

汽车设计中的实例检索与重用机制研究

撰文 / 临工集团济南重机有限公司 郑金铎 王涛 赵忠立 鞠锦建

通过构建于知识库之中的汽车产品及其典型零部件实例库，记录和存储已完成的设计实例的基本属性和几何模型，基于相关实例检索与重用规则，可以迅速找到与新设计问题最接近或相似的零部件实例，提取并重用该实例，以减轻设计人员的重复劳动，提高设计效率。

一、引言

目所谓实例检索，就是按照某种算法或规则，从产品成熟实例库中找到与新问题最相似的旧实例的过程。这与数据库系统中的检索查询系统是有区别的：数据库系统中的查询是精确的，而 CBR（Case-Based Reasoning，基于实例的推理技术）系统中的实例检索往往带有一定的模糊性，是“不精确的”。这是因为 CBR 系统只有在极个别的情况下，才能在产品实例库中找到与所描述新问题完全相同的实例，更多可能找到的是与新问题类似的实例。另一方面，在数据库系统中，查询可针对关系的任何一个或几个属性进行；而在 CBR 系统中，实例检索的条件一般是实例的问题描述部分的属性，不是实例的全部属性。实例检索算法流程图如图 1 所示。

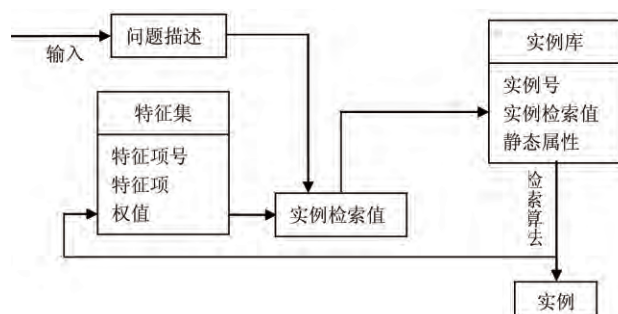


图 1 实例检索算法流程图

二、汽车产品及其零部件知识库的构建

汽车产品及其零部件知识库是基于 KBE（Knowledge Based Engineering，基于知识的工程，简称知识工程）技

术提出的。KBE 技术是当前 CAD 领域研究的热点。中国航天科技集团公司的杨海成教授对 KBE 给出了一个经典的定义：KBE 是以给设计经验不足者以引导，同时最大限度地减少设计者的重复劳动为目标，综合利用各种设计理论和知识处理技术，通过知识的表达、重用与挖掘，对工程问题提供优化解决方案的计算机集成处理技术。通过知识（包括实例）重用，实现产品的快速设计。

在基于知识的 CAD 系统中，通过将相关的工业设计标准、设计准则和企业设计经验等构建入库，实现知识库对特定汽车产品及其零部件设计进程的各个阶段的支持。同时，通过对设计进程相关实例信息的记录和提取，进行知识库的动态扩充。

其中构建的设计知识库中包括汽车产品实例库、典型零部件实例库，检索与重用的实例就来源于汽车产品实例库及其典型零部件实例库。产品实例库用于存储汽车产品三维设计完成的成熟实例；零部件实例库用于存储汽车零部件三维设计完成的零部件成熟实例。实例库为产品设计进程中的实例检索、重用和修改提供知识支持，也可为汽车新产品设计提供经验参考数据。

三、汽车产品及其零部件实例检索与重用

汽车产品及其零部件实例库用于存储汽车产品三维设计完成的成熟实例，通过特定的实例检索算法，在实例库中寻找最为接近的实例，设计人员根据具体情况决定是否实例重用。

1. 基于相似性原理和相似度量度的检索规则

相似度 S (Similarity) 是定量表示相似性的指标。关系数据模型中, 实例相似度 $SIM(u, v)$ 定义如下:

设域上 $D_1, D_2, \dots, D_n$ 的关系是 $R(A_1, A_2, \dots, A_n)$, 其中 A_i 为 R 的属性, $A_i \in D_i (i=1, 2, \dots, n)$, 对该关系的记录为 $u (y_1, y_2, \dots, y_n)$, $v (y_1, y_2, \dots, y_n) \in R$, $(x_i, y_i \in D_i | i=1, 2, \dots, n)$, 其中相似度 $SIM(u, v)$ 可用式 (1) 计算:

$$SIM(u, v) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{1 + |x_i - y_i|} \quad (1)$$

在该研究的领域中, 相似度具有对称性, 即: $SIM(u, v) = SIM(v, u)$ 。相似度 S 的取值又称为阈值, 其取值范围为 $[0, 1]$, “1” 表示两事物特性相同, “0” 表示两事物一切属性都不相同, 即相异。相同和相异对应, 是相似的两个极端值。相似度值表示相似程度的大小, 同时反映出事物间差异程度的大小。显然, 相似度大则差异小。

2. 实例相似度的度量原理

实例的相似度也叫做实例的整体相似度。公式 (1) 是计算实例整体相似度的基本公式。由于实例的属性域并不都是数值型的, 不能直接利用公式计算实例的整体相似度。针对具体的实例, 通常使用分别计算局部相似度, 再利用复合算法计算实例整体相似度的计算方法。

在综合相似度的评估中, 通常建立一个匹配函数来对当前实例与旧实例进行比较, 常用的两个匹配函数是 Tversky 对比匹配函数和最邻近匹配函数。考虑权重的线性 Hamming 复合算法如式 (2) 所示:

$$SIM([t_1, t_2, \dots, t_n], [s_1, s_2, \dots, s_n]) = \sum_{i=1}^n w_i \times sim_i(t_i, s_i) \quad (2)$$

式中, t_i 为目标实例的第 i 个属性, s_i 为源实例的第 i 个属性, n 为实例的属性数, w_i 为第 i 个属性的权重, $sim_i(t_i, s_i)$ 为第 i 个属性的局部相似度。为了方便比较, 须将整体相似度作归一化处理, 使其取值范围为 $[0, 1]$, 因此, 采用式 (3) 计算整体相似度:

$$SIM([t_1, t_2, \dots, t_n], [s_1, s_2, \dots, s_n]) = \left(\sum_{i=1}^n w_i \times sim_i(t_i, s_i) \right) / \sum_{i=1}^n w_i \quad (3)$$

四、汽车产品实例检索与重用

本文以载货汽车典型零部件—传动轴设计为例, 介绍

其实例检索原理应用。传动轴是载货汽车底盘中比较重要的零部件之一, 其主体结构设计基于传动系统对车辆提出的要求。传动系统设计要求主要包括: 额定扭矩、额定转速、最小长度、最大长度和摆动角度等。传动系统设计要求也称为传动轴设计的“特征项”, 每个特征项根据其在传动轴设计中的重要性, 给出具体的权值。同时, 总体设计要求作为检索条件, 进行实例检索。为了便于描述, 先给出实例描述特征集的定义。

特征集的定义: 记实例 d 有 n 各描述特征项, $d = \{p_i\}$, 每个描述特征项的当前取值为 v_i , 其中 $1 \leq i \leq n$ 。对于实例库中的所有实例, 若存在一个最小的整数 I , $1 \leq I \leq N$, 使得 $d = d' \Leftrightarrow v_1 = v'_1, v_2 = v'_2, \dots, v_i = v'_i$, 则称由描述特征项 $p_1, p_2, \dots, p_i$ 构成的集合为特征集。即特征集是指能概括实例主要功能和结构, 且能使实例相互区分的描述特征项的集合。

“特征集”构成索引词汇, 便于实例的检索。阀门产品设计实例的特征集, 如表 1 所示。

表 1 阀门产品设计特征集

特征项号	特征项	特征权值
1	额定扭矩	250
2	额定转速	250
3	最小工作长度	200
4	最大工作长度	200
5	摆动角度	100

根据相似度原理及特征项的权值, 可以由公式 (3) 计算检索出的实例与根据传动系统设计要求将要进行设计的传动轴的相似度, 进而可以根据相似度值的大小, 由设计人员决定是否进行实例修改重用。

不妨假设在传动轴产品的设计实例库中有表 2 所列的传动轴实例。

表 2 传动轴实例

传动轴型号	额定扭矩 /Nm	额定转速 /r·min ⁻¹	最大长度 /mm	最小长度 /mm	摆动 角度
C22L1200-110	2200	2500	1200	1090	35°
C25L1400-100	2500	3000	1400	1300	22°
C29L1100-100	2900	3000	1100	1000	22°

假设待匹配的某一传动轴 C 的设计要求为 $C(2500, 2800, 1350, 1250, 22^\circ)$, 根据公式 (3), 经过计算,

钢球错装状态下的轴承动力学行为研究

撰文 / 洛阳轴研科技股份有限公司 赵雁

河南科技大学河南省机械设计及传动系统重点实验室 杨芳

本文针对工程实践中遇到的由钢球错装引起的双半套圈角接触球轴承动力学行为异常这一问题开展研究。通过推导钢球与内圈、外圈、保持架和引导套圈之间的作用力、力矩表达式，建立了双半套圈角接触球轴承的动力学模型。在此基础上开展仿真分析，对比正常装配钢球和错装钢球两种条件下轴承的动力学行为差异。开展试验验证，获得轴承在两种装配条件下的振动数据。仿真与试验表明：钢球错装状态下，轴承振动加剧，摩擦力矩增大，易引发早期失效。

双半套圈角接触球轴承可同时承受径向负荷和轴向负荷，能在较高的转速下工作，广泛地应用于航空发动机主轴，轿车轮毂支承等场合。由于该种轴承工作的条件相对苛刻，转速较高，因此其动态性能的好坏直接影响到相应设备的工作性能。

作者在实际工作中发现，某型号双半套圈角接触球轴承在装配过程中将尺寸存在微小差异的钢球错误地装配在一起，而钢球的尺寸差异已经影响到了轴承的动态性能。为此本文针对由钢球错误装配而引起的轴承动态性能异常这一现象开展研究，在建立双半套圈角接触球轴承的动力学模型的基础上，进行仿真研究和试验分析。仿真与试验的结论表明，钢球的错误装配使得轴承的振动加剧，易引起轴承早期失效。

一、动力学模型

双半套圈角接触球轴承的内部动力学行为较为复杂，需要从钢球与沟道间作用力，钢球与保持架兜孔间的法向作

用力和保持架与引导套圈间作用力等几个方面进行分析，并建立相应的动力学模型表达式。

由 Hertz 接触理论可知，钢球与沟道之间的法向接触力为：

$$Q = K\delta^{1.5} \quad (1)$$

式中：K 为某钢球与沟道接触处的载荷 - 变形常量； δ 为某钢球与沟道之间弹性变形量。

钢球与内、外沟道的接触角、变形和位移几何关系为：

$$\begin{aligned} A_{ij} &= [(f_i + f_e - 1)D_w] \sin \alpha_0 \\ &\quad + [\Delta_x + R_2(\theta_y \sin \phi_j + \theta_z \cos \phi_j)] \\ &= [(f_i - 0.5)D_w + \delta_{ij}] \sin \alpha_{ij} \\ &\quad + [(f_e - 0.5)D_w + \delta_{ej}] \sin \alpha_{ej} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} A_{ij} &= [(f_i + f_e - 1)D_w] \cos \alpha_0 \\ &\quad + [\Delta_y \cos \phi_j + \Delta_z \sin \phi_j] - P_d \\ &= [(f_i - 0.5)D_w + \delta_{ij}] \cos \alpha_{ij} \\ &\quad + [(f_e - 0.5)D_w + \delta_{ej}] \cos \alpha_{ej} \end{aligned} \quad (3)$$

表 2 中各类实例与 C 的相似度结果如下：

$\text{SIM}(C, C22L1200-110)=0.51$ ； $\text{SIM}(C, C25L1400-100)=0.95$ ； $\text{SIM}(C, C29L1100-100)=0.62$

由计算结果可知，实例 C25L1400-100 的相似度最大，最为相似，所以 C25L1400-100 可以作为 M 的最优解，在此基础上经过对实例简单修改，使其满足设计要求。

五、结语

本文基于相似性原理和相似度度量的算法规则，在汽车产品的成熟实例库中，可以迅速找到与新设计问题最接近或相似的产品实例，并列出其相似度值的大小，设计人员提取该实例，经过修改实现实例的重用，以减轻设计人员的重复劳动，提高设计效率。