

基于模糊积分的软件外包企业技术能力测度研究

张笑楠, 仲秋雁*

(大连理工大学 管理科学与工程学院, 辽宁 大连 116024)

摘要: 技术能力的评价涉及诸多相互关联的因素, 指标之间不具有独立性, 不适合采用传统的线性评价方法. 为此, 引入模糊测度和模糊积分理论, 以软件外包企业为例, 从技术环境、技术资源、技术创新、技术学习和技术管理等方面提出了软件外包企业技术能力评价指标体系, 建立了基于模糊积分的软件外包企业技术能力测度模型, 并对大连3家软件外包企业调查数据样本进行了实证分析, 验证了评价体系的科学性与可操作性.

关键词: 软件外包; 企业技术能力; 模糊积分; 模糊测度

中图分类号: F273.1 **文献标志码:** A

0 引言

国际软件外包市场竞争日趋激烈, 软件外包企业只有不断提升技术能力才能保持持续的竞争优势. 因此, 对软件外包企业的技术能力进行综合评价, 对于企业明晰技术发展水平, 制定技术政策和选择技术战略方案具有重要的理论和实践价值.

企业技术能力是近年来从发展中国家兴起的概念, 许多学者对企业技术能力的评价和测度进行了研究. 孟繁等运用技术能力评估的“ β 测试”, 结合中国IT企业的具体情况, 对其存在的问题进行了剖析^[1]. 王秀江等用“概率”对企业技术能力进行了全新的概念界定, 并给出其测量模型, 为主观测度企业技术能力提供了一个新的工具^[2]. 茅宁莹综合了企业技术能力的技术功能以及企业技术知识复杂程度这两个维度, 提出了一个分析与评价企业技术能力水平的技术能力矩阵^[3]. 魏江等从微观层面研究企业技术能力的构成要素和联结机制, 构建了企业技术能力的个人、组织、物质系统、联结机制“三要素-机制”模型, 以该理论模型为基础, 通过对制造业企业的问卷调查, 得出了企业技术能力的评价指标体系^[4]. 秦德智等从知识管理的角度, 针对企业技术能力的4个构成要素(技术识别、技术获取、技术学习和技术创造)

设计了技术能力的评价指标体系, 并提出了企业技术能力密切值法静态综合分析模型方法^[5]. 和金生等分析了技术能力评价对我国技术进步的重要作用, 并提出了在我国推广技术能力评价的建议与措施^[6]. 这些研究从企业技术资源、技术发展过程、知识管理等不同层面和不同角度分析和构建企业技术能力的评价指标, 推动了企业技术能力评价的研究. 然而有关企业技术能力定量评价的研究还不多, 针对软件外包企业技术能力测度的研究则更少. 因此, 针对软件外包企业的特点, 建立一套科学、有效的技术能力测度体系, 具有一定的理论与应用价值.

1 模糊测度和模糊积分

1.1 评价方法的选择

测度体系涉及企业资源、环境、活动等多个方面的相关指标, 各指标之间相互影响, 不具有独立性, 所以不适合采用常规的加权平均的评价方法, 如模糊综合评价法、层次分析法等. 如创新能力较强的企业其学习能力也比较好, 若用加权平均的方法计算企业技术能力评价价值, 就会因为技术创新能力和技术学习能力两个属性间的关联而抵消这两个属性各自的独立贡献. 为了解决由于属性

间存在关联,属性权重的可加性遭到破坏的问题, Onisawa 等提出了模糊测度和模糊积分理论^[7]. 模糊测度是用较弱的单调性和连续性来代替可加性的集函数^[8]. 模糊积分则是定义在模糊测度上的一种非线性函数,是一种新的评价指标合成技术方法,不仅综合考虑所涉及因素的模糊信息强度,同时也全面考虑评价系统所涉及因素状态特征的重要程度,而且强调要素之间相互关联、制约对整个评价结果的影响^[9],对处理难以用精确数学方法描述的属性关联的复杂系统问题具有独特的优势,已在许多学科领域得到了广泛应用. 本文采用模糊测度和模糊积分理论,构建软件外包企业技术能力测度模型.

1.2 模糊测度和 Choquet 积分

模糊测度是一个非负非可加的集函数^[10],其定义如下:

定义 1 在集合 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ 上的函数 $\mu: P(A) \rightarrow [0, 1]$, $P(A)$ 为 A 的幂集, μ 为定义在 $P(A)$ 上的集函数, μ 是模糊测度,如果满足如下两个条件:

$$(1) \mu(\emptyset) = 0, \mu(A) = 1.$$

(2) 如果 $M \subset N \subset A$, 那么 $\mu(M) \leq \mu(N) \leq \mu(A)$.

从多目标评价的角度看,可以把 $\mu(M)$ 看作是组成集合 $M \subset A$ 的一个或多个指标的重要程度,因此模糊测度可以更准确地刻画指标之间的相互关系,更加准确地表示决策者的偏好. 如果 μ 还满足下面条件,那么可以称之为 λ 模糊测度:

$$(3) M, N \subset A, M \cap N = \emptyset, \text{则 } \mu(M \cup N) = \mu(M) + \mu(N) + \lambda\mu(M)\mu(N), \lambda \in (-1, \infty).$$

当 $\lambda > 0$, $\mu(M \cup N) \geq \mu(M) + \mu(N)$, 说明准则之间存在优的加法性,相互之间具有某种程度的补足作用;当 $\lambda = 0$, $\mu(M \cup N) = \mu(M) + \mu(N)$, 说明准则 M 和 N 之间相互独立, λ 模糊测度就是概率测度;当 $-1 < \lambda < 0$, $\mu(M \cup N) \leq \mu(M) + \mu(N)$, 说明 M 和 N 之间具有劣的加法性,存在冗余,相互之间具有相抵(替代)作用.

定义 2 μ 是定义在集合 X 上的模糊测度, $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$. 函数 $h: X \rightarrow R^+$ 关于模糊测度 μ 的离散 Choquet 积分定义为

$$\int hd\mu = \sum_{i=1}^n (h(x_i) - h(x_{i-1}))\mu(X_i) \quad (1)$$

式中: i 指的是按照 $0 \leq h(x_1) \leq \dots \leq h(x_n)$ 进行排序后的下标, $X_i = \{x_i, x_{i+1}, \dots, x_n\}$, $h(x_0) = 0$.

基于模糊测度的 Choquet 积分是加权平均的一种推广,它突破了古典积分的线性限制,更加符合现实问题的求解. 在用于多目标评价时, $h(x_i)$ 可以表示归一化后的指标属性值,而 Choquet 则作为聚合算子对各指标评价值集合成对评价目标的评价值.

2 基于模糊积分的软件外包企业技术能力测度模型

2.1 软件外包企业技术能力结构

国内外许多学者从不同的角度研究和定义了技术能力. 其中比较有代表性的观点有以下几种: Stewart 认为技术能力是一种自主的、做出技术选择、采用和改进所选技术和产品,并最终内生地创造新技术的能力^[11]. Bergek 等将技术能力阐述为企业辨识和解决问题的能力,具体体现于技术战略和技术活动两方面^[12]. 赵晓庆等指出技术能力是企业和技术资源和技术活动方面的知识技能的总和^[13]. Figueiredo 认为技术能力是创造和管理技术变革所需的资源,它们的累积体现于技能、知识、经验和组织体制中^[14].

本文认为,软件外包企业技术能力是软件外包企业在技术发展过程中,在企业技术环境的影响下,通过合理使用技术资源的企业技术活动所体现的知识和技能. 技术环境主要是指企业在发展过程中所面临的组织内外部环境,如行业的技术发展水平、政府的科技政策、组织内部的技术氛围以及组织结构等. 技术资源包括企业外部技术资源和内部技术资源,包括企业从外部获得的财政或技术上的支持,和企业内部所具有的知识、技能等. 技术活动主要包括企业组织对内外部技术资源的整合、协调以及管理. 软件外包企业的技术能力以企业技术资源为依托,受企业内外部环境影响,通过企业的技术活动体现. 其技术能力的总体结构如图 1 所示.

2.2 建立指标体系

技术能力评价的指标体系是对企业技术能力进行综合评价的前提和基础,指标体系设置得是否合理和准确,直接影响着评价结果科学性、可靠

性和准确性. 软件外包企业技术能力指标体系包括技术环境、技术资源、技术创新能力、技术学习能力以及技术管理能力 5 个二级指标和 40 个三级指标, 如表 1 所示.

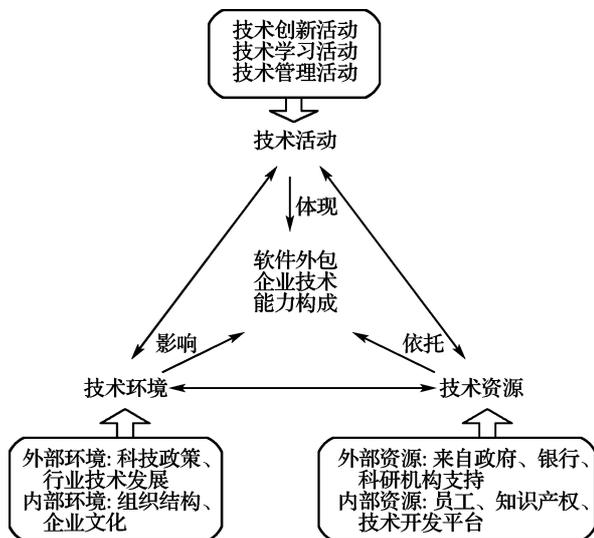


图 1 软件外包企业技术能力总体结构

Fig. 1 Overall structure of technical capability of software outsourcing enterprise

企业技术能力的成长过程中受到国家科技政策、行业技术发展水平和技术发展新动向以及企业内部技术文化等影响. 因此技术环境子指标体系, 重点考察企业内部技术环境. 技术资源是对企业技术实力的最真实的反映, 是企业技术能力的主要衡量指标. 技术创新能力是软件外包企业技术能力的本质体现, 可有效衡量企业技术能力水平, 主要从创新投入和创新产出两方面进行考评. 技术学习能力是企业目标一致的基础上利用现有资源进行知识积累和更新的能力, 是对企业技术能力成长性的反映. 技术管理能力是通过对企业技术资源、技术组织和技术质量的管理, 有效地把技术能力转化为生产力并促使企业绩效最大化的能力^[15], 是企业技术发展的重要辅助能力.

2.3 确定评价指标的语意变量和数值评估值

(1) 评价指标的语意变量

指标权重值是指每一个指标相对整个测度体系的重要程度, 由专家进行选择判断. 指标表现值是指在对某一企业技术能力进行评价时, 该企业在每一指标下的表现程度, 由企业管理人员进行判断.

表 1 软件外包企业技术能力指标体系

Tab. 1 Evaluation index system of technical capability of software outsourcing enterprise

目标层	准则层	指标层
技术环境 C ₁	技术环境 C ₁	政府对软件外包行业的科技政策 C ₁₁
		地区软件行业的科技发展水平 C ₁₂
		地区软件行业的竞争度 C ₁₃
		企业技术激励政策 C ₁₄
		组织创造性张力 C ₁₅
		企业研发人员比例 C ₁₆
		科研队伍结构的合理性 C ₁₇
技术资源 C ₂	技术资源 C ₂	员工的技术能力 C ₂₁
		员工知识含量 C ₂₂
		知识产权、专业技术数量 C ₂₃
		技术开发平台水平 C ₂₄
		企业数据库、知识库的建设 C ₂₅
		政府的支持力度 C ₂₆
		与其他企业的关联度 C ₂₇
		与高校、科研机构的关联度 C ₂₈
		企业融资能力 C ₂₉
软件外包企业技术创新能力 C ₃	技术创新能力 C ₃	研发经费投入强度 C ₃₁
		研发人员投入强度 C ₃₂
		技术平台改进、升级经费投入 C ₃₃
		引进技术费用率 C ₃₄
		每年新增知识产权、专有技术数量 C ₃₅
		新技术产品销售利润率 C ₃₆
		科技成果获奖数量 C ₃₇
		企业销售收入增长率 C ₃₈
技术学习能力 C ₄	技术学习能力 C ₄	人均培训费用(万元) C ₄₁
		年度培训费用占总收入比例 C ₄₂
		组织与个人的开放程度 C ₄₃
		员工受教育程度 C ₄₄
		组织知识增量 C ₄₅
		学习目标的一致性 C ₄₆
		组织激励制度 C ₄₇
		知识共享程度 C ₄₈
技术管理能力 C ₅	技术管理能力 C ₅	企业技术发展规划 C ₅₁
		技术资源的配置水平 C ₅₂
		技术人员的管理 C ₅₃
		技术团队的建设 C ₅₄
		组织内各部门的协调 C ₅₅
		企业与外部企业、科研机构的协调 C ₅₆
		技术标准化管理 C ₅₇
		对技术活动的评价 C ₅₈

由于企业技术能力评价指标中有很多定性指标, 专家或企业管理人员对其评价时, 对它们的描述具有相当程度的模糊性, 因此采用语意变量的概念描述主观评估值. 本文采用三角模糊数所表示的语意变量的概念来描述主观评估值. 三角模

糊数 $\mu = (a, b, c)$, $a \leq b \leq c$, 其中 b 是最可能的值, a 和 c 分别是下限值和上限值, 用于反映变量的模糊程度^[16].

(2) 语意变量转化为数值评估值

语意变量是以自然语言中的语词为值, 而不是以数据为值. 指标的权重值取 5 个等级, 能够比较清晰地表达和掌握. 取值为极不重要、不重要、普通、重要、极重要. 指标的表现值同样也分为 5 个等级, 取值为极差、差、普通、好、极好. 指标权重值与指标表现值对应的正三角模糊数如表 2 所示.

表 2 指标权重值和指标表现值对应的正三角模糊数

Tab. 2 Plus triangular fuzzy number corresponding to index weights and performance values

重要程度	正三角模糊数	表现程度	正三角模糊数
极不重要	(0.0, 0.25)	极差	(0.0, 1.0, 2)
不重要	(0.0, 0.25, 0.50)	差	(0.2, 0.3, 0.4)
普通	(0.25, 0.50, 0.75)	普通	(0.4, 0.5, 0.6)
重要	(0.50, 0.75, 1)	好	(0.6, 0.7, 0.8)
极重要	(0.75, 1.00, 1.00)	极好	(0.8, 0.9, 1.0)

2.4 基于模糊积分的软件外包企业技术能力评价

(1) 计算指标层指标权重值

专家判断指标重要程度的过程中, 由于对它们的描述具有相当程度的模糊性, 采用三角模糊数表示的语意变量的概念来描述主观权重值. 通过问卷调查, 由有关专家根据权重值的语意变量表给出各个指标权重值, 构成指标权重值集合.

$$\tilde{g} = \{ \tilde{g}_k(X_{ij}) \mid i = 1, 2, \dots, l; j = 1, 2, \dots, d_i; k = 1, 2, \dots, m \}$$

设有 m 位专家对技术能力指标权重值进行打分, $\tilde{g}_k(X_{ij})$ 表示第 k 位专家对第 i 个评价要素下第 j 个指标给予的语意值. $\tilde{g}_k(X_{ij})$ 为三角模糊数, 表示为 (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}) , $a_{ij} \in [0, 1], b_{ij} \in [0, 1], c_{ij} \in [0, 1]$. l 为评价要素的个数, d_i 为评价要素 X_i 的指标个数, m 为专家人数.

通过综合各个专家的意见, 计算指标的模糊权重值.

$$\tilde{g}_{ij} = \frac{1}{m} \otimes \{ \tilde{g}_1(X_{ij}) \oplus \tilde{g}_2(X_{ij}) \oplus \dots \oplus \tilde{g}_m(X_{ij}) \} \quad (2)$$

\tilde{g}_{ij} 是综合 m 位专家意见后, 评价要素 X_i 下第 j 个

指标 X_{ij} 的模糊权重值.

请 10 位相关专家对指标的重要程度进行判断, 得到软件外包企业技术能力评价指标模糊权重值, 见表 3.

表 3 指标模糊权重值

Tab. 3 Index fuzzy weights

指标	模糊权重值	指标	模糊权重值
C ₁₁	(0.10, 0.35, 0.60)	C ₃₅	(0.65, 0.90, 1.00)
C ₁₂	(0.30, 0.55, 0.80)	C ₃₆	(0.65, 0.90, 0.95)
C ₁₃	(0.35, 0.60, 0.85)	C ₃₇	(0.60, 0.85, 1.00)
C ₁₄	(0.50, 0.75, 0.95)	C ₃₈	(0.60, 0.85, 1.00)
C ₁₅	(0.50, 0.75, 0.95)	C ₄₁	(0.20, 0.45, 0.70)
C ₁₆	(0.65, 0.90, 1.00)	C ₄₂	(0.15, 0.40, 0.65)
C ₁₇	(0.30, 0.55, 0.80)	C ₄₃	(0.50, 0.75, 0.95)
C ₂₁	(0.60, 0.85, 1.00)	C ₄₄	(0.45, 0.70, 0.95)
C ₂₂	(0.30, 0.55, 0.80)	C ₄₅	(0.50, 0.75, 0.95)
C ₂₃	(0.55, 0.80, 0.95)	C ₄₆	(0.60, 0.85, 0.95)
C ₂₄	(0.70, 0.95, 1.00)	C ₄₇	(0.45, 0.70, 0.90)
C ₂₅	(0.50, 0.75, 0.95)	C ₄₈	(0.50, 0.75, 0.95)
C ₂₆	(0.30, 0.55, 0.80)	C ₅₁	(0.45, 0.70, 0.90)
C ₂₇	(0.20, 0.45, 0.70)	C ₅₂	(0.25, 0.45, 0.65)
C ₂₈	(0.45, 0.70, 0.95)	C ₅₃	(0.45, 0.70, 0.90)
C ₂₉	(0.25, 0.50, 0.75)	C ₅₄	(0.65, 0.90, 1.00)
C ₃₁	(0.60, 0.85, 1.00)	C ₅₅	(0.45, 0.70, 0.90)
C ₃₂	(0.55, 0.80, 0.95)	C ₅₆	(0.45, 0.70, 0.90)
C ₃₃	(0.50, 0.75, 0.95)	C ₅₇	(0.40, 0.65, 0.90)
C ₃₄	(0.30, 0.55, 0.80)	C ₅₈	(0.40, 0.65, 0.90)

(2) 计算准则层评价要素的模糊权重值, 并解模糊化为明确值

评价要素 C_i 的模糊权重值计算公式为

$$\tilde{g}_i = \frac{1}{d_i} \otimes (\tilde{g}_{i1} \oplus \tilde{g}_{i2} \oplus \dots \oplus \tilde{g}_{id_i}) \quad (3)$$

通过解模糊化运算, 计算评价要素权重的明确值. 以模糊数相对距离公式, 将准则层评价要素 C_i 的模糊权重值 \tilde{g}_i 解模糊化为明确值 g_i . 模糊距离相对公式为

$$g_i = \frac{\sqrt{\frac{1}{3}(a_i^2 + b_i^2 + c_i^2)}}{\left(\sqrt{\frac{1}{3}(a_i^2 + b_i^2 + c_i^2)} + \sqrt{\frac{1}{3}[(1-a_i)^2 + (1-b_i)^2 + (1-c_i)^2]} \right)} \quad (4)$$

(3) 计算 λ 值

将解模糊化后的评价要素的权重值 g_i 通过模糊密度函数公式

$$\lambda + 1 = \prod_{i=1}^l (1 + \lambda g_i) \quad (5)$$

计算 λ 值. 其中 l 表示准则层评价要素的个数.

(4) 指标层指标表现值确定

企业管理人员在对指标表现值打分过程中, 采用三角模糊数表示的语意变量的概念来描述企业指标表现值. 通过问卷调查, 由企业员工根据表现值的语意变量表给出各个指标表现值, 构成指标表现值集合.

$$\tilde{f} = \{ \tilde{f}_k(X_{ij}) \mid i = 1, 2, \dots, l; j = 1, 2, \dots, d_i; k = 1, 2, \dots, n \}$$

设有 n 位企业管理人员参与调查, 对技术能力指标表现值进行评估, $\tilde{f}_k(X_{ij})$ 表示第 k 位员工对第 i 个评价要素下第 j 个指标给予的模糊表现值. $\tilde{f}_k(X_{ij})$ 为三角模糊数, 表示为 (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}) , $a_{ij} \in [0, 1], b_{ij} \in [0, 1], c_{ij} \in [0, 1]$. l 为评价要素的个数, d_i 为评价要素 X_i 的指标个数, n 为员工人数. 通过综合各个员工的打分情况, 计算指标的模糊表现值:

$$\tilde{y}_{ij} = \frac{1}{n} \otimes \{ \tilde{f}_1(X_{ij}) \oplus \tilde{f}_2(X_{ij}) \oplus \dots \oplus \tilde{f}_n(X_{ij}) \} \quad (6)$$

(5) 计算准则层评价要素表现值及明确值
评价要素 C_i 模糊表现值为

$$\tilde{y}_i = \frac{1}{d_i} \otimes (\tilde{g}_{i1} \otimes \tilde{y}_{i1} \oplus \tilde{g}_{i2} \otimes \tilde{y}_{i2} \oplus \dots \oplus \tilde{g}_{id_i} \otimes \tilde{y}_{id_i}) \quad (7)$$

利用模糊数相对距离公式, 计算评价要素明确值 y_i .

(6) 确定模糊测度

将评价要素的明确值, 按照大小重新排序, 以 $f(x_i)$ 表示, $f(x_1) \geq f(x_2) \geq \dots \geq f(x_l)$. 依据计算出的 λ 值和评价要素评估值 $f(x_i)$, 计算每一

个评价要素的模糊测度 $g_\lambda(X_i)$:

$$g_\lambda(X_i) = f(x_i) + g_\lambda(X_{i-1}) + \lambda g_\lambda(X_{i-1}) f(x_i) \quad (8)$$

(7) 计算模糊积分值

利用 Choquet 模糊积分公式, 计算企业技术能力的评价值 H .

3 应用研究

本文选取大连 3 家软件外包公司为评价对象, 通过发放问卷, 获得企业评价指标表现值, 以考察这 3 家企业的技术能力水平.

3.1 准则层评价要素权重和 λ 确定

依据表 3 专家对软件外包企业技术能力评价指标权重的打分和式(3), 计算准则层评价要素的权重值, 得 $\tilde{X}_1 = (0.3857, 0.6357, 0.8500)$, $\tilde{X}_2 = (0.4278, 0.6778, 0.8778)$, $\tilde{X}_3 = (0.5563, 0.8063, 0.9563)$, $\tilde{X}_4 = (0.4188, 0.6688, 0.8750)$, $\tilde{X}_5 = (0.4375, 0.6813, 0.8413)$. 利用模糊距离公式解模糊化得 $\bar{X}_1 = 0.6075$, $\bar{X}_2 = 0.6402$, $\bar{X}_3 = 0.7379$, $\bar{X}_4 = 0.6339$, $\bar{X}_5 = 0.6369$. 利用式(5), 得 $\lambda = -0.9948$.

3.2 准则层评价要素表现值和明确值的确定

通过调查获得 3 家企业指标表现值, 通过式(6)和(7)计算准则层评价要素模糊表现值及其明确值, 结果如表 4 所示.

3.3 模糊测度和评价值的确定

将表 4 中企业评价要素明确值从大到小重新排序, 结合 λ 值, 通过式(8)和式(1)计算企业的模糊测度和最终评价值, 结果如表 5 所示.

表 4 3 家企业评价要素模糊表现值及明确值

Tab. 4 Fuzzy performance value and crisp value of evaluative features of three enterprises

准则层	企业 A		企业 B		企业 C	
	模糊表现值	明确值	模糊表现值	明确值	模糊表现值	明确值
技术环境 C_1	(0.138 4, 0.287 0, 0.464 1)	0.312 2	(0.170 3, 0.338 1, 0.529 3)	0.359 2	(0.139 4, 0.291 6, 0.472 4)	0.317 0
技术资源 C_2	(0.210 6, 0.397 2, 0.597 8)	0.411 1	(0.258 3, 0.475 6, 0.700 9)	0.480 8	(0.188 7, 0.360 9, 0.547 6)	0.377 0
技术创新能力 C_3	(0.185 4, 0.347 3, 0.502 9)	0.355 8	(0.270 8, 0.468 3, 0.642 3)	0.463 8	(0.207 0, 0.378 3, 0.539 5)	0.384 0
技术学习能力 C_4	(0.162 8, 0.327 1, 0.518 5)	0.350 2	(0.193 4, 0.382 1, 0.596 9)	0.401 9	(0.173 9, 0.347 6, 0.548 1)	0.369 7
技术管理能力 C_5	(0.251 3, 0.465 7, 0.698 0)	0.475 0	(0.275 3, 0.503 0, 0.746 0)	0.507 1	(0.192 3, 0.369 0, 0.568 0)	0.387 6

表5 3家企业模糊测度和评价值

Tab.5 Fuzzy measure and assessed value of three enterprises

企业	模糊测度					评价值
	$g_{\lambda}(X_1)$	$g_{\lambda}(X_2)$	$g_{\lambda}(X_3)$	$g_{\lambda}(X_4)$	$g_{\lambda}(X_5)$	
A	0.475 0	0.691 8	0.802 8	0.873 3	0.914 3	0.391 7
B	0.507 1	0.745 3	0.865 2	0.921 2	0.951 2	0.460 6
C	0.387 6	0.623 6	0.766 7	0.854 4	0.902 0	0.342 3

3.4 结果分析

从最后的综合评价结果可以看出,B企业的技术能力最高,A企业次之,C企业最差.通过各评价指标的权重以及各企业评价值,再结合各企业评价指标值可以得出以下结论:

(1)3家企业在技术环境一项得分比较相近,是因为3家企业都位于大连,从事对日软件外包业务,所面临的企业外部环境基本一致.从企业外部环境来看,大连软件外包产业虽然发展迅猛,但主要从事详细设计、程序开发、系统测试及数据处理等低端软件外包业务,缺乏从事下游行业咨询、解决方案设计等高端外包服务能力,地区软件外包行业整体技术水平较低.这也导致3家企业的技术环境得分均较低.

(2)企业所拥有的技术资源对企业技术能力的影响十分突出.软件外包企业的技术资源主要指知识资源,它一方面以知识产权、专有技术等形式为企业所拥有;另一方面表现为技术员工的知识技能. A、B两企业在技术资源方面表现较好,主要是因为企业经过多年发展,在人才引进、培养以及专利技术上表现突出.

(3)技术创新能力是衡量软件外包企业技术生命力的最重要、最综合的指标.其中B企业最高,C企业次之,A企业最差.因此注重研发投入、提高研发成果获利能力是A企业必须关注的问题.

(4)技术学习能力和技术管理能力对技术能力的发展起到辅助作用.技术学习能力较强的企业往往创新能力也较强. B企业和C企业的学习能力表现较好,创新能力得分也相应较高.

4 结 语

软件外包企业技术能力受多种因素影响,评价指标间具有关联特性,不适于传统的加权平均的线性评价方法.本文利用模糊测度和模糊积分理论解决指标关联性问题,在对软件外包企业技术能力内涵和构成要素分析的基础上,构建了软

件外包企业技术能力测度模型,并应用该模型评价大连地区3家软件外包企业的技术能力,验证了模型的合理性和可行性.今后如能进一步与其他理论相结合,在模糊测度计算上不断改进,则能使该评价模型准确性更好、适用面更广.

参考文献:

- [1] 孟繁,陈劲,宋辉. IT业技术能力评估应用的实证研究[J]. 科技管理研究, 2000, 20(5):74-77.
MENG Fan, CHEN Jin, SONG Hui. Empirical research on assessment of enterprise technological capabilities in IT industry [J]. **Science and Technology Management Research**, 2000, 20(5):74-77. (in Chinese)
- [2] 王秀江,彭纪生. 企业技术能力:一个新的概念界定与测量模型[J]. 科学学与科学技术管理, 2008, 29(12):146-150.
WANG Xiu-jiang, PENG Ji-sheng. Technological capabilities of enterprises: a new definition and measurement model [J]. **Science of Science and Management of S&T**, 2008, 29(12):146-150. (in Chinese)
- [3] 茅宁莹. 企业技术能力测评的新思路:技术能力矩阵[J]. 生产力研究, 2009, 23(21):199-201.
MAO Ning-ying. New idea of assessment of enterprise technological capabilities; technological capabilities matrix [J]. **Productivity Research**, 2009, 23(21):199-201. (in Chinese)
- [4] 魏江,王铜安,刘锦. 企业技术能力的要素与评价的实证研究[J]. 研究与发展管理, 2008, 20(3):39-45.
WEI Jiang, WANG Tong-an, LIU Jin. An empirical research on the constituents and evaluations of technological capability in enterprise [J]. **R&D Management**, 2008, 20(3):39-45. (in Chinese)
- [5] 秦德智,雷森,鲜于德清. 企业技术能力密切值静态的综合评价[J]. 统计与决策, 2008, 24(19):78-80.
QIN De-zhi, LEI Sen, XIANYU De-qing. Statical comprehensive evaluation of osculation value of enterprise technological capabilities [J]. **Statistics and Decision**, 2008, 24(19):78-80. (in Chinese)
- [6] 和金生,郑春东,郭智玲. 大力推广技术能力评价[J]. 科学管理研究, 1999, 17(1):57-59.
HE Jin-sheng, ZHENG Chun-dong, GUO Zhi-ling. Promoting technical ability evaluation [J]. **Scientific Management Research**, 1999, 17(1):57-59. (in

- Chinese)
- [7] Onisawa T, Sugeno M, Nishiwaki Y, *et al.* Fuzzy measure analysis of public attitude towards the use of nuclear energy [J]. **Fuzzy Sets and Systems**, 1986, **20**(3):259-289.
- [8] 章玲, 周德群. 基于 k -可加模糊测度的多属性决策分析[J]. 管理科学学报, 2008, **11**(6):18-24.
ZHANG Ling, ZHOU De-qun. Multiple attributes decision making based on k -additive fuzzy measures [J]. **Journal of Management Sciences in China**, 2008, **11**(6):18-24. (in Chinese)
- [9] 许永平, 朱延广, 杨峰, 等. 基于 ANP 和模糊积分的多准则决策方法及其应用[J]. 系统工程理论与实践, 2010, **30**(6):1099-1105.
XU Yong-ping, ZHU Yan-guang, YANG Feng, *et al.* New multi criteria decision making approach based on ANP and fuzzy integral with its application [J]. **Systems Engineering — Theory & Practice**, 2010, **30**(6):1099-1105. (in Chinese)
- [10] 王熙照. 模糊测度和模糊积分及在分类技术中的应用[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
WANG Xi-zhao. **Fuzzy Measures and Fuzzy Integral with Its Application in Classification** [M]. Beijing: Science Press, 2008. (in Chinese)
- [11] Stewart F. International transfer of technology: issues and policy options [C] // Jolly S P, eds. **Recent Issues in World Development**. Oxford: Pergamon Press, 1981:67-110.
- [12] Bergek A, Tell F, Belggren C, *et al.* Technological capabilities and late shakeouts: industrial dynamics in the advanced gas turbine industry, 1987-2002 [J]. **Industrial and Corporate Change**, 2008, **17**(2): 335-392.
- [13] 赵晓庆, 许庆瑞. 企业技术能力演化的轨迹[J]. 科研管理, 2002, **23**(1):70-76.
ZHAO Xiao-qing, XU Qing-rui. The path of technological capability evolution [J]. **Science Research Management**, 2002, **23**(1): 70-76. (in Chinese)
- [14] Figueiredo P N. Industrial policy changes and firm-level technological capability development: Evidence from Northern Brazil [J]. **World Development**, 2008, **36**(1):55-88.
- [15] 吴伟伟, 于渤, 杨莹. 企业技术管理能力提升路径研究[J]. 科研管理, 2011, **32**(3):59-66.
WU Wei-wei, YU Bo, YANG Ying. Approaches for the promotion of technology management capability of enterprises [J]. **Science Research Management**, 2011, **32**(3):59-66. (in Chinese)
- [16] 叶阳, 吴广明, 万猛. 基于模糊积分的科技成果评价研究[J]. 科学学研究, 2009(增刊下):376-379.
YE Yang, WU Guang-ming, WAN Meng. A research on fuzzy integral evaluation of science and technology results [J]. **Studies in Science of Science**, 2009(Supp. 2):376-379. (in Chinese)

Research on technological capability measurement of software outsourcing enterprises based on fuzzy integral

ZHANG Xiao-nan, ZHONG Qiu-yan*

(School of Management Science and Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

Abstract: There are many factors which are correlatively used in technical capability evaluation, and the indexes are not independent, so the traditional linear evaluation methods are not suitable for technical capability evaluation. For this purpose, the methods of fuzzy measurement and integrals are introduced. Using software outsourcing enterprise as an example, an evaluation index system of technological capability of software outsourcing enterprise is proposed. The index system covers five major aspects: technical environment, technical resources, technical innovation, technical learning and technical management. Then, the fuzzy integral method is used to assess technical capability and the empirical analyses on samples of investigated data from three software outsourcing enterprises are conducted to testify the scientificity and operability of evaluation system.

Key words: software outsourcing; enterprise technical capability; fuzzy integral; fuzzy measure