

基于灰色聚类分析的软件项目绩效模糊评价模型^①

吴海燕

信阳农林学院 信息工程学院, 河南 信阳 464000

摘要: 针对软件项目绩效评估过程中存在的问题, 研究了一种基于灰色聚类分析的软件项目绩效模糊评价模型. 首先分析软件项目绩效评估指标选取原则, 建立软件项目绩效评估指标体系; 其次建立基于熵权法的软件项目绩效评估指标权重分配模型; 然后针对软件项目绩效评估情况, 划分软件项目绩效评估级别, 建立不同软件项目绩效评估级别的灰色聚类白化权函数, 进而建立软件项目绩效评估的灰色聚类分析模型, 给出相应模型的实现算法; 最后结合算例对文中的模型和算法进行验证分析, 说明模型与算法的可行性.

关键词: 软件项目; 绩效评估; 灰色聚类分析; 熵权法; 评估指标体系

中图分类号: TP311

文献标志码: A

文章编号: 1000-5471(2019)09-0068-08

软件项目绩效评估是对软件开发准备、开发过程实施以及开发成果科学的、合理的测度分析, 对于制定合理的软件开发规划, 控制和规避软件开发风险, 提高软件开发质量, 提升软件竞争力有着十分重要的意义^[1]. 目前, 国内外很多学者对此开展了研究, 如关于分布式创新、知识共享与开源软件项目绩效关系的研究^[2], 软件项目绩效管理方面的研究^[3], 软件项目绩效评价指标体系的研究^[4], 软件外包项目绩效的分析^[5-6]以及软件项目绩效评估模型^[7-9]等. 这些研究成果从不同侧面对软件项目的实施提供了支持和指导, 具有很好的借鉴作用. 但在软件项目绩效过程中涉及到多种不确定性信息和数据的处理与分析, 目前采用数据包络分析方法(Data Envelopment Analysis, DEA)、层次分析法(Analytic Hierarchy Process, AHP)、神经网络方法进行软件项目绩效评估都有一定的局限性. DEA方法是一种基于数据的统计方法, 适合于多投入、多产出的决策分析, 但由于它衡量的决策函数边界需要是确定性的, 因而不可避免地受到随机干扰因素和极值的影响. AHP方法虽然具有计算简单的优点, 但其方法应用中定量数据较少, 定性成分多, 主观性较强, 同时在问题处理过程中, 评价指标过多时会导致评估数据统计量大, 判断矩阵特征值和特征向量的精确求法比较复杂, 使得评估结果客观性不足. 神经网络方法虽然具有较好的预测能力、控制能力、非线性映射能力以及高度并行性, 但是当数据不充分的时候, 神经网络就无法进行工作, 并且其评估过程是基于数值计算分析, 评估过程信息容易丢失. 灰色系统理论^[10-11]在处理模糊不确定性信息方面有着广泛的应用, 并取得了不错的应用效果. 本文在借鉴已有研究成果的基础上, 通过对灰色聚类白化权函数进行改进, 给出一种基于灰色聚类分析^[12-14]的软件项目绩效模糊评价模型.

1 软件项目绩效评估指标体系

1.1 指标选取原则

为了能够更加有效地进行软件项目绩效评估, 其评估指标的选取需要遵循一些关键的选取原则.

(1) 目标性原则

由于软件项目绩效评估是一个系统决策过程, 在此过程中涉及到多种复杂的因素分析, 要做到面面俱

① 收稿日期: 2018-02-26

基金项目: 国家自然科学基金项目(61572417).

作者简介: 吴海燕(1976-), 女, 硕士, 讲师, 主要从事计算机软件与应用研究.

到非常困难，因此需要抓住主要问题特征，有目标性和针对性地选取评估指标。

(2) 科学性原则

该项原则要求软件项目绩效评估指标的选取要能够反映出评估问题的本质，要具有科学合理性。

(3) 客观性原则

该项原则要求软件项目绩效评估指标的选取要依据评估问题的客观实际情况，切实反映出评估对象的客观问题，避免主观因素的影响。

(4) 系统性原则

该项原则要求软件项目绩效评估指标的选取具有较强的系统逻辑关系，要能够成体系，具有较好的完备性。

(5) 可操作性原则

该项原则要求软件项目绩效评估指标的选取要能够对定性评估指标和定量评估指标进行有效的量化分析，从而使评估结果具有更高的可靠性。

1.2 指标体系建立

在上述选取原则的指导下，本文将软件项目绩效评估分为 3 个方面，即软件项目结构组织与管理绩效评估、软件项目技术特征绩效评估和软件项目产出绩效评估 3 个准则层。通过对每一个准则层细致地分析和细化，获得该准则层的具体评估指标，进而形成软件项目绩效评估指标体系，具体内容见图 1。

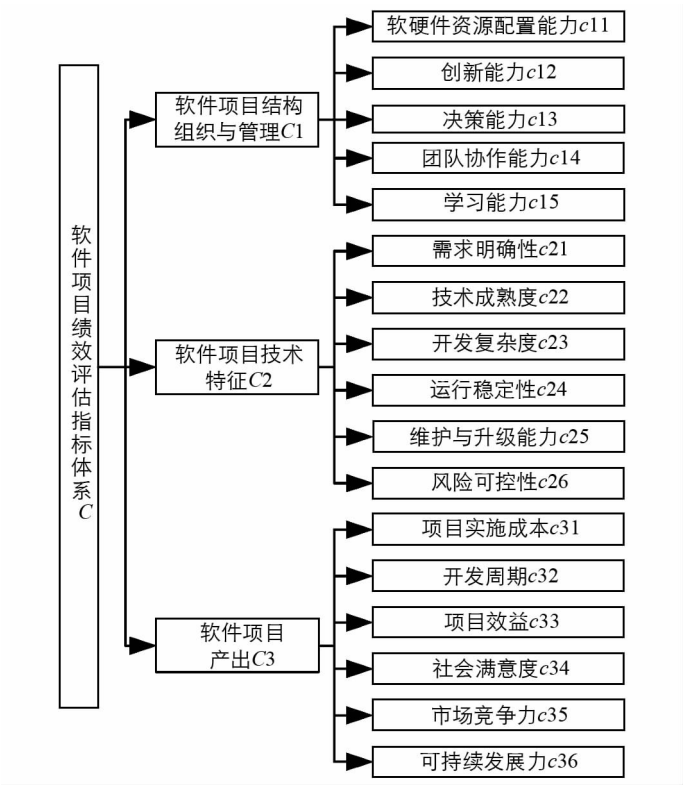


图 1 软件项目绩效评估指标体系

1.3 评估指标权重处理

本文采用熵权法获取软件项目绩效评估指标的权重。假设有 M 位评估专家对 N 个评估指标进行权重打分 a ，打分的标准为 $0 \sim 1$ 标度， 0 表示评估指标权重极低， 1 表示评估指标权重极高，形成初始评判数据矩阵 A

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1N} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2N} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{M1} & a_{M2} & \cdots & a_{MN} \end{bmatrix}_{M \times N}$$

(1)

$$b_{ij} = a_{ij} / \sum_{i=1}^M a_{ij}$$

(2)

其中, a_{ij} 表示评估专家 i 对评估指标 j 的权重打分.
计算第 j 项评估指标的熵值 E_j

$$E_j = -1/\ln(M) \sum_{i=1}^M b_{ij} * \ln b_{ij}$$

(3)

引入差异系数 D_j

$$D_j = 1 - E_j$$

(4)

根据差异系数的计算式可知, 差异系数 D_j 越大, 其提供的信息量越大, 所占比例就越大. 据此, 其权重计算式为

$$w_j = D_j / \sum_{j=1}^N D_j$$

(5)

1.4 指标规范化处理

无论是定性评估指标还是定量评估指标, 都可能存在量纲不同或者打分标度不同的问题, 为了保证评估结果的有效性, 需要对软件项目绩效评估指标进行规范化处理. 对于第 j 个评估指标, 假设其量值的区间为 $V_j = [v_j(a), v_j(b)]$, 若第 j 个评估指标为越大越优型指标, 其规范化量值 r_j 为

$$r_j = \frac{v_j - v_j(a)}{v_j(b) - v_j(a)}$$

(6)

若第 j 个评估指标为越小越优型指标, 其规范化量值 r_j 为

$$r_j = \frac{v_j(b) - v_j}{v_j(b) - v_j(a)}$$

(7)

2 软件项目绩效评估灰色聚类分析模型与算法

2.1 软件项目绩效评估层级

为了能够既保证软件项目绩效评估具有良好的细分性和层次性, 同时又使得软件项目绩效评估过程不至于复杂与繁琐, 本文采用经典的 5 级层级划分模式, 即将软件项目绩效评估层次分为优秀、良好、中等、一般、较差 5 个等级. 对每个等级采用标准标度方法赋予相应的量值, 具体结果见表 1.

表 1 软件项目绩效评估层次

等级	优秀	良好	中等	一般	较差
符号	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5
量值	0.9~1.0	0.8~0.9	0.7~0.8	0.5~0.7	0~0.5

2.2 改进的灰色聚类分析白化权函数

典型的白化权函数 $\varphi(x)$ 包括上测度白化权函数、下测度白化权函数以及适中白化权函数等基本形式. 如图 2 所示, 不同的灰色聚类分析需要选择合适的白化权函数.

典型的白化权函数 $\varphi(x)$ 多采用 3 种形式, 第 1 种形式为下测度白化权函数, 其条件为 $x_1 = x_2 = 0$, 结构图见图 3.

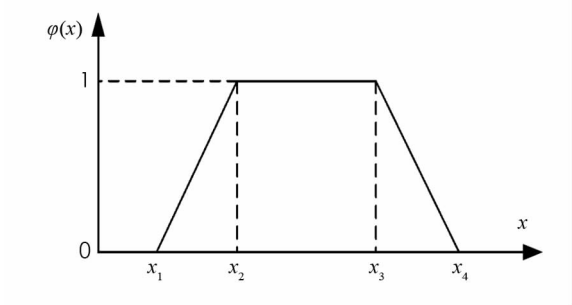


图 2 白化权函数结构

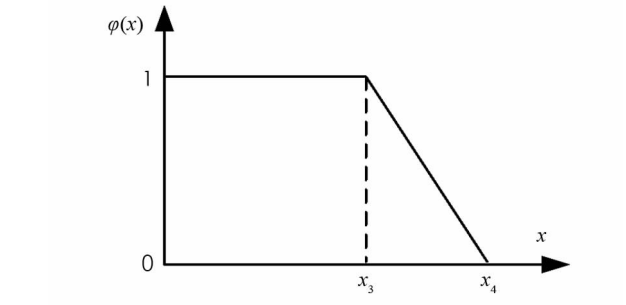


图 3 下测度白化权函数

第2种形式为上测度白化权函数,其条件为 $x_3 = x_4$, 结构图见图4.

第3种形式为适中测度白化权函数,其条件为 $x_2 = x_3$, 结构图见图5.

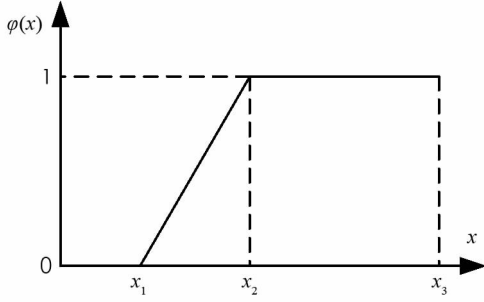


图4 上测度白化权函数

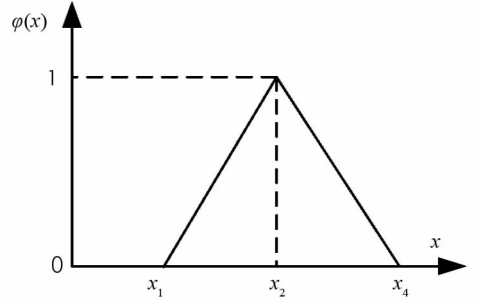


图5 适中测度白化权函数

典型的白化权函数 $\varphi(x)$ 在构造过程中一般会存在相邻边界条件难于保持一致的问题,特别是在处理复杂问题的过程中,由于多个因素和指标存在下测度白化权函数、上测度白化权函数和适中测度白化权函数的构造,往往会使得相邻的白化权函数存在相交现象,并且难于保证白化权函数的连续性,为此需要对软件项目绩效评估白化权函数进行改进,结果如图6.

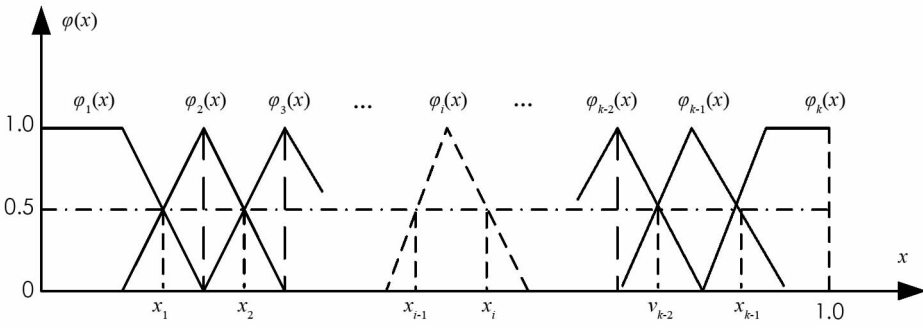


图6 改进的白化权函数

该模型的构造主要是考虑到在实际工程应用中保证灰色聚类分析的可靠性,使得评估问题模糊隶属度与白化权值具有一致性. 上述构造的白化权函数满足如下条件: ① 不相邻的白化权函数不能相交; ② 白化权函数为针对于自变量的连续函数; ③ 白化权函数有函数值为1的自变量,并且在其两侧均为单调函数. 其对应的具体白化权函数计算模型为

$$\varphi_{i|1 \leq i \leq k}(x) = \begin{cases} 0 & x \in [0, 0.5(x_{i-2} + x_{i-1})] \cap [0.5(x_i + x_{i+1}), 1] \\ \frac{x - 0.5(x_{i-1} + x_{i-2})}{x_{i-1} - x_{i-2}} & x \in [0.5(x_{i-1} + x_{i-2}), x_{i-1}] \\ \frac{x + 0.5x_i - 1.5x_{i-1}}{x_i - x_{i-1}} & x \in [x_{i-1}, 0.5(x_i + x_{i-1})] \\ \frac{1.5x_i - 0.5x_{i-1} - x}{x_i - x_{i-1}} & x \in [0.5(x_i + x_{i-1}), x_i] \\ \frac{0.5x_i + 0.5x_{i+1} - x}{x_{i+1} - x_i} & x \in [x_i, 0.5(x_i + x_{i+1})] \end{cases} \quad (8)$$

特别地

$$\varphi_1(x) = \begin{cases} 1 & x \in [0, 0.5x_1] \\ \frac{1.5x_1 - x}{x_1} & x \in [0.5x_1, x_1] \\ \frac{0.5(x_2 + x_1) - x}{x_2 - x_1} & x \in [x_1, 0.5(x_2 + x_1)] \\ 0 & x \in [0.5(x_2 + x_1), 1] \end{cases} \quad (9)$$

$$\varphi_k(x) = \begin{cases} 0 & x \in [0, 0.5(x_{k-1} + x_{k-2})] \\ \frac{x - 0.5(x_{k-1} + x_{k-2})}{x_{k-1} - x_{k-2}} & x \in [0.5(x_{k-1} + x_{k-2}), x_{k-1}] \\ \frac{x + 0.5 - 1.5x_{k-1}}{x_k - x_{k-1}} & x \in [x_{k-1}, 0.5(x_{k-1} + 1)] \\ 1 & x \in [0.5(x_{k-1} + 1), 1] \end{cases} \quad (10)$$

2.3 软件项目绩效评估灰色聚类分析模型建立

根据表 1 中所给出的软件项目绩效评估层次数据, 结合公式(8)、公式(9) 和公式(10), 建立各个软件项目绩效评估层次的灰色聚类分析计算模型.

$$\varphi_{s5}(x) = \begin{cases} 1 & x \in [0, 0.25] \\ \frac{0.75 - x}{0.5} & x \in [0.25, 0.5] \\ \frac{0.6 - x}{0.2} & x \in [0.5, 0.6] \\ 0 & x \in [0.6, 1] \end{cases} \quad (11)$$

$$\varphi_{s4}(x) = \begin{cases} 0 & x \in [0, 0.25] \wedge [0.75, 1] \\ \frac{x - 0.25}{0.5} & x \in [0.25, 0.5] \\ \frac{x - 0.4}{0.2} & x \in [0.5, 0.6] \\ \frac{0.8 - x}{0.2} & x \in [0.6, 0.7] \\ \frac{0.75 - x}{0.1} & x \in [0.7, 0.75] \end{cases} \quad (12)$$

$$\varphi_{s3}(x) = \begin{cases} 0 & x \in [0, 0.6] \wedge [0.85, 1] \\ \frac{x - 0.65}{0.1} & x \in [0.6, 0.75] \\ \frac{0.85 - x}{0.1} & x \in [0.75, 0.85] \end{cases} \quad (13)$$

$$\varphi_{s2}(x) = \begin{cases} 0 & x \in [0, 0.75] \wedge [0.95, 1] \\ \frac{x - 0.75}{0.1} & x \in [0.75, 0.85] \\ \frac{0.95 - x}{0.1} & x \in [0.85, 0.95] \end{cases} \quad (14)$$

$$\varphi_{s1}(x) = \begin{cases} 0 & x \in [0, 0.85] \\ \frac{x - 0.85}{0.1} & x \in [0.85, 0.95] \\ 1 & x \in [0.95, 1] \end{cases} \quad (15)$$

2.4 软件项目绩效评估算法实现

通过建立软件项目绩效评估指标体系, 并对评估指标进行规范化处理, 在采用熵权法的基础上获取不同评估指标的权重. 同时, 对软件项目绩效评估指标体系和评估指标进行层次划分, 并在灰色系统理论的基础上建立不同软件项目绩效评估层次的灰色聚类分析计算模型, 进而获得评估对象关于不同评估指标 j 与不同评估层次 i 的聚类系数 $\varphi_{si}^j(x)$, 由此获得评估对象与不同评估层次 i 的综合加权聚类系数 $\varphi_{si}^w(x)$.

$$\varphi_{si}^w(x) = \sum_{j=1}^n (\omega_j * \varphi_{si}^j(x)) \quad (16)$$

$\varphi_{si}^w(x)$ 越大说明评估对象越归属于层次 i , 由此基于 $\varphi_{si}^w(x)$ 可确定其所属层次. 其具体实现过程如图 7.

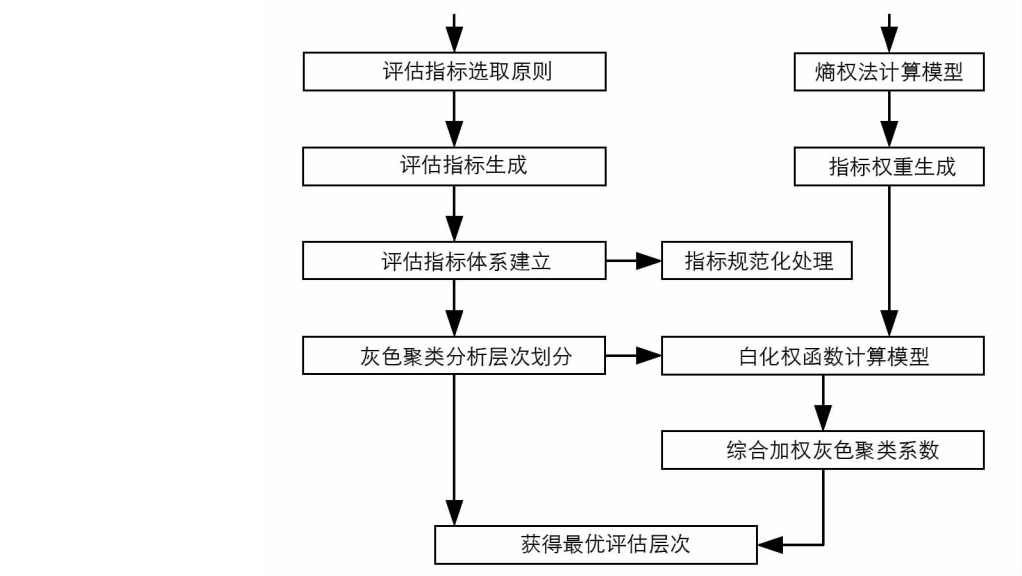


图 7 软件项目绩效灰色聚类分析算法实现流程

3 算例分析

以某软件开发公司推出的新一代面向工业 4.0 的集成化软件项目开发为例. 在评估指标体系的基础上设计调查问卷以及专家评审表, 获得规范化后的初始评估数据, 同时根据文中给出的权重计算模型可以获得不同层次评估指标的权重, 结果见表 2.

表 2 软件项目绩效初始评估数据

体系	准则	权重	指标	权重	数值
C	C ₁	0.276	c ₁₁	0.170	0.95
			c ₁₂	0.214	0.80
			c ₁₃	0.231	0.85
			c ₁₄	0.170	0.90
			c ₁₅	0.214	0.60
	C ₂	0.352	c ₂₁	0.164	0.95
			c ₂₂	0.184	0.80
			c ₂₃	0.149	0.90
			c ₂₄	0.184	0.90
			c ₂₅	0.138	0.90
			c ₂₆	0.181	0.90
	C ₃	0.372	c ₃₁	0.124	0.60
			c ₃₂	0.181	0.60
			c ₃₃	0.170	0.70
			c ₃₄	0.152	0.80
			c ₃₅	0.181	0.90
			c ₃₆	0.192	0.90

应用改进的白化权函数计算模型, 获得不同评估指标的灰色聚类分析系数, 见表 3.

进而获得评估对象的综合加权灰色聚类分析系数, 见表 4.

根据表 4 的结果可以看出, 该软件开发公司推出的新一代面向工业 4.0 的集成化软件项目绩效评估属于良好的层次, 可以作为后续培育项目进行重点开发, 并为企业项目的开发提供指导. 从上述计算过程可以看出, 本文给出的软件项目绩效模糊评估模型分析过程清晰, 计算过程简单, 并且具有明确的物理意义, 因此有较好的适应性.

表 3 软件项目绩效模糊评估灰色聚类分析系数

准则	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	指标	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5
C_1	0.255	0.423	0.107	0.214	0	c_{11}	1.0	—	—	—	—
						c_{12}	—	0.50	0.50	—	—
						c_{13}	—	1.0	—	—	—
						c_{14}	0.50	0.50	—	—	—
						c_{15}	—	—	—	1.0	—
C_2	0.490	0.418	0.092	0	0	c_{21}	1.0	—	—	—	—
						c_{22}	—	0.50	0.50	—	—
						c_{23}	0.50	0.50	—	—	—
						c_{24}	0.50	0.50	—	—	—
						c_{25}	0.50	0.50	—	—	—
						c_{26}	0.50	0.50	—	—	—
C_3	0.187	0.263	0.076	0.390	0	c_{31}	—	—	—	1.0	—
						c_{32}	—	—	—	1.0	—
						c_{33}	—	—	—	0.50	—
						c_{34}	—	0.50	0.50	—	—
						c_{35}	0.50	0.50	—	—	—
						c_{36}	0.50	0.50	—	—	—

表 4 综合加权灰色聚类分析系数

S_1	S_2	S_3	S_4	S_5
0.312	0.362	0.090	0.204	0

4 结 语

本文通过对软件项目绩效评估研究内容进行分析,指出了已有软件项目绩效评估存在的不足和待改进之处,给出了一种在多指标选取原则指导下建立的软件项目绩效评估指标体系。同时,结合熵权法对软件项目绩效评估指标权重生成进行了探讨,并给出了计算模型。在此基础上,研究了软件项目绩效评估白化权函数的生成问题,建立了一种改进的软件项目绩效评估白化权函数计算模型,通过进行加权处理,获得综合加权聚类系数,进而获得评估对象的层次。

参考文献:

[1] 张 智. 软件项目人员能力与绩效评估方法研究 [D]. 南京: 东南大学, 2016.

[2] 陈晓红, 周 源, 苏 竣. 分布式创新# 知识共享与开源软件项目绩效的关系研究 [J]. 科学学研究, 2016, 34(2): 228-235, 245.

[3] 侯庆坤. 基于定量数据的软件项目绩效管理及人员成长研究 [J]. 现代工业经济和信息化. 2017, 7(1): 115-116, 120.

[4] 孙秀婕, 张 莉. 软件项目研发关键绩效指标体系的构建与实现 [J]. 电信快报, 2014(1): 39-42.

[5] 曲 刚, 赵 汉, 魏 佳. 社会化认知行为对软件外包项目绩效的影响研究 [J]. 科技与管理, 2017, 19(2): 1-8.

[6] 曲 刚, 鲍晓娜, 彭姝琳. 项目复杂性和团队社会认同情境下交互记忆对软件外包项目绩效作用研究 [J]. 管理评论, 2016, 28(10): 181-192.

[7] 曾进群, 杨建梅, 陈 泉. 基于 DEA 方法的开源软件项目绩效评价研究 [J]. 科技管理研究, 2013, 33(16): 58-61, 66.

[8] 于本海, 张金隆, 吴恒亮. 基于 FNN 的软件项目绩效评价模型研究 [J]. 管理学报, 2011, 8(10): 1517-1523.

[9] 李 军, 彭建喜. 层次分析法在软件项目绩效评估中的应用 [J]. 软件导刊, 2010, 9(10): 42-44.

[10] MEMON M S, LEE Y H, MARI S I. Group Multi-Criteria Supplier Selection Using Combined Grey Systems Theory and Uncertainty Theory [J]. Expert Systems with Applications, 2015, 42(21): 7951-7959.

[11] BEZUGLOV A, COMERT G. Short-Term Freeway Traffic Parameter Prediction: Application of Grey System Theory Models [J]. Expert Systems with Applications, 2016, 62: 284-292.

- [12] LI X M, HIPEL K W, DANG Y G. An Improved Grey Relational Analysis Approach for Panel Data Clustering [J]. Expert Systems with Applications, 2015, 42(23): 9105-9116.
- [13] ZHU C H, LI N P. Study on Grey Clustering Model of Indoor Air Quality Indicators [J]. Procedia Engineering, 2017, 205: 2815-2822.
- [14] DELGADO A, ROMERO I. Environmental Conflict Analysis Using an Integrated Grey Clustering and Entropy-Weight Method: A Case Study of a Mining Project in Peru [J]. Environmental Modelling & Software, 2016, 77: 108-121.

A Fuzzy Evaluation Model of Software Project Performance Based on Grey Cluster Analysis

WU Hai-yan

College of Information Engineering, Xinyang College of Agriculture and Forestry, Xinyang Henan 464000, China

Abstract: In view of the problems in the process of software project performance evaluation, a fuzzy evaluation model of software project performance based on grey clustering analysis has been studied. Firstly, the principles of the selection of the performance evaluation index of the software project have been analyzed and the performance evaluation index system of the software project been established. Secondly, the weight distribution model of the performance evaluation index of software project based on entropy weight method has been established. Then, the levels of software project performance evaluation been divided, and the grey clustering whitening weight functions of different software project performance evaluation levels established. Then, a grey clustering analysis model of software project performance evaluation has been put forward, and the corresponding algorithm of the model implementation been given. Finally, the model and algorithm in the paper are verified and analyzed with an example, and the feasibility of the model and algorithm is illustrated.

Key words: software project; performance evaluation; grey clustering analysis; entropy weight method; evaluation index system

责任编辑 夏 娟