

真三维立体显示技术

姜太平 沈春林 谭皓

(南京航空航天大学自动化学院 309 研究室, 南京 210016)

摘要 当今,在二维平面显示器流行的时代,一种三维立体显示器及其相关技术正在迅速兴起.通过介绍常用的几种表示三维数据的显示方式,解释了基于体素的三维显示技术,并介绍说明了三维显示技术的几种主要类型,然后在此基础上,又重点介绍了真三维立体显示技术的基本原理、主要技术的发展过程,并对采用该技术的几种主要产品的基本原理进行了必要的说明;接着解释了真三维立体显示器的一些主要性能参数,比较了几种目前最新产品的性能;最后,对真三维显示器的应用前景作了简要阐述.

关键词 计算机图象处理(520·6040) 立体显示 真三维 旋转屏幕 综述

中图分类号: TP391.4 TP334.1 TN873.2 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2003)04-0361-06

Overview of the True Three-Dimension Volumetric Display Technologies

JIANG Tai-ping, SHEN Chun-lin, TAN Hao

(Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, College of automation engineering No. 309, Nanjing 210016)

Abstract Now the people get the 3D effects by rotating the 2D images on the planar screen. But the effects are limited. They only can get the psychology depth, not the physical depth. In order to get the true 3D effects, some new technologies of 3-D volumetric display are coming up now. The volumetric display is basing on the "Voxel" (Volumetric pixel). This paper explains some main types of the 3D volumetric display technologies. Of them, a new 3D display technique is superior, which is called "True 3D Volumetric Display". Its scientific design can make the real depth cue. The observer can watch the 3D image from any angles without the special glass and get the different cue theoretically. It includes two realization method: Swept-Volume display and Static-Volume display. This paper emphasizes the basic theory, the history and the actuality of the volumetric display technologies. Then, it introduces some of main performances, and compares the performances of some products. Specially, it describe the theory of the rotating imaging in brief. At last, the true 3D volumetric display's application also is illuminated. In our country, the related research is empty. Also the application is null. But some applications has been used outside, such as the Air Control System in civil aviation, the product exhibition in the advertising.

Keywords Computer image processing, Volumetric display, True 3D, Rotating screen, Overview

0 前言

当今社会是信息社会,来自超级计算机、卫星、先进医学成像设备以及地质勘探等各个领域的数据与日俱增,人们总是希望能将这些数据变换成人们容易接受和理解的形式——图象,因此产生了可视化技术(Visualization).现代可视化技术指的是运用计算机图形学和图象处理技术,将数据转换为图

形或图象在屏幕上显示出来,并进行交互处理的理论、方法和技术.它涉及到计算机图形学、图象处理、计算机辅助设计、计算机视觉及人机交互技术等多个领域.并且根据侧重点不同,分为科学可视化(Scientific Visualization)、数据可视化(Data Visualization)、信息可视化(Information Visualization).其中,科学可视化的一个重要分支——体可视化(Volume Visualization)技术,研究的是体数据的可视化问题,它已经有 20 多年的发展

基金项目:国防科技工业委员会的基础预研项目(K1601060109)

收稿日期:2002-04-16;改回日期:2002-11-25

历史。现在,其从概念、原理到方法都得到了全面的发展。但如何实现真正的体数据的显示,一直是很多实验室和研究所的研究重点。近几年来,由于计算机性能和处理能力的大大提高,三维图象的显示技术已取得了突破性的发展,目前最新的体数据显示技术就是真三维立体显示技术。

我们的现实世界是三维世界,目前,最常见的三维显示方式是采用二维的计算机屏幕来显示旋转的2D图象,从而表现3D效果的,可表示为:

3D效果=2D图象+旋转变换

显然,这种表示方式只有心理景深,而没有物理景深,就好像在看一幅贴在墙上的画一样,不论你从哪个角度看图象,效果都是一样的,没有真正的立体感。这种显示技术是基于传统的计算机图形学和图象处理技术的,是基于像素(pixel)的。

另一种三维显示技术,主要用在很多专用场合,比如一些沉浸式虚拟现实系统。它一般是通过佩戴专用的眼镜和其他辅助设备,运用视差效果来实现三维效果。虽然解决了视角和位置变化的问题,但仍没有物理景深,因为其本质上也是基于像素的,而且,不能同时满足多人同时观察和及时交互。有人称之为立体镜技术。

现代的三维显示方式则希望能通过一个3D显示器来直接显示三维图象,从而使得表现出的三维物体既有心理景深,更有物理景深,而且,多个观察者不需要任何辅助设备,就可以从多个角度直接观察三维物体,就像人们在观赏一个金鱼缸里的金鱼一样。这种技术是一门综合技术,而且是基于体素(Voxel;是Volumetric pixel的缩写)的。因此,有人就把这种显示器称为真三维立体显示器(True 3D Volumetric Display),相关的技术则称为真三维立体显示技术。

1 三维显示技术分类

一般,把三维显示技术分为立体镜技术、自动立体镜技术、立体显示技术、全息技术4种。

立体镜显示技术又分为沉浸式和半沉浸式,基本原理是:通过双目观察,将两个图象投影到两个眼睛,然后通过大脑将其组合,从而产生三维物体的感觉。在沉浸式系统中,观察者需要戴上特制的立体眼镜,图象处理系统将两幅图象各自输入至不同的镜片(显示器)上,从而使得不同的眼睛观察到不同的

图象;同时,观察者的头盔上配有头部运动跟踪器,通过该跟踪器,系统可以得到观察者头部的运动方向和速度,从而更新镜片上的图象,获得立体效果。但是,这些显示器所能看到的场景都必须是经过计算机处理,因此,这些系统不适合一些交互性要求很高的应用。例如,该系统中的虚拟手就无法测量观察者与场景之间的距离。

半沉浸式的立体镜系统,例如FakeSpace沉浸式工作平台,将一对图象投影到一个光滑的平面屏幕上,然后通过特殊的眼镜来观察,且保证每只眼睛只看到它本应看到的图象。正如在沉浸式系统中使用的头部运动跟踪器一样,半沉浸式系统也允许观察者在模型的不同角度进行观察,虽然在某个角度,部分场景会从视野中消失,但是,与沉浸式系统不同的是,这些特殊的眼镜允许观察者同时观察环境中的现实物体和模型。

以上两个系统的共同点是都需要戴上特制的眼镜,使得观察者的视野为仪器所限制。虽然系统允许一个以上的人同时观察并与数字模型交互,但也是有限的人数,且对计算机处理能力的要求随着人数的增加而增大。

自动立体镜原理和立体镜一样,但它不需要特殊的眼镜。许多投影技术可以使图象仅在一个特定的“空间视窗”中看见。一组图象被投影到一串相连的窗口上,观察者站在显示器前,两只眼睛可以接受到不同的景象,从而得出立体感觉。大多数自动立体镜显示器允许水平视差,例如允许你从左到右地移动观察模型。如果同时也提供垂直视差的话,那很明显,需要投影更多的景象。这个系统的缺点是:有限的景象范围,多人同时观察时不方便。

以上3个系统的一个共同问题是:都无法提供深度感。由于焦距固定,使得眼睛在场景中,无法像观看一个真实物体时那样收缩或改变焦距,然而能正确估算深度和空间位置是至关重要的。

立体显示系统则解决了这个问题,因为图象是在真三维空间被构造的,其中使用了很多方法,如体扫描和静态体技术。他们利用屏幕的旋转和光投影等技术,将原来的一个个二维图象合成为一个有真实立体感觉的三维图象,使之看起来和真实物体没有什么差别。更重要的是,它可以让更多的人从几乎任何角度来观察模型,并且与模型进行交互。

全息技术可以产生真实的3D图象,且不需要其他的眼镜或头部感应器,就可以允许多人观察图

象,它可以在人体虚拟系统中产生深度感,产生的图象和真实物体几乎没什么区别。

1947年,Gabor发明了古典全息技术,它包括记录物体与参考波之间的光干涉的强度图形。与传统的照片不一样,强度图形包括亮度和相位信息。例如,当用参考波的一个拷贝来说明这个记录(如全息图)时,从原始物体来的波阵面被重建,通过空间传播后,则形成了一个原始物体的真实三维图象。

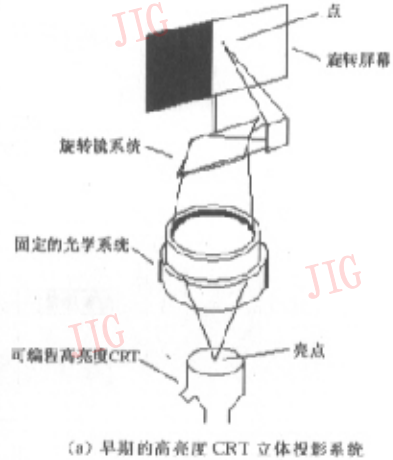
计算机全息技术是最近才发展起来的技术。与古典全息技术不一样,在计算机全息图中(CGH),用来产生全息图的物体只需要一个数学描述,且光波的物理干涉也被计算步骤所代替,在每一步中,CGH模型中的强度图形可被确定。该图形可以写到一个可重新配置的设备中,该设备可以对光波信息进行调制。目前,这种空间光调制器(SLM)包括各种液晶体、声光体或者微机器设备。这种显示技术将是下一代真三维立体显示器的发展方向,有人认为这将是三维立体显示的最终解决方案。

2 真三维立体显示技术

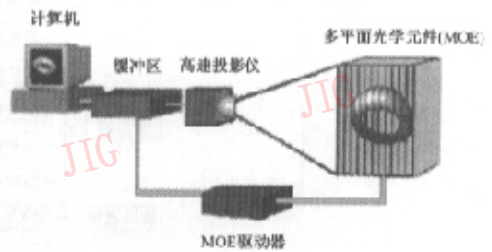
真三维显示技术,主要是指立体显示技术和全息技术,后者由于目前还有不少问题仍在研究之中,一些理论还没有得到应用,比如运动物体的显示效果、分辨率的提高、海量数据的处理等。因为,一个典型的300mm×300mm的全息图包含了10T的数据信息。目前,比较成熟,而且已经有了部分商业产品出现的是立体显示技术,因此,在此重点介绍这种技术。

这种立体显示技术使用了很多方法,其中最主要的两种方法是体扫描技术和静态体技术。前者主要用于动态物体的显示,在该技术中,一串2D图象被投影到一个旋转或抖动的屏幕上,同时该屏幕以观察者无法觉察的速度在移动,因为人的视觉暂留,从而在人眼中形成3D物体。因此,使用这种立体显示技术的真三维立体显示系统可实现图象的真三维显示。系统中3种颜色(红、绿、蓝)光束通过光偏转器投影到显示介质上,从而使得介质体现出丰富的色彩。同时,这种显示介质能让激光束产生离散的可见光点,这些点就是体素,对应于三维图象中的任一点。一组组体素用来建立图象,观察者可从他的视点来观察这个三维图象。因此,这种立体显示器一般包括激光系统、计算机控制系统、旋转显示器系统3个子系统。如图1(a)所示,就是ITT实验室于1960年

提出的最早的一种立体显示解决方案。图1(b)所示,则是美国一家公司于2001年10月推出的一种立体显示器系统结构图。



(a) 早期的高亮度CRT立体投影系统



(b) 新型的DepthCube立体显示系统结构图

图1 立体显示器

事实上,这种类型的显示技术已经过了很多年的发展,其中最主要的技术就是体扫描技术,它已经有了50多年的历史,如图2所示。

近几年来,随着计算机数据处理能力的迅速提高和数据存储技术的发展,几种采用嵌入式系统的真三维立体显示器引起了人们的广泛关注。前面提到的DepthCube立体显示器就是其中一种,除此以外,还有两种立体显示器也尤为突出,即Actuality三维立体显示器和GENEX高清晰三维立体显示器。

DepthCube立体显示器本质上是一种背投式三维显示器,只是其中的传统投影仪被一个由一系列电控光学元件组成的三维投影仪所代替。该显示器主要由一个高速的图象投影仪和一个多平面光学元件两个部分组成,如图1(b)所示。高速图象投影仪将一系列的3D图象片投影到多平面光学元件上,

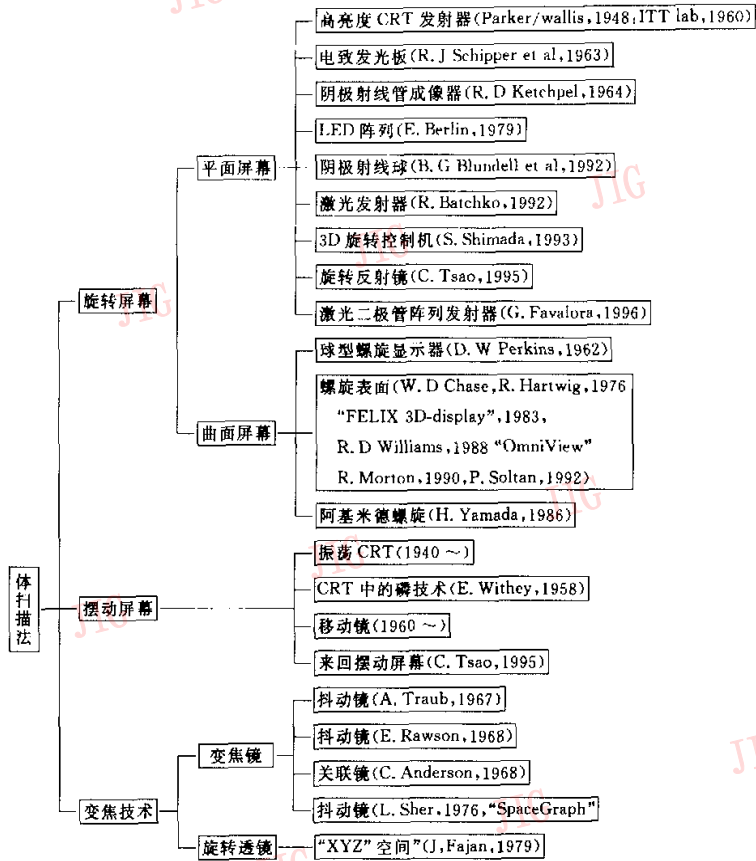


图 2 直三维立体显示技术——体扫描技术发展

其中,每一片都在适当的深度停止.大部分算法都采用硬件来实现,这大大提高了每片图象的质量,并能产生真正的三维图象.也就是说,能得到有序的、直交的三维体素组,而且每个体素可以有任意的 15 位的亮度和颜色.它不像其他立体显示器,该显示器的直线笛卡儿几何特性可以使物体的三维图象不产生变形或阻碍.另外,这种几何特性符合计算机图象硬件的几何特性,因此,能实现与标准的图象硬件进行实时交互,并快速渲染三维图象.

Actuality 三维立体显示器是采用旋转屏幕技术的一种新产品,它采用一个 XGA 级别的高分辨率 (1024×768) 投影仪将图象投影到一个旋转屏幕上,该屏幕同光学投影器件和 3 组起转向投影作用的平面镜一起,以 600rpm 或其以上的速度旋转.被投影的图象实际上是呈放射状的“图象切片”,由于视觉暂留,这些图象切片快速连续地投影到三维空间,从而在人眼中形成有真实立体感的三维图象(图 3).

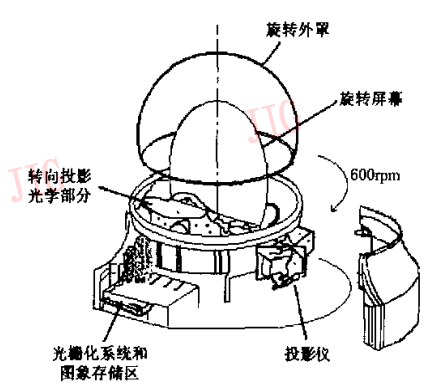


图 3 Actuality 三维立体显示器

3 真三维立体显示器的主要性能指标

随着三维立体显示技术的不断发展,一些新的立体显示产品也将逐步面市.不同的立体显示产品

在原理上各有特色,但最主要的性能都是类似的,这主要包括:

(1)分辨率 同平面显示器一样,立体显示器也有分辨率的要求,而且,两者的概念也是一样的,如前所述,立体显示器在显示的时候,实际上是将三维数据处理成一系列的二维“图象切片”来显示,因此,这里的分辨率就是指每个“图象切片”的分辨率。

(2)尺寸 这是立体显示的重要指标之一,它主要是指显示屏幕的有效直径.对于半球形的显示器来说,则是球的直径.尺寸的大小,不仅与该显示器的显示效果有关,而且是体现显示器技术含量的一个重要指标.因为,显示器的尺寸越大,对旋转屏幕的稳定性和准确投影的要求就越高。

(3)体素量 这是三维立体显示器另一个重要的指标,它能直接说明显示器的显示效果.在相同分辨率下,体素越多,显示效果越清晰.因为,这能够产生更多的、更密的“图象切片”.它与分辨率之间的关系为

$$\text{体素量} = \text{分辨率} \times \text{图象切片数}$$

(4)视角范围 包括垂直视角范围和水平视角范围.由于结构上的原因,一般说来,真三维立体显示器水平视角都是 360°,也就是说,观察者可以绕着显示器进行观察.而垂直角度,目前还不能达到 360°.不过,DMA 公司正在研究一种能实现这个目标的新技术。

(5)颜色 是指立体显示器中每个体素可以包含的颜色数目.也可以用颜色值的位数来表示,如平面显示器通常所用的是 24 位真彩色。

(6)刷新频率 这是指旋转屏幕的旋转速度,屏幕旋转得快,就表示刷新频率高,反之则低。

(7)系统兼容性 主要是指立体显示器所支持的操作系统、图象格式和外接设备,这是为了保护使用二维屏幕的用户的投资和已有的知识。

表 1 是两种产品的主要性能比较。

表 1 两种显示器的性能比较

性能指标	DepthCube 显示器	Actuality 显示器
分辨率(pixels)	800×600	768×768
尺寸(英寸)	19.6	10
体素量	96 000 000	113 246 208
视角范围	水平 360°,垂直多种	水平 360°,垂直 270°
颜色	15 bit = 32 768 种颜色	3bit = 8 种颜色 (最高分辨率时)
刷新频率	>20Hz	24Hz
系统兼容	支持 Windows NT/2000 支持 Irix 系统 支持现有的三维图象卡	支持 SCSI 连接 兼容 Windows2000/Linux

4 应用前景

显然,这种真三维立体显示器的出现,将改变诸多与图象处理、图象显示有关的科技应用领域的现状,并能在很大程度上促进一些学科或研究的发展。

在医学方面,目前,在进行介入疗法时,采用两台平面显示器来定位,定位不易准确,而使用立体显示器,则可以获得真实的三维图象,帮助医生准确地定位;在手术训练系统中,通过该种显示器,可以更直接地与人体图象进行交互,从而提高培训效果;另外,如果能将从 CT、MRI 中采集的数据,经过处理后,通过该显示器来显示,将能获得其他更广的应用,如显示真三维的人体模型;最新的技术还可以将远方的立体人体图象传输到医院,医生从立体显示器中可以更清晰,更有效地进行医疗诊断。

在军事方面,通过这种立体三维显示技术,对于战场环境的精确模拟就变得十分有效.相对于模拟战场环境的固定沙盘或者二维电子沙盘,具有非常明显的优势,因为它是一种立体真三维电子沙盘.可以非常方便地变换场景,而且可以随意对战场环境进行缩放、旋转和平移操作,可将战区场景随意拉近和拉近,有利于战区指挥官洞悉整个战区环境,便于指挥作战,图 4 所示是用于该领域的一个效果图。

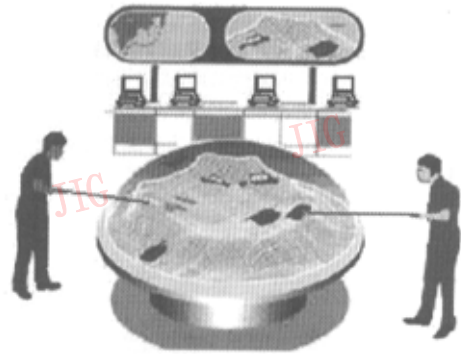


图 4 采用真三维显示器的模拟战场

在 CAD/CAE 方面,通过直接观察立体图象,将提高产品的设计效果和质量.在广告业,采用该种显示器来显示需要演示的产品,既能提供真三维效果,同时,又减少了真实样品的损坏.当然,随着技术的发展,以后在游戏开发、家庭娱乐等各个方面都将

有更多、更好的应用。

5 结 语

三维数据通过投影到旋转屏幕上,得到了真三维显示效果。目前,为了增强其显示效果,一些新的技术正在和旋转成像技术结合起来,用来实现将旋转屏幕上的图象投影到空中的任何位置,同时还保证一定的清晰度。如果能加上高速的数据传输网络,那么就能实时地将远方的三维数据(如人体)传输到本地,并且成像在空间,从而实现真正的虚拟交互环境。

与此同时,静态成像技术也在不断发展。一种典型的技术是采用两束激光照到由特殊材料制造的一个透明立方体上,经过立方体的折射,两束光相交到一点。快速移动两束激光束,则可以在立方体空间形成多个交叉点,这些交叉点就是“体素”,它们组合在一起,就可以产生真三维立体效果。但是它的显示效果有所欠缺。

真三维立体显示技术已有了将近半个世纪的发展过程,但在我国,对其了解还非常少,目前还没有该技术的相关应用。这就需要我们了解、关注、学习该方面的技术,并将其应用到相关领域。比如在机场空中交通管制中,目前我国基本上还是采用多个平面屏幕来显示空中数据,所以不能准确表达实际的飞机空间位置。如果采用立体显示器,则可以直观地、有效地得到所有飞机的空间位置;再比如产品展示中,目前一般都是用样品直接展示,这容易磨损,甚至损坏样品,而采用该技术后,人们可以获得同样的展示效果,而不需要样品。事实上,随着该技术的不断发展,我们完全可以将其应用到更多的领域,以促进我国经济发展,增强我国国力。

参 考 文 献

- 1 管伟光. 体视化技术及其应用[M]. 北京:电子工业出版社, 1998:8~17,87~103.
- 2 Gregg Favalora. Volumetric three-dimensional display system with rasterization hardware[EB/OL]. <http://www.actuality-systems.com/publications/Actuality-Photonics-West-2001.pdf>
- 3 Jarin R Thayn. 3D display design concept for cockpit and mission crewstations[EB/OL]. <http://www.hec.afri.af.mil/publications/True3D99SPIE.pdf>
- 4 Barry Blundell. Volumetric three dimensional display systems [M]. U. S. A, New York, A Wiley-Interscience Publication, 2000:46~55.



姜太平 1974年生,现在南京航空航天大学攻读博士学位,研究方向为网络与控制。研究领域为图形图象处理与分析、真三维立体显示技术、基于网络的控制方案设计、计算机仿真。



沈春林 1935年生,教授,博士生导师,现任南京航空航天大学自动控制研究所所长,美国纽约科学院院士,美国IEEE学会高级会员。研究领域为低空突防、精确制导与打击。



谭 皓 1978年生,现在南京航空航天大学攻读博士学位,研究方向为网络与控制。主要研究领域为图形图象处理与分析、软件工程与系统测试。