



虚拟现实技术在自动化集装箱码头中的应用

梁 庆，李家华，杨 彪

(中交第四航务工程勘察设计院有限公司，广东 广州 510290)

摘要：随着BIM技术的快速发展，工程项目数字化应用的价值也被不断发掘。针对钦州自动化码头项目装卸工艺及平面布置的特点，将BIM技术应用于项目装卸工艺表达的全过程，重点结合虚拟现实技术实现了基于自动化集装箱码头装卸工艺模拟的沉浸式体验。虚拟现实技术不仅能够辅助进行方案优化和比选，还可以动态体验从船舶靠泊到集装箱出运的完整装卸工艺流程，充分展示码头自动化、无人化、智慧化的特点。它的成功应用是潮流技术与生产项目的全新结合，有利于提升项目的设计质量和多方的交互。

关键词：BIM；虚拟现实；平面布置；装卸工艺

中图分类号：U 656+35

文献标志码：A

文章编号：1002-4972(2022)10-00213-04

Application of virtual reality technology in automated container terminal

LIANG Qing, LI Jia-hua, YANG Biao

(CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510290, China)

Abstract: With the rapid development of BIM (building information modelling) technology, the value of digital application of engineering projects has been continuously explored. Regarding the characteristics of the loading and unloading process and layout of the Qinzhoushui automated terminal project, BIM technology is applied to the whole process of the project's loading and unloading process expression, and the immersive experience based on the simulation of the loading and unloading process of the automated container terminal is realized by focusing on the virtual reality technology. Virtual reality technology can not only assist in scheme optimization and comparison, but also dynamically experience the complete loading and unloading process from ship berthing to container shipping, fully demonstrating the characteristics of the terminal's automation, unmannedness and intelligence. Its successful application is a new combination of trend technology and production projects, which is conducive to improve the design quality and multi-party interaction of the project.

Keywords: BIM (building information modelling); virtual reality; general layout; handling technology

BIM (building information modelling)技术具有强大的三维表现能力，例如三维碰撞检查、虚拟施工、三维动画渲染和漫游^[1]，从而提高项目各方沟通效率及交付质量。以包含准确工程数据的BIM模型为基础进行二次渲染能够提高三维模型的质量^[2]，有效降低制作时间和人力成本。随着虚拟现实(virtual reality,简称VR)技术不断成熟和消费级产品的出现，基于BIM模型和多参与方之

间的相互协作，使用者可以轻松实现在拟建工程进行沉浸式体验、优化设计方案等目的。本文以广西钦州港7#~10#自动化集装箱码头工程为例，探索装卸工艺VR系统开发等技术应用手段，为类似工程提供参考。

1 工程概况

广西钦州港大榄坪南作业区7#~10#泊位工程

位于钦州保税港区内的南端，码头工程岸线长 1 301.5 m，改造及新建 4 个自动化集装箱泊位，最大可停靠 20 万吨级集装箱船。工程陆域面积约 1.15 km²，码头设计年通过能力为 260 万 TEU。建设内容主要包括沉箱重力式码头、疏浚工程、水工建筑物、助导航工程等。项目功能区域划分为无人装卸码头区域、IGV(Intelligent Guided Vehicle, 智能导引车)无人小车车道、外集卡 U 形行车道、港内外交互区域、辅建区域等。码头采用“自动化双小车岸桥+IGV+自动化轨道吊”的全自动化装卸工艺，是我国新一代的自动化集装箱码头^[3]。

2 总体技术应用路线

2.1 VR 系统应用需求

1) 基于项目总装模型进行复杂环境场地分析、设计方案可视化分析和优化。

2) 通过可视化方式展示钦州自动化集装箱港

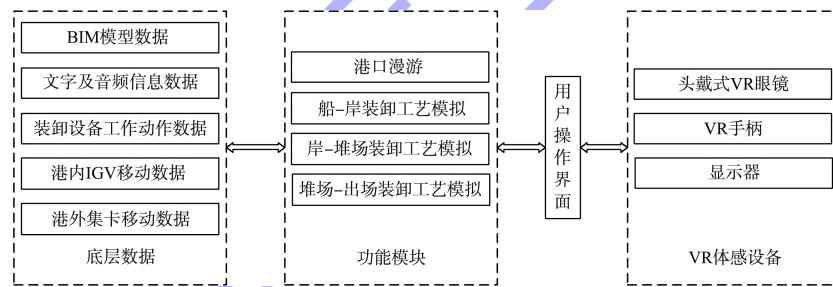


图 1 自动化装卸工艺 VR 系统框架

2.3 系统设计流程

结合本项目需要实现的功能，围绕自动化装卸工艺的主题，形成开发平台调研、模型处理、场景优化、功能模块编译、测试迭代优化、正式发布的设计流程。以 BIM 成果模型作为 VR 系统的模型底层，利用游戏引擎的物理碰撞、重力感应等功能和蓝图可视化脚本对装卸流程进行程序编译，最后通过头戴式 VR 体感设备像素流传输的功能，实现沉浸式的交互体验。

2.3.1 开发平台调研

基于建模软件的兼容性、开发及后期维护难度、VR 头显效果、产品开发周期等多维度对主流开发平台进行调研评分，实现开发基础底座的技

口，突出 U 形平面布置方案的特点。

3) 在 VR 场景中基于人机互动操作，实现依照体验者指令按步骤展示完整集装箱全自动化工序流程。

4) 设置安全体验功能，允许体验者体验现实中无法实现的伤害场景，提高体验者的安全意识，起到警示教育的作用。

5) 系统最终渲染成果能够导出三维模型，为企业港口 VR 模型库积累素材。

2.2 系统设计框架

自动化装卸工艺 VR 系统框架见图 1，以 BIM 模型、操作流程提示信息数据、岸桥及轨道吊工作动作参数、IGV 及外集卡驾驶移动参数等输入信息作为底层数据，创建包括整体模型漫游、重要装卸工艺等功能模块，用户基于头戴式 VR 眼镜、VR 手柄等硬件设备通过用户操作界面与系统进行交互操作。

术可控。

2.3.2 模型处理

本项目 BIM 建模范围包括周围环境、设计船型、水工建筑物、港口装卸设备、道路标示标线、集装箱堆场、办公楼、综合楼、配套设施和港区绿化等主要部分。各专业需结合自身需要及工作流，在多款专业 BIM 软件中协同进行。基于云端协同平台进行多专业协同建模，三维总装软件从协同平台参照模型文件进行总装，保证了各子模型与总装模型的动态关联特性，为 VR 系统提供准确的基础模型，大幅降低构建模型阶段的人工成本和时间成本。

渲染软件中建立的模型精细程度高、整体性

强, 适用于建筑工程、土木工程结构等规则体建模。同时与 BIM 模型融合度高, 能够有效实现不同来源模型的信息、功能整合^[4]。本项目基于 BIM 港口模型导入渲染软件进一步优化, 补充、修复部分场景模型, 对动画模型部分进行拆分整合, 并对模型进行减面处理。

2.3.3 场景优化

将码头、船舶、岸桥、轨道吊、集装箱、建筑单体等模型导入 VR 渲染器中。基于 VR 渲染器, 对整个港口场景进行天空光照渲染、替换合适材质纹理及颜色、调整环境参数等, 达到逼真照片级水准。增加全动态场景制作, 模仿真实港口运行状态。

2.3.4 功能模块编译

通过蓝图可视化脚本编程实现以下功能: 1) 用户选择界面(user interface, UI)与各模块场景的切换; 2) 设置场景中非静止对象的运动原则, 对港内外交通流进行高精度的仿真模拟; 3) 设置场景中文本信息、音频信息的触发条件, 正确显示相关提示信息; 4) 设置 VR 头盔、VR 手柄、键盘等硬件的各类交互功能操作。

2.3.5 测试迭代优化

系统在正式发布之前会进行多次测试及优化迭代, 其中最常见、出现频率最高的问题是场景流畅度不够、帧数过低, 根本的原因是计算机图形处理负荷过大。主要有 3 个因素: 1) BIM 模型精细度高, 直接使用会导致场景中的线对象、面对象过多。需要在多次修改过程中寻找模型修改量小和模型精细化程度大之间的动态平衡。基本原则是对地面以上及视野范围内显示的对象进行必要的减面处理或者替换, 对地面以下及非视野范围内的元素进行删除或简化处理。2) 场景范围大, 包含的对象数量众多, 光影渲染工作量大。可以通过在特定部分内设置详细的照明和阴影细节, 配合设置模型 LOD 或细节级别, 实现远视角显示整体效果和近视角显示更多模型细节的切换。还可以通过分割关卡场景阶段性表达主题, 避免过多动态对象或交互动作集中于同一关卡。3) 硬件设备条件限制。计算机中的 CPU 负责数据计

算, 显卡负责图形渲染, VR 头盔负责 VR 场景的显示交互。在预算充足的情况下充分了解硬件设备的差异, 正确配置对应的计算机及 VR 头盔。高性能设备能够极大提高 VR 模拟系统承载能力的上限, 模型精度及脚本编写的容错率明显提升, 提高项目设计方案的合理性、科学性。

2.3.6 正式发布

以软件集成的方式将全功能模块打包, 最终生成 exe 可执行文件, 实现数据的融合, 形成正式版 VR 平台可视化解决方案。系统界面见图 2。



图 2 自动化装卸工艺 VR 系统界面

3 虚拟现实技术应用

3.1 系统模块

3.1.1 UI 选择界面

作为体验者与主体程序交互沟通的载体, 整体颜色风格采用贴近港口海岸工程的深蓝色调, 图标则采用船锚、集装箱等镂空白色标志, 突出系统主题。该界面通过手柄组合键调出, 负责联通港口漫游、自动化双小车岸桥装卸船、堆场区域装卸工艺和进出闸口模拟 4 个主模块。在手柄、键盘等输入设备设置操作说明提示, 降低用户记忆负担、提升系统友好度。

3.1.2 港口漫游

实现自由步行或空中无人机 2 种视角漫游整个港口场景。系统默认视角为位于港区进港闸口的无人机低空视角, 能够从相对偏低的高空高度俯瞰整个港区, 给予初体验者较为舒适而又有挑战性的开局感受, 也让体验者拥有熟悉系统界面、熟悉 VR 世界基本操作的时间。系统同时设置有地面自由步行模式, 无人机可随时通过 VR 手柄摁键从空中安全着陆, 甚至能够在虚拟空间突破现实物理世界的限制, 在无人自动化码头自

由穿梭，体验数字化经济下的新一代智慧港口。此外，该模块设计有高空跌落、车辆撞击等安全教育体验功能，帮助提升体验者的安全意识，深刻理解自动化码头运行的逻辑性及设计码头应考虑的因素。

3.1.3 自动化双小车岸桥装卸船

码头前沿船舶装卸作业系统的自动化流程，实现查看相关工艺设备及港口概要信息的功能。体验者通过手柄操作系统信息弹框的方式进行人机互动，详细展示拖轮顶靠、岸桥主小车吊装集装箱、过泊平台卸箱、后小车吊装集装箱至 IGV 的完整流程，并显示包括码头岸线长度、设计船型、年设计通过能力等项目相关信息，帮助体验者了解项目背景信息。

3.1.4 堆场区域装卸工艺

集装箱从岸桥过泊平台装卸运输至堆场的流程，展示相关堆场作业要点信息。利用跟随 IGV 移动视角的方式，通过体验者的交互操作、高亮 IGV 行驶轨迹及手柄振动，展示 IGV 无人驾驶、自动行车避让、自检电量不足自动充电等功能；在 IGV 到达装卸点后，体验者需要根据提示按步骤执行特定操作，完成自动轨道吊移动至指定位置进行集装箱调至堆场的作业指令。流程充分突出水平运输方案自动化的特点，全面说明堆场作业自动化的先进性。

3.1.5 进出闸口模拟

外集卡车辆进出闸口以及在堆场区进行装卸

作业的流程，显示相关流程信息。由体验者控制的外集卡按照提示扫描通过三段式智能化进港闸口，在外集卡通道完成驻车、集装箱外运、掉头操作，形成完整自动化码头工艺流程闭环。通过平面动图显示外集卡运行轨迹，多视角演示集装箱堆场外集卡通道的 U 形平面布置方案，强化 VR 技术应用与工程设计理念的正向结合。

3.2 方案可视化分析和优化

BIM 技术在建筑工程设计中的应用首先体现在可视化设计操作层面上^[5]。基于项目集装箱集疏运体系的构成及码头的陆域特点，结合可视化拓展技术的特点，分析并提出了一种新的 U 形全自动化集装箱码头平面布置方案，见图 3。

集装箱堆场采用垂直码头岸线的布置方式，使得集装箱港内运输时间最短；水平运输采用 IGV 进行作业。IGV 自动驾驶级别为 L4 级，当 IGV 在限制道路或环境下自动驾驶时，需要与人员和有人集卡隔离^[6]，因此设置围网将港外集卡与港内 IGV 进行物理隔断，实现了自动驾驶的物理封闭。为方便外集卡掉头返回，堆场区港外集卡车道设计为 U 形，外集卡在堆场轨道吊一侧悬臂完成装卸作业后掉头即可离开堆场，突出交通分离、交互简洁、直进直出的核心设计理念。可视化设计能够充分、立体表达设计意图，最大化利用陆域空间提高港内外交互能力和工作效率，成为设计方与建设方、施工方、政府审批机构等多方高效率、低成本沟通的新手段。



图 3 项目模型俯视图