

An Intelligent Decision Support System for Gear Hobbing Process Parameters

Weidong Cao, Chunping Yan[†]

State Key Lab of Mechanical Transmission, Chongqing University, Chongqing 400044, China

[†]Email: ycp@cqu.edu.cn

Abstract

In this paper, an intelligent decision support system(IDSS) for hobbing process parameters was proposed. The interface of the system was analyzed. Conceptual model of proposed system was designed. Reasoning and learning process of intelligent decision engine for hobbing process parameters was studied. Graph theory was used to construct process case network (PCN). Matter-element model, data dictionary and proposed PCN were connected to conduct similar case retrieval. Lastly, an example is provided to exam the algorithm, and system development are conducted.

Keywords: *Hobbing Process Parameters; Graph Theory; Case-based Reasoning; Intelligent Decision Engine; Process Case Network*

一种滚齿工艺参数智能决策支持系统^{*}

曹卫东, 阎春平

重庆大学机械传动国家重点实验室, 重庆 400044

摘 要: 本文提出一种基于图论和实例推理的滚齿工艺参数智能决策支持系统。分析了该系统接口, 设计了系统概念模型, 研究了滚齿工艺参数智能决策引擎的推理和学习流程, 其中, 运用图论构建工艺实例网络, 运用物元模型、数据字典、工艺实例网络组建相似实例检索算法。最后进行了算法验证和系统开发, 结果表明, 该系统是可行和有效的。

关键词: 滚齿工艺参数; 图论; 实例推理; 智能决策引擎; 工艺实例网络

引言

制造系统的智能化正在快速的发展中。在数控滚齿加工过程中, 工艺参数的智能决策变得越来越重要。国内很多企业尚处在经验决策阶段, 工艺人员依据多年加工经验, 运用手册等工具, 结合工件参数、工艺路线和加工要求进行工艺参数决策。随着人工智能技术的发展, 很多国内外学者将神经网络、遗传算法、实例推理等技术运用到工艺参数决策中, 主要分为以下两部分:

① 遗传算法、神经网络的引入

文献[1]综合运用遗传算法和人工神经网络技术, 优化塑料产品注射模型, 实例验证了两个技术的结合在塑料产品生产过程中优化工艺参数的有效性和实用性。文献[2]将遗传算法运用到非常规或先进的加工工艺(Unconventional or Advanced Machining Processes)的参数优化中, 分别给出了超声波加工、磨料喷射加工、水射流加工、磨料水射流加工中的工艺参数优化模型、决策方法和优化结果。文献[3]运用遗传算法, 提出了高速铣刀切削参数优化模型, 开发的系统具有较强实用性。文献[4]综合运用自适应谐振神经网络、基因遗传算法等技术, 提出一种以基本切削数据库为基础, 通过学习修正、记忆、实时生成对实际加工环境具有广泛适

^{*}基金资助: 受国家 863 计划资助项目支持资助(2012AA041306), 受重庆市科委自然科学基金资助项目支持资助(cstc2013jcyjA90008)。

应能力的最佳切削参数和优选刀具的新方法，生产验证表明该软件选择的刀具和切削参数使生产效率平均提高 50% 以上。

② 实例推理、规则推理的引入

文献[5]采用实例推理技术，建立了智能参数评价模型，通过采集一个钢铁厂热轧带钢层流冷却过程中的数据，验证该模型的准确性，该模型得到了很好的运用。文献[6]结合神经网络、模糊集理论、变精度粗糙集、决策树算法、模糊规则控制形成模糊规则推理算法，并开发纳米粒子研磨过程控制系统，该系统能够调整工艺参数，回复至铣削加工最佳状态。文献[7]为了提高框架文件(Framework Documentation)的效率，将机器学习中的方法：实例推理和规则推理相结合，构建面向对象的应用程序框架文件。文献[8]采用“分而治之”的原则，把刀具选择划分为刀具类型及材料选择和刀具几何参数确定两个子任务，分别采用实例推理和规则推理方法，同时对实例的框架表示、基于模糊贴进度的实例相似性度量等关键技术进行了研究，给出了对应的实例。

近年来，人工智能、机器学习技术在工艺参数决策方面已取得了不少成果，但在滚齿工艺参数决策上研究较少，特别是滚齿工艺知识表达，知识检索，知识匹配方面，尚存在不足之处。本文将从滚齿工艺参数智能决策支持系统的接口出发，利用图论、实例推理和规则推理技术，分析其概念模型和具体的系统设计，最后进行实例验证。

1 系统接口

数控滚齿加工过程是由多个模块组成的，而滚齿工艺参数智能决策支持系统是整个数控滚齿加工过程中的中间模块，存在着与其他模块的连接与配合，在设计该系统之前，有必要先研究该系统与其他模块之间的接口。如图 1 所示，本系统的目的是将工件基本参数、加工需求、加工条件等（输入）转化为工艺解决方案（输出）。“输入”包括工件类别、法向模数、齿数、压力角、螺旋角、材料、精度、径向变位系数、滚切方式等，这些参数与加工需求参考 GB 6443-86^[9]。“输出”包括滚刀类别、精度、头数、螺旋升角、滚刀转速、切削速度、滚切余量、进给量、切削液等，关于滚刀的参数参考 GB/T 6084-2001^[10]、GB/T 6083-2001^[11]和 GB/T 9205-2005^[12]，其中切削用量和切削液参考齿轮制造工艺手册^[13]。

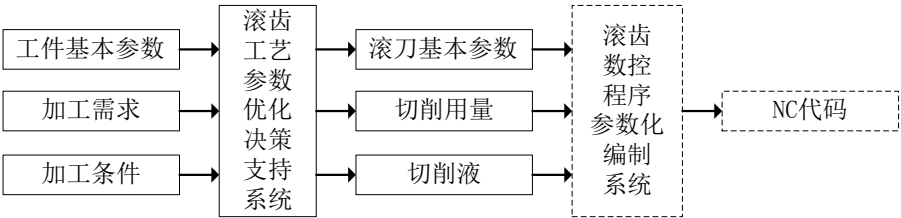


图 1 滚齿工艺参数智能决策支持系统在数控滚齿加工过程中的位置

2 系统的概念模型

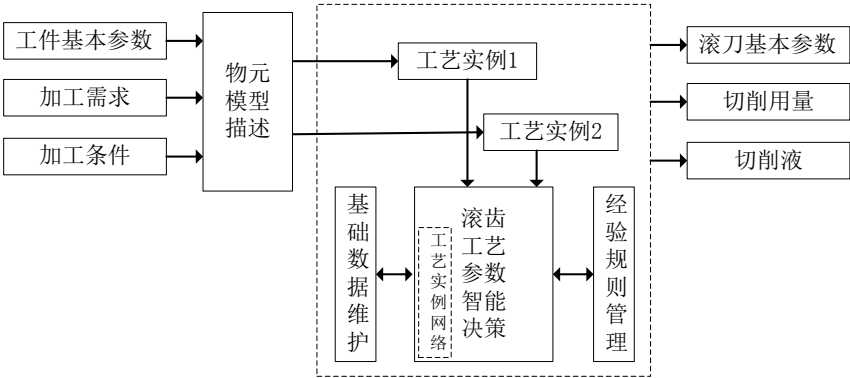


图 2 滚齿工艺参数智能决策支持系统的概念模型

滚齿工艺参数智能决策支持系统的概念模型如图 2 所示，与传统基于实例的推理系统相比较，本系统的特征在于，用图论技术制定的工艺实例网络，有利于实例库的检索与推理，更有利于提升推理的可靠性、准确性以及后期的系统开发。当具有相似关键特征的工艺实例，就不需要重新表示，直接调用知识库中的相似实例，然后进行推理。为了实现系统开发，需要定义和设计滚齿工艺参数智能决策引擎，这也是本文的关键，将在第 3 节中介绍。

3 系统设计

3.1 工艺实例的物元模型描述

本文沿用文献[13]中设计实例物元和问题实例物元的定义：

设计实例物元：设计实例是在满足特定设计要求下所获得的设计结果，其物元模型表示为：

$$R = \begin{bmatrix} N & c_1 & v_1 \\ & c_2 & v_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & v_n \end{bmatrix} = (N, C, V)$$

其中， N 表示设计实例的编号； c 表示设计实例的特征名； v 是 N 关于 c 的量值，记作 $v=c(N)$ ， N 、 c 和 v 称为物元 R 的三要素。 c 和 v 构成的二元组 $M=(c,v)$ 表示物元 N 的特征，称为特征元。根据实例的名称 N 可以建立实例的索引。

问题实例物元：问题实例是一组约束的集合，它反映了产品在工程语义上的设计要求，其物元模型表示为：

$$R = \begin{bmatrix} N_0 & c_{01} & v_{01} \\ & c_{02} & v_{02} \\ & \vdots & \vdots \\ & c_{0n} & v_{0n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_0 & c_{01} & \langle v_{01l}, v_{01h}, w_{01} \rangle \\ & c_{02} & \langle v_{02l}, v_{02h}, w_{02} \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & c_{0n} & \langle v_{0nl}, v_{0nh}, w_{0n} \rangle \end{bmatrix} = (N_0, C_0, V_0)$$

其中， N_0 表示问题实例的编号； c_0 表示问题实例的特征名； v_0 是 N_0 关于 c_0 的量值三元组，表示为 $v_{0i} = \langle v_{0il}, v_{0ih}, w_{0i} \rangle$ ， $i=1,2,\dots,n$ ； v_{0il}, v_{0ih} 表示特征 c_{0i} 的设计需求区间； w_{0i} 表示特征 c_{0i} 的权值。

3.2 滚齿工艺参数智能决策引擎

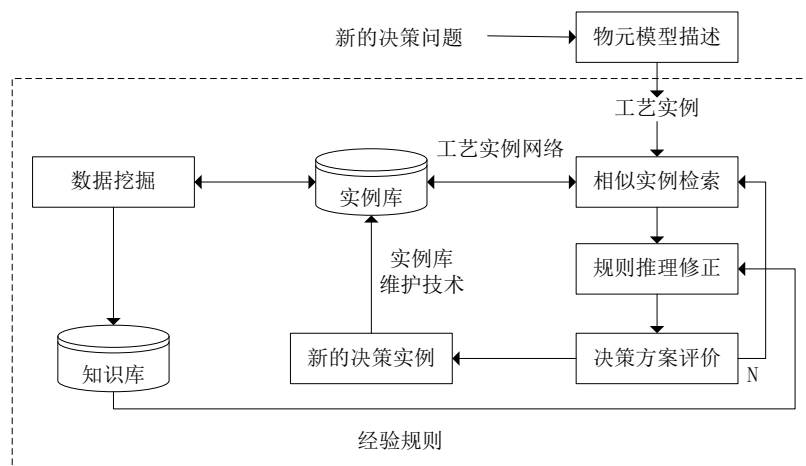


图 3 滚齿工艺参数智能决策引擎的推理和学习流程

图 3 显示了滚齿工艺参数智能决策引擎的推理和学习流程：

1) 由物元模型描述得到工艺实例，在实例库中，通过工艺实例网络，进行相似实例检索；

- 2) 通过数据挖掘技术, 从实例库中挖掘知识, 放入知识库中, 知识库提供经验规则, 以便规则推理修正;
- 3) 对决策方案进行评价, 对新的决策实例进行评分, 放入到工艺实例网络, 存储在实例库中。
- 本文主要描述工艺实例网络构建及相似实例检索两个关键部分。

3.2.1 工艺实例网络

定义 1 工艺实例网络单元是一个无向加权图 $G=\langle O, E, W \rangle$, 其中 O 是工艺实例网络单元中结点的集合, 结点是用物元模型描述的实例物元。 E 是边的集合, W 是权值的集合。 $o_i \in O$ 表示实例物元 i , 边 $e_k=\langle o_i, o_j \rangle \in E$ 表示任务 i 与 j 之间的联系。边 e_k 上的权 w_i 表示边上的权值 (o_i, o_j 之间的接近度)。如图 4 所示:

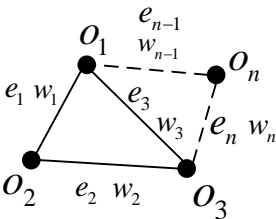


图 4 工艺实例网络单元

定义 2 设计实例物元特征接近度计算：第 r 个设计实例关于第 i 个物元特征与目标设计实例第 i 个物元特征的接近度为：

$$\rho(o_{ri}, o_{0i}) = \frac{|v_{ri} - v_{0i}|}{|v_{ri} + v_{0i}|} \quad (1)$$

定义 3 问题实例物元特征与设计实例物元特征之间接近度计算：第 r 个设计实例关于第 i 个物元特征与目标问题实例第 i 个设计需求区间的接近度为^[13]:

$$\rho(o_{ri}, o_{0i}) = \frac{\left| v_{ri} - \frac{v_{0il} + v_{0ih}}{2} - \frac{1}{2}(v_{0il} - v_{0ih}) \right|}{\left| v_{ri} + \frac{v_{0il} + v_{0ih}}{2} \right|} \quad (2)$$

因为物元特征中存在不是数值型的变量：齿轮材料、滚切方式等，对这些变量进行语义分析，便于计算，如表 1-3 所示。

表 1 滚齿常用齿轮材料语义分析

齿轮材料种类	35、 45、 55	40Cr	35CrMo	35CrNiMo 40CrNi2Mo 37SiMn2MoV	30CrNi3 30CrNi3Mo
		42SiMn	42CrMo		
		35SiMn	40CrMnMo		
		45MnB	45CrMnSi		
		40Mn	40CrNi		
		50Mn	40CrNiMo		
			45CrNiMoV		
对应数值	1	2	3	4	5

表 2 滚齿常用滚切方式语义分析

滚切方式	逆滚	顺滚	逆-顺滚	顺-逆滚
对应数值	1	2	3	4

表 3 滚齿常用滚刀精度语义分析

滚刀精度	C	B	A	AA	AAA
对应数值	1	2	3	4	5

表 4 实例物元输出特征权重

	滚刀类别	精度	头数	螺旋升角	转速	切削速度	滚切余量	进给量	切削液
权重	0.18	0.12	0.10	0.08	0.10	0.14	0.12	0.08	0.08

用工艺实例网络描述实例库，用于解决相似实例检索、历史工艺实例存储等问题，具体构建流程如下：

- 1) 计数变量 $i=1$, $j=1$, 设计实例变量 $\text{nextCase}=0$;
- 2) 用设计实例物元表示历史加工实例，作为无向加权图中的结点 o_j ;
- 3) 当 $j \leq n$ (n 为设计实例物元个数), 否则 goto 8);
- 4) 当 $i \leq m$ ($m=n$), $\text{nextCase}=j+1$, 按公式 (1), 计算第 nextCase 个设计实例关于第 i 个物元特征与第 j 个设计实例第 i 个物元特征的接近度 $\rho(o_{(\text{nextCase})i}, o_{ji})$, 否则 goto 7);
- 5) 按照表 4 给出的权重, 计算第 nextCase 个设计实例物元与第 j 个设计实例物元的综合接近度 $\rho(o_{\text{nextCase}}, o_j)$, 作为无向加权图中的边 $e_k = \langle o_{\text{nextCase}}, o_j \rangle$ 上的权 $w_{(\text{nextCase})j}$;
- 6) $i=i+1$, goto 4);
- 7) $j=j+1$, goto 2);
- 8) 无向加权图的每个结点 o_j 、对应边 $e_k = \langle o_{\text{nextCase}}, o_j \rangle$ 、权 $w_{(\text{nextCase})j}$ 都已得到, 组成 $G = \langle O, E, W \rangle$, 算法结束。

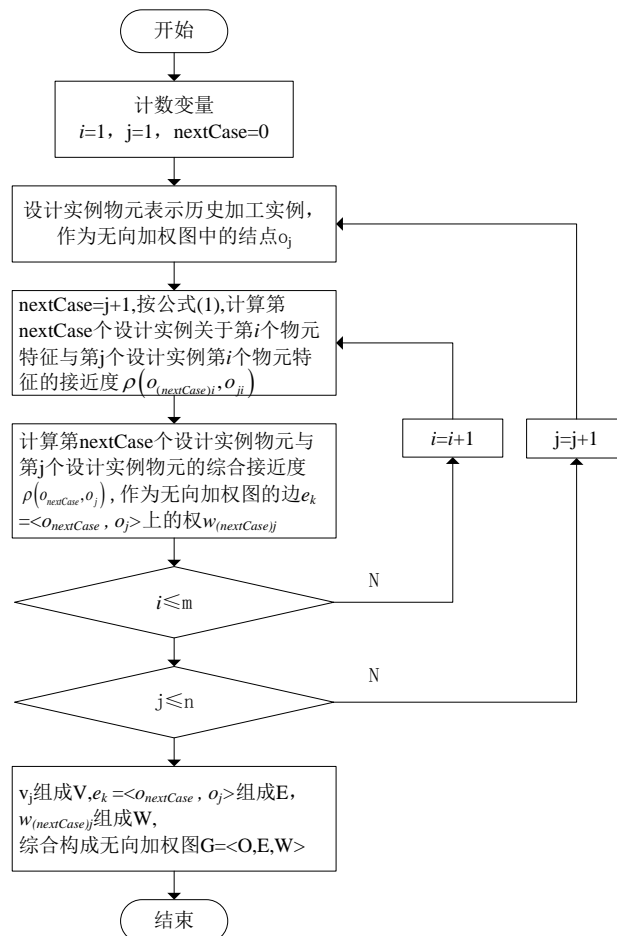


图 5 工艺实例网络构建流程图

用上述方法构建的工艺实例网络是一个完全图，每一对结点间都有边相连。

3.2.2 相似实例检索

(1) 数据字典

该数据字典运用规则，将输入特征转化为输出物元特征^[14]，用数据库存储，详细设计如表 5 所示。

表 5 基本规则库

输入	规则	输出
工件类别	直齿圆柱齿轮：右旋滚刀	滚刀螺旋方向
	斜齿圆柱齿轮：滚刀旋向宜与工件的螺旋方向相同	
加工性质	精加工：单头滚刀	滚刀头数
	粗加工：多头滚刀	
法向模数	相同	滚刀模数
螺旋角	螺旋角大于 20° ：带切削锥滚刀	滚刀类别
滚齿后工序	滚齿后需要磨齿：磨前滚刀 滚齿后需要剃齿：剃前滚刀	
工件模数	假定满足机床、工件、刀具刚度条件下， 见表 6、7、8、9、10	切削速度
工件齿数		
工件材料		
工件精度		
走刀次数		
滚齿机的刚度	限定在滚齿机分度蜗杆的极限转速之内， $n_0 = \frac{1000v}{\pi d_{a0}}$ ， n_0 表示滚刀转速， v 表示切削速度， d_{a0} 表示滚刀外径	滚刀转速
滚刀外径		
工件材料	见表 11	滚刀材料
工件热处理硬度		
工件精度	见表 12	滚刀精度
工件材料	见齿轮制造工艺手册(P259-260)	切削液
滚刀材料		
.....

表 6 普通高速钢滚刀切削用量

模数/mm	粗滚		精滚	
	$v/(m/min)$	$F/(mm/r)$	$v/(m/min)$	$F/(mm/r)$
≤ 10	25~30	1.5~3.0	30~40	1.0~2.0
> 10	12~20	1.2~2.5	15~25	1.0~1.5

表 7 滚切不同材质齿轮时切削速度

工件材料	粗滚	精滚
钢件	28~38	32~45
铸铁	20~28	22~35

表 8 滚切不同材质齿轮时的进给量

加工性质	钢件			铸铁		
	$m_n \leq 5$	$m_n > 5 \sim 8$	$m_n > 8 \sim 12$	$m_n \leq 5$	$m_n > 5 \sim 8$	$m_n > 8 \sim 12$
粗滚	1.25~2.0	1.50~2.5	2.0~3.50	1.5~2.25	1.75~2.75	2.50~4.0
精滚	0.60~0.8	0.70~0.9	0.8~1.20	0.7~1.20	1.0~1.50	1.20~2.0

表 9 滚切余量分配表

模数/mm	走刀次数	余量分配
≤ 3	1(精滚)	切至全齿深
$> 3 \sim 12$	2(粗滚—精滚)	留精滚余量 0.5~1mm
$> 12 \sim 22$	3(粗滚—半精滚—精滚)	第一次切去 0.7 全齿深 第二次留余量 0.5~1mm

表 10 硬齿面齿轮的刮削留量

模数	2~6	$> 6 \sim 10$	$> 10 \sim 16$	$> 16 \sim 25$	> 25
齿厚留量	0.3~0.4	0.4~0.5	0.5~0.6	0.6~0.8	1.0~1.5

表 11 滚刀材料选择规则

工件材料	碳素钢、合金钢	合金钢	低碳合金钢
工件热处理硬度	调质 280HBS 以下	调质 280-400HBS	渗碳淬火 52HRC 以下
滚刀材料	普通高速钢滚刀	钴、铝高速钢滚刀	硬质合金滚刀

表 12 滚刀精度选择规则

齿轮精度	6 及更高	7	8	9	10 及更低
滚刀精度	AAA	AA	A	B	C

(2) 相似实例检索算法

利用数据字典、物元特征描述和工艺实例网络进行相似实例的检索，它最大的特点在于：在大数据、大样本的前提下，大大提高检索的效率。具体流程如下：

1) 计数变量 $i=1$, $m=1$;

2) 利用数据字典，将输入物元特征（工件类别、法向模数、齿数、压力角、螺旋角、材料、精度、径向变位系数、滚切方式）的值转化为输出物元特征（滚刀类别、精度、头数、螺旋升角、滚刀转速、轴向进给速度、径向进给速度、滚切余量、进给量、切削液）的值，输出物元特征的值大部分是在某个范围内，用

$$\text{问题实例物元表示成 } R = \begin{bmatrix} N_0 & c_{01} & \langle v_{01l}, v_{01h}, w_{01} \rangle \\ & c_{02} & \langle v_{02l}, v_{02h}, w_{02} \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & c_{0n} & \langle v_{0nl}, v_{0nh}, w_{0n} \rangle \end{bmatrix};$$

3) 运用工艺实例网络构建方法构建历史工艺实例网络 $G=\langle O, E, W \rangle$;

4) 当 $i \leq n$ (n 为问题物元特征个数)，否则 goto 7);

5) 随机抽取工艺实例网络中的一个结点 o_j (j 为随机变量)，用公式(2)计算结点 o_j 所代表的实例第 i 个物元特征与问题实例第 i 个物元特征之间的接近度 $\rho(o_{ji}, o_{0i})$;

6) $i=i+1$, goto 5)

7) 按照表 4 给出的权重，计算结点 v_j 所代表的第 i 个实例物元和问题实例物元之间的综合接近度

$\rho(o_j, o_0)$;

8) 选定阈值 e_1 , 若 $\rho(o_j, o_0) < e_1$, 可认为该结点为元候选决策实例, goto 9), 否则 goto 5);

9) 选定阈值 e_2 , 若 $m \leq \text{NodeNum}$ (NodeNum 为结点个数) 而且 $m \neq j$, 计算元候选决策案例结点相接的结点权值 w_{jm} ($m \in \text{结点数}, m \neq j$) 与 $\rho(o_j, o_0)$ 相减后的绝对值 $|w_{jm} - \rho(o_j, o_0)| < e_2$, 则提取该结点为候选决策实例, 否则, goto 11);

10) $m = m + 1$, goto 9);

11) 得到元候选实例和候选案例就是检索出来的结果, 算法结束。

在得到候选决策案例后, 进行规则推理修正时, 沿用文献[8]中的规则推理方法, 进行决策方案评价时, 沿用文献[15]的基于工艺实例的模糊 TOPSIS 高速切削工艺参数优化决策方法。鉴于篇幅的原因, 不在此篇论文中进行叙述。

4 案例研究

4.1 算法验证

本文采用文献[15]中的案例来验证工艺实例网络和相似实例检索算法, 详细案例为: 采集某制齿机床制造企业下属齿轮制造车间的数控滚齿工艺实例样本, 如表 13-14 所示; 所采集工艺实例样本来源于该企业自行研制的七轴四联动环保型数控滚齿机 YS3116CNC7, 此机床滚刀主轴最高转速可达 2000rpm, 精加工精度可达 GB100095-88 的 6-7 级, 最大加工模数为 3mm。

表 13 滚齿工艺问题实例集

实例编号 L_i	工艺问题描述属性								
	工件类别	工件模数/mm	压力角	齿数	螺旋角	材料	齿轮精度	径向变位系数	滚切方式
L_0	斜齿圆柱齿轮	2.5	20	35	-36	40Cr	7	0	逆滚

表 14 滚齿工艺设计实例集

实例编号 L_i	工艺解决方案								
	滚刀类别	滚刀精度	滚刀头数	螺旋升角	滚刀转速 r/min	切削速度 m/min	进给量 mm/r	滚切余量 mm	切削液
L_1	A	AAA	1	-3.4	650	40	0.8	0.80	无
L_2	B	AAA	1	-3.4	650	33	0.7	0.60	无
L_3	A	AA	1	-3.2	610	42	1	2.25	无
L_4	A	AA	1	-3.4	550	30	1.5	4.5	无
L_5	A	AA	1	-3.8	450	35	1.5	4.5	无
L_6	B	AA	1	-3.8	300	36	2.0	6.75	煤油
L_7	A	AA	1	-3.8	450	28	1.8	6.75	煤油
L_8	A	AA	1	-3.2	630	40	1	2.25	无
L_9	A	AA	1	-3.8	550	30	1.25	2.25	无
L_{10}	A	AA	1	-3.8	560	30	1.3	3.93	甘油
L_{11}	A	AA	1	-3.8	720	38	1	2.25	无
L_{12}	A	AA	1	-3.4	680	25	0.6	3.37	矿物油
L_{13}	B	AA	1	-3.4	350	27	0.8	2.25	无
L_{14}	A	AA	1	-3.4	400	32	0.75	0.8	无
L_{15}	A	AA	1	-3.4	450	32	0.8	1.2	无
L_{16}	A	AA	1	-3.2	420	41	1.25	1.2	油酸
L_{17}	A	AA	1	-3.2	560	42	1.4	4.5	煤油
L_{18}	A	AA	1	-3.2	550	38	1.5	2.25	油酸
L_{19}	A	AA	1	-3.2	545	38	1.5	2.25	无
L_{20}	A	AA	1	-3.8	740	34	1	2.25	无
L_{21}	A	AA	1	-3.2	350	32	0.8	1.00	煤油

注: 滚刀类别: A 代表整体齿轮滚刀, B 代表镶片齿轮滚刀

决策过程如下：

Step1 设计实例物元表示（以滚齿设计工艺实例 L_1 为例）：

$$R = \begin{bmatrix} L_1 & c_1 & A \\ & c_2 & AAA \\ & c_3 & 1 \\ & c_4 & -3.4 \\ & c_5 & 650 \\ & c_6 & 40 \\ & c_7 & 0.8 \\ & c_8 & 0.8 \\ & c_9 & 0 \end{bmatrix} = (N, C, V);$$

注： c_1 : 滚刀类别； c_2 : 滚刀精度； c_3 : 滚刀头数； c_4 : 螺旋升角； c_5 : 滚刀转速； c_6 : 切削速度； c_7 : 进给量； c_8 : 滚切余量； c_9 : 切削液。

Step2 工艺实例网络构建：对滚齿工艺设计实例集 21 个样本进行工艺实例网络构建，用无向加权图 $G = \langle O, E, W \rangle$ 表示。

$$G = \begin{bmatrix} o_1 & \langle v_1, v_2 \rangle & 0.093 \\ o_1 & \langle v_1, v_3 \rangle & 0.074 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ o_1 & \langle v_1, v_{21} \rangle & 0.085 \\ o_2 & \langle v_2, v_3 \rangle & 0.163 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ o_2 & \langle v_2, v_{21} \rangle & 0.025 \\ o_3 & \langle v_3, v_4 \rangle & 0.082 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ o_{19} & \langle v_{19}, v_{20} \rangle & 0.054 \\ o_{19} & \langle v_{19}, v_{21} \rangle & 0.101 \\ o_{20} & \langle v_{20}, v_{21} \rangle & 0.091 \end{bmatrix}$$

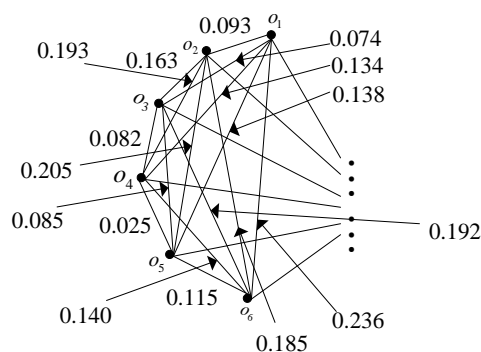


图 6 针对此例的工艺实例网络的示意图（列出 6 个结点）

Step3 相似实例检索：

1) 利用数据字典，得到问题实例物元的表示：

$$R = \begin{bmatrix} L_0 & c_1 & \langle A, A, 0.18 \rangle \\ & c_2 & \langle AA, AA, 0.12 \rangle \\ & c_3 & \langle 1, 1, 0.10 \rangle \\ & c_4 & \langle -5.0, -3.4, 0.08 \rangle \\ & c_5 & \langle 300, 800, 0.10 \rangle \\ & c_6 & \langle 32, 45, 0.14 \rangle \\ & c_7 & \langle 0.8, 6, 0.12 \rangle \\ & c_8 & \langle 0.6, 0.8, 0.08 \rangle \\ & c_9 & \langle 0, 0, 0.08 \rangle \end{bmatrix} = (N_0, C_0, V_0);$$

2) 抽取随机结点: o_2 (代表的设计实例 L_2), 计算与问题实例物元的综合接近度 $\rho(o_2, o_0) = 0.062$;

3) 确定阈值 $e_1 = 0.03$, v_2 不满足要求, 再次选择随机结点: v_{11} (代表的设计实例 L_{11}), 计算与问题实例物元的综合接近度 $\rho(o_{11}, o_0) = 0.014$, o_{11} 满足条件, 确定设计实例 L_{11} 为元候选决策实例;

4) 确定阈值 $e_2 = 0.02$, 搜索工艺实例网络 G , 得到满足条件的候选决策实例 L_3 、 L_8 、 L_{20} , 三者与 L_1 的接近度 (权值) 为 0.022、0.018、0.009。

5) 确定 L_3 、 L_8 、 L_{11} 、 L_{20} 为候选决策实例, 这与文献[15]中选取的实例是一致的。

4.2 系统开发

采用 Qt 作为开发平台, QT 是一种利用 C++ 程序设计语言开发的面向对象的支持组件编程的程序设计语言, 它具有优良的跨平台性, 开发功能如图 7 所示, 部分界面如图 8 所示。

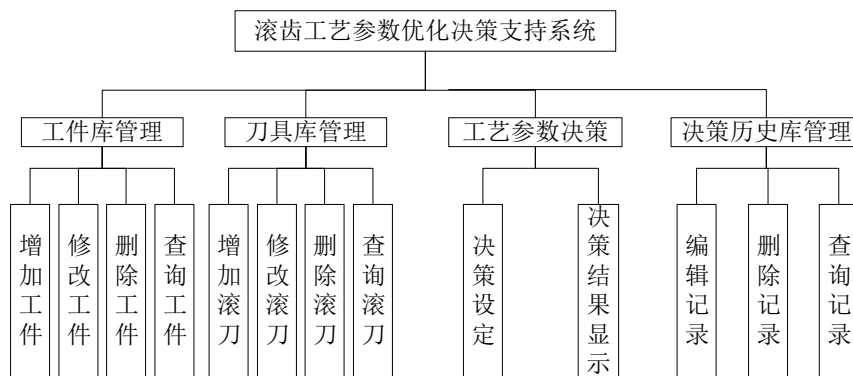


图 7 系统功能架构



图 8 部分系统界面展示

5 结论

本文通过对图论、物元模型、数据字典、实例推理的研究运用,提出一种滚齿工艺参数智能决策支持系统,它的关键在于滚齿工艺参数智能决策引擎,该智能决策引擎由工艺实例网络、相似实例检索、规则推理修正、决策方案评价、数据库、数据挖掘等组成,本文主要阐述了工艺实例网络和相似实例检索两个部分,最后,进行了算法验证和对比,并进行了具体的系统开发。本文提出的智能决策引擎(工艺实例网络和相似实例检索算法)对工艺参数决策领域有一定的参考意义。

REFERENCES

- [1] Changyu Shen, Lixia Wang, Qian Li. Optimization of injection molding process parameters using combination of artificial neural network and genetic algorithm method[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2007, (183): 412-418
- [2] N K Jain, V K Jain, K Deb. Optimization of process parameters of mechanical type advanced machining processes using genetic algorithms[J]. International journal of machine tools & manufacture, 2007, (183): 412-418
- [3] Feng Xu, Minli Zheng, Bin Jiang, et al. High speed milling paramaters optimal system based on genetie algorithm[J]. Journal of Harbin University of Science and Technology, 2007, 12(5): 39-42
- [4] Zhijun Han, Kun Zhang, Guojun Yu. Research on intelligent generation system of technological parameters for machining center[J]. Journal of Tsinghua University(Science and Technology), 1999, 39(2): 30-33
- [5] Guishan Xing, Jinliang Ding, Tianyou Chai, et al. Hybrid intelligent parameter estimation based on grey case-based reasoning for laminar cooling process[J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2011, 25(2): 418-429
- [6] H M Jani, L S Peck. Applying machine learning using case-based reasoning (CBR) and rule-based reasoning (RBR) approaches to object-oriented application framework docume-ntation[A]. In: 3rd International Conference on Information Technology and Applications[C]. 2005,52-57
- [7] T H Hou, C H Su. A fuzzy data-driven and rule-based reasoning system for setting the nano-particle milling process parameters[A]. In: International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management IEEM[C]. IEEE,2007,582-586
- [8] Yajun Jiang, Zhenliang Lou. Application of rule based reasoning and case based reasoning in cutting tool selection of mold nc machining[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2005, 39(7): 1066-1069
- [9] GB 6443-86, Involute cylindrical gears Information of the dimensional data to be given on the drawing[S]
- [10] GB/T 6084-2001, The general technical specifications for gear hobs[S]
- [11] GB/T 6083-2001, The basic types and dimensions of gear hobs[S]
- [12] GB/T 9205-2005, Insterted blade gear hobs[S]
- [13] Tichun Wang, Shisheng Zhong. Extensible Scheme Design of Large-Scale Hydraulic Turbine Based on Knowledge Reuse[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2008, 20(2): 239-245
- [14] Editorial Board of gear manufacturing process manual -hobbing, shaping, grinding, shaving, planing. Gear manufacturing process manual -hobbing, shaping, grinding, shaving, planing[M]. Beijing:Machinery Industry Press, 2010
- [15] Mingshu Zhang, Chunping Qin YAN Bin. High-speed cutting parameters optimization decision based on graph theory and fuzzy TOPSIS[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2013, 19(11): 2802-2809

【作者简介】



曹卫东(1989-),男,汉,重庆大学博士在读,研究方向:CAD/CAE、制造系统工程。
Email: caoweidong19890710@126.com

阎春平(1973-),男,汉,博士,教授,研究方向:CAD/CAE、制造业信息化、绿色制造等。Email: ycp@cqu.edu.cn