

基于最小机会损失准则的组合评价方法研究 *

李珠瑞^{a,b}, 陈海汉^{a,b}, 何耀耀^{a,b}

(合肥工业大学 a. 管理学院; b. 计算机网络系统研究所, 合肥 230009)

摘要: 根据最小机会损失准则提出了一种新的组合评价方法——最小机会损失组合评价方法。该方法运用最小机会损失原则处理各单一评价方法的结果值,用组合机会损失值到最小机会损失值距离最小的思想建立模型,计算出权重,从而把各单一评价方法以权重的形式组合起来,这样既克服了单一评价方法结果的非一致性问题,又尽可能减少了各方案失去其最高排序的风险损失机会。最后通过实例分析表明,该组合评价方法有效。

关键词: 最小机会损失; 组合评价; 权重; 多属性综合评价

中图分类号: C931 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2012)02-0518-04

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.02.031

Research on combination evaluation method based on criteria of minimum loss of opportunity

LI Zhu-rui^{a,b}, CHEN Hai-han^{a,b}, HE Yao-yao^{a,b}

(a. School of Management, b. Institute of Computer Network Systems, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: Based on the criteria for minimum loss of opportunity, this paper proposed a new combination evaluation method, combined evaluation of the minimum loss of opportunity. For the issue of determining weights, the result of each single evaluation method was dealt with by using the principle of minimum loss of opportunity. Based on the theory which was about the smallest gap between the combination's opportunity loss value and the minimum opportunity loss value, the model was built to derive the weights to compose the single evaluation method. Such method not only overcame the consistency problem of the results of a single evaluation method, but also reduced as far as possible the risking loss opportunity of the lost of its highest ranking of each scheme. Finally, an example shows that the combined evaluation method is effective.

Key words: minimum loss of opportunity; combination evaluation; weight; multi-attribute evaluation

评价问题在社会、经济和科技活动中普遍存在,凡是与选优或排序相关的研究都会涉及评价问题。目前,国内外用于评价的方法有很多,有人将其归纳为八类二十种^[1]。但是在实际应用中,当对具有确定属性值的同一对象,运用多种不同单一评价方法分别进行评价时,由于各评价方法的机理不同,其结论往往存在差异,即评价结论存在非一致性问题。

为了解决多方法评价结论的非一致性问题,有学者提出了“组合评价”的概念,把各单一评价方法以某种方式进行组合,用于提高评价结论的准确性和可信度^[2,3]。目前,已经存在的组合评价方法组合思路有很多种^[4],其中主要的组合思路是把各单一评价方法的权重进行组合或结果值进行组合。例如有学者曾用最小二乘法^[5]、线性目标规划^[6]、离差最大化方法^[7]把各单一评价方法的权重值进行组合;有学者用算术平均法、模糊 Borda 法、动态综合评价对各单一评价方法的评价值进行组合^[2]。除此之外,还有采用合作博弈理论构建模型将各单一评价方法进行组合^[8],从而确定权重系数。在决策中,每个方案都期望能够达到自己的理想最优值,同时又尽可能减少远离最优值所存在的风险损失,以此来减少决策所带来失误的风险。而这些方面,以上的方法都没有考虑到。

本文把经济学中最小机会损失准则用到组合评价中来,提

出了一种新的组合评价方法,即基于最小机会损失决策准则的组合评价方法。这种组合评价方法是把各单一评价方法的评价值用权重组合起来,从而进行评价。而对于组合权重的确定,本文采用基于最小机会损失准则处理各单一评价方法的评价值,得到每个单一评价方法的机会损失值,即各方案用每个单一评价方法评价有可能带来的风险失误大小。然后,用使每个方案的组合机会损失值到最小机会损失值之间距离最小的思想建立模型,从而确定各单一评价方法的机会损失值权重。这种思想建立的模型,能够使各方案的组合评价值尽可能地接近多个单一评价方法中最小的机会损失值,从而达到每个方案都尽可能地减少了自己失去最高排序的风险损失。

1 组合评价的最小机会损失决策准则模型

1.1 最小机会损失决策准则的基本原理^[9]

最小机会损失决策准则是将经济学中的收益矩阵里各元素变换为每一“策略—事件”对的机会损失值(遗憾值,后悔值)。其含义是:当某一事件发生后,由于决策者没有选用收益最大的策略而形成的损失值。若发生 k 事件,各策略的收益为 a_{ik} ($i=1,2,\dots,n$),其中最大者为 $a_{ik} = \max_i(a_{ik})$,这时各策略的机会损失值为

收稿日期: 2011-06-19; 修回日期: 2011-08-04 基金项目: 国家自然科学基金面上项目(71071045); 中国博士后科学基金资助项目(20100480679)

作者简介: 李珠瑞(1986-),女(回族),安徽阜阳人,硕士研究生,主要研究方向为组合评价(leezr@163.com); 陈海汉(1983-),男,博士,主要研究方向为企业管理; 何耀耀(1982-),男,博士,主要研究方向为优化理论与方法。

$$a_{ik} = \max_i(a_{ik}) - a_{ik} \quad i = 1, \dots, n$$

设各事件发生的概率为 p_j , 计算各策略的期望损失值。即

$$y = \sum_j p_j a'_{ik} \quad i = 1, 2, \dots, n$$

从这些期望损失值中选取最小者, 它对应的策略应是决策者所选策略。即

$$D = \min_i \left(\sum_j p_j a'_{ik} \right)$$

1.2 组合评价问题用最小机会损失决策准则描述

1.2.1 多属性决策的指标描述

设在某个多属性决策问题中有 m 个需要进行评价的对象, 对象集为 $S = \{S_1, S_2, \dots, S_m\}$; 每个对象中都有 c 个属性, 属性指标集设为 $G = \{G_1, G_2, \dots, G_c\}$ 。设第 i 个对象 S_i 对第 j 个属性 G_j 的属性值记为 $y_{ij} (i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, c)$, $Y = (y_{ij})_{m \times c}$ 为属性矩阵。

1.2.2 组合单一评价方法的问题描述

组合评价要把各单一评价方法的评价结果值经过处理组合起来, 存在单一评价方法的挑选问题。由于不同学科的方法具有不同的属性, 适用范围也不同, 有些单一评价方法的评价结论具有可比基础, 可以组合, 有些方法却不可以。而且从方法论角度解释, 不同的评价方法其内涵与机理有时会相差甚远。因此, 挑选具有相同属性的单一评价方法建立方法集 f , 即有 n 个评价方法, 评价方法集 $f = \{f_1, f_2, \dots, f_n\}$ 。

用方法集 f 中的各单一评价方法对各对象进行评价, 得到评价结果矩阵 F 。其中对象 S_i 在评价方法 f_j 下评价值为 f_{ij} , $F = (f_{ij})_{m \times n} (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$ 。

假设各单一评价方法的权重向量为 $W = [w_1, w_2, \dots, w_n]^T$, 那么, 可以得到对象 S_i 的组合评价值为

$$F_i = w_1 f_{i1} + w_2 f_{i2} + \dots + w_n f_{in} \quad (1)$$

其中: $W = [w_1, w_2, \dots, w_n]^T$ 通过下文建立最小机会损失决策准则组合评价模型来求得, 进而把各方案进行排序, 从而获得对多属性决策问题的评价。

1.3 基于最小机会损失决策准则组合评价模型

1.3.1 模型构建

本文提出的最小机会损失决策准则组合评价法是基于使各单一评价方法评价值的组合期望损失值到最小损失值的距离最小的思想建立的模型, 然后利用瑞利法则 1 和瑞利法则 2 来求解该模型, 从而确定模型极值和权重。

根据 1.1 节的最小机会损失决策准则的基本原理, 把各单一评价方法的评价值作为收益矩阵, 求出各单一评价方法评价值所对应的机会损失值, 即

$$f'_{ij} = \max_i(f_{ij}) - f_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

那么, 用各单一评价方法的权重向量 $W = [w_1, w_2, \dots, w_n]^T$ 对 $F' = (f'_{ij})_{m \times n}$ 进行组合, 可以得到组合机会损失值为 $Y = F'W$ 其中, 每个对象 S_i 的组合机会损失值为

$$y_i = \sum_{j=1}^n f'_{ij} w_j = w_1 f'_{i1} + w_2 f'_{i2} + \dots + w_n f'_{in} \quad (3)$$

其中: $i = 1, 2, \dots, m$, 即 $Y = [y_1, y_2, \dots, y_m]^T$ 。

为了求得权重, 本文提出使各单一评价方法评价值的组合期望损失值到最小损失值的距离最小的思想建立的模型, 即使组合期望损失值尽可能接近各方案的最小损失值, 从而实现各方案都能尽可能地靠近决策所带来的损失。设 d_i 为在对象 S_i

下组合机会损失值 y_i 与单一评价方法的最小机会损失值 $\min_{j=1}^n f'_{ij}$ 的距离, 其中 $i = 1, 2, \dots, m$, 那么 d_i 可以表示为

$$d_i = (y_i - \min_{j=1}^n f'_{ij})^2 = (\sum_{j=1}^n f'_{ij} w_j - \min_{j=1}^n f'_{ij})^2 \quad (4)$$

所有评价对象的组合机会损失值 y_i 与单一评价方法的最小机会损失值之间的总距离为

$$D = \sum_{i=1}^m (y_i - \min_{j=1}^n f'_{ij})^2 \quad (5)$$

因为机会损失值 f'_{ij} 是由每个对象的各单一评价方法评价值的最大值减去每个评价值得到的, 所以明显每个对象机会损失值的最小值为零, 即 $\min_{j=1}^n f'_{ij} = 0$ 。那么总距离 D 可转换为

$$D = \sum_{i=1}^m y_i^2 = y_i^T y_i \quad (6)$$

将 $Y = F'W$ 代入上式中, 于是有

$$D = W^T F'^T F' W = W^T H W \quad (7)$$

其中: $H = F'^T F'$ 为实对称矩阵, 根据最小机会损失决策准则, 求解 W 的问题转换为如下规划问题:

$$\begin{aligned} \min D &= W^T H W \\ \text{s. t. } W^T W &= 1 \\ W &> 0 \end{aligned} \quad (8)$$

1.3.2 模型求解

定义 1 设 A 为 n 阶实对称矩阵, 对于 n 维向量 X , 称数

$$R = \frac{X^T A X}{X^T X} \quad X \neq 0 \quad (9)$$

为实对称矩阵 A 对 X 的瑞利商 (Rayleigh)。

定理 1 n 阶实对称矩阵 A 的对于任意 n 维向量 X 的瑞利商介于其最大特征值与最小特征值之间, 即

$$\lambda_{\min} \leq \frac{X^T A X}{X^T X} \leq \lambda_{\max} \quad (10)$$

定理 2 若 X' 为 A 的最小特征值 λ_{\min} 所对应的标准特征向量, 当取 $X = X'$ 时, 上述模型式 (8) 取得最小值。

该定理 1 和 2 来源于文献 [10, 11]。由于模型式 (8) 中 H 为实对称矩阵, 因此, 可以把模型式 (8) 写成瑞利商的形式, 且 $W^T W = 1$, 这样把 $W^T W$ 作为分母并不影响原总距离 D 的取值, 那么就有

$$D = \frac{W^T H W}{W^T W} (W^T W = 1) \quad (11)$$

如果要得到总距离 D 的最小值, 根据定理 1 和 2, H 的最小特征值 r_{\min} 即为总距离 D 的最小值, 而最小特征值 r_{\min} 所对应的标准特征向量即为组合单一评价方法的权重向量 W 。

1.3.3 权重处理

习惯上, 一般要求式 (1) 中单一评价方法的权重向量 W 为正向量, 即取 $w_j > 0 (j = 1, 2, \dots, n)$ 。如果最小机会损失决策模型求得的权重都有 $w_j > 0 (j = 1, 2, \dots, n)$, 那么, 将所求的权重直接归一化后代入式 (1) 即可。如果得到 $w_j \leq 0 (j = 1, 2, \dots, n)$, 那么, W 可由下面的规划问题解出。即选择 W , 使得

$$\begin{aligned} \min D &= W^T H W \\ \text{s. t. } \|W\| &= 1 \\ W &> 0 \end{aligned} \quad (12)$$

或取一正数 c_0 , 使得 $w_j + c_0 > 0 (j = 1, 2, \dots, n)$, 然后再对 W 进行归一化处理 [11]。

这样, 为了求得人们习惯上易接受的正的加权系数, 需要对所求得的权重 W 做一些处理, 具体方法根据相关对象特点进行选择。

2 基于最小机会损失决策准则的组合评价方法的计算步骤

基于最小机会损失决策准则的组合评价方法的研究可以分为以下几个步骤:

a) 标准化指标下原数据。为了消除量纲和量纲单位不同所带来的不可公度性,首先要将指标下数据进行无量纲化处理,得到各单一评价方法要评价的初始数据。把各对象下的指标属性值 y_{ij} 按效益型属性和成本型属性进行无量纲化处理,得到 x_{ij} ; 对于效益型属性, $x_{ij} = y_{ij}/y_j^{\max}$; 对于成本型属性, $x_{ij} = 1 - y_{ij}/y_j^{\max}$, 其中 $y_j^{\max} = \max\{y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{mj}\}$, 显然 $x_{ij} \in [0, 1]$, $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, c$ 。

b) 单一评价方法的抽取和应用。挑选具有相同属性的单一评价方法,建立方法集 f , 并用各单一评价方法对 x_{ij} 进行评价,得到各方法下的对象评价结果值 f_{ij} , 建立评价结果矩阵 F 。为了减少由于各方法结果之间差距太大所带来的对组合效果的影响,在此,矩阵 F 按单一评价方法进行归一化处理,获得标准数据。

c) 计算基于最小机会损失决策准则的组合评价模型。根据式(1)求出 F' 矩阵,即各单一评价方法评价价值所对应的机会损失值。根据最小机会损失原则建立模型式(8),计算实对称矩阵 H , 并求出其最小特征值和最小特征值对应的特征向量。

d) 对权重 W 进行处理,计算每个对象 S_i 的组合评价价值,并进行排序。对权重 W 进行处理后代入式(1),得出每个对象 S_i 的组合评价价值,并对结果进行分析。

3 实例分析

本文以国家统计局公布的 2008 年全国各地区规模以上工业企业主要经济效益指标统计资料为例,1998 年国家统计局实施了一套工业企业经济效益考核指标体系,即总资产贡献率、资本保值增值率、流动资产周转率、成本费用利润率、全员劳动生产率、产品销售率、资产负债率这七个指标体系。在此抽取其中主要的五个指标用来评价规模以上工业企业主要经济效益。建立属性集指标为 $G = \{G_1, G_2, \dots, G_5\}$, 其中, G_1 为总资产贡献率(%), G_2 为资产负债率(%), G_3 为流动资产周转次数(次/年), G_4 为工业成本费用利润率(%), G_5 为产品销售率(%). 这五个评价指标中除资产负债率为成本型属性指标外,其余均为效益型属性指标。有 31 个需要进行评价的备选对象,对象集 $S = \{S_1, S_2, \dots, S_{31}\}$, 其中, S_1 为北京, S_2 为天津, S_3 为河北, ..., S_{31} 为新疆。

3.1 单一评价方法的抽取和应用

由原始资料知 $m = 31$, 对象集 $S = \{S_1, S_2, S_3, \dots, S_{31}\}$, 把 31 个对象各指标值按成本型和效益型公式进行无量纲化处理,得到 x_{ij} 。笔者选取具有相同属性的主成分分析法、熵值法、因子分析法对各地区规模以上工业企业主要经济效益指标进行评价,即 $n = 3$, 方法集 $f = \{f_1, f_2, f_3\}$, 其中 f_1 为主成分分析法, f_2 为熵值法, f_3 为因子分析法。其中,主成分分析和因子分析是运用统计分析软件包 SPSS 15.0 for Windows 中的因子分析模块完成评价过程中的计算,而熵值法是运用 MATLAB R2008b 进行的运算。运算结果如表 1 所示。

表 1 规模以上工业企业主要经济效益单一评价方法结论

地区	主成分分析法	排序	熵值法	排序	因子分析法	排序
北京	-36.9917	23	0.368161	18	15.86268	11
天津	-10.0484	17	0.355581	19	-3.03783	16
河北	23.26763	9	0.426609	8	17.40058	10
山西	-25.9679	21	0.282713	26	-47.0546	25
内蒙古	17.69617	10	0.398261	13	-15.7207	21
辽宁	-61.7605	27	0.294645	25	-32.6998	22
吉林	-12.1867	18	0.404233	12	18.5129	8
黑龙江	219.8936	1	0.724221	1	123.4343	1
上海	-55.8445	25	0.322365	22	-5.69045	17
江苏	16.19228	11	0.411091	10	19.06361	7
浙江	-58.8717	26	0.265672	28	-50.4427	26
安徽	0.204755	13	0.369952	17	-6.34853	18
福建	-1.19582	14	0.414604	9	18.05774	9
江西	56.72021	6	0.517708	6	72.66504	5
山东	58.56294	5	0.529294	5	57.05354	6
河南	126.0995	3	0.619195	3	106.9134	2
湖北	-7.98073	16	0.40773	11	15.45465	12
湖南	84.12535	4	0.536017	4	78.62817	4
广东	-5.83809	15	0.387322	16	1.638721	15
广西	-63.8967	28	0.264284	29	-74.3933	28
海南	5.8573	12	0.389028	15	12.81773	14
重庆	-19.7642	20	0.342037	21	-12.3352	19
四川	-19.6671	19	0.34709	20	-13.0265	20
贵州	-55.3525	24	0.249685	30	-81.7616	30
云南	-33.7061	22	0.321297	23	-50.4781	27
西藏	-166.705	31	0.300058	24	-76.7784	29
陕西	50.22482	7	0.462717	7	13.46546	13
甘肃	-76.2751	29	0.279815	27	-35.6617	23
青海	27.07685	8	0.394821	14	-42.7599	24
宁夏	-109.159	30	0.174542	31	-104.594	31
新疆	135.2905	2	0.62119	2	81.81469	3

3.2 基于最小机会损失值法则的组合评价模型计算

把 3.1 节所得到的三个单一评价方法的评价结果标准化后,代入式(1)求出 F' 矩阵,即各单一评价方法评价价值所对应的机会损失值。用 MATLAB R2008b 编程实现得该实例最终组合评价权重为: $w_1^* = 0.182072$, $w_2^* = 0.645594$, $w_3^* = 0.172334$ 。

然后把最终组合评价权重代入式(1),获得 31 个对象 S_i 的组合评价价值分别为: $F_1 = 0.379526$, $F_2 = 0.363156$, $F_3 = 0.477715$, ..., $F_{31} = 0.807689$, 其具体结果及排序如表 2 所示。

在组合评价方法下,为了说明该最小机会损失组合评价法的评价效果良好,选取评价法和模糊 Borda 法对各单一评价方法结果值进行组合,然后再将这三组结果值与实际数据进行比较。

本文用规模以上工业经济效益综合指数作为评价各省规模以上工业企业经济效益排序效果的标准。目前我国计算的工业综合经济效益指数是于 1998 年 2 月在全国正式实行,用于衡量工业经济效益状况。从排序结果可看出,基于最小机会损失值法则的组合评价模型计算出的结论更接近实际情况。例如江西省的平均值法总排序为 5,模糊 Borda 法的排名为 5,最小机会损失组合评价法排名为 6;而山东省平均值法总排序为 6,模糊 Borda 法的排名为 6,最小机会损失组合评价法排名为 5。在此,用排序中平均值法和模糊 Borda 法都显示出江西省比山东省规模以上工业企业经济效益要好。但是根据中国地方统计公报显示,2008 年,江西省规模以上工业经济效益综合指数为 216%,而山东省规模以上工业经济效益综合指数为

261.8%,显然 216% < 261.8%,山东省规模以上工业经济效益比江西省要好,因此,基于最小机会损失值法则的组合评价法所得的结果更接近实际情况。又如,青海省的平均值法总排序为 19,模糊 Borda 法的排名为 17,最小机会损失组合评价法排名为 16,而平均值法排序为 16 的是安徽省,安徽省规模以上工业经济效益综合指数为 209%,广东省规模以上工业经济效益综合指数为 174.3%,而青海省规模以上工业经济效益综合指数为 331.55%,显然青海省应排序较为靠前。由以上分析可知,基于最小损失值法则的组合评价模型计算出的结果更接近实际情况,评价效果更好。

表 2 规模以上工业企业主要经济效益三种组合评价法结论

地区	最小机会损失	排序	平均值法	排序	模糊 Borda	排序
北京	0.379526	18	0.405338	17	179.8083	15
天津	0.363156	19	0.393311	18	111.8771	19
河北	0.477715	8	0.494986	8	240.5832	11
山西	0.23681	25	0.271053	24	43.2828	23
内蒙古	0.416766	14	0.424575	14	206.1247	13
辽宁	0.244816	24	0.268411	25	31.32987	25
吉林	0.435578	12	0.452474	12	247.7975	9
黑龙江	1	1	1	1	465	1
上海	0.300572	22	0.329804	22	87.59442	20
江苏	0.457414	9	0.481907	9	269.6608	8
浙江	0.198738	27	0.227395	27	14.4916	29
安徽	0.382361	17	0.406026	16	129.9571	18
福建	0.45259	10	0.467574	10	245.1297	10
江西	0.642231	6	0.659859	5	343.4493	5
山东	0.644909	5	0.645653	6	335.2141	6
河南	0.819986	2	0.831288	2	425.6929	2
湖北	0.439355	11	0.45375	11	187.7955	14
湖南	0.681149	4	0.703309	4	378	4
广东	0.405952	15	0.423025	15	163.5882	16
广西	0.176641	28	0.18721	28	5.344145	30
海南	0.421913	13	0.450485	13	217.7399	12
重庆	0.335647	21	0.36313	21	71.80041	21
四川	0.341104	20	0.365267	20	70.98652	22
贵州	0.15795	30	0.174953	29	20.63419	27
云南	0.275895	23	0.282774	23	40.41333	24
西藏	0.168435	29	0.116774	30	17.69539	28
陕西	0.529845	7	0.534373	7	290.3383	7
甘肃	0.218324	26	0.242574	26	24.82013	26
青海	0.396708	16	0.391051	19	134.9553	17
宁夏	0.027102	31	0.049618	31	0.833333	31
新疆	0.807689	3	0.803732	3	420.3387	3

4 结束语

本文把经济学中最小机会损失准则用到组合评价中来,提出了基于最小机会损失决策准则的新的组合评价方法。该组合评价方法用使组合机会损失价值到每个单一评价方法中最小的机会损失值距离最小的思想建立模型,从而确定各单一评价方法的权重,用权重求得组合评价的最终评价价值,并进行排序。本文建立的模型能够使各方案的组合评价价值尽可能地接近多个单一评价方法中最小的机会损失值,从而达到每个方案都尽可能地减少了自己失去最高排序的风险损失。该方法概念清晰、涵义明确、算法简单,并用实例证明了其在处理多属性决策经济问题时效果良好,从而具有一定的推广和实用价值。

参考文献:

[1] CHEN Guo-hong, CHEN Yan-tai. The research progress & development trend of comprehensive evaluation methods [C]//Proc of International Conference on Management Science&Engineering. Harbin: Harbin Institute of Technology Press, 2002:462-470.

[2] 郭显光,一种新的综合评价方法——组合评价法[J]. 统计研究, 1995,12(5):56-591.

[3] GREGORY A J. The road to integration. Reflections on the development of organizational evaluation theory and practice[J]. Omega-International Journal of Management Science, 1996,24(3):295-370.

[4] 陈国宏,陈衍泰,李美娟. 组合评价系统综合研究[J]. 复旦学报:自然科学版,2003,42(5):668-672.

[5] 毛定祥. 一种最小二乘意义下主客观评价一致的组合评价方法[J]. 中国管理科学,2000,10(5):95-97.

[6] 徐泽水,达庆利. 多属性决策的组合赋权方法研究[J]. 中国管理科学,2002,10(2):84-87.

[7] 陈华友. 多属性决策中基于离差最大化的组合赋权方法[J]. 系统工程与电子技术,2004,26(2):194-197.

[8] 陈衍泰,陈国宏,李美娟. 应用合作博弈确定组合评价权重系数的方法研究[J]. 中国管理科学,2005,13(3):89-94.

[9] 《运筹学》教材编写组. 运筹学[M]. 北京:清华大学出版社,2005.

[10] 明安联. 经济学中的矩阵理论[M]. 成都:四川科学技术出版社,1991.

[11] 郭亚军. 综合评价理论与方法[M]. 北京:科学出版社,2001.

(上接第 481 页)

[7] WANG Jian-yong, HAN Jia-wei. BIDE: efficient mining of frequent closed sequences[C]//Proc of the 20th International Conference on Data Engineering. 2004:79-90.

[8] CONG Sheng-nan, HAN Jia-wei, PADUA D. Parallel mining of closed sequential patterns[C]//Proc of the 11th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery in Data Mining. 2005:562-567.

[9] ZHU Tian, BAI Si-xue. A parallel mining algorithm for closed sequential patterns[C]//Proc of the 21st International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops. [S.l.]: IEEE Computer Society, 2007:392-396.

[10] BUEHRER G, PARTHASARATHY S, CHEN Y K. Adaptive parallel graph mining for CMP architectures[C]//Proc of the 6th International Conference on Data Mining. Washington DC: IEEE Computer Society,2006:97-106.

[11] LUCHESE C, ORLANDO S, PEREGO R. Parallel mining of frequent closed patterns: harnessing modern computer architectures

[C]//Proc of the 7th IEEE International Conference on Data Mining. 2007:242-251.

[12] GURALNIK V, KARYPIS G. Parallel tree-projection-based sequence mining algorithms [J]. Parallel Computing, 2004,30(4):443-472.

[13] 邹翔,张巍,刘洋,等. 分布式序列模式发现算法的研究[J]. 软件学报,2005,16(7):1262-1269.

[14] TATIKONDA S, PARTHASARATHY S. Mining tree-structured data on multicore systems[C]//Proc of VLDB Endowment. 2009:694-705.

[15] 宋刚,蒋孟奇. 有限元单元计算程序的 OpenMP 并行化[J]. 计算机工程,2008,34(6):80-84.

[16] 胡斌,袁道华. TBB 多核编程及其混合编程模型的研究[J]. 计算机技术与发展,2009,19(2):89-101.

[17] YAN Xi-feng, HAN Jia-wei, AFSHAR R. CloSPan: mining closed sequential patterns in large datasets[C]//Proc of the 3rd SIAM International Conference on Data Mining. 2003:166-177.

[18] 王鹏,孟丹,詹剑锋,等. 数据密集型计算编程模型研究进展[J]. 计算机研究与发展,2010,47(11):1993-2002.