

基于 FAHP 的综合评价系统及在软件外包中的应用^①

FAHP Based Evaluating System and Its Application in Software Outsourcing

吴明晖^{1,2} 曹梦筠¹ 王海涛¹

(1. 浙江大学城市学院 计算机与计算科学学院 浙江 杭州 310015;

2. 浙江大学 计算机学院 浙江 杭州 310027)

摘要: 软件外包的快速发展带来了新的机遇和挑战,只有选择得当的承包商才能获得理想的收益。因此,合理地选择承包商愈显重要。然而软件外包承包商的评价包含很多因素,合理确定不同因素的评价权重成为问题的关键。层次分析法 AHP 确定的权重能够较为客观、准确地反映决策者的决策策略。在另一方面,人们对事物的认识通常是模糊的,本文结合 AHP 方法和模糊理论,提出了基于模糊层次分析法 FAHP 的综合评价方法,并应用于软件外包的承包商评价。

关键词: 层次分析法 模糊理论 模糊层次分析法 综合评价 软件外包

1 引言

软件外包的发展给众多单位 IT 项目的实施带来新的机遇和挑战。通过软件外包,如果选择得当,则在开发时间、成本、质量等方面都将受益。但收益往往与风险并行,其中最大的风险来自对承包方的选择,一旦承包方选择失误,则预期的外包收益将无法取得,还有可能带来灾难性后果。

传统的承包方选择方法一般采取打分制,对各评价项单独给定一个确切的分数,然后通过加权得出一个综合分数作为承包商选择的依据。但在知识和信息大多是模糊的软件外包领域,各因素权重的确定和单个因素的评分都是难以准备反映决策者的真实意愿,往往导致结果不科学。因此,有必要开发一个基于模糊信息的综合评价系统来支持软件外包承包商的选择。结合层次分析法 AHP 和模糊理论,本文提出模糊层次分析法(Fuzzy AHP, FAHP)为软件外包的评价提供一种定性和定量相结合的方法。

2 基于 FAHP 的模糊综合评价原理及步骤

模糊理论是本世纪 60 年代美国科学家扎德教授创立^[1],该方法既有严格的定量化,也有对难以定量分

析的模糊现象进行主观上的定性描述,把定性描述和定量分析紧密地结合起来。模糊综合评价的基本思想是利用模糊线性变换原理和最大隶属值原则,考虑与被评价事物相关的各个因素,对其做出综合评价。一般各因素所占权重通常是由专家根据经验给出,带有强烈的主观性。层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP) 是由 Saaty, T. L 等人在 20 世纪 70 年代提出的一种多准则决策方法,它合理地将定性 & 定量的决策结合起来,按照思维、心理的规律把决策过程层次化、数量化。利用 AHP 方法将人的主观判断用数量形式表达和处理,尽量减少评判中的主观因素,是一种定量和定性相结合的决策方法^[2]。本文提出的 FAHP 方法结合 AHP 方法和模糊理论,利用 AHP 确定各指标的权重,从而克服一般模糊综合评价法的不足,为决策者提供更为可靠的评价结果。

2.1 FAHP 模糊综合评价具体步骤

2.1.1 模糊数及其隶属函数的确立

模糊数 $\tilde{N} = \{(x, \mu_{\tilde{N}}(x)), x \in R\}$ 是定义在实数论域 R 上的凸模糊集。 $\mu_{\tilde{N}}(x)$ 为隶属函数,可以有多种,常见的有三角隶属函数、梯形隶属函数等。以三角隶属函数³为例,其隶属函数为

① 基金项目:浙江省教育厅科研基金(20070149)

$$\mu_{\tilde{N}}(x) = \begin{cases} L(x) & l \leq x \leq m \\ G(x) & m \leq x \leq h \end{cases}$$

记: $\tilde{N} = (l, m, h), l \leq m \leq h$.

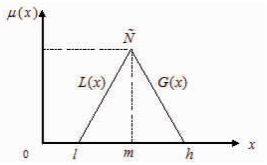


图1 三角模糊数的隶属函数

2.1.2 确定各指标权重

(1) 建立评价子目标集

设与被评价事物相关的因素有 m 个, 记作:

$U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$, 称之为因素集。

设所有可能出现的评语集有个 n , 记作:

$V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$, 称之为评语集。

(2) 用 AHP 方法确定因素重要程度模糊权重集

由于各个因素对事物的影响程度不尽相同, 不同因素在总评价中影响程度有区别。因此, 在进行综合评价时必须给出各个因素在总评价中的重要程度, 即在因素论域 U_i 上给出反应重要程度的权重集 $W = \{w_1, w_2, \dots, w_m\}$ 。

① 建立层次结构模型

分析问题的因果关系, 并将其分解成若干个层次。可分解为目标层(最高层)、准则层(中间层)和子准则层(最低层)。

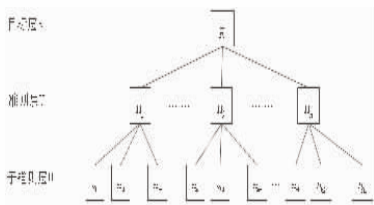


图2 层次结构图

② 构造出各层次中的所有判断矩阵

Saaty 等人根据心理学知识的研究建议采用两两比较方法, 采用 1-9 及其倒数作为标度。在 FAHP 中相应地采用模糊数 $\tilde{1} - \tilde{9}$ 的数字以及其倒数作为标度⁴, 其含义如表 1 所示。

表 1 与 Saaty 1-9 标度系统对应的模糊标度

重要程度	同等重要	稍微重要	明显重要	强烈重要	极端重要
1~9 标度	$\tilde{1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{5}$	$\tilde{7}$	$\tilde{9}$
隶属函数	(1,1,3)	(1,3,5)	(3,5,7)	(5,7,9)	(7,9,9)

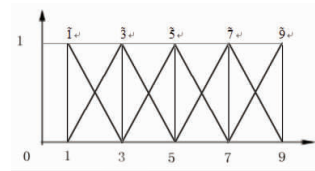


图3 三角模糊数 $\tilde{1} - \tilde{9}$ 的隶属函数

由专家评价得到模糊判断矩阵为:

$$\tilde{A}_{ij} = \begin{bmatrix} 1 & \tilde{a}_{12} & \dots & \tilde{a}_{1n} \\ \tilde{a}_{21} & 1 & \dots & \tilde{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{a}_{n1} & \tilde{a}_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

其中 \tilde{a}_{ij} 表示第 i 个因素对

第 j 个因素的相对重要程度。

③ 确定评价准则权重

给定截集 α ($0 \leq \alpha \leq 1$), 由三角模糊数的定义 $\tilde{a}_{ij}^\alpha = [\tilde{a}_{ij}^\alpha, \tilde{a}_{ji}^\alpha]$, 其中:

$$\tilde{a}_{ij}^\alpha = l_{ij} + \alpha(m_{ij} - l_{ij}), \tilde{a}_{ji}^\alpha = u_{ij} - \alpha(u_{ij} - m_{ij})$$

模糊判断矩阵 $\tilde{A}_{\alpha ij}$ 的满意程度可以用最优指数 μ^4 来估计, $\mu \in [0, 1]$ 。 μ 越大, 表明满意度较高, 最优指数是一个线性凸集 $\tilde{a}_{ij}^\alpha = \mu \tilde{a}_{ij}^\alpha + (1 - \mu) \tilde{a}_{ji}^\alpha$ 。

当给定 α 和 μ 时, 可以求出判断矩阵的最大特征值, 进而得到对应的特征向量。然后进行归一化处理, 即得到该系统的评价准则权重。

④ 层次单排序及一致性检验

上述构造的成对比较判断矩阵可以较客观的反映出一对因子的影响程度大小差别。但是难免包含一定程度的非一致性, 模糊判断矩阵 A 的元素还应当满足 $a_{ij}a_{jk} = a_{ik}, \forall i, j, k = 1, 2, \dots, n$ 成立。在得到判断矩阵的最大特征根 λ_{max} 和相对应的特征向量 ω (这个 ω 即是单排序权重) 后, 需要检验判断矩阵的一致性。

首先计算一致性指标 $CI, CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$ 。 CI 的值越大, 判断矩阵 A 的非一致性越严重。当 CI 略大于零时, A 具有较为满意的一致性; 否则, A 的一致性就较差。

对 $n = 1, \dots, 11$, Saaty 给出了平均随机一致性指标 RI 的值, 如表 2 所示。

表 2 平均随机一致性指标的值

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51

然后可以计算随机一致性比率 CR, 即 $CR = \frac{CI}{RI}$ 。

通常认为, $CR < 0.1$ 时判断矩阵具有较为满意的一致性, 否则应当重新调整判断矩阵, 直至具有满意的一致性为止。

⑤层次总排序及一致性检验。

由最高层到最低层, 逐层计算各层次中的诸因素关于总目标(最高层)的相对重要性权值。

(3) 建立各因素(指标)综合评价矩阵

把 m 个单因素评价集作为行即得到一个总的综合评价矩阵:

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

其中, γ_{ij} 表示从因素 u_i 着眼某事物能被评 v_j 的隶属程度, 也就是 $v_j \gamma_{ij}$ 为因素 u_i 对等级 v_j 的隶属度, 因而矩阵 R 的第 i 行 $R_i = \{r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{in}\}$, 为第 i 个因素 u_i 的单因素评价, 它是评语集 V 上的模糊子集。

为求模糊矩阵 R, 就要根据待评价的指标数据, 对每一个评价指标 $u_i, i = 1, 2, \dots, m$, 分别构造出它属于 v_j 的隶属函数。

(4) 确定综合评价模型, 求出模糊综合评价集

由因素的权重分配 W 和模糊关系矩阵 R 求模糊综合隶属评价集 B: $B = W \cdot R$ 。

考虑到所有因素的影响, 本文采用加权平均模型 $M(\cdot, +)^5$:

$$b_j = \sum_{i=1}^m (w_i \cdot r_{ij}), \quad (j = 1, 2, \dots, n);$$

$$\sum_{i=1}^m w_i = 1; \quad B = W \cdot R = (b_1, b_2, \dots, b_n)$$

其中 $b_j = \sum_{i=1}^m w_i \cdot b_{ij}, j = 1, 2, \dots, n$; 其中 \cdot 为模糊乘运算, $+$ 为模糊加运算。

(5) 计算方法的综合得分, 判断优劣

首先建立评价集合的隶属度函数 $\tilde{V} = \{\tilde{v}_1, \tilde{v}_2, \dots, \tilde{v}_n\}$ 。然后确定三角函数的截距 α , 最优指数 μ , 得到一个确定的评价集 V_μ^α 。用评价集乘以隶属度函数得到一个综合得分, 即: $S = B * V_\mu^\alpha$

继而, 将得分 S 和 V_μ^α 中的因子比较, 如果 $S > V_\mu^\alpha$ 且 $S \leq V_{(\mu+1)}^\alpha$, 则说明该项目的综合评价为等级 i,

如果是比较多个项目之间的优劣, 则比较各个项目的综合得分即可。

3 软件外包承包商评价实例分析

3.1 评价指标的建立

软件外包承包商的选择需要考虑多方面因素。通过对领域专家的调查并结合所获取到的承包商评估系统实例, 本文参考软件外包决策的模糊专家系统研究与开发⁶, 确定承包商评估建立如下评价指标:

表 3 综合评价表

管理方面的考虑 u_1	技术方面的考虑 u_2
能否提供较好的服务(维护) u_{11}	软件开发经验 u_{21}
承包商的信誉如何 u_{12}	可用人力资源 u_{22}
承包商是否已经取得业界认可的证书(如 ISO 质量认证、CMM2 级以上认证) u_{13}	费用要求合理性 u_{23}
外包经验 u_{14}	技术方案的可行性 u_{24}

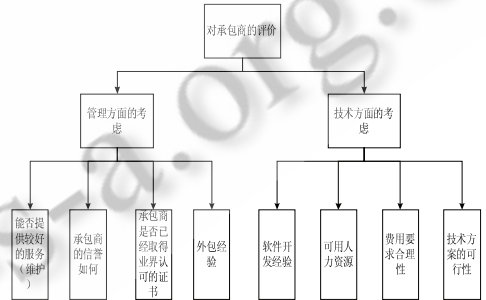


图 4 承包商综合评价层次图

3.2 评价过程

(1) 确定权重

假设某软件公司认为, 技术方面比管理方面显得稍微重要。得到如下比较判断矩阵:

表 4 一级判断矩阵表

U	U_1	U_2
U_1	1	$\tilde{3}^{-1}$
U^2	$\tilde{3}$	1

一致性检验: 用 1-9 代替模糊数 $\tilde{1}-\tilde{9}$, 计算得到

其中的最大特征根以及 CI, CR, 得到

$\lambda_{max} = 2, CI = CR = 0 < 0.1$ 。满足的一致性检验, 给出的数据基本一致。

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} (1,1,1) & (5^{-1}, 3^{-1}, 1^{-1}) \\ (1,3,5) & (1,1,1) \end{bmatrix}$$

给定截距 $\alpha = 0.5$, 最优指数 $\mu = 0.5$ 。因此得到判断矩阵 A 和权重 w 如下

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 7/15 \\ 3 & 1 \end{bmatrix}, w = (0.284, 0.715)。$$

同理假设 2 级各子目标相对于 u_1 的权重向量如下:

表 5 二级判断矩阵表 1

U_1	U_{11}	U_{12}	U_{13}	U_{14}
U_{11}	1	$\tilde{3}^{-1}$	$\tilde{5}^{-1}$	$\tilde{1}$
U_{12}	$\tilde{3}$	1	$\tilde{1}$	$\tilde{5}$
U_{13}	$\tilde{5}$	$\tilde{1}$	1	5
U_{14}	$\tilde{1}$	$\tilde{5}^{-1}$	$\tilde{5}^{-1}$	1

表 6 二级判断矩阵表 2

U_2	U_{21}	U_{22}	U_{23}	U_{24}
U_{21}	1	$\tilde{5}$	$\tilde{3}$	$\tilde{3}^{-1}$
U_{22}	$\tilde{5}^{-1}$	1	$\tilde{5}^{-1}$	$\tilde{7}^{-1}$
U_{23}	$\tilde{3}^{-1}$	$\tilde{5}$	1	$\tilde{3}^{-1}$
U_{24}	$\tilde{3}$	$\tilde{7}$	$\tilde{3}$	1

同样我们对上面的数据作一致性检验, 得到:

$$\lambda_{1max} = 4.033, CI_1 = 0.011, CR_1 = 0.012,$$

$$\lambda_{2max} = 4.228, CI_2 = 0.076, CR_2 = 0.084,$$

都满足 $CR < 0.1$, 因此认为满足一致性检验, 数据一致。

根据上面的给定截距 $\alpha = 0.5$, 最优指数 $\mu = 0.5$, 可以计算出两个权重如下:

$$w_1 = (0.112, 0.375, 0.425, 0.089)$$

$$w_2 = (0.283, 0.051, 0.185, 0.481)$$

(2) 建立评价集 $V = \{v_1, v_2, v_3, v_4\}$ {优秀, 良好, 中等, 差}, 其三角隶属函数如图 5 所示。

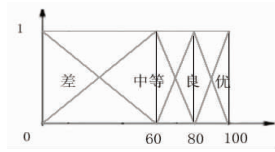


图 5 评价集的模糊隶属函数

表 7 评价集的模糊隶属函数

模糊评价	差	中等	良	优
标度	$3\tilde{0}$	$6\tilde{0}$	$8\tilde{0}$	$10\tilde{0}$
隶属函数	$(0, 0, 60)$	$(0, 60, 80)$	$(60, 80, 100)$	$(80, 100, 100)$

(3) 确定评价指标各子目标集对评价集中各因素的隶属程度, 假定某软件外包公司经专家打分得各个子目标关系矩阵如下:

$$R_1 = \begin{pmatrix} 0.1 & 0.3 & 0.5 & 0.1 \\ 0.2 & 0.5 & 0.2 & 0.1 \\ 0.3 & 0.2 & 0.3 & 0.2 \\ 0.2 & 0.4 & 0.2 & 0.2 \end{pmatrix}$$

$$R_2 = \begin{pmatrix} 0.6 & 0.3 & 0.1 & 0 \\ 0.3 & 0.4 & 0.2 & 0.1 \\ 0.4 & 0.4 & 0.1 & 0.1 \\ 0.3 & 0.5 & 0.1 & 0.1 \end{pmatrix}$$

(4) 计算得到子目标的综合评价向量 (子目标综合隶属度):

$$B_1 = A_1 \bullet R_1 = (0.2315, 0.3417, 0.2763, 0.1515)$$

$$B_2 = A_2 \bullet R_2 = (0.4034, 0.4198, 0.1015, 0.0717)$$

(5) 根据各个子目标的得到的综合评价向量, 得到综合模糊评价矩阵

$$R = (R_1, R_2)^T = \begin{pmatrix} 0.2315, 0.3417, 0.2763, 0.1515 \\ 0.4034, 0.4198, 0.1015, 0.0717 \end{pmatrix}$$

从而可以得到综合评价向量 (即目标的总体隶属度向量):

$$B = A \bullet R = (0.3542, 0.3972, 0.1510, 0.0943)。$$

(6) 由隶属函数, 得到综合评分:

根据模糊三角函数定义, 设定截距 $\alpha = 0.5$, 最优指数 $\mu = 0.5$ (截距和最优指数值可根据实际情况设定), 得到评价集

$$V_{\mu=0.5}^{\alpha=0.5} = \begin{pmatrix} 100_{0.5}^{0.5} \\ 80_{0.5}^{0.5} \\ 60_{0.5}^{0.5} \\ 30_{0.5}^{0.5} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (80 \ 100 \ 100)_{0.5}^{0.5} \\ (60 \ 80 \ 100)_{0.5}^{0.5} \\ (0 \ 60 \ 80)_{0.5}^{0.5} \\ (0 \ 0 \ 60)_{0.5}^{0.5} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (90 \ 100)_{0.5} \\ (70 \ 90)_{0.5} \\ (30 \ 70)_{0.5} \\ (0 \ 30)_{0.5} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 95 \\ 80 \\ 50 \\ 15 \end{pmatrix}$$

(下转第 61 页)

(上接第 94 页)

由模糊评价集的得分,得到该软件外包公司承包该项目的综合得分如下:

$$S = B \cdot V_{0.5}^{0.5r} = (0.3542, 0.3972, 0.1510, 0.0943) \begin{pmatrix} 95 \\ 80 \\ 50 \\ 15 \end{pmatrix} = 74.389$$

当多个项目进行比较时,可根据其综合得分判定优劣。

4 结束语

软件外包已成为世界软件产业发展的一大趋势,其中承包商的选择已经成为软件外包中一个重要环节。然而承包商的好坏不是一个绝对的问题,决策者所能得到的信息基本上都是模糊的,不确定的。本文将 AHP 与模糊理论有机结合,形成 FAHP 方法,既体现了评价因素及过程的模糊性,又减少了个人主观臆

断,保持了评价的相对一致性。

参考文献

- 1 谢季坚,刘承平. 模糊数学方法及其应用,华中科技大学出版社,2000.
- 2 杨启帆. 数学建模. 浙江大学出版社,2006.
- 3 陈水利,李敬功,王向功. 模糊集理论及其应用,科学出版社,2005.
- 4 古莹奎,杨振宇. 概念设计方案评价的模糊多准则决策模型,计算机集成制造系统, 2007, (8): 1504 - 1510.
- 5 曹炳元. 应用模糊数学与系统,科学出版社,2005.
- 6 吴明晖,章欣. 软件外包决策的模糊专家系统研究与开发. 计算机系统应用, 2007, 16(12): 28 - 31.