

文章编号: 1003-207(2010)03-0075-08

基于证据推理的平衡计分卡及其在绩效评估中的应用

孙超平^{1,2}, 杨善林^{1,2}, 付超^{1,2}

(1. 合肥工业大学管理学院, 安徽 合肥 230009;
2. 过程优化与智能决策教育部重点实验室, 安徽 合肥 230009)

摘要: 运用传统平衡计分卡进行绩效评估时, 难以处理各种不确定评价。基于此, 文章提出了基于证据推理的平衡计分卡框架, 构建了一个具有多种评价集的多级分布式评价模型, 依据基于规则的转换技术实现不同识别框架下评价的统一, 运用解析算法对多级评价指标上的不确定评价进行有效合成, 根据合成结果制定效用准则或最大等级准则进行绩效评估。将基于证据推理的平衡计分卡体系应用于江航公司敏感元件事业部的绩效评估, 体现研究的有效性与合理性。

关键词: 绩效评估; 平衡计分卡; 证据理论; 多级分布式模型
中图分类号: C931 **文献标识码:** A

1 引言

战略绩效评估是人力资源管理的一项重要职能, 它通过厘清组织自身存在的优势与劣势, 剖析组织面临的机遇和威胁, 促进组织实现可持续发展, 帮助组织应对复杂多变的外部环境, 制定科学、合理的策略。然而, 合理有效的绩效评估体系的缺失容易导致评估过程中的主观臆断和测量偏差, 使得管理者和员工产生挫折感。针对上述问题, 杨杰等(2009)^[1]就绩效评估标准的确定、评量指标体系的构建以及多样性评量指标的整合意义与方法等方面提出了合理建议。在该建议框架下, 党兴华等(2004)^[2]研究了网络环境下基于神经网络的企业技术创新绩效评估体系与实现途径; 糜仲春等(2008)^[3]构建了高速公路上市公司绩效动态综合评价方法, 运用组合赋权方法赋予动态指标权重; 王雪荣(2006)^[4]建立了一体化管理综合绩效评估体系, 提出了基于证据理论的动态综合评价方法实现绩效评估。

上述绩效评估方法针对特定行业或环境展开研

究, 取得了较为合理的评估效果。然而它们并非旨在建立一个具有普适性的绩效评估框架。由 Kaplan 和 Norton 创立于 20 世纪 90 年代的平衡计分卡^[5,6], 则属于一个普适性的绩效评估框架, 包含了财务维度和非财务维度的指标。其中, 非财务维度包含顾客维度、内部流程优化维度、和学习与成长维度^[6,7]。同时, 框架表明绩效评估的内容由外部转向内部, 评估理论向顾客、雇员、经营者和非财务化方向发展^[8]。基于此, 本文以平衡计分卡为对象进行拓展研究。

在平衡计分卡框架下, 诸多学者进行了深入的拓展研究。Bhagwat 和 Sharma(2007)^[9]运用平衡计分卡进行供应链管理的绩效评估; Chand 等(2005)^[10]运用平衡计分卡评估 ERP 系统的战略影响; Fernandes 等(2006)^[11]研究如何在中小型制造组织中实现平衡计分卡; Martinsons 等(1999)^[12]运用平衡计分卡构建信息系统战略管理基础; 张浩等(2006)^[13]将平衡计分卡应用于 IT 投资回报评价中; 冯俊文等(2006)^[14]研究了平衡计分卡在项目管理中的应用。

为了将平衡计分卡的四个维度进行有效融合, 同时确定每一维度下各评价指标间的相对权重, 以及运用合适的量化方法正确计算平衡计分卡综合绩效, 研究者将平衡计分卡与其它方法进行了综合, 形成了一些新的定性定量相结合的绩效评估方法。典

收稿日期: 2009-09-25; 修订日期: 2010-05-31
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(70631003, 90718037);
教育部博士点基金项目(200803590007)。
作者简介: 孙超平(1973-), 男(汉族), 安徽怀宁人, 合肥工业大学管理学院副教授, 研究方向: 决策科学与技术、战略绩效管理。

型研究如将模糊数学、层次分析法或层次网络法与平衡计分卡结合^[7, 15, 16]; 运用层次分析法或层次网络法实现^[17]; 综合平衡计分卡和模糊数学与 Markov 链对供应链动态绩效进行评估^[18]。

尽管专家和学者进行了一定的实际绩效评估应用, 但是已有与平衡计分卡结合的不确定评估方法, 仍然存在着若干不足之处。模糊层次分析法或模糊层次网络法存在着两两比较矩阵自一致性的问题, 反模糊化将带来一定的信息损失。因此, 本文将证据推理方法与平衡计分卡相结合, 构建一种新的不确定绩效评估方法。该方法具有一系列优点: 包括对各维度下不同指标采用柔性评估等级以利于实际评估数据采集; 提供一种分布式的评估框架进行定性和定量评估; 采用解析合成算法对多个指标进行有效的加权合成等。论文者将此新评估方法应用于江航飞机装备有限公司敏感元件事业部的绩效评估, 取得了较好的应用效果, 验证了方法的有效性与合理性。

2 证据理论基础

设 $\Omega = \{H_1, \dots, H_N\}$ 为一有限集, 称为信念函数的识别框架。一个基本信念分配(BBA) 表示为映射 $m: 2^\Omega \rightarrow [0, 1]$, 满足 $\sum_{A \subseteq \Omega} m(A) = 1$ 。

在 Shafer 的原始定义中, 上述映射称为基本概率分配, 满足 $m(\emptyset) = 0$ 。而 Smets 的传递信念模型中, 此约束通常被忽略。满足 $m(\emptyset) = 0$ 的 BBA 称为正规(归一) BBA, 或 mass 函数。

设 m_1 和 m_2 为定义在 Ω 上来自两相异源的两 BBA, $m = m_1 \oplus m_2$ 为使用 Dempster 规则的合成信念, 则

$$m(A) = \frac{\sum_{B, C \subseteq \Omega, B \cap C = A} m_1(B) m_2(C)}{1 - \sum_{B, C \subseteq \Omega, B \cap C = \emptyset} m_1(B) m_2(C)}$$

$\forall A \subseteq \Omega, A \neq \emptyset$

其中, $\sum_{B, C \subseteq \Omega, B \cap C = \emptyset} m_1(B) m_2(C) \neq 1$ 。

Dempster 合成规则满足交换性和结合性, 允许空 BBA 合成。设 $m(\emptyset) = \sum_{B, C \subseteq \Omega, B \cap C = \emptyset} m_1(B) m_2(C)$, 称为 Dempster 规则中正规化前分配给空集的合成信念 mass。

3 基于证据推理的平衡计分卡

3.1 多级分布式绩效评估建模

证据推理框架下, 基于平衡计分卡可以建立具

一般性的多级分布式绩效评估模型。

设多级平衡计分卡的总评价记为 V , 财务、顾客、业务流程、学习与成长四个维度记为向量 (F, C, O, S) , 则评估模型如下图所示。

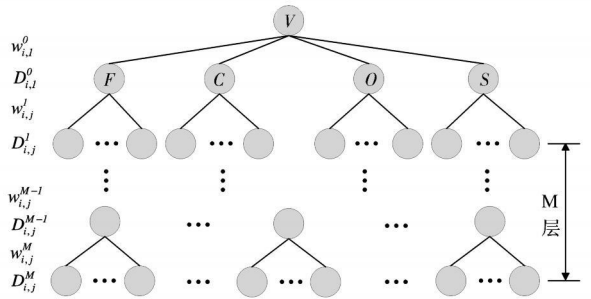


图 1 基于平衡计分卡的多级分布式绩效评估模型

图 1 中, 将 (F, C, O, S) 细化为 M 层评价指标, 各层的结点数为 N_1, N_2, \dots, N_M 。第 l 层上的结点记为 $D_{i,j}^l (1 \leq i \leq N_l, 1 \leq j \leq N_{l-1}, 1 \leq l \leq M)$, 表示 l 层的第 i 个结点, 其父结点为 $(l-1)$ 层上的第 j 个结点。易知, (F, C, O, S) 可以表示为 $D_{i,j}^0 (1 \leq i \leq 4)$, 其父结点为根结点 V 。 $D_{i,j}^l$ 的 $(l+1)$ 层子结点数目记为 $N_{i,j}^{l+1}$ 。

各层次上各结点的权重记为 $w_{i,j}^l (1 \leq i \leq N_l, 1 \leq j \leq N_{l-1}, 1 \leq l \leq M)$, 满足 $0 \leq w_{i,j}^l \leq 1, \sum_{i,j,k} w_{i,j,k}^l = 1, 1 \leq k \leq N_{l-1}$ 。易知, $\sum_i w_{i,1}^0 = 1$ 。

为便于专家在各叶结点上采集接近实际情形的不确定评估数据, 为每一叶结点选取最合适的识别框架, 记为 $\Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_{N_M}$ 。其中, 允许多个叶结点的识别框架长度相同, 但其实际意义可以不同。依此, 各叶结点上的评估数据记为 $B(D_{i,j}^M) = \{(H_{n_i}, \theta_{n_i, i}), n_i = 1, \dots, N_i, N_i = |\Omega_i|\}$, 满足 $\theta_{n_i, i} \geq 0, \sum_{n_i=1}^{N_i} \theta_{n_i, i} \leq 1$ 。当 $\sum_{n_i=1}^{N_i} \theta_{n_i, i} = 1, B(D_{i,j}^M)$ 称为完全评价。否则称为不完全评价, 且有 $\theta_{n_i, i} = 1 - \sum_{n_i=1}^{N_i} \theta_{n_i, i}$ 。对叶结点上的评估数据进行由下至上逐级合成, 需要将评估数据统一到公共框架 $\Omega = \{H_1, \dots, H_N\}$ 上。因此, 各中间层的结点评估数据记为 $B(D_{i,j}^l) = \{(H_n, \theta_{n,i}), n = 1, \dots, N\}, 0 \leq l \leq M-1$, 满足 $\theta_{n,i} \geq 0, \sum_{n=1}^N \theta_{n,i} \leq 1$ 。根结点评估数据则记为 $B(V) = \{(H_n, \theta_n), n = 1, \dots, N\}$, 满足 $\theta_n \geq 0, \sum_{n=1}^N \theta_n \leq 1$ 。

3.2 精确评估值的分布式建模

图 1 中各叶结点上的评估数据既可能是定性

的,也可能是定量的。定性评估数据可以直接由 BBA 表示。而对于相关叶结点上的定量评估值,在对叶结点进行向上合成之前,需要将其转换为 BBA。通过以下转换技术实现此转换。

一般而言,精确评估值可以简单分为两类,效益型和成本型。以 $D_{i,j}^M (1 \leq i \leq N_M, 1 \leq j \leq N_{M-1})$ 为例,假设此叶结点上决策者的评价等级效用为 $u(H_{ni}) (ni = 1, \dots, NI)$, 满足 $0 = u(H_1) < u(H_2) < \dots < u(H_{NI}) = 1$ 。

效益型精确评估值的效用正规化为

$$u(D_{i,j}^M(y)) = \frac{y - y_i^{\min}}{y_i^{\max} - y_i^{\min}}, i \in \Omega_i,$$

其中, $u(D_{i,j}^M(y))$, y_i^{\min} 和 y_i^{\max} 分别表示 y 的效用, 效益型叶结点 $D_{i,j}^M$ 上的最小值和最大值。

类似地, 成本型精确评估值可以被正规化为

$$u(D_{i,j}^M(y)) = \frac{y_i^{\max} - y}{y_i^{\max} - y_i^{\min}}, i \in \Omega_i.$$

根据效用等价原理^[19], 有

$$u(D_{i,j}^M(y)) = u(H_{ni}), ni = 1, \dots, NI.$$

综合以上分析, 可以获取 NI 个非减或非增的精确值, $y_{1,i}, \dots, y_{NI,i}$, 即叶结点 $D_{i,j}^M$ 上的 NI 个精确评估等级。

给定叶结点 $D_{i,j}^M$ 上的精确评估值 y_i , 一定存在 $ni \in \{1, \dots, NI - 1\}$, 使得 $y_{ni,i} \leq y_i \leq y_{ni+1,i}$ 。这意味着 y_i 可以由一个或两个相邻的精确评估等级所刻画。令 $\theta_{ni,i}$ 和 $\theta_{ni+1,i}$ 表示将 y_i 评价为 $y_{ni,i}$ 和 $y_{ni+1,i}$ 的信念度, 定义为

$$\theta_{ni,i} = \frac{y_{ni+1,i} - y_i}{y_{ni+1,i} - y_{ni,i}}, \theta_{ni+1,i} = \frac{y_i - y_{ni,i}}{y_{ni+1,i} - y_{ni,i}}.$$

因此, 精确评估值 y_i 可以等价为一个 BBA, 即 $y_i \Leftrightarrow \{(H_{ni}, \theta_{ni,i}), (H_{ni+1}, \theta_{ni+1,i})\}$,

其中符号“ \Leftrightarrow ”表示“等价”。当给定 $u(H_{ni}) (ni = 1, \dots, NI)$ 时, 上述等价转化是唯一的。给定一个精确评估值, 唯一确定一个分布式评价向量 $\{(H_{ni}, \theta_{ni,i}), (H_{ni+1}, \theta_{ni+1,i})\}$, 反之亦然。

3.3 基于规则的评估数据统一

各叶结点定性和定量的评估数据形成 BBA 后, 需要将不同识别框架下的评估数据统一到公共框架上。本文采用基于规则的转换方法^[19] 实现评估数据的统一。

以 $D_{1,1}^M$ 为例给出基于规则的评估数据转换过程。

$B(D_{1,1}^M) = \{(H_{n1}, \theta_{n1,1}), n1 = 1, \dots, N1, N1 = |\Omega_1|\}$, 规则转换后为 $B_U(D_{1,1}^M) = \{(H_n, \theta_n), n = 1, \dots, N, N = |\Omega|\}$ 。则有

$$(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_N) = (\theta_{1,1}, \theta_{2,1}, \dots, \theta_{N,1,1})$$

$$H_1 \quad H_2 \quad \dots \quad H_N$$

$$\times \begin{bmatrix} \alpha_{1,1} & \alpha_{1,2} & \dots & \alpha_{1,N} \\ \alpha_{2,1} & \alpha_{2,2} & \dots & \alpha_{2,N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \alpha_{N,1,1} & \alpha_{N,1,2} & \dots & \alpha_{N,1,N} \end{bmatrix} \begin{matrix} H_1 \\ H_2 \\ \vdots \\ H_{N1} \end{matrix}$$

$$\text{满足 } \sum_{n=1}^N \alpha_{n1,n} = 1, n1 = 1, \dots, N1.$$

专家给定不同识别框架向公共框架转换的矩阵, 即可实现评估数据的统一。

3.4 多级合成的解析算法

图 1 中的评估模型由下至上集结形成根节点评估数据, 需要考虑各级结点权重的 BBA 合成算法。

证据推理框架下, 对多个 BBA 进行权重合成, 可以采用两两合成方法, 即递归算法。同时, 由于两两正规化合成产生的最终结果和多个 BBA 交合成后一次正规化产生的最终结果相同^[20], Wang 等提出了解析算法, 一次合成多个 BBA^[21]。后者为同一层上多个结点的权重合成提供了便利, 为本文所采用。以下以 $N_{1,1}^{M-1}$ 个叶结点 $D_{i,1}^M$ 合成为例, 阐述解析算法。值得注意的是, 合成前所有叶结点上的评估数据将运用规则或效用投影方法^[19] 统一到公共框架 Ω 上。

解析算法中, 首先对叶结点上的评估数据进行如下预处理:

$$m_{ni,i} = m_i(H_{ni}) = w_{i,1}^M \theta_{ni,i}, n = 1, \dots, N, i = 1, \dots, N_{1,1}^{M-1},$$

$$m_{\Omega,i} = m_i(\Omega) = 1 - \sum_{n=1}^N m_{ni,i} = 1 - w_{i,1}^M \sum_{n=1}^N \theta_{ni,i}, i = 1, \dots, N_{1,1}^{M-1},$$

$$\overline{m}_{\Omega,i} = \overline{m}_i(\Omega) = 1 - w_{i,1}^M, i = 1, \dots, N_{1,1}^{M-1},$$

$$\overline{m}_{\Omega,i} = \overline{m}_i(\Omega) = w_{i,1}^M (1 - \sum_{n=1}^N \theta_{ni,i}), i = 1, \dots, N_{1,1}^{M-1},$$

$$\text{其中, } m_{\Omega,i} = \overline{m}_{\Omega,i} + \overline{m}_{\Omega,i}, \sum_{i=1}^{N_{1,1}^{M-1}} w_{i,1}^M = 1.$$

这里, $m_{\Omega,i}$ 被划分为两个部分, $\overline{m}_{\Omega,i}$ 和 $\overline{m}_{\Omega,i}$ 。 $\overline{m}_{\Omega,i}$ 由 $D_{i,1}^M$ 的权重引起, 而 $\overline{m}_{\Omega,i}$ 则由对 $D_{i,1}^M$ 上评估数据的不完全性引起。

预处理后, 通过以下处理流程合成 $N_{1,1}^{M-1}$ 个叶结点评估数据形成总体评估数据 $B(y)$:

$$\{H_n\}: m_n = K [\prod_{i=1}^{N_{1,1}^{M-1}} (m_{ni,i} + \overline{m}_{\Omega,i} + \overline{m}_{\Omega,i})]$$

$$= \prod_{i=1}^{N_{1,1}^{M-1}} (m_{\Omega,i} + \overline{m}_{\Omega,i})$$

$$\{ \Omega \}: m_{\Omega} = K [\prod_{i=1}^{N_{1,1}^{M-1}} (m_{\Omega,i} + \overline{m}_{\Omega,i})]$$

$$\begin{aligned}
& - \prod_{i=1}^{N_{l-1}^{M-1}} m_{\Omega_i}], \\
& \{ \Omega_j \}: m_{\Omega} = K [\prod_{i=1}^{N_{l-1}^{M-1}} m_{\Omega_i}], \\
& K = [\sum_{n=1}^N \prod_{i=1}^{N_{l-1}^{M-1}} (m_{n,i} + \overleftarrow{m_{\Omega_i}} + \overrightarrow{m_{\Omega_i}}) - (N \\
& - 1) \prod_{i=1}^{N_{l-1}^{M-1}} (\overleftarrow{m_{\Omega_i}} + \overrightarrow{m_{\Omega_i}})]^{-1}, \\
& \{ H_n \}: \theta_n = \frac{m_{\Omega_n}}{1 - m_{\Omega}}, n = 1, \dots, N, \\
& \{ \Omega_j \}: \theta_{\Omega} = \frac{m_{\Omega}}{1 - m_{\Omega}}.
\end{aligned}$$

由于以上过程中考虑了 N_{l-1}^{M-1} 个叶结点的相对权重, 解析算法可以有效、合理地合成冲突评估数据。

3.5 平衡计分卡的综合评估形成与评估准则

基于证据推理的平衡计分卡依多级分布式绩效评估模型由下至上逐级进行综合, 形成综合评估数据 $B(V)$ 。合成前, 将叶结点层所有结点的评估数据利用规则或效用投影方法^[19]统一转化为 $\Omega = \{H_1, \dots, H_N\}$ 下的评估数据, 记为 $B(D_{ij}^M) = \{(H_n, \theta_{n,i}), n = 1, \dots, N\}$, 满足 $\theta_{n,i} \geq 0, \sum_{n=1}^N \theta_{n,i} \leq 1$ 。详细合成过程如下所示。

- 步骤 1: 令 $l = 5, ai = 1, i = 1$;
- 步骤 2: 若 $1 \leq i < N_{l-1}$ 且 $1 \leq j < N_{l-2}$, 则进入下一步; 否则, 进入步骤 4;
- 步骤 3: 计算 $B(D_{ij}^{l-1}) = B(D_{ai,i}^l) \Delta^* \dots \Delta^* B(D_{a(i+1)-1,i}^l)$, 满足 $\sum_{\bar{a}=ai}^{a(i+1)-1} w_{\bar{a},i}^l = 1$ 。令 $i = i + 1$, 则有 $a_i = a(i + 1)$, 进入步骤 2;
- 步骤 4: 计算 $B(D_{N_{l-1}, N_{l-2}}^{l-1}) = B(D_{N_{l-1}, N_{l-1}}^l) \Delta^* \dots \Delta^* B(D_{N_{l-1}, N_{l-1}}^l)$ 。令 $l = l - 1$;
- 步骤 5: 若 $l > 1$, 则进入步骤 2; 否则, 进入下一步;
- 步骤 6: 结束。

这里, Δ^* 表示解析算法, $D_{ai,i}^l$ 和 $D_{a(i+1)-1,i}^l$ 分别表示 l 层上合成产生 D_{ij}^{l-1} 的第一个和最后一个指标。

依据 $B(V)$ 进行绩效评估, 可以有多种准则, 这里给出两种准则, 即最大等级准则和效用准则。前者类似于模糊综合评价中的最大隶属度准则。

- (1) 最大等级准则
选取 k , 满足 $\theta_k = \max\{\theta_n, n = 1, \dots, N\}$, 则 H_k 为绩效的评估值。
- (2) 效用准则

计算 $u(B(V)) = \sum_{n=1}^N u(H_n) \cdot \theta_n + \frac{u(H_1) + u(H_N)}{2} \cdot (1 - \sum_{n=1}^N \theta_n)$ 。易知 $0 \leq u(B(V)) \leq 1$ 。将 $[0, 1]$ 区间划分为 N 个子区间, 记为 $U_n (n = 1, \dots, N)$, 满足 $[0, 1] = U_1 \cup \dots \cup U_N \cup \dots \cup U_N, U_i \cap U_j = \emptyset \forall i, j \in \{1, \dots, N\}, i \neq j$ 。当 $u(B(V))$ 落在子区间 U_k 上时, H_k 即为绩效的评估值。

3.6 基于证据推理的平衡计分卡绩效评估流程

基于上述分析, 给出基于证据推理的平衡计分卡绩效评估流程。

- 步骤 1: 针对实际应用, 构建基于平衡计分卡的绩效评估模型, 确定各级评价指标的权重;
- 步骤 2: 确定叶结点层上所有叶结点的识别框架, 公共框架, 及各框架等级集上的专家效用;
- 步骤 3: 采集各叶结点上的专家评估数据, 包括定性评估数据和定量精确评估值;
- 步骤 4: 依各叶结点的框架等级集效用, 将精确评估值转化为 BBA;
- 步骤 5: 将各叶结点评估数据利用规则或效用转化方法统一为公共框架上的评估数据;
- 步骤 6: 运用解析算法由下至上集结基于平衡计分卡的绩效评估模型形成根节点评估数据 $B(V)$;
- 步骤 7: 选择最大等级准则或效用准则确定最终的绩效评估等级。

4 实例分析

将上述基于证据推理的平衡计分卡绩效评估方法用于江航敏感元件事业部的绩效评估, 取得了较好的应用效果, 验证了方法的有效性与合理性。为了便于计算, 在 Visual C++ 6.0 环境下开发了计算程序, 同时记录了相关的中间结果。以下对应用过程进行详细论述与分析。

基于平衡计分卡的江航敏感元件事业部的绩效评估模型如表 1 所示。除根结点外, (F, C, O, S) 及相对权重, 和其它三个层次及各层次内指标间的相对权重于表 1 中给出。同时, 规约三级指标(叶结点)为定量或定性指标。

表 2 给出各叶结点的 2008 年实际完成值和预期目标值, 及进行评估的识别框架。对于定量叶结点, 同时给出定量取值范围, 以将定量评估值转换为分布式评估值。

表 1 基于平衡计分卡的江航敏感元件事业部绩效评估模型

维度	一级指标	二级指标	三级指标	性质
财务(0 4)	销售指标完成率 (0 35)	内委产品完成率(0 4)	内委产品完成率 $F_1(1)$	定量
		对外产品完成率(0 6)	对外产品完成率 $F_2(1)$	定量
	利润完成率(0 35)	利润完成率(1)	利润完成率 $F_3(1)$	定量
		回款完成率(0 8)	回款完成率 $F_4(1)$	定量
		存货比率完成率(0 2)	存货比率完成率 $F_5(1)$	定量
顾客(0 15)	外部满意度(0 6)	军方满意度(0 3)	产品交付及时度 $C_1(0 6)$	定性
		民品满意度(0 35)	售后服务满意度 $C_2(0 4)$	定性
			既有顾客销售增长率 $C_3(0 4)$	定量
	内部沟通(0 4)	交付产品质量(0 35)	新客户销售增长率 $C_4(0 3)$	定量
			顾客对投诉处理的满意度 $C_5(0 3)$	定性
		内部沟通(1)	交付产品质量 $C_6(1)$	定性
			内部沟通 $C_7(1)$	定性
内部规范管理(0 1)	公司制度流程贯彻(0 5)	公司制度贯彻 $O_1(0 5)$	定性	
		公司流程贯彻 $O_2(0 5)$	定性	
		部门制度流程贯彻(0 5)	部门制度贯彻 $O_3(0 5)$	定性
		部门流程贯彻 $O_4(0 5)$	定性	
	新产品开发(0 15)	新产品开发(0 4)	开发的及时性 $O_5(0 7)$	定性
		重点新产品开发(0 6)	开发的主动性 $O_6(0 3)$	定性
			开发的及时性 $O_7(0 7)$	定性
	产品生产(0 35)	均衡生产情况(0 45)	开发的主动性 $O_8(0 3)$	定性
			生产作业完成率 $O_9(0 3)$	定量
			品种完成率 $O_{10}(0 2)$	定量
设备故障停机率 $O_{11}(0 2)$			定量	
产品交付率(0 45)		员工出勤率 $O_{12}(0 3)$	定量	
		产品交付率 $O_{13}(1)$	定量	
		年度生产完成率(0 1)	年度生产完成率 $O_{14}(1)$	定量
		军品质量(0 55)	一次军检合格率 $O_{15}(0 5)$	定量
			一次定检合格率 $O_{16}(0 5)$	定量
		产品质量(0 15)	产品质量(0 35)	综合废品率 $O_{17}(0 5)$
质量记录完整性(0 1)	质量损失率 $O_{18}(0 5)$		定量	
	质量记录完整性 $O_{19}(1)$		定性	
生产流程运行(0 35)	设备维修保养 $O_{20}(0 2)$		定性	
	设备完好率 $O_{21}(0 2)$		定量	
	工艺纪律执行 $O_{22}(0 1)$		定性	
	节能降耗完成 $O_{23}(0 2)$		定性	
内部运营流程管理(0 25)	安全责任制执行 $O_{24}(0 15)$		定性	
	保密工作 $O_{25}(0 15)$	定性		
	6S 管理 $O_{26}(0 6)$	定性		
	管理流程运行(0 35)	计量器具使用合格率 $O_{27}(0 4)$	定量	
	员工生产产品质量考核(0 3)	员工生产产品质量考核 $O_{28}(1)$	定性	
		团队建设(0 5)	团队结构与运行情况(0 6)	团队结构与运行情况 $S_1(1)$
合理化建议(0 5)	团队学习情况(0 4)		团队学习情况 $S_2(1)$	定性
	合理化建议(1)	合理化建议数 $S_3(0 5)$	定量	
		合理化建议采纳率 $S_4(0 5)$	定量	

表 2 叶结点上的识别框架与实际和预期评估值

指标	评估等级	2008 年预期目标值	2008 年实际完成值
F_1	[75% ~ 100%], { H_1, \dots, H_5 }	100%	100%
F_2	[70% ~ 105%], { H_1, \dots, H_7 }	100%	86%
F_3	[85% ~ 110%], { H_1, \dots, H_5 }	100%	96%
F_4	[0% ~ 50%], { H_1, \dots, H_5 }	30%	14%
F_5	[0% ~ 30%], { H_1, \dots, H_5 }	20%	5%
C_1	{不及时, 一般, 及时}	无交付延迟	一般
C_2	{不满意, 一般, 满意}	0 投诉	一般

续表 2

指标	评估等级	2008 年预期目标值	2008 年实际完成值
C_3	$[-30\% \sim 30\%], \{H_1, \dots, H_6\}$	20%	4%
C_4	$[-35\% \sim 35\%], \{H_1, \dots, H_7\}$	20%	23%
C_5	{不满意, 一般, 满意}	无二次投诉	满意
C_6	{极差, 较差, 一般, 良好, 优秀}	无整批次退货	一般
C_7	{较差, 一般, 良好}	内部交流正常、有序	良好
O_1	{极差, 较差, 一般, 良好, 优秀}	无公司制度违规	良好
O_2	{极差, 较差, 一般, 良好, 优秀}	无管理流程违规	良好
O_3	{极差, 较差, 一般, 良好, 优秀}	完善的制度编制	良好
O_4	{极差, 较差, 一般, 良好, 优秀}	无部门制度违规	良好
O_5	{极差, 较差, 一般, 良好, 优秀}	按时完成研发	良好
O_6	{极差, 较差, 一般, 良好, 优秀}	完善、执行开发计划	50%
O_7	{极差, 较差, 一般, 良好, 优秀}	按时完成研发	良好
O_8	{极差, 较差, 一般, 良好, 优秀}	完善、执行开发计划	70%
O_9	$[70\% \sim 105\%], \{H_1, \dots, H_7\}$	100%	91.5%
O_{10}	$[70\% \sim 105\%], \{H_1, \dots, H_7\}$	100%	90%
O_{11}	$[1\% \sim 0\%], \{H_1, \dots, H_5\}$	0.5%	0.4%
O_{12}	$[85\% \sim 100\%], \{H_1, \dots, H_5\}$	100%	98%
O_{13}	$[30\% \sim 90\%], \{H_1, \dots, H_6\}$	准时交验和入库	60%
O_{14}	$\{< 60\%, 60\% \sim 70\%, 70\% \sim 90\%, 90\% \sim 100\%, 100\%\}, \{H_1, \dots, H_5\}$	100%	93.5%
O_{15}	$[95\% \sim 100\%], \{H_1, \dots, H_5\}$	98.5%	100%
O_{16}	$[95\% \sim 100\%], \{H_1, \dots, H_5\}$	98%	100%
O_{17}	$[2.5\% \sim 0\%], \{H_1, \dots, H_5\}$	1.2%	0.002%
O_{18}	$[2.5\% \sim 0\%], \{H_1, \dots, H_5\}$	1.2%	0.3%
O_{19}	{很不完整, 较不完整, 不完整, 一般, 较完整, 很完整, 十分完整}	完整的质量原始记录	一般
O_{20}	{很不好, 不好, 一般, 好, 很好}	达到生产供应部指标	一般
O_{21}	$[85\% \sim 100\%], \{H_1, \dots, H_5\}$	100%	98%
O_{22}	{很差, 较差, 一般, 良好, 优秀, 很优秀, 非常优秀}	100% 执行	良好
O_{23}	{极差, 较差, 一般, 良好, 优秀}	100%	良好
O_{24}	{很差, 较差, 一般, 良好, 优秀, 很优秀, 非常优秀}	0 次轻伤事故	良好
O_{25}	{极差, 较差, 一般, 良好, 优秀}	无泄密情况	优秀
O_{26}	{很差, 较差, 一般, 良好, 优秀, 很优秀, 非常优秀}	文明、高效的工作环境	良好
O_{27}	$[90\% \sim 100\%], \{H_1, \dots, H_5\}$	无使用未检验的器具	100%
O_{28}	{极差, 较差, 一般, 良好, 优秀}	100%	良好
S_1	$[75\% \sim 100\%], \{H_1, \dots, H_5\}$	100%	90%
S_2	{未完成, 基本完成, 完成}	合理完成	基本完成
S_3	$[0\% \sim 50\%], \{H_1, \dots, H_5\}$	40 条	30 条
S_4	$[30\% \sim 100\%], \{H_1, \dots, H_7\}$	50%	95%

由表 2 易知, 三级指标评价存在四种识别框架,

$$\Omega_1 = \{H_{11}, \dots, H_{17}\}, \Omega_2 = \{H_{21}, \dots, H_{26}\},$$

$$\Omega_3 = \{H_{31}, H_{32}, H_{33}\}, \Omega_4 = \{H_{41}, \dots, H_{45}\}.$$

这里, Ω_1 可以是定性的{很差, 较差, 一般, 良好, 优秀, 很优秀, 非常优秀}, 或量化指标 F_2, C_4 等对应的 7 个等级。其它三个识别框架 Ω_2, Ω_3 和 Ω_4 均如此。

四种识别框架上评价等级集的专家效用分别为

$$(0, 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1), (0, 0.15, 0.35, 0.65, 0.8, 1), (0, 0.6, 1), (0, 0.3, 0.6, 0.8, 1).$$

基于此效用, 依 3.2 节可以将表 2 中的精确数值评价等价于 BBA。

采用四种识别框架而非一种识别框架采集各叶结点上的评估数据, 旨在便于采集到接近实际情形的评估数据。然而, 为了依 3.5 节流程形成绩效综合评估, 首先需要将不同识别框架下的评估数据转化为一个公共框架下的评估数据。

设定公共框架 $\Omega = \{H_1, \dots, H_5\} = \{极差, 较差, 一般, 良好, 优秀\}$ 。 Ω_4 上的评估数据可以直接等价于 Ω 下的评估数据, 不需进行转换, 但这些评估数据已被认定为标准框架下的评估数据。

Ω_1, Ω_2 和 Ω_3 上的评估数据转化为 Ω 上的评估数据的规则转换矩阵如下所示, 分别为

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.3 & 0.7 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.4 & 0.6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.4 & 0.6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.4 & 0.6 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}_{7 \times 5},$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.3 & 0.7 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.4 & 0.6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.4 & 0.6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.4 & 0.6 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}_{6 \times 5},$$

$$\begin{bmatrix} 0.8 & 0.2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.2 & 0.6 & 0.2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.2 & 0.8 \end{bmatrix}_{3 \times 5}。$$

基于此, 依 3.3 节可将所有叶结点上的分布式评估数据统一到公共框架 Ω 上来。限于篇幅, 这里未给出统一到 Ω 上的所有叶结点上的评估数据。

选取效用准则进行绩效评估, 将 $[0, 1]$ 区间划分为 5 个子区间, 即

$[0, 1] = [0, 0.15] \cup (0.15, 0.45] \cup (0.45, 0.7] \cup (0.7, 0.9] \cup [0.9, 1]$, 分别对应 Ω 的 5 个等级。

依据 2008 年实际完成值和预期目标值, 基于 3.4 节中的解析算法, 计算 3.5 节中的由下至上综合过程, 可得江航敏感元件事业部的实际绩效评估 BBA 为

$BR(V) = \{(H_1, 0.0087), (H_2, 0.2072), (H_3, 0.4027), (H_4, 0.2258), (H_5, 0.1556)\}$, 效用为 $u(BR(V)) = 0.6401$; 而预期目标绩效评估 BBA 为

$BA(V) = \{(H_1, 0), (H_2, 0.0077), (H_3, 0.334), (H_4, 0.1925), (H_5, 0.4658)\}$, 效用为 $u(BA(V)) = 0.8225$ 。根据上述绩效评估等级划分, 实际绩效评估为 H_3 (“一般”), 预期绩效评估为 H_4 (“良好”)。

若选取最大等级准则, 则实际绩效评估仍为 H_3 (“一般”), 而预计绩效评估为 H_5 (“优秀”)。一般而言, 不同绩效评估准则下, 容易产生不同的评估值。实际应用中更倾向于效用准则, 因其综合考虑了综合评估 BBA 的所有分布信息, 而非单一评价等级上的信息。

同时, 已知实际绩效评估 BBA 和预期目标绩效评估 BBA 的效用, 可以计算 2008 年度的预期绩效实现率为 $0.6401/0.8225 = 77.82\%$ 。

5 结语

综合证据推理和平衡计分卡, 文章构建了一种新的不确定环境下的绩效评估方法, 建立了多级分布式评估模型, 确定了综合评估准则, 给出了绩效评估流程。将此方法应用于江航飞机装备有限公司敏感元件事业部的绩效评估, 立足于企业实际, 向企业相关负责人采集真实的评估数据, 评估结果为企业所认可和接受, 体现出新构建的绩效评估方法的有效合理性。

囿于证据合成规则的证据独立性要求, 平衡计分卡各个评估指标上的评价应相互独立。

基于江航飞机装备有限公司敏感元件事业部的绩效评估实例我们不难发现, 相对于典型的基于模糊层次分析法或模糊层次网络法的平衡计分卡, 基于证据理论的平衡计分卡采用多种变长度识别框架柔性采集评估数据, 将定量评估转变为不确定证据, 体现出离散评估信息采集方面的优势; 根据企业实际确定定量指标上的评估值范围, 而非一成不变的 $[0, 1]$ 区间, 从而使得转变而成的证据更为合理; 评估过程中不存在两两比较问题, 因而不存在评估数据自一致性的问题; 对比文中提出的两种评估准则下的评估结果, 体现评估准则多样性对评估结果的影响。

进一步研究拟考虑将文章中所运用的方法扩展到相关环境背景中, 深入探讨适用于实际平衡计分卡体系中各指标存在相关性的场合。

参考文献:

- [1] 杨杰, 方俐洛, 凌文铨. 对绩效评价的若干基本问题的思考[J]. 中国管理科学, 2000, 118(4): 74-80.
- [2] 党兴华, 王育晓, 刘泽双. 网络环境下企业技术创新绩效评价研究[J]. 中国管理科学, 2004, 12(3): 130-135.
- [3] 糜仲春, 黄召明. 基于组合赋权的高速公路上市公司绩效动态综合评价[J]. 中国管理科学, 2008, 16(专辑): 235-240.
- [4] 王雪荣. 一种基于证据理论的动态综合绩效评价实用方法[J]. 中国管理科学, 2006, 14(4): 121-127.
- [5] Kaplan, R. S., Norton, D. P.. Using the balanced scorecard as a strategic management system [J]. Harvard

- Business Review, 1996, 74(1): 75– 85.
- [6] Kaplan, R. S., Norton, D. P.. The Balanced Scorecard: Translating Strategy into Action[M]. Boston: Harvard Business School Press, 1996.
- [7] Lee, A. H. I., Chen, W. C., Chang, C. J.. A fuzzy AHP and BSC approach for evaluating performance of IT department in the manufacturing industry in Taiwan[J]. Expert Systems with Applications, 2008, 34: 96– 107.
- [8] 李志学, 王平心. 建立公平绩效评价的分值转换模型研究[J]. 中国管理科学, 2005, 13(3): 126– 130.
- [9] Bhagwat, R., Sharma, M. K.. Performance measurement of supply chain management: A balanced scorecard approach[J]. Computers and Industrial Engineering, 2007, 53: 43– 62.
- [10] Chand, D., Hachey, G., Hunton, J., Owhoso, V., Vasudevan, S.. A balanced scorecard based framework for assessing the strategic impacts of ERP systems[J]. Computers in Industry, 2005, 56: 558– 572.
- [11] Fernandes, K. J., Raja, V., Whalley, A.. Lessons from implementing the balanced scorecard in a small and medium size manufacturing organization[J]. Technovation, 2006, 26: 623– 634.
- [12] Martinsons, M., Davison, R., Tse, D.. The balanced scorecard: A foundation for the strategic management of information systems[J]. Decision Support Systems, 1999, 25: 71– 88.
- [13] 张浩, 冯林. 平衡计分卡在 IT 投资回报评价中的应用[J]. 统计与决策, 2006, 3: 145– 146.
- [14] 冯俊文, 高慧清. 平衡计分卡在项目管理中的应用[J]. 统计与决策, 2006, 1: 149– 151.
- [15] 曹杰, 曹国, 何建敏. 基于平衡计分卡的连锁经营企业绩效评价研究[J]. 中国工程科学, 2008, 10(4): 90– 96.
- [16] Yuksel, I., Dagdeviren, M.. Using the fuzzy analytic network process (ANP) for Balanced Scorecard (BSC): A case study for a manufacturing firm[J]. Expert Systems with Applications, in press.
- [17] Leung, L. C., Lam, K. C., Cao, D.. Implementing the balanced scorecard using the analytic hierarchy process & the analytic network process[J]. Journal of the Operational Research Society, 2006, 57: 682– 691.
- [18] 郑培, 黎建强. 基于模糊评估和马尔可夫预测的供应链动态平衡计分卡[J]. 系统工程理论与实践, 2008, 4: 57– 64, 80.
- [19] Yang, J. B.. Rule and utility based evidential reasoning approach for multiattribute decision analysis under uncertainties[J]. European Journal of Operational Research, 2001, 131: 31– 61.
- [20] Denoeux, T.. Conjunctive and disjunctive combination of belief functions induced by non distinct bodies of evidence[J]. Artificial Intelligence, 2008, 172: 234– 264.
- [21] Wang, Y. M., Yang, J. B., Xu, D. L.. Environmental impact assessment using the evidential reasoning approach[J]. European Journal of Operational Research, 2006, 174(3): 1885– 1913.

The Evidential Reasoning Based Balanced Scorecard and Its Application to the Performance Assessment

SUN Chao ping^{1,2}, YANG Shan lin^{1,2}, FU Chao^{1,2}

(1 School of Management, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China;

2 The Ministry of Education Key Laboratory of Process Optimization and Intelligent Decision, Hefei 230009, China)

Abstract: It is difficult to deal with various uncertainties when traditional balanced scorecard (BSC) is used to assess performance. Aiming at it, this paper proposes an evidential reasoning based BSC. A multi-hierarchical distributed assessment model with multiple sets of assessment grades is constructed. The assessments on different frames are unified using the rule based transformation technique. All uncertain assessments on the indicators of multiple levels are combined by using an analytical algorithm. Based on the resulting assessment, the utility or maximal grade criteria are developed to assess the performance. To demonstrate its validity and rationality, the evidential reasoning based BSC is applied to the performance assessment of the sensors department in Jianghang Aircraft Equipment Co., Ltd.

Key words: performance assessment; balanced scorecard; Dempster-Shafer theory; multi-hierarchical distributed model