138.70	148.40
价格评价	1.00	-0.03	-0.55	0.88	0.89	0.61	0.30	0.71	0.19	-0.10

0.341 9、0.385 0,两位专家(权重相等)分别就这三项指标对剩余的7家企业进行0-1二元两两比较。其比较矩阵如下:

$$A^1 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad A^2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

进行归一化处理,可得到候选企业如下实力评价表2。对图1所给指标类似价格和实力指标进行量化和归一化处理,可以得到7家候选企业各项指标的评价值如表3。从表3可得7家企业的综合排序为:Z(S₅)>Z(S₈)>Z(S₄)>Z(S₆)>Z(S₇)>Z(S₉)>Z(S₁),故企业S₅为最佳合作节点企业。

表2 7家候选企业的实力评价

企业序号	S ₁	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈	S ₉
技术实力	0.273 1	0.33	0.42	1.00	0.75	0.00	0.25
财务状况	0.341 9	0.00	0.67	0.83	1.00	0.17	0.50
管理水平	0.385 0	0.00	0.75	0.75	1.00	0.25	0.25
企业实力	0.10	0.68	0.91	1.00	0.17	0.36	0.55

表3 候选企业综合评价

企业序号	S ₁	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈	S ₉
质量评价	0.343 0	0.03	0.81	0.97	0.54	0.80	1.00
价格评价	0.133 7	1.00	0.88	0.89	0.61	0.30	0.71
可靠性评价	0.221 4	0.72	0.71	1.00	0.42	0.09	0.97
订货提前期	0.051 6	0.86	0.42	0.26	1.00	0.89	0.79
担保与赔偿	0.049 6	1.00	0.11	0.90	0.89	0.66	0.34
历史绩效	0.167 8	0.19	0.19	1.00	0.73	1.00	0.62
企业实力	0.033 0	0.10	0.68	0.91	1.00	0.17	0.36
综合评价 Z(S _i)	0.47	0.68	1.00	0.66	0.63	0.89	0.54

5 结语

本文针对 AHP 方法在群组决策应用中的不足,设计了基于可能满意度的残缺举证相容性修正及排序的改进 AHP 算(上接 197 页)

4 结论

本文给出了用于求解装配线平衡的遗传算法。采用改进后的顺序交叉算子保留父代染色体中基因的相对位置,使子代有良好的可行性。交叉概率一般取 0.8~0.95 之间,变异操作中待变异的基因位的选取是基于随机的,变异概率一般取 0.3~0.5,取得了较好的效果。

分析了装配线平衡系统的功能和工作机理。并采用面向对象语言开发了装配线平衡系统。

将此系统用于某装配线的平衡,并依据平衡结果进行仿真,证明该算法效果较好。该系统将为提高装配线的生产效率和改进装配线提供技术依据。

参考文献:

[1] Watanabe T, Hashimoto Y, Nishikawa I, et al. Line balancing using

法,该算法同样适用于判断矩阵均为完全矩阵的情况。接着提出节点企业选择两层评价指标体系并建立了选择模型。案例表明,这一算法可以在保留较多原始信息的基础上,通过较少次数调整使不同专家判断矩阵之间的相容性达到指定要求,从而使核心企业做出更有效的决策,选出名副其实的企业合作伙伴,减少出错的机会。这样,在整条供应链上就可能实现强强联合。

参考文献:

[1] Holmberg S. A systems perspective on supply chain measurements[J]. International Journal of Distribution & Logistics Management, 2000, 30: 847-868.
 [2] Ivezić N. An analysis of a supply chain management agent architecture[J]. Multi-Agent Systems, 2000, 4(1): 201-204.
 [3] 马新安, 张列平, 冯芸. 供应链合作伙伴关系于合作伙伴选择[J]. 工业工程与管理, 2000(4): 33-36.
 [4] Saaty T L. The analytic Hierarchy process [M]. New York: McGraw-Hill, 1980.
 [5] Xu Ze-shui, Wei Cui-ping. A consistency improving method in the analytic hierarchy process[J]. European Journal of Operational Research, 1999, 116(2): 443-449.
 [6] 张瀛, 王涣尘. P-S 辅助决策系统的开发与应用[J]. 系统工程理论与实践, 2002, 11(4): 324-329.
 [7] 王莲芬. 层次分析法引论[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 1989: 189-190.
 [8] 吴洲, 梁浩. 模糊决策在供应链伙伴选择中的应用[J]. 计算机工程与应用, 2001, 37(18): 165-167.
 [9] 贾东尧, 唐任仲, 丁祥海. 供应链合作伙伴的选择和评价[J]. 高技术通讯, 2004(9): 76-80.
 [10] 刘波, 孙林岩. 需求流动网-供应链创新模式[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005: 108-115.
 [11] Saaty T L. A ratio scale metric and compatibility of ratio scales: on the possibility of arrow's impossibility theorem [J]. Applied Mathematical Letter, 1994, 8(6): 51-57.
 [12] 董玉成, 陈义华, 王双. 基于相容性修正的群组决策排序算法[J]. 系统工程理论与实践, 2004, 24(10): 86-91.

a genetic model[J]. Control Eng Practice, 1995, 3(1): 69-76.
 [2] Ciobanu G. A branch-and-bound algorithm to solve an assembly line balancing problem[J]. Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research, 1977(4): 69-79.
 [3] Pang Chuan-Chen. An heuristic method for manufacturing assembly line balancing[J]. Western Electric Engineer, 1975, 19(4): 36-45.
 [4] Bhattacharjee T K. An heuristic approach to general assembly line balancing [J]. International Journal of Operations & Production Management, 1988, 8(6): 67-77.
 [5] 周亮, 宋华明. 基于遗传算法的随机型生产线负荷平衡[J]. 机械制造, 2003, 41(463): 23-25.
 [6] Rubinovitz J, Levitin G. Genetic algorithm for assembly line balancing[J]. Int J Production Economics, 1995, 41: 343-353.
 [7] Amen M. Heuristic methods for cost oriented assembly line balancing: a survey[J]. Int J Production Economics, 2000, 68: 1-14.