

# CAVE 系统的发展及在医学领域中的运用

王晓民 R.E scott<sup>2</sup> 周卫东<sup>1</sup> Laurence Turner<sup>2</sup>  
(山东省立医院山东省远程医学中心 济南市 250021)

**摘要** CAVE 系统是虚拟现实技术运用中很受欢迎的一个系统工具,越来越多的科研教学工作围绕这一高科技工具展开。结合所访问的卡尔加里大学医学院的 CAVE 系统分析了该系统的结构和工作原理,并对未来 CAVE 系统在医学领域的运用作了简要描述。

**关键词** CAVE;虚拟现实;三维模拟

中图分类号:TP391.9 文献标识码:A 文章编号:1003-8868(2004)03-0026-03

## Development of CAVE system and its application to medical fields

WANG Xiao-min, R.E scott<sup>2</sup>, ZHOU Wei-dong<sup>1</sup>, Laurence Turner<sup>2</sup>

(Telemedicine Center of Shandong Province, Provincial Hospital of Shandong Province, Jinan 250021)

**Abstract** CAVE system is a popular high-tech virtual reality tool for more and more research and education projects in the latest years. In this article, a CAVE system in Calgary University applied mainly for medical purpose is introduced on its structure and working principle. The description is also given on the application of CAVE system to medical fields in the near future.

**Keywords** CAVE; virtual reality; three-dimension simulation

### 1 前言

虚拟现实 VR(Virtual Reality)是近年来十分活跃的技术研究领域,是一系列高新技术的汇集,这些技术包括计算机图形学、多媒体技术、人工智能、传感器和高度并行实时计算技术,以及行为学、心理学的应用。

虚拟现实系统一般可分为桌面虚拟现实系统(Desktop VR)、沉浸式虚拟现实系统(Immersive VR)、分布式虚拟现实系统和遥现系统(Telepresence VR)<sup>[1]</sup>。

洞穴式 VR 系统 CAVE 是一种基于投影的环绕屏幕的自动虚拟环境(Automatic Virtual Environment)。由于该系统具有高度的沉浸感,可结合多种媒体手段取得良好的交互效果,可以运用到许多领域如进行科学可视化、艺术品展示、有限元计算、天气预报、大型模拟器等<sup>[2-4]</sup>。

CAVE 系统在医学领域的应用有许多优势,加拿大卡尔加里大学医学院专门引进了一套 CAVE 系统用于医学研究,本文将对该系统在医学领域的运用进行着重分析和介绍,最后对该系统的将来发展进行简要预测。

### 2 CAVE 系统原理

如图 1 所示,其结构是一个立方的空间,前、左、右三面墙各有一个投影屏,地板也有一个向下的投影屏,相当于用投影仪把立体全彩色工作站域以 120Hz 的频率显示 2000~4000 个像素点。用轨迹跟踪器或与电传感器相连的升高器来跟踪使用者的头和手。立体光闸眼镜用以分离眼睛的交替重叠区域。由 4 个 SGI 图形终端形成图像画面(一个屏幕对应一个工作站),如图 2 所示。将 CAVE 空间置于约 3m×3m×3m 房间里。并且要求在整个系统里达到 (1)高

分辨率的彩色图像和无几何失真的良好的环境视野 (2)减弱对导致错误的头部旋转灵敏度 (3)把 VR 图像与真实工具混合起来(比如手) (4)类似在人类世界中以合理方法引导和教授他人需求 (5)把联网的超级计算机与数据源耦合起来用于连续精化。由于 CAVE 是被屏幕包围着,利于图像连续精化。连续精化是计算机图形中的一项常见技术,它的原理是不时交替运动,冻结并填充图像。在 CAVE 中,参观者可以随时走到一处地方,并把一系列 4 幅高细节化的图像发送给一台超级计算机,参观者仍处在立体视野中。此处的超级计算机必须是浮点机,一种普遍使用的向量机,由于需要把 4 幅 1280×1024 点阵的 24 位信息图像以 120 帧/秒的速度送到工作站,接近 2000 兆字节的吞吐量。通过浮点方式可以传输多边形网格,使工作站图形发生器在任何可能时间工作。

CAVE 在工程设计和研究领域可用来 (1)机车内外观设计、分析 (2)快速模型生成 (3)空气动力学评估 (4)远距离协同

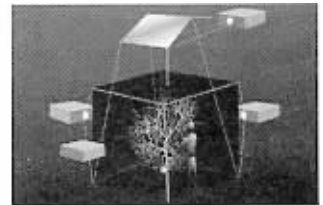


图 1 CAVE 示意图



图 2 CAVE 实际外观



作者简介:王晓民,硕士,主管技师,R.E scott,加拿大卡尔卡大学远程医学中心教授。

1 山东大学信息科学与工程学院 济南市 250100

2 卡尔加里大学医学院远程医学中心 加拿大

设计、检测 (5) 有限元研究 (6) 可视操作、模拟和分析 (7) 流体动力学研究 (8) 污染散发研究 (9) 动作研究。

CAVE在制造业领域可用来 (1) 制造、装配设计与模拟 (2) 机器人组装设计与模拟 (3) 部件分析 (4) 远程操作与展示。

CAVE在建筑领域可以用来 (1) 地址设计分析 (2) 空间计划 (3) 内部装饰设计 (4) 结构浏览 (5) 在线分析 (6) 城市设计。

CAVE在市场领域可以用来 (1) 产品计划编制 (2) 包裹设计 (3) 消费者测试与调查 (4) 经营管理介绍 (5) 实时顾客交互行为操作 (6) 产品演示。

CAVE在地球物理勘探中可用来 (1) 海洋地理学研究 ; (2) 地震地理学研究。

还有其他一些用途,诸如:应用于天体物理学、大气科学、化学、生态学、粒子物理学、图形建模等领域<sup>[5]</sup>。

CAVE 被广泛接受作为VR的发展模式之一还有以下原因,它扩大了虚拟实验的使用界面,提高了质量,并且已经达到下面目标:产生大角度视野建造高分辨率全彩色图像,它允许许多人同时参与VR感受,相比基于监视器的头部固定显示器HMD (Head Mounted Display) 和双眼全向监视器Booms (Binocular Omni-Oriented Monitor), 它的三维立体图像只有很小的失真。使用者使用轻质的立体眼镜和控制手柄,减少了使用的不适。并且,投影平面不随观看者的运动而转动,明显缩小了因头部旋转而产生的噪音跟踪的延迟误差灵敏度,如图3所示。

### 3 CAVE系统组成

由于卡尔加里大学医学院生物信息科学机构的杰出研究成绩,Sun Microsystems决定投资600万加元(合3000万人民币)引进该套CAVE设备,该系统作为卡尔加里大学医学院生物信息科学的研究,设备于2002年2月引进投入使用。由加拿大 Sun Microsystems (Palo Alto, CA)、Fakespace Systems 公司(Kitchener, Ontario)、阿尔伯它省科学与研究司,Alberta Sci-



图3 使用者在CAVE里观察模型

ence and Research Authority (ASRA) 等机构共同协作建立了科研合作伙伴关系,并以“Sun Center of Excellence” (COE)的称号命名,隶属于加拿大生物信息资源 Canadian Bioinformatics Resource (CBR)的研究体系。

该系统的主要机器组成有 SunFire™

6800,一个由20个750 MHz CPU组成的中央服务器;20G的共享主存;4个 Expert 3DTM 图形处理卡;Sun StorEdge™ T3 构成阵列的5000G的硬盘空间;5000G的Sun™ L180备份数字线性磁带库 Digital Linear Tap (DLT);20000G容量Sun™ L700 DLT 慢存储系统;整套系统运用的是 Solaris™ 8平台。

该系统是世界上第一套利用Java 3DTM技术支持的CAVE自动虚拟现实环境,卡尔加里大学医学院的教职员工都可以网上免费注册下载相应软件,可以安装到个人PC或者苹果机上,用来观看演示动画或者自己制作程序进行预演,加拿大生

物信息资源 Canadian Bioinformatics Resource (CBR)负责对学生进行软件使用的培训和咨询指导工作。

### 4 CAVE发展现状及应用

自从1992年在美国计算机协会绘图专业组 (SIGGRAPH) 展示会上最初亮相以来,CAVE受到诸多研究领域的瞩目,CAVE构成的VR模拟环境应用领域广泛,在医学领域主要有以下几个应用 (1) 人体解剖内视 (2) 建立可视分子生化结构 (3) 手术模拟、研究及培训 (4) 神经系统科学 (5) 心理检测与治疗 (6) 康复学。

目前,本系统已经作为教学手段运用于人体解剖结构的学习,开展分子和生理系统的模型模拟,心脏、骨骼、神经元结构等各种教学与科研组件已经可以在CAVE里得到满意的可视效果。在教授Christoph W. Sensen带领下,目前生物实验室正在试图建立一个对染色体注释的四维时空体系,并使之在CAVE系统下可见并可感知细微结构<sup>[6]</sup>。

除了卡尔加里大学医学院的科研项目,在其他许多科研机构也纷纷围绕CAVE开展了许多研究。

美国国家超级计算应用中心 National Center for Super-computing Applications (NCSA) 领导下的美国科学视觉分析实验室在基于CAVE上的虚拟现实方面做了不少工作,爱荷华州IOWA建立了复杂的HIV病毒可视模型<sup>[5]</sup>,美国Illinois伊利诺斯大学的研究人员曾经使用研发的软件,建立了在CAVE环境下的蛋白质的几何结构,观察到了其它模型方式难以注意到的蛋白质自交叉行为(Self Intersection)<sup>[7]</sup>。

日本研究人员在1998年“Medicine Meets VR”学术会议上报告了“床边保健系统”的研究项目,该系统能让卧床不起的病人“进入”虚拟的森林中散步。病人仰面躺在床上,双脚轻踏脚踏板,他面前的三屏幕视频阵列就会显示森林中的景色,同时还有立体效果的鸟叫声,小溪的流水声和吹过树梢的风声。在屏幕中央的下面开槽处给“散步”的病人送来带有松树的香味的微风<sup>[8]</sup>。CAVE完全可以构造多种氛围的自然和社会环境,对病人的身心起到明显的治疗效果。

CAVE系统能发挥作用的一个重要领域是远程医学。美国维吉尼亚大学的远程医生工作站运用VR技术实施远程诊断,在远程诊断过程中,异地的外科医生通过VR考察相同的三维可视化的病人数据,就同一个病例交换意见。VR的另一个主要应用是远程操作,或用于机器人外科,或通过VR指导远地外科医生进行手术,利用CAVE可以大大加强通讯交流双方的临场感,提高会诊的质量。但在这里一个重大问题是网络延迟,因为这种应用需要几乎是立即的交互作用。在远程外科中,人造卫星通信所引入的小的延迟也是无法接受的。

### 5 纵横比较

CAVE虽然应用领域广泛,但其超高价位是阻碍该技术普及的一个重要原因。我国开展医学领域的VR研究也是近几年的事情,在器官虚拟和康复治疗方面也有相应的报道<sup>[9,10]</sup>,但是国内目前只有少数科研机构拥有CAVE应用于有限的科研项目,浙江大学CAD&CG国家重点实验室也完成了一个基于PC的廉价CAVE系统的实现方法PCCAVE。使用4台微机配合中低档的图形显示卡构成图形绘制系统,代替SGI工作站和Reality Engine高档工作站图形卡,整体上是一个主从式并行计算结构,主节点提供人机交互控制接口,从节点接受主节点命令和

绘制立体图像。PCCAVE的通信子系统使用MPI实现,实现了并行计算的同步控制和智能信息代理服务,图形子系统以DirectX和OpenGL作为底层图形API。还研究了系统的主要瓶颈和性能指标,利用该系统实现了浙江大学的校园漫游。结果表明该系统的许多指标都超越或者接近于SGI Onyx 2,具有良好的推广前景和较高的实用价值<sup>[11]</sup>。

近几年来,网络技术的发展尤其是Internet的高速发展,为虚拟现实技术注入了新的活力,基于网络的大规模虚拟场景漫游成为研究的新热点。随着计算机性能和图形加速卡处理能力的日益提高,使用分布计算机系统代替昂贵的SGI工作站成为可能。计算机集群是采用工作站或微机做计算节点,通过网络连接形成高性能并行计算平台。Clusters又称之为NOW(networks of workstations)或COW(clusters of workstations)。由于采用商品计算机做处理器节点,具有价格便宜、易更新性和可扩展性优势,有很高商业前景,Clusters已成为并行计算机(MPPI机)一个重要的体系结构。

美国维吉尼亚George Mason大学的Edward J.Wegman教授利用奔腾微机系统和WINDOWS NT实现了一面墙的MINI CAVE,大大简化了硬件配置并降低了成本<sup>[12]</sup>。另外,智利Santiago de Compostela大学的科学研究组2000年研制了NAVE系统,该系统是一个基于PC的廉价CAVE系统,由3台Pentium500加TNT2图形加速卡组成图形绘制系统,1台Pentium450和SoundBlaster LIVE!组成立体声系统。该系统采用三投影面,相邻两个面之间的夹角为120°,使用偏振光的方式实现立体图像,每个面使用2台廉价的投影仪,投影仪价格每台6000~15000美元,分辨率1024×768,60帧/秒。立体眼镜采用低于1美元的偏振光眼镜。无头部跟踪设备。该系统整体硬件造价小于60000美元<sup>[13]</sup>。这样,继续降低成本将会使原本昂贵的CAVE技术走进更多的科研院所甚至家庭<sup>[14]</sup>。

## 6 展望

随着CAVE系统的性能的改进和造价的降低,将会有更多的科研项目在虚拟环境下展开。在不久的将来,高速宽带数据通讯技术将使目前局限在实验室的CAVE数据送到各个网络终端,图像时延的降低将会改善远距离的互动效果,这就为CAVE由目前的主要用于实验室静态或缓动图形分析转变为

网上高速互动模拟作了充分的准备,而通过激光光束构建的无框架空间CAVE将会成为下一代虚拟空间的发展方向,届时通过这种理想的多媒体交互工具,我们的数字化生活也将因此而更加丰富多彩。

## 参考文献

- 1 曾芬芳.虚拟现实技术.上海交大出版社,1997
- 2 Cruz-Neira C, Sandin D.J, DeFanti T.A. Virtual Reality: The Design and Implementation of the CAVE. In: Proceedings of SIG GRAPH '93 Computer Graphics Conference. New York: ACM press, 1993.135~142
- 3 Browning D, Cruz-Neira C, Sandin D.J, et al. The CAVE Automatic Virtual Environment: Projection-Based Virtual Environments and Disability. Proceedings of the First Annual International Conference, Virtual Reality and People with Disabilities, 1993:126~131
- 4 Bergamasco M, Frisoli A, Barbagli F. Haptics technologies and cultural heritage applications. Computer Animation, 2002:25~32
- 5 <http://www.cave.vt.edu/>
- 6 <http://www.fp.ucalgary.ca/bmb/core%20services/suncenterofexcellence.htm>
- 7 Akkiraju N, Edelsbrunner H, Ping Fu et al. Viewing geometric protein structures from inside a CAVE. Computer Graphics and Applications (IEEE), 1996,16(4):58~61
- 8 周果宏.医学虚拟现实的主要应用领域.世界医疗器械,2002,8(6)
- 9 黄靖远,刘宏增,李海燕,等.虚拟现实“康复工程前景初探.生物医学工程学杂志,1999,16(2):203~08
- 10 张力峰,刘锋,吕维雪.虚拟心脏研究与运用.中国医疗器械杂志,2000,24(2):93~96
- 11 杨建,石教英,林柏伟,等.PCCAVE:基于连网PC的廉价CAVE系统.计算机研究与发展,2001,38(5):513~18
- 12 Wegman E. Affordable environments for 3D collaborative data visualization. Computing in Science & Engineering, 2002, 2(6):68~72, 74
- 13 <http://www.gvu.gatech.edu/virtual/nave/index.html>
- 14 DeFanti T.A., Sandin D.J, Cruz-Neira C.A. "room" with a "view". IEEE Spectrum, 1993, 30(10):30~33,39

(2003-06-10 收稿 2004-01-30 修回)

(◀◀上接第25页◀◀)

人民卫生出版社,1989.1~10

- 9 张红星,张唐法.BME-504型中医灸疗仪临床应用体会[J].中国针灸,1999(9):567~568
- 10 付铁胜,周桂香.仿灸灸聚焦光源辐射治疗乳房囊性增生病的临床观察.黑龙江医学,2002,26(8):596
- 11 邱翠琼,叶建红,刘玉珍,等.电温灸器的研制及临床使用效果观察[J].南方护理学报,2001,8(3):3~4
- 12 韩钟,徐晓庆,肖定柏,等.康为电子灸与传统艾灸作用的比较测试报告[J].中国针灸,2000(8):476~478
- 13 刘志朋,殷涛.多功能中医针灸治疗仪的研制与应用[J].生物医学工程与临床,2002,12(2):106~108
- 14 乐小燕.DAJ多功能灸灸仪治疗膝关节骨性关节炎临床观察[J].中国针灸,2001,21(11):687~688

- 15 殷涛,冯旭,刘志朋,等.BME-500系列微机化多灸头自动控温中医灸疗仪的研制和临床试用报[J].中国针灸,1999(1):47~49
- 16 顾训杰.针灸器材的研制与应用[J].上海针灸杂志,1998,17(6):33~34
- 17 张红良,陈世途,刘玉萍.药条灸在过程中的可见光和红外光谱分析[J].光谱学与光谱分析,1999,19(3):344~346
- 18 丁光宏,沈雪勇,褚君浩等.中医灸与人体穴位红外辐射光谱特性研究[J].中国生物医学工程学报,2002,21(4):356~360
- 19 李忠明,范素勤.激光针灸及其作用机理[J].咸宁师专学报,1999,19(3):36~40
- 20 李忠明,肖莹.激光针灸的光子辐射效应与物理机制[J].咸宁师专学报,1997,17(3):23~24

(2003-10-16 收稿 2004-02-23 修回)