

基于模糊贴近度的继电器产品概念设计新方法

高朝晖, 李志刚, 王建楠

(河北工业大学电器研究所, 天津 300130)

摘要: 基于模糊集模式识别理论中的“模糊贴近度”, 提出了继电器产品在概念设计阶段进行结构设计的新方法。该方法首先对每种结构类型的产品建立标准模型, 每个标准模型描述了相应类型的产品的典型信息; 在这里, 标准模型的各个属性值均以模糊集合的形式表达。当用户提出的产品技术性能要求带有模糊性质时, 则建立相应的模糊集合。然后, 对于标准模型与用户的设计要求, 针对同一属性计算两个模糊集合之间的贴近度, 进而得到“设计要求”与每个标准模型关于全部属性的加权贴近度。最后根据“择近原则”, 合理选择产品结构类型。该方法适宜应用所在产品的智能设计系统中, 可为产品的概念设计提供决策支持。

关键词: 继电器; 概念设计; 标准模型; 模糊集合; 模糊识别; 贴近度

中图分类号: TM58 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2005)16-0010-04

0 引言

产品选型是设计的第一步, 可视为粗粒度下的结构设计。该项工作不涉及机械结构的详细尺寸约束, 只需要对产品的结构形式进行初步考虑, 属于概念设计的范畴。

继电器产品的设计要求通常由一组技术参数来描述, 这种描述立足于参数域。如何在粗粒度下实现从产品参数域到结构域的映射, 也就是如何把由参数表达的设计要求映射为能够满足要求的结构类型, 是概念设计要解决的问题之一。

然而, 一方面, 产品的技术参数与其结构之间的关系十分复杂。例如, 用户要求设计一个继电器, 动作电压 18 V, 额定电压 27 V, 动作时间不大于 3 ms, 等等。那么, 拍合式、永磁式、旋转式等类型都能满足要求。另一方面, 用户给出的设计参数有可能是不完整和不确定的, 例如, 上述设计要求中并未提及振动频率、振动加速度、冲击加速度等重要属性, 即便提及, 也有可能带有模糊性质, 如: 要求振动频率 350 ~ 450 Hz, 振动加速度 6 ~ 8 g, 冲击加速度 15 ~ 25 g。上述诸多原因导致了概念设计的复杂性。因此, 尽管产品设计目前已发展到智能设计阶段, 但产品的概念设计常常仍需由人来完成。

为此, 本文基于“模糊贴近度”概念, 提出了从“参数域”到“结构域”的模糊映射方法, 用于产品选型。该方法不仅适用于继电器产品的设计, 对其它

大多数机械产品的设计也有一定的适用性。

1 基本思想

本文方法基于模糊识别理论。为了实现该方法, 首先需要建立表征产品不同结构类型典型信息的一系列模糊模型, 称之为“标准模型”。这些标准模型立足于产品结构域, 每个标准模型对应于一种结构形式的产品。一个标准模型包含多个属性, 每个属性值都被表达成一个模糊集。

如果用户给出的设计要求带有模糊性质, 则同样将之转换为模糊集合的形式。

针对同一属性(例如“振动加速度”), 计算“标准模型”与“用户的设计要求”之间的贴近度; 在此基础上, 综合各属性的权重因子, 合成“标准模型”与“用户的设计要求”关于全部属性的加权贴近度。然后根据“择近原则”, 判断出与设计要求最相似的标准模型。由于标准模型与产品结构形式之间存在 1-1 对应关系, 故标准模型所代表的结构就是最能满足设计要求的产品类型。据此, “参数域→结构域”的模糊映射关系得以建立。

2 从产品参数域到结构域的模糊映射的建立方法

2.1 建立带有模糊性质的标准模型

设: 标准模型的属性集为 $\{z_j | j = 1, 2, \dots, m\}$ 。本文中, 属性 z_j 的值以常数序偶 $(*_{1j}, *_{2j})$ 表示, 其中 $*_{1j}$ 描述了某类型产品的第 j 个属性 z_j 的典型值, $*_{2j}$ 描述了 z_j 的属性值在该类型产品中的离散性。利用该序偶, 可以构造 z_j 的模糊集合。

基金项目: 河北省自然科学基金(602069); 天津市自然科学基金(023603111)

$(*_{1}|_{z_j}, *_{2}|_{z_j})$ 可通过产品设计手册中关于 z_j 的典型值计算得到。设:手册中给出了“第 $h(h=1, 2, \dots, c)$ 类产品”关于 z_j 的典型值为 $[\alpha_L^{(h)}|_{z_j}, \alpha_H^{(h)}|_{z_j}]$,则令:

$$*_{1}|_{z_j} = (\alpha_L^{(h)}|_{z_j} + \alpha_H^{(h)}|_{z_j})/2 = \bar{x}_j^{(h)} \quad (1)$$

$$*_{2}|_{z_j} = (\alpha_H^{(h)}|_{z_j} - \alpha_L^{(h)}|_{z_j})/k = \hat{\sigma}_j^{(h)} \quad (2)$$

式中: k 是人为选择的一个常数。通过理论分析和设计实践,本文认为 k 取值3.0为宜。

若设计手册中没有关于 z_j 典型值的说明,则 $(*_{1}|_{z_j}, *_{2}|_{z_j})$ 可由多个已有产品实例计算得到,方法如下:

设:当前有第 h 类产品的实例共 n_h 个($n_h \geq 2$),其中第 i 个实例的特征向量为 $C_i^{(h)} = (x_{i1}^{(h)}, x_{i2}^{(h)}, \dots, x_{im}^{(h)})$, $i=1, 2, \dots, n_h$ 。则令:

$$\bar{x}_j^{(h)} = \frac{1}{n_h} \sum_{i=1}^{n_h} x_{ij}^{(h)} \quad (3)$$

$$\hat{\sigma}_j^{(h)} = \frac{\gamma}{k} \left(\max_{i=1, 2, \dots, n_h} \{x_{ij}^{(h)}\} - \min_{i=1, 2, \dots, n_h} \{x_{ij}^{(h)}\} \right) + (1 - \gamma) \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_h} (x_{ij}^{(h)} - \bar{x}_j^{(h)})^2}{n_h - 1}} \quad (4)$$

式中: k, γ 均为人为设定的常数项,本文定义 $k=3.0$,且 $\gamma=0.5$ 。

利用 $(\bar{x}_j^{(h)}, \hat{\sigma}_j^{(h)})$ 可建立第 h 类产品关于 z_j 的隶属函数 $r_{M_h}(x_j)$,本文定义 $r_{M_h}(x_j)$ 为正态型:

$$r_{M_h}(x_j) = M_{hj} = \exp\left(-\left(\frac{x_j - \bar{x}_j^{(h)}}{\sqrt{2}\hat{\sigma}_j^{(h)}}\right)^2\right) \quad (5)$$

记: m 元模糊向量

$$M_h = (M_{h1}, M_{h2}, \dots, M_{hm})^T = (r_{M_{h1}}(x_1), r_{M_{h2}}(x_2), \dots, r_{M_{hm}}(x_m))^T \quad (6)$$

式中: M_h 即本文中的标准模型, M_{hj} 为其子模型。

多个标准模型构成一个集合,称为标准模型集合,记为 $M = \{M_h | h=1, 2, \dots, c\}$ 。

2.2 对带有模糊性质的产品设计要求建立模糊集合

产品设计中的不确定性主要是由模糊性引起的,根据这种不确定性可以建立相应的模糊集合。例如前述的“冲击加速度大约15~25 g”,可以将这一设计要求转换为区间形式,即:冲击加速度 $\in [15 \text{ g}, 25 \text{ g}]$,然后,仿照标准模型的建立方法对带有模糊性质的产品设计要求建立模糊集合。

记:待求解的设计问题为 P 。若 P 的全部属性都带有模糊性,则:

$$P = (P_1, P_2, \dots, P_m) = (r_{P_1}(x_1), r_{P_2}(x_2), \dots, r_{P_m}(x_m)) \quad (7)$$

式中: $P_j = r_{P_j}(x_j)$ 为 P 的属性 z_j 在其论域上的隶属函数。

与 M_{hj} 相似, $r_{P_j}(x_j)$ 的建立需借助序偶 (x_{P_j}, σ_{P_j}) ,且 $r_{P_j}(x_j)$ 也被定义为正态型。 x_{P_j} 和 σ_{P_j} 由用户的设计要求确定,方法参见式(1)和(2),不同的是式(2)中的常数项 k 取值为2.0。

2.3 基于模糊贴近度进行产品选型的原理说明

记: P 的“可能解”集合为 T ,则 T 成为 P 的“备选结构类型空间”,即结构域,并有 $T = \{T_h | h=1, 2, \dots, c\}$ 。例如,要求设计一种电磁继电器,则 $T = \{\text{组合式,永磁式,旋转式}\}$ 。

产品选型的数学模型可表达为如下映射:

$$f_1: P \rightarrow f_1(P) = T_s \in T, S \in \{1, 2, \dots, c\} \quad (8)$$

f_1 描述了 P 从参数域到结构域的映射规则,它的实现须包含如下两级映射:①构造某种模糊变换 L_1 ,实现 P 从参数域到 M 的映射,记为 f_2 ,得到 P 在 M 中的“象” M_s ;②利用 $M = \{M_h | h=1, 2, \dots, c\}$ 与备选结构类型集合 $T = \{T_h | h=1, 2, \dots, c\}$ 各元素间的1-1对应关系,实现从 M 到 T 的映射。 M_s 在 T 中的“象”就是 T_s 。上述过程通过建立 $P \rightarrow M$ 的映射,实现了对 P 的模糊识别。本文中,模糊变换 L_1 定义为:

$$L_1: P \rightarrow L_1(P) = [\delta(P, M_1) \delta(P, M_2) \dots \delta(P, M_c)] = (W \circ [\delta(P_1, M_{h1}) \delta(P_2, M_{h2}) \dots \delta(P_m, M_{hm})]^T)_{1 \times c} = \left(\sum_{j=1}^m (w_j \cdot \delta(P_j, M_{hj})) \right)_{1 \times c} \quad (9)$$

式中: $\delta(P, M_h)$ 为 P 与 M_h 的贴近度,余类推; $W = (w_1, w_2, \dots, w_m)$ 为对应于属性集的权重向量;“ \circ ”为模糊集的合成算子。

定义 $P \rightarrow M$ 的模糊映射为:

$$f_2: P \rightarrow f_2(P) = \bigvee_{h=1}^c \{\delta(P, M_h)\} = M_s \in M, S \in \{1, 2, \dots, c\} \quad (10)$$

上式在加权意义下确定了 P 对 M 的映射规则,其基本思想基于模糊识别理论中的“择近原则”。然后,根据 M_s 与产品结构类型 T_s 的对应关系,选取 T_s 为 P 的解。

2.4 模糊集贴近度的计算方法

两个模糊集合的贴近度可以度量两者的接近程度。当 P 关于属性 z_j 的论域为连续区间时,本文按下式计算贴近度^[1,2]:

$$\delta(P_j, M_{hj}) = \frac{2 \int_{\Omega_j} (r_{P_j}(x_j) \wedge r_{M_{hj}}(x_j))}{\int_{\Omega_j} r_{P_j}(x_j) dx_j + \int_{\Omega_j} r_{M_{hj}}(x_j) dx_j} \quad (11)$$

式中: $\Omega_j = \Omega_{P_j} \cup \Omega_{M_{hj}}$, 其中 Ω_{P_j} 、 $\Omega_{M_{hj}}$ 分别为 P 和 M_h 关于属性 z_j 的论域。

若 $r_{M_{hj}}(x_j)$ 和 $r_{P_j}(x_j)$ 都为正态型, 则 $\delta(P_j, M_{hj}) = 2 \left[1 - \Phi \left(\frac{|x_{P_j} - \bar{x}_j^{(h)}|}{\sigma_{P_j} + \hat{\sigma}_j^{(h)}} \right) \right]$, $\Phi(\cdot)$ 为标准正态分布函数^[1]。

3 设计实例

设: 欲设计一种直流电磁继电器。用户提出的设计要求为: “振动频率大约 350 ~ 450 Hz, 振动加

	M_1 拍合式	M_2 旋转式	M_3 永磁式
振动频率(单位: Hz)	(339.2, 80.75)	(851.9, 194.8)	(1721, 202.4)
振动加速度(单位: g)	(6.011, 1.943)	(8.317, 2.405)	(16.95, 4.316)
冲击加速度(单位: g)	(14.26, 5.719)	(37.25, 12.30)	(63.58, 10.47)

按前述方法可算得:

$$\delta(P_1, M_{11}) = 2 \left[1 - \Phi \left(\frac{400 - 339.2}{80.75 + 50} \right) \right] = 0.642 00;$$

$$\delta(P_2, M_{12}) = 2 \left[1 - \Phi \left(\frac{7 - 6.011}{1.943 + 1} \right) \right] = 0.736 84;$$

$$\delta(P_3, M_{13}) = 2 \left[1 - \Phi \left(\frac{20 - 14.26}{5.719 + 5} \right) \right] = 0.592 35$$

由上述计算结果, 并综合权重因子, 得到 P 与拍合式结构的标准模型 M_1 的加权贴适度:

$$\delta(P, M_1) = 0.35 \times \delta(P_1, M_{11}) + 0.35 \times \delta(P_2, M_{12}) + 0.30 \times \delta(P_3, M_{13}) = 0.660 3$$

同理, 算得: $\delta(P, M_2) = 0.363 0$;

$$\delta(P, M_3) = 0.022 9$$

根据上述计算结果, 并基于择近原则, 判断该产品以选择“拍合式结构”为宜。

4 关于本文方法的几项说明

1) 在上述设计实例中, 仅给出了各标准模型的部分属性值, 因为只有这些属性才与用户的设计要求有关, 并参与加权贴适度的计算。实质上, 标准模型中还含有多个用户未提及的属性, 只不过这些未出现在设计要求中的属性被视为“无效属性”, 不参与计算。

2) 如果用户对某属性的特征值有要求、有限制, 而标准模型中暂时没有该属性的有关信息, 则该

速度大约 6 ~ 8 g, 冲击加速度大约 15 ~ 25 g”。可供选择的产品结构类型有三种: 拍合式、旋转式、永磁式。为此, 建立如下信息:

$T = \{ \text{拍合式, 旋转式, 永磁式} \}$; $Z = \{ z_1, z_2, z_3 \} = \{ \text{振动频率, 振动加速度, 冲击加速度} \}$; 根据专家经验, 确定相应的权重向量 $W = (w_1, w_2, w_3) = (0.35, 0.35, 0.30)$; 由设计要求得到设计问题 P 的 3 元模糊向量(选为正态型隶属函数)

$$P = (P_1, P_2, P_3) = (r_{P_1}(x_1) |_{(x_{P_1}, \sigma_{P_1})}, r_{P_2}(x_2) |_{(x_{P_2}, \sigma_{P_2})}, r_{P_3}(x_3) |_{(x_{P_3}, \sigma_{P_3})}) = (r_{P_1}(x_1) |_{(400 \text{ Hz}, 50 \text{ Hz})}, r_{P_2}(x_2) |_{(7g, 1g)}, r_{P_3}(x_3) |_{(20g, 5g)})$$

设: 标准模型集合 $M = \{ M_1, M_2, M_3 \}$ 中的部分属性如下:

属性仍为“有效属性”, 应参与计算, 并分配权重。该属性的特征值可利用多个有关设计实例获得, 方法见本文。

3) 本文采用“择近原则”选择产品结构类型。除了择近原则, 还有“阈值原则”可采用。阈值原则的采用, 不仅体现了产品的多解性, 而且有利于新产品的开发。当设计问题的解集为空时, 说明现有的产品结构类型不能满足设计要求, 应考虑开发新产品。但是, 采用阈值原则的设计结果对阈值、权重、标准模型和设计要求的隶属函数形状以及函数中的常数项极为敏感, 其中任何一个环节处理不当都不会得到合理的结果。

4) 特别说明, 本文仅考虑了“全部设计要求均带有模糊性质”的情况。若“全部设计要求均为确定值”, 则应计算设计要求中的每个属性对相应标准子模型的隶属度, 然后综合权重因子, 得到“加权隶属度”, 最后基于“最大隶属原则”或“阈值原则”获得设计解。若精确形式和模糊形式的设计要求同时出现, 则应采用基于贴适度 and 隶属度的混合算法。

限于篇幅, 本文未对第 3)、4) 项内容进行详细讨论, 有关问题将另文分述。

本文方法适用于产品的智能设计, 文中所述的产品设计过程实质上是一种基于模型的推理 (MBR)。全部标准模型可采用知识的框架表示

法^[3,4]存储在智能设计系统的知识库中,并按产品类型递阶层次结构进行管理。这样有利于知识的利用,提高系统的推理效率。

参考文献:

- [1] 谢季坚,刘承平. 模糊数学方法及其应用[M]. 武汉:华中理工大学出版社,2000. 136-152.
XIE Ji-jian, LIU Cheng-ping. Fuzzy Mathematic Model and Its Application[M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 2002. 136-152.
- [2] 李凡. 模糊专家系统[M]. 武汉:华中理工大学出版社, 1995. 114-116.
LI Fan. Fuzzy Expert System[M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 1995. 114-116.
- [3] 李志刚. 基于多知识表示结构的电器设计专家系统

[J]. 电子测量与仪器学报, 2002, (s): 1018-1021.

LI Zhi-gang. Apparatus Design Expert System Based on Multi-knowledge Representative Structure[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrument, 2002, (s): 1018-1021.

- [4] LI Zhi-gang, ZHOU Chun-lai, GAO Zhao-hui. Study on Technology of Realizing Intelligent Design System for Relay Products [A]. Proc of the 51st Relay Conference, Florida(USA); 2003. 1-5.

收稿日期: 2004-11-20

作者简介:

高朝晖(1968-),男,高级工程师,博士研究生,研究方向为电器CAD; E-mail: haohaohao@eyou.com

李志刚(1958-),男,教授,博士生导师,主要研究领域为电器可靠性和人工智能。

Conceptual design of relays based on the theory of fuzzy closeness degree

GAO Zhao-hui, LI Zhi-gang, WANG Jian-nan

(Institute of Electrical Apparatus, Hebei University of Technology, Tianjin 300130, China)

Abstract: Fuzzy closeness degree is a definition in theory of fuzzy set pattern identification. A standard model of each kind of structure of relay was built to describe its corresponding products typical information, whose attribute values were presented in terms of fuzzy sets. The closeness degree for every attribute between a standard model and an model established on users' demand was calculated to obtain the weighted closeness degree on an all-attribute basis between the two models. Thus proper product structure was chosen according to the principle of "higher closeness degree taken for the designed model". The technique discussed above provides decision support for type selection in product conceptual design in intelligent design system.

This project is supported by National Natural Science Foundation of Hebei Province (No. 602069) and National Natural Science Foundation of Tianjin (No. 02303111).

Key words: relay; conceptual design; standard model; fuzzy set; fuzzy recognition; closeness degree

创刊200期 回顾10年经典

值继电器杂志创刊200期之际,我们愿与读者一起回过头来看看走过的路。

总结是为了更好的前进,虽然我们深信在前进的路上不曾孤单,但我们希望与更多的读者共同见证继电器杂志10年(1995-2005)间的辉煌。

您只需告诉我们“曾经给您触动的、曾经给您帮助的、曾经让您恍然大悟的”经典文章,我们将:

1. 经专家讨论,从推荐的文章中挑选出经典文章;
2. 按专题整理刻录成经典论文集光盘;
3. 赠送光盘给入选文章的推荐者;
4. 入选文章的推荐者将成为我们的超级会员,享受年终纪念品一份;
5. 入选文章的推荐者享受2006年杂志的7折优惠订阅;

凡推荐文章请将邮件发送到我们的投稿邮箱里。

另敬告读者

继电器杂志的网址变更为: <http://www.powerkingdom.com/repress> ;

投稿邮箱变更为: relay@powerkingdom.com ;

原信箱: deps@sina.com 即日起停止使用。