

DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.S0.065

农业机械底盘机械式变速箱虚拟装配\*

李山山 宋正河 陈越洋 毛恩荣 朱忠祥 陈 莉

(中国农业大学工学院, 北京 100083)

【摘要】 研究了农业机械的机械式变速箱虚拟装配模型建立方法,并实现了其虚拟装配。将虚拟装配模型分为装配零件固有信息和动态信息的对象模型、装配成员之间层次关系的装配树模型、零部件之间配合约束的关系图模型,通过 CAD 系统与虚拟装配系统之间的模型数据转换方法获取装配模型信息,在虚拟装配系统中建立装配模型。采用基于空间位置和几何约束的自由度分析法,实现了虚拟装配过程中的运动约束。利用虚拟现实软件 EON 及其二次开发技术,建立虚拟装配模块,实现了某机械式变速箱的虚拟装配过程。

关键词: 农业机械 变速箱 装配模型 虚拟装配

中图分类号: TP391.7; TH132.46 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2012)S0-0318-05

Virtual Assembly for Mechanical Gearbox of Agricultural Chassis

Li Shanshan Song Zhenghe Chen Yueyang Mao Enrong Zhu Zhongxiang Chen Li

(College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract

The virtual assembly model of mechanical gearbox was researched and its virtual assembly process was realized. By analyzing the information of the virtual assembly object and the relationship between the assembly objects, the virtual assembly model was divided into the object model describing inherent information and dynamic information in the assembly parts, the assembly tree model describing assembly-level information of assembly members, and the relational model describing the parts assembly constraints between the assembly parts. The assembly model information was obtained by the conversion of model data between CAD system and virtual assembly system. Then the assembly model was developed in the virtual assembly system and the implementation of the motion constraints in the virtual assembly process was proposed. By analyzing the DOF based on the space position and geometric constraints, the motion constraints were determined. Using EON and its secondary development tool, the virtual assembly module was built, and then the virtual assembly process of mechanical gearbox was implemented.

Key words Agricultural machinery, Gearbox, Assembly model, Virtual assembly

引言

虚拟装配通过综合运用仿真和虚拟现实等技术,用数字样机代替物理样机,对产品的设计开发到生产制造的全过程进行仿真,从而可以大大缩短产品开发周期、降低生产成本。

装配模型是虚拟装配的基础,国内外学者对产

品装配模型进行了深入的研究,归纳起来主要有图结构关系模型、层次结构模型和混合模型。图结构关系模型是以图的形式描述装配体中各种不同实体间的相互关系,但是不能表达零件间的层次关系;层次模型是根据零部件的层次关系,以树的形式表达装配并组织产品,能体现设计意图和产品结构,但各零件之间装配关系的描述不够直观;混合模型结合

收稿日期: 2012-06-29 修回日期: 2012-07-18

\* “十二五”国家科技支撑计划资助项目(2011BAD20B01)

作者简介: 李山山,博士生,主要从事虚拟设计和虚拟现实技术研究,E-mail: lishanshan.zhong@yahoo.com.cn

通讯作者: 朱忠祥,副教授,主要从事车辆数字化设计、车辆电子控制及智能化技术研究,E-mail: zhuzhongxiang@cau.edu.cn

了图结构模型和层次模型的优点,但维护比较困难<sup>[1~3]</sup>。随着农业机械功率的增大,且挡位很多,使其变速箱结构越来越复杂,设计难度也随之增加。本文采用基于层次结构的模块化装配模型,对农业机械底盘机械式变速箱进行虚拟装配,以在设计阶段即可避免其在装配时可能出现的问题。

### 1 虚拟装配模型的表达

装配模型是对装配体装配过程的记录与表达,是零件信息和零件关系信息的集合。本文将装配信息划分为装配对象信息、装配层次信息、装配约束信息 3 个模块,建立了模块化装配模型。

#### 1.1 装配对象信息模块

装配对象信息以装配对象为基础,反映了装配零件本身的属性与行为,主要是指处在装配底层的零部件属性信息。装配对象信息主要包括装配对象的标志(包括装配对象名称及其 ID)、几何模型、显示模型(包括颜色和纹理)、碰撞模型、物理属性(包括其质心、体积、密度、转动惯量和表面粗糙度)、位姿信息以及运动信息(包括运动自由度、运动速度和运动角速度)。

装配对象信息模块的表达模型如图 1 所示。在虚拟装配系统中,装配对象以装配对象命名的局部坐标系节点为基础,而其信息也包含在同一局部坐标系下,作为零件的属性存储。不同对象信息之间是通过数据进行映射的,从而使得零件的数据结构成为一个整体。当装配环境进行初始化时,系统从数据库中逐项读取信息,为相应属性赋值。

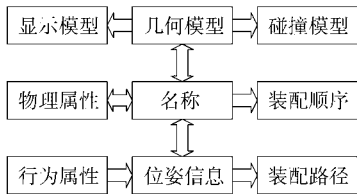


Fig. 1 Structure of assembly object model

#### 1.2 装配层次信息模块

产品层次结构是根据产品的功能和结构进行划分的,体现了产品结构以及设计者的设计意图,同时也符合自上而下的设计策略。其包括零部件所在装配体中的层次、零部件自身的名称和标志以及所属父装配体的标志。

产品的层次结构表达了装配成员间层次关系,本文采用装配树模型来进行描述。图 2 所示为某农机底盘机械式变速箱装配树的逻辑结构,装配树的根节点是变速箱总装配体,叶节点是其各零件,中间节点则是其子装配体。

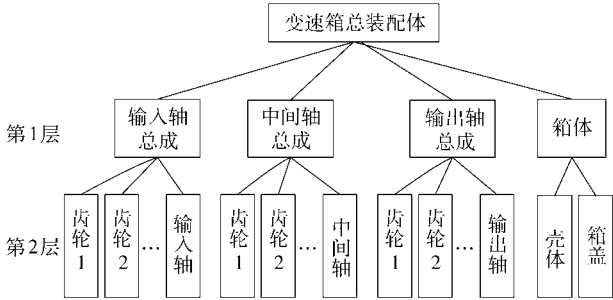


图 2 某机械式变速箱模型的装配树结构图

Fig. 2 Assembly tree structure of mechanical gearbox

#### 1.3 装配约束信息模块

产品的配合特征几何元素和配合类型形成了零件间的装配约束关系,装配约束信息不仅取决于零件本身的几何特征,还部分取决于零件的物理属性和装配操作的有关特征,而装配约束关系最终确定的是零件的位姿信息。在此模块中,装配关系信息主要包括配合类型(包括匹配、对齐、插入、定向和相切)、约束元件名称、约束几何元素、约束参照、约束参照几何元素、配合参数和约束状态(分为已约束和未约束)。

装配约束信息以关系图的形式来表达,如图 3 所示。零件和装配体被表达成为关系图中的节点,图中的有向边代表装配元件之间的装配约束关系。

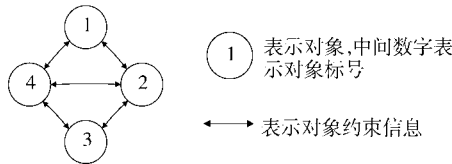


图 3 装配约束模型结构图

Fig. 3 Structure of assembly constraint model

### 2 CAD 系统和虚拟装配系统数据的转换

在虚拟装配系统中,模型数据的获取是开展虚拟装配工作的前提。一般,虚拟装配系统的模型数据来源有两种:一是在虚拟装配系统中集成建模功能,由虚拟装配系统本身构建模型数据;二是利用 CAD 系统的建模功能,模型从 CAD 系统中转换而来。多数虚拟装配系统都采用后者,在节省开发成本的同时,也更利于在企业推广。本文采用后者,将 Pro/E 三维模型导入虚拟现实软件 EON 中,其数据转换如图 4 所示。Pro/E 软件通过中性文件的格式



图 4 CAD 系统和装配系统数据转换示意图

Fig. 4 Data conversion between CAD and assembly system

将模型导入到虚拟现实软件中,转换后的模型除了包含零件的几何模型、颜色以及纹理外,其他的装配信息都在转换过程中丢失了。丢失的装配信息还需通过对 CAD 系统的二次开发进行二次提取,然后将这些信息再加入到虚拟现实软件模型中。

2.1 几何模型导入

利用 Pro/E 软件建立零部件的三维模型,保存为 \*.obj 文件格式;然后将其导入 3ds Max 软件,对

模型进行材质贴图 and 场景灯光等优化处理,此外还可以优化模型面片、设置父子关系等,以满足后期虚拟装配对模拟环境逼真程度的要求;最后经 Raptor 插件直接保存为 \*.eoz 文件,即可在 EON 软件中进行添加运动等处理。

利用上述方法,即可将某农业机械底盘机械式变速箱的 Pro/E 三维模型导入到 EON 软件中,其具体过程如图 5 所示。

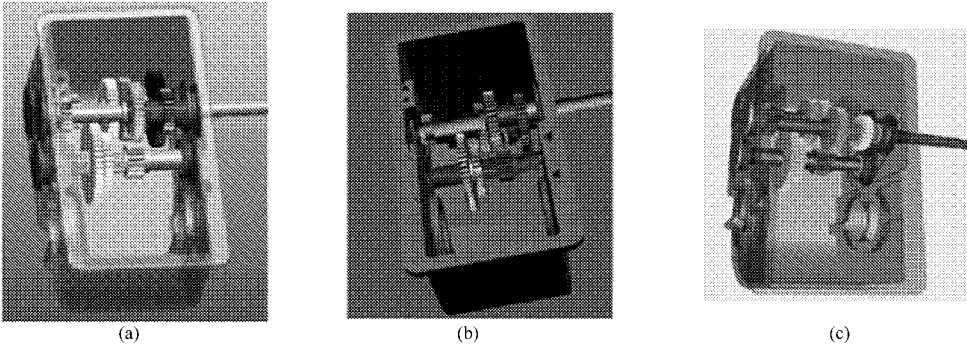


图 5 某机械式变速箱的模型转换过程

Fig.5 Conversion process of mechanical gearbox

(a) Pro/E 三维模型 (b) 导入 3ds Max 中的模型 (c) 导入 EON 软件中的模型

2.2 装配信息提取

在几何模型转换的过程中,零部件模型丢失了其精确几何信息、层次信息、约束信息及拓扑信息等相关信息。为使虚拟装配系统能够捕捉和维护产品设计意图与产品设计约束等工程信息,同时能够正确表达与确定零件间的装配关系,从 CAD 系统中提取出零部件的相关信息并用于各种装配操作就显得尤为必要。本文以 VS 2008 为开发平台,通过二次开发工具 Pro/TOOLKIT 开发了一个接口,从 Pro/E 系统中提取虚拟装配过程所需的各种零部件装配信息。

在 Pro/E 平台中,特征是通过特征树表达的。特征树不仅方便了用户修改某些特征尺寸,更重要的是存放了所有特征的信息。装配信息的提取是通过递归方法遍历整个特征树,进而识别和提取 Pro/E 产品的装配信息。在遍历的算法上,采用先根后枝遍历的方法,即:先访问特征树的根节点,然后依次遍历根的每棵子树和叶节点。其中根节点是产品,即总装配体,子树是子装配件,叶节点是零件。遍历 Pro/E 产品特征树信息的算法流程如图 6 所示。

通过产品特征树遍历获取的信息主要包括装配零部件的属性信息(名称、代号等)、层次信息(即映射关系)、位姿信息、零部件和部件关系(包括父级部件实例名称和同级装配件数目)以及特征层信息(包括配合特征名称代号、配合约束名称、配合约束

类型和两相互配合零件的名称代号等)。

3 装配约束的实现

现实中的装配在许多情况下是通过力的作用来实现的(如倒角的对中作用,物体表面的接触滑移等),要仿真这个过程需要精确的零件几何与物理模型,装配的力学模型和巨大的计算量,所以实现的难度极大。此外,目前的虚拟装配交互技术,尚难以

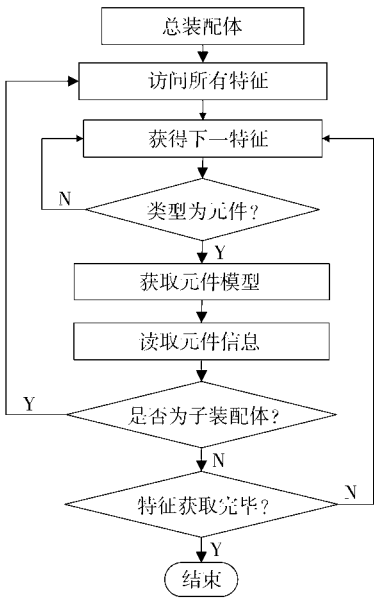


图 6 Pro/E 产品特征树信息的提取算法流程图

Fig.6 Flow chart of extracting product feature tree in Pro/E

有效地支持设计者对零件在虚拟环境中的运动进行精确控制。针对这些问题,不少学者提出了基于配合约束识别的装配方法,还有学者根据装配设计的常用语义,建立装配语义与几何约束的映射,通过装配语义的解释,实现装配驱动<sup>[4-7]</sup>。

本文采用了一种基于空间位置和几何约束的自由度分析法。在虚拟装配过程中,利用零件的装配位姿坐标和装配约束来进行约束识别,根据识别出来的约束关系进行自由度分析,根据分析出来的结果限制装配元件的空间运动,使之满足约束关系,从而实现零部件的装配。装配过程流程如图 7 所示。

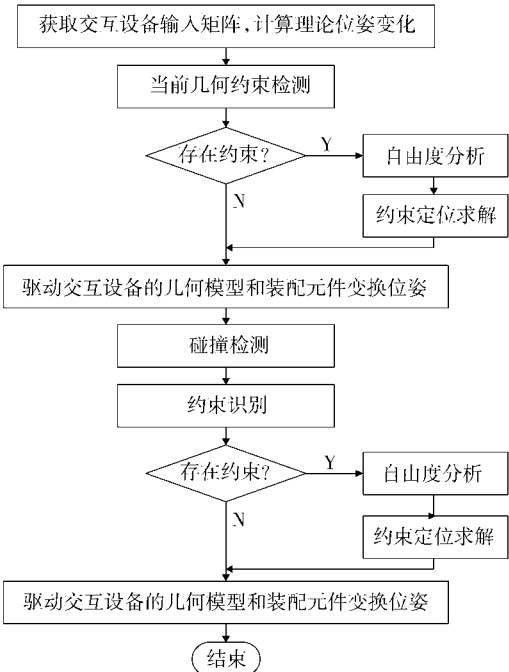


图 7 虚拟装配过程流程图

Fig. 7 Process flow chart of virtual assembly

当操作者移动零部件后,首先获取交互设备的位姿矩阵,计算理论位姿变化量;检测并判断当前作用的几何约束,如果存在则根据当前作用几何约束的类型和数目进行自由度解算并调用约束导航算法,根据获得的导航矩阵设置装配元件和交互设备的位姿,如果不存在则根据交互设备的矩阵计算并设置装配元件和虚拟手的位姿;然后根据装配元件的待捕捉约束进行约束识别;最后,判断约束识别结果进行自由度解算和装配体的定位求解并设置装配元件位姿。

#### 4 机械式变速箱虚拟装配的实现

在虚拟现实软件 EON 的基础上,利用 Visual C++6.0 软件和 EON SDK 二次开发工具包,设计并开发了虚拟装配模块,可将离散分布的农机底盘机械式变速箱的零件进行重新组装,实现其虚拟装配。变速箱零件散开后布置如图 8 所示。

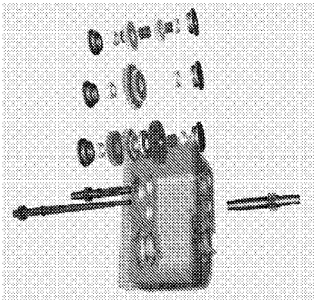


图 8 变速箱零件的离散图

Fig. 8 Discrete map of gearbox parts

图 9 为利用所开发的虚拟装配节点在虚拟现实软件中实现某变速箱中间轴总成的装配过程。图 9a 为中间轴总成的零件组成。首先通过三维鼠

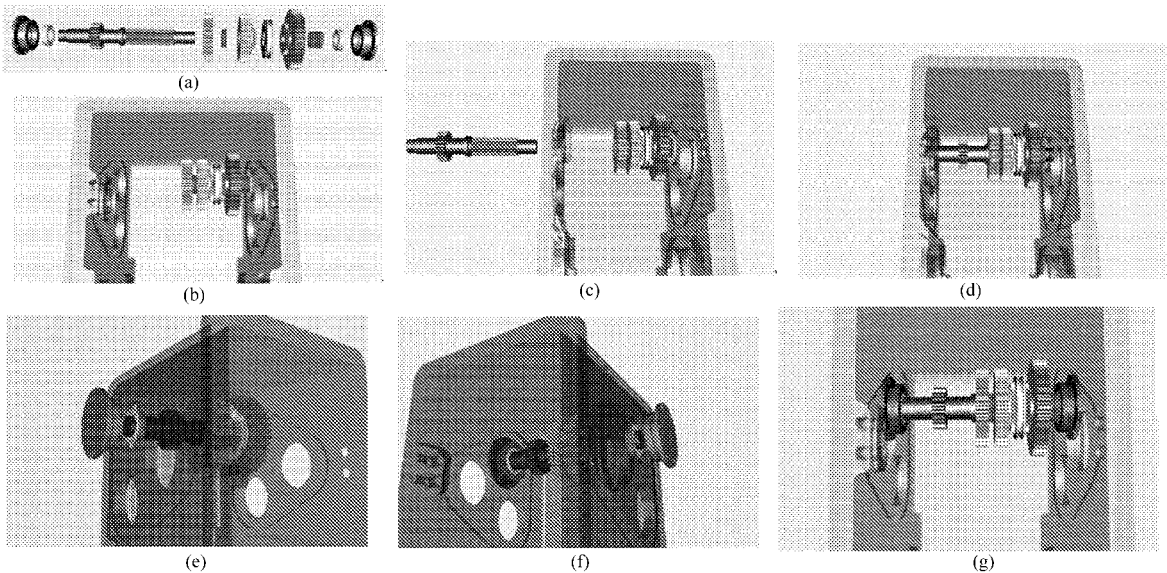


图 9 中间轴总成的装配过程

Fig. 9 Assembly process of intermediate shaft assembly

标选取齿轮和轴套依次放置在其装配位置,如图 9b 所示。选取并移动中间轴向轴承孔靠近,当碰撞检测检测到轴与箱体发生碰撞时,取消碰撞检测,同时系统对轴和轴承孔之间的装配约束关系进行识别,当轴和轴承孔的中心线达到预设的阈值,满足同轴关系时,根据识别规则,系统识别到轴和孔之间此时存在同轴关系,经过计算,调整中间轴的位置,使其精确满足同轴关系,如图 9c 所示。在此约束关系下,继续控制中间轴沿轴承孔的中心线移动,依次识别其与齿轮和轴套的装配约束关系,并计算以满足其同轴关系,最后将中间轴放置到其最终装配位置,如图 9d 所示。然后分别安装左、右两侧的轴承和轴承端盖,分别如图 9e 和 9f 所示。中间轴总成装配完成后如图 9g 所示。

按照上述方法再依次装配输出轴总成和输入轴总成,最终完成变速箱的装配,如图 5c 所示。

5 结束语

装配模型是进行虚拟装配的信息基础和前提条件,是虚拟装配研究的重要领域之一。本文研究了产品的装配建模技术,提出了基于层次结构的装配模型。研究了基于 Pro/E 二次开发的装配信息获取方法并开发了相应接口模块。基于虚拟现实软件 EON,开发了虚拟装配模块,并进行了某农机底盘机械式变速箱的虚拟装配。结果表明,上述方法能够有效地对农机底盘机械式变速箱的装配过程进行建模,并能够较逼真地实现虚拟装配过程。

参 考 文 献

1 Wesley M A, Lozano-Perez T, Liberman L I, et al. A geometric modeling system for automated mechanical assembly[J]. IBM Journal of Research and Development, 1980, 24(1):64 ~ 74.

2 Lee K, Gossard D C. A hierarchical data structure for representing assembly: part 1[J]. Computer-Aided Design, 1985, 17(1): 15 ~ 19.

3 郑轶,宁汝新,王恒,等. 基于装配特征本体表达的虚拟产品建模研究[J]. 计算机集成制造系统,2006,12(12):1 964 ~ 1 971, 1 985.

Zheng Yi, Ning Ruxin, Wang Heng, et al. Virtual product modeling based on assembly feature described by ontology [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2006, 12(12): 1 964 ~ 1 971, 1 985. (in Chinese)

4 庄晓,周雄辉,等. 虚拟环境中的快速产品装配建模[J]. 中国机械工程,1999,10(2):185 ~ 189.

Zhuang Xiao, Zhou Xionghui, et al. Rapid assembly modeling within virtual environment [J]. China Mechanical Engineering, 1999, 10(2): 185 ~ 189. (in Chinese)

5 刘检华,宁汝新,姚珺,等. 面向虚拟装配的零部件精确定位技术研究[J]. 计算机集成制造系统,2005,11(4):498 ~ 502.

Liu Jianhua, Ning Ruxin, Yao Jun, et al. Research on exact placement technology of component in virtual assembly environment [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2005, 11(4): 498 ~ 502. (in Chinese)

6 刘振宇,谭建荣. 面向过程的虚拟环境中产品装配建模研究[J]. 机械工程学报,2004,40(3):93 ~ 99.

Liu Zhenyu,Tan Jianrong. Research on process oriented assembly modeling in virtual environment[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2004, 40(3): 93 ~ 99. (in Chinese)

7 李永立,张树有,刘振宇. VRML 环境下基于语义的产品装配设计技术研究[J]. 计算机辅助设计与图形学学报,2003, 15(2):209 ~ 214.

Li Yongli, Zhang Shuyou, Liu Zhenyu. Product assembly design based on semantics in VRML environment [J]. Journal of Computer Aided Design & Computer Graphics, 2003, 15(2): 209 ~ 214. (in Chinese)