

一种实现协同装配过程的虚拟现实系统

郑羽¹, 洪亮¹, 郑甘陵²

1. 安庆师范大学经济与管理学院, 安庆 246011

2. 铜陵有色金属集团股份有限公司安庆铜矿, 安庆 246131

摘要 提出了一种实现协同装配过程 VR 的方法, 以尽可能高的沉浸度复制装配过程为目标, 通过对装配过程的分析, 设计了一个特定的 VR 系统架构。该系统的核心特点是装配过程的物理仿真、机器人控制的集成和操作者的触觉反馈。VR 技术的应用使工业装配过程更加安全, 并减少了人与机器人之间的障碍。

关键词 虚拟现实; 仿真; 人机协作

协同设计是计算机支持协同工作的一个重要领域, 它是由异地不同领域的设计者所采用的群体工作方式。协同装配是协同设计技术的重要研究方向, 其中涉及的技术多数集中在系统架构的实现, 协同装配中的同步、冲突的控制、装配序列的生成、数据的高效传输、并发控制以及便捷自然的人机交互方式等。协同装配以其较高的灵活性填补了全自动化生产系统与手工装配之间的空白。这符合当前的竞争要求, 迫使企业随时适应市场的变化。然而, 该系统的经济性和安全性存在很大的不确定性。虚拟现实(virtual reality, VR)技术, 又称灵境技术, 是 20 世纪发展起来的一项全新的实用技术。VR 技术囊括计算机、电子信息、仿真技术于一体, 其基本实现方式是计算机模拟虚拟环境从而给人以环境沉浸感, 它提供了分析与风险相关的协作

装配系统的可能性, 并且将操作过程中会出现的各种问题以及解决方法全面考虑, 从而可以应用于协同装配业务领域。实验证明, VR 可将复杂物体可视化, 例如在冶金过程中温度控制和调节方面, 起到有效作用^[1]。

因为 VR 模型的成本很高, 而且只能在设计流程的末尾创建, 所以协同装配应用程序的基本思想是在不构建物理原型的情况下启用工作流程或产品的模型。VR 系统允许对已经处于设计阶段的对象进行分析并将分析结果实时反馈给协同装配程序。在 VR 工作流程的检查过程中, 除了节省时间和成本外, 还保证了测试人员的安全。在这种情况下, 安装程序因为只执行虚拟工作, 不会受到不安全进程的任何威胁^[2]。为了在 VR 中实现逼真的协同装配图像, 系统需要使用各种组件让用户沉浸于

收稿日期: 2019-08-11; 修回日期: 2020-08-19

基金项目: 安徽省教学研究质量工程项目(2018xfyxm048); 安徽省自然科学基金项目(KJ2019A0578)

作者简介: 郑羽, 高级工程师, 研究方向为计算机网络、虚拟现实、电子商务, 电子信箱: fangshuan@126.com

引用格式: 郑羽, 洪亮, 郑甘陵. 一种实现协同装配过程的虚拟现实系统[J]. 科技导报, 2020, 38(22): 59-64; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2020.22.007

仿真之中。目前国内使用的VR系统是在其他VR应用的基础上开发的^[1],本研究通过对传统装配过程的分析和模拟,提出一个特定的VR系统。

1 VR的发展及其应用

过去的40年中,VR技术不断地发展,美国国家工程院(National Academy of Engineering)称,VR是21世纪人类面临的14项主要技术挑战之一^[3-4]。时至今日,VR已广泛应用于医药、工业、军事、生物、气象、建筑等领域。在工业应用中,它主要用于保证产品质量,同时缩短产品开发的时间^[5]。

由于产品开发的应用领域众多,必须在这些领域中进行进一步的区分,有些开发领域的工作流非常适合VR系统模拟实现,例如软件开发、金融产品开发、工业设计等。这些产品开发的每个子领域都可以通过VR中的扩展视图实现特定的优势^[6]。Mujber等^[7]详细描述了制造过程中VR系统概念证明和训练等场景的实现过程。概念证明概括了对产品开发中不同阶段的回顾和分析,包括装配、维护、生产和生产计划等。VR可以支持对制造过程的理解,以及基于仿真的参数和变量的确定,分析该过程的可行性、风险和误差分析以及工作条件。通过回答产品的可制造性、人体工程学、工艺时间和风险等问题,提高工艺质量和产品质量。同时,可以在计划阶段检测和预防可能的错误。武照云等^[8]介绍了VR在装配领域的2种应用。第1个应用程序是模拟列车冷却系统的组装。VR系统在仿真范围内,对整个装配过程进行可行性分析。第2个应用程序是模拟拆卸飞机起落架。VR系统对飞机起落架在第1设计阶段的维修进行了仿真研究,首先确定了拆卸的步骤,以便随后确定最佳顺序。这2个系统不包括任何人与机器人合作所需的安全技术。但是,相关的各种组装活动可以用作计划协作组装的输入,这些组装活动涉及到组件和工具的处理等过程。

工作流程通常需要在实际的生产环境中进行培训。由于事先需要传授一些相关必要的技能让操作者能够有效完成操作,而这可能导致生产率下

降,因此可以使用虚拟工作环境预先测试新的工作流程。在不妨碍生产或消耗材料的情况下,可以让操作者提前获得有效、安全工作所需的技能,也可以在没有风险的情况下测试危险的过程,这可以用来防止事故的发生,减少事故数量。根据Carlson等^[9]研究表明,如果虚拟过程与真实过程相似,并且能够被用户感知到,那么VR中的训练比传统的训练效果更好。Matsas等^[10]开发了一种VR中的人机协作训练系统,模拟航天工业用碳纤维复合材料生产碳纤维垫的协同处理过程。机器人负责接触并搬运碳纤维垫子,随后交给工人。Matsas等通过对VR过程的仿真证明2个目标:短期目标是考察在与机器人进行虚拟合作时,工人的经验和行为是否发生了变化;长期目标是研究人类和机器人协作的接受程度,并最终作为人机编程工作站的平台。

2 输出和输入设备

根据选定的标准和场景对视觉输出设备和流程要求进行评估,并将评估结果应用于应用场景、概念验证和培训。根据以下标准评估可视化输出设备(图1)。

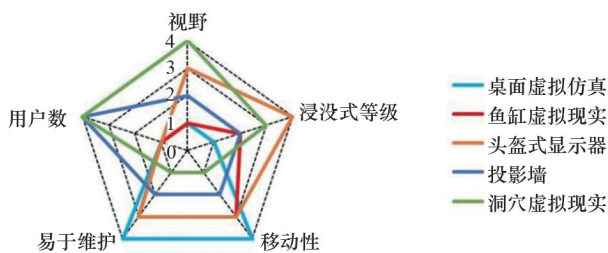


图1 视觉输出设备的评估

1) 视野增加沉浸感。在VR中进行一对一显示时,必须提供水平查看范围。

2) 输出设备越复杂,安装和维护就越有可能不是由外部公共设备独立完成的。这可能导致延迟和成本增加,复杂性是通过组件的数量以及设置所需的知识来评估的。

3) 在某些情况下,可能需要使用VR系统进行外部演示。机动性是根据系统的大小和可运输性

以及组装和拆卸所需的时间来评估的。

4) 沉浸程度的高低。根据应用领域的不同,沉浸程度的高低对仿真的成功与否起着决定性的作用。它取决于视野、互动的可能性、从现实到VR的移动转移,以及现实世界仍然可以感知的范围。

5) 对于VR中需要多个用户协同工作的任务,必须为所有用户提供一个无故障的立体图像^[11]。区分单个和多个用户应用程序。

协作装配被认为是包含各种活动的过程,通过分析装配操作,可以确定活动执行期间发生的边界条件,决定与流程相关的需求。VR模拟的过程对输入设备的选择有很大的影响,输入设备的一般要求是根据操作的确定边界条件推导出来的,并确定了3项与工序有关的要求。

1) 触觉反馈在执行活动时,不同的力或扭矩会影响用户。区别在于,不存在反馈(无)、触觉反馈(触觉)、力反馈(力)和力与力矩反馈(力与力矩)。

2) 跟踪VR中执行的操作至少需要交互设备

的位置。有些活动需要更全面的跟踪,其中必须记录交互设备的所有6个自由度数值,即物体在6个自由度上相对于某个固定物体的位移,包括X、Y、Z坐标上的位置值及围绕X、Y、Z轴的旋转值(转动,俯仰、摇摆),自由度的取值范围从0到3,即最小值为0,表示没有位移,最大值为3,表示位移到极值。

3) 人机工程学工具的形状也必须由交互设备映射,特别是在基于工具使用的活动中,交互设备模拟各自的表单或者行为。

过程相关需求的评估是基于应用领域的。如果使用VR系统对装配过程进行可视化,则需要提前确定需要达到的结果。为了实现设计或概念证明的额外可视化目标,应选择适合各种活动的交互设备。触觉反馈的支持,尤其是力的反馈,不如跟踪和提高工作效率重要,因为主要目标不是对活动的感觉,而是可行性的调查。特别是为了避免人机碰撞,用户位置的跟踪是研究重点之一。对作业要求进行评估,选择评估结果如表1所示。表1涉及到的操作指的是铝型材协同装配的实验装置。

表1 虚拟现实中和概念验证输出设备的评估

	充电式螺丝	机器人宣讲会	螺丝刀	圆柱形把柄	压力控制	插入部分	用户图形界面操作	机器人接触	手势
无反馈	1	1	1	0	0	0	1	1	2
触觉									
反馈									
力	1	0	1	0	0	2	0	1	0
力和力矩	2	0	2	0	0	0	0	0	0
跟踪									
位置	3	3	3	3	3	3	3	3	0
方向	3	0	3	3	3	3	0	1	0
人体工程学	3	0	3	3	3	3	2	1	1

用于训练技能的VR系统对模拟活动的符合性要求较高。如果模拟环境与现实环境差异太大,则工人的学习效果可能不会太好。因此,有必要尽可能真实地使用交互设备描述活动。特别地,如果工人习惯与机器人协作装配,就需要逼真的沉浸感和触觉反馈。因此,系统应尽可能准确地满足装配过程的具体环境需求。表2为VR训练输出装置的评估。

3 系统设计

3.1 系统组件的选择与确定

选择VR系统的系统组件需要考虑很多因素,如交互能力、灵活度以及逼真度等^[12]。为此,本研究开发了一种考虑到相应装配过程操作的方法。基于分析和评估得出的需求,可以确定VR系统所需的组件,这些组件能够表示协作装配过程。该方

表2 虚拟现实训练输出装置的评估

	充电式螺丝	机器人宣讲会	螺丝刀	圆柱形把柄	压力控制	插入部分	用户图形界面操作	机器人接触	手势
无反馈	0	0	0	0	0	1	1	1	3
触觉	1	1	1	3	3	3	1	1	0
反馈	1	3	1	2	2	2	1	3	0
力和力矩	3	1	3	1	1	2	1	2	0
跟踪	3	3	3	3	3	3	3	3	0
位置	3	3	3	3	3	3	3	3	0
方向	3	0	3	3	3	3	0	1	0
人体工程学	3	2	0	2	2	2	2	1	1

法本质上由3个步骤组成(图2)。

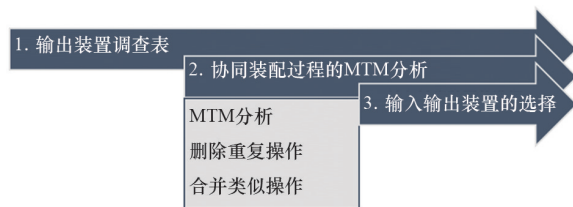


图2 虚拟现实系统设计方法

通过问卷调查,记录VR系统的基本要求,得出虚拟仿真的目的。这些问题是根据对产出系统的评价结果提出的,输出部分的提议是基于对调查表的评估。

使用MTM(methods time measurement)分析将装配过程中进行的每个活动细分为5个基本动作。MTM即时间测量方法,它是一种表达操作过程的方法,将编码进行各种组合来反映工作方法,并可以得出标准时间值,以此作为某项任务的手工操作标准,并确定优化的方向。MTM是一种工具,借助预先定义的过程模块系统来表述、整理、设计和计划人类手工工作,进而建立一套高效的生产系统。它可以用来设计工作系统,如工作台、流水线、操作步骤或进程,也可以用来改善系统。为了选择交互装置,记录的数据逐渐减少。图2中的步骤可以描述如下:首先,从活动列表中删除并释放重复操作;其次,将清单缩减到将类似的操作组合在一起并且只发生一次的程度;最后,在选择输入设备时也要考虑活动的顺序,因为改变输入工具,即不符合装

配工具的调整可能会扭曲仿真。

3.2 系统架构

目前比较常见的协同装配体系结构有集中式和复制式2种类型。在集中式结构中,数据存储和处理功能全部集中在服务器上,客户端只有交互界面显示、人机交互等简单功能,简单易并发控制,但因为主要功能集中在服务器端,导致网络负载沉重,客户端与服务器端存在很大的通信延迟;在复制式结构中,客户端完成包括指令分析执行和场景显示等操作,服务器端则执行消息转发等简单功能。结构化网络具有负载低、响应速度快等优点,但是过程的并发控制比集中式困难。

综合分析上述2种体系结构的特性,在传统集中式体系结构的基础上,对客户端和服务端分别进行扩展修改和功能重置,提出“混合式”的协同体系架构(图3)。

在该系统架构中,除了传统架构包含的基本单元以外,客户端还有1个本地任务处理单元和1个本地模型处理单元。输入单元包含鼠标、键盘、麦克风等传统输入设备,输出单元包含立体眼镜、耳麦等基本输出设备,顾名思义,这2个单元负责完成基本的输入输出任务;新增的本地任务处理单元对集成的任务进行分类,根据属性或者特点将其上传到服务器端或在客户端执行;而本地模型处理单元负责管理客户的模型,将当前装配场景以场景树的形式记录下来;服务器端主要处理客户端提交的装配任务,主要包含3个主要单元:(1)任务处理单元对客户端的任务进程进行排序,根据任务的类

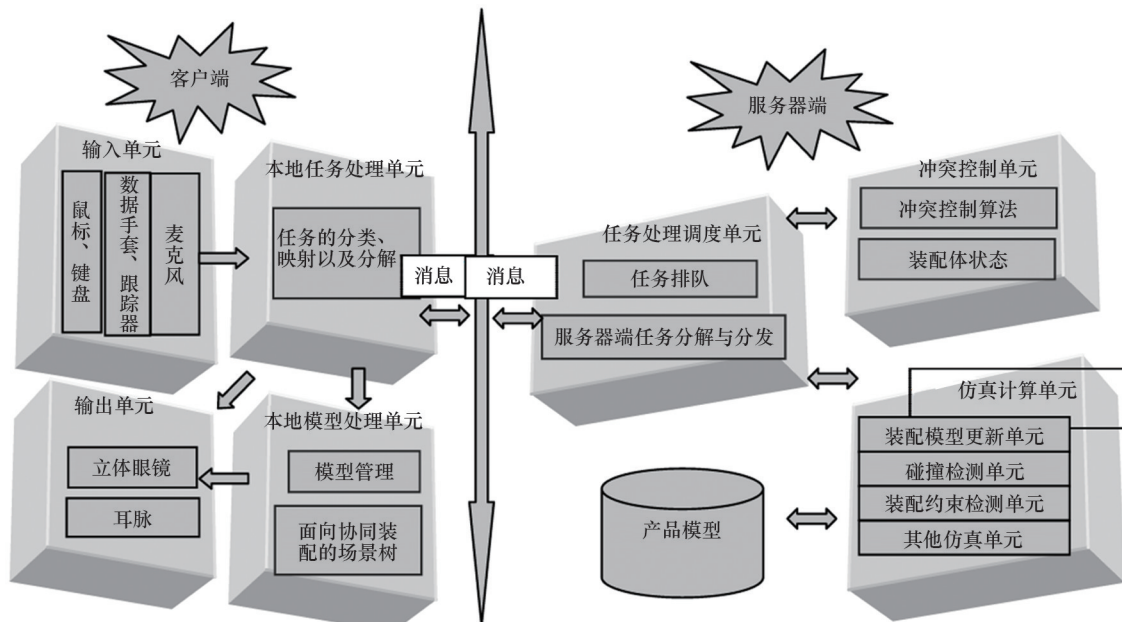


图3 实现协同装配的虚拟现实系统架构

别分配优先级并分别进行调度,然后将大任务分解为一系列小而具体的任务并提交客户端进行执行;(2)冲突控制单元具有控制冲突、检测碰撞和装配约束等功能,负责在协作装配过程中发现冲突并避免冲突操作;(3)仿真计算单元负责利用仿真计算算法完成各个单元的仿真实现,是本系统的核心结构。这类协同架构兼具集中式和复制式架构的优点:服务器端具有协同控制能力。同时,大量协同操作的任务可以在客户端进行本地处理和执行,为实施协同装配提供了良好的操作基础。上述架构中2个单元之间需要使用交互设备进行关联操作,对于交互设备的选择,MTM分析中活动的最终列表必须与本地任务处理单元相关需求的列表进行比较,对单独的操作分别进行考虑,根据所请求应用程序的目的选择适合于此特定操作的交互设备。对每一种选定的交互设备,都必须考虑它适合于其他活动的程度,这可能会减少交互设备的数量。此外,必须考虑到一些交互设备只部分适合于单个输出设备,其结果是输入和输出设备的组合,可根据所选应用程序的需求对流程进行虚拟仿真。

4 结论

给出了一种实现协同装配过程的VR系统设计方法,为了对系统的选择做出初步的评价,该方法进行了一些简化。例如,只考虑了培训和设计和概念证明的目标。为了在选择组件时考虑到这几个目标,必须对方法进行进一步的开发,深入了解关于应用程序场景的更多细节。一个很有前景的场景是通过改变VR系统中人类和机器人之间的合作程度来评估协作装配工作,以选择最有效的变体,此外还可以设想检查不同安全技术的影响。对于这些进一步的研究,在选择部件时也应该考虑到工人和机器人之间的全身接触。

未来可以进行参与者研究来验证结果。本文对评价不同作业性能的交互装置的要求是基于对作业的理论考虑和确定的边界条件。在研究范围内,每个活动都可以在VR中使用不同的交互设备进行。这可以用来评估需求是否正确,此外,还可以为每个操作生成适当的交互设备的精确列表。

参考文献 (References)

- [1] Dörner R, Broll W, Grimm P, et al. Virtual und augmented reality (VR/AR): Grundlagen und methoden der virtuellen und augmentierten realität[M]. Berlin: Springer Vieweg, 2013.
- [2] Squelch A P. Virtual reality for mine safety training in South Africa[J]. Journal-South African Institute of Mining and Metallurgy, 2001, 101(4): 209-216.
- [3] Muhanna M A. Virtual reality and the CAVE. Taxonomy, interaction challenges and research directions[J]. Journal of King Saud University: Computer and Information Sciences, 2015, 27(3): 344-361
- [4] 吴涓, 孙岳民, 雷威, 等. 东南大学机电综合虚拟仿真实验教学中心建设规划思路与进展[J]. 实验技术与管理, 2014, 31(10): 5-9.
- [5] Marzano A, Friel I, Erkouyuncu J A, et al. Design of a virtual reality framework for maintainability and assembly test of complex systems[J]. Procedia CIRP, 2015, 37: 242-247.
- [6] Lawson G, Salanitri D, Waterfield B. Future directions for the development of virtual reality within an automotive manufacturer[J]. Applied Ergonomics, 2016, 53: 323-330.
- [7] Mujber T S, Szecsi T, Hashmi M S J. Virtual reality applications in manufacturing process simulation[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2014, 155/156: 1834-1838.
- [8] 武照云, 李丽, 朱红瑜, 等. 机械原理与设计虚拟仿真实验教学平台的设计[J]. 实验技术与管理, 2017, 34(8): 121-124.
- [9] Carlson P, Peters A, Gilbert S B, et al. Virtual training: Learning transfer of assembly tasks[R]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2015, 21(6): 770-782.
- [10] Matsas E, Vosniakos G C. Design of a virtual reality training system for human: Robot collaboration in manufacturing tasks[J]. International Journal for Interactive Design and Manufacturing, 2015, 11(2): 1-15.
- [11] 荀平, 彭亮, 王伟健. 基于 UE4 的虚拟现实技术在建筑可视化中的应用研究[J]. 自动化与仪器仪表, 2017(11): 129-132.
- [12] 李景茹, 钟登华, 刘东海, 等. 水利水电工程三维动态可视化仿真技术与应用[J]. 系统仿真学报, 2016, 18(1): 116-119.

A virtual reality system for collaborative assembly process

ZHENG Yu¹, HONG Liang¹, ZHENG Ganling²

1. College of Economics and Management, Anqing Normal University, Anqing 246011, China

2. Tongling Nonferrous Metals Group Co., Ltd. Anqing Copper Mine, Anqing 246131, China

Abstract The collaboration between human and robot is advantageous for complex industrial assembly processes, especially, when the increased flexibility and adaptability become a key feature of production systems. The virtual reality (VR) systems can be used to simulate the cooperative processes, including workers and their individual behavior. The VR simulations make it possible to secure the running of the processes and reduce the physical and mental barriers between human and robot. This paper presents a methodical approach for the implementation of the systems for the virtual testing of the collaborative assembly processes. To replicate the assembly process with the highest possible verisimilitude, a specific VR system is built based on the analysis of the assembly process. The core features of the system are the physical simulation of the assembly process, the integration of the robot control and a haptic feedback for the operator.

Keywords virtual reality; simulation; human-robot collaboration ●



(责任编辑 徐丽娇)