

# 基于混合推理方式的工艺求解策略研究

钱晓军

(南京师范大学 数学与计算机科学学院, 江苏 南京 210097)

[摘要] 研究了 MBR、CBR 和 RBR 方法在工艺求解方面的优缺点, 提出主特征完全匹配和基于最近邻相似度的从特征 CBR 工艺求解方法. 设计了基于元规则语义网络 RBR 工艺求解方法. 分析了元规则的生成及网络运行方法. 运用 CBR 与 RBR 相结合的混合推理模式, 弥补单一工艺求解方法性能不足问题, 并在焊接工艺计算机辅助设计软件系统中成功应用.

[关键词] 焊接工艺计算机辅助设计系统, 工艺求解, 混合推理模式

[中图分类号] TG 319 72 [文献标识码] A [文章编号] 1672-1292(2008) 02-0074-04

## Research on Process Solution Based on Synergetic Reasoning Mode

Qian Xiaojun

(School of Mathematics and Computer Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China)

**Abstract** The merits and demerits of MBR, CBR and RBR were researched from the aspect of process solution. The framework of WCAPP was constructed. An approach of CBR process solution combination primary feature matching entirely with secondary feature based on nearest neighbor similarity was proposed. RBR process solution based on meta-rule semantic network was designed. The meta-rule generation and method of network running were analyzed. The performance deficiency of single process solution was made up by synergetic reasoning mode with CBR and RBR. This reasoning mode was successfully applied in WCAPP.

**Key words** welding computer aided process planning, process solution, synergetic reasoning mode

焊接工艺设计是机械制造生产技术工作中的一项重要内容, 是产品设计与车间生产的联系纽带, 是经验性很强且影响因素很多的决策过程. 传统焊接工艺设计方式、工艺过程缺乏优化, 经验和知识难以表达、继承、共享及重用; 工艺设计质量参差不齐, 标准化与规范化程度低, 不能满足焊接制造业信息化的客观需求; 各部门实体之间存在“信息孤岛”, 导致工艺过程管理方式难以满足实际需求, 工艺设计效率有待提高. 本文针对某重型机动车辆钢焊接工艺设计过程复杂、主观性强、效率低的特点, 开发了焊接工艺计算机辅助设计系统(Welding Computer Aided Process Planning, WCAPP), 为车辆制造企业焊接生产的自动化和焊接过程信息化提供了技术支撑平台.

计算机辅助设计系统(Computer Aided Process Planning, CAPP)从宏观上看, 是以产品工艺数据求解为中心的集各种信息管理和工具化支持为一体的交互式计算机应用框架系统, 为工艺设计者提供多种工艺决策的多智能应用技术<sup>[1,2]</sup>. 由于工艺涉及多因素、多层次、多目标、多阶段繁杂的过程, 工艺设计问题通常是一个复杂多变的病态结构域(ill structured domain), 表现在问题空间和解空间没有非常明了的很直接的映射关系, 直接地反映在建模的复杂性对领域经验和知识的依赖<sup>[3,4]</sup>.

## 1 工艺求解模型特点分析

工艺的求解通常有基于模型、基于范例和基于规则的推理方式. 基于模型推理(Model-based Reasoning, MBR)强调采用反映客观事物内部运行的客观模型, 但由于实际工艺问题的复杂性, 模型往往建立比较困难, 实际应用较少. 基于范例的推理(Case-based Reasoning, CBR)是一种直觉思维方式, 其基本依据

收稿日期: 2007-12-26

通讯联系人: 钱晓军, 讲师, 研究方向: CAPP、ERP、HIS 等应用软件开发. E-mail: QXJ6288991@sina.com

是相似的问题有相似的解. 范例是一段带有上下文信息知识, 包括问题的目标、问题的上下文求解的过程. 范例推理通常需要一组相关范例作为工艺设计信息的母本, 设计者通过提取已存在的设计方案, 然后在此基础上作相应的修改, 以产生一个和原设计方案相似的新方案<sup>[5]</sup>. 基于规则的推理 (Rule-based Reasoning, RBR) 是将代表领域一般趋势的泛化知识加以组织, 这些规则反映了加工工艺选择的基本规律, 能够覆盖工艺问题的解空间, 适合于求解领域知识较为丰富、完整且定义良好的问题, 关键在于规则知识的组织和推理过程<sup>[6]</sup>.

2 基于案例和规则推理混合建模

由于焊接工艺求解过程的复杂性, 难以用某一种方法完整地进行工艺求解. 在 W CAPP 中, 采用以 CBR 为主、RBR 为辅混合推理模式, 进行适应性焊接工艺求解. 通过两者结合, 来弥补各自的不足, 并充分发挥两者的优势<sup>[7, 8]</sup>.

当面对新接头焊接工艺求解问题时, 首先运用 CBR 进行求解. 如能够匹配, 则获得工艺解, 否则利用 RBR 求解. 通常依据规则能够获得近似解, 若求解过程中断, 则说明规则组织不完备. 系统首先进行范例匹配, 成功时对范例进行修正获得工艺结果并进行范例存储, 补充规则库; 不成功时转规则推理, 规则推理成功后获得工艺结果同时提取新的规则加入到规则库. 这两种策略能够补充系统的范例匹配和推理能力, 反映了系统的演化和自学习能力. 整个模型求解流程如图 1 所示.

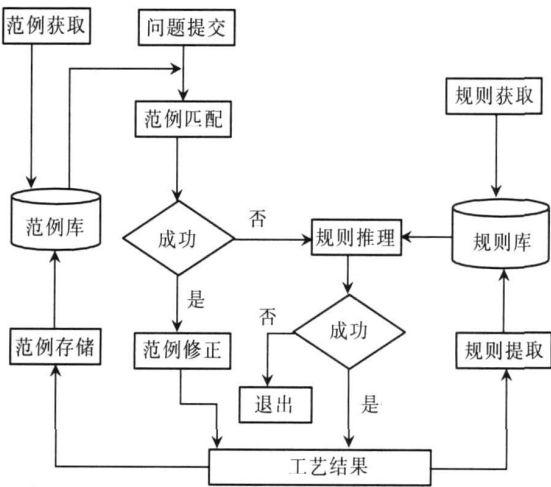


图 1 基于 CBR 和 RBR 的推理流程  
Fig.1 Reasoning flow based on CBR and RBR

3 基于主特征和从索引的 CBR 工艺求

范例是工艺数据和知识的载体. CBR 是一种层次的匹配方法, 或是样本范例的动态聚类过程, 其目标是寻求与样本范例同类工艺数据或最近的范例相似度的工艺解. 对焊接工艺而言, 母材成分、焊接方法、接头类型、坡口形式和成形方式等因素对焊接接头焊接工艺影响较大. 一般来说, 这些因素的变化会导致相应工艺参数的变化, 在范例提取过程中作为主特征索引, 相同主特征索引范例对应一簇范例 (Poly instantiation). 另一方面, 接头的几何参数对工艺的影响不是非常明显, 设计为从索引. 在范例检索过程中, 首先对主索引进行匹配, 当范例库中存在与新范例匹配的案例时, 才能进入下一级检索. 在主索引完全匹配之后, 依据从索引特征计算相似度, 检索最近邻的范例, 此范例工艺即为问题范例的工艺解. 对从索引的搜索采用相似度来判断两个范例之间的接近程度<sup>[9, 10]</sup>.

定义 1 如果  $N$  维样本空间  $S$  中的任意两个数据  $X_i$  和  $X_j$ , 它们之间存在函数  $d_{ij} = d(X_i, X_j)$  满足如下条件:

- (1)  $d_{ij} \geq 0$  对一切  $X_i, X_j$ , 当且仅当  $X_i = X_j$  时有  $d_{ij} = 0$
- (2)  $d_{ij} = d_{ji}$
- (3) 对应数据  $X_i, X_j, X_k$ , 有  $d_{ij} \leq d_{ik} + d_{kj}$ , 则称  $d_{ij}$  为数据  $X_i, X_j$  之间的距离, 说明任意两个样本数据的距离小于或等于这两个样本与任意样本距离之和.

定义 2 相似度表示两数据或样本之间相似程度或接近程度. 考虑到范例从特征属性对焊接工艺影响程度, 引入权重因子  $W_k$ ,  $W_k$  越大, 表明第  $k$  个要素对工艺参数影响较大, 反之则小. 两样本的相似度可表

示为  $\text{Sim}(X_i, X_j) = 1 / \sqrt{\sum_{k=1}^n w_k (x_{ik} - x_{jk})^2}$ ; 其中  $X_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in})$ ,  $X_j = (x_{j1}, x_{j2}, \dots, x_{jn})$  为样本数据,

$w_k = 1$  且  $0 < w_k < 1$

定义 3 如果用  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ ,  $\text{class}(j) = (X_{j1}, X_{j2}, \dots, X_{jn})$ ,  $X_{ji} = (x_{ji1}, \dots, x_{jin})$  分别表示问题范例从特征属性、范例库中第  $j$  簇范例集合和第  $j$  簇中第  $i$  个范例的从特征属性, 则问题范例与第  $j$  簇范例集合相似度定义为与该簇中所有范例相似度的最大值, 表示为:  $\text{Sim}(X, \text{class}(j)) = \max(\text{Sim}(X, X_{jk})), (k = 1, 2, \dots, m)$ .

在进行范例检索时, 若主特征不完全匹配, 则说明 CBR 推理无解, 可转向 RBR 推理. 在主特征完全匹配后计算  $\text{Sim}(X, \text{class}(j))$ , 根据经验给定阈值  $T_{\text{Sim}}$ , 若  $\text{Sim}(X, X_{jk}) \geq T_{\text{Sim}}$ , 说明  $X_{jk}$  范例工艺即为问题范例  $X$  的工艺解; 反之说明 CBR 推理无解, 转向 RBR 推理求解.

4 基于元规则的语义网络 RBR 推理

语义网络 (Symentic Network) 是通过概念或对象及其语义关系来表达知识的一种网络图, 是由节点和弧组成的一个有向图 (Activity On Vertices AOV). 节点表示工艺参数推理事件, 反映了某个工艺参数的推理规则语义. 弧表示工艺参数推理求解的顺序, 本质上是元规则的一种体现. 元规则是关于规则的结构和意义, 可具体表达为控制规则应用、比较和行动的规则, 即按照某一给定的顺序运行规则, 也称为规则的规则. 元规则能够描述整个工艺求解过程的完整性约束, 包括规则约束和语义约束; 能够描述规则的控制约束, 如利用元规则可以描述规则之间的调用次序. 元规则的确定是依赖于具体的应用规则流程的, 当流程确定下来后, 元规则也就确定下来了. 在 W CAPP 中, 元规则确定了工艺参数的推理顺序, 同时也确定了规则推理顺序, 其过程的确定是通过有向图网络拓扑排序来进行的. 对于一个网络  $G$ , 对于任意的边  $v \in V(G)$ , 满足条件  $\{u | u \in V(G) \wedge \langle u, v \rangle \in E(G) \wedge u \neq v\}$  的  $u$  称为  $v$  的前驱节点, 即所有先于节点  $v$  且与  $v$  之间存在有向路径的节点均是  $v$  的前驱节点, 对网络图节点的遍历顺序就是对应规则的执行顺序. 元规则建立过程如下 (以栈结构来存储网络图节点):

- (1) 扫描顶点表, 将入度为 0 的顶点入栈;
- (2) 当栈非空时, 当前栈顶元素  $v_j$  出栈, 并输出, 检查  $v_j$  的出边表, 将每条边  $\langle v_j, v_k \rangle$  的终点  $v_k$  的入度减 1 若  $v_k$  的入度变为 0 则让  $v_k$  入栈;
- (3) 重复步骤 (2), 直到栈为空, 则表征规则输出节点的顺序就是元规则.

图 2 所示一个基本网元反映了一类工艺参数的求解过程, 是规则推理的具体网络表现. 规则通常表示为前提和结论两部分, 前提反映了必要参数的类型和状态, 结论表示参数的求解. 以图中的推理保护气基本网元为例, 它是由一个输入弧、节点和一个输出弧组成. 输入弧表示规则前提参数状态集, 节点表示推理过程. 推理过程是由一系列与保护气相关的规则组成的, 保护气推理的前提条件包括母材、焊接方法、焊丝、电极材质和焊后性能等等, 保护气包括保护气种类、混合比和流速等属性等. 需要说明的是, 网络图中结束节点为虚节点, 表明 RBR 推理结束; 基本网元有时需要多个输入弧, 图 2 中  $\&$  表明焊速推理与焊丝

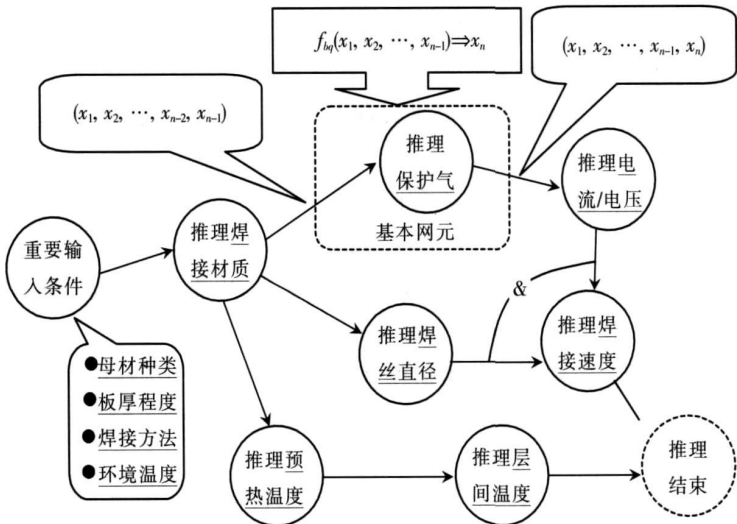


图 2 元规则推理网络原理  
Fig.2 Network principle for meta rule reasoning

直径和电流 电压参数有关. 输出弧表示包含参数推理结果的参数状态集, 作为后续网元的输入参数状态集.  $f_{bq}(x_1, x_2, \dots, x_{n-1}) \rightarrow x_n$  就是关于保护气求解规则的一个映射,  $x_n$  就是保护气属性集合.

规则网络运行时首先输入问题范例的设计条件, 包括母材种类、板材厚度、焊接方法、接头类型和环境温度等, 根据元规则执行规则推理求解工艺参数.

5 结论

在 WCAPP 中, 首先采用 CBR 进行主参数的范例匹配, 如范例不存在, 则转向 RBR 推理模式, 运用导航技术实现人机交互确定焊接规范参数. 图 3 所示为焊接工艺推导结果集界面. 本文针对某重型机动车辆的焊接工艺设计特点, 从企业应用需求出发, 根据焊接工艺求解环境的特点, 采用 CBR 和 RBR 混合推理模式进行工艺求解, 互补工艺求解性能不足问题, 并在设计开发的 WCAPP 中得到成功应用<sup>[11]</sup>.

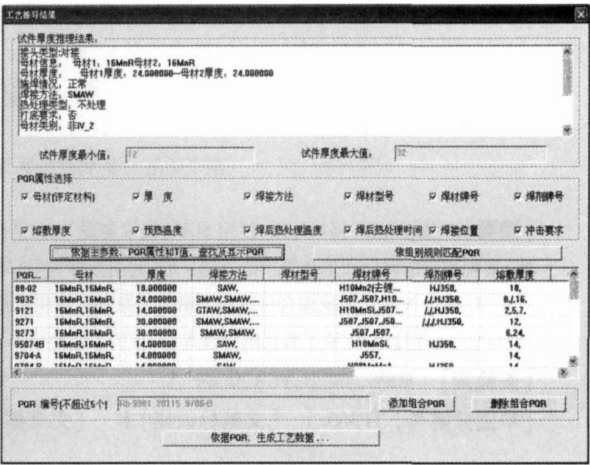


图 3 工艺匹配结果集  
Fig.3 Matching result of process

[参考文献] (References)

[1] 孙朝阳, 高国安. 基于产品的 CAPP 的方法研究 [J]. 计算机集成制造系统, 2004, 10(4): 438-441  
Sun Zhaoyang Gao Guoan Research of CAPP based on production [J]. Computer Integrated Manufacturing System, 2004, 10(4): 438-441. (in Chinese)

[2] 易红, 倪中华. 网络化制造模式下的 CAPP 技术研究 [J]. 计算机集成制造系统, 2003, 9(3): 179-183  
Yi Hong Ni Zhonghua Research on CAPP technology of network manufacturing mode [J]. Computer Integrated Manufacturing System, 2003, 9(3): 179-183 (in Chinese)

[3] 吕波. 压力容器焊接专家系统设计与实现 [J]. 焊接学报, 2002, 23(2): 36-39  
L Bo Design and realization of welding expert system in pressure vessel [J]. Transaction of the China Welding Institution, 2002, 23(2): 36-39. (in Chinese)

[4] Marri H B Gunasekaran A, Grieve R J Computer-aided process planning a state of art [J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 1998, 14(4): 261~268

[5] 刘丰, 魏艳红. 基于 Client/Server 的表格化焊接 CAPP 系统 [J]. 焊接学报, 2005, 26(5): 77-82  
Liu Feng Wei Yanhong Tabular welding computer aided process planning system based on client/server [J]. Transaction of the China Welding Institution, 2005, 26(5): 77-82 (in Chinese)

[6] Ihara T. Vision and research of computer aided process planning (CAPP) with a knowledge base form achieving [J]. JSM E International Journal, 1990, 33(2): 125-130

[7] Wang Lhui DPP: a distributed process planning approach using function blocks [C] // Proceedings of the ASME Design Engineering Technical Conference, Pittsburgh, Pa, USA: ASME, 2002, 387-394

[8] Grabow k C, Knosala R. The method of knowledge representation for a CAPP system [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2003, 133(12): 90-98

[9] 朱志明, 张崇轲. 焊接结构件装焊 CAPP 系统的研究和开发 [J]. 焊接学报, 2001, 22(4): 87-92  
Zhu Zhi ming Zhang Chongke Study and development of assembly welding CAPP system for welded structures [J]. Transactions of the China Welding Institution, 2001, 22(4): 87-92 (in Chinese)

[10] 田爱芬, 陈小艺. 焊接工艺设计专家系统中的知识表示与推理 [J]. 电焊机, 2003, 33(12): 35-39  
Tian A ifeng Chen X iaoyi Knowledge and reasoning of welding process design expert system [J]. Electric Welding Machine, 2003, 33(12): 35-39. (in Chinese)

[11] 钱晓军, 沈春龙. 面向 WCAPP 的工艺数据处理技术 [J]. 焊接学报, 2007, 28(4): 53-57  
Q ian X iaojun Shen Chun long Process technology of process data based on WCAPP [J]. Transactions of the China Welding Institution, 2007, 28(4): 53-57 (in Chinese)

[责任编辑: 严海琳]