

## 多人协作虚拟实验室综述

甘茂华<sup>1</sup> 阮丽娜<sup>1</sup> 李昌国<sup>2</sup> 杨 春<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(四川师范大学计算机科学学院 四川 成都 610068)

<sup>2</sup>(四川师范大学计算机软件重点实验室 四川 成都 610068)

**摘 要** 从多人协作虚拟实验室的需求、特征、模型和结构以及系统关键技术这几个方面对多人协作虚拟实验室的研究情况进行综述,分析比较了 CVL(Collaborative Virtual Laboratory)典型系统的特征,讨论了 CVL 系统的关键技术,最后提出了 CVL 系统存在的问题和进一步的发展方向,这对多人协作虚拟实验室系统的开发与研究具有一定的参考价值。

**关键词** 虚拟现实 虚拟实验室 多人协作虚拟实验室 计算机支持协同工作

## OVERVIEW ON MULTI-PERSON COLLABORATIVE VIRTUAL LABORATORY

Gan Maohua<sup>1</sup> Ruan Li'na<sup>1</sup> Li Changguo<sup>2</sup> Yang Chun<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(School of Computer Science, Sichuan Normal University, Chengdu 610068, Sichuan, China)

<sup>2</sup>(Software Key Lab of Sichuan, Sichuan Normal University, Chengdu 610068, Sichuan, China)

**Abstract** In this paper, the authors give an overview on the research work done in the field of multi-person collaborative virtual laboratory (CVL), including its requirements and features, model and architecture as well as key techniques. After analysing and comparing the features of typical CVL system and discussing its key techniques, some problems existing in CVL system are pointed out together with the direction of further development, this is of certain reference value to the research and development of multi-person CVL system.

**Keywords** Virtual reality Virtual laboratory Multi-person collaborative virtual laboratory Computer supported cooperative work

## 0 引 言

实验室承担着教学实验、科学研究、知识创新、教学改革和人才培养的主体工作,是教育改革、学科建设正常推进的重要保障,实验可以加深学生对所学理论知识的理解,增强学习兴趣,锻炼动手能力。而传统的实验室建设已逐渐难以适应社会前进的步伐,一些难度大、危险性高的实验很多学校都不能开设,学生只通过老师在课堂上的讲述对实验仪器及实验操作进行想象,缺乏动手操作的经验,这对于教育来说是个瓶颈。随着计算机技术、网络技术、多媒体技术和虚拟现实技术的发展,网络教学成为提高教育质量的有效途径,虚拟实验室成为实验教学的一种趋势。然而,目前的研究成果和发展趋势表明,仅仅对实验室内容和实验现象进行仿真的单用户虚拟实验室不能完全满足实验教学的特点,用户仍然不能通过网络越过地理上的分隔,彼此不能共享资源、互通信息,不能就特定的问题进行讨论、特定的实验进行协作操作。从而制约了实验教学质量的提高。

多人协作虚拟实验室 CVL 是一种特殊的虚拟实验室,可以实现网络空间中建立一个虚拟的交互式学习环境,以通过模拟和实现传统课堂的教学功能来为地域分散的网络用户提供一个共享协作式教学、学习和实验环境,使其不仅可以享有自由的教学和学习空间,还可以进行各种实时的交流与协作实验操作。这样,用户将不受时空限制,可以很方便地通过计算机网络系统实现远程控制与交互,能随时随地互通信息,进行虚拟实验操作,共享仪器设备,共享数据和计算机资源,沉浸于计算机虚拟

的三维世界中,进行师生协作、学生协作等方式的虚拟实验,并能获得如同在真实实验室中的实验效果。同时也弥补了上述虚拟实验室存在的缺陷。

CVL 的研究开发工作最早可以追溯到 80 年代初, Irene Grief 和 Paul Cashman 在其组织研究的如何借助于计算机支持来自不同学科的人们协同工作的课题中首次提出了计算机支持的协同工作 CSCW(Computer Support Cooperative Work),即在计算机技术支持的环境中,一个群体协同工作完成一项共同的任务,目标是要设计各种各样的协同工作的应用系统。1986 年 12 月在 Texas 召开的一次国际性学术会议中,众多专家学者将计算机科学、社会学、编制科学、心理学等多个学科的成果综合起来,产生了 CSCW 新的多学科研究领域,通信、合作、协调是其重要的构成三要素,在计算机环境下提供人们群体工作的支持是其最终目的。近年来,在计算机辅助教学中,越来越多的人从事面向远程教育的 CSCW 系统开发,并把虚拟现实 VR(Virtual Reality)作为实现协同工作环境的最佳方式,这样,在基于 WWW 的现代远程教育方面, CVL 才得到较大的发展,出现了一系列应用。

CVL 系统应具有以下六个方面的特征<sup>[16]</sup>: (1) 共享的虚拟工作空间; (2) 伪实体的行为真实感; (3) 支持实时交互, 共享时钟; (4) 允许多个用户间相互通信; (5) 资源信息共享以及允许

收稿日期:2008-10-19。四川省教育厅科研项目(07ZC058);四川省科技支撑项目(2008GZ0211)。甘茂华, 硕士, 主研领域:教育软件设计与开发。

用户自然操纵环境中的对象;(6)支持多用户协作操作。

CVL 系统的组成一般有实验虚拟模型、应用程序特定信息的数据库、网络设备、相互协作的工具、图形显示器等。CVL 系统是分布式系统与虚拟现实系统的有机结合,其需求分析如表 1 所示。

表 1 CVL 系统的需求分析

CVL 系统需求	
虚拟环境的构建	资源查的及定位
复杂行为建模	导航和视点控制
处理多种输入设备的能力	安全性管理
动态负载平衡	场景数据库管理
群体感知	碰撞检测
低延迟、高更新速率	并发控制
组播通信技术	人机交互
连续媒体支持	动态数据交换

1 国内外研究概况及典型系统介绍<sup>[1-5]</sup>

1.1 CVL 国内外研究概况

CVL 的研究工作始于 20 世纪 80 年代,一些著名大学和研究所的研究人员展开了对 CVL 系统的研究工作,并陆续推出了多个 CVL 系统,典型的例子有美国 NPS 开发的 NPSNET(1990 年)、美国斯坦福大学的 PARADISE/Inverse 系统(1992 年)、美国卡耐基梅隆大学的虚拟化学实验室项目 IrYdium、英国牛津大学化学系开发的虚拟化学实验室网站(1996 年)、瑞典计算机科学研究所的 DIVE(1993 年)、新加坡国立大学的 BrickNet(1994 年)、加拿大 Albert 大学的 MR 工具箱(1993 年)、英国 Nottingham 大学的 AVIARY(1994 年)、英国 Sussex 大学的 ARCOLite(2004)等。国内对于 CVL 的研究工作还不多,但目前 CVL 的建设也得到了应有的重视,已有部分高校初步建立了 CVL 系统。例如:清华大学利用虚拟仪器构建了汽车发动机检测系统;中国农业大学建立了网上虚拟土壤作物系统实验室,应用计算机模拟植物在三维空间中的生长发育状况,探讨虚拟植物模型在农业领域应用的关键问题;华中理工大学机械学院建立了一个工程测试虚拟实验室,学生可以通过联网计算机终端来进行仿真协作实验;中国科学技术大学人工智能与计算机应用研究室最新研制出我国第一套虚拟现实教学软件“几何光学实验设计平台”。该系统完成了光学虚拟实验室的设计,通过实验所提供的一系列光学仪器,学生可以协作完成所有的单透镜实验和组合透镜实验,并且提供了完整的文档和习题系统。

1.2 典型系统介绍

FutureLab 虚拟实验室是美国 Simulation Plus 公司在国家自然科学基金的资助下于 1998 年推出的面向中学地理、生物、自然、化学和物理等学科的协作性虚拟实验室。其突出的特点是,学生可以在虚拟实验室里尽可能发挥自己的想象力和创造力,自行设计实验,极大地提高了学生的动手能力、创新能力和协作能力。MBL 是印地安那州立大学开发的一个虚拟实验室,AdamAllerhand 教授在给新生开化学实验课时用计算机来辅助做这样一些事:(1)用计算机采集与分析实验数据;(2)用计算机展示虚拟实验;(3)在宽带网上发布相关的实验指导材料,包括各种格式的多媒体资料,如视频、图片、电子幻灯片、文字教材等;

(4)学生通过互联网进行协作操作实验。MR 是加拿大 Alberta 大学开发的 VR 应用工具箱。它是一个支持虚拟环境开发的子程序库。MR 还支持分布式用户界面、数据共享、多种交互技术和实时性能分析等。DIVE 是瑞典计算机研究所分布式系统实验室在 1993 年开发成功的一个实验性软件平台,用于支持多用户虚拟现实应用的开发。NPSNET 由美国海军研究生院(NPS)计算机系开发,它是第一个遵从 IEEE 1278 分布式交互仿真(DIS)应用协议和 IP 多点发送网络协议的 3D 虚拟环境,可用在 Internet 上进行多用户仿真。AVIARY 是一个分布式面向对象的 VR 系统,它支持多个用户、虚拟世界和应用系统。AVIARY 由英国 Nottingham 大学先进界面研究组(AIG)开发,它允许计算工作在异构的工作站网络上进行分布。表 2 对 CVL 典型系统的特征进行了比较。

表 2 CVL 典型系统的特征比较

系统	FutureLab	MBL	MR	DIVE	NPSNET	AVIARY
模型结构	面向对象	面向对象	共享数结构	共享数据库	分布式仿真	面向对象
体系结构	B/S	B/S	P2P	P2P	P2P	C/S
分布式计算	支持	支持	支持	不支持	不支持	支持
负载平衡	支持	支持	不支持	不支持	不支持	支持
网络环境	异构	异构	异构	异构	异构	异构
并行控制	支持	支持	支持	支持	支持	支持

2 CVL 系统的模型和结构<sup>[6-10]</sup>

2.1 CVL 系统模型

CVL 系统模型分为四层模型,如图 1 所示。第一层为“开放系统互联环境”,提供开放的通信支持环境,保证协同工作过程中有效的信息交流。第二层为“协同工作支撑平台”,解决协同工作所需的主要机制和工具,如信息共享、信息安全控制、群体成员管理;基本工具包括电子邮件、协同写作和讨论系统等。第三层为“协同工作应用接口”,在这一层中需要提供协同应用的编程接口 API、人机接口 HCI 和人际接口 IPI,通过标准化的服务接口向应用系统提供第二层的功能,使上层的应用系统与下层的支撑平台具有相对的独立性;提供有效、灵活、方便的人机交互接口,以及在协同工作环境下协作各方交互关系、规则和策略等。第四层为“多人协作虚拟实验室”,针对多人协作虚拟实验室应用领域,提供所需的协作支持工具的剪裁和集成,协作应用系统的开发。

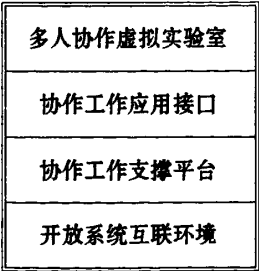


图 1 CVL 系统模型

2.2 CVL 系统结构

CVL 系统结构分为三种,分别是全集中式结构、全分布式结构和集中分布式结构,如图 2(a)、(b)、(c)所示。这些不同

的体系结构决定不同的多用户界面实现方式和共享信息管理的实现方式。

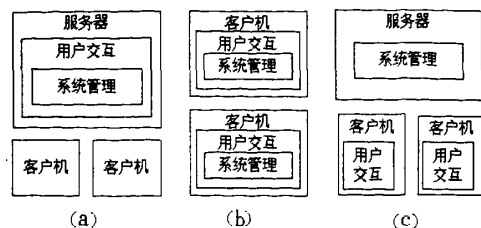


图2 CVL 系统结构

### (1) 全集中式结构

这是一种主机终端结构,整个合作环境在主机上只有一个集中式系统,任何用户在终端上的操作都要传输给主机系统。操作直接作用到集中存储的系统上,用户交互的运行结果也要通过网络传给终端显示设备。系统中主机为高性能的服务器,各终端只起到获取用户操作及显示系统信息的作用。这种结构的设计和实现方法类似于一般主机系统中的多用户系统,并发和访问控制必须由主机系统上的用户交互部分控制完成。这里需要传输大量的用户交互信息,这必然使主机系统的吞吐率成为瓶颈,网络负载过重,对于图形信息的传输,按 PAL 视频制式,要求有每秒 25 帧的彩色信息,这样,对于  $N$  台终端,按分辨率为  $640 \times 480$  且每个像素点为 256 色的显示要求,要求网络的传输速率为  $N \times 25 \times 600 \times 480 \times 8 \times 57.6\text{Ps}$ ,这种结构就目前的可用技术而言是不太可行的。

### (2) 全分布式结构

这是一种纯分布式结构,无服务器,各机器处于对等状态,合作系统在每台计算机上均有一份拷贝,共享信息也要在每台计算机上各置一份副本,而并发和访问控制全部处于各机器的用户交互部分。这种结构的主要问题是怎样保证多副本的一致性,它导致了以下问题:不同计算机上的系统运行状态可能做不到完全同步;由于网络的传输延迟,使得各用户操作的顺序不同于各系统副本上的执行顺序;几个用户对共享信息的并发操作造成的共享信息状态的不一致。

### (3) 集中分布式结构

这种结构与典型的客户/服务器结构形成了明显的对应关系,是上述两种的折衷方式。在一个客户/服务器的系统中,拥有局部自主能力的个人计算机或个人工作站作为客户机,可以充分发挥其界面友好、易于操作、用户众多等特点。借助于网络服务器系统,更能拓展用户的应用领域,完成更为重大的任务,客户/服务器结构已成为当前 CVL 系统采用的主要体系结构。在这种结构中具有以下特点:(1)系统的用户交互部分在每台客户机上各有一份,客户机向服务器传输共享信息的操作命令;(2)客户机间需要传送各用户的操作,每个操作的运行结果由各客户机上自行产生。在用户交互部分,上述可能产生的不一致仍然存在;(3)信息管理部分只有一个拷贝在服务器上,通过单个副本的集中控制,共享信息的不一致问题;(4)在这种结构下,服务器与客户机在任务分配上取得了更好的妥协,较好地发挥了服务器和客户机两种不同性能计算机的作用和能力,在系统性能、用户代价和实现方便性等方面均取得了较好的权衡。

由于客户/服务器结构具有的特点在很大程度上能够满足 CVL 应用的要求,也非常符合 CVL 应用系统工作的特点,所以集中分布式结构所对应的客户/服务器结构成为 CVL 应用系统

在目前技术下的主流体系结构。

## 3 CVL 系统的关键技术<sup>[11-16]</sup>

CVL 的开发涉及多个领域,包括组播通信技术、网络协议的设计和实现、人机交互技术、协同感知技术、动态数据交换技术、快速环境建模和实时图形绘制技术等,并且 CVL 本身带来的问题也需要开发人员解决,它们是虚拟实验一致性的管理、实时交互性的保证、有限带宽、处理能力、并发控制等方面。

### 3.1 组播通信技术

CVL 的信息协同共享可以采用点对点通信与组播通信两种方式。用户在进行虚拟实验时可以选择不同的方式。系统通过服务器端的消息转发机制读取用户发送到服务器端的字符信息中的控制字段,判断采用何种方式转发给其他用户。组播通信采用 java.net 包中提供的 DatagramPacket 类与 DatagramSocket 类开发客户与服务器端的应用程序。

### 3.2 人机交互技术

CVL 的一个特点是“沉浸性”,另一个是交互性。传统的交互技术已不能满足要求。这就必须使用多通道用户交互技术,包括文字、图形、图像、声音等。在 CVL 中,除了一般图形系统的人—机交互之外,还有人—人交互,并且要求是同步交互。实时同步的协同工作对 CVL 提出了更高的要求。同步交互涉及的问题包括同步交互请求和同步交互检测等。它是充分利用 CSCW 中的一些成果,把 CVL 与 CSCW 进行结合,形成一个多用户协作虚拟实验环境。

### 3.3 网络通信和网络协议

与 CVL 的高交互性和实时性相比,网络通信的带宽、延时就成为 CVL 的主要限制。CVL 要支持快速实时的网络通信,主要有两方面的问题。一方面是当 CVL 的规模变大时,多个角色之间的通信量会激增。在 CVL 中,大量分布于不同地点的计算机通过网络连接在一起,要使各工作站保持连续状态是 CVL 颇具挑战性的课题之一。另一方面是几何模型数据的实时传输问题,这里可应用的技术包括多分辨率模型传输、几何数据快速缓存及预取。另外,一些传统的网络协议并不能满足 CVL 的需求,必须研究新的面向 CVL 的网络协议。现有的一个典型例子是虚拟现实传输协议 VRTP(virtual reality transport protocols)。

### 3.4 协同感知技术

对于 CVL 中的协同实验,参与者可以通过网络在共享环境下进行信息共享与交流,共同学习、解决问题。这类应用的特点:一是实时性;二是参与者交互的直观性。实时性要求实时地在各 CVL 用户之间传输共享信息,包括环境变化、用户状态等。直观性要求感知到参与者的表情、动作和位置等,以便进行交流和学习。当前,对于协同感知技术的研究越来越热,这些感知技术已经能感知出协同者的动作、意图、环境等信息,为实现多人协作实验室带来了很大的方便。

### 3.5 动态数据交换技术

CVL 中数据传输比较频繁,如果采用一般的数据访问读取方式会产生一定的延迟,不能体现出实验仿真的实时性,尤其是当波形发生设备进行连续调整时,会因为数据交换的延迟而造成数据的丢失。为此采用动态数据交换(DDE)技术来协调

(下转第 143 页)

大学,2004.

- [7] 曾皓. 多语种软件构件库的分类与检索[D]. 北京:中国科学院研究生院,2008.
- [8] 李刚. Struts2 权威指南——基于 WebWork 核心的 MVC 开发[M]. 北京:电子工业出版社,2007.
- [9] 李刚. 整合 Struts + Hibernate + Spring 应用开发详解[M]. 北京:清华大学出版社,2007.
- [10] 蔡雪焘. Hibernate 开发及整合应用大全[M]. 北京:清华大学出版社,2006.

(上接第132页)

CVL 间的数据交换和命令调用。DDE 是 Windows 应用程序之间进行数据交换的一种协议,该协议通过对使用消息参数 wParam 和 lParam 来传递全局原子和全局共享内存句柄的方式的精确定义,使其能在进程间传递更多的信息,增强进程间共享数据和处理数据的能力。

### 3.6 快速环境建模和实时图形绘制技术

CVL 的快速建模问题也是一项关键技术,传统的基于几何的建模方法有其固有的缺点(速度慢、真实感差),现在,基于图像和几何的混合造型方法已得到较为广泛的使用。另外一个重要问题是 CVL 空间信息的有效组织与展示。在构造过程中需要了解对应于不同个体和任务的信息的不同视点,同时需要建立通过多个视点显示大量信息的机制。实时图形绘制是 CVL 的又一项关键技术(用于满足用户在虚拟环境中的“沉浸感”),在 CVL 中,这个问题变得更复杂。可以考虑使用限时计算、多细节层次模型、智能化视区裁剪、场景预处理、基于图像的绘制等技术,来保证图形的实时绘制。

## 4 需进一步研究的问题

尽管 CVL 的开发在理论方法和实现技术上都取得了一定的研究成果,但是,由于 CVL 所包含信息的复杂性以及人类主观感知的不确定性,还有许多问题有待更深入的研究:

(1) 多媒体的应用。把三维真实感声音、表情和姿态动作集成到 CVL 中,从而增加 CVL 的沉浸性及协作性。用户可以感受到真实的声音,来判断同伴的位置;通过观察同伴的表情,来判断同伴当前遇到什么麻烦,以给予恰当的帮助;通过观察同伴的实验动作,从而相互学习,相互指导。目前在这方面的研究也有了初步的发展。

(2) CVL 的优化。为了达到理想的运行效果,对实验室的优化是必需的。一方面需要对计算流程进行优化,设计出好的算法;另一方面需要从优化图像显示效果角度给与处理。

(3) CVL 系统的并发控制。CVL 系统是一个运行在网络中的多用户系统。采用的是多线程系统结构,每增加一个用户,系统的服务器就会为该用户分配一个运行线程,独立为该用户服务。这样就需要考虑并发控制,当一个进程方为某个共享数据时,它首先要进入临界区进行并发控制,保证没有别的进程同时访问,协调多用户同时实验时产生的冲突。现阶段已经有不少的研究人员提出了并发控制算法,也取得了一定的成效。

(4) CVL 系统的安全性。随着网络技术的迅速发展,网络安全也成为人们较为关注的问题,在 CVL 中,系统的安全性方面也是一个比较迫切的问题。如何使用户的实验数据、文件等得到安全的保存,防止恶意人员篡改、盗窃。

(5) CVL 系统结构的扩展。目前开发的 CVL 系统结果大都是简单的 B/S 模式,但是当系统变得较为复杂,用户变得比较多时,系统的服务器端就要进行更加复杂的设计。由于数据通信量大,多用户请求和数据访问都直接来自客户机,网络流量的提升导致系统出现带宽瓶颈,因此,将来可以考虑将服务器系统结构扩展为多层,减轻服务器的负担。

## 5 结束语

随着网络技术、多媒体技术、虚拟现实技术的发展,人们对虚拟实验室的要求也越来越高,如共享性和高效性、交互性和自主性、开放性与协作性、真实性和沉浸性、经济性与安全性等。文章从多人协作虚拟实验室的需求、特征、模型与结构以及系统关键技术这几个方面对多人协作虚拟实验室的研究情况进行综述,讨论了存在的问题和进一步的发展方向。从中可以看出,要开发一个好的 CVL 系统,需要考虑多种因素:有限的网络带宽、异构性、交互协作性、规模可扩充性、功能可扩充性、反馈性、系统的优化性等。在今后的研究工作中,将从这几个方面出发,开发出更优化的多人协作虚拟实验室。

## 参考文献

- [1] 刘筱兰,张薇,程惠华,等. 虚拟实验室的类型及发展趋势[J]. 计算机应用研究,2004(11):8-10.
- [2] 宋蔚. 基于虚拟现实的虚拟实验研究[D]. 重庆:重庆大学,2005.
- [3] 姜学智,李忠华. 国内外虚拟现实技术的研究现状[J]. 辽宁工程技术大学学报,2004,23(2):238-240.
- [4] David Yaron, Rea Freeland. Uses of a Flexible Virtual Laboratory Simulation in Introductory Chemistry Courses.
- [5] Sergio Bermejo. Cooperative Electronic Learning in Virtual Laboratories Through Forums. IEEE Transactions on Education, 2005, 2(1):140-149.
- [6] 雒伟群,何丕廉,任大同,等. 协同虚拟实验室关键技术的研究[J]. 计算机仿真,2004(12):252-254.
- [7] 彭小兵,李方敏,李仁发. 基于协作的虚拟实验室平台研究[J]. 计算机工程与应用,2001(4):57-60.
- [8] 郑耿忠. 基于 Web 的协同电路虚拟实验室的设计及实现[J]. 计算机时代,2006(4):50-52.
- [9] 黄玲,陈元琰,朱新华. 分布式协调虚拟实验室的设计与实现[J]. 计算机工程与设计,2007,28(4):966-968.
- [10] 黄玲,陈元琰,林士敏. 基于 HLA/RTI 分布式协同虚拟实验室设计[J]. 广西科学院学报,2005,21(4):252-255.
- [11] Division Ltd. dVS Technical Overview. 1993. <http://www.ptc.com/products/division/index.htm>.
- [12] Jorg Keller, Ralf Naues. A Collaborative Virtual Computer Security Lab. IEEE Computer Graphics and Application, 2006.
- [13] Stytz M. Distributed virtual environments. IEEE Computer Graphics and Application, 1996, 16(3):19-31.
- [14] 谢锦. 基于协作的分布式虚拟实验室平台的研究[D]. 长沙:中南大学,2004.
- [15] 刘江红. 基于多 Agent 协作的网络虚拟仪器实验室的研究[D]. 长沙:湖南大学,2007.
- [16] 周新莲. 支持协同操作的虚拟教室的研究与开发[D]. 长沙:国防科学技术大学,2001.