

基于知识重用的刀具选配技术研究

Research on Tool Selection Technology Based on Knowledge Reuse

中航工业沈阳黎明航空发动机(集团)有限责任公司 李 新 徐 宁

[摘要] 在分析了传统刀具选配模式存在的不足的基础上,对基于知识重用的刀具选择技术进行了研究。采用实例推理技术进行刀具智能选择,对刀具智能选择过程中涉及的特征提取、知识表示、检索策略、相似度计算等实例推理的关键技术进行了研究。

关键词: 刀具选配 知识表示 实例推理 相似度 刀具信息提取

[ABSTRACT] The tool selection technology based on knowledge reuse is studied on the basis of the analysis of the shortcomings of traditional tool matching mode. The intelligent tool selection is achieved through the case-based reasoning technology. During this selection process, research on key technologies related to the case-based reasoning, such as feature extraction, knowledge representation, search strategy, similarity calculations, etc, is carried out.

Keywords: Tool selection Knowledge representation CBR Similarity Tool information extraction

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.05.082

作为制造资源的重要组成部分,刀具的合理选择对产品的生产效率及加工成本等方面有着很大影响。随着新刀具材料和新刀具结构不断涌现,刀具的种类不断增多,给刀具选配带来了很大的难度。传统的依靠技术人员的知识和经验,并查阅相关手册和规范来选择刀具的选配方式已不能适应企业信息化的需要,故开发出适应现代企业发展要求的刀具选配系统成为机械加工企业的迫切要求。

刀具选配是一个利用以往知识和经验来解决新问题的过程,目前前人的经验不能很好地被推广和保留。基于实例的推理(CBR)是一种类比推理方法,可以利用以往解决问题的成功经验来解决当前的问题,实现了对已有知识的重用。实例库比规则库容易构造、维护,而且推理速度快,有较强的学习能力,并且对于制造企业而言,实例比规则更容易获得。

本文主要研究了基于知识重用的刀具选配技术,结合实例推理技术理论,直接使用以往的刀具选配方案来

解决当前的选配问题。提取了刀具选配实例的特征,给出了刀具选配实例的知识表示。对实例的检索策略、相似度的计算等实例推理的关键技术进行了研究。

1 刀具选配知识提取

1.1 刀具选配特征

根据刀具智能选配的实际需要,将选配的基础信息划分为3个部分:工件信息、加工方法和刀具信息。需要对这些基础信息进行分类、归纳、提取,转化为刀具选配知识库中的知识,用于与刀具选配历史方案匹配,选出合适的加工刀具。

刀具选配过程需要的工件信息主要包含工件形状、加工面类型、工件材料、加工精度和表面质量。工件按形状进行分类可分为轴类、套筒类、活塞类、连杆类、齿轮类、箱体类等;将加工面可分为平面、曲面、端面、外圆、光孔、阶梯孔、直槽、圆弧槽、倒直角、倒圆角、螺纹等类型;工件材料包含材料牌号、硬度范围、热处理方式等;加工精度采用公差等级来衡量,公差等级值越小,加工精度越高,反之,加工精度越差;表面粗糙度是目前表面质量考核最常用的指标。

在对工件信息进行了分析之后,需要综合考虑各种加工方法的优缺点,选择合适的加工方法。将基本的切削加工方法划分为车削、铣削、钻削、拉削、刨削、磨削等^[1]。

刀具信息包括刀具材料和刀具几何参数。根据不同刀具材料可将刀具分为工具钢(包括碳素工具钢、合金工具钢)、高速钢、硬质合金、陶瓷和超硬材料(包括金刚石、立方氮化硼等)5大类^[2]。刀具切削部分的材料确定以后,它的切削性能便由其几何参数来决定。主要涉及的刀具几何参数包括切削刃形状、前角、后角、主偏角、副偏角、刃倾角、刀尖、刃区形式等。

1.2 刀具选配知识表示

知识表示是一种用来在专家系统的知识库中对知识编码的方法^[3],目前对知识表示方法的研究已经比较深入,常用的知识表示方法主要有语义网络表示法、产生式表示法、框架表示法、面向对象表示法、谓词逻辑表示法、基于本体的知识表示法等^[3-5]。经过对常见知识表示方法的综合比较,产生式表示法便于知识的获取和

知识库的维护,本文采用产生式表示法作为知识表示的基础,同时结合粗糙集理论对实例库进行优化,提升刀具智能选配系统的检索匹配效率。

产生式表示法很适合于表示因果关系的知识,在语义上它可以表示成“如果P,则Q”的因果或推理关系。其一般形式为:

#IF X Then Y 或 $X \Rightarrow Y$, 含义为“如果前提 X 成立则有结论 Y ”。其中 # 为实例编号, X 为刀具选配实例的前提条件, Y 为刀具选配结果。刀具选配实例的前提主要包括加工工艺、工件材料、加工面类型、加工尺寸、加工精度、表面粗糙度等加工信息,选配结果中主要包含刀具编号、刀具的材料、类型、几何参数等信息。前提 X 是多个子前提的集合,如: $X = X_1 \wedge X_2 \wedge (X_3 \vee X_4) \wedge \dots \wedge X_n$, 同样,结论 Y 也是多个子结论的集合。以车削加工为例:

a_1 : 加工工艺; a_2 : 工件材料; a_3 : 加工面类型; a_4 : 工件直径; a_5 : 表面粗糙度; d : 刀具编号。

刀具选配实例 1~4 的产生式表示为:

IF $a_1 = \text{车削}$ AND $a_2 = \text{碳钢}$ AND $a_3 = \text{外圆}$ AND $a_4 = 20$ AND $a_5 = 1.6$ THEN $d = \#1$;

IF $a_1 = \text{车削}$ AND $a_2 = \text{碳钢}$ AND $a_3 = \text{端面}$ AND $a_4 = 20$ AND $a_5 = 3.2$ THEN $d = \#2$;

IF $a_1 = \text{车削}$ AND $a_2 = \text{铝合金}$ AND $a_3 = \text{外圆}$ AND $a_4 = 20$ AND $a_5 = 6.3$ THEN $d = \#2$;

IF $a_1 = \text{车削}$ AND $a_2 = \text{碳钢}$ AND $a_3 = \text{端面}$ AND $a_4 = 18$ AND $a_5 = 3.2$ THEN $d = \#1$ 。

随着实例库中刀具选配历史实例的不断扩充,实例的数量将会变得非常庞大,从中检索出合适刀具选配方案的效率将明显降低,需要对刀具选配实例库进行优化。本文采用粗糙集理论对刀具选配实例库进行优化,主要思想是在保持分辨能力不变的前提下,通过知识约简,导出问题的决策或分类规则^[6-7]。首先应对实例库进行数据预处理,主要包括决策表的补齐和离散化;然后经过属性约简和值约简,刀具选配决策表信息量得到很大程度的精简,并尽可能地保持了原有的分辨能力,明显提升了刀具选配效率。

2 刀具选配推理机制

2.1 刀具选配推理流程

综合考虑刀具选配的特点和各推理集策略的优缺点,本文选用实例推理的方式进行刀具智能选配^[8-9]。基于实例推理的专家系统主要涉及实例的知识表示、索引、检索、修改和学习等模块,推理过程一般由检索、复用、修正和保留这4个主要过程组成^[10],如图1所示。

当进行新问题求解时,实例推理系统通过搜索和相

似度计算,从实例库中找出与新问题相似的旧实例。将检索出来的最相似实例的解决方案应用于新问题的解答,给出新问题的建议解。当复用的结果不理想时,需

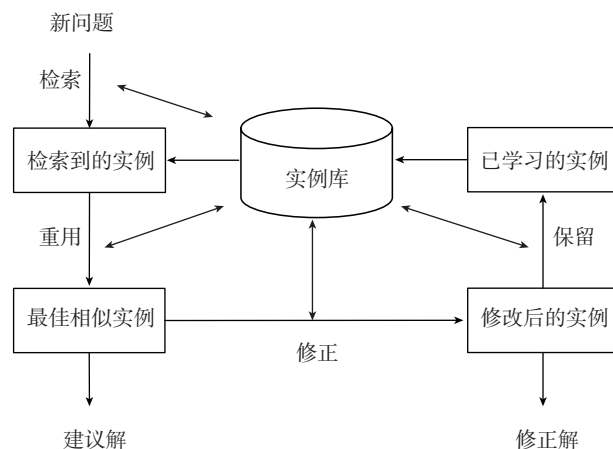


图1 实例推理 (CBR) 的流程

Fig.1 Work processes of CBR

要进行修正处理,给出新问题的修正解。将修正后的新实例添加到实例库中,并建立有效的实例索引,供以后使用,实现了对实例库的不断更新。

刀具智能选配系统进行选配时,需要输入加工工件信息,作为刀具选配实例推理的检索条件,检索出与之最相似的历史选配方案,将相似选配实例的相似度与给定的阈值进行比较,阈值的大小由专家设定,当相似度大于给定阈值时,直接将相似选配实例的解决方案复用到新问题中,即当前加工工件与相似选配实例选用同一型号刀具,新的选配实例不必添加至选配实例库,以免数据冗余。当相似度小于给定阈值时,说明实例库中没

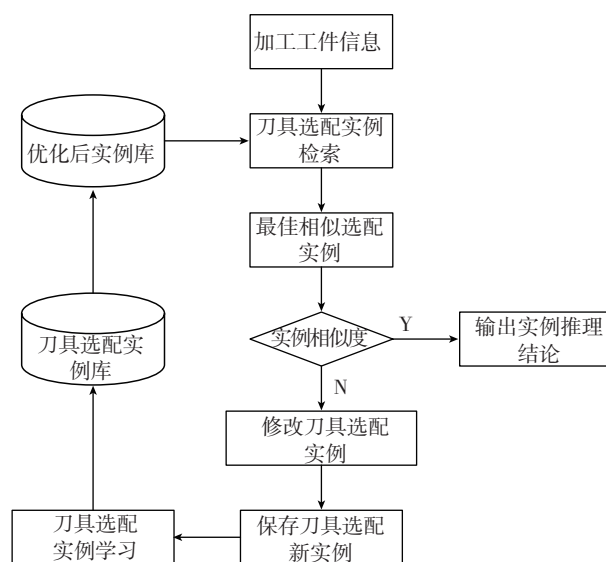


图2 刀具智能选配系统推理流程

Fig.2 Inference processes of tool selection system

有与新问题相匹配的实例,这时需要技术人员根据相似实例进行实例修改,对经修改后的刀具选配实例可以添加至刀具选配实例库,增加刀具选配实例库的知识覆盖面。刀具智能选配系统的推理流程如图 2 所示。

2.2 刀具选配实例检索策略

实例检索是刀具选配实例推理的一个重要的环节,是刀具选配实例推理技术的核心,通过一定的检索算法,快速的检索出与问题相似的选配实例。本文采用最近邻法进行刀具选配实例检索。刀具选配实例检索过程实质上是求解相似度的问题,即新问题与实例库中实例的整体相似度。不同的特征属性对匹配检索的作用是不同的,首先定义实例每个属性特征的权;再计算新问题与实例每个特征的相似度;最后计算出新问题与实例的整体相似度,给出相似度最高的实例,具体过程如下:

(1) 定义属性权重。

设 C 是一实例库,其中包含 n 个实例,有一新问题为 C_0 ,以新问题 C_0 作为检索条件可检索到 m 个与之相关的实例,可表示为 $C' = C_i | 0 < i \leq m \leq n$,其中任一实例 C_i 包含 t 个特征,可表示为 $\{a_j | 1 \leq j \leq t\}$,特征与权重存在一一对应,每个特征对应的权重为 ω_j ,可表示为 $\{\omega_j | 1 \leq j \leq t\}$,而且 $\sum_1^t \omega_j = 1$ 。

实例推理系统中实例特征权重一般可由用户设定,或者取系统默认值,要设置合理的权重离不开专家的意见,本文特征权重通过专家进行赋值。

(2) 计算特征相似度。

要计算实例特征的相似度,必须对特征进行分类处理,根据不同类别的计算规则进行计算,主要分为定性的特征和定量的特征两类。

· 定性的相似度

实例 C_i 第 j 个特征的值为语义型离散型时,精确匹

配为 1,否则为 0。

· 定量的相似度

实例 C_i 第 j 个特征的值为实数型时,相似度计算公式为:

$$\text{sim}_j(C_0, C_i) = 1 - \Delta d_{ij} / \Delta r_j$$

其中, Δd_{ij} 表示新问题 C_0 与实例 C_i 第 j 个特征对应值的差值的绝对值, Δr_j 表示为该特征定义的相似范围,取值范围在 0~1 之间,小于 0 时,相似度取 0。

(3) 计算整体相似度。

新问题 C_0 与实例 C_i 的整体相似度计算采用最近邻法,整体相似度计算公式为:

$$\text{sim}(C_0, C_j) = \frac{\sum_{1 \leq j \leq t} \omega_j \text{sim}_j(C_0, C_i)}{\sum_{1 \leq j \leq t} \omega_j}$$

3 应用实例分析

以新问题 $C_0 = \{ \text{车削、碳钢、外圆、24、3.2} \}$ 为例进行整体相似度的求解计算。对备选刀具选配实例进行优化,实例库在优化处理时剔除了冗余属性,只与核属性进行匹配,只需考虑核属性的属性权重,核属性 a_2 、 a_3 、 a_4 、 a_5 的对应的权重 ω_1 、 ω_2 、 ω_3 、 ω_4 分别 0.375、0.35、0.15、0.125。从实例库中选取一些刀具选配实例,剔除了冗余属性后的实例集如表 1。

其次,计算新问题与决策表中实例对应特征的相似度。属性 a_2 、 a_3 为定性属性,属性 a_4 、 a_5 为定量属性,其相似范围一般由专家给定,或者由系统默认设置。新问题 C_0 的属性 a_2 的值为碳钢,属于材料集合中非不锈钢范畴,如果实例中特征值为不锈钢,则相似度为 0,否则为 1;属性 a_4 、 a_5 的值为 24、3.2,按定量的相似度计算公式进行计算。经计算,得出新问题 C_0 与实例集中每个实例的特征相似度,如表 2 所示。

(下转第 88 页)

表1 车刀选配实例集

实例	条件属性					结果属性
	加工工艺	工件材料	加工面类型	工件直径/mm	表面粗糙度/ μm	刀具编号
U	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	d
1	车削	碳钢	端面	20	1.6	T1
2	车削	碳钢	外圆	18	3.2	T2
3	车削	铝合金	外圆	20	6.3	T2
4	车削	碳钢	端面	18	6.3	T3
5	车削	碳钢	内圆	18	3.2	T2
6	车削	碳钢	内圆	20	6.3	T2
7	车削	不锈钢	平面	18	6.3	T3
8	车削	碳钢	平面	20	1.6	T1

因可归结于激光照射过程中的能量不足以使粉末熔化。如图 9 (a) 所示为层间熔合不良形貌, 层间熔合不良缺陷呈长条状沿着扫描方向分布。试验表明, 避免层间熔合不良缺陷可以通过增加单位质量粉末吸收的能量来避免层间熔合不良, 如提高功率, 降低扫描速度, 减少送粉量均可提高单位质量粉末吸收的能量。使用功率除以送分率与扫描速度的乘积的比值来衡量单位质量粉末单位时间内吸收能量大小, 结果显示, 当比值大于 1.3×10^9 时层间融合不良完全消失。图 9 (b) 所示为道与道间熔合不良缺陷, 其形貌特点为孤立的三角形形貌。道间熔合不良缺陷主要是因为搭接率较小引起道边缘的能量密度较小, 不足以熔化边缘粉末所致。这是因为激光光斑的能量分布并不均匀, 而是呈高斯分布, 光斑边缘能量密度较小。试验表明, 通过适当提高搭接率, 对已沉积部分的边缘进行重叠加热熔化, 增加边缘单位质量粉末吸收的能量, 可以避免道间熔合不良缺陷。当搭接率大于 30% 时, 无道间熔合缺陷。

3 结论

(1) 沉积层表面为脊隆状形貌, 整个沉积层是脊隆的横向和纵向的熔合形成; 由于熔池存在温度梯度, 成形件表面形成鱼鳞状波纹, 波纹方向与扫描方向相同。粉末反弹造成上表面和侧表面有颗粒状圆球。由于反弹, 边缘温度累积, 离焦量的影响使得试件中间区域和边缘地区存在高度差。

(2) 基材与沉积层之间存在热影响区, 越靠近沉积层部分等轴 α 含量越少, β 组织越多。沉积层的宏观组织为外延生长的粗大柱状晶组织, 柱状晶贯穿多个沉积层, 且大小不均匀。沉积层微观组织为条状 α 编织成的网篮组织。

(3) 沉积件内部气孔缺陷形貌为球形和类球形, 分布具有随机性。气孔缺陷是由于凝固过程中外部引入的气体来不及溢出导致。沉积层的熔合不良缺陷分为层间熔合不良和道间熔合不良, 两者出现的原因都是因为单位质量粉末吸收能量低, 通过增加功率, 降低扫描速度, 减少送粉量以及适当提高搭接率, 可以减少缺陷的形成。

参考文献

[1] 王桂生. Ti-6Al-2Zr-1Mo-1V 合金组织与性能的研究. 稀有金属, 1995, 19(5): 352-356.
 [2] 李爱刚, 叶剑, 王丰, 等. 电动机转子轴激光修复试验研究. 新技术新工艺, 2012 (9): 76-79.

本文共有参考文献 11 篇, 因篇章有限, 未能一一列出, 如有需要, 请向本刊编辑部索取。(责编 谷雨)

(上接第 84 页)

表 2 特征相似度求解结果

U	a_2	a_3	a_4	a_5
1	1	0	0.6	0
2,3,5,6	1	1	0.6	1
4	1	0	0	1
7	0	0	0.6	1
8	1	0	0	0

最后, 计算整体相似度。将权重、特征相似度代入整体相似度计算公式, 可得整体相似度依次为 0.465、0.94、0.5、0.215、0.375, 实例 (2, 3, 5, 6) 为最佳相似实例, 如果大于给定阈值, 直接将此实例的解决方案复用为新问题的解, 则新问题 C_0 选用的刀具为 2 号刀具。

4 结束语

基于知识重用的刀具选配利用以往的成功选配案例解决新的选配问题, 解决传统刀具选配模式存在的问题。对刀具选配涉及的基础信息进行分类归纳, 抽取转换为选配知识。本文采用了实例推理技术, 对刀具选配实例的知识表示进行了研究。提出了基于实例推理的刀具选配流程, 研究了检索匹配策略, 并定义了相似度计算公式。利用计算机辅助完成刀具的选配, 将原先以工艺卡片记录的刀具选配结果以实例形式存储于实例库中, 便于历史经验的积累, 使得大量历史信息得以重用, 提升了企业的信息化程度。

参考文献

[1] 陈云, 杜齐明, 董万福. 现代金属切削刀具实用技术. 北京: 化学工业出版社, 2008.
 [2] 邓建新, 赵军. 数控刀具材料选用手册. 北京: 机械工业出版社, 2005.
 [3] 蔡自兴, 约翰·德尔金, 龚涛. 高级专家系统: 原理、设计及应用. 北京: 科学出版社, 2005.
 [4] 胡运发. 数据与知识工程导论. 北京: 清华大学出版社, 2003.
 [5] 高济, 何钦明. 人工智能基础 2 版. 北京: 高等教育出版社, 2008.
 [6] 王国胤. Rough 集理论与知识获取. 西安: 西安交通大学出版社, 2001.
 [7] 张文修, 吴伟志, 梁吉业, 等. 粗糙集理论与方法. 北京: 科学出版社, 2001.
 [8] 车海莺, 甘切初. 信息系统总体设计中案例推理与规则推理集成方法的研究. 计算机应用研究, 2004, 21(3): 81-84.
 [9] 曹立军, 王兴贵, 秦俊奇, 等. 融合案例与规则推理的故障预测专家系统. 计算机工程, 2006, 32(1): 208-210.
 [10] 李锋刚. 基于优化案例推理的智能决策技术研究. 合肥: 合肥工业大学, 2007.

(责编 玲犀)