湖南农业大学学报(自然科学版) 2020, 46(2):243–247. DOI:10.13331/j.cnki.jhau.2020.02.018
Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences)

引用格式：
鲁超宇，王凤花，赖庆辉，刘志迎．基于知识工程的旋耕机刀辊的快速设计系统研究[J]．湖南农业大学学报(自然科学版)，2020，46(2)：243–247．
LU C Y，WANG F H，LAI Q H，LIU Z Y. Research on rapid design system of rotary blade roller based on knowledge engineering[J]．Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2020, 46(2): 243–247.
投稿网址：http://xb.hunau.edu.cn

基于知识工程的旋耕机刀辊的快速设计系统研究

鲁超宇，王凤花*，赖庆辉，刘志迎

(昆明理工大学农业与食品学院，云南 昆明 650500)

摘 要：为了提高旋耕机刀辊的设计效率，建立了一种基于知识工程的对旋耕机刀辊的快速设计系统：在查阅整理旋耕机刀辊设计流程及规则知识的基础上，建立刀辊参数库、规则库、实例库等知识库，选用 SQL 语言对知识库进行添加、查询、修改；应用基于规则和实例的混合推理方法，以 SolidWorks 和 Visual Studio 为系统开发平台，应用 API 二次开发工具和 VB.NET 语言开发刀辊的快速设计系统，实现尺寸驱动模型变更和不同农耕农艺要求下刀辊的参数化快速设计。在 Intel i5 处理器、系统内存 8 GB 配置环境下，快速设计系统运行 3~5 min 即可设计出满足用户需求的刀辊 CAD 模型并输出文件，满足使用需求。

关 键 词：旋耕机；刀辊；知识工程；二次开发；快速设计

中图分类号：S222.3 文献标志码：A 文章编号：1007–1032(2020)02–0243–05

Research on rapid design system of rotary blade roller based on knowledge engineering

LU Chaoyu，WANG Fenghua*，LAI Qinghui，LIU Zhiying

(Faculty of Agriculture and Food, Kunming University of Science and Technology, Kunming, Yunnan 650500, China)

Abstract: In order to improve the design efficiency of rotary blade roller, a rapid design system was established for rotary blade roller based on knowledge engineering: On the basis of collecting the design process and the rules of the rotary blade roller, the knowledge libraries including the parameter library, rule library, and instance library have been established for the rotary blade roller, which were added, queried, and modified to the database by using SQL language. Appling a hybrid reasoning method based on RBR and CBR, a fast design platform for rotary blade roller with API secondary development tools and VB.NET language has been developed under the system development platforms of Solid Works and Visual Studio. Size-driven model changed and parameterized rapid design of the rotary blade roller have been achieved under different agricultural agronomy requirement. Under the Intel i5 processor and 8 GB system memory configuration environment, the rapid design system can be run for 3 to 5 minutes to design a CAD model of the rotary blade roller with output files under the user’s requirements, which meets the needs of application.

Keywords: rotary tiller; rotary blade roller; knowledge based engineering; secondary development; rapid design

旋耕机有较好的碎土平地能力，是目前最常见的耕整机械。旋耕刀辊是其主要耕作部件，其性能直接影响耕作质量[1–2]。快速设计旋耕刀辊可满足用户的多样化需求，促进产品质量的提升。

基于知识工程(KBE)的智能设计在航空航天、汽车、机床等领域已有了较深入的研究[3–9]。部分

收稿日期：2019–09–16 修回日期：2019–12–23
基金项目：国家自然科学基金项目(51305187)；云南省重大科技计划项目(2016ZF001–4–3)；云南省重大科技专项(2018ZC001–1–1)
作者简介：鲁超宇(1995—)，男，河南商丘人，硕士研究生，主要从事农业机械产品智能快速设计研究，1132270456@qq.com；*通信作者，王凤花，博士，副教授，主要从事丘陵山地农业装备研究，158877172@qq.com

针对农业机械领域的研究：李长林等[10]基于知识工程理论开发了高速插秧机底盘快速设计专家系统，将知识库、推理机和参数化模型融合一体，实现了底盘的快速设计；丁昌文等[11]开发了拖拉机的智能设计系统，实现了设计知识的重用；GUJARATHI 等[12]开发了一种 CAD 和 CAE 集成的参数化模型，可以快速设计产品并进行分析。

笔者将对旋耕机刀辊设计知识分类整理并存储，建立旋耕机刀辊参数库、规则库、实例库； 通过 SQL 语言实现对数据库的修改、查询等操作，建立基于规则和实例相结合的混合推理法，用计算实例差异度的方式快速寻找实例库中相似实例，定位用户需求；设计用户友好的人机交互界面，利用尺寸驱动模型变更法，基于 VisualStudio 2017 中的 VB.NET 和 API 方法对 SolidWorks 二次开发，实现输入参数驱动模型变更，开发了旋耕机刀辊快速设计系统，3~5 min 即可设计出用户需求的刀辊 CAD 模型，旋耕机刀辊的设计效率较高。

1　旋耕机刀辊设计知识库的构建与管理

1.1　知识的获取及分类

根据刀辊的结构，将刀辊划分成刀轴、刀座、旋耕刀 3 个部分。目前市场上使用较多的旋耕机特征参数列于表 1。将刀辊的设计知识大致分为查表类、经验类、设计规则类和实例类 4 类知识。

表 1　旋耕机刀辊的特征参数

Table 1　Parameter survey of existing common models

旋耕机型号	旋耕刀型号	刀轴直径/mm	刀座间距/mm	旋耕刀工作幅宽/mm	相邻刀座错位角度/(°)	刀座厚度/mm	旋耕刀排列方式
1GQNDP–140	Ⅰ T245	70	46	51	60°	25	螺旋排列
1GQN–180	Ⅱ T210	75	41	46	60°	25	螺旋排列
1GKNJG–190	Ⅰ T245	76	46	51	60°	25	螺旋排列
1GQQNZGK–200	Ⅰ T225	78	44	48	60°	25	螺旋排列
1GQNGK–230	Ⅰ T245	80	46	51	60°	25	螺旋排列
1GKNTG–240	Ⅰ T245	81	46	51	60°	25	螺旋排列
1GQNM–250	Ⅰ T260	81	47	53	60°	25	螺旋排列

1) 查表类知识。主要为旋耕刀的各个参数，包括刀辊回转半径、侧切刃和正切刃起始与终点半径、工作幅宽等，由农业机械设计手册查得。

2) 经验类知识。通过参考现有机型、专家的研究设计与实践经验来确定，主要包括相邻刀座错位角度、刀座厚度、旋耕刀排列方式、旋耕刀数量的设计等。为了保证耕作效果，随着旋耕机耕幅的加大，旋耕刀数量增多，不同型号旋耕刀有不同的工作幅宽。由于每组刀座上 2 把旋耕刀的正切刃方向相反，故每组旋耕刀的有效工作幅宽为单个旋耕刀工作幅宽的 2 倍。规则排布的情况下，所有旋耕刀组工作幅宽之和大于或等于旋耕机耕幅、且无漏耕。

3) 设计规则类知识。根据耕深选择不同型号的旋耕刀；根据旋耕刀型号确定刀座间距；根据耕幅确定单侧刀辊上旋耕刀总数量和刀轴直径等设计公式。刀座间距直接决定耕作效果。不同型号的旋耕刀工作幅宽不同，所适用的刀座间距也不同。根据表 1 中常见旋耕机上不同型号旋耕刀的工作幅宽与刀座间距，绘制散点图，并拟合曲线，得到刀座间距与旋耕刀工作幅宽的规则公式，如图 1 所示。

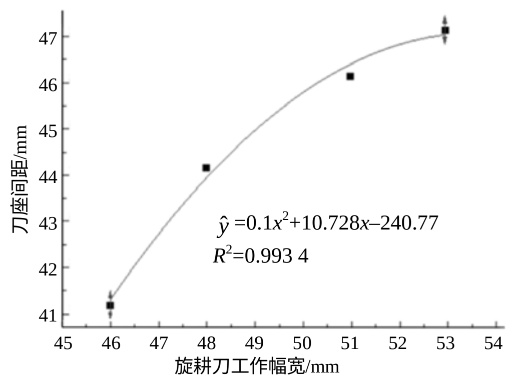

图 1　旋耕刀工作幅宽和刀座间距拟合曲线

Fig.1　Fitting curve of the rotary blade seat spacing dependent on the working width

4) 实例类知识。即已有的零部件模型，在系统应用中，当现有实例符合用户需求时，可直接供用户选用；或在现有实例的基础上加以改动，达成用户需要的模型。

1.2　知识的存储与管理

将获取旋耕机刀辊的知识存储在 Access 数据库

中，建立 Visual Studio 与数据库的联系，通过 SQL 语句对数据库数据的增减、调用、修改、查询等，实现开发平台对数据库参数的调用。如图 2 所示，查表类知识以旋耕刀各项参数为例；设计规则类知识、经验类知识以耕深耕幅为初始参数的公式为例；实例类知识分为零件和装配体两类。

刀座式旋耕弯刀参数

旋耕刀型号	刀辊回转半径	侧切刃起始半径	侧切刃包角	侧切刃终点半径	工作幅宽	正切部端面高	正切部顶面长	正切部弯折半径	侧切刃终点半径与弯折线夹角	正切部弯折角	侧切部顶面宽
I S225	225	125	27°	218	35~45	40~50	20	30	42°~52°	120°	3.5~5.0
I S245	245	135	27°	228	35~45	40~50	20	30	42°~52°	120°	3.5~5.0
I T225	225	125	27°	218	45~55	40~50	20	30	42°~52°	120°	3.5~5.0
I T245	245	135	27°	228	45~55	40~50	20	30	42°~52°	120°	3.5~5.0
II S195	195	125	37°	185	35~45	40~50	20	30	42°~52°	120°	3.5~5.0
II S210	210	125	37°	192	35~45	40~50	20	30	42°~52°	120°	3.5~5.0
II S225	225	125	37°	218	35~45	40~50	20	30	42°~52°	120°	3.5~5.0
II S245	245	135	37°	225	35~45	40~50	20	30	42°~52°	120°	3.5~5.0
II T195	195	125	37°	185	45~55	40~50	20	30	42°~52°	120°	3.5~5.0
II T210	210	125	37°	192	45~55	40~50	20	30	42°~52°	120°	3.5~5.0
II T225	225	125	37°	218	45~55	40~50	20	30	42°~52°	120°	3.5~5.0
II T245	245	135	37°	225	45~55	40~50	20	30	42°~52°	120°	3.5~5.0
II T260	260	143	37°	233	45~55	40~50	20	30	42°~52°	120°	3.5~5.0
III S150	150	150	12°	138	25~35	37	10	20	——	120°	3.5~5.0
III S175	175	175	17°	168	35~45	40	20	30	——	120°	3.5~5.0
III T150	150	150	12°	138	25~35	37	10	20	——	120°	3.5~5.0
III T175	175	175	17°	168	35~45	40	20	30	——	120°	3.5~5.0
IT 260	260	143	27°	236	45~55	40~50	20	30	42°~52°	120°	3.5~5.0

a

旋耕机刀辊设计规则

ID	名称	公式规则	注解	单击以添加
1	弯刀回转半径	R=H+100	R——弯刀回转半径　H——耕深	
2	相邻刀座间距	d=b-δ	d——相邻刀座间距　b——弯刀工作幅宽　δ——刀座厚度	
3	单侧刀轴旋耕刀数量	n==((B/2)/(b×2))×2+4	n——单侧刀轴旋耕刀数量　B——旋耕机耕幅　b——弯刀工作幅宽	
4	刀轴直径	B=1400~2400　D=80	B——旋耕机耕幅　D——刀轴直径	
5	刀座间距	y = -0.1x2 + 10.728x - 240.77	y——刀座间距　x——旋耕刀工作幅宽	

b

刀辊实例库

ID	名称	三维模型
1	IT210旋耕弯刀	SOLIDWORKS Part Document
2	IT245旋耕弯刀	SOLIDWORKS Part Document
3	IT225旋耕弯刀	SOLIDWORKS Part Document
4	刀座1	SOLIDWORKS Part Document
5	刀座2	SOLIDWORKS Part Document
6	刀轴	SOLIDWORKS Part Document
7	刀辊装配1	SOLIDWORKS Assembly Document
8	刀辊装配2	SOLIDWORKS Assembly Document

c

a　查表类知识存储；b　设计规则类和经验类知识存储；c　实例模型类知识存储。

图 2　旋耕机刀辊设计知识库

Fig.2　Datebase of rotary blade roller

2　设计平台的推理方法

推理方法是刀辊快速设计系统的核心，分为基于实例的推理(CBR)和基于规则的推理(RBR)。在刀辊快速设计系统中使用这 2 种方法相结合的混合推理法。推理流程(图 3)：当用户输入需要的参数后，系统根据设计规则设计出完整的刀辊参数，并根据特定的方法检索实例库，当有符合条件的实例时，直接输出三维模型和工程图；当实例库中没有符合条件的实例时，系统则会寻找与用户需求最相似的实例，并通过二次开发的方法修改，以达成用户需求，将设计出的新实例保存到实例库中，同时还达到扩充实例库的目的。

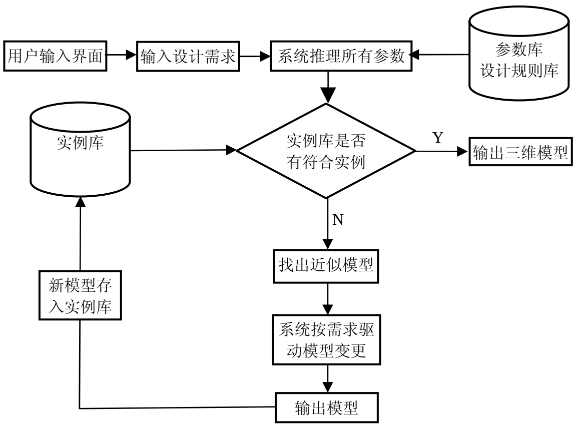

图 3　刀辊快速设计系统的推理流程

Fig.3　Flow chart of system inference

2.1　基于规则的推理

刀辊各零件的具体参数均是由上层部件的特征参数推理而来，系统推理机会根据用户输入的参数对数据库进行检索并找到相对应的规则或参数，基于计算机语言完成整机参数的计算，实现系统对设计参数的自动推理。

2.2　基于实例的推理

运用最近相邻法[13]进行实用性更强、且易于程序化的差异度计算法推理。

如 2 个实例的总差异度

$$D=\sum_{i=1}^{n} w_i d_i\text{，}(0\leq D)$$

式中：w_i 为第 i 特征的权重因子；d_i 为 2 个实例第 i 特征的差异度。

由知识库构建的设计规则可知，刀辊耕幅、耕

深直接影响整个部件的结构和相邻刀座间距、单侧刀轴刀数 2 个特征，故将权重值安排如表 2。

表 2　参数与权重

Table 2　Parameter and proportion

	耕幅/m	耕深/mm	相邻刀座间距/mm	单侧刀轴刀数
用户需求	1.5	145	46	18
实例 1	2.0	125	43	24
实例 2	1.8	145	46	21
特征权重	0.4	0.4	0.1	0.1

计算得到实例 1 与用户需求的差异度为 0.228，实例 2 与用户需求的差异度为 0.097。相比之下，选择实例 2 为相似实例作为进行二次开发模块的基准模型。

3　旋耕机刀辊快速设计平台的建立

3.1　SolidWorks 二次开发

在利用 VisualStudio 对 SolidWorks 二次开发之前，首先需要引入 SolidWorks 类型库 SolidWorks Type Library，建立二者之间的联系；其次通过在 VisualStudio 中添加一个类，命名为 AccessHelper，来实现参数库、规则库、实例库与系统的数据交互，主要用到的有 CREATE、DELETE、ALTER、INSERT、UPDATE、SELECT、GRANT、REVOKE 等 SQL 命令；最后新建一个 exe 文件，编写 VB.NET 程序，使得推理算法程序化，实现按照 Textbox 控件中的尺寸信息，自动改变模型零件的相应尺寸特征，并自动装配。主要代码和 API 方法如下。

```
Dim Swapp As SldWorks.SldWorks' 声明 SldWorks 对象
Swapp = CreateObject("sldworks.application")' 创建并返回 SldWorks 的对象引用
Swapp.OpenDoc("装配体文件路径".SLDASM, 2) '获得指定路径的文件
Dim Part As SldWorks.ModelDoc2 '声明文件对象
Part = Swapp.ActiveDoc '获得目前展现的文档对象
Dim Mydimension As SldWorks.Dimension '声明尺寸对象
Mydimension = Part.Parameter("对应尺寸特征名称") '获得尺寸对象的引用
Mydimension.SystemValue = A_size / 1000 '根据 Textbox 控件输入信息驱动模型变更。
…
Part.EditRebuild3() '重建模型。
```

3.2　系统实现

选择 64 位 Windows 10 操作系统，开发环境为 VisualStudio 2017。用户通过登录界面进入系统，输入所需参数后，混合推理算法根据设计规则知识进行推理，并根据所有 Textbox 控件中的参数信息驱动 SolidWorks 模块，实现实例变更，并输出相应的设计结果，同时将设计结果存入实例库。系统界面如图 4 所示，在 Intel i5 处理器、系统内存 8 GB 配置环境下，完成刀辊设计仅耗时 3~5 min。

a　系统登录界面；b　系统设计结果界面。

图 4　旋耕机刀辊快速设计系统界面

Fig.4　System interface of the rotary blade roller rapid design system

参考文献：

[1]　李永磊，宋建农，康小军，等．双辊秸秆还田旋耕机试验[J]．农业机械学报，2013，44(6)：45–49．
LI Y L，SONG J N，KANG X J，et al．Experiment on twin-roller cultivator for straw returning[J]．Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery，2013，44(6)：45–49．

[2]　曾百功，叶进，杨仕，等．微耕机土壤耕作部件田间测试平台的研制[J]．湖南农业大学学报(自然科学版)，

2017，43(4)：456–459．

ZENG B G，YE J，YANG S，et al．Development of field test platform for tillage components of micro-cultivator[J]．Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences)，2017，43(4)：456–459．

[3] 刘滕．基于知识工程的典型航空零件参数化设计技术研究[D]．沈阳：沈阳理工大学，2016．

LIU T．The Parametric Design Technology of Aviation Typical Parts Based on KE[D]．Shenyang：Shenyang Ligong University，2016．

[4] 卫永斌，艾俊强．并列双发三维非对称多 S 弯喷管参数化设计方法[J]．航空动力学报，2015，30(2)：271–280．

WEI Y B，AI J Q．Parameter design method of double juxtaposition 3-D asymmetric several-S-shaped nozzles[J]. Journal of Aerospace Power，2015，30(2)：271–280．

[5] SIM W W，BROUSE P．Towards an ontology-based persona-driven requirements and knowledge engineering[J]. Procedia Computer Science，2014，36：314–321．

[6] 俞高红，张玮炜，孙良，等．偏心齿轮–非圆齿轮后插旋转式分插机构的三维参数化设计[J]．农业工程学报，2011，27(11)：9–14．

YU G H，ZHANG W W，SUN L，et al. Three-dimensional parametric design of backward rotary transplanting mechanism with eccentric gears and non-circular gear[J]．Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering，2011，27(11)：9–14．

[7] 陈雨，毛恩荣，吕黄珍，等．基于推理的大型收获机械变速箱参数化设计[J]．农业机械学报，2013，44(S2)：278–282．

CHEN Y，MAO E R，LYE H Z，et al．Parametric design of large harvesting machinery transmission gearbox based on reasoning[J]．Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery，2013，44(S2)：278–282．

[8] 李品．基于知识重用的 HDD 履带行走装置快速设计系统研发[D]．湘潭：湘潭大学，2014．

LI P．Research and development of rapid design system for HDD crawler travel mechanism based on knowledge reuse[D]．Xiangtan：Xiangtan University，2014．

[9] OLOFSSON J，SALOMONSSON K，JOHANSSON J，et al．A methodology for microstructure-based structural optimization of cast and injection moulded parts using knowledge-based design automation[J]．Advances in Engineering Software，2017，109(C)：44–52．

[10] 李长林，王雪亮，金晓萍，等．高速插秧机底盘快速设计专家系统[J]．农业机械学报，2012，43(S1)：323–328．

LI C L，WANG X L，JIN X P，et al．Expert system design of chassis rapid design for high-speed transplanter[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery，2012，43(S1)：323–328．

[11] 丁昌文，惠为东，李春燕，等．基于知识的拖拉机制动器智能化设计系统研究[J]．机械设计与制造工程，2017，46(2)：91–95．

DING C W，HUI W D，LI C Y，et al．Research on knowledge-based intelligent design system for the tractor brake[J]．Machine Design and Manufacturing Engineering，2017，46(2)：91–95．

[12] GUJARATHI G P，MA Y S．Parametric CAD/CAE integration using a common data model[J]．Journal of Manufacturing Systems，2011，30(3)：118–132．

[13] 杨汝静．复杂产品方案设计中多级实例推理检索算法研究[D]．沈阳：沈阳理工大学，2014．

YANG R J．Research of the multistage case reasoning retrieval algorithm in complex product project design[D]. Shenyang：Shenyang Ligong University，2014．

责任编辑：罗慧敏
英文编辑：吴志立