

基于证据理论的软件项目风险评估方法

宫磊, 任向红, 寇玺, 洪宪文

(火箭军工程大学, 陕西 西安 710025)

✉ 243108242@qq.com; renxianghong@163.com; 2416765379@qq.com; 2125956830@qq.com



摘要:针对专家模糊评判语言导致风险评估结果可信性降低的问题,提出一种基于证据理论的软件项目风险评估方法。该方法首先将专家评估值转化为基本概率分配(BPA),其次使用基于相似系数优化的证据合成方法进行数据融合,并根据风险矩阵得出风险优先级。此外,相似系数可以作为复盘专家评估值相互支持情况的辅助决策依据。通过算例验证了该方法的实用性和可行性,通过与模糊理论、熵权法及 TODIM 方法进行对比分析,进一步验证和展现该方法在运算过程、权重分配方法以及处理冲突信息方面具备的客观性和优越性。

关键词:软件项目;风险评估;证据理论

中图分类号:TP311.5 **文献标志码:**A

A Software Project Risk Assessment Method Based on Evidence Theory

GONG Lei, REN Xianghong, KOU Xi, HONG Xianwen

(Rocket Force University of Engineering, Xi'an 710025, China)

✉ 243108242@qq.com; renxianghong@163.com; 2416765379@qq.com; 2125956830@qq.com

Abstract: Aiming at the problem of reduced credibility of risk assessment results due to the fuzzy judgment language of experts, this paper proposes a software project risk assessment method based on evidence theory. Firstly, in this paper, expert assessment values are transformed into basic probability assignments (BPA), and secondly an evidence synthesis method based on similarity coefficient optimization is used for data fusion, and risk priorities based on a risk matrix are derived. In addition, the similarity coefficient can be used as an auxiliary decision basis for reviewing the mutual support of expert assessment values. The practicality and feasibility of the method are verified through the arithmetic examples, and the objectivity and superiority of the method in the arithmetic process, weight allocation method and handling of conflicting information are further verified and demonstrated through the comparative analysis with the fuzzy theory, entropy weighting method and TODIM method.

Key words: software project; risk assessment; evidence theory

0 引言(Introduction)

软件风险评估是软件开发生命周期中最敏感、最关键的活动^[1]。为有效地控制软件项目开发过程的风险,识别、评价和有效管理潜在的风险源具有重要意义。依靠专家经验和知识的专家判断法是开展软件项目风险评估的主要方式,为避免个

人主观因素导致评估结果出现偏差,基于不同模型的群决策风险评估信息融合是当前众多学者关注和研究的方向^[2-7]。然而,采用以上方法时对专家意见无法实现多维度的风险值描述,专家在量化表达个人风险评估意见时,经常在数个风险值间犹豫不决,极大地降低了风险评估结果的可信性。D-S 证据

理论作为一种不确定性的推理方法,在决策^[8-9]、风险分析^[10]、信息融合^[11-12]、不确定性测量^[13]等领域得到广泛应用,已成为一种基本的、重要的融合算法。因此,本文提出一种基于证据理论的软件项目风险评估方法。

1 证据理论(Evidence theory)

定义1:某待解决问题的所有可能答案的集合用 Θ 表示且规定 Θ 中元素两两互斥,当只能取 Θ 中某个元素作为需要的结果时,称 Θ 为识别框架,可表示如下:

$$\Theta = \{\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_j, \dots, \theta_N\} \quad (1)$$

其中: θ_j 称为识别框架 Θ 的一个事件或元素; N 是元素个数; $j=1,2,\dots,N$ 。

由识别框架 Θ 的所有子集组成的集合称为 Θ 的幂集,记为 2^Θ ,可表示如下:

$$2^\Theta = \{\emptyset, \{\theta_1\}, \{\theta_2\}, \{\theta_3\}, \dots, \{\theta_N\}, \{\theta_1 \cup \theta_2\}, \dots, \Theta\} \quad (2)$$

定义2:设基本信任分配函数 m 是一个从集合 2^Θ 到 $[0,1]$ 的映射, A 表示识别框架 Θ 的任一子集,记作 $A \subseteq \Theta$,且满足

$$\begin{cases} m(\emptyset) = 0 \\ \sum_{A \subseteq \Theta} m(A) = 1 \end{cases} \quad (3)$$

其中: $m(A)$ 称为事件 A 的基本信任分配函数,它表示证据对 A 的信任程度; $m(\emptyset)=0$ 表示空集无信任度, $\sum_{A \subseteq \Theta} m(A)=1$ 表示所有事件信任度之和等于1。

定义3:设 $A_i \subseteq \Theta, B_j \subseteq \Theta$,在识别框架 Θ 下的两个证据 E_1 和 E_2 相应的BPA为 m_1 和 m_2 ,则融合规则为

$$m(A) = \begin{cases} \frac{\sum_{A_i \cap B_j = A} m_1(A_i) m_2(B_j)}{1 - K}, & A \neq \emptyset \\ 0, & A = \emptyset \end{cases} \quad (4)$$

$$K = \sum_{A_i \cap B_j = \emptyset} m_1(A_i) m_2(B_j) \quad (5)$$

其中, K 称为冲突系数,反映了各个证据之间的冲突程度。

由 m 给定的信任函数称为 m_1 和 m_2 的直和,记为 $m_1 \oplus m_2$,当 $K=0$ 时,表示证据完全一致,当 $K < 1$ 不成立时,则表示 m_1 和 m_2 的直和不存在。

对于多个BPA,如果 m_1 和 m_2 可以融合,则 $m_1 \oplus m_2$ 也是一个BPA,如果该函数与 m_3 也可以融合,那么 $m_1 \oplus m_2 \oplus m_3$ 也是一个BPA。依次类推,如果都满足融合条件,可将它们融合一个BPA,记为 $m_1 \oplus m_2 \oplus \dots \oplus m_n$ 。

2 基于证据间相似系数的冲突证据合成方法 (Conflicting evidence synthesis method based on similarity coefficient between evidence)

为了解决证据合成方法不能使用或得出明显不合理的结果的问题,王肖霞等^[14]提出了证据间相似系数、支持度和可信度的证据预处理方法。证据间的距离越小,则相似性越大,冲突越小,证据间的距离越大,则相似性越小,冲突越大。在本文提出的风险评估方法中,相似系数用来处理证据间的冲突问题,获得专家评估值的权重,并以此辅助决策者精准复盘评估过程。具体过程如下。

第一步:计算相似系数及相似矩阵。

定义:假定识别框架 Θ 的两个证据 E_1 和 E_2 相应的基本概率分配函数为 m_1 和 m_2 ,证据数为 n ,则证据 E_1 和 E_2 间的相似系数表示为如下:

$$d_{12} = \frac{\sum_{A_i \cap B_j = A_k \neq \emptyset} m_1(A_i) m_2(B_j)}{\sqrt{(\sum m_1^2(A_i)) (\sum m_2^2(B_j))}} \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (6)$$

相似系数 d_{12} 用来表示证据间的相似程度, $d_{12} \in [0, 1]$, d_{12} 值越大,则相似性越好。相似系数可表示为矩阵的形式:

$$S = \begin{bmatrix} 1 & d_{12} & \dots & d_{1n} \\ d_{21} & 1 & \dots & d_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{n1} & d_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix}_{n \times n} \quad (7)$$

第二步:计算证据的支持度和可信度。

矩阵各行的和为各证据对 E_i 的支持度:

$$\text{Sup}(E_i) = \sum_{j=1}^n d_{ij}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

$\text{Sup}(E_i)$ 表示证据 E_i 被其他证据支持的程度, $\text{Sup}(E_i) \in [1, n]$ 。如果 $\text{Sup}(E_i)$ 的数值越大,代表证据与其他证据越相似,证据间相互支持程度越高,如果 $\text{Sup}(E_i)$ 的数值越接近于1,代表证据与其他证据越不一致,证据间相互支持程度越低,当 $\text{Sup}(E_i)=1$ 时,表示 E_i 与其他所有证据完全冲突。

将证据支持度归一化得到证据可信度,即证据 E_i 的可信度,也是证据的权重,表示为

$$\text{Crd}(E_i) = \frac{\text{Sup}(E_i)}{\sum_{i=1}^n \text{Sup}(E_i)} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (9)$$

第三步:根据证据权重修改证据,得出:

$$m'_i(A) = \text{Crd}(E_i) m(A) \quad (10)$$

第四步:根据合成规则合成加权平均的证据,有 n 组证据时,将加权平均的证据合成 $n-1$ 次。

3 软件项目风险识别与评估方法(Software project risk identification and assessment methods)

3.1 软件项目风险识别

风险识别是风险管理的重要环节,软件项目风险受时间、成本、质量、组织、技术等因素影响,只有合理识别风险,才能为组织风险评估提供基础。随着技术的发展和项目管理方法的改进,人们提出了许多识别风险的方法,如德尔菲法、专家判断法、图解法、头脑风暴法等。本文对已有文献中讨论的软件项目风险类型进行了总结,详见表1。

表1 软件项目中的风险类型

Tab.1 Types of risks in software projects

文献	风险类型
文献[15]	人员风险,系统需求风险,进度和预算风险,开发技术风险,外部资源风险,绩效风险
文献[16]	需求风险,估计风险,计划风险,团队组织风险,项目管理风险

续表

文献	风险类型
文献[17]	进度风险,产品风险,平台风险,人员风险,流程风险,重用风险
文献[18]	组织环境风险,用户风险,需求风险,项目复杂性风险,团队风险,计划风险
文献[19]	需求规范风险,设计与实现风险,集成测试风险,开发流程风险,工作环境风险,资源、合同与程序接口风险

风险因素会因环境变化而变化,不同软件项目涉及的风险也不同。结合表 1 中的风险类型,以及专家经验对实际项目情况进行分析,风险决策者结合项目实际情况、用户要求、软件开发生命周期特点等因素,决定针对项目中的三类风险进行评估,分别为进度风险(T)、成本风险(M)和过程管理风险(V),风险评估清单详见表 2。值得注意的是,表 2 中一些风险并非独立的,例如预算设置不合理(M1)可能导致设计不可实现(V2)。风险因素越多,越难以量化和判断风险因素之间的关系。所以,本文提出的方法中,专家做出的判断被认为是已经考虑了风险因素之间的相互关系。

表2 风险评估清单

Tab.2 Risk assessment checklist

类别	风险项目	代号
过程管理 风险(V)	需求变化频繁	V1
	设计不可实现	V2
	系统测试过程遇到突发情况	V3
成本风险 (M)	预算设置不合理	M1
	成本超出预算	M2
进度风险 (T)	估计不准确、策划时遗漏了部分重要任务	T1
	外部进度要求过紧	T2
	增加了新的功能,而进度要求未变	T3

3.2 软件风险评估

BOEHM^[20]最早将风险管理引入软件项目,提出了风险管理包括风险发生概率和严重性两个重要指标,这两个指标在工程领域得到了广泛的应用,风险矩阵法作为一种便捷、高效的风险评估工具,可用于对风险发生概率和严重性进行综合评估^[21-23]。风险的定义如下:

风险=风险发生概率(P)×严重性(S)

风险矩阵是一种常用的风险管理工具,根据项目特点可将其设置为不同的风险发生概率和严重性等级,一般可设置风险发生概率等级={极低,较低,中等,较高,极高}。风险严重性等级={极轻微,轻微,中等,严重,灾难性},风险等级={I, II, III, IV}。其中:风险等级集合中的 I 表示“可接受”,II 表示“视情,可接受”,III 表示“视情,不接受”,IV 表示“不可接受”,具体的风险矩阵及其等级如图 1 所示。

3.3 基于证据理论的软件项目风险评估步骤

第一步:设置证据支持度阈值。少数服从多数的思想在信息融合、决策等领域近年得到广泛应用,然而对于少数专家意见的重要性也不能忽视^[24-25]。设置证据支持度阈值的目的是为决策者复盘评估值的合理性提供依据,当决策者进一步确定

风险发生概率等级	极低	I	I	II	II	III
	较低	I	II	II	III	III
	中等	I	II	II	III	IV
	较高	II	II	III	III	IV
	极高	II	III	III	IV	IV
		极轻微	轻微	中等	严重	灾难性
		风险严重性等级				

图 1 风险矩阵及其等级

Fig. 1 Risk matrix and rating

评估结果时,可依据专家意见支持度的高或低进行可信性判断。综上所述,根据证据支持度定义,提出支持度低的评估数值阈值设置条件为

$$\text{Sup}(E_i) < \frac{n+1}{2} \quad (11)$$

当 $\text{Sup}(E_i)$ 小于阈值时,则认为 E_i 不被其他专家支持, $\text{Sup}(E_i)$ 大于或等于阈值时,则认为 E_i 被多数专家支持。

第二步:每位专家对风险逐一做出发生概率和严重性判断。

第三步:将评估结果转化为 BPA。

第四步:根据公式(7)、公式(8)、公式(9)计算证据相似系数、支持度和可信度。

第五步:根据公式(10)计算调整后的 BPA。

$$m_{\text{CPR}}(A) = \sum_{i=1}^n \text{Crd}_{\text{PR}}(E_i) m_{\text{PR},i}(A) \quad (12)$$

$$m_{\text{CSR}}(B) = \sum_{i=1}^n \text{Crd}_{\text{SR}}(E_i) m_{\text{SR},i}(B) \quad (13)$$

第六步:基于证据理论合成规则融合调整后的 BPA,如果有 n 个专家,则进行 $n-1$ 次融合,融合公式如下所示。

$$m_{\text{PR}}(A) = \underbrace{m_{\text{CPR}}(A) \oplus m_{\text{CPR}}(A) \oplus \dots \oplus m_{\text{CPR}}(A)}_{(n-1)\text{次}} \quad (14)$$

$$m_{\text{SR}}(B) = \underbrace{m_{\text{CSR}}(B) \oplus m_{\text{CSR}}(B) \oplus \dots \oplus m_{\text{CSR}}(B)}_{(n-1)\text{次}} \quad (15)$$

第七步:根据融合结果,梳理风险发生概率值、严重性值和风险等级。

第八步:根据具体项目要求设置风险权重。风险发生概率等级权重:极低为 1,较低为 2,中等为 3,较高为 4,极高为 5;设风险严重性等级权重:极轻微为 1,轻微为 2,中等为 3,严重为 4,灾难性为 5(表 3)。根据风险矩阵中各风险等级权重,计算风险优先级:

$$\text{Risk} = \text{Wight}(R) \times m_{\text{PR}}(A) \times m_{\text{SR}}(B) \quad (16)$$

表3 风险权重

Tab.3 Risk weights

风险发生 概率等级	风险严重性等级				
	极轻微	轻微	中等	严重	灾难性
极低	1	2	3	4	5
较低	2	4	6	8	10
中等	3	6	9	12	15
较高	4	8	12	16	20
极高	5	10	15	20	25

第九步:梳理评估数值相互支持度,使决策者可根据具体

情况复盘评估过程,决定相信评估结果或重新组织风险评估。
基于证据理论的软件项目风险评估方法流程图如图2所示。

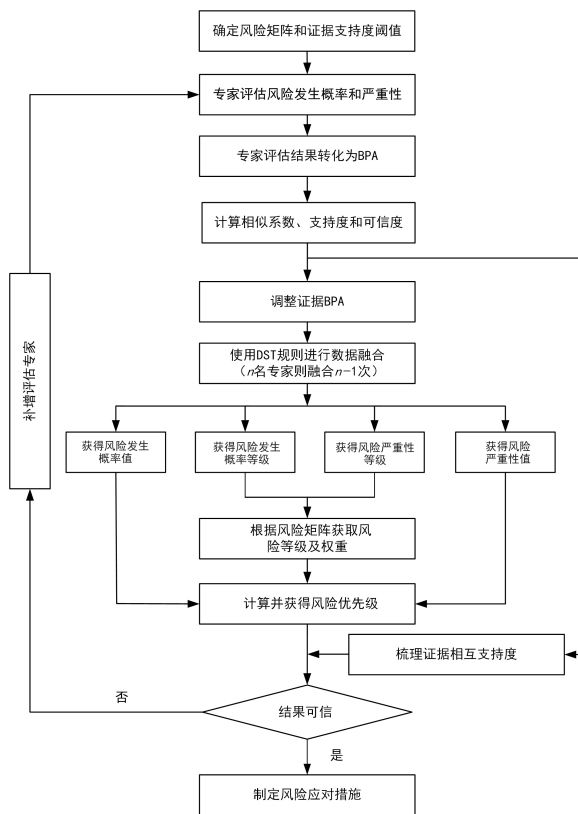


图2 基于证据理论的软件项目风险评估方法流程图

Fig. 2 Flow chart of software project risk assessment based on evidence theory

4 案例应用 (Case application)

本案例是基于证据理论软件项目风险评估方法的应用,组织三位专家对某项目进行评估风险。

4.1 风险评估过程

第一步:根据公式(11)得出支持度低的评估值条件是 $\text{Sup}(R_i) < 2$ 。

第二步:三位专家分别对项目发生风险的概率和后果的严重性进行评估,专家评估意见见表4,例如风险T1的发生概率等级为1的数值是60%,表示证据 E_1 有60%的把握认为风险T1的发生概率为极低。风险M1的严重性等级为4的数值是70%,表示证据 E_3 有70%的把握认为风险M1造成后果的严重性为严重。

表4 专家评估意见表

Tab.4 Expert assessment comments form

风险 证据	P/%					S/%				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
T1	E_1	60	—	—	—	—	—	80	—	—
	E_2	—	—	50	—	—	40	60	—	—
	E_3	—	40	—	—	—	60	40	—	—
T2	E_1	—	—	—	100	—	—	80	10	—
	E_2	—	—	—	60	40	20	70	—	—
	E_3	—	—	—	40	60	—	60	—	—

续表

风险 证据	P/%					S/%				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
T3	E_1	80	20	—	—	—	30	—	60	—
	E_2	—	—	60	40	—	40	—	40	—
	E_3	20	80	—	—	—	20	—	40	—
M1	E_1	—	—	40	60	—	—	—	80	—
	E_2	—	—	—	30	70	—	—	40	—
	E_3	—	—	60	40	—	—	—	70	—
M2	E_1	—	80	20	—	—	—	—	—	80
	E_2	—	—	20	80	—	—	—	60	40
	E_3	—	—	10	90	—	—	—	—	60
V1	E_1	—	—	—	20	60	40	60	—	—
	E_2	—	—	—	—	70	—	40	—	—
	E_3	—	—	—	—	70	—	60	40	—
V2	E_1	60	40	—	—	—	—	—	10	90
	E_2	—	50	20	—	—	—	—	20	80
	E_3	70	20	—	—	—	—	—	20	80
V3	E_1	80	—	—	—	—	—	—	—	100
	E_2	—	—	70	—	—	70	30	—	—
	E_3	—	60	20	—	—	—	—	—	100

第三步:将专家评估结果转化为BPA,以风险V2为例进行说明。

风险发生概率的BPA如下:

$$m_{PV2,1} : m_{PV2,1}(1) = 0.6, m_{PV2,1}(2) = 0.4$$

$$m_{PV2,2} : m_{PV2,2}(2) = 0.5, m_{PV2,2}(3) = 0.2, m_{PV2,2}(\theta) = 0.3$$

$$m_{PV2,3} : m_{PV2,3}(1) = 0.7, m_{PV2,3}(2) = 0.2, m_{PV2,3}(\theta) = 0.1$$

风险后果严重性的BPA如下:

$$m_{SV2,1} : m_{SV2,1}(4) = 0.1, m_{SV2,1}(5) = 0.9$$

$$m_{SV2,2} : m_{SV2,2}(4) = 0.2, m_{SV2,2}(5) = 0.8$$

$$m_{SV2,3} : m_{SV2,3}(4) = 0.2, m_{SV2,3}(5) = 0.8$$

第四步:根据公式(8)计算各专家关于风险V2发生概率意见的证据支持度:

$$\text{Sup}_{PV2}(E_1) = 2.467, \text{Sup}_{PV2}(E_2) = 1.770, \text{Sup}_{PV2}(E_3) = 2.208$$

同理,计算各专家关于风险V2后果严重性意见的证据支持度得:

$$\text{Sup}_{SV2}(E_1) = 2.982, \text{Sup}_{SV2}(E_2) = 2.991, \text{Sup}_{SV2}(E_3) = 2.991$$

计算各专家关于风险V2发生概率意见的证据可信度得:

$$\text{Crd}_{PV2}(E_1) = \frac{\text{Sup}_{PV2}(E_1)}{\sum_{i=1}^n \text{Sup}_{PV2}(E_i)} \approx 0.383$$

$$\text{Crd}_{PV2}(E_2) \approx 0.275, \text{Crd}_{PV2}(E_3) \approx 0.343$$

计算各专家关于风险V2后果严重性意见的证据可信度得:

$$\text{Crd}_{SV2}(E_1) \approx 0.333, \text{Crd}_{SV2}(E_2) \approx 0.334, \text{Crd}_{SV2}(E_3) \approx 0.334$$

第五步:根据公式(12)计算调整后风险发生概率的BPA得:

$$m_{CPV2}(1) = \sum_{i=1}^n \text{Crd}_{PV2}(E_i) m_{PV2,i}(1) \\ = 0.383 \times 0.6 + 0.343 \times 0.7 \approx 0.470$$

$$m_{CPV2}(2)=\sum_{i=1}^n Crd_{PV2}(E_i)m_{PV2,i}(2)$$
$$=0.383\times 0.4+0.275\times 0.5+0.343\times 0.2\approx 0.359$$
$$m_{CPV2}(3)=\sum_{i=1}^n Crd_{PV2}(E_i)m_{PV2,i}(3)$$
$$=0.275\times 0.2=0.055$$

根据公式(13)计算调整后风险严重性的BPA得:

$$m_{CSV2}(4)=\sum_{i=1}^n Crd_{SV2}(E_i)m_{SV2,i}(4)\approx 0.167$$
$$m_{CSV2}(5)=\sum_{i=1}^n Crd_{SV2}(E_i)m_{SV2,i}(5)\approx 0.834$$

第六步:计算证据理论融合规则调整后的BPA,因为有三位专家,所以进行两次融合。根据公式(14)计算风险发生概率的融合结果:

$$m_{PV2}(1)=m_{CPV2}(1)\oplus m_{CPV2}(1)\oplus m_{CPV2}(1)\approx 0.643$$
$$m_{PV2}(2)=m_{CPV2}(2)\oplus m_{CPV2}(2)\oplus m_{CPV2}(2)\approx 0.341$$
$$m_{PV2}(3)=m_{CPV2}(3)\oplus m_{CPV2}(3)\oplus m_{CPV2}(3)\approx 0.011$$

根据公式(15)计算风险严重性的融合结果:

$$m_{SV2}(4)=m_{CSV2}(4)\oplus m_{CSV2}(4)\oplus m_{CSV2}(4)\approx 0.008$$
$$m_{SV2}(5)=m_{CSV2}(5)\oplus m_{CSV2}(5)\oplus m_{CSV2}(5)\approx 0.992$$

基于证据理论的风险融合结果见表5。

表5 风险融合结果

Tab.5 Risk integration results

风险	P					S				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
T1	0.367	0.182	0.261	—	—	—	0.184	0.815	—	—
T2	—	—	—	0.880	0.120	—	0.969	0.023	—	—
T3	0.479	0.479	0.033	—	—	—	0.287	—	0.686	—
M1	—	—	0.339	0.620	0.041	—	—	0.039	0.921	—
M2	—	0.015	0.031	0.813	—	—	—	—	0.080	0.905
V1	—	—	—	0.021	0.958	—	0.852	0.065	—	—
V2	0.643	0.341	0.011	—	—	—	—	—	0.008	0.992
V3	0.378	0.231	0.048	0.300	—	—	—	—	—	0.994

第七步:根据风险矩阵,统计风险发生概率等级、严重性等级和风险等级(表6)。

表6 风险等级及风险值

Tab.6 Risk level and risk value

风险	等级			数值			风险值
	P	S	V	P	S	V	
T1	1	2	I	0.367	0.184	2	0.135
	2	2	II	0.182	0.184	4	0.134
	3	2	II	0.261	0.184	6	0.288
	1	3	II	0.367	0.815	3	0.897
	2	3	II	0.182	0.815	6	0.890
	3	3	II	0.261	0.815	9	1.914

续表

风险	等级			数值			风险值
	P	S	V	P	S	V	
T2	4	2	II	0.880	0.969	8	6.822
	5	2	III	0.120	0.969	10	1.163
	4	3	III	0.880	0.023	12	0.243
	5	3	III	0.120	0.023	15	0.041
T3	1	2	I	0.479	0.287	2	0.275
	2	2	II	0.479	0.287	4	0.550
	3	2	II	0.033	0.287	6	0.057
	1	4	II	0.479	0.686	4	1.314
	2	4	III	0.479	0.686	8	2.629
	3	4	III	0.033	0.686	12	0.272
M1	3	3	II	0.339	0.039	9	0.119
	4	3	III	0.620	0.039	12	0.290
	5	3	II	0.041	0.039	15	0.024
	3	4	III	0.339	0.921	12	3.747
	4	4	III	0.620	0.921	16	9.136
	5	4	IV	0.041	0.921	20	0.755
M2	2	4	III	0.015	0.080	8	0.010
	3	4	III	0.031	0.080	12	0.030
	4	4	III	0.813	0.080	16	1.041
	2	5	III	0.015	0.905	10	0.136
V1	3	5	IV	0.031	0.905	15	0.421
	4	5	IV	0.813	0.905	20	14.715
	4	2	II	0.021	0.852	8	0.143
	5	2	III	0.958	0.852	10	8.162
V2	4	3	III	0.021	0.065	12	0.016
	5	3	III	0.958	0.065	15	0.934
	1	4	II	0.643	0.008	4	0.021
V3	2	4	III	0.341	0.008	8	0.022
	3	4	III	0.011	0.008	12	0.001
	1	5	III	0.643	0.992	5	3.189
	2	5	III	0.341	0.992	10	3.383
V3	3	5	IV	0.011	0.992	15	0.164
	1	5	III	0.378	0.994	5	1.879
	2	5	III	0.231	0.994	10	2.296
	3	5	IV	0.048	0.994	15	0.716
V3	4	5	IV	0.300	0.994	20	5.964

第八步:根据公式(16)计算最终风险值,即表6中每种风险等级的最大值作为该等级的最终风险值,风险优先排序表见表7。

表7 风险优先级排序表
Tab.7 Risk prioritization table

风险	基于证据理论的风险评估方法			
	I	II	III	IV
T1	0.135	1.914	—	—
T2	—	6.822	1.163	—
T3	0.275	1.314	2.629	—
M1	—	0.119	9.136	0.755
M2	—	—	1.041	14.715
V1	—	0.143	8.162	—
V2	—	0.021	3.383	0.164
V3	—	—	2.296	5.964
汇总	IV : M2>V3>M1>V2			
	III : M1>V1>V2>T3>V3>T2>M2			
	II : T2>T1>T3>V1>M1>V2			
	I : T3>T1			

第九步:梳理专家评估数值相互支持度,结果见表 8。

表8 专家评估数值相互支持度
Tab.8 Mutual supportiveness of expert assessment values

风险	类别	证据间支持程度		
		E_1	E_2	E_3
T1	P	1.000	1.000	1.000
	S	2.387	2.755	2.478
T2	P	2.387	2.755	2.478
	S	2.935	2.866	2.893
T3	P	1.471	1.000	1.471
	S	2.949	2.897	2.949
M1	P	2.251	1.546	2.142
	S	2.000	1.000	2.000
M2	P	1.086	2.050	2.018
	S	2.555	2.109	2.555
V1	P	2.897	2.949	2.949
	S	2.524	2.664	2.524
V2	P	2.467	1.770	2.208
	S	2.982	2.991	2.991
V3	P	1.000	1.000	1.000
	S	2.000	1.000	2.000

4.2 案例结果分析

(1)确定风险优先级。风险决策者可根据风险等级高低设置对应于各风险等级的应对策略。对于每个风险等级,可以根据风险排序,确定风险关注度顺序,以风险等级Ⅳ级为例进行说明,Ⅳ级应重点关注四个风险,即 $M2>V3>M1>V2$,其中

$M2>V3$ 解释为成本超出预算(M2)较系统测试过程遇到突发情况(V3)具有更高的风险。

(2)确定多等级风险关注度。风险可能存在不同的风险等级,风险决策者可以根据项目具体情况、风险的性质、不同的软件开发生命周期、风险偏好等其他因素,选择关注的风险等级是高或是低。例如:预算设置不合理风险(M1)包含三个风险等级,分别是Ⅳ级、Ⅲ级和Ⅱ级,如果项目风险决策者掌握了专家没有掌握的信息,确定资金按时到位的可能性较大,则风险决策者可以据此倾向于关注 M1 较低的风险等级(Ⅱ级),依据Ⅱ级风险应对策略制订应对措施。

(3)复盘专家评估过程。从表 8 中的数据可以看出,三位专家对估计不准确、策划时遗漏了部分重要任务风险(T1)发生概率的评估数值间支持度值均为 1.000,解释为三位专家的意见互相矛盾;三位专家对 T1 风险后果严重性的评估数值间支持度值高于阈值,分别为 2.387、2.755 和 2.478,说明评估值相互支持度较高,专家意见较为一致。三位专家对预算设置不合理风险(M1)后果严重性的评估数值间支持度值分别为 2.000、1.000 和 2.000,表明另外两位专家不支持证据 E_2 的评估意见,证据 E_1 和证据 E_3 意见较为一致。风险决策者可结合项目特点、风险偏好、项目不同生命周期等情况,决定相信模型结果或重新评估风险。如果需重新评估,应补增专家,重复本文提出的风险评估方法流程。

5 风险评估方法比较分析(Comparative analysis of risk assessment methodologies)

与现有文献应用的模糊理论^[4]、熵权法^[26]、TODIM 方法^[27-28]相比,本文提出的基于证据理论的软件项目风险评估方法具有以下优势。

唐爱国等^[4]提出的基于模糊理论的软件项目风险评估模型中,权重是组织风险评估前主观设定的。本文提出的风险评估方法权重是通过衡量证据间的相似性确定的,仅与专家评估值有关,专家评估值的权重大小随专家对不同风险评估值支持度不同而变化。

王蔚^[26]基于熵权 TOPSIS 方法进行软件项目风险评估,该模型不能解决评估数值冲突的问题。然而,证据间相似系数是一种基于证据间距离表示证据间相似程度从而能够有效解决证据冲突问题的方法。

TODIM 方法是一种交互式多准则决策方法,使用 TODIM 方法需要多次对比修改判断矩阵。本文提出的方法仅依据专家评估值,建立表示评估值相互支持度的矩阵即可,不需进一步调整判断矩阵。

6 结论(Conclusion)

专家意见的不确定性是影响风险评估可信性的重要因素。基于相似系数在优化证据理论合成方法方面的优势,以及其体现数据一致性的本质特征,提出了一种新的软件项目风险评估方法,不仅综合了多数专家的评估结果,而且为防止遗漏少数专家的有效信息提供了数据支撑,为综合判断风险提供了多角度的决策信息。

参考文献(References)

- [1] NASEEM R, SHAUKAT Z, IRFAN M, et al. Empirical assessment of machine learning techniques for software requirements risk prediction[J]. *Electronics*, 2021, 10(2):168.
- [2] AUTHORITY E F S. Guidance on expert knowledge elicitation in food and feed safety risk assessment[J]. *EFSA Journal*, 2014, 12(6):3734.
- [3] O'HAGAN A. Expert knowledge elicitation: subjective but scientific [J]. *The American Statistician*, 2019, 73(sup1):69-81.
- [4] 唐爱国, 胡春华. 模糊理论在软件项目风险评估中的应用[J]. *中南大学学报(自然科学版)*, 2017, 48(2):411-417.
- [5] FAN C F, YU Y C. BBN-based software project risk management[J]. *Journal of Systems and Software*, 2004, 73(2):193-203.
- [6] HU Y, ZHANG X Z, NGAI E W T, et al. Software project risk analysis using Bayesian networks with causality constraints[J]. *Decision Support Systems*, 2013, 56(C):439-449.
- [7] LI X Q, JIANG Q Q, HSU M K, et al. Support or risk? software project risk assessment model based on rough set theory and backpropagation neural network[J]. *Sustainability*, 2019, 11(17):4513.
- [8] SONG Y, FU Q, WANG Y F, et al. Divergence-based cross entropy and uncertainty measures of Atanassov's intuitionistic fuzzy sets with their application in decision making[J]. *Applied Soft Computing*, 2019, 84:105703.
- [9] SONG M X, SUN C X, CAI D R, et al. Classifying vaguely labeled data based on evidential fusion[J]. *Information Sciences*, 2022, 583:159-173.
- [10] KHALAJ M, KHALAJ F. An improvement decision-making method by similarity and belief function theory[J]. *Communications in Statistics-Theory and Methods*, 2023, 52(7):2240-2258.
- [11] LI Y X, DENG Y. Generalized ordered propositions fusion based on belief entropy[J]. *International Journal of Computers Communications & Control*, 2018, 13(5):792-807.
- [12] SU X Y, LI L S, SHI F J, et al. Research on the fusion of dependent evidence based on mutual information[J]. *IEEE Access*, 2018, 6:71839-71845.
- [13] MORAL-GARCÍA S, ABELLÁN J. Required mathematical properties and behaviors of uncertainty measures on belief intervals[J]. *International Journal of Intelligent Systems*, 2021, 36(8).
- [14] 王肖霞, 杨风暴. D-S 证据理论的冲突证据合成方法[M]. 北京:国防工业出版社, 2010:122-124.
- [15] LEE H M. Group decision making using fuzzy sets theory for evaluating the rate of aggregative risk in software development[J]. *Fuzzy Sets and Systems*, 1996, 80(3):261-271.
- [16] SANGAIAH A K, SAMUEL O W, LI X, et al. Towards an efficient risk assessment in software projects-Fuzzy reinforcement paradigm[J]. *Computers & Electrical Engineering*, 2018, 71:833-846.
- [17] SURESH K, DILLIBABU R. A novel fuzzy mechanism for risk assessment in software projects[J]. *Soft Computing*, 2020, 24:1683-1705.
- [18] HSIEH M Y, HSU Y C, LIN C T. Risk assessment in new software development projects at the front end: a fuzzy logic approach[J]. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 2018, 9:295-305.
- [19] KUMAR C, YADAV D K. A probabilistic software risk assessment and estimation model for software projects[J]. *Procedia Computer Science*, 2015, 54:353-361.
- [20] BOEHM B W. Software risk management: principles and practices[J]. *IEEE Software*, 1991, 8(1):32-41.
- [21] NI H H, CHEN A, CHEN N. Some extensions on risk matrix approach[J]. *Safety Science*, 2010, 48(10):1269-1278.
- [22] RUAN X, YIN Z Y, FRANGOPOL D M. Risk matrix integrating risk attitudes based on utility theory[J]. *Risk Analysis*, 2015, 35(8):1437-1447.
- [23] YU J X, CHEN H C, WU S B, et al. A novel risk matrix approach based on cloud model for risk assessment under uncertainty[J]. *IEEE Access*, 2021, 9:27884-27896.
- [24] MURPHY C K. Combining belief functions when evidence conflicts [J]. *Decision Support Systems*, 2000, 29(1):1-9.
- [25] LIU W R. Analyzing the degree of conflict among belief functions[J]. *Artificial Intelligence*, 2006, 170(11):909-924.
- [26] 王蔚. 基于熵权 TOPSIS 的软件项目风险评估[J]. *项目管理技术*, 2022, 20(2):102-107.
- [27] 张燕, 杨威. 基于犹豫毕达哥拉斯模糊环境下的 TODIM 方法[J]. *模糊系统与数学*, 2020, 34(2):85-92.
- [28] 姜艳萍, 梁霞, 张业谛. 一种属性信息不完全的 TODIM 决策方法[J]. *运筹与管理*, 2015, 24(1):116-121.

作者简介:

宫磊(1988-),男,硕士生。研究领域:工程管理。

任向红(1970-),女,博士,教授。研究领域:军事装备,管理科学与工程。

寇玺(1987-),男,硕士生。研究领域:工程管理。

洪宪文(1989-),男,硕士生。研究领域:工程管理。