

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.S2.049

基于虚拟现实的联合收获机底盘虚拟装配关键技术*

朱忠祥 陈莉 李山山 刘波 宋正河 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: 研究了基于虚拟现实的联合收获机底盘部件虚拟装配关键技术,并实现了其虚拟装配。利用 Pro/E 建立联合收获机底盘部件的三维模型,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虚拟现实模型,在虚拟装配系统中建立包括装配对象信息模块、装配层次信息模块和装配约束信息模块的装配模型。通过虚拟现实系统与位置跟踪系统联用,实现了联合收获机底盘部件的交互性装配,同时研究了相同零部件互换性装配方法、装配工具的驱动方法以及装配路径的记录与优化。应用虚拟现实软件 EON 及其二次开发技术,进行了某联合收获机底盘部件的虚拟装配试验,验证了上述方法的正确性。

关键词: 联合收获机 底盘 虚拟装配 人机交互 装配工具 装配路径

中图分类号: S225; TP391.9 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2013)S2-0262-06

Critical Techniques of Virtual Assembly for Combine Harvester Chassis Based on Virtual Reality

Zhu Zhongxiang Chen Li Li Shanshan Liu Bo Song Zhenghe Mao Enrong

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

China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: The technologies of virtual assembly for combine harvester chassis parts were studied and the virtual reality assembly was realized. The 3-D models of the combine harvester chassis parts were created by Pro/E, and then were converted into the virtual reality models with the model conversion interface between the CAD system and the virtual assembly system. The assembly model composed of assembly object information, assembly hierarchy information and assembly constraint information was built in the virtual reality system. By using virtual reality system and the ART tracking system together, the interactive assembly of combine harvester chassis was achieved. At the same time, the interchangeability assembly method, the usage of assembly tool, and the records and optimization of assembling path were studied. With the EON software and its secondary development tool, the virtual assembly experiment of the combine harvester chassis parts were carried out. The result indicated the methods mentioned above could work availablely.

Key words: Combine harvester Chassis Virtual assembly Human-computer interaction Assembly tool Assembly path

引言

随着科学技术的发展和全球贸易环境的变化,

市场需求变化速度加快。为了加快产品的开发速度、快速地占领产品的市场,虚拟装配技术应运而生。虚拟装配技术不仅克服了传统方法存在的产

收稿日期: 2013-06-26 修回日期: 2013-07-08

*“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: 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

通讯作者: 毛恩荣,教授,博士生导师,主要从事农业机械智能化控制和数字化设计技术研究,E-mail: gxy15@cau.edu.cn

开发周期长、开发成本高等缺点,而且比传统仿真技术更直观。特别是对复杂产品的装配问题,虚拟装配技术有着其他技术无可替代的优势。

自虚拟装配技术提出后,国内外都对虚拟装配中人机交互、装配建模、装配序列规划、装配路径优化、碰撞检测、约束导航、装配工具、可装配性等进行深入的研究^[1-6]。但是,具有沉浸感、交互性和想象性的虚拟现实装配技术在国内农业机械设计制造领域的应用还刚刚起步。以往的基于虚拟现实技术的农业机械设计并不强调交互性,用户不能通过虚拟现实系统和虚拟样机实现实时的交互^[7-8]。

为提高虚拟装配的逼真性,本文研究基于虚拟现实的联合收获机底盘虚拟装配关键技术,主要包括 EON 虚拟现实装配环境中的人机交互技术、相同规格零部件的互换方法、装配工具仿真技术以及装配路径的记录与优化方法。

1 装配模型

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。装配模型包括装配对象信息、装配层次信息和装配约束信息。本文参照实验室前期研究成果^[9],建立了某联合收获机的装配模型。

1.1 虚拟现实三维模型的建立

首先利用三维建模软件 Pro/E 建立某联合收获机底盘的三维模型。本文的研究对象是联合收获机底盘部件,不需要部件内部信息以及部件上各个零件之间的装配信息,因此可将零件模型合并成部件,以简化模型,减少模型所占内存。然后把模型导入 3ds Max 进行重组和优化,最后通过插件 Raptor 将底盘模型导入 EON 中,得到虚拟现实环境中的底盘模型。

1.2 装配对象信息

利用 Pro/TOOLKIT 开发零部件装配信息提取接口,提取几何、装配顺序、装配位置、装配路径、装配约束和物理属性等信息,并将装配信息保存在文件中。

Pro/E 软件与 EON 软件的坐标系不重合,因此,在 EON 中利用自 Pro/E 中提取的位姿数据时必须进行坐标系的转换,同时需将 4×4 位姿矩阵转换成 6 自由度的表示形式。

在开发的 EON 装配节点中,零部件的装配信息以一个结构体数组的形式存放。结构体的成员包含零部件的名称、下一个待装零部件的名字、表示最终装配位置的位姿数据(位置和欧拉角)以及是否完成装配的标记符,如图 1 所示。位姿数据同时还作

为装配模型的装配约束信息使用。

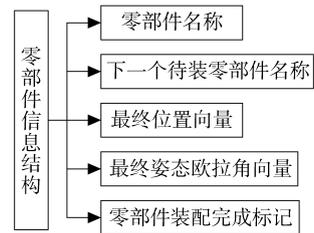


图 1 装配信息的存储结构

Fig. 1 Storage structure of assembly information

1.3 装配层次

零部件的装配层次信息使用多叉树的形式来表达。在 EON 软件窗口中表示为模型树,如图 2 所示,每个框架节点代表一个零部件,同一层次的框架节点代表同一层次的零部件。



图 2 EON 中的模型树

Fig. 2 Simulation tree in EON

2 虚拟装配关键技术

2.1 人机交互接口技术

2.1.1 虚拟手的定位

ART(Advanced realtime tracking)位置跟踪系统的工作原理就是利用多个红外摄像头检测空间里的手柄(Flystick 2)或者身体套件的位置,然后通过主控机上的 DTrack 2 软件采集数据,进行处理,并将定位结果传送到局域网上,以供其他软件使用。

EON 可以通过网络客户端获取主控机上的 ART 数据。具体方法是利用 EON SDK 开发网络数据读取节点,读取 ART 各标识点的位姿数据,然后将数据的格式规范为 EON 通用的格式,从而使 ART 位置跟踪系统连接到虚拟现实系统中。EON 获取 ART 数据后,再与数据手套联用,实现虚拟手位姿跟踪。EON 获取 ART 数据的接口流程如图 3 所示。

2.1.2 零部件抓取

在虚拟现实系统中,利用数据手套和 ART 位置跟踪系统抓取零部件计算流程如图 4 所示。当虚拟手碰撞某物体且手势为拳头,则判断该物体被抓取。

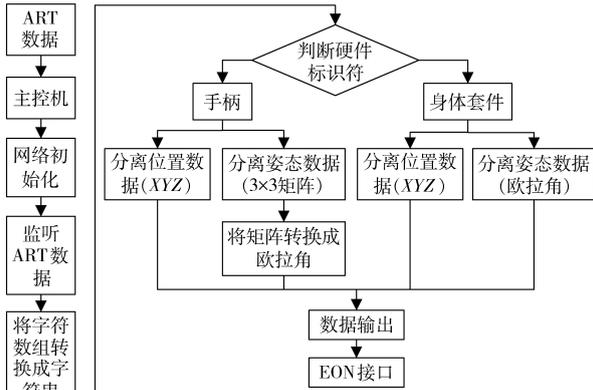


图3 ART与EON数据接口流程图

Fig. 3 Flow chart of data interface from ART to EON

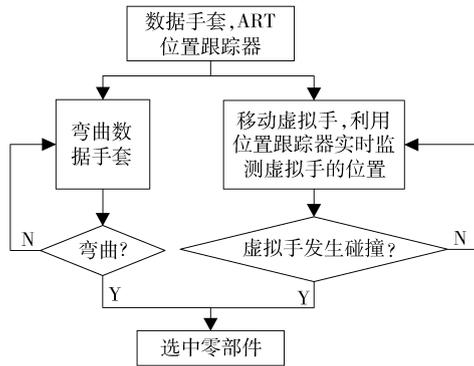


图4 虚拟手抓取零部件

Fig. 4 Virtual hand grasping parts

2.2 零部件互换性

在实际装配过程中,一个装配体上相同规格的零部件之间存在着互换性。在三维软件 Pro/E 中,相同零部件是允许互换的,它们的名字是相同的。但在 EON 中,同一层次的节点是不允许存在相同名字的,也就不能互换。若要实现 Pro/E 与 EON 之间装配信息的关联,就要考虑零部件的互换性问题。

实现交互式虚拟装配过程中零部件互换性的流程如图 5 所示。

strName 与 name 比较的是两个字符串前 N 个字符是否相同, N 是 name 字符串的长度。

2.3 装配工具仿真技术

在产品的实际生产装配中,装配工具的使用是必不可少的,尤其是在装配螺栓等通用零部件的时候^[10]。因此,为使虚拟装配更加接近于实际,实现装配工具的交互式操作非常必要。这样一来,既可以使虚拟装配过程更加逼真,还可以检测装配空间的大小^[11]。

一个手动工具的运动是靠操作者来驱动的,在交互式虚拟装配中,则是用户操纵虚拟手来驱动的。用户通过虚拟手操作手动工具,手动工具再来驱动需要装配的零部件,使零部件正确装配到相应位置。

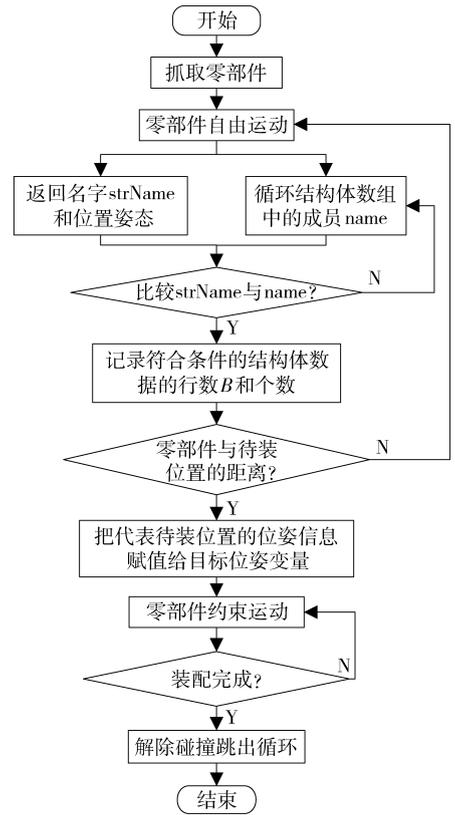


图5 交互式虚拟装配流程

Fig. 5 Interchangeability of spare parts

以常用的扳手为例说明手动工具在交互式虚拟装配中的操作过程。本文的螺栓是六角螺栓,因此考虑了扳手开口能否卡着螺栓的问题。虚拟手操纵扳手来拧紧螺栓的整个过程流程如图 6 所示。

图 7 所示为虚拟手操纵扳手拧紧螺栓的示意图。此时扳手已经与螺栓轴线对齐,虚拟手抓住扳手,则虚拟手的位置表示为向量 P_{h1} 。移动虚拟手,得到虚拟手的新位置,表示为向量 P_{h2} 。通过定义扳手、螺栓与虚拟手之间的关系,就可操纵扳手与螺栓。

扳手开口中心位置用 P_c 表示,这样可以得到两个向量 v_{ec1} 和 v_{ec2} , $v_{ec1} = P_{h1} - P_c$; $v_{ec2} = P_{h2} - P_c$,表示螺栓轴线方向的向量是 V_{ecL} ,与它垂直并且过 P_c 点的面表示为 A ,则 v_{ec1} 和 v_{ec2} 在 A 上面的投影依次是 V_{ec1} 和 V_{ec2} , V_{ec1} 和 V_{ec2} 之间的夹角 θ 就是虚拟手从 P_{h1} 移动到 P_{h2} 时扳手所应转动的角度,也是螺栓应转过的角度。扳手驱动螺栓转动的同时还要沿螺栓轴线进行直线运动。虚拟手的虚拟位置是通过 ART 位置跟踪系统检测真实手在真实空间的位置得到的,这样仿真过程中每更新一帧就可得到一个角度 θ ,最终实现了扳手拧紧螺栓的交互式操作过程。

2.4 装配路径的记录与优化

在虚拟装配环境中,零部件的装配路径实际上就是操纵人员通过交互设备操纵零部件到达最终装

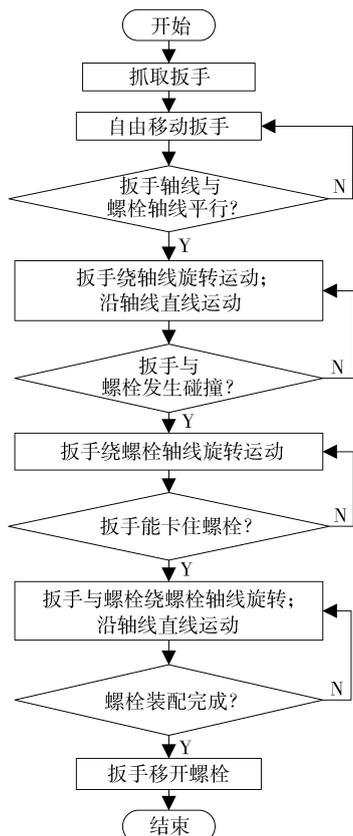


图 6 装配工具的使用过程
Fig. 6 Use of assembly tools

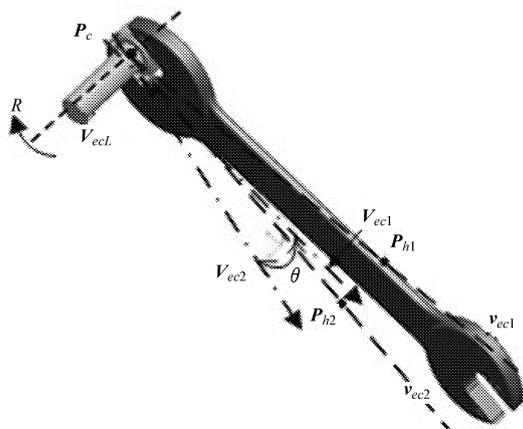


图 7 虚拟手驱动手动工具
Fig. 7 Virtual hand driven hand tools

配位置的过程中,记录的一系列离散的空间位姿点 $p_i (i = 1, 2, \dots, n)$, 可以表示为 $p_{aih} = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ 。虚拟环境刷新的每一帧就会记录一个位姿点, 每个位姿点可以用一个七元组来表示 $p = \{s_r, x, y, z, h, p, r\}$, 其中 s_r 表示零部件的名字, (x, y, z) 表示此零部件在某一帧的空间位置信息, (h, p, r) 表示它的姿态信息, 分别为绕 Z 、 X 和 Y 轴的旋转角度。记录的路径中包含了零部件的名字信息, 也就是记录了虚拟装配过程中的装配顺序信息。

采用基于距离准则的单端路径优化算法^[12], 并加入了零部件名称的判断, 在 EON 中实现了对交互

式虚拟装配路径的优化。路径优化的具体算法流程如图 8 所示。

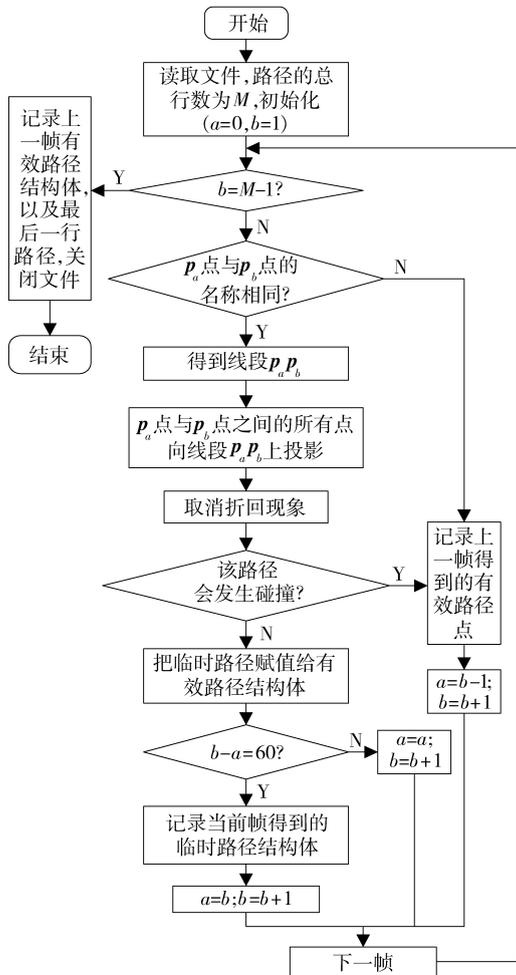


图 8 装配路径优化

Fig. 8 Assembly path optimization

把 p_a 与 p_b 之间所有的路径节点向线段 $p_a p_b$ 作投影, 得到投影点为 $q_a, q_{a+1}, \dots, q_{b-1}, q_b$, 计算每个投影点到初始点 p_a 的距离 $d_a, d_{a+1}, \dots, d_{b-1}, d_b$, 判断 $d_i < d_s$, 其中 $a \leq s < i \leq b$, 如果 $d_i < d_s$ 为真, 则取消点 p_i 所有的信息, 此步骤可消除折返现象。

3 联合收获机底盘部件虚拟装配

3.1 虚拟现实系统开发平台的构建

为研究虚拟装配, 搭建了两通道背投被动式虚拟现实系统, 即 EON 虚拟现实系统开发平台。此开发平台主要包括背投立体显示系统、被动偏振眼镜和三维交互设备(包括三维鼠标、ART 位置跟踪器、数据手套等)。此外, 软件系统包括 Pro/Engineering 5.0、3ds Max、Visual C++ 6.0 和虚拟现实软件 Eon Studio 5.5 及其二次开发 SDK。

3.2 应用实例

以某联合收获机底盘部件为例, 利用 Pro/E 建立三维模型(图 9), 通过 3ds Max 对所建立的模型

进行重组和优化,最后将模型部件导入 EON,散置在虚拟环境中(图 10),为虚拟装配做准备。

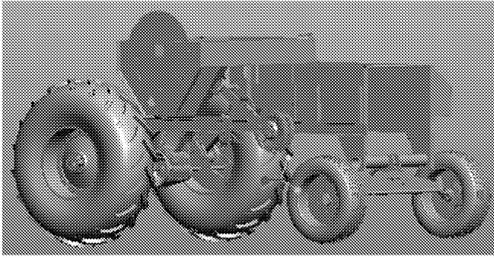


图 9 某联合收获机底盘的三维模型

Fig.9 3-D model of combine harvester chassis

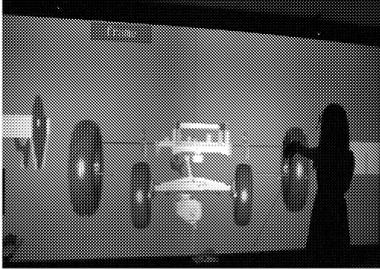


图 10 某联合收获机底盘的离散图

Fig.10 Discrete map of combine harvester chassis

图 11 为利用所开发的交互式虚拟装配节点在 EON 中实现某联合收获机底盘部件的装配过程。首先利用数据手套抓取联合收获机底盘部件,依次放置在装配位置,该装配位置从 Pro/E 装配模型中提取,并充当约束信息。以其中清选室的模型为例,装配过程如图 11a、11b 和 11c 所示。然后利用数据手套安装转向轮上的两个螺栓,把螺栓放置在孔的位置后,再用数据手套抓取扳手来拧紧螺栓,拧紧过程如图 11d 和 11e 所示。虚拟环境中的两个螺栓型号相同,可以进行互换,互换后的装配位置如图 11f 所示。

在装配过程中记录了零部件的装配路径,包括零部件的位置信息以及姿态信息(欧拉角)。利用软件 OriginPro 8.5,把清选室的装配路径表示成散点图(图 12a),清选室优化后的装配路径如图 12b所示。图 12 中,坐标原点(即虚拟装配系统原点)位于立体显示屏幕的中心,X 轴水平向右,Y 轴垂直向里,Z 轴垂直向上,箭头表示为路径的起始点。

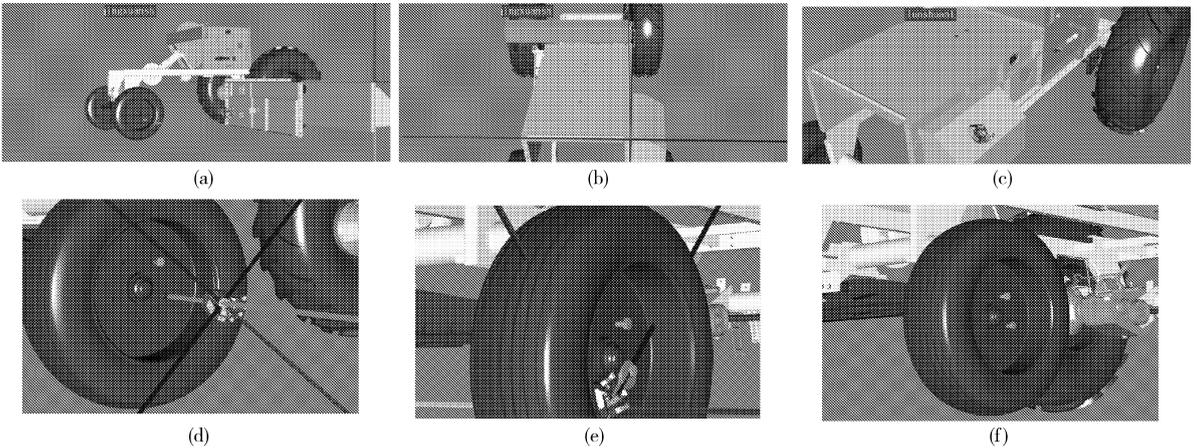


图 11 联合收获机底盘的装配过程

Fig.11 Assembly process of combine harvester chassis

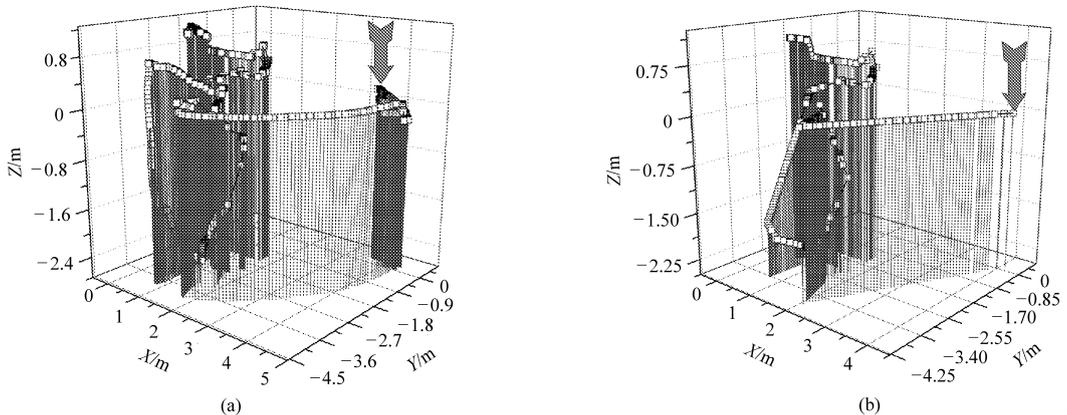


图 12 装配路径散点图

Fig.12 Scatter plot of assembly path

(a) 优化前 (b) 优化后

优化前后,记录的路径点个数分别为 1 567 和 796,对应的装配时间分别为 37.24 s 和 20.29 s。结果表明优化方法有效。

4 结束语

针对联合收获机底盘部件的虚拟装配关键技术

进行了研究,开发了人机交互接口,提出了相同零部件互换装配的方法、装配工具的使用方法,实现了装配路径的记录与优化。通过在虚拟现实环境下对某联合收获机底盘的虚拟装配,有效地验证了上述方法的正确性,可以更加逼真地反映联合收获机底盘部件的装配过程。

参 考 文 献

- 1 杨曦. 基于 EON 的数据手套交互仿真系统的研究[J]. 电脑知识与技术,2012(1):84~87.
Yang Xi. Research of data glove interactive simulation system based on EON[J]. Computer Knowledge and Technology, 2012(1):84~87. (in Chinese)
- 2 郑轶,宁汝新,刘检华,等. 虚拟装配关键技术及其发展[J]. 系统仿真学报,2006,18(3):649~654.
Zheng Yi, Ning Ruxin, Liu Jianhua, et al. Survey on key techniques of virtual assembly[J]. Journal of System Simulation, 2006, 18(3):649~654. (in Chinese)
- 3 杨润棠,武殿梁,邓华林,等. 虚拟环境下产品装配技术的研究与实现[J]. 计算机集成制造系统,2004,10(10):1 220~1 224, 1 232.
Yang Rundang, Wu Dianliang, Deng Hualin, et al. Research and implementation of product assembly technology in virtual environment[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2004, 10(10):1 220~1 224, 1 232. (in Chinese)
- 4 Wang Q, Li J, Gong H. A CAD-linked virtual assembly environment[J]. International Journal of Production Research, 2006, 44(3):467~486.
- 5 Chang E Kim, Judy M Vance. Collision detection and part interaction modeling to facilitate immersive virtual assembly methods [J]. Journal of Computing and Information Science in Engineering, 2004, 4(2):83~90.
- 6 杨方飞. 机械产品数字化设计及关键技术研究与应用[D]. 北京:中国农业机械化科学研究院,2005.
Yang Fangfei. Research and application of key technologies of digitized design for mechanical product[D]. Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, 2005. (in Chinese)
- 7 王凯湛,马瑞峻. 虚拟现实技术及其在农业机械设计上的应用[J]. 系统仿真学报,2006,18(增刊 2):500~503.
Wang Kaizhan, Ma Ruijun. Virtual reality technology and its application in agricultural machinery design[J]. Journal of System Simulation, 2006, 18(Supp. 2):500~503. (in Chinese)
- 8 宁常鑫,王熙,刘桂阳. 基于 EON Studio 的农业机械运动仿真应用研究[J]. 农业网络信息,2009(10):37~38, 45.
Ning Changxin, Wang Xi, Liu Guiyang. Study on simulation application of agricultural machinery exercise based on EON Studio software[J]. Agriculture Network Information, 2009(10):37~38, 45. (in Chinese)
- 9 李山山,宋正河,陈越洋,等. 农业机械底盘机械式变速箱虚拟装配[J]. 农业机械学报,2012,43(增刊):318~322.
Li Shanshan, Song Zhenghe, Chen Yueyang, et al. Virtual assembly for mechanical gearbox of agricultural chassis [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43 (Supp.):318~322. (in Chinese)
- 10 杨庆,黄陈蓉,肖亮,等. 汽车交互虚拟装配中的工具与设备操作仿真[J]. 系统仿真学报,2010,22(12):2 872~2 876.
Yang Qing, Huang Chenrong, Xiao Liang, et al. Virtual tools modeling for automobile interactive assembling simulation[J]. Journal of System Simulation, 2010, 22(12):2 872~2 876. (in Chinese)
- 11 Randall H Wilson. A framework for geometric reasoning about tools in assembly[C]//International Conference on Robotics and Automation Minneapolis, Minnesota, 1996: 1 837~1 844.
- 12 陈成军,周以齐,曲斌. 基于力反馈的虚拟示教式机械手臂装配路径规划方法[J]. 系统仿真学报,2009,21(10):2 945~2 950.
Chen Chengjun, Zhou Yiqi, Qu Bin. Assembly path planning for robot arm based on force feedback virtual teaching method[J]. Journal of System Simulation, 2009, 21(10):2 945~2 950. (in Chinese)