

基于FCBR与AHP混合机制的产品概念设计方法

陈 杨

(西华大学科技处, 成都 610039)

摘要:以FCBR和AHP混合机制为基础构建一个面向产品概念设计的系统架构,该架构将模糊集原理应用于CBR,解决了概念设计时用户需求描述的不确定与不规范性问题,得到符合设计要求的评价模块集,应用AHP方法对评价案例集进行功能指标和经济指标上的评价,从而获得最合适的候选设计方案,通过调用功能改写案例库中的改写规则来修改候选案例得到最终优化方案。应用实例表明,在概念设计中使用该混合机制可以为用户提供有效的设计决策。

关键词:模糊集理论;模糊案例推理;层次分析法;概念设计;设计决策

Product Conceptual Design Approach Based on Hybrid Mechanism of FCBR and AHP

CHEN Yang

(Dept. of Science and Technology, Xihua University, Chengdu 610039)

【Abstract】This paper constructs a system structure which is used for conceptual design on the basis of FCBR and AHP. The structure combines the fuzzy set theory with CBR to solve the problem that most design requirements described by users are uncertain and nonstandard. After retrieving the competent evaluation cases set, the system uses AHP method to evaluate the function and economy indexes of the cases set, attains the most appropriate design candidate, and achieves the final optimized scheme by transferring the adaptation rules of the function adaptation cases to modify the design candidate. The application result shows that the hybrid mechanism can provide the designers with effective design decision during conceptual design.

【Key words】fuzzy set theory; Fuzzy Case-based Reasoning(FCBR); Analytic Hierarchy Process(AHP); conceptual design; design decision-making

人工智能的发展极大地促进了智能CAD的应用,使得工程师在设计决策上可得到有效的辅助支持。通常希望在获得和存储专家的设计知识及设计经验的基础上,通过和CAD系统的结合完成初期的创造性设计活动。实现计算机辅助概念设计的关键技术是产品信息建模和推理技术^[1],同时设计方案的评价也是概念设计中的核心内容。目前常用于概念设计阶段的推理技术主要有:定性推理,基于实例的推理,神经网络,基于知识的推理和基于约束的推理^[2]等。用于设计方案评价的决策方法通常有加权法和^[3]及层次分析法(AHP)。本文在分析了国内外对概念设计智能化研究现状后,提出一种结合Fuzzy-CBR(FCBR)与AHP混合机制开发智能CAD概念设计系统的方法,研究了模糊原理在基于实例推理系统中的应用和AHP方法在相似推理结果中的辅助决策作用。

1 系统功能结构模型

G Pahl和W Beitz在《Engineering Design》一书中定义:“在确定任务之后,通过抽象化,拟定功能结构,寻求适当的作用原理及其组合,确定出基本求解途径,得出求解方案这一部分设计工作叫做概念设计。”广义上的概念设计包含了从产品的需求分析到进行详细设计之前的设计过程,包括功能设计、原理设计、形状设计、布局设计和初步的结构设计。

概念设计过程是一个智能的创造性过程,该过程主要依赖于设计者的天赋、想象力以及创新能力^[1]。正因为如此,在企业缺乏足够的专家实施这种创造性活动的情况下,通过人工智能建立的辅助智能CAD系统可以部分代替专家在设计

过程中所起到的关键性作用,从而加快设计工作的进程。在对人工智能中FCBR机制和决策理论中AHP方法应用的基础上,构建了一个智能机械产品概念设计系统,该系统的设计过程如图1所示。

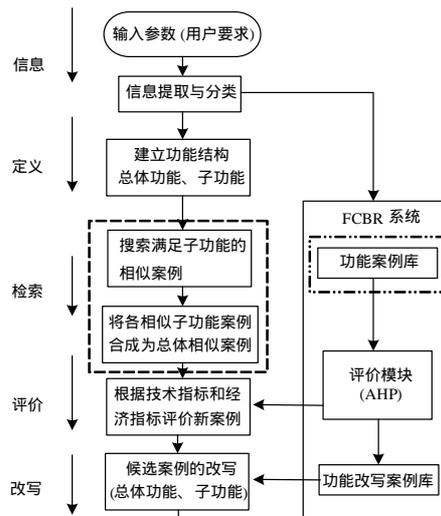


图1 概念设计过程模型

作者简介:陈 杨(1977 -),男,助理研究员、硕士,主研方向:自动控制

收稿日期:2007-05-10 **E-mail:** cy@mail.xhu.edu.cn

2 智能化概念设计

2.1 模糊原理在案例检索与选择中的应用

由于知识表示、属性描述、相似性测量均存在一定的模糊性和不确定性，特别是在案例的相似性测量时，很难从案例库中检索到与问题描述一致的案例。因此，模糊原理被引入 CBR，即 Fuzzy-CBR(FCBR)，它可以降低噪音在案例检索时的干扰，从而得到更健壮、准确和柔性更强的系统模型。

在FCBR应用系统中通常使用三角形、梯形、高斯型和复合高斯型隶属函数来比较案例属性值，本系统采用的梯形隶属函数描述如下^[4]：

$$\mu(x) = 1 - \frac{|x - \alpha\Delta|}{(1-\alpha)\Delta} \quad (\alpha\Delta \leq |x| \leq \Delta)$$

$$\mu(x) = 1 \quad (|x| \leq \alpha\Delta, \Delta = a_{\max} - a_{\min}, x = a_n - a_0)$$

其中， α 是小于 1 的正参数，合适的 α 值可以使系统的检索能力达到最佳； $\mu(x)$ 是值域在 0~1 之间的模糊隶属函数，通常用来测量 2 个属性值之间的相似度； α_n 是新案例的一个属性值； α_0 是以往案例的相应属性值； x 是新旧案例在属性值上的差异； Δ 则是所有案例中属性值的最大和最小值之差。

如图 2 所示，在 α 等于 0.05 的情况下，如果 x 小于 Δ 的 5%，那这 2 个属性值之间的相似度可以认为是 1。也就是说，当 $0 \leq x \leq 0.05\Delta$ 时，被比较的 2 属性值可认为完全相似。如果 $0.05\Delta \leq x \leq \Delta$ ，则相似度量函数 $\mu(x)$ 会随着 x 而线性变化。

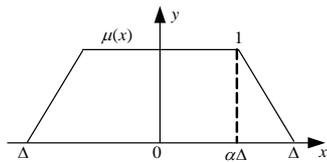


图 2 梯形隶属函数

属性值差异比较完毕后，计算新旧案例之间的总体相似度，再使用最近邻算法(K-NN)就可以得到最相似的评价案例集，下面给出该算法步骤：

BEGIN

Input a new case, y

Set K, 1 K n

Initialize i=1

WHILE (i n) 使用 Kolodner 提出的公式计算 y 和 x_i 的相似度

IF (i K) THEN 将 x_i 作为评价案例集合中的一员

ELSE IF (x_i 与 y 的相似度比评价案例集中的任何案例都高) THEN

删除评价案例集中与新案例距离最近的案例并将 x_i 作为评价案例集合中的一员

END IF

Increment i

END WHILE

其中， $S = \{ x_1, x_2, \dots, x_n \}$ ； x_i 是案例库 S 中的一员， $1 \leq i \leq n$ 。

将评价案例集提供给评价模块，并按照相似度的高低进行排列，此时案例集中的排列顺序并不作为最终判断标准，需要等待评价模块对案例集进行评价后得到最适合的候选案例。

2.2 基于知识的案例评价模块

如果说基于案例的检索机制完成了根据特征属性相似度在案例库选择评价案例集的任务，是对案例库进行的初步筛选，那么评价模块实现的就是如何在已筛选完毕的评价案例

集中找出最优方案，本系统应用 AHP 来最终确定最佳案例。

层次分析法的求解步骤如下^[5]：

(1)由专家利用 Saaty(1980)根据一般人的认知习惯和判断能力给出的属性间相对重要性等级表来构造属性重要性判别矩阵 A。

(2)根据文献[6]论述的本征向量法求出 λ_{\max} 和 ω 。

(3)矩阵 A 的一致性检验。若最大本征值 λ_{\max} 大于表 1 中给出的同阶矩阵相应的 λ'_{\max} 时不能通过一致性检验，则应该重新估计矩阵 A，直到 λ_{\max} 小于 λ'_{\max} 通过一致性检验时，求得的 ω 有效。

表 1 n 阶矩阵的随机指标 RI 和相应的临界本征值 λ'_{\max}

n	2	3	4	5	6	7
RI	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32
λ'_{\max}		3.116	4.070	5.450	6.620	7.790

(4)方案排序

1)各备选方案在各目标属性值已知时，可以根据指标 $C_i = \sum_{j=1}^n \omega_j z_{ij}$ 的大小排出方案 $i(i = 1, 2, \dots, m)$ 的优劣。其中， z_{ij} 是经向量规范化后的属性值； C_i 是加权和。

2)各备选方案在各目标下属性值难以量化时，可以通过在各目标下优劣的两两比较求得各功能属性的优先性(即权重)，再计算各方案的总体优先性(总权重)，根据总体优先性的大小排出方案的优劣。

系统只将最符合用户需求的 4 个设计方案作为评价案例集，设其分别为 A_1, A_2, A_3 和 A_4 ，进行优选的综合评价层次结构如图 3 所示。

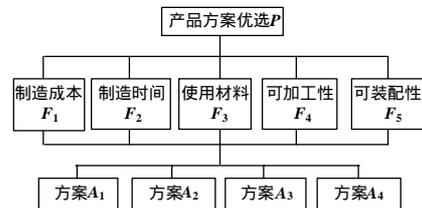


图 3 评价模块方案优选的层次结构

根据各评价指标对方案优劣评判的贡献，需要建立 6 个重要性判别矩阵，分别是 $P-F, F_1-A, F_2-A, F_3-A, F_4-A$ 和 F_5-A 判别矩阵，限于篇幅不将这些矩阵一一列举。

假设各评价指标之间的相对权重向量为 $W_F = [\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m]^T$ ，方案 A_1, A_2, A_3 和 A_4 对 F_i 的相对权重向量是 $W_{F_i-A} = [\omega_1^i, \omega_2^i, \dots, \omega_n^i]^T$ ，则方案的总排序见图 4^[7]。

F	F_1	F_2	...	F_m	评价方案的最终排序
A_1	ω_1^1	ω_2^1	...	ω_m^1	
A_2	ω_1^2	ω_2^2	...	ω_m^2	$\sum_{i=1}^m \omega_i \omega_2^i$
...
A_n	ω_1^n	ω_2^n	...	ω_m^n	$\sum_{i=1}^m \omega_i \omega_n^i$

图 4 方案总排序

在图 4 中， W_F 表示独立考虑各个评价指标权值，即不针对具体方案对该指标的重要性进行评价。而 W_{F_i-A} 是针对各具体方案进行的权值分配，如 ω_3^4 就是采用 A_3 方案时对 F_4 的分配的权值，将上述 2 部分进行组合后就得到对应各个方

案的综合评价。

2.3 候选案例的改写

将改写规则也作为一个 CBR 系统与案例库同时建立,可以有效地解决下面 2 个问题:(1)可能实例库中存在足够多的实例,但却缺少足够的改写规则;(2)改写规则需要足够的专家知识来建立和维护,而且缺乏自我学习和进化的能力。

系统建立的思想是把 CBR 系统看作一个双层的 CBR 系统,即用一个 CBR 系统来帮助另外一个 CBR 系统完成自身的案例改写^[6]。CBR 系统第 1 层的案例表达通常和其应用的领域和特征有关,如表示产品的多层案例库等,因此,并没有一个固定的模型来进行第一层案例表达的构造。第 2 层 CBR 系统表示用来修改检索案例的改写规则库,虽然案例改写也依赖于具体的应用领域,但改写案例通常可以表示为改写能力、成功修改过的实例和修改历史 3 个部分,案例修改部分的应用及实现不作为本文讨论重点。

3 应用实例

以文中所述方法为基础,笔者开发了一个 Product Intellectualized Conceptual Design(PICD)原型系统,系统首先在已有的概念设计案例资料基础上构建了功能案例库和功能改写案例库,然后通过 FCBP 推理机制初步筛选出符合用户设计要求的评价案例集,并以相似度的高低给出排列。通过这种机制可以搜索出子功能相似案例集。

按照功能将各相似子功能案例组合即得到总体相似案例,有限个总体相似案例的组合就成为用于评价模块的评价案例集。运用 AHP 法对评价案例集进行综合评价和排序,将排序后得分最高的案例作为最合适候选案例,系统同时会给出方案评价结果。

调用功能改写案例库中的改写规则可以对评价后得到最合适候选方案做相应的修改,从而最终形成符合用户需求的

优化方案。

4 结束语

本文以基于案例的推理为基础,结合模糊集理论对功能案例库进行检索,将检索出来符合用户设计要求的相似案例作为评价案例集输入到评价模块,通过 AHP 方法对评价案例集进行相关指标的评价,从而得到一个最合适的候选案例,最后通过功能改写案例库将此候选案例调整为最优设计方案。实际应用证明,该混合机制对概念设计有一定的辅助决策作用,能在一定程度上减少设计人员的工作量。

参考文献

- [1] Hsu W, Woon I M Y. Current Research in the Conceptual Design of Mechanical Products[J]. Computer-aided Design, 1998, 30(5): 377-389.
- [2] Kumara S B T, Kamarthi S V. Application of Adaptive Resonance Networks for Conceptual Design[J]. Annals of CIRP, 1992, 41(1): 213-216.
- [3] Sun J, Kalenchuk D K. Design Candidate Identification Using Neural Network-based Fuzzy Reasoning[J]. Robotics and Computer Integrated Manufacturing, 2000, 16(1): 383-396.
- [4] Cheng Yousheng. Development of Bridge Management Systems Using Fuzzy Case-based Reasoning[D]. Manhattan, USA: Kansas State University, 2005.
- [5] Vong C M, Leung T P, Wong P K. Case-based Reasoning and Adaptation in Hydraulic Production Machine Design[J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2000, 15(1): 567-585.
- [6] 岳超源. 决策理论与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [7] 谢家平. 绿色设计评价与优化[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2004.

(上接第 204 页)

对于高斯噪声,本算法是非常有效的。图 6 是具有直线特征的 SAR 图像,分解 4 层,图像大小为 128×128。图 7 是具有曲线特征的 SAR 图像,分解 3 层,图像大小为 64×64。图 6、图 7 都有很强的非均匀背景噪声,从实验结果可以看出,利用本文的算法仍然可以有效地提取图像的特征。

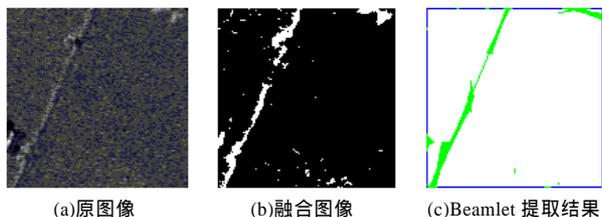


图 6 具有直线特征的 SAR 图像提取结果



图 7 具有曲线特征的 SAR 图像提取结果

雷登变换^[5]和局部雷登变换^[6]也可以有效地提取直线特征。但对于曲线特征,它们都无法得到有效的结果。从实验

结果可以看出,在信噪比很低的情况下,本文的算法对直线特征和曲线特征都能取得很好的效果。

5 结束语

本文提出一种基于 Beamlet 的算法用于检测图像的线特征,克服了传统方法的某些不足,但在算法中如何合理地选择阈值还有待进一步研究。

参考文献

- [1] Donoho D L. Wedgelets: Nearly Minimax Estimation of Edges[J]. Annals of Statistics, 1999, 27(3): 859-897.
- [2] Huo Xiaoming. Sparse Image Representation via Combined Transforms[D]. Palo Alto, California, USA: Stanford University, 1999.
- [3] Donoho D L, Huo Xiaoming. Beamlets and Multiscale Image Analysis[C]//Proc. of Multiscale and Multiresolution Methods. [S. l.]: Springer Press, 2001.
- [4] Donoho D L, Huo Xiaoming. Beamlets Pyramids: A New Form of Multiresolution Analysis, Suited for Extracting Lines, Curves and Objects from very Noisy Image Data[C]//Proceedings of SPIE'00. Washington D. C., USA: [s. n.], 2000.
- [5] Murphy L M. Linear Feature Detection and Enhancement in Noisy Images via the Radon Transform[J]. Pattern Recognition, 1986, 4(4): 279-284.
- [6] Copeland A C, Ravichandran G, Trivedi M M. Localized Radon Transform-based Detection of Ship Wakes in SAR Images[J]. IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing, 1995, 33(1): 35-45.

