

三维立体显示系统的开发研究^{*}

徐伟忠 刘辉 谈正

(西安交通大学信息工程研究所, 西安 710049)

摘要 三维立体显示技术是虚拟现实的关键技术之一,同时也是虚拟现实系统最基本的要求。本文中介绍了一种如何基于现有微机平台的立体显示技术。我们借助立体液晶开关眼镜,运用立体显示技术即可在普通微机屏幕上观察到具有真三维立体效果的静态画面与立体动画,具有极佳的立体视觉效果。

关键词 虚拟现实, 立体显示, 立体动画, 立体视觉模型

1 概述

虚拟现实是近几年迅速发展起来的一个研究领域,并愈来愈受到人们的重视和关注。虚拟现实的兴起反映了人们的要求。随着计算机技术的迅速发展,计算机的数据处理能力与性能成倍的提高,加之计算机越来越普及,成为人们日常生活中不可缺少的一部分,于是人们对计算机提出了更高的要求。人们在与计算机交互的过程中,追求更自然化、现实化。人们希望能以日常生活中习惯的方式来与计算机打交道。虚拟现实就是利用计算机在其屏幕上或者特殊的环境中产生能以假乱真的视觉影像,使观察者有逼真的、身临其境的感觉,并且操纵者可以用平常的习惯方式对系统进行操纵与控制。同时,系统则对操纵者的各种动作作出实时的、正确的响应。换句话说,虚拟现实为人们提供了一个人造的虚拟世界,却能给人们真实世界的各种感觉。但由于硬件、软件、算法等方面因素,特别是硬件因素的制约,从整体来看该技术还很不成熟,离人们的期望还有较大的差距,这是虚拟现实发展的最终目标。

三维立体显示是虚拟现实的关键技术之一,它是一个基本的虚拟现实系统需具备的必要条件。没有深度层次的立体视觉效果就不可能有身临其境的感觉,也就不可能实现虚拟现实的基本目标。但就现

今而言,要配置一个虚拟现实系统往往需要一些昂贵的设备,如数据手套、数据衣、头盔显示器及高档图形工作站等等。因而,如何就基于现有的微机平台来实现立体显示是一个很有现实意义的问题。

在本文中,我们介绍了一种基于现有微机平台的立体显示方法。借助于立体液晶开关眼镜,就可在微机屏幕上观察到静态立体图像和立体动画,其立体视觉效果十分明显。我们还在分析人眼的立体视觉原理的基础上,给出了一个简便可行的立体视觉模型;我们还简述了基于分数布朗运动的地形的建模算法、立体片对的生成技术,以及普通微机平台的立体显示系统的系统原理及其构成;最后我们展示了立体显示的应用前景及其今后的发展方向。

2 立体视觉原理及视觉模型

我们生活的自然界是一个三维空间,我们所看到的一切物体都是立体的,人们所习惯的是用长、宽、高三个参数来度量一个物体。三维空间的信息大部分是通过人的眼睛获得的。俗话说“百闻不如一见”,这非常形象地描述了眼睛的重要作用,所以说人眼是人观察、感知世界的最重要的器官。面对大自然绚丽多姿的迷人景物,人们在赞美感叹的同时,希望能寻找一种新的三维显示方法,逼真地、立体地重现自然。因为传统的显示方法大多是三维场景的二

^{*} 国家“863”计划资助;本项目被选为“863”10周年成果展展品。

收稿日期:1996年10月;收到修改稿日期:1997年1月。

维投影,其中大部分立体深度信息丢失了,人们只能凭借经验判断场景中物体的深度层次,这是很不真实的。人们通过对人眼的深入研究,研究人眼的立体视觉原理,从而使人为实现立体显示成为可能。

立体视觉对人来说是极其重要的,没有立体层次的世界将是无法想象的。人通过双眼观察产生了立体视觉效果。

正常的人都是用双眼来辨认三维空间的物体的。人们在观看某一三维物体时,人的双眼从左右两边稍有差别的角度进行观察,因此被观察的物体在人的左右眼的视网膜上所形成的光学像略有差异,这种差异就是人们通常所说的双眼视差(Binocular Parallax)。由图 1 可见,视差的产生主要是因为人的左右眼之间有一定的距离,成年人的双眼距离约为 65mm。视觉的产生对立体视觉的形成具有非常重要的作用。当左右眼视网膜上光学像同时传向大脑视神经中枢,有视差的左右像经视神经的处理和融合,人就能感受到所看到物体的立体层次了。

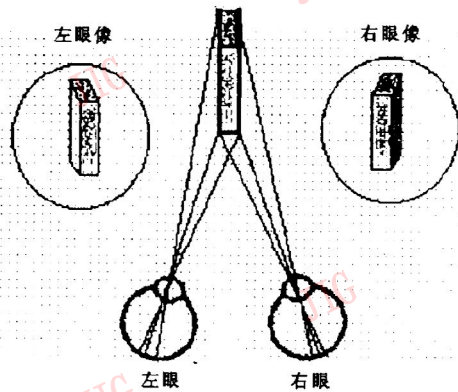


图 1 人眼成像

Fig. 1 Eyes' imagery.

根据以上分析,我们可以给出人眼的视觉模型——非会聚双目成像模型(图 2)。其中:O、O' 分别代表左右焦点,两者间距为 L,光轴与 z 轴平行,焦距为 f,左右像平面与 xy 平面平行。假设三维空间任一点 P(x,y,z),在左、右像平面分别成像为 Pl、Pr,Pr' 是 Pr 在左像平面中的相应位置点,也即点 P 的视差 d 可用 |Pr' - Pl| 计算,则有

$$(x, y, z) = \frac{L}{d} \cdot (x', y', zf) \quad (1)$$

其中 (x', y') 是左像平面中 Pl 的平面坐标,所以视差 d 与 z 满足:

$$d = (L \cdot f) / z \quad (2)$$

由上式可以看到:当物体距离眼睛越远,即 z 越大

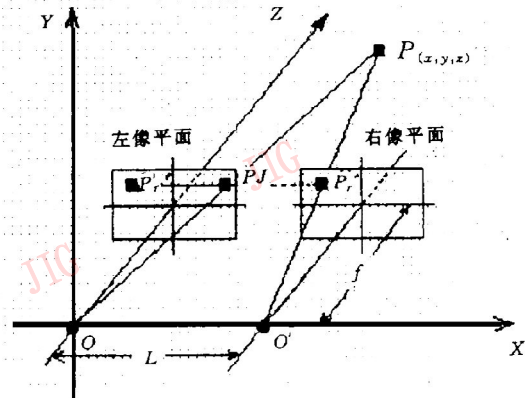


图 2 双目视觉模型

Fig. 2 Binocular vision model.

时,视差 d 就越小。当物体离眼睛太远时,视差变得非常小,就没有深度感了。

3 立体片对的生成

虚拟现实是利用计算机在其环境中产生能以假乱真的视觉影像,使观察操纵者具有逼真的、身临其境的感觉。为了能构造一个虚拟世界,要求人们能对各种自然景物进行建模,但由于自然界具有不规则性与随机性,这对于传统的欧氏几何来说是很难很好地描述。在这里,我们采用了基于分数维理论的自然景物的建模方法,用分数布朗运动(fBm)来产生虚拟地形。Fractal——分数维理论是由 B. B. Mandelbrot 在 60 年代中后期首先提出来的,现已广泛应用于许多研究领域,取得了一些令人满意的成果。

自相似性质是分形最基本的性质。一维分数布朗运动是最简单的分形例子。较长时间的记录布朗运动轨迹,并将其分割成若干个段,则每个段的数学期望、方差等统计参数和整体的统计参数一致,表现出一种统计自相似性。分数布朗运动(fBm)属于随机分形,其定义如下:

设 N 维随机过程 $X(t_1, t_2, \dots, t_n)$, 则:

(1) 对任何 $t_{ij} (i=1, 2, \dots, n, j=1, 2)$, 增量 $X(t_{12}, t_{22}, \dots, t_{n2}) - X(t_{11}, t_{21}, \dots, t_{n1})$ 为数学期望为 0 的高斯分布

(2) 增量 $X(t_{12}, t_{22}, \dots, t_{n2}) - X(t_{11}, t_{21}, \dots, t_{n1})$ 的方差满足下式:

$$\text{Var}(X) \propto \left(\sum_{i=1}^n (t_{i2} - t_{i1})^2 \right)^H \quad (3)$$

其中 $0 < H < 1$ 。

随机过程 $X(t_1, t_2, \dots, t_n)$ 具有参数 H 的统计自

相似性。事实上,由 fBm 产生的分形图形的维数为 $(n+1+H)$ 。随机中点位移法是产生分数布朗运动的方法之一。

首先定义一个三维自然场景 $F(x, y, z)$, 其中 $z = h(x, y)$ 是点 (x, y) 处的高度值, $h(x, y)$ 是由随机中点位移法产生, 满足:

$$\begin{aligned} \text{Var}(h(x_2, y_2) - h(x_1, y_1)) \\ = ((x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2)^H \sigma^2 \end{aligned} \quad (4)$$

其中 σ^2 是高斯随机分布的方差。二维布朗曲面可以用来构造地貌, 但是该算法所生成的地形随机性太大, 很难控制地形中山峰的大致位置。为克服这一点, 我们引入了控制矩阵的概念。即在地形生成过程中, 通过控制矩阵来控制地形的大致形状。下面我们将具体描述立体片对的生成算法。

要实现立体显示, 必须得到符合三维特征的立体图像片对。在自然场景 $F(x, y, z)$ 中, 设立一个“虚拟人”, 并赋予该“虚拟人”一双“虚拟眼睛”, 再通过“虚拟人”的双眼来观察设计的三维场景, 就可以得到立体图像左右片对。假设场景中任意点 $F(x, y, z)$ 在左右片对中分别成像为 $P_l(x_l, y_l), P_r(x_r, y_r)$, 则由式(1)、(2)可得:

$$\text{视差} \quad d = x_l - x_r = (L \cdot f) / z \quad (5)$$

$$\text{即有} \quad \begin{cases} x_l = x_r + d = x_r + (L \cdot f) / z \\ y_l = y_r \end{cases} \quad (6)$$

左右片对的生成可以按照以往传统的单目三维图形生成方法分别生成, 即先计算左右眼的视点向量, 并分别进行视点变换及着色处理, 即可取得左右眼的图像。但由于左右片对图像的相关性很强, 物体在左右图上往往只有一个视差 d , 而其色彩与亮度值相差很小, 所以我们可以利用这一点实现立体片对生成的快速算法。首先分别计算得到左右眼的视点向量及其变换矩阵, 而后在生成右眼图的同时, 利

用式(6)来计算左眼图。在这一过程中, 我们对离视点近的物体不采用式(6)计算, 而用分别计算方法生成, 这样可以使得生成的左右片对既不失真性, 又具有快速性。

通过“虚拟人”的“走动”, 即设立其移动路径, 并分别采用上述方法得到路径上各点的立体左右片对, 这样我们就可以得到立体片对动画序列。

4 系统原理及构成

通常, 我们由计算机屏幕上看到的只是一些平面图像, 即使在通常所采用的三维图像真实感显示时, 也只能看到三维图像的二维平面投影, 而不可能真正得到具有不同深度层次的三维立体效果。我们设计的三维立体显示系统, 正是突破了这一点。借助于立体液晶眼镜, 使观察者在普通的微机屏幕上能观察真正前后有序、深度层次鲜明的立体图像。

通过上述对人眼视觉的分析, 我们知道: 只要人的左右眼能分别看到有一定视差的图像片对, 那么通过人的视神经的处理和融合, 人们就能得到该图像片对的立体视觉效果。当然该图像片对间的视差要符合三维视觉习惯。根据这一原理, 我们可以运用计算机来模仿这一过程, 从而达到微机平台的立体显示。三维立体显示系统的实现方式与人的双眼视觉有点不同, 该系统不是并行的, 而是时分系统。这是因为该系统是基于现有的微机屏幕和立体开关眼镜来实现的。也就是说, 在任一时刻, 只有一只眼睛能看到画面, 而不是双眼能同时看到画面, 只要当这种“交替”频率足够高, 人感觉到的效果就和双眼同时看的效果相仿。

基于现有微机平台实现立体显示, 要产生逼真的立体显示效果, 必须保证以下几点:

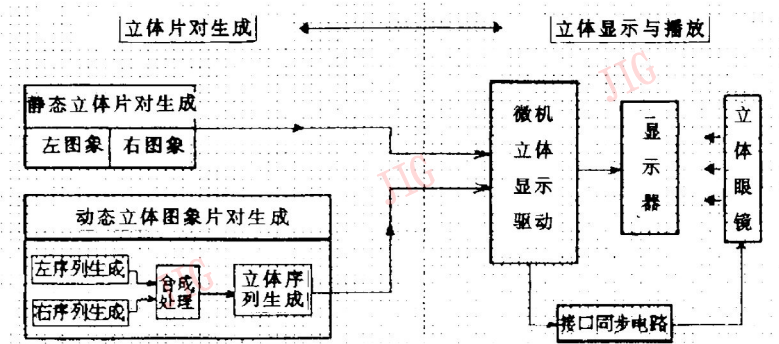


图 3 立体显示微机系统原理构成

Fig. 3 The construct of stereo display PC system.

(1)须有符合三维视觉特征的立体片对或者运动片对序列,即所生成的立体片对符合立体视觉的视差关系;

(2)保证左右眼观察到各自相应的画面,左眼看到左序列图像,右眼观察到右序列图像,即同步问题;

(3)刷新频率要足够的高,否则将产生“闪烁”,令人感到不舒服;

(4)要实现立体动画,为使动画具有连续感,必须保证一定的动画播放速度。

三维立体显示系统的构成原理(图 3),其主要包括立体片对生成模块和立体显示与播放模块。

要实现立体显示,首先我们必须得到符合三维视觉的立体图像片对。可以用现有的动画制作软件(如 3DS 等软件)或者自己编制的自然场景生成软件来生成立体片对和立体片对序列。对于生成的立体片对及立体片对序列,再经过一些必要的预处理,如调色板合成、分辨率变换及立体图像合成等等,就可以用立体显示系统软件来进行显示播放。我们戴上立体液晶眼镜,就可在计算机屏幕上看到逼真的立体图像与立体动画,其立体视觉效果十分明显。

在本系统中,由于是基于微机平台,其显示器的刷新频率有限,一般只能达到 70HZ 左右,又由于是

时分系统,所以单目刷新频率只能达到 35HZ,这对人眼来说已基本满足。在播放立体动画时,为使动画具有连续感,一定要保证足够的播放速度,由于播放动画要考虑到运算、解压、传输、显示等诸多制约因素,而且立体动画的信息量更比普通动画要多一倍,因而更具难度。我们必须综合考虑各因素,寻求一种合适的、快速的播放算法。另外,在算法中,我们还需考虑同步的问题,保证立体眼镜的开关时序与立体序列的播放时序的同步,使观察者的左右眼分别看到相应的立体序列,从而得到正确的立体效果。

立体显示系统主要有 PENTIUM586、立体液晶眼镜、专用接口及立体显示软件包等组成,其基本硬件配置为(表 1):

(1)主机要求 PENTIUM586/75 以上,内存 16M 或者更大,硬盘 540M 以上,留有一空闲串行口(COM2);

(2) SVGA 显示器, TRIDENT 9440 显示卡, 1MVRAM, 32 位 PCI 总线;

(3)专用接口及有线液晶立体眼镜或者无线眼镜发射装置、无线液晶立体眼镜。

表 1 三维立体影像显示系统的基本指标

Table 1 main index of steres display system

	分辨率	颜色数	立体切换频率(Hz)	动画速度(帧/s)	主机要求
静态立体显示	640×480	256	70 / 35		PC 486/50 以上
立体动画	640×400 320×200	256	70 / 35	≥9	Pentium586/75 以上

5 结论

立体显示技术赋予传统的微机平台一个全新的功能。由平面显示到立体显示的转变,其意义十分重大,满足了人们的需求。实验表明,系统的立体效果非常明显,具有很强的立体深度层次。由于该系统是基于微机环境,额外硬件少,售价低廉,能被广大用户所接受,所以其应用前景十分广阔。它可用于:

- (1)科学计算可视化、工业产品的造型设计;
- (2)三维立体监视及远距离遥监遥控;
- (3)教学 CAI,在立体几何教学中,可使教学更形象、更直观;
- (4)驾驶模拟教学培训、三维立体游戏,等等。

该系统目前还不够完善。在今后的研究工作中,我们要在快速播放及立体图像压缩算法上作进一步地深入研究,并在硬件方面多加考虑,从而使立体动画播放效果更佳,视觉效果更加明显。另外,可控性的引入将使立体显示更具魅力。

参考文献

- 1 Adam John A. Virtual reality is for real. IEEE Spectrum, 1993, Oct.
- 2 Slater M, Usoh M. Simulating peripheral vision in immersive virtual enviroment. C&G, 1993, (6).
- 3 Barnsley M F, Devaney R L, Mandelbrot B B, et al. The science of fractal images, New York: Springer-Verlag Press, 1988.
- 4 Pentland A P. Fractal based description of natural scenes. IEEE trans on PAMI, 1984, PAMI-6, (6): 661~674.
- 5 马尔 D 著,视觉计算理论. 姚国正、刘磊、汪云九译,北京:科学出

版社,1988.

京:科学出版社,1980.

6 福岛邦彦著. 视觉生理与仿生学. 马万禄、蔡浩然、张少吾译,北



徐伟忠 1994年毕业于西安交通大学信息与控制工程系,1994年至今,在西安交通大学电子与信息工程学院攻读硕士学位。主要研究领域是图像处理、计算机视觉、自然场景建模及虚拟现实技术。

Study on Stereo Display System

Xu Weizhong Liu Hui Tan Zheng

(Information Processing Center, Xi'an JiaoTong Univ, Xi'an 710049)

Abstract Stereo display is one of the key technologies of Virtual Reality(VR), and also the lowest requirement of VR system. This paper introduces a new stereo display method on general PC. Through the LCD shutter glasses, people can see stereo picture and animation on CRT screen, and the effect is satisfied.

Keywords Virtual reality, Stereo display, Stereo animation, Stereo vision model