

基于实例推理的个性化产品评价方法*

包志炎^{1,2} 肖刚¹ 高飞¹ 阮曙峰³

(1. 浙江工业大学机械工程学院, 杭州 310032; 2. 浙江水利水电专科学校机电工程系, 杭州 310018;
3. 浙江众擎起重机械制造有限公司, 绍兴 311800)

【摘要】 通过建立个性化产品评价问题的形式化描述,给出了基于实例推理的评价模型与算法,运用模糊数学实现了实例库的自主聚类分组,提出了经验赋权规则约束下的数学赋权法为每一个组别建立动态权重,采用了加权的欧几里德距离解决相似实例的检索问题,在相似实例的基础上进行修正得到最终评价结果。最后以桥式起重机产品的评价为例,给出了详细的实现步骤,证明了该方法的有效性。

关键词: 实例推理 个性化产品 自主聚类 权重优化 产品评价

中图分类号: TH122; N945.16 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2011)09-0197-05

Evaluation Method of Individualized Products Based on Case Reasoning

Bao Zhiyan^{1,2} Xiao Gang¹ Gao Fei¹ Ruan Shufeng³

(1. College of Mechanical Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310032, China 2. Department of Mechanical and Electronic Engineering, Zhejiang Water Conservancy and Hydropower College, Hangzhou 310018, China
3. Zhejiang Zhongqing Lifting Machinery Co., Ltd., Shaoxing 311800, China)

Abstract

The problems of the individualized product evaluation were formalized, and a product evaluation model with algorithms based on case reasoning was proposed. The case library was divided into groups through fuzzy clustering analysis, and different groups had different dynamic weights by mathematical calculation under the constraints of experience rules. The program flow chart of the algorithm of evaluation parameter weights optimization was presented. Euclidean distance with weights was adopted to search a similar instance. The final result of product evaluation was adjusted based on the similar instance. The proposed methodology demonstrated the effectiveness in an instance of the evaluation of crane products.

Key words Case-based reasoning, Individualized products, Self-clustering, Weight optimization, Product evaluation

引言

企业为适应市场需求而日益趋向于多品种小批量生产形态^[1]。用户的个性化需求决定了定制产品存在差异性,新定制产品与历史产品实例之间的相似性,新定制产品的客户满意度和市场竞争力以及新定制产品能否在已有产品的基础上进行成本估算或快速报价等,都是企业极其关心的。针对诸类

评价指标,如果企业能够在产品生产制造之前,运用评价理论,建立合理的评价参数与权重,在已有成功案例的基础上对新定制产品的评价结果进行预测,及时分析潜在问题,提出改进对策,这对于企业快速响应客户需求、提高产品制造敏捷性具有重要意义。评价是一个多学科边缘交叉、相互渗透、多点支撑的新兴研究领域。在机械产品的现代评价方法中,一些新兴的学科方法如层次分析^[2-3]、模糊数

收稿日期: 2011-03-05 修回日期: 2011-04-11
* 国家自然科学基金资助项目(50705087)和浙江省重大科技专项资助项目(2009C11164)
作者简介: 包志炎, 博士生, 浙江水利水电专科学校讲师, 主要从事机械 CAD、制造业信息化研究, E-mail: baozhiyan@gmail.com

学^[4-5]、数据包络分析^[6]、人工神经网络^[3]、灰色系统^[7]等理论都被融合应用,使评价结果更加实用,为决策提供了有效手段。实例推理技术(case-based reasoning,简称 CBR),是人工智能领域的一个重要分支,在机械产品的制造生产中已得到了成功运用^[8-12]。CBR 的核心思想是利用已有的经验和案例去解决新问题。更具体说,它直接模拟人类思维模式,在遇到一个需要求解的问题时,首先在实例库中检索与该问题最相似的实例,并对其进行修正,输出修正后的结果作为该问题的解。本文寻求一种基于实例推理的个性化产品评价方法。

1 问题的形式化描述

在新定制产品投入生产制造前,针对某一评价指标,企业如何基于历史产品实例对客户定制的产品作出合理评价,是个性化产品评价的原始命题。构成评价问题的要素有评价对象、评价指标、评价参数、参数权重及评价模型与方法。围绕这些要素,下面对该命题进行形式化描述:

定义 1:历史产品实例库 $C = \{c_i | i = 1, 2, \dots, n\}$ 。设产品实例库 C 中共有 n 个产品实例 c_i ,用 c_x 表示客户新定制的产品,即为评价对象。

定义 2:产品评价参数集 $R = \{r_{ij}, p_i | i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m\}$, r_{ij}, p_i 分别为产品实例 c_i 的 m 个评价参数和一个评价指标。用于评价的参数定义为评价参数,被评价的指标称为评价指标,评价参数是根据能否影响评价指标而确定的。新定制产品 c_x 的各项评价参数构成向量 $r_x = (r_{xj} | j = 1, 2, \dots, m)$,用 p_x 表示待求的评价指标,即评价结果。

定义 3:产品评价参数权重向量 $w = (w_j | j = 1, 2, \dots, m)$,权重是以某种数量形式来权衡被评价事物总体中各评价参数相对重要程度的量值。

基于以上定义,面向客户需求的个性化产品评价的原始命题转化为通过建立评价模型,寻求科学合理的评价方法 f ,使得 $p_x = f(r_x, w, C)$ 。

2 产品评价模型及算法

针对个性化产品的定制特性,基于实例推理技术,建立产品评价模型如图 1 所示,其核心思想是:根据产品评价指标,选择合理的评价参数,以各项评价参数值为内容建立产品实例库 C ;运用自主聚类算法 f_1 定期完成产品实例库的自主聚类,将各项评价参数相似的产品归于一个组别,并为每一个组别的评价参数赋予合理权重 w ;在进行评价时,首先根据新定制产品 c_x 的各项评价参数 r_x ,通过相似匹配

算法 f_2 在实例库中检索最相似的产品实例 c_e ,然后在相似实例的各项评价参数 r_e 及所在组别权重的基础上,按评价修正算法 f_3 推出评价结果 p_x 。若事后证明,评价结果在预先设定的允许误差范围内,则新定制产品存入实例库 C ,实现实例库的自学习与更新。

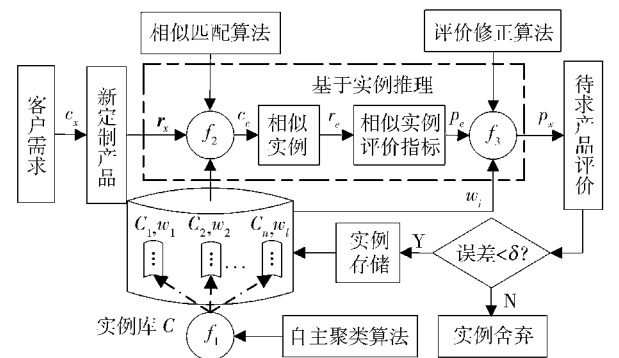


图 1 基于实例推理的个性化产品评价模型
Fig. 1 Evaluation mode of individualized products
based on case reasoning

2.1 实例库自主聚类算法

目前,评价参数的赋权方法主要有主观赋权法和客观赋权法。前者由专家根据经验直接估算,简单易行,但随意性较大;后者以数学原理为基础动态生成,具有客观性,但有时会出现与指标实际重要程度相悖的结果。考虑到实例库中包含了大量不同定制需求的产品,要寻求统一的权重难有最优解。本文提出先将实例库自主聚类分组,再使用经验赋权规则约束下的数学赋权法,为每一个组别的评价参数赋予与之适应的合理权重。这样的赋权方法实现了主观、客观两种赋权方法的优势互补,而且在相似产品组中寻找最优权重提高了成功率。下面给出具体的算法 f_1 :

(1) 标准化数据矩阵 M 。以产品实例库中各产品评价参数为内容构建数据矩阵 M 。为消除各参数间不同量纲的偏差,通过“平移-标准差-极差”变换将数据转换到 $[0, 1]$ 区间,进行数据标准化,计算得到矩阵

$$M = [r_{ij}, p_i]_{n \times (m+1)} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} & p_1 \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} & p_2 \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} & p_n \end{bmatrix} \tag{1}$$

$$M' = [a_{ij}]_{n \times (m+1)} \tag{2}$$

其中

$$a_{ij} = \frac{r'_{ik} - \min_{1 \leq i \leq n} \{r'_{ik}\}}{\max_{1 \leq i \leq n} \{r'_{ik}\} - \min_{1 \leq i \leq n} \{r'_{ik}\}}$$

$$r'_{ik} = \frac{r_{ik} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n r_{ik}}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(r_{ik} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n r_{ik} \right)^2}}$$

$$(i = 1, 2, \cdots, n; k = 1, 2, \cdots, m + 1)$$

(2) 建立模糊相似矩阵 M'' 。为了定量地进行分类,引入夹角余弦的相关系数作为聚类统计量,将矩阵 M' 转换为一个模糊相似矩阵

$$M'' = [a'_{ij}]_{n \times (m+1)} \tag{3}$$

其中

$$a'_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^{m+1} a_{ik} a_{jk}}{\sqrt{\sum_{k=1}^{m+1} a_{ik}^2} \sqrt{\sum_{k=1}^{m+1} a_{jk}^2}}$$

(3) 实例库聚类分组。用平方法求 M'' 的传递闭包 $t(M'')$ 。使用 λ -截矩阵,使阈值 λ 由 1 减小到 0,则 $t(M'')$ 的分类由细变粗,形成了一个动态聚类图。

(4) 评价参数赋权。为合理赋权,针对步骤 (3) 生成的每一个组别,首先根据专家的经验设置赋权规则,使各权重宏观上符合各评价参数对评价指标贡献量的相对大小。然后在规则的约束下,对各权重在 $[0, 1]$ 区间内按一定的步长逐一穷举;使用列举的权重,把每一个样本实例 c_i 作为待评价产品 c_x ,用剩余的 $(n - 1)$ 个实例按本文的方法去求评价结果 p_x ;计算 p_x 与实际值 p_i 的相对误差,当相对误差均在预先设定的范围内时,该组权重即为该组别所求的解;若有两个及以上的解,所有实例估算的相对误差总和最小的为最优解。当实例库通过自学习发生更新后,权重最优解会随着聚类分组结果的不同而变化,所以这样的赋权方法实现了动态赋权,同时赋权规则的设置因直接过滤了很多种穷举情况而提高了程序运行效率。针对每一个组别(设组内含 n 个实例, m 个评价参数),评价参数赋权算法的程序流程如图 2 所示。

图 3 中, $\text{BestWeight}[m]$ 为权重最优解, $w[k]$ 为第 k 次穷举的权重组, δ 为预先设定的允许估算误差, MinErrorSum 为最小估算误差和, ErrorSum 为某一轮穷举权重下的误差和, Step 为穷举步长。在产品实例库内循环评价中, $c[j]$ 是当前作为待评价的实例, p_{sj} 是评价结果, p_j 是实际值, C_{n-1} 是实例库中去除 $c[j]$ 后的产品实例集。在赋权规则设置中,根据专家经验设置不同规则 $w[k][i] < 0.1$ 、 $w[k][i] > 0.5$ 、 $w[k][i] < w[k][z]$ 、 $\sum_{i=1}^m w[k][i] = 1$, 可以分别表达各评价参数对评价目标贡献量相对较大、相对较小、相互值大小关系及权重总和为 1。程序运行结果为

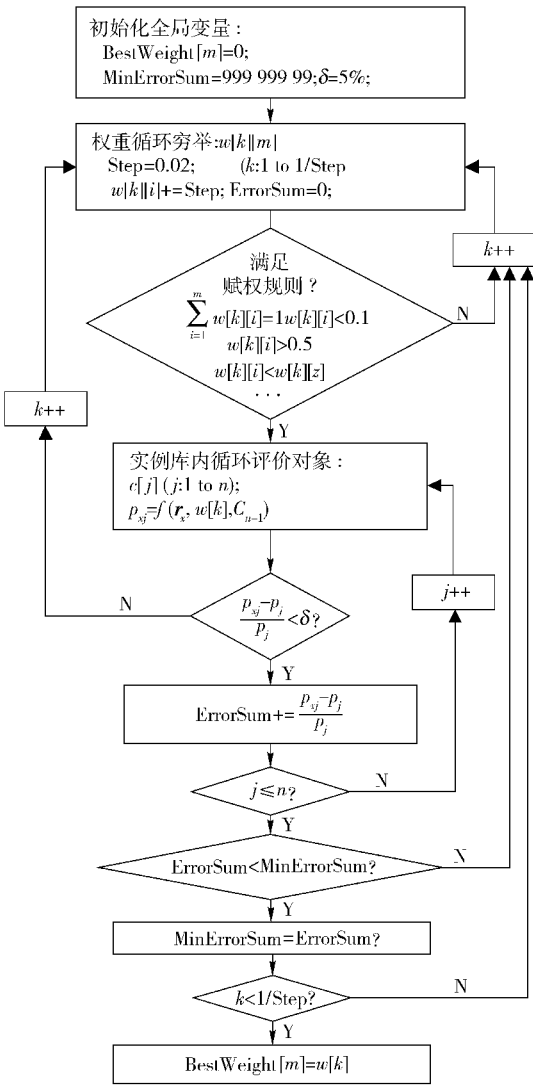


图 2 评价参数赋权算法的程序流程图
Fig. 2 Program flow chart of the algorithm of evaluation parameter weights optimization

组别	权重
$C_1 = \begin{bmatrix} r_{11}^{(1)} & r_{12}^{(1)} & \cdots & r_{1m}^{(1)} \\ r_{21}^{(1)} & r_{22}^{(1)} & \cdots & r_{2m}^{(1)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1}^{(1)} & r_{n2}^{(1)} & \cdots & r_{nm}^{(1)} \end{bmatrix}$	$\Leftrightarrow w_1 = \begin{bmatrix} w_1^{(1)} \\ w_2^{(1)} \\ \vdots \\ w_m^{(1)} \end{bmatrix}^T$
$C_2 = \begin{bmatrix} r_{11}^{(2)} & r_{12}^{(2)} & \cdots & r_{1m}^{(2)} \\ r_{21}^{(2)} & r_{22}^{(2)} & \cdots & r_{2m}^{(2)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1}^{(2)} & r_{n2}^{(2)} & \cdots & r_{nm}^{(2)} \end{bmatrix}$	$\Leftrightarrow w_2 = \begin{bmatrix} w_1^{(2)} \\ w_2^{(2)} \\ \vdots \\ w_m^{(2)} \end{bmatrix}^T$
$C_l = \begin{bmatrix} r_{11}^{(l)} & r_{12}^{(l)} & \cdots & r_{1m}^{(l)} \\ r_{21}^{(l)} & r_{22}^{(l)} & \cdots & r_{2m}^{(l)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1}^{(l)} & r_{n2}^{(l)} & \cdots & r_{nm}^{(l)} \end{bmatrix}$	$\Leftrightarrow w_l = \begin{bmatrix} w_1^{(l)} \\ w_2^{(l)} \\ \vdots \\ w_m^{(l)} \end{bmatrix}^T$

2.2 相似实例匹配算法

(1) 标准化数据矩阵 M 。因新定制产品的评价指标值待求,建立不含评价指标的数据矩阵 M 。对 M 的每一行与需求向量 r_x 进行差运算,并作归一化操作得矩阵

$$M' = \begin{bmatrix} r'_{11} & r'_{12} & \cdots & r'_{1m} \\ r'_{21} & r'_{22} & \cdots & r'_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r'_{n1} & r'_{n2} & \cdots & r'_{nm} \end{bmatrix} \tag{4}$$

其中

$$r'_{ij} = \frac{|r_{xj} - r_{ij}|}{\sum_{j=1}^m (r_{xj} - r_{ij})}$$

$(i = 1, 2, \cdots, n; j = 1, 2, \cdots, m)$

(2) 计算相似度。相似度主要用于同一类对象间相似程度的量化表示。考虑到各评价参数之间的权重差异,引入加权的欧几里德距离。新定制产品 c_x 与各实例 c_i 间(设该实例被聚类于 l 组)的相似度为

$$d(x, i) = 1 - \sqrt{\sum_{j=1}^m w_{ij}^2 (r'_{ij})^2}$$

$(i = 1, 2, \cdots, n; j = 1, 2, \cdots, m)$

$\tag{5}$

式中 w_{ij} —— c_i 所在组别对应的权重

(3) 获取相似实例。令 $d(x, e) = \max \{d_i | i = 1, 2, \cdots, n\}$, 则相似度 $d(x, e)$ 所对应的产品实例 c_e 即为新定制产品的相似实例。

2.3 评价结果修正算法

在相似实例的各项评价参数的基础上,使用相似实例所在组别对应的权重来构造评价指标的影响因子。评价修正算法 f_3 表达为

$$p_x = p_e \left(1 + \sum_{j=1}^m w_{ej} \frac{r_{xj} - a_{ej}}{a_{ej}} \right) \tag{6}$$

式中 p_e —— c_e 的评价指标值

w_{ej} —— c_e 所在聚类分组对应的权重

$$\sum_{j=1}^m w_{ej} \frac{r_{xj} - a_{ej}}{a_{ej}}$$

评价指标影响因子

合理构建实例库是实现科学评价的前提,高质量的实例库首要的是确保样本实例本身评价结果的准确性。待新定制产品完成设计生产后,评价结果与实际值的相对误差在预先设定的允许范围内的才能存入实例库,实现实例库的自学习与更新。

3 应用实例

起重机是一类典型的个性化定制产品,因为使用场地、场合不一样,起重机的跨度和起重吨位不同,进而影响设计方案与产品价格。以浙江省某企业的桥式起重机为评价对象,客户定制的产品价格

为评价指标,实现上述方法的具体应用。通过对该企业实际签订的产品销售合同进行整理分析,以起重机的主要定制参数作为产品评价参数,建立产品报价实例库。为方便说明,取其中的 9 个样本,见表 1。令 $\delta = 5\%$,按 2.1 节的自主聚类算法,生成动态聚类图,见图 3;取阈值 $\lambda = 0.974$,产品实例库分为 3 个组别 $C_1 \{c_1, c_3, c_4\}$ 、 $C_2 \{c_2, c_6, c_9\}$ 、 $C_3 \{c_5, c_7, c_8\}$;设定步长为 0.02,根据实际经验,可判断影响起重机价格各因素相对关系,设置赋权规则 $\sum_{i=1}^m w[i] = 1$ 、 $w_1 > 0.3$ 、 $w_2 \geq 0.2$ 、 $w_4 > w_5$,确定各组别的相应权重分别为 $w_1 = (0.42, 0.20, 0.08, 0.06, 0.04, 0.20)$ 、 $w_2 = (0.54, 0.20, 0.04, 0.04, 0.02, 0.16)$ 、 $w_3 = (0.48, 0.22, 0.04, 0.04, 0.02, 0.20)$ 。

表 1 桥式起重机产品报价实例库

Tab. 1 Case library of crane product quotation

实例 样本	起吊 质量/t	跨度 /m	起升 高度/m	运行速度 /m·min ⁻¹		起升 速度 /m·min ⁻¹	实际 价格 /万元
				大车	小车		
c ₁	3.00	16.50	9.00	30.00	20.00	9.30	4.38
c ₂	20.00	22.50	9.00	76.30	44.60	7.20	32.00
c ₃	2.00	18.55	9.00	30.00	20.00	8.00	4.00
c ₄	5.00	16.50	9.00	30.00	20.00	8.00	4.50
c ₅	10.00	28.50	12.00	70.00	40.00	12.50	27.60
c ₆	20.00	26.50	12.00	75.00	44.50	7.20	31.00
c ₇	5.00	22.50	12.00	69.70	44.30	12.70	20.18
c ₈	10.00	22.50	12.00	69.70	44.30	10.40	22.73
c ₉	20.00	22.50	14.00	86.90	44.60	9.30	39.70

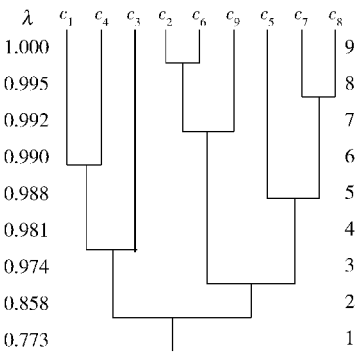


图 3 产品实例库动态聚类图

Fig. 3 Dynamic cluster views of the case library

待评价产品的各项评价参数依次为:起吊质量 5 t、跨度 22.5 m、起升高度 8 m、大车运行速度 35.5 m/min、小车运行速度 26.5 m/min、起升速度 12.7 m/min,则 $r_x = (5.00, 22.50, 8.00, 35.50, 26.50, 12.70)$ 。按 2.2 节的相似实例匹配算法,得到归一化后的产品实例矩阵为

$$M' = \begin{bmatrix} 0.033\,3 & 0.231\,2 & 0.038\,5 & 0.021\,9 & 0.052\,9 & 0.151\,6 \\ 0.250\,0 & 0.000\,0 & 0.038\,5 & 0.162\,5 & 0.147\,4 & 0.177\,4 \\ 0.050\,0 & 0.152\,2 & 0.038\,5 & 0.021\,9 & 0.052\,9 & 0.151\,6 \\ 0.000\,0 & 0.231\,2 & 0.038\,5 & 0.021\,9 & 0.052\,9 & 0.151\,6 \\ 0.083\,3 & 0.231\,2 & 0.153\,8 & 0.137\,4 & 0.109\,9 & 0.006\,5 \\ 0.250\,0 & 0.154\,1 & 0.153\,8 & 0.157\,3 & 0.146\,6 & 0.177\,4 \\ 0.000\,0 & 0.000\,0 & 0.153\,8 & 0.136\,2 & 0.145\,0 & 0.000\,0 \\ 0.083\,3 & 0.000\,0 & 0.153\,8 & 0.136\,2 & 0.145\,0 & 0.074\,2 \\ 0.250\,0 & 0.000\,0 & 0.230\,8 & 0.204\,7 & 0.147\,4 & 0.109\,7 \end{bmatrix}$$

计算求得待评价产品与各实例的贴近度,见表2,可得 $d(x,7)=\max\{d_i|i=1,2,\cdots,9\}=0.971$,即 c_7 为相似实例。将 $p_7=20.18$, $w_3=(0.48,0.22,0.04,0.04,0.02,0.20)$ 按评价修正算法得最终评价结果 $p_x=19.35$ 万元。实际价格为19.55万元,相对误差为1.01%。

表2 待评价产品与各实例的贴近度

Tab.2 Similarity distance between the new product and other cases

贴近度	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5	c_6	c_7	c_8	c_9
$d(x,i)$	0.909	0.825	0.919	0.911	0.905	0.798	0.971	0.946	0.833

根据起重机设计原理,起重机产品成本主要取决于机械及电气两大模块。当起吊质量增大、跨度增加时会引起机械模块中钢材用料的明显增加,所以在其他参数基本一致的情况下,随着这2个参数的变大,其权重也应变大,这正与本实例中生成的3组权重相吻合。评价结果与实际价格的相对误差在允许的范围之内,能满足企业在预售阶段对客户的询价需求,为产品招投标时的决策提供依据,提升了企业快速响应能力,说明本文的评价方法具有一定的有效性。

4 结束语

针对个性化产品的评价问题,本文提出了一种基于实例推理的产品评价方法,并通过实例验证了其有效性。该方法通过建立产品评价模型,采用模糊数学理论实现实例库的聚类分组,运用赋权规则约束下的数学赋权法为每一个组别建立动态权重,引入加权的欧几里德距离完成相似实例的匹配,最后在相似实例的基础上进行修正得到最终评价结果。本文提出的产品评价方法适用于评价参数和评价指标可量化、各项评价参数对评价指标影响敏感的个性化产品评价。

参 考 文 献

1 Madhavan A. Security prices and market transparency [J]. Journal of Financial Intermediation, 1996,5(2) :255 ~ 283.

2 王桂萍,贾亚洲,周广文,等. 基于模糊可拓层次分析法的数控机床绿色度评价方法及应用[J]. 机械工程学报,2010,46(3) :142 ~ 149.
Wang Guiping, Jia Yazhou, Zhou Guangwen, et al. Evaluation method and application of CNC machine tool's green degree based on fuzzy-EAHP[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2010, 46(3) :142 ~ 149. (in Chinese)

3 张广明,邱春玲,钱夏夷,等. 模糊层次分析法和人工神经网络模型在电梯风险评估中的应用[J]. 控制理论与应用,2009,26(8) :930 ~ 935.
Zhang Guangming, Qiu Chunling, Qian Xiayi, et al. The application of fuzzy analytic hierarchy process and artificial neural network in elevator risk assessment[J]. Control Theory & Applications, 2009, 26(8) :930 ~ 935. (in Chinese)

4 王建维,张建明,魏小鹏,等. 产品方案的模糊协同评价方法[J]. 农业机械学报,2005,36(3) :106 ~ 111.
Wang Jianwei, Zhang Jianming, Wei Xiaopeng, et al. An approach to fuzzy collaborative evaluation of product design concept [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2005,36(3) :106 ~ 111. (in Chinese)

5 刘开第,赵奇,周少玲,等. 机械产品方案设计模糊综合评价中隶属度转换的新方法[J]. 机械工程学报,2009,45(12) :162 ~ 167.
Liu Kaidi, Zhao Qi, Zhou Shaoling, et al. Fuzzy comprehensive evaluation for conceptual design of mechanic product based on new membership conversion [J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2009, 45(12) : 162 ~ 167. (in Chinese)

6 刘英平,高新陵,沈祖诒,等. 基于模糊数据包络分析的产品设计方案评价研究[J]. 计算机集成制造系统,2007,13(11) :2100 ~ 2106.
Liu Yingping, Gao Xinling, Shen Zuyi, et al. Product design schemes evaluation based on fuzzy DEA [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2007, 13(11) : 2100 ~ 2106. (in Chinese)

7 丁满,孙伟,马铁强,等. 多工作模式产品配色意象的灰色评价方法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报,2009,21(12) :1857 ~ 1863.
Ding Man, Sun Wei, Ma Tieqiang, et al. Gray evaluation method for color combination image of multiple working modes product [J]. Journal of Computer-aided Design & Computer Garphics,2009, 21(12) :1857 ~ 1863. (in Chinese)

参考文献

- 1 马从国,赵德安,秦云,等. 基于现场总线技术的水产养殖过程智能监控系统[J]. 农业机械学报,2007,38(8):113 ~ 115.
Ma Congguo, Zhao Dean, Qin Yun, et al. Intelligent monitoring and control for aquiculture process based on fieldbus[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007,38(8): 113 ~ 115. (in Chinese)
- 2 Phillip G Lee. Process control and artificial intelligence software for aquaculture [J]. Aquacultural Engineering, 2000, 23 (1 ~ 3): 13 ~ 36.
- 3 Jerschewski P. A flow system for calibration of dissolved oxygen sensors[J]. Fresenius' Journal of Analytical Chemistry, 1997, 358(6): 677 ~ 682.
- 4 Amy J C Trappey, Tung-Hung Lu. Development of an intelligent agent system for collaborative mold production with RFID technology[J]. Robotics and Computer-integrated Manufacturing, 2007, 27(6): 363 ~ 370.
- 5 Hermann Kopetz. Real time system design principles for distributed embedded application[M]. Kluwer Academic Publishers, 1997.
- 6 谢菊芳,陆昌华,李保明,等. 基于.NET 构架的安全猪肉可溯源系统实现[J]. 农业工程学报,2006,22(6):218 ~ 220.
Xie Jufang, Lu Changhua, Li Baoming, et al. Implementation of pork traceability system based on .NET framework[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(6): 218 ~ 220. (in Chinese)
- 7 李淑琴,陈林,范蟠果. 射频识别非接触式 IC 卡读卡器设计[J]. 计算机测量与控制,2007,15(3):378 ~ 380.
Li Shuqin, Chen Lin, Fan Panguo. Design of mifare touch-free IC card reader[J]. Computer Measurement & Control, 2007, 15(3): 378 ~ 380. (in Chinese)
- 8 史兵,马正华. 基于 PROFIBUS - DP 的火电厂烟气排放连续监测系统的设计[J]. 工矿自动化, 2010, 36(4): 120 ~ 124.
Shi Bing, Ma Zhenghua. Design of continuous emission monitoring system based on PROFIBUS - DP protocol in power plant [J]. Industry and Mine Automation, 2010, 36(4): 120 ~ 124. (in Chinese)
- 9 张勇,王崇林,张强. PROFIBUS - DP 从站的实现[J]. 煤炭工程,2006(1): 89 ~ 91.
Zhang Yong, Wang Chonglin, Zhang Qiang. Achievement of PROFIBUS - DP slave station[J]. Coal Engineering, 2006(1): 89 ~ 91. (in Chinese)
- 10 史兵,周炯如,蒋建明. 基于可溯源技术水产养殖监控系统的设计[J]. 计算机测量与控制,2010,18(11):156 ~ 159.
Shi Bing, Zhou Jiongru, Jiang Jianming. Design of monitoring system based on tracing system in aquaculture[J]. Computer Measurement & Control, 2010, 18(11): 156 ~ 159. (in Chinese)
- 11 胡刚. VC++ 常用窗体控制的编程技巧[J]. 计算机应用, 2002(4): 28 ~ 30.

(上接第 201 页)

- 8 An S H, Kim G H, Kang K I. A case-based reasoning cost estimating model using experience by analytic hierarchy process [J]. Building and Environment, 2007, 42(7): 2 573 ~ 2 579.
- 9 杨方飞,阎楚良,张书明. 基于实例推理的水泵设计[J]. 农业机械学报,2007, 38(12): 201 ~ 205.
Yang Fangfei, Yan Chuliang, Zhang Shuming. Water pump design based on case reasoning [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(12): 201 ~ 205. (in Chinese)
- 10 肖刚,包志炎,高飞,等. 基于相似实例的板构件产品配置方法[J]. 计算机集成制造系统,2010,16(2):233 ~ 240.
Xiao Gang, Bao Zhiyan, Gao Fei, et al. Configuration method of slab products based on similar instance [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2010, 16 (2): 233 ~ 240. (in Chinese)
- 11 王生发,顾新建,郭剑锋,等. 面向实例推理的产品设计本体建模研究及应用[J]. 机械工程学报,2007,43(3):112 ~ 117.
Wang Shengfa, Gu Xinjian, Guo Jianfeng, et al. Research and application of ontology modeling for product design based on case reasoning [J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2007, 43(3): 113 ~ 117. (in Chinese)
- 12 杨宇,李成华,张国梁. 基于实例推理的铲式玉米精密播种机设计[J]. 农业机械学报,2009,40(12):51 ~ 56.
Yang Yu, Li Chenghua, Zhang Guoliang. Design method of precision spade punch planter of maize based on CBR [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(12): 51 ~ 56. (in Chinese)