

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.S2.050

## 履带式收获机械传动系快速设计推理方法\*

宋正河 毕淑琴 金晓萍 朱忠祥 毛恩荣

(中国农业大学现代农业装备优化设计北京市重点实验室,北京 100083)

**摘要:** 在综合分析履带式收获机械传动系设计流程和设计知识特点的基础上,研究了适用于履带式收获机械传动系快速设计的推理流程,分别设计了以实例相似度匹配算法为核心的基于实例的推理方法(CBR),以所构建的履带式收获机械传动系设计知识库为核心的基于规则的推理方法(RBR),以及综合运用 CBR 和 RBR 的混合推理方法。在此基础上,建立了履带式收获机械传动系快速设计系统推理机制,实际应用表明,应用混合推理方法,可以较好地实现履带式收获机械传动系的快速设计,缩短设计周期。

**关键词:** 履带式收获机械 传动系 推理方法

**中图分类号:** S225.31      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-1298(2013)S2-0268-05

## Rapid Design Reasoning Method for Crawler Harvester Transmission System

Song Zhenghe Bi Shuqin Jin Xiaoping Zhu Zhongxiang Mao Enrong

(Beijing Key Laboratory of Optimized Design for Modern Agricultural Equipment,

China Agricultural University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** The design process and features of design knowledge of crawler harvester transmission were analyzed comprehensively. Then, the reasoning process suitable for the rapid design of crawler harvester transmission was researched. Taking the instance similarity matching algorithm as the core, the case-based reasoning (CBR) was designed. And taking the constructed design knowledge base of crawler harvester transmission as a core, the rule-based reasoning (RBR) method was studied. Also the CBR and RBR hybrid reasoning method was designed. On the basis of all these, the inference mechanism of crawler harvester transmission rapid design system was established. Practical applications showed that this reasoning method could better achieve the crawler harvester transmission rapid design and shorten the design cycle.

**Key words:** Crawler harvester Transmission system Reasoning method

## 引言

履带式收获机械传动系的设计是一项复杂的智力活动,需要大量的专业知识和经验。事实证明工龄较长的设计师总是比初学者在产品设计方面的准确性和耐用性方面更具优势,这是因为工龄较长的设计师已经积累了大量的成熟案例、设计规则和设计经验。如果能将这些知识收集起来,建立一个智能化的设计系统<sup>[1]</sup>,这将大大促进产品的开发速度。因此,基于规则推理方法(Rule-based

reasoning,RBR)和基于实例推理方法(Case-based reasoning,CBR)就成为了人工智能技术在工程应用领域里新的研究方向。

基于规则和基于实例的快速设计是一种系列化、模块化的设计技术与方法<sup>[2]</sup>。履带式收获机械传动系设计与知识库、推理机制、快速设计系统等理论结合起来,形成了一种新的快速设计方法。

推理机制的研究是实现履带式收获机械传动系快速设计的核心步骤。用于将设计经验、设计规则和成熟案例通过一定的组织形式和算法结合起来,

收稿日期:2013-06-26 修回日期:2013-07-10

\*“十二五”国家科技支撑计划资助项目(2011BAD20B01)和中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(2013QJ018)

作者简介:宋正河,教授,主要从事农业装备数字化设计技术研究,E-mail:songzhenghe@cau.edu.cn

通讯作者:毛恩荣,教授,博士生导师,主要从事农业装备数字化设计技术研究,E-mail:gxy15@cau.edu.cn

服务于整个快速设计系统<sup>[3]</sup>。本文在总结前人工作的基础上<sup>[4-7]</sup>,分析不足,用全新的观点审视混合推理中的问题,提出解决办法,为履带式收获机械传动系快速设计推理方法的研究做出初步尝试。

### 1 传动系统设计推理系统概述

履带式收获机械传动系快速设计推理系统的建立是将 Pro/E 和 Visual Studio 2008 作为系统开发平台,应用 Pro/TOOLKIT 二次开发工具实现二者链接。其中应用 Visual Studio 2008 中的 MFC 类库建立系统人机界面并实现各模块功能,应用 Pro/E 三维建模软件建立履带式收获机械传动系零部件三维模型,通过 Visual C++ 语言将 Pro/E 软件嵌入到系统人机界面中,实现推理结果可视化。履带式收获机械传动系快速设计推理系统结构如图 1 所示。

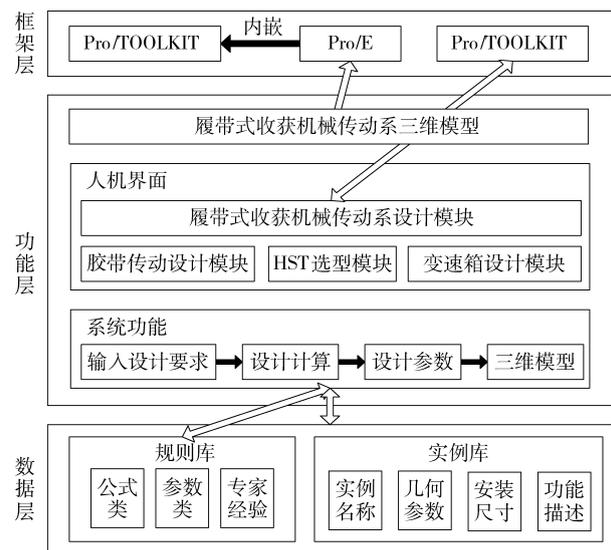


图 1 推理系统总体结构

Fig. 1 Overall structure of reasoning system

框架层由 Pro/E 三维建模软件、Pro/TOOLKIT 二次开发工具和 Visual Studio 2008 系统开发工具构成,为系统各个功能的运行提供平台。

功能层包括履带式收获机械传动系三维模型、人机界面、系统功能模块。人机界面提供交互场所,系统功能模块实现产品设计,输出设计结果控制三维模型。

数据层包括规则库和实例库,是系统的基础和支撑。规则库存储设计规则和专家经验,实例库储存三维模型和成熟案例属性特征。

### 2 基于实例的传动系统设计推理方法

基于实例的履带式收获机械传动系设计推理流程如图 2 所示。首先,根据从用户要求提取的传动系设计特征进行实例检索,如果实例匹配,则可以重

用实例,不匹配则修改实例或重新设计。修改后的实例或重新设计的实例需要进行评估,根据评估结果判定是否可用。

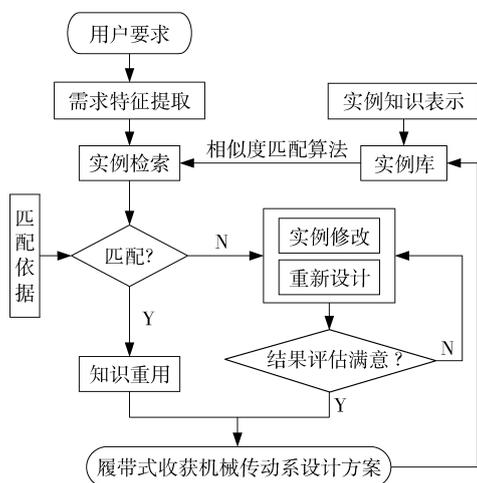


图 2 基于实例的传动系统设计推理流程

Fig. 2 Transmission reasoning process of case-based reasoning

#### 2.1 实例相似度匹配算法

CBR 技术是一种类比推理技术,利用以前求解类似问题的经验知识进行推理,从而获得当前问题的求解结果。针对实例相似度求解,定义待求向量(设计目标) $P = (p_1, p_2, \dots, p_n)$ ,解向量(设计结果) $Q = (q_1, q_2, \dots, q_n)$ 。其中  $p_i, q_i (i = 1, 2, \dots, n)$  分别为实例  $P, Q$  相应的信息,包括编号、实例名称、主体尺寸、形状类型、功用、材料等,将这些信息定义为实例的不同属性。将度量实例各个属性的相近程度定义为属性距离。根据实例属性的特点,可将实例属性距离的计算分为 2 种情况<sup>[8-9]</sup>:

(1) 数值型:如实例主体尺寸中的长、宽、高等,属性距离为

$$DIST(p_i, q_i) = |p_i - q_i| \quad (1)$$

(2) 枚举型:如实例的几何形状、功用属性等。属性距离为

$$DIST(p_i, q_i) = \begin{cases} 0 & (p_i = q_i) \\ \infty & (p_i \neq q_i) \end{cases} \quad (2)$$

实例相似度的计算过程就是对两实例对应属性距离求和的过程,同时应屏蔽掉属性距离取值相差很大而对实例相似性所产生的影响。因此,需要对实例距离进行规范化处理

$$SIM(P, Q) = \sum_{i=1}^n \frac{\mu_i}{1 + |p_i - q_i|} \quad (3)$$

其中  $\sum_{i=1}^n \mu_i = 1$

式中  $\mu_i$ ——相应属性的权值以表示实例各属性对实例特点的不同影响程度。

在式(3)中,当 2 个实例完全相同(即  $p_i = q_i$ ,

$i = 1, 2, \dots, n$ )时,其相似度  $SIM(P, Q) = 1$ 。

## 2.2 实例相似度算例

设所需目标实例(编号0)及其属性见表1,其中实例库中存储的实例(编号1、编号2)见表2,其属性权值见表3。表2信息所描述的对应实例如图3所示。为检索出0号实例,需确定0号实例与实例库中存储实例的匹配程度。利用式(1)~(3)可计算0号实例与其他实例之间的相似度。

表1 目标实例  
Tab.1 Target instance

编号	名称	主体尺寸/mm			各挡传动比			功用
		长	宽	高	低	中	高	
0	变速箱	270	214	562	32	24	17	传动变速

表2 实例库内实例(部分)

Tab.2 Instances in instances library (parts)

编号	名称	主体尺寸/mm			各挡传动比			功用
		长	宽	高	低	中	高	
1	变速箱	270	214	562	32	24	17	传动变速
2	变速箱	220	264	512	25	18	12	传动变速

表3 属性权值

Tab.3 Weights of attributes

项目		权值
名称		0.3110
主体尺寸	长	0.0545
	宽	0.0545
	高	0.0545
各挡传动比	低	0.0575
	中	0.0575
	高	0.0575
功用		0.3500

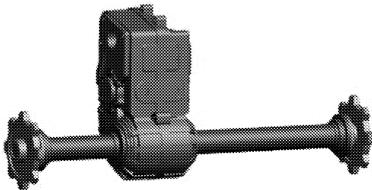


图3 实例形状

Fig.3 Shape of instance

计算结果表明:1号实例与0号实例相似度为1,表示二者完全相同;2号实例与0号实例相似度为0.6891,说明2号实例具有参考价值,可修改后使用。

## 3 基于规则的传动系设计推理方法

当设计目标与实例库中存储的实例不匹配时,就需要对实例进行修改或者重新设计,这时就要用到基于规则的推理。此时,规则类知识的准确性、全面性和实用性就显得尤为重要,为解决这一问题,需

建立履带式收获机械传动系设计知识库。

### 3.1 传动系设计知识库

履带式收获机械传动系设计知识库结构如图4所示。

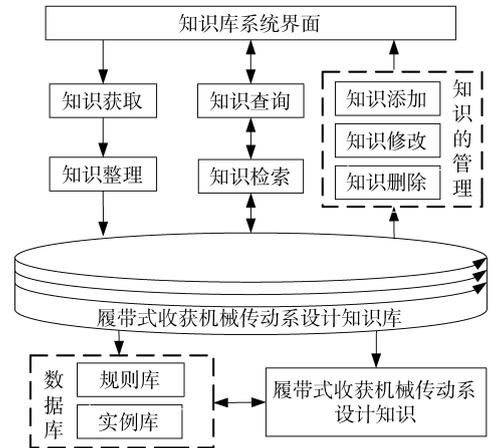


图4 知识库系统结构

Fig.4 Structure of knowledge base system

首先,在综合分析履带式收获机械传动系结构特点和设计现状的基础上,搜集和整理与履带式收获机械传动系设计相关的文献资料、标准规范、设计经验等知识;其次,为知识的表示和存储做准备,根据知识的形式将知识分为公式类、参数类、选型类、实例类等;然后,基于知识工程技术,因规则类知识具有因果关系明确的特点,宜采用产生式表示方法对其进行表示。实例类知识结构化鲜明,宜采用框架式表示方法对其进行表示。同时,实例类知识除了具有父子属性外,还具有静态属性,为同时表示出这两种属性,采用框架式表示法和面向对象表示法相结合的方法是一种很好的选择;最后,根据知识的分类特点将知识以表的形式存储在SQL Server数据库中,建立履带式收获机械传动系设计知识库。

### 3.2 基于规则推理的实现

以胶带传动装置设计功率  $P_d$  的计算为例来说明规则推理的实现过程。设计功率为

$$P_d = K_A P_x \quad (4)$$

其中

$$P_x = mgvf/\eta$$

式中  $m$  为 2800 kg,  $g$  为  $9.8 \text{ m/s}^2$ ,  $v$  为  $2.05 \text{ m/s}$ ,  $f$  为 0.25,  $\eta$  为 0.85,  $K_A$  为 1.2。

```
#include "ADO.h"
```

```
#include "muParserDLL.h"
```

```
#include "Calculation.h"
```

```
CADO ado;
```

```
CCalculation calculation;
```

```
double retValue = 0;
```

```
CStringArray str;
```

```
CString str1, str2;
```

```

ado. Taketable( "Para", "参数表", "ID", 1, 6,
str);
ado. Taketable( "Formula", "公式表", "ID", "
1", str1);
ado. Taketable( "Formula", "公式表", "ID", "
2", str2);
str. Add( str1);
str. Add( str2);
retValue = calculation. Parscalc( str);
    
```

### 4 传动系设计混合推理方法

根据履带式收获机械传动系的设计流程可以建立如图 5 所示的履带式收获机械传动系推理流程。

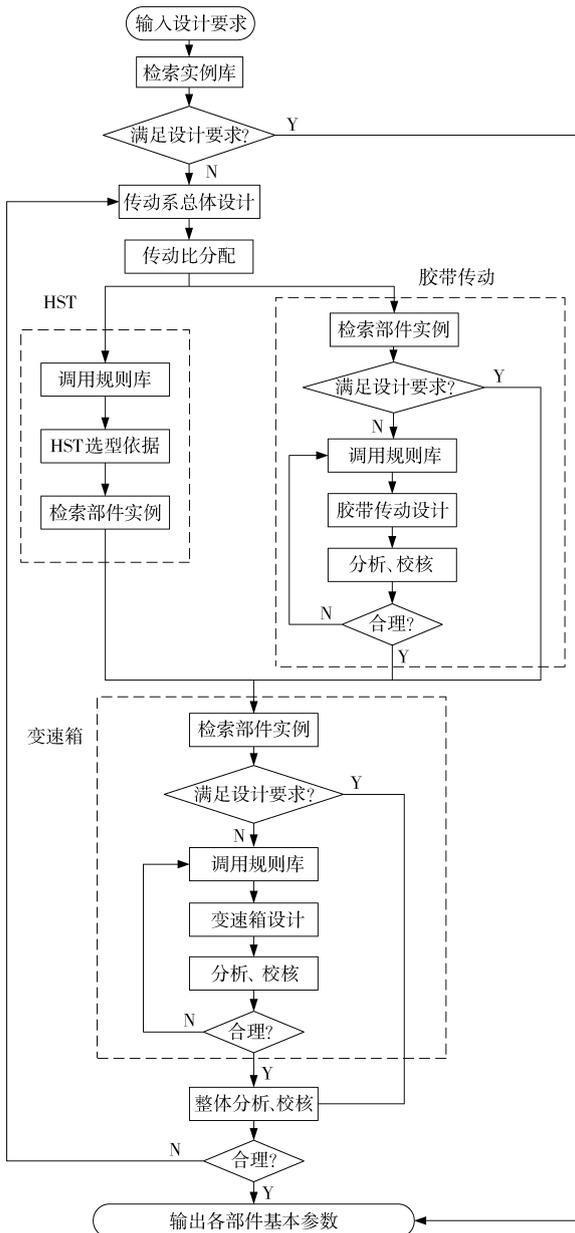


图 5 履带式收获机械传动系推理流程  
 Fig. 5 Reasoning process of crawler harvester transmission system

用户根据使用情况输入设计要求,系统首先检索实例库中存储的实例,如有相匹配的实例则直接输出,结束查询;否则检索规则库,根据设计要求进行传动系总体设计,并将设计结果传递给胶带传动装置、静液压无级变速器(HST)和变速箱,然后根据设计结果查询实例库中的部件实例,如有合格实例则将实例进行装配后输出,结束查询;没有合格实例则根据不合格部件再次检索规则库,按照预设的推理策略进行推导,推出某些中间结论,再以这些中间结论为证据继续进行推理,如此反复进行,直到最终推出结论,得到满意的设计结果,结束查询。同时,新生成的实体模型将作为新的实例被保存在实例库中,以供其他用户使用。

CBR 技术和 RBR 技术之间的关系是:CBR 技术是植根于 RBR 技术基础之上的 CBR 技术。RBR 技术是依托于 CBR 技术框架之下的 RBR 技术。CBR 技术与 RBR 技术的结合可分为两种方式<sup>[10]</sup>:一是 RBR 技术为前导, CBR 技术为后置补充;二是 CBR 技术为前导, RBR 技术为后置补充。其他组合方式都是以这两种方式为基础组成的。对于本系统,实例库和规则库已充分建立,且要求推理系统具有很高实时性,则宜采用第 2 种方式。如图 6 所示为履带式收获机械传动系设计混合推理方法的实现流程,如图 7 所示为该推理系统的结构。

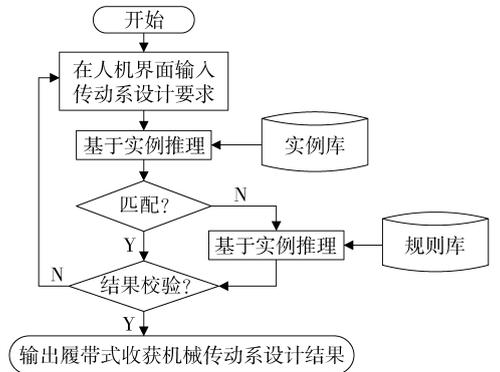


图 6 混合推理方法实现流程

Fig. 6 Implementation process of hybrid reasoning method

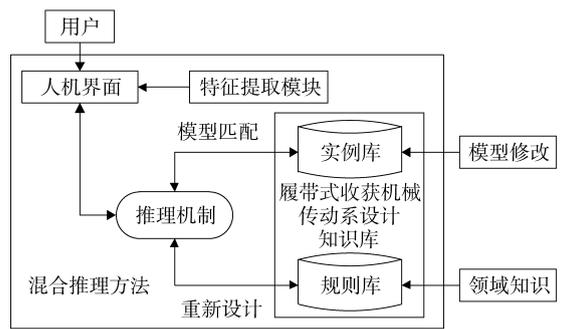


图 7 混合推理系统结构

Fig. 7 Structure of hybrid reasoning system

履带式收获机械传动系快速设计推理流程的实现需要多个模块的配合。人机界面提供交互平台,设计知识库存储实例类知识和规则类知识,推理机制是整个系统的核心。

## 5 结束语

根据履带式收获机械传动系的设计流程建立了履带式收获机械传动系推理流程,分别设计了以实

例相似度匹配算法为核心的 CBR 推理方法,以所构建的履带式收获机械传动系设计知识库为核心的 RBR 推理方法,以及结合 CBR 和 RBR,交替使用的混合推理方法。建立了履带式收获机械传动系快速设计系统推理机制,实际应用表明,应用该推理方法可以缩短设计周期,降低设计成本,较好地实现履带式收获机械传动系的快速设计。

## 参 考 文 献

- 1 Shen W, Maturana F, Norrie D, et al. Agent-based approaches for advanced CAD/CAM systems [C] // Proceedings of the 5th International Conference on CAD/GraPhics, 1997: 609 ~ 615.
- 2 Pinfold, Martyn, Chapman, et al. The application of KBE techniques to the FE model creation of an automotive body structure [J]. Computers in Industry, 2001, 44(1): 1 ~ 10.
- 3 蒋建东,叶永伟,张宪,等. 基于 CBR 小型农业作业机的可重构设计[J]. 农业机械学报, 2006, 37(6): 32 ~ 35.  
Jiang Jiandong, Ye Yongwei, Zhang Xian, et al. Study on small agricultural machinery products reconfigurable design based on CBR [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(6): 32 ~ 35. (in Chinese)
- 4 吴振华,赵韩,陈兴玉,等. 面向传动件设计的实例推理技术研究[J]. 机械设计与制造, 2008(7): 3 ~ 5.  
Wu Zhenhua, Zhao Han, Chen Xingyu, et al. Research on case-based reasoning for transmission-part design [J]. Machinery Design & Manufacture, 2008(7): 3 ~ 5. (in Chinese)
- 5 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(增刊): 323 ~ 328.  
Li Changlin, Wang Xueliang, Jin Xiaoping, et al. Construction of high-speed transplanter chassis rapid design expert [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(Supp.): 323 ~ 328. (in Chinese)
- 6 赵玉明,贾现召,李济顺,等. 滚动轴承知识库系统研究[J]. 机床与液压, 2010, 38(6): 89 ~ 91.  
Zhao Yuming, Jia Xianzhao, Li Jishun, et al. Research on the knowledge base system of rolling bearings [J]. Machine Tool & Hydraulics, 2010, 38(6): 89 ~ 91. (in Chinese)
- 7 李巍,胡伟轩,胡维刚,等. 基于规则与基于实例的集成推理研究[J]. 计算机工程与应用, 1995(1): 46 ~ 48.  
Li Wei, Hu Weixuan, Hu Weigang, et al. Integrated reasoning research of rule-based reasoning and case-based reasoning [J]. Computer Engineering and Applications, 1995(1): 46 ~ 48. (in Chinese)
- 8 周英,甘忠,张贤杰. 注塑件相似度计算方法[J]. 航空制造技术, 2008(7): 87 ~ 90.  
Zhou Ying, Gan Zhong, Zhang Xianjie. Similarity calculation method of plastic injection part [J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2008(7): 87 ~ 90. (in Chinese)
- 9 Kwong C K, Smith G F, Lau W S. Application of case based reasoning in injection moulding [J]. Journal of Materials Processing Technology, 1997, 63(3): 463 ~ 467.
- 10 张代胜,王悦,陈朝阳. 融合实例与规则推理的车辆故障诊断专家系统[J]. 机械工程学报, 2002, 38(7): 91 ~ 95.  
Zhang Daisheng, Wang Yue, Chen Zhaoyang. Vehicle-fault diagnosis expert system of case-based and rule-based reasoning [J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2002, 38(7): 91 ~ 95. (in Chinese)

(上接第 287 页)

- 6 朱茂桃,陈昆山. 农用运输车后桥壳体的结构强度分析[J]. 农业机械学报, 2001, 32(2): 21 ~ 23.  
Zhu Maotao, Chen Kunshan. Structural analysis of the rear axle housing in a farm transport vehicle [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2001, 32(2): 21 ~ 23. (in Chinese)
- 7 李欣. 重型货车驱动桥壳结构分析及其轻量化研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2006.  
Li Xin. Structure analysis and lightweight optimization study on heavy truck driving axle housing [D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2006. (in Chinese)
- 8 Ali Jafari, Majid Khanali, Hossein Mobli, et al. Stress analysis of front axle of JD 955 combine harvester under static loading [J]. Journal of Agriculture & Social Sciences, 2006, 2(3): 133 ~ 135.
- 9 Sanjay Aloni, Sandip Khedkar. Comparative evaluation of tractor trolley axle by using finite element analysis approach [J]. International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST), 2012, 4(4): 1 351 ~ 1 360.
- 10 王直民,张士乔,吴小刚. 不平整路面上的车辆等效动载系数[J]. 浙江大学学报:工学版, 2007, 41(6): 1 007 ~ 1 011.  
Wang Zhimin, Zhang Tuqiao, Wu Xiaogang. Equivalent vehicle dynamic load coefficient on rough pavement [J]. Journal of Zhejiang University: Engineering Science, 2007, 41(6): 1 007 ~ 1 011. (in Chinese)