

基于真实世界隐喻的虚拟现实用户界面范式研究及应用

李太然, 杨勤, 陈亦珂

(贵州大学, 贵阳 550025)

摘要: **目的** 基于真实世界隐喻, 研究虚拟现实用户界面范式, 并指导应用实践。**方法** 通过整理虚拟现实和用户界面的相关文献资料, 以基于真实世界的交互 (RBI 框架) 作为指导, 引出真实世界隐喻 4 个方面的要素, 对比 WIMP 范式各个基础元件所承载的作用, 研究虚拟现实用户界面范式。**结论** 提出了虚拟现实用户界面 SOMM 范式, 分析了 SOMM 范式每一个要素, 描述了用户在虚拟现实中的三维交互过程, 并应用于工业机器人 VR 岗位实训系统用户界面当中, 验证了 SOMM 范式的可行性。SOMM 范式能让用户在虚拟现实环境中执行自然人机交互, 减少了用户认知转换负荷, 为其他研究者和设计师提供了指导和思路。

关键词: 虚拟现实; 真实世界隐喻; 自然人机交互; 用户界面范式

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)24-0256-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.24.046

Research and Application of Virtual Reality User Interface Paradigm Based on Real World Metaphor

LI Tai-ran, YANG Qin, CHEN Yi-ke
(Guizhou University, Guiyang 550025, China)

ABSTRACT: This paper aims to study the virtual reality user interface paradigm and guide the application practice based on the real world metaphor. Firstly, the relevant literature of virtual reality and user interface was summarized, and the reality-based interaction (RBI framework) was used as guide to conclude elements of rear word metaphor in four aspects. Then the role of various fundamental elements of WIMP paradigm was compared to study the virtual reality user interface paradigm. This paper presents a virtual reality user interface-SOMM paradigm, analyzes each element of the SOMM paradigm, describes the 3D interactive process of user in the virtual reality, and applies the paradigm to the user interface of VR post training system for industrial robot. The feasibility of SOMM paradigm is verified. The SOMM paradigm enables users to perform natural human-computer interaction in a 3D virtual environment, reduces the burden of user awareness and provides guidance and ideas for other researchers and designers.

KEY WORDS: virtual reality; real world metaphor; natural human-computer interaction; user interface paradigm

Xerox 公司 PARC 研究机构提出了图形用户界面 (GUI) 的雏形, 在图形用户界面成为主流之后, 基于桌面隐喻的 WIMP 范式一直沿用至今。在桌面交互环境中支撑了当前包括图像编辑、电子文档、桌面游戏、网页浏览等应用, 为广大用户提供了一种精准稳定、操作迅速的人机交互方式。虚拟现实发展至今已有 30 年的历史, 如今已成为热点, 其重要性已经

不仅局限于游戏娱乐领域, 它将从军事、航空航天、计算机辅助设计、外科手术模拟、科学计算可视化、远程控制以及教育等各个领域改变这个世界^[1]。虚拟现实人机交互最主要的界面形式是三维用户界面, 三维交互任务在三维用户界面中处于核心地位。由于人机交互带宽和三维交互等因素的限制, WIMP 范式不再适用于虚拟现实用户界面。

收稿日期: 2018-08-04

作者简介: 李太然 (1991—), 男, 湖北人, 贵州大学硕士生, 主攻工业设计与人机工程。

通信作者: 杨勤 (1962—), 男, 辽宁人, 硕士, 贵州大学教授、硕士生导师, 主要研究方向为工业产品设计、人机工程等。

1 概述

1.1 虚拟现实的交互性

虚拟现实 (Virtual Reality) 一种能够创造和体验虚拟世界的计算机仿真系统, 是以计算机技术为核心, 综合了计算机 3D 图形、传感器以及人工智能等多方面技术的研究领域。其本质是对现实或者虚构的世界进行全面仿真, 生成一个逼真的融合了 3D 视觉、听觉、触觉, 甚至嗅觉的数字化虚拟空间, 让用户如

同身临其境一般。用户以自己的视角出发, 通过相关设备与虚拟世界客体进行可视化操作。沉浸感 (Immersion)、交互性 (Interaction) 和构想性 (Imagination) 是虚拟现实系统的 3 个基本特征 (3I)^[2]。其中交互性用户使用相应设备以自然行为的方式与数字化虚拟空间中的事物进行相互影响与交互, 见图 1。通过一个自然和谐的人机交互环境的建立来保证用户和虚拟空间之间的双向感知, 因此, 出色的人机交互是虚拟现实良好用户体验的关键^[3]。

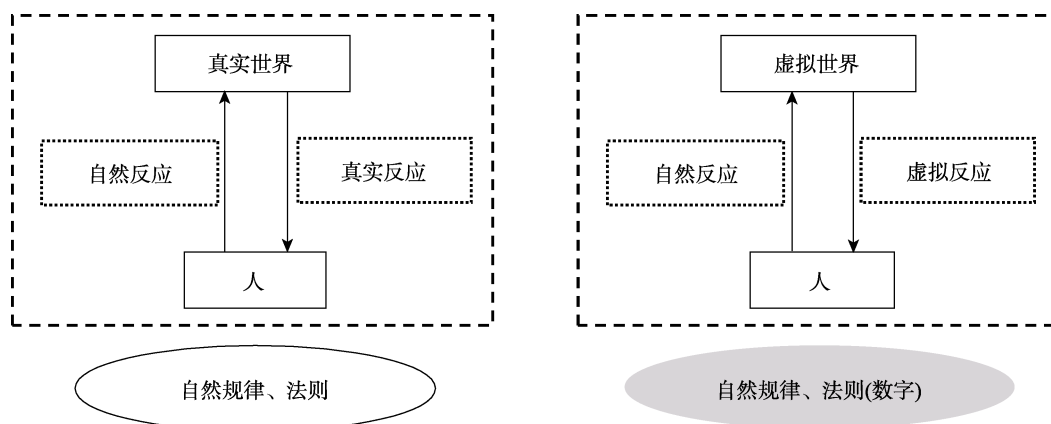


图 1 虚拟现实的交互性
Fig.1 Interaction of virtual reality

一方面, 用户的姿势、语言、眼球追踪、肌肉运动等多个感官通道的数据作为输入信息被虚拟现实系统感知; 另一方面, 虚拟现实系统模拟用户关于视、听、嗅、触觉等多通道感官的仿真感受作为输出信息被用户感知。以交互的观点看, 虚拟现实是一种新的人机交互界面^[4]。

1.2 基于 RBI 框架的真实世界隐喻

隐喻 (metaphor) 作为普遍的认知和情感表达方式在人机交互中非常重要。隐喻是把人所熟知的一些现象和概念运用到用户界面当中, 通过隐喻可以将一些概念或操作过程通俗化, 使用户易于理解^[5]。目前常见的 Windows 操作系统中把图形界面元素比拟成桌面、窗口、垃圾桶、文件夹等, 就是一种对办公桌的隐喻。隐喻越恰当, 用户就会越熟知, 就表示用户界面越自然。在虚拟现实人机交互中充分发挥用户在现实世界中的生活经验, 将人学习的生活技能隐喻在虚拟现实交互方式中, 便于用户理解交互过程, 因此交互隐喻成为虚拟现实人机交互的研究重点。

Jacob^[6]提出了基于真实世界的交互 (reality-based interaction, RBI), 并把它作为 Post-WIMP 用户界面范式的标准框架来引导界面的设计。根据 Jacob 所提出的 RBI 框架的 4 个层次, 以及在观察现实生活、人与物、人与人交互的过程中, 可以从真实世界中总结出 4 个方面的要素: 真实的物理世界 (Naïve Physics-NP), 人类对物理世界的普遍认识和感知, 以一种共识的存在反映着整个物理世界; 自身感知与运动

技能 (Body Awareness and Skills-BAS), 是指人对自己身体的意识, 以及自我操控和自我协调的能力; 环境感知与互动技巧 (Environment Awareness and Skills-EAS), 人对周围环境中事物的感知能力, 以及在所处环境中操作和活动的能力; 社会感知与社交技能 (Social Awareness and Skills-SAS), 人对环境中他人的感知以及与之交互的能力。图 2 描述了男孩 Jack

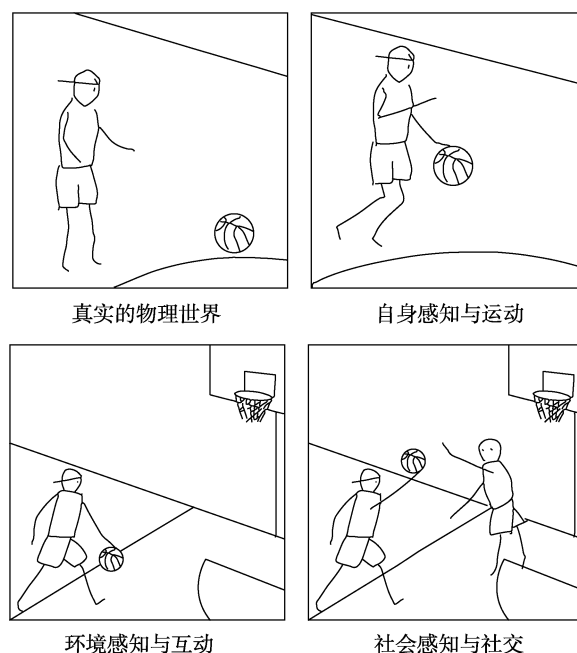


图 2 基于 RBI 框架的真实世界构成要素
Fig.2 Real world elements based on RBI framework

日常生活中打篮球的场景之一，形象的表达了真实世界的 4 个构成要素。虽然 RBI 框架并不是一种具有普遍意义的界面交互范式，但是它为人机交互隐喻提供了指导，同时也给虚拟现实用户界面范式设计提供了依据。

2 虚拟现实用户界面 SOMM 范式提出

2.1 二维用户界面 WIMP 范式发展瓶颈

目前常见的桌面环境的采用的 GUI(图形用户界面)都是 WIMP 范式，WIMP 是由窗口 (Windows)、图标 (Icons)、菜单 (Menus)、指针 (Pointer) 四大基础组件所组成的英文缩写。基于 WIMP 范式的 GUI 提供了一种操作精准、稳定、迅捷的交互模式，以语法极小化、快速语义反馈、对象可视化等优势维持了用户界面几十年发展。用户使用键盘、鼠标、触摸屏或者手柄来操作屏幕上的窗口、图标、菜单与计算机交互，因此在 WIMP 范式框架中，用户的操作都是限定于桌面的二维运动。

由于 WIMP 范式的二维特征，使其应用于三维环境交互中会引起以下问题：复杂的交互任务会使界面的复杂程度呈非线性增进，也就是无法以一种简单、高效的模式来处理复杂的三维关系；只能依靠键盘和鼠标等设备进行单通道输入，无法使用用户其他的自然交互通道进行输入；难以去操纵三维物体来完成在三维空间交互任务^[7]。比如让一个头戴沉浸式 VR 眼镜的用户去使用键盘是不恰当的；另外在虚拟空间里，用户可能通常需要通过任意位置、任意角度去操纵物件，键盘和鼠标则难以完成这样的交互任务。

2.2 从 GUI 到 3DUI

WIMP 范式所支持的 GUI 的根本问题是交互过程中人向计算机输入的带宽十分有限，输入端仅支持精确点取每次一个像素点和离散按键信号，是一种顺序对话模式的交互，人在现实生活中所习惯的自然行为方式得不到充分利用。20 世纪 90 年代初开始，国内外的学者们为了突破 WIMP 界面范式发展瓶颈，M Green 等人^[8]提出了 Non-WIMP 界面范式的软件构架

和隐喻，Non-WIMP 是指没有采用桌面隐喻的用户界面；van Dam A^[9]提出了 Post-WIMP 的观念，通过提升人与计算机之间输入与输出的带宽，达到人机交互更自然的目的；中国科学院软件研究所戴国忠等人所领导的团队提出了基于 Post-WIMP 的纸笔隐喻的 PIBG 范式^[10]；张凤军等人通过总结不同的用于交互的通道方式，用中医术语“望闻问切”来概括虚拟现实的交互范式^[4]。随着虚拟现实、增强现实、混合现实等技术的成熟，三维用户界面的研究成为热点^[11]。

3DUI (三维用户界面) 与 GUI 有着很大的不同。首先，与 GUI 相比，3DUI 的隐喻由桌面环境变为三维场景。然后，在 3DUI 中所应用的是一种隐含式、自然的交互方式，因此用户关注的不是怎样去行使操作方式，而是聚焦于三维交互任务本身。从而带来更加高效的人机交互和良好的用户体验。表 1 是 GUI 交互与 3DUI 交互的特点比较。

表 1 GUI 交互与 3DUI 交互的特点比较
Tab.1 Comparison of GUI interaction and 3DUI interaction

	GUI	3DUI
交互通道	单一通道	多通道同时进行
交互方式	键盘、鼠标	语音、动作捕捉、手势、眼球捕捉、传感器等等
信息输入与反馈	离散二维信息精确输入、及时反馈	连续三维信息非精确输入、实时连续反馈
隐喻方式	桌面系统隐喻	真实世界隐喻
认知负荷	较复杂，需要系统学习	简单，使用经验、知识、自然习惯

2.3 虚拟现实用户界面 SOMM 范式提出

通过分析 WIMP 范式 4 个基本交互元件载体在交互界面中所承载的作用，见图 3，窗口 (windows) 是承载信息的平台，图标 (icons) 是信息或信息集的标识，菜单 (menus) 是用户执行命令的载体，指针 (pointer) 是人机交互的手段。结合上文中基于 RBI 框架的 4 点真实世界隐喻，本文提出了虚拟现实用户界面 SOMM 交互范式，见图 4。

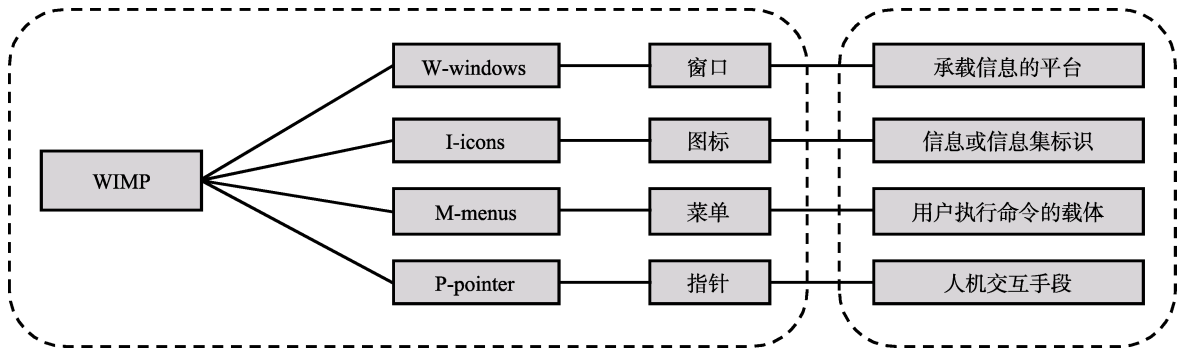


图 3 WIMP 范式框架结构
Fig.3 WIMP paradigm frame structure

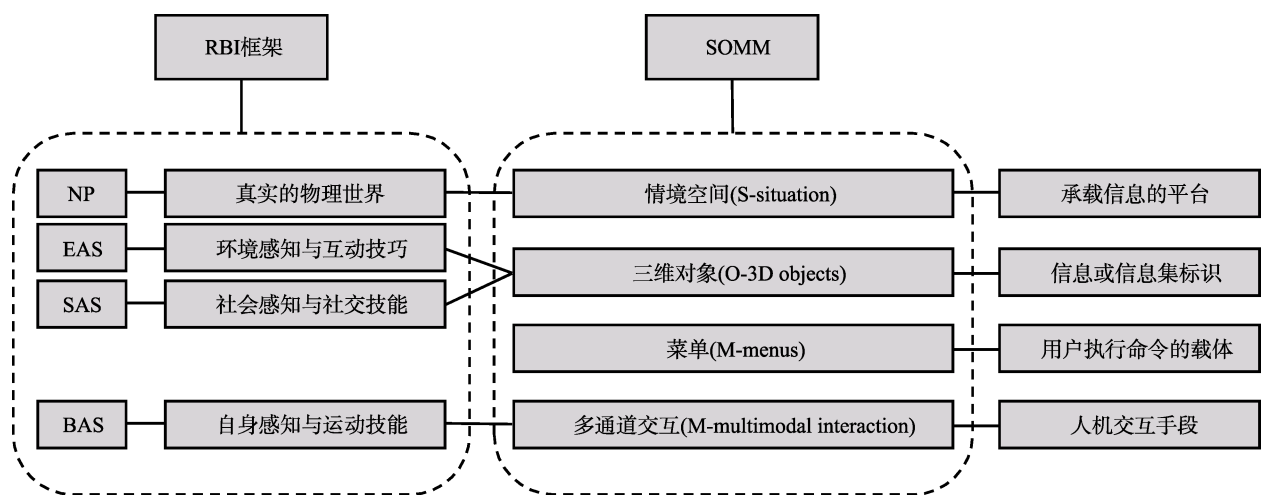


图 4 SOMM 范式框架结构
Fig.4 SOMM paradigm frame structure

在 SOMM 范式中，S 表示情境空间（Situation），在虚拟现实交互界面中作为承载全部交互信息的平台；O 表示三维对象（3D-Objects），它代表了整个虚拟空间内可以交互的对象，包括虚拟物件和虚拟人物；前一个 M 表示菜单（Menus），直接引用了 WIMP 范式的交互元件，考虑到虚拟空间操纵的复杂性以及 3D-Objects 交互的限制性，引用了 Menus 来完成那些不能通过直接操纵来完成任务；后一个 M 表示多通道交互（Multimodal interaction），是虚拟现实中的

2.4 SOMM 范式各要素表征

2.4.1 情境空间（Situation）

SOMM 范式中的情境空间对应的是 RBI 框架的真实的物理世界（NP）。真实的物理世界包含了人类对整个物理世界的常识和认知，这包括重力、摩擦力、速度、物体的持续，和相对尺度等基本认知。情境在汉语词典中的解释是：在一定时间内各种情况的相对的或结合的境况。总的来说，情境空间是一种包含人的认知基础的人事物活动的特定环境，构成整个虚拟环境符号元素的合集，能直接定义出虚拟环境的特定背景，承载了全部交互信息。比如情境空间可以是一个餐厅的厨房，可以是对抗机器人叛军的未来世界，可以是僵尸病毒爆发后的末日世界，也可以是修理汽车的车库。

2.4.2 三维对象（3D-Objects）

三维对象对应的是 RBI 框架的环境感知与互动技巧（EAS）、社会感知与社交技能（SAS）。环境感知与互动技巧是指在真实世界中，人的周围会存在客观的自然事物和人为事物，人能够感知它们并与之交互的能力。社会感知与社交技能是指人们通常会意识到其他人的存在，而且能发展社交的技能，这些包括口头和非语言交流，交换物理对象的能力，以及与他

人合作完成任务的能力等等。与之相对应的，虚拟现实中的三维对象则是包含了虚拟的客观事物和虚拟的人物，不同的情境空间会有不同的三维对象，用户能够感知这些三维对象并且与之完成相应的三维交互任务。

2.4.3 菜单（Menus）

菜单是直接引用于图形用户界面的基础组件，是用户执行操作命令的中介。虚拟现实的人机交互手段虽然是多通道交互技术，但是考虑到在情境空间中操纵的局限性和用户体验，界面内的多层次信息交互仍需要使用菜单交互的方式。所以，菜单是虚拟现实用户界面设计中不可缺少的要素。虚拟现实用户界面的菜单设计都是以交互任务和用户为中心，根据交互任务的性质在不同的情境空间中呈现与之对应的菜单，菜单的表现形式更加多样化。

2.4.4 多通道交互（Multimodal interaction）

多通道交互对应的是 RBI 框架的自身感知与运动技能（BAS），是虚拟现实中的人机交互手段。自身感知与运动技能是指人对自己身体的熟悉和理解，是一个独立于环境的个体。比如，人们能够感受到自己的肢体所处的位置和状态，能了解身体本身运动的范围，还能感知某些现象。从出生开始，人就在学习和培养自身感知和运动技能，最终能够独立的运用自己的身体来完成日常生活中的任务。当然，还可以通过特定的训练来让人拥有特定的运动技能，比如打篮球、滑雪等。多通道交互是在一个交互系统中融合了两个或以上输入通道的协作方式^[12]，由于它充分利用了人不同的感官通道、自身感知与运动技能，所以会使交互过程自然高效，并且减少了用户的认知负担。在虚拟现实用户界面中，用户与计算机系统的双向交互呈多通道感知的形式，人和计算机都被看作是信息交互的主动参与者，输入与输出通道有很多方式，例如串行与并行、互补与独立等。人与机交互向人与人

交互的方式接近,极大地提高了交互的自然性和高效率,将会成为未来虚拟现实人机交互的主流形式^[4]。

3 SOMM 范式的三维交互过程描述

在 SOMM 范式的三维交互过程中,见图 5,情境空间模拟了三维场景的概念,承载了特定情境中的所有信息元素,而情境空间中的信息元素以 3D Objects 为主要表现形式。3D Objects 的信息元素是对应

于具体使用情境下的客观呈现部分,用户在虚拟空间中根据 3D Objects 确定特定的情境空间、空间格局、结构认知和操纵方式等。用户根据交互任务确定交互目标,包括 3D Objects 和 Menus,通过多通道感官交互来完成操作,形成进一步认知。用户通过自己的操作过程不断积累知识、操作经验和空间信息记忆等认知,通过用户体验反馈来影响用户界面,在这样的迭代过程中最终形成以用户体验为中心的虚拟现实用户界面。

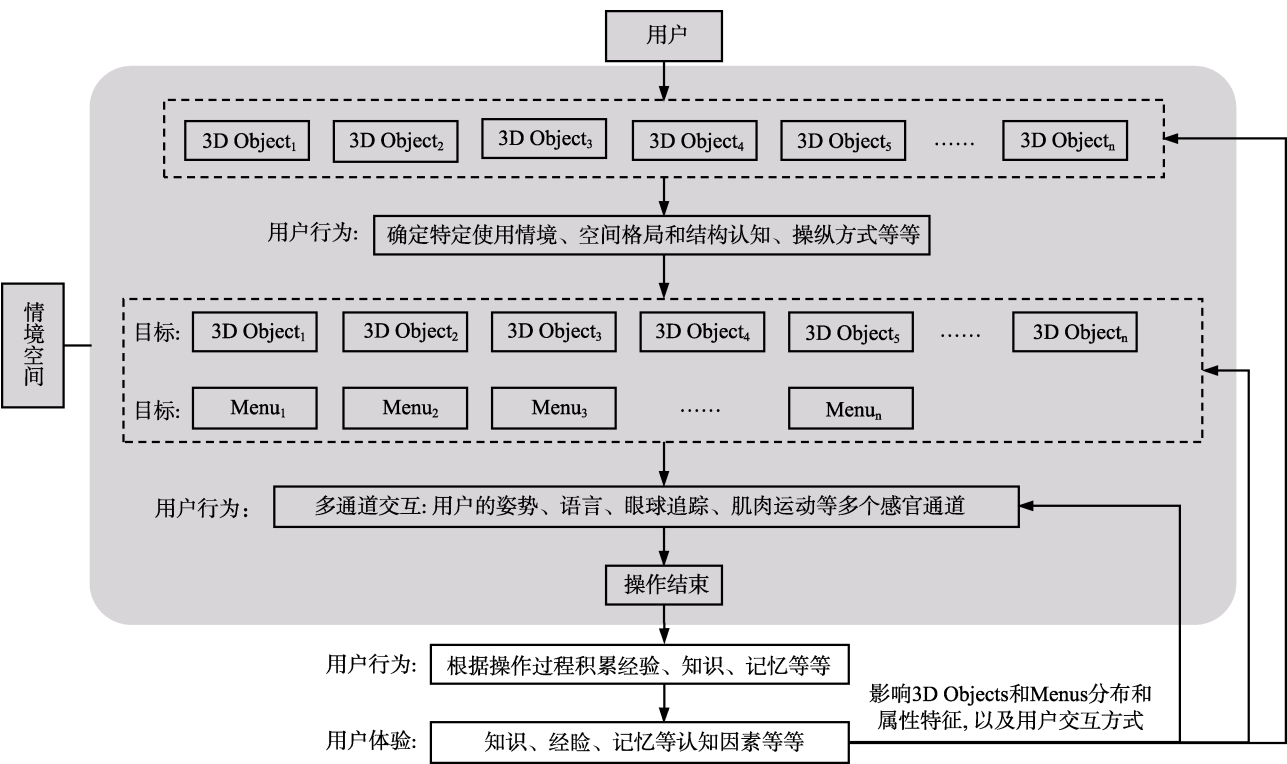


图 5 SOMM 用户界面范式的三维交互过程描述
Fig.5 Description of three-dimensional interactive process of SOMM user interface paradigm

4 虚拟现实用户界面 SOMM 范式应用及开发实践

工业机器人岗位实训是职教中的一个实训课程,本次是基于 Unreal Engine 4 (虚幻引擎 4) 平台开发工业机器人 VR 岗位实训系统。通过构建一个真实厂房内部情境,可模拟工业机器人岗位的主要结构拆装、维护维修、示教操作等板块的实训任务。

4.1 模型的设计制作

模型的制作主要分为两个部分,一是工业机器人的模型的设计制作,二是虚拟现实环境模型的设计制作。首先运用三维 CAD 软件 (Solidworks) 对工业机器人进行三维建模,并导出.IGS 格式文件。再将导出的文件导入 3Ds Max 2010 中,见图 6,根据工业机器人模型大小制作真实工厂厂房内景模型,真实地模拟厂房内部情境,最后导出格式为.FBX 格式文件。

4.2 用户界面交互设计

将导出的.FBX 文件导入 Unreal Engine 4,见图 7,为厂房内的所有物件附上合适的材质,必要部分贴上贴图,添加灯光增加真实感,利用 Unreal Engine 4 蓝图可视化编程 (见图 8) 对工业机器人主要结构、拆装实训、示教操作等板块及选项框进行交互编程。最终拆装实训的用户界面 (见图 9),以真实的厂房内部为背景,除了能用工具对工业机器人进行整体拆卸外,并可以进行自由拖拽、缩放、翻转,清晰查看内部零件结构关系。

4.3 虚拟现实用户界面 SOMM 范式应用分析

在工业机器人 VR 岗位实训系统界面中,厂房内景做为情境空间(S)承载了实训情境中的所有信息元素,厂房内的信息元素以工业机器人、墙壁、地面、灭火器、工具柜、垃圾桶等三维物件(O)为主要表现

形式, 用户根据三维物件确定厂房内空间格局、结构认知和操纵方式等。再根据实训任务确定交互目标工业机器人和菜单(M), 通过多通道交互方式(M), 包括手部、头部动作以及振动触觉反馈选取工具和零件完

成相应的虚拟实训任务。

通过在工业机器人 VR 岗位实训系统界面中的应用, 验证了 SOMM 范式的可行性。对于 SOMM 范式的有效性验证需要在后续的工作中继续研究。

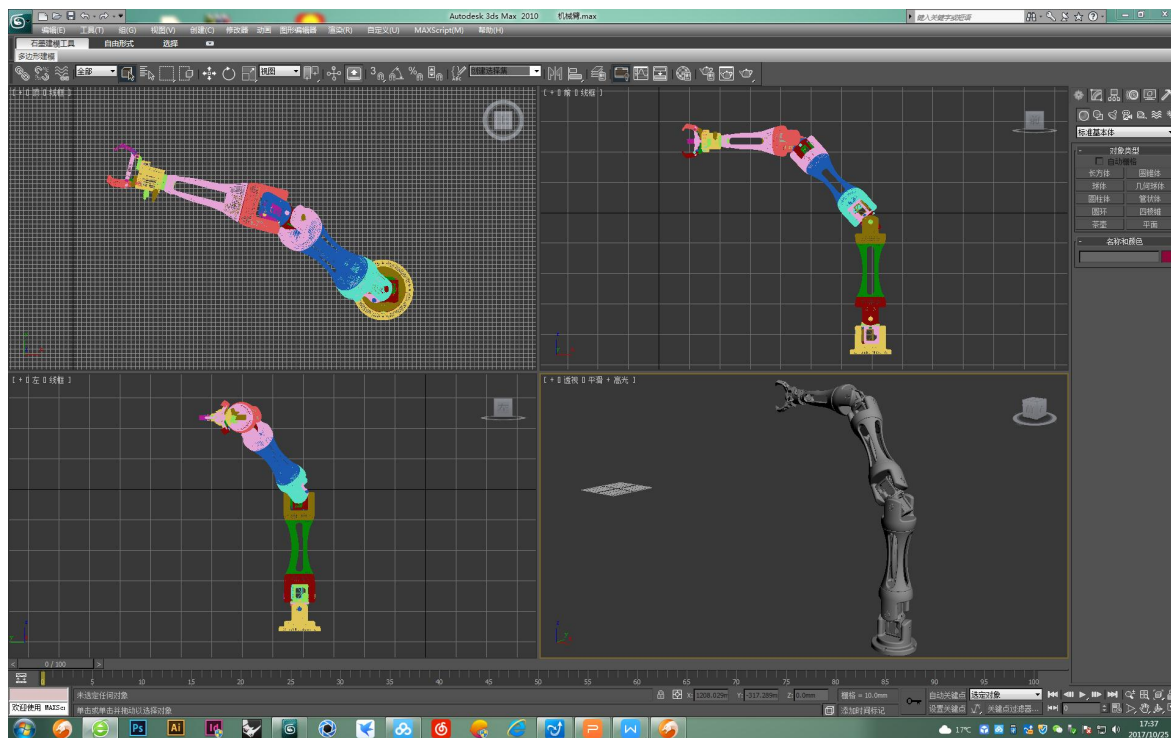


图 6 工业机器人导入 3Ds Max 2010 中
Fig.6 Industrial robots imported into 3Ds Max 2010



图 7 将整个场景文件导入 Unreal Engine 4
Fig.7 Import the entire scene file into Unreal Engine 4

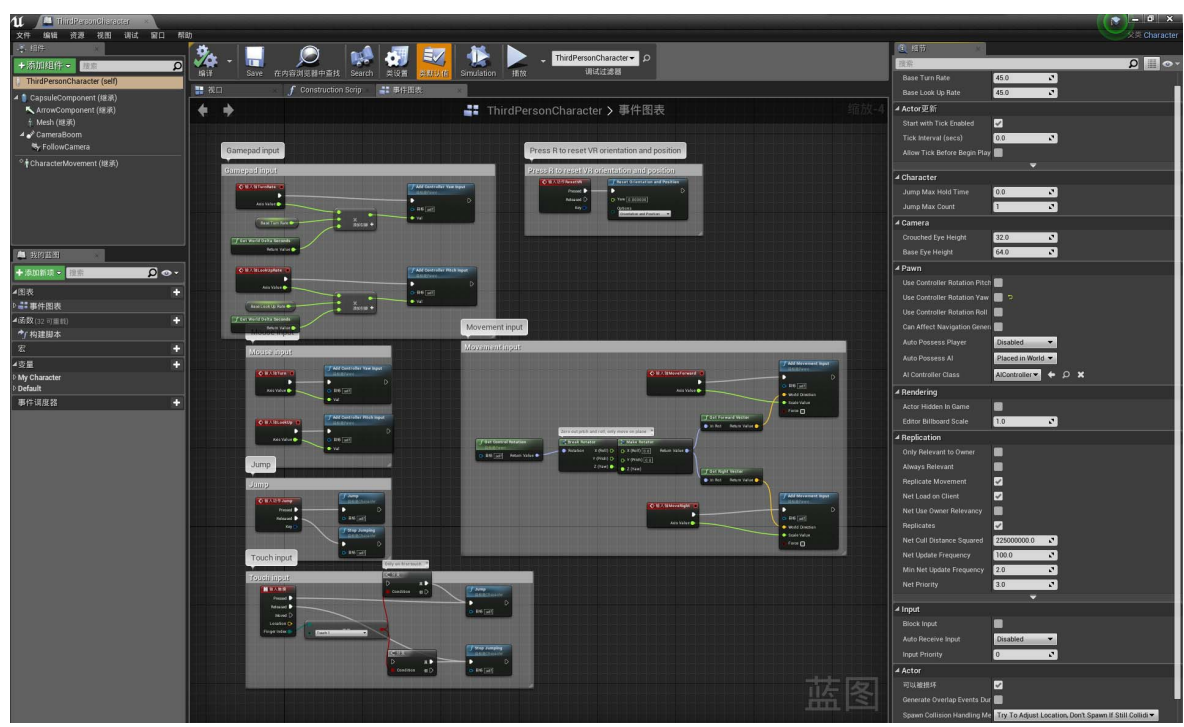


图 8 利用 Unreal Engine 4 蓝图可视化编程 (部分编程)
Fig.8 Visual programming based on Unreal Engine 4 blueprint(partial programming)



图 9 工业机器人 VR 岗位实训用户界面
Fig.9 User interface for VR post training of industrial robot

5 结语

本文通过对用户界面范式发展的研究,以 RBI 框架作为指导,结合主流的二维界面 WIMP 范式每个元件的特征提出了虚拟现实用户界面 SOMM 范式,分析了每个构成要素,并且最后提出了用户在虚拟现实中的三维交互过程。能使用户在三维虚拟环境

中行使自然人机交互,减少了用户认知转换负担,并
为其他研究者和设计师提供了指导和思路。
在工业机器人 VR 岗位实训系统开发中,由于技术
水平有限,部分复杂的交互过程并没有实现。虽然
SOMM 范式为虚拟现实用户界面提供了界面框架,
但是想要得到实际的运用,还要在以后的研究中,对
每个构成要素进行深入研究。

参考文献:

- [1] 赵沁平, 周彬, 李甲, 等. 虚拟现实技术研究进展[J]. 科技导报, 2016, 34(14): 71—75.
ZHAO Qin-ping, ZHOU Bin, LI Jia, et al. A Brief Survey on Virtual Reality Technology[J]. Science & Technology Review, 2016, 34(14): 71—75.
- [2] 张占龙, 罗辞, 何为. 虚拟现实技术概述[J]. 计算机仿真, 2005, 22(3): 1—3.
ZHANG Zhan-long, LUO Ci, HE Wei. A Survey of Virtual Reality Technology[J]. Computer Simulation, 2005, 22(3): 1—3.
- [3] 蔺薛菲. 虚拟现实三维场景建模与人机交互应用技术研究[J]. 艺术与设计, 2017(4): 100—102.
LIN Xue-fei. Research on 3D Scene Modeling and Interaction Design for VR Applications[J]. Art and Design, 2017(4): 100—102.
- [4] 张凤军, 戴国忠, 彭晓兰. 虚拟现实的人机交互综述[J]. 中国科学(信息科学), 2016(12): 23—48.
ZHANG Feng-jun, DAI Guo-zhong, PENG Xiao-lan. A Survey on Human-computer Interaction in Virtual Reality[J]. Scientia Sinica(Informationis), 2016(12): 23—48.
- [5] 刘月林, 李虹. 基于概念隐喻理论的交互界面设计[J]. 包装工程, 2012, 33(22): 17—19.
LIU Yue-lin, LI Hong. Interactive Interface Design Based on Conceptual Metaphor Theory[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(22): 17—19.
- [6] JACOB R J K, GIROUARD A, HIRSHFIELD L M, et al. Reality-based Interaction: a Framework for Post-WIMP Interfaces[C]//Proceeding of the Twenty-Sixth Sigchi Conference on Human Factors in Computing Systems, 2008: 201—210.
- [7] 廖宏建, 杨玉宝. 体感交互设计及其在三维虚拟实验中的应用[J]. 远程教育杂志, 2013, 31(1): 54—59.
LIAO Hong-jian, YANG Yu-bao. Design of Somatosensory Interaction and Application in Three-Dimensional Virtual Experiment[J]. Journal of Distance Education, 2013, 31(1): 54—59.
- [8] MARK G, ROBERT J. SIGGRAPH '90 Workshop Report: Software Architectures and Metaphors for Non-WIMP User Interfaces[J]. Acm Siggraph Computer Graphics, 1991, 25(3): 229—235.
- [9] VAN D A. Post-WIMP User Interfaces[J]. Comm Acm, 1997, 40(2): 63—67.
- [10] 吴刚, 田丰, 李杰, 等. 一种新的笔式交互范式的可用性评估[J]. 计算机工程与设计, 2005, 26(3): 570—572.
WU Gang, TIAN Feng, LI Jie, et al. Usability Evaluation of New Pen-based User Interface Paradigm[J]. Computer Engineering and Design, 2005, 26(3): 570—572.
- [11] 陈志刚, 李世国. 虚拟环境中的三维用户界面研究[J]. 包装工程, 2010, 31(2): 37—40.
CHEN Zhi-gang, LI Shi-guo. Research on the 3D User Interface in the Virtual Environment[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(2): 37—40.
- [12] 路璐, 田丰, 戴国忠, 等. 融合触、听、视觉的多通道认知和交互模型[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2014, 26(4): 654—661.
LU Lu, TIAN Feng, DAI Guo-zhong, et al. A Study of the Multimodal Cognition and Interaction Based on Touch, Audition and Vision[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2014, 26(4): 654—661.