

虚拟环境下基于语义的三维交互技术*

纪连恩^{1,2+}, 张凤军¹, 付永刚¹, 戴国忠¹

¹(中国科学院 软件研究所 人机交互技术与智能信息处理实验室,北京 100080)

²(中国科学院 研究生院,北京 100049)

3D Interaction Techniques Based on Semantics in Virtual Environments

Ji Lian-En^{1,2+}, ZHANG Feng-Jun¹, FU Yong-Gang¹, DAI Guo-Zhong¹

¹(Laboratory of Human-Computer Interaction & Intelligent Information Processing, Institute of Software, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

²(Graduate School, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

+ Corresponding author: Phn: +86-10-62540451, E-mail: lianen03@ios.cn, <http://iel.iscas.ac.cn>

Ji LE, Zhang FJ, Fu YG, Dai GZ. 3D interaction techniques based on semantics in virtual environments. *Journal of Software*, 2006,17(7):1535-1543. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/17/1535.htm>

Abstract: Natural and efficient 3D interaction techniques play one of the key roles in the development of virtual reality systems. Most of these techniques, which are used currently, mainly aim at supporting the implementation of interaction tasks in geometric level. As a result, they usually lack of the sufficient ability for executing those interaction tasks that orient to high-level application. Based on the cognitive principles in the real world, interaction objects in virtual environments not only include some geometric attributes in the visual view, but also own some specific semantic attributes such as interaction rules, constraints and affordances, which are related with interaction process tightly. In this paper these objects are called semantic objects, in the sense that they know how the user can interact with them, giving clues to aid the interaction. Through parsing and interpreting interaction semantics, these semantic objects can help to realize high-level interaction metaphors above "direct manipulation". Because they hide low-level details about the implementation of interaction techniques, this kind of metaphors evidently improve the efficiency and usability of interaction techniques, and enable user to concentrate more on the high-level interaction control directly related with the special applications.

Key words: virtual environment; 3D interaction technique; semantics; feedback; navigation; object manipulation

摘要: 自然、高效的三维交互技术是虚拟现实系统成功应用的关键。现有的交互技术主要是从几何层次上考虑如何有效实现交互任务,而对面向高层应用的交互任务的支持还不够。借鉴人类在真实世界中的认知原理,虚拟环境中的交互对象不仅具有外观意义上的几何属性,而且包含了与交互有关的规则、约束和供给等语义属性,这些虚拟对象称为语义对象。在系统导航、对象选择/操作等交互任务的执行中,通过语义对象可以实现高层交互语义的封装和解析。从应用角度提高交互技术的效率和可用性,为用户提供“直接操纵”之上的面向高层语义

* Supported by the National Natural Science Foundation of China under Grant No.60303019 (国家自然科学基金); the National Grand Fundamental Research 973 Program of China under Grant No.G2002CB312103 (国家重点基础研究发展规划(973))

Received 2005-01-09; Accepted 2005-08-24

的交互隐喻,屏蔽交互技术的底层实现细节,使用户专注于应用领域相关的高层交互控制。

关键词: 虚拟环境;三维交互技术;语义;反馈;导航;对象操作

中图法分类号: TP391 文献标识码: A

虚拟环境作为一种新的信息展现形式,提供给用户一种丰富的感知体验,使用户可以在一个具有真实感的虚拟三维空间中进行诸如学习、探索和娱乐等活动。其中,实现用户和虚拟环境之间自然而高效的人机交互是虚拟现实技术成功应用的一个关键^[1]。与传统二维用户界面相比,用户在三维用户界面中需要控制的自由度增加为6个,交互复杂性也随之提高。另外,与真实环境相比,用户在虚拟环境中由于缺乏必要的深度线索以及触觉反馈和物体重力等物理感知能力,直接操纵虚拟对象往往是困难的,也是不自然的^[1]。目前的虚拟现实技术在应用方面还不够深入和实用与这些问题有直接的关系。因此,需要在以下两方面对三维交互技术深入加以研究:

- 1) 提供自然的或直接的交互能力;
- 2) 针对每种交互任务提供直接而有效的反馈。

从已有的三维交互技术研究来看,大部分工作是从任务和子任务实现角度以及自由度控制方面进行的^[1,2],如选择、缩放、旋转和平移等,主要考虑的是交互设备和交互任务的特点,虚拟场景和虚拟对象只在较低的几何层上参与交互任务的执行,没有明确参与到面向应用的高层交互语义的实现过程中。根据认知心理学,我们在真实环境中与实际物体进行交互时,大量地应用和借助了物体的“供给(affordances)”属性以及相互之间的约束信息^[3],例如门具有开、关两种状态,并有开门、关门两种功能,在门处于“开”状态时,只能进行“关”操作等。如果将这些信息应用到虚拟环境中,也就是建立虚拟对象的高层语义,使其不仅具有外观的几何属性,而且包含本身的操作信息和反馈线索,那么,虚拟对象就可以有效地辅助交互任务的完成,从而实现更为高效和自然的交互范式,同时,不仅为不同交互任务而且也能为不同操作对象提供自然的反馈。

本文从交互语义和交互技术相结合的角度进行研究,通过分析虚拟环境中的语义信息,建立虚拟对象的交互语义,实现了基于语义对象的导航和选择/操作技术,旨在建立一种面向应用的高层交互隐喻。最后,讨论了面向语义的三维交互系统的实现和应用实例。

1 相关研究

虚拟环境下,面向通用任务的三维交互技术分为导航(navigation)、选择/操作(selection/manipulation)和系统控制(system control)3个方面^[2],它们分别完成视点变换、对象选择和操作以及系统参数设置等功能。其中,前两项直接用于实现用户的交互任务。文献[1,2]对已有研究进行了总结,概括了不同应用环境下采用的交互技术和交互隐喻。在一个复杂的三维用户界面中,我们可以把交互任务的实现结构划分为3个具有显著特点的层次:

- 1) 底层几何模型;
- 2) 直接操纵隐喻层;
- 3) 面向高层语义的交互隐喻层。

其中,几何模型层提供用户在虚拟对象被操作时的可视反馈,包括整体或部分的平移、旋转、变形以及材质、纹理、颜色等几何属性的变化;直接操纵隐喻层负责定义用户怎样与虚拟对象进行交互,包括选取、点击、拖动、旋转等功能,它通过调用几何模型层的变换来实现;而面向高层语义的交互隐喻层允许用户实现更为复杂的交互任务,如在虚拟场景中指定路径进行漫游,这些任务是面向高层应用的,它们不容易通过单个的直接操纵来实现,需要由多个直接操纵层的动作序列组合完成,这一层能够体现更自然的交互过程和更直观的反馈效果。

目前已有的交互技术主要集中于几何模型层和直接操纵隐喻层的交互控制,通常把交互动作划分为选择(selecting)、定位(positioning)、旋转(orientation)等步骤^[1],对虚拟对象和视点的操作,通过一定的交互隐喻映射为这些基本动作来实现。而面向高层语义的交互任务通常根据特定应用需求,通过复杂的编程来实现。为了更好地实现以用户为中心的交互过程,交互技术应该使用户和设计人员能够面向更高层的交互控制,尽可能屏蔽底层的实现细节,从更高层次上对交互技术进行优化。有些研究工作在这方面进行了初步探索,如文献[4]中利用场

景的深度采样设计了上下文敏感的飞行导航技术,根据场景大小和缩放比例,合理地调整漫游速度;文献[5]中提出以对象为中心的导航技术,通过对象命名和外表面定义,使视点按照用户意图自动变换到虚拟对象的不同侧面方向上;文献[6]研究了虚拟环境中,引入对象之间空间约束的操作技术,探讨了采用简单设备实现复杂操作的方法.这些工作都或多或少地利用了一些交互场景和交互对象的特征属性来辅助交互过程,提高系统的交互能力.

本文从支持面向应用的高层语义角度提高三维交互技术的性能,通过封装虚拟对象的交互语义,实现直接操纵之上的高层交互隐喻,利用虚拟对象的语义约束和行为动作,辅助交互技术完成更高层的交互任务,使用户通过简单操作就可以完成复杂交互过程.

2 虚拟对象的交互语义

认知心理学认为:知识不仅存在于人脑中,而且也存在于外部世界的对象中,人类对世界进行感知和认知以及决策是通过这两种知识的结合进行的^[3].这对人机交互系统的设计具有重要的指导意义.在虚拟环境中,用户操作的界面元素是场景中的虚拟对象,从完成交互任务的角度来看,这些对象不仅具有外观上的几何属性,而且也包含了与交互有关的语义属性.

2.1 语义对象

语义对象的概念在以前的交互系统研究中已经有所提及,例如,可伸缩用户界面 Jazz 中提出的“信息透镜”概念^[7],界面对象根据视图的不同缩放比例,显示不同的外观信息;Ben Shneiderman 在信息可视化系统中提出的“按需提供细节(the mantra of detail-on-demand)”的技术^[8];Bowman 等人在 IRVEs 中提出的语义对象(semantic object)概念^[9],对象根据它被感知的距离确定其不同显示特性.我们从实现面向语义的高层交互隐喻的目标出发,提出虚拟环境下语义对象的概念.

语义对象是指虚拟场景中那些用户可感知的物体或对象能够根据一定的规则对交互事件进行响应和反馈,并执行特定交互任务.它们的属性不仅包括外观几何信息,而且包含交互上下文的语义信息.如图 1 所示,一个语义对象由图形构件(graphics component)、行为构件(behavior component)、规则构件(rule component)、交互构件(interaction component)和应用构件(application component)构成.

图形构件表达虚拟对象的外观几何模型信息,包括形状、颜色、材质、纹理等属性以及动态特征,如动画.在交互过程中,对象的几何模型与对象的行为相关联,不同行为产生不同的可视反馈.为实现高层交互语义,需要对图形构件进行更高层的抽象,把它看作一个“黑盒”,它所接收的输入不仅包含简单的几何变换指令,而且包含复杂的交互行为指令,使语义对象能够方便地响应更复杂的交互操作.语义对象的图形构件除了提供几何信息的反馈以外,还可以提供包括语音等的反馈线索,它们在交互中处于同一层次.

行为构件表达虚拟对象的各种行为,这些行为描述了语义对象对用户交互动作和对对象状态变化的响应,如鼠标点击一个对象变为选中状态,这个状态变化,通过可视的外观变化和声音来体现.同样,为支持高层交互隐喻,语义对象的行为可以由一系列简单行为组合而成,实现更大“粒度”的行为动作.在交互过程中,行为构件通过调用图形构件的功能来执行对象的行为.

规则构件表达虚拟对象的交互规则和约束,这些规则和约束用来确定对交互事件的响应行为,包括是否响应事件以及如何响应事件.例如,对象只有被选中后才能进行操作,门在打开后才能进行关操作等.另外,规则构

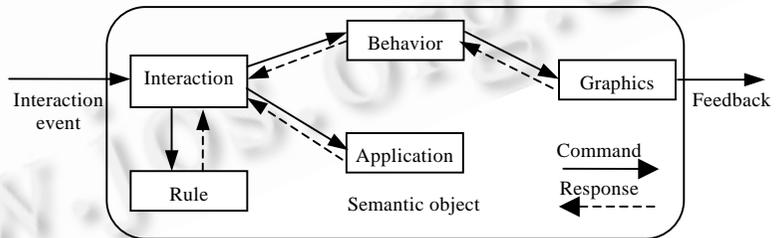


Fig.1 Multi-Component architecture of semantic object

图 1 语义对象的多组件体系结构

件中还包含某些特定的供给属性,这些属性描述虚拟对象是否具有某些交互特性,例如,路面具有“行走”供给,用户通过特定的三维手势可以在路面上指定漫游路线,而水面没有这种“行走”供给,不支持化身在水面上行走的交互操作。

交互构件表达语义对象可以响应的交互事件和对应行为.用户的交互操作转化为系统接收的输入事件,并分发给语义对象,交互构件解释这些交互事件的语义,确定对象需要产生的动作和行为,将这些对象行为通知给行为构件执行.语义对象除了具有几何意义上的行为外,还可能包含面向应用的任务,这些应用任务在应用构件中加以表达.交互构件除了能够处理点击、拖拽等基本交互事件外,还能处理更为复杂的交互操作,如三维手势等,通过对这些复杂操作的支持,建立更高层的交互隐喻,实现用户意图与应用任务之间更为直接的映射。

应用构件表达与语义对象关联的应用任务,语义对象是这些高层任务的可视化表达.用户与虚拟环境交互的目的,就是执行这些应用任务,也是面向语义的高层交互隐喻要表达的用户意图.应用构件中的应用任务由交互构件触发执行,图形构件提供视觉和听觉等方面的操作线索和交互反馈。

语义对象在对交互事件进行解析的过程中,各个构件通过通信进行配合,实现从输入“事件”到输出“反馈”的流程.构件之间的通信包括命令(command)和响应(response)两类:命令是指功能调用或状态、规则等的查询;响应是指对象的状态、行为、规则或约束等信息的反馈.例如,交互构件向行为构件发送查询命令以获取对象当前的状态,行为构件收到命令后,向交互构件反馈状态信息,交互构件根据状态信息确定执行的交互行为.再如,交互构件和规则构件之间,通过规则调用进行交互事件的分析和推理,实现复杂交互操作。

在图 2 中,虚拟架子鼓是一个语义对象,它在应用语义上对应一个架子鼓的学习场景,由应用构件来描述和封装;行为构件指定它的多个交互状态(如非激活状态、激活状态和执行状态等)以及状态转换行为;在不同状态下,架子鼓对象有不同的几何外观(如形状、材质和纹理等)和声音反馈(演奏架子鼓的音乐),这些由图形构件来实现;交互构件表达用户对虚拟架子鼓的不同交互操作(如靠近、触摸、打击等),交互隐喻将鼠标的移动、拖拽、点击等事件映射为具有语义的交互操作;这些交互操作有特定的触发条件和约束,例如,用户与架子鼓的距离较远时,不响应用户的操作,激活后才响应用户的操作等,这些交互规则由规则构件来表达。



Fig.2 Interaction behavior of a semantic object

图 2 一个语义对象的交互行为实例

2.2 语义对象的交互行为

虚拟对象的语义由一系列事件、规则、状态和行为构成,事件由用户的交互动作触发.通过观察和分析,我们将触发交互事件的行为分为两种:用户手势操作(*GestOpt*)和化身位置感应(*PositionRps*).*GestOpt* 是指用户在虚拟对象上进行各种交互操作,简单的如鼠标点击、移动、拖动等,复杂的如三维手势等.*PositionRps* 是指虚拟场景中用户化身的位置变化,这个位置变化可以改变虚拟对象的操作状态,如对象在化身可操作范围内时处于“可操作”状态,离开操作范围后变为“不可操作”状态。

在虚拟环境中,语义对象响应用户的 *GestOpt* 操作时,执行的行为依次描述如下:

CheckObjectState, 查询对象当前的状态 *StateVal*, 如果 *StateVal* 为 true, 则允许操作, 否则拒绝该操作;

SetObjectState, 设置对象的状态 *StateVal* 为 false, 使其不再接收这样的交互操作;

DoGestOpt, 解析和处理这个交互操作的有关参数 *Params*, 提交给对象的相关构件;

DoBehavior, 根据 *Params* 执行相应的对象行为, 实现交互反馈;

DoAppTask,执行与对象相关联的应用任务.

图2是用户和一个虚拟架子鼓交互的过程,在操作前,架子鼓处于非激活状态(如图2(a)所示),当化身的虚拟人靠近它时变为可操作状态(如图2(b)所示),进一步的交互操作将启动架子鼓的学习场景(如图2(c)所示).

语义对象对 *PositionRps* 的响应可以认为是一种主动行为,此时,用户和虚拟环境之间进行的是隐式交互,语义对象通过这种响应机制,可以主动感知交互上下文的变化,实现更为“聪明”的行为.

3 基于语义的三维交互技术

在虚拟环境中,语义对象从交互控制和交互反馈两个方面来辅助交互技术的实现,以提高其交互能力和反馈效果.下面,分别从导航和选择/操作任务实现中探讨基于语义的三维交互技术.

3.1 利用语义对象实现导航技术的融合

虚拟环境下的导航类型可以划分为有/无目标的导航、是/否指定路径的导航、用户驱动的导航和自动导航等.这些导航方式和导航技术各有优缺点,适合于不同的交互任务需求^[10,11].融合多种导航模式可以更好地适应用户的不同导航需求,提高导航效率,增加用户满意度.

多种导航技术融合的关键是实现“优美”、平滑的转换和连续、一致的反馈,也就是让用户能够在不同导航隐喻之间自然过渡^[11].如果通过系统控制方式进行切换,例如像 VRML 浏览器那样使用操作按钮进行变换,将使导航过程产生明显的不连续感,增加用户操作的复杂性.而利用语义对象来辅助导航操作,通过对高层交互语义的解析和推理来感知用户意图,可以实现多种导航方式之间自然的转换.下面,我们分别对每种导航技术的实现和相互转换进行讨论.

3.1.1 存在化身的用户驱动导航技术

用户驱动的导航(user-driven navigation)技术的特点是,视点位置和方向的变化由用户通过输入设备控制^[10].在桌面虚拟环境(desktop VR)中,鼠标前后移动映射为视点前进和后退,鼠标左右移动映射为视点方向的左右转动,变化速度由鼠标移动速度决定.为弥补 Desktop VR 下用户临场感的不足,我们在场景中设计和引入一个卡通形象作为用户化身(avatar),由化身代表用户在场景中漫游和操作.用户通过鼠标或笔来控制化身的运动,视点位置和方向跟随化身一起变化,这样的观察视图结合了第一人视点和第三人视点,既利于用户对虚拟场景的完整理解,也更容易感知自己所处的空间位置.

在用户驱动化身导航的过程中,化身作为一个语义对象捕捉用户的交互手势,通过解析手势的交互语义,感知和理解用户的导航意图,例如,用户在化身背后做“向前推”的手势时,化身将在虚拟环境中向前行走,推的范围越大表示推力越大,化身的前进速度也越快.在响应用户导航操作的同时,化身的行为构件执行对应的动画行为,模拟真实世界中人的某些运动行为,如站立、行走以及前进、后退、左转、右转等,如图3所示.

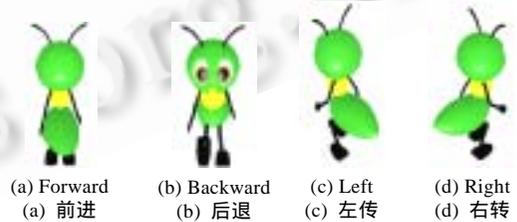


Fig.3 The movement state of avatar
图3 化身的运动状态

另外,化身在虚拟环境中漫游时,系统采用了地表跟踪和碰撞检测技术,以模拟真实环境中的重力作用和碰撞效果,使化身和视点始终沿着地表运动,并根据地形调整身体姿态和视角.这些复杂导航技术不需要额外的交互操作,由系统在内部完成相关计算,用户通过相对简单的操作便能实现复杂的导航过程.

这样,系统借助用户化身的语义行为,实现了更为简单、自然的交互隐喻,使控制导航的交互过程变得更为直观和易于理解,化身外形和动作变化提供了自然的操作反馈.另外,通过化身作为交互线索,触发和解除这种导航方式也比较直观.

3.1.2 基于路径规划的自动导航技术

基于路径规划的自动导航技术是指在导航过程中,视点位置根据预先规划的路径自动漫游到目的地.与用户驱动方式相比,用户控制目标位置但不具体提供导航动力^[10].在导航目标明确的情况下采用这种方式,用户的

工作负荷(workload)比较低,导航效率也相对较高.根据用户导航时选择的目标类型,可以把路径规划分为两种情况:

一种情况是固定路径的自动导航,导航的目标位置明确、固定.例如在儿童娱乐城中,从学习室漫游到音乐室时,导航路径在系统中提前预设,漫游目标通过场景中的特殊语义对象——可视化路标来选择,用户在这些路标上操作时,由路标对象解释用户的交互语义,并触发自动导航过程,化身和视点沿设定的路径自动漫游.

另一种情况是基于动态路径规划的自动导航,用户在场景中动态地设定漫游目标和路径.与前一种自动导航方式相比,它只需用户粗略地给出目标位置,导航目标的设定更为灵活,适合于大距离快速漫游.这种导航技术



Fig.4 Path-Planning automatic navigation
图4 基于路径规划的自动导航

的实现是以语义对象为基础的.例如,用户必须在地面等具有支持“行走”这种语义属性的虚拟对象表面上设定导航路径,没有这种语义属性的对象(如水面),不支持路径规划的交互操作.图4是一个基于动态路径规划漫游的例子,其中地面上的连线是化身的行走路径.用户在地面上通过三维手势指定导航路径和目标位置,系统实时反馈导航路线.

用户驱动化身在虚拟环境中漫游时,通过上述特定的语义对象,可以随时触发基于路径规划的自动导航方式,与通过系统控制的方式来切换导航模式相比,这种利用场景中的语义对象来实现交互方式的变换,对用户来说更为简单、自然.

3.1.3 面向目标的导航技术

另外一种自动导航技术是面向目标的导航.这种技术最初用于虚拟环境中的飞行导航^[12],目的是实现快速、准确的远距离漫游.它较好地解决了速度和准确性之间的矛盾,在飞行过程中利用视点到目标的距离自动调整飞行速度,飞行距离和飞行时间的函数关系如下:

$$f(t) = d - de^{-kt} \quad (1)$$

其中, d 是视点的最初位置到目标的距离, k 是一个调节参数, t 是飞行时间.视点离目标远时飞行速度快,随着与目标距离越来越近,飞行速度逐渐降低.为保持导航的连续性,系统增加了重力约束,视点由飞行改为化身和视点一起沿地面快速步行,让用户对导航模式的切换感觉更为自然,有利于空间感知.在移动视点位置的同时,视线方向也作相应调整,使其逐渐正对目标点的法线方向,给用户以最佳观察视角.当视点和化身进入目标位置的某一距离范围内时,这种导航方式自动解除,平滑地转换到其他导航方式.

另外,通过化身和语义对象,对原有技术进行了改进和提高,由用户驱动化身的手进行目标选择,而目标是场景中的语义对象,交互动作是一个三维手势,原有的方法没有对目标进行约束,用户可以选取场景中任意几何点.在复杂场景中,这样容易使用户发生误操作,降低导航效率,增加交互的计算量.通过语义对象,可以对用户可选的兴趣目标进行有效约束,只有具有可选语义的对象,才能作为导航目标,语义对象的反馈为这种操作提供了直观线索.为了减少用户的误操作,触发这种导航过程的交互行为不是类似于点击的简单操作,而是特定的三维手势,并需要持续一定时间,通过对语义对象中交互规则的设定,这种复杂的交互行为可以被语义对象识别和解析,并能方便地加以修改.

3.2 语义对象的选择/操作技术

在虚拟环境中,对象的选择/操作往往采用直接操纵技术(direct manipulation).这样的操作方法具有直观、自然的特点.然而,在某些复杂操作情况下,需要用户执行多个操作动作才能完成某个交互任务,使得对虚拟对象的操作费时、费力.另外,由于虚拟环境下通常缺少触觉或力觉反馈,也使得真实环境中看似简单的操作在虚拟环境中并非特别容易执行.为了克服直接操纵技术的这些弱点,三维交互技术不应该仅仅模仿现实,而是要超越现实,合理地减少完成操作任务需要的动作数量,降低用户的工作负荷,提高交互效率^[13].我们利用语义对象对直接操纵行为进行组合和封装,根据交互语义构置虚拟对象对应的不同行为序列,实现更高层的操作隐喻.

在用户选择或操作虚拟对象时,通过输入设备控制化身的虚拟手来产生交互行为 *GestOpt*,交互过程中的参与者包括操作者和被操作对象,这两者联合一致的交互反馈,有利于交互动作的执行和评估,如同在二维用户界面中鼠标操作按钮时,两者的外观状态同时发生变化给用户以提示.手的形状和动作根据用户的操作和任务的执行状态而发生变化,如触摸、抓取、释放和前推等,这些行为采用形象的卡通方式实现,为用户提供一种直观的操作线索,图 5 是一个手形变化的例子.与此同时,场景中被操作的语义对象根据交互规则对 *GestOpt* 进行解析,得到它的交互语义,然后由行为构件执行对象的交互行为,这些行为往往是多个几何变换的并行或串行组合.用户的操作按时序划分为接近、选择、操作中、操作后等阶段,在每个阶段虚拟对象都有相应的状态和行为作为交互反馈,图 2 中对架子鼓进行操作就是这样的一个例子.除了视觉反馈以外,还增加了听觉反馈,通过多种感知信息的变化来提高反馈效果.这样,通过对高层交互语义的封装和解析,可以弥补 2D 设备在 3D 交互中操作自由度的不足,使用户可以通过简单的操作完成复杂的交互任务.

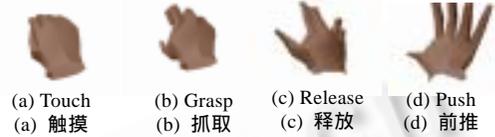


Fig.5 Various shapes of virtual hand

图 5 化身虚拟手的外形变化

4 面向语义的三维交互系统实现

4.1 语义模型

虚拟场景的组织结构采用场景图(scene graphs)^[14]形式.场景图是一个树形结构,根节点代表整个场景,子节点表示场景的各个组成部分.每一个节点由一个对象实现,所有这些对象的几何属性聚合在一起,构成了三维用户界面的“物理”模型,而这些对象的交互语义则构成界面的语义模型,语义模型服务于用户界面交互性的表达和实现.语义模型可以认为是具有特定应用含义和特定组织形式的场景构成模式,通过这种模式,用户界面可以方便地表达和处理不同应用语义,从而较好地解决场景图对交互语义处理能力不强的问题.

在加入语义模型概念后,一个虚拟场景所包含和表达的信息可以分为下面两部分:

- 1) 语义信息.在语义方面具有特定的词法结构和逻辑规则以及动态执行结构,与交互直接相关.
- 2) 可视化信息.可使人以观察、浏览和编辑的形式展示语义信息,也即用可感知的方式来表达虚拟场景.

通过语义模型可以实现应用任务、用户意图、界面元素和交互行为这四者之间更为直观的映射,系统也更容易捕捉用户的交互意图.

4.2 语义的解析和实现

在交互语义的解析和执行过程中,场景图在逻辑上被分为语义层和可视层:语义层实现交互事件的解析和应用语义的执行;可视层根据交互语义实现虚拟场景的几何变化,如图 6 所示.

- 1) 系统接收到用户的交互操作后,首先将其转化为交互事件.
- 2) 交互事件被分派到场景图中,通过对场景图节点的遍历,来确定响应该事件的节点即语义对象.
- 3) 语义对象对交互事件进行语义解析,确定所请求的交互任务.
- 4) 执行交互任务,由语义对象的行为构件和图形构件共同完成场景图的可视变化(另外,在交互任务的执行中,有时也需要其他语义对象的配合,由执行引擎激活相关联的其他场景图节点,执行关联的交互行为.例如,场景中相邻的两个路标,在化身接近后同时变为可选状态,在其中一个被选中后,另一个要回到不可选状态).
- 5) 最后执行应用任务,由应用构件触发语义对象关联的应用任务.

在系统实现中,交互语义通过 XML 文档来描述,系统运行时读取这些语义信息,建立场景图的语义模型,用户可以灵活配置和修改界面元素的应用语义.场景图的遍历采用 Visitor 模式^[15],它是一种双分派(double dispatch)机制,通过在访问者和被访问者(接受操作的元素)之间指派操作类型,来确定要执行的具体操作.通过这种双分派机制,可以方便地构造虚拟对象的不同交互行为,从而使一个交互任务由用户的交互动作和场景对

象的应用语义共同确定和触发.应用任务通过语义对象绑定的回调(callback)来指定,callback 本身也用了一个对象类封装,作为场景图节点对象的一个属性.

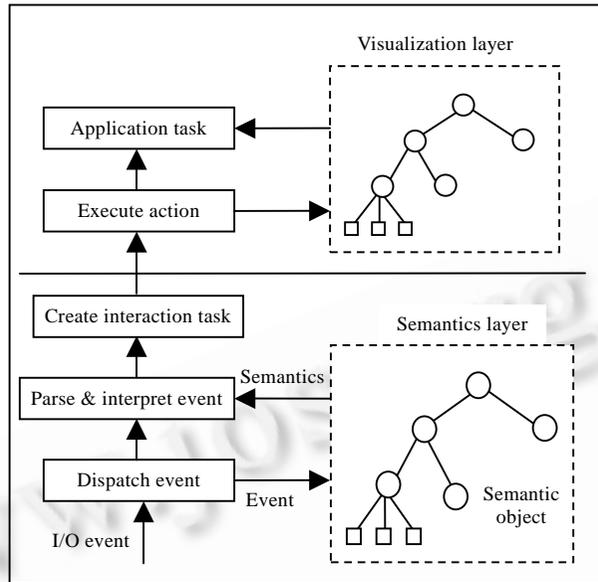


Fig.6 Interpretation and execution of interaction semantics

图 6 交互语义的解析和执行

5 应用实例和进一步的工作



Fig.7 Overview of children amusement park

图 7 儿童娱乐城的场景画面

基于上述研究,我们面向儿童开发了一个集游戏、娱乐、学习和益智为一体的虚拟现实系统——儿童娱乐城.场景画面如图 7 所示.通过对场景中虚拟物体的语义和动画行为进行封装,降低了三维操作的难度和复杂度,儿童以简单、生动的方式与三维场景交互,通过化身在场景中漫游,以操作或触摸虚拟物体的方式启动各种学习、娱乐场景.

儿童娱乐城作为一套新颖的虚拟环境下的益智教育软件,经过众多儿童直接操作和使用,在三维交互技术的可用性方面反映良好,取得初步成功.虚拟现实技术应用于儿童教育领域还处于探索阶段,其中,克服人机交互的障碍至关重要,基于场景语义的三维交互技术实现了更为自然、有效的人机交互方式.进一步的工作包括:研究交互语义的分类体系和表示方法、语义对象的建模工具,以及支持高层交互语义的三维用户界面开发方法.

进一步的工作包括:研究交互语义的分类体系和表示方法、语义对象的建模工具,以及支持高层交互语义的三维用户界面开发方法.

6 结论

通过对现有三维交互技术的分析,提出了面向高层语义的交互隐喻,利用语义对象辅助完成三维交互任务,从用户角度屏蔽三维交互技术实现中的底层细节,使用户更加专注于执行高层交互任务.从交互实现角度建立了语义对象的多构件结构,这些构件分别对交互事件、语义规则、对象行为、几何模型和应用任务进行封装,实现高层交互语义的解析.借助场景中的语义对象,不同交互技术和操作模式之间实现了自然的融合和平滑的切换,提高了交互效率和用户满意度.从系统设计和实现角度,三维用户界面不仅包括外观几何模型,还包括交互语义模型,语义模型实现交互中应用语义的解析,结合场景图讨论了语义模型的组织 and 实现,从软件体系结构

上增强对高层交互语义的支持。“以人为本,人机和谐”是虚拟环境下人机交互技术追求的目标.三维用户界面的应用还处于起步阶段,面向高层应用语义的交互技术和软件开发方法有待于进一步的研究.

References:

- [1] Hand C. A survey of 3D interaction techniques. *Computer Graphics Forum*, 1997,16(5):269–281.
- [2] Bowman D, Billinghurst M, Cugini J, Dachseelt R, Hinckley K LaVila J, Lindeman R, Pierce J, Steed A, Sttuerzlinger W. 20th century 3D user interface bibliography: An annotated bibliography on 3D user interfaces and interaction. 2005. <http://www.mic.atr.co.jp/~poup/3dui/3duibib.htm>
- [3] Norman DA. *The Design of Everyday Things*. New York: Basic Books, 2002.
- [4] Ware C, Fleet D. Context sensitive flying interface. In: van Dam A, ed. *Proc. of the Symp. on Interactive 3D Graphics*. New York: ACM Press, 1997. 127–130.
- [5] Elcacho C, Dingel T, Klein R. Object-Centered navigation in virtual construction applications. In: Skala V, ed. *Proc. of the WSCG 2001*. Plzen, 2001. 33–40.
- [6] Smith G, Stuerzlinger W. Integration of constraints into a VR environment. In: *Proc. of the 3rd Int'l Virtual Reality Conf. Laval: 2001*. 103–110. http://www.cs.yorku.ca/~wolfgang/papers/mive_vric2001.pdf
- [7] Bederson, BB, Meyer J, Good L. Jazz: An extensible zoomable user interface graphics toolkit in Java. In: Ackerman M, Edwards K, eds. *Proc. of the ACM Symp. on User Interface Software and Technology*. New York: ACM Press, 2000. 171–180.
- [8] Shneiderman B. The eyes have it: A task by data type taxonomy for information visualizations. In: van Zee P, Burnett M, Chesire M, eds. *Proc. of the IEEE Visual Languages*. Washington: IEEE Computer Society, 1996. 336–343.
- [9] Bowman D, North C, Chen J, Polys N, Pyla P, Yilmaz U. Information-Rich virtual environments: Theory, tools, and research agenda. In: Nakatsu R, Kishino F, eds. *Proc. of the Conf. on Virtual Reality Software and Technology (VRST 2003)*. Osaka: ACM Press, 2003. 81–90.
- [10] Wickens, CD, Baker P. Cognitive issues in virtual environments. In: Thomas A, *et al.*, eds. *Virtual Environments and Advanced Interface Design*. New York: Oxford University Press, 1995. 514–541.
- [11] Ji LE, Zhang FJ, Fu YG, Dai GZ. Fast-Speeding navigation: combining walking with flying. In: *Chinese Conf. of Virtual Reality and Visualization (CCVRV 2004)*. Dalian: Dailian Maritime University Press, 2004. 615–620 (in Chinese).
- [12] Mackinlay, JD, Card SK, Robertson GG. Rapid controlled movement through a virtual 3D workspace. In: Beach R, ed. *Proc. of the SIGGRAPH'90*. New York: ACM Press, 1990. 171–176.
- [13] Shneiderman B. Why not make interfaces better than 3D reality? *IEEE Computer Graphics and Applications*, 2003,23(6):12–15.
- [14] Strauss P, Carey R. An object oriented 3D graphics toolkit. In: Thomas J, ed. *Proc. of the SIGGRAPH'92*. New York: ACM Press, 1992. 341–349.
- [15] Gamma E, Helm R, Johnson R, Vlissides J. *Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software*. Boston: Addison-Wesley Longman, Inc., 1995. 331–345.

附中文参考文献:

- [11] 纪连恩,张凤军,付永刚,戴国忠.结合飞行的快速步行导航技术.见:CCVRV'2004 论文集.大连:大连海事大学出版社,2004. 615–620.



纪连恩(1972 -),男,山东高唐人,博士生,主要研究领域为虚拟现实,人机交互,计算机仿真.



付永刚(1975 -),男,博士生,主要研究领域为人机交互,虚拟现实.



张凤军(1971 -),男,博士,副研究员,CCF高级会员,主要研究领域为虚拟现实,人机交互, CAD/CAM 技术.



戴国忠(1944 -),男,研究员,博士生导师,CCF高级会员,主要研究领域为人机交互技术,计算机图形学.