

虚拟样机技术及其在创新产品开发中的应用*

Virtual Prototype Technology and Its Application in the Development of New Products

蒙艳玫 李尚平** 刘正士 郑淑贤**

Meng Yanmei Li Shangping Liu Zhengshi Zheng Shuxian

(合肥工业大学机械工程学院 安徽省合肥市 230009)

(College of Mechanical Eng., Hefei Univ. of Technology, Hefei, Anhui, 230009, China)

摘要 论述虚拟样机技术的概念和特点, 探讨构建虚拟样机设计环境的基本思路。介绍甘蔗收获机械关键元件虚拟设计的方法及如何去建立收获机械设计、分析和评价专家系统, 给出虚拟样机技术应用于创新产品开发的一个实例。

关键词 虚拟样机技术 甘蔗收获机 产品数据管理 (PDM) 关键元件 专家系统

中图法分类号 TP391

Abstract The conception and features of virtual prototype technology are described. Basic thought about building design environment of virtual prototype is discussed. Virtual design method for key elements of sugarcane harvester, and how to build up an expert system of design, analysis and evaluation are introduced. An example of new product development based on virtual prototype technology is presented.

Key words virtual prototype technology, sugarcane harvester, Product Data Management (PDM), key element, expert system

近年来, 计算机辅助设计、分析技术及虚拟制造技术的快速发展, 使设计技术上上了一个新台阶。人们依靠计算机技术、软件技术和虚拟现实技术, 通过在计算机上构造数字化产品模型即虚拟样机 (virtual prototype) 并在各种虚拟环境中真实的模拟各种载荷作用, 预示未来产品的应用性能。在产品投入生产制造之前, 可通过多种设计方案的筛选、比较, 最终获得产品级的优化设计方案, 从而极大的提高了设计水平, 降低了产品的开发成本和缩短了开发周期。

1 虚拟样机技术的特点

虚拟样机是一个完整的基于计算机的产品研制的集中信息载体, 是根据产品设计或概念描述产生的在功能、行为以及感官 (视觉、听觉、触觉等) 特性方面与实际产品尽可能相似的可仿真数字模型。虚拟样机技术涉及多体系统运动学与动力学建模理论及

技术实现, 是基于先进的建模技术、多领域仿真技术、信息管理技术、交互式用户界面技术和虚拟现实技术的综合应用技术^[1]。虚拟样机技术将传统的经验设计方法改为预测方法, 具有无法比拟的优点:

(1) 提供了一个全新的产品研发模式。虚拟样机技术以在计算机上构造数字化产品为目标驱动, 使得产品模型易于修改; 通过可视化技术和虚拟现实技术, 可以直观、方便、迅速地分析、比较多种设计方案, 确定影响性能的敏感参数; 模拟各种真实工况下虚拟样机的性能, 如不满足要求即可进行修改, 修改过程即数字产品模型再“制造”、再快速模拟分析过程, 如此循环直至得到满足设计要求的数字化产品模型。

(2) 更低的研发成本、更短的研发周期、更高的产品质量。不同于基于串行工程的传统物理样机技术, 基于并行工程的虚拟样机技术使得产品的设计可同时由不同学科的设计人员分工设计产品的不同部分; 在产品的初步方案确定后同时进行性能分析, 机构运动学和动力学仿真、有限元分析、数控仿真等工作, 并根据各自的仿真分析结果提出改进措施。而且通过虚拟样机可以完成无数物理样机无法进行 (由于

2001-08-06收稿, 2001-09-06修回。

* 国家自然科学基金资助项目 (599965001)。

** 广西大学机械工程学院, 南宁, 530004 (College of Mechanical Engineering, Guangxi University, Nanning, Guangxi, 530004)。

成本和时间不允许)的虚拟试验,从而无需制造物理样机就可获得产品级的优化设计方案。不仅缩短了开发周期,而且提高了设计效率、设计质量和一次开发的成功率

2 虚拟设计并行工作环境的构建

尽管虚拟制造技术发展迅速,但目前仍然缺乏普遍适用的支持产品设计全过程的数字化产品开发系统。一般地,产品虚拟样机的设计主要由以下部分组成:初步设计方案确定、概念设计、详细设计、仿真分析和结构优化设计等。各个部分是由不同的人员并行设计,而各部分的功能活动存在大量的相互依赖的关系。这些关系按性质可分为约束和继承两种。继承反映关系中的单向性,体现了产品设计由已知的一些条件、参数得到产品模型的展开趋势;约束反映关系中的依赖性,体现了产品设计过程各部分、各层次、各功能活动之间对应的产品结构中各种参数的依存关系。为保证产品开发队伍的协同工作,实现在分布环境中群体活动的信息交换与共享并对设计过程进行动态调整和监控,保证在并行设计过程中,把正确的信息,在正确的时刻,利用正确的方式,传递给正确的人,需首先构建并行设计的工作环境;同时为了解决目前CAD系统缺乏支持概念设计中的综合分析、符号推理、决策评价等推理型的设计工作能力,还需要建立设计、分析和评价专家系统;通过产品数据管理(Product Data Management, 下简称PDM)系统封装和集成产品开发过程中用到的应用软件,提供基于并行工程的智能设计环境,保证产品寻优开发过程的顺利进行。并行虚拟设计环境的体系结构如图 所示^[2,3]。

PDM系统通过开发接口和集成工具箱将外部应用软件作为一个对象封装和集成到PDM系统中,使不同的应用软件系统之间能够共享信息和实现对应用系统所产生的数据的统一管理。在产品研发过程中,利用PDM系统和网络可将产品开发过程置于受控状态,即一方面允许被授权的用户方便、快捷地存取和管理他们所需要的各种数据,一方面又阻止未经授权的用户越权存取数据,确保产品开发数据的安全。PDM系统通过对产品开发中的各类人员的角色、权限的指派,使得他们能集中精力,高效率的从事各自的工作,在产品开发过程中发生的每一个事件都及时、准确地通知到相关的人员。

3 甘蔗收获机械虚拟样机的设计

甘蔗是我国南方省份的一种主要的经济作物,每
广西科学 2001年11月 第8卷第4期

年甘蔗收获时,农民基本上仍然沿用古老的手工作业方式,劳动强度大,生产率低下。由于目前缺乏适用于南方丘陵地带使用的甘蔗收获机械,因此,研制适用于南方甘蔗种植、收获特点的甘蔗联合收割机是目前亟待解决的一个课题。虚拟样机技术为这类创新产品的开发提供了强有力的工具。

一个性能良好的甘蔗收获机械,应在不超过允许糖份损失量和含杂率的前提下发挥最大的收获效率。收获质量的好坏与收获机械本身的工作状态、甘蔗植株的大小、疏密及地面形貌等密切相关。由于南方的甘蔗大多种植在丘陵、坡地,季风影响大,甘蔗倒伏、弯曲较多,因此,所设计的甘蔗收获机械应能完全适用于南方甘蔗种植、收获的特点。一般的,甘蔗收获的工序主要包括:扶蔗、根部收割(砍)、打顶(断尾)、剥叶和捆扎几个环节。在甘蔗收获机械中,扶砍、断尾和剥叶部分是整机设计中的重点和难点,所设计的产品性能主要由这些部件决定,这些关键点有了突破,其他问题就能迎刃而解。图2为甘蔗收获机械虚拟样机设计总体框图。

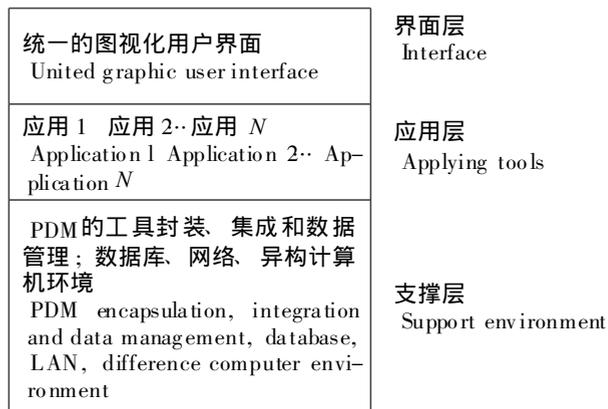


图 1 并行虚拟设计环境体系结构

Fig. 1 System structure of parallel virtual design environment

3.1 扶、砍和断尾部件主参数设计

要求扶的机构要能扶起不同倒伏状的甘蔗(如前倒、后倒、左倒和右倒),而砍要砍得恰到好处,因为一般蔗头要留着来年继续发芽。这就要求扶、砍部分机构要设计得好,运动参数也要选择恰当。断尾部分则要能根据甘蔗的长短截断蔗尾。所以必须深入研究扶、砍过程以及断尾过程甘蔗的运动机理。首先由原始的实验数据、实际的工况条件(甘蔗的地貌、密度、所受的约束等)、概率统计的关系,分析甘蔗在扶、砍部分以及断尾部分的运动状态,建立其在各个阶段的运动数学模型,利用数学软件 Mathcad 求出甘蔗的运动轨迹。然后根据甘蔗的运动轨迹提出扶、砍及断尾部分的各种设计方案,并在大型设计分析软

件 I-DEAS上建立虚拟三维模型,进行运动仿真分析比较,确定扶、砍部分和断尾部分的主要结构参数。图 2 为收获机械的扶、砍部分的虚拟模型^[4]。

3.2 蔗叶剥离元件主参数设计

剥叶元件设计是甘蔗收获机械的重点也是难点之一。目前使用较多的机械剥叶法是用离心式剥叶法,它是通过高速旋转的剥叶元件打击蔗茎将蔗叶剥离。剥叶元件的使用寿命、剥叶的效率是剥叶部分设计的关键,也是甘蔗联合收割机设计的一个瓶颈。由于蔗叶剥离的运动和载荷情况复杂且具有较强的随机性,剥叶元件要能剥下甘蔗叶,又不伤蔗皮,并满足一定的耐用度要求,剥叶元件的形式和装夹方式必

件时,必须同时考虑多个影响因素。如若仅从单因素的角度进行分析设计,所得的结果意义有限;而对多个因素作任意组合进行分析,工作量太大且结果仍不能提供充分的信息。所以采用有限元正交试验设计的方法,以期用最少的花费,较全面地寻找出剥叶元件最佳的设计参数。按照正交试验原理,设计剥叶元件有限元正交试验步骤如下:

(1) 确定评价指标。根据国内外有关研究资料和前期大量的实验结果^[5,6],剥叶元件在工作过程中以疲劳破坏为主,其根部易产生疲劳断裂,因此选用元件工作时受到的最大应力、最大反作用力和疲劳寿命作为评价指标。

(2) 选取评价的因素和水平。由于影响的因素很多,须对各种因素进行相关分析,排除彼此相关的因素,抓住主要因素,兼顾次要因素,选用元件的旋转速度、材质、形状和装夹方式(装夹的排数,交错深度、螺旋角和前角)等作为评价因素。

(3) 实施有限元试验。根据所选的因素和水平选用适当的正交表来安排试验。根据正交表提供的各种方案组合^[7]在 ANSYS 上进行有限元计算和疲劳分析。

(4) 试验结果分析。利用大型统计学软件 SPSS 将得到的一系列结果进行正交试验分析和回归分析,找出不同参数的变化对计算结果的影响,求出各因素各水平的最佳组合。

利用此方法可以快速有效的找

出剥叶元件的最佳设计参数

3.3 收获机械零部件的详细设计

主要进行收获机械其余各部件的参数设计及全部零部件的计算设计和结构设计。首先在 I-DEAS 上建立各零部件的三维模型,然后用 I-DEAS 的装配功能,根据零件间的装配约束关系对主要部件及整机进行虚拟装配。通过虚拟装配可及早发现零件间尺寸不匹配问题,进行产品系统本身的整体或局部的装配干涉检查,还可生成虚拟装配爆炸图,直观了解装配关系;并将结果反馈到设计部分。同时,利用 I-DEAS 的运动仿真功能,对虚拟样机进行运动学和动力学仿真,清晰地模拟出机器的运动状态,确认和判断出机

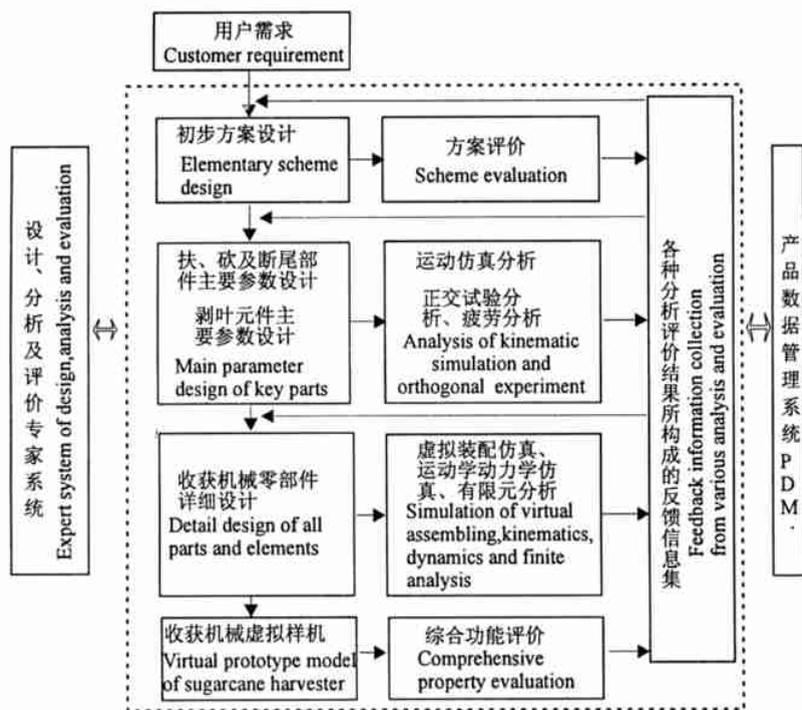


图 2 甘蔗收获机械虚拟样机设计总体框图

Fig. 2 Whole diagram of virtual prototype of sugarcane harvester

须解决一定的刚性和柔性的矛盾。因此,设计剥叶元

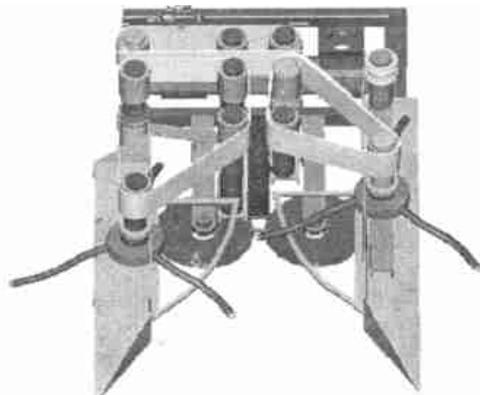


图 3 扶、砍部分虚拟模型

Fig. 3 Virtual model of the parts of holding and cutting

器的运动性能,检查是否存在运动干涉;并模拟实际的使用环境条件,仿真分析在动载荷作用下的各种响应和应力分布,进行有限元分析和结构优化设计,仿真分析的结果也反馈到设计部分。

4 设计、分析评价专家系统的建立

产品的设计过程是由信息、信息处理及决策活动组成的。在设计时必须把产品的设计知识、设计经验同设计的对象、设计的资料有机的结合起来。在产品的设计中,一方面应考虑产品的设计是否合理可行,生产成本是否可以接受;另一方面,由于设计中不确定因素的影响,设计方案不是唯一的,设计方案的选择都必须经过仿真和决策支持系统加以确定。因此必须建立设计、分析和评价专家系统。图4为甘蔗收获机械设计、分析和评价专家系统总体框图。

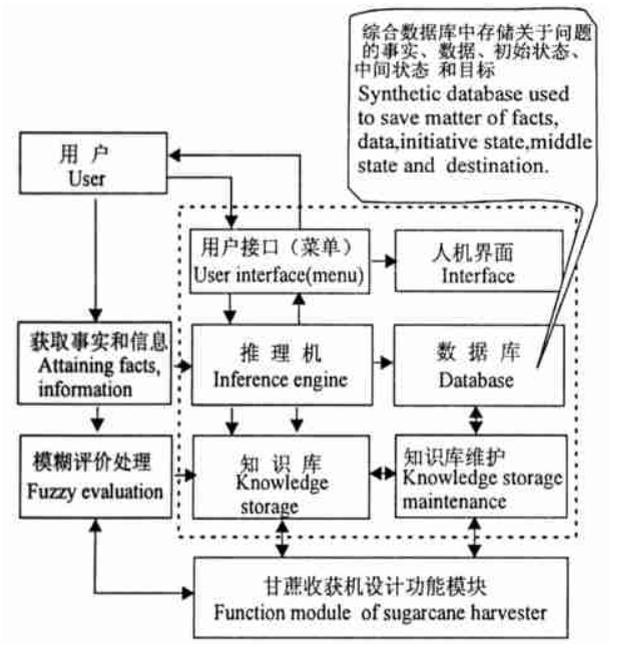


图4 甘蔗收获机械设计、分析和评价专家系统总体框图
Fig. 4 Diagram of design, analysis and of expert system of sugarcane harvester

由于机械设计的复杂性和繁琐性,对甘蔗收获机设计、分析和评价专家系统提出分级处理、总协调的原则。专家系统的核心是知识库和推理机。知识库用于存储、管理领域知识,知识包括专家的经验、方法、事实性知识和规范性知识。知识库中包括与本专业设计任务有关的知识表达,也包括与设计任务相关的评价与优化方法。知识的表示主要采用以下方式:

(1) 知识的表示用产生式表示法。基于规则的产生式表示法是目前专家系统中最为普遍的一种表示方法。机械设计中有关分析、判断、决策和经验方面的知识,都适合于采用产生式规则描述。一般规则如:

IF <前提> THEN <结论>
(2) 知识的表示用语义网络表示法。语义网络是一个标识的有向图,其中带有标识的结点表示问题领域中的物体、概念、事件、动作,结点之间的有向弧也带标识,表示结点间的语义联系。(如图5所示)

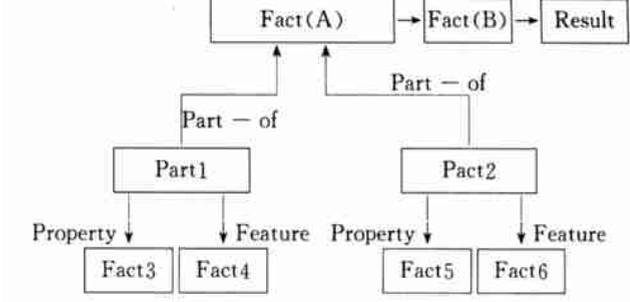


图5 语义网络的知识表示法
Fig. 5 Knowledge representation of semantic network

推理机是在知识库的基础上,合理地选用知识进行有效的推理、判断,以获得有用结果的工具。推理的机制采用了精确推理和模糊推理^[8]。借助于该专家系统可实现对产品设计的分阶段、多层次、多视角的全面评判。

5 结语

虚拟样机技术是一项具有研究和工业应用价值的技术,甘蔗收获机虚拟样机的设计给出了虚拟样机技术应用于创新产品开发的一个实例。基于PDM系统和人工智能技术构建虚拟样机的设计环境,克服了目前尚无普遍适用的虚拟样机创新设计系统的缺陷,充分利用了现有的应用软件和各学科专业人员进行产品开发团队的协作设计,能快速、有效的设计出产品级的数字化产品模型,不失为新产品开发的一条新途经。

参考文献

- 熊光棣等.虚拟样机技术.系统仿真学报,2001,13(1):114~117.
- Bren Prasal. Concurrent engineering fundamentals. Prentice Hall PRT, 1996.
- 童秉枢,李明.产品数据管理(PDM)技术.北京:清华大学出版社,2000.
- 李珣.小型甘蔗收获机械扶蔗机构虚拟设计及实验研究(硕士论文),广西大学,2000.
- Shuklan L N, Sandhar N S. Design development and testing of sugarcane cleaner. AM A, 1991, (22) 3: 55-58.
- 陆静平.小型甘蔗剥叶机关键元件及剥叶机理的研究(硕士论文).广西大学,1998.
- 陈魁.试验设计与分析.北京:清华大学出版社,1996.
- 潘云鹤.智能CAD方法与模型.北京:北京科学出版社,1997.

(责任编辑:黎贞崇)