

HVS: 构造一个虚拟实景空间¹⁾

张茂军 钟力 孙立峰 李云浩 胡晓峰

(国防科技大学七系 长沙 410073)

(国防大学电教中心 北京 100091)

(E-mail: Zhangmaojun@yahoo.com.cn)

摘要 虚拟实景空间是指以实景图像或视频为素材构造出的虚拟空间. 与传统的以三维造型为素材, 由计算机实时绘制出的虚拟空间相比, 虚拟实景空间不需要复杂的三维造型, 对计算机计算能力要求低. 虚拟实景空间支持用户在其中前进、后退、仰视、俯视、360度环视等操作. 总结了虚拟实景空间构造系统 HVS 的空间模型与部分关键技术.

关键词 虚拟现实, 虚拟空间, 虚拟实景空间, 图像处理.

HVS: BUILDING A VIRTUAL IMAGING SPACE

ZHANG Maojun ZHONG Li SUN Lifeng LI Yunhao

(Dept. 7 of National University of Defense Technology, Changsha 410073)

HU Xiaofeng

(Center of Electronic Teaching, National University of Defense, Beijing 100091)

Abstract Virtual imaging space is a virtual space constructed from the real image or video. It doesn't need complex 3-D modeling or high performance computer. Users can browse and immerse in this space. This paper summarizes the spatial model and implementation of HVS.

Key words Virtual reality, virtual environment, virtual imaging space.

1 引言

计算机图形技术是构造虚拟现实系统中虚拟场景的重要方法. 但对于需要再现真实场景的应用(如虚拟名胜古迹、自然风光介绍等), 采用计算机图形技术存在建模难度大、对计算机性能要求高等缺点. HVS 系统采用另一种思路: 首先利用数码相机或摄像机采集的离散图像或连续的视频作为基础数据, 经过处理形成360度柱面全景图像, 然后通过合适的空间模型把多幅全景图像组织为虚拟实景空间. 用户在虚拟实景空间中可以完成前进、后退、360度环视、仰视、俯视、近看、远看等操作, 就象进入到一个实际空间.

1) 国家自然科学基金(69905004)资助课题.

早在1980年,MIT 媒体实验室开发成功 Aspen Movie Map 项目,用户可以“游览”于模拟视盘中存储的 Aspen 各个街道.虽然受当时技术条件的限制,采用的是模拟技术,但其思想却是超前的.到了90年代,基于实景图像和视频建立虚拟环境在国际上成为十分热门的研究课题.单视点描述的系统像 QuickTime VR 和 Surrounding Video 先后已经用于旅游、多媒体光盘出版等方面.在军事上,也有人将卫星拍的侦察图像加工成可以快速观察的空间图像.基于实景图像的方法建立虚拟场景不需要特殊硬件支持,不需要手工绘制三维模型,具有构造容易、效果逼真等优点,正在为越来越多的应用所采纳.值得说明的是,这种技术和基于图形的虚拟环境不是取代关系,而是互补关系.

目前,这些方法大都是单视点空间.HVS 瞄准国际上在该领域的最新发展趋势,几年前便开始力图用多视点的方法实现用实景图像建立虚拟空间的设想,将其应用到军事侦察、大型建筑、风光介绍等方面,并于1998年开发成功.作为一个实用的系统,HVS 在虚拟实景空间模型以及在空间中对信息组织方法等方面具有独创性.

2 HVS 空间模型

2.1 视点空间

定义1. 视点是指用户某一时刻在虚拟实景空间中的观察点,观察时所用的焦距固定.视点用三维坐标值 $w(x, y, z)$ 表示.

定义2. 在某一视点处,用户所观察到的场景,称为视点空间.

我们知道,普通图像反映的往往是用户在某一视角所看到的局部场景,这种图像被 HVS 称为局部图像 $g(w, \theta)$, 其中 θ 为视角.能反映用户在某一视点处任意视角所看到的图像被称为全景图像(Panoramic Image).全景图像 $p(w)$ 是视点空间合适的描述形式之一,它描述了视点 w 处的视点空间.

存在几种全景图像:球面全景图像、多面体全景图像、柱面全景图像,如图1所示.它们分别把视点空间看作是球体、多面体与圆柱体.球面全景与多面体全景均可反映空间中任意方向的场景,处理它们的难度比较大.柱面全景去除顶盖与底盖两部分场景,在水平方向可提供用户360度视角,但限制在垂直方向的观察角度.由于柱面全景比球面全景与多面体全景处理容易,而且基本能满足用户要求,因而应用较广.HVS 采用柱面全景图像来描述视点空间.

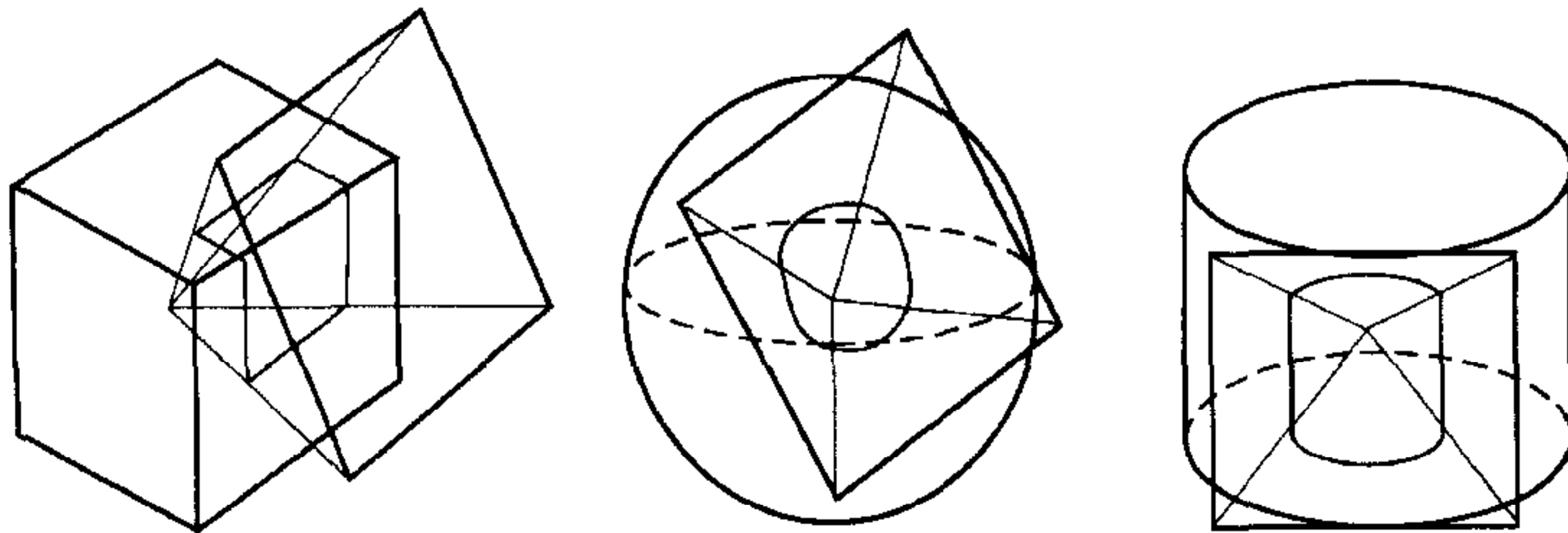


图1 立方体全景图像、球面全景图像和柱面全景图像

2.2 虚拟实景空间

单个的视点空间反映的是三维点空间,而虚拟现实系统往往需要建立起一个 N 维的

虚拟空间. 在点空间内, 用户只能靠改变视角来观察不同的场景. N 维虚拟空间应支持用户通过改变空间位置来观察不同的场景. 其次, N 维虚拟空间还应能反映虚拟空间在时间上的变化, 如白天与黑夜的变化、风景名胜随季节的变化等等.

虚拟实景空间是具有这些特性的 N 维虚拟空间. 设虚拟实景空间用 vis 表示, vis 由众多的视点空间组成, 视点空间是 vis 的基本组成单元. 视点空间之间的关系满足八元组约束: $vis(\theta, dx, dy, dz, \alpha_x, \alpha_y, \alpha_z, t)$. 其中 θ 表示在单视点空间内视角; dx, dy, dz 分别表示在 x, y, z 三个轴向的位移; $\alpha_x, \alpha_y, \alpha_z$ 分别表示在 x, y, z 三个轴向的旋转角度; t 为 vis 的时间轴.

2.3 空间操纵

建立虚拟空间的目的是为了用户可以通过一定手段漫游于其中. 从这个意义上说, 漫游的过程实质上是操纵虚拟空间的过程. 虚拟实景空间 vis 的操纵包括两部分: 视点空间内操纵与视点空间间操纵. 视点空间内操纵主要是操纵视角 θ , 通过向左旋转、向右旋转、向上旋转、向下旋转可以使用户分别得到左看、右看、仰视、俯视等视觉效果.

视点空间间的操纵则建立在视点空间之间的关联上. 比如视点空间 p_1 与视点空间 p_2 在空间位置上是相邻的(这种关联被我们称为位置关联), 用户从视点空间 p_1 过渡到 p_2 , 相当于用户从 p_1 的位置行进到 p_2 的位置; 反之亦然. 除了位置关联外, HVS 实现的关联形式还有时间关联、焦距关联.

设视点空间 p_1 与 p_2 时间关联, 那么这两个视点空间分别反映在同一个视点处用户不同时刻所看到的全景图像. 设视点空间 p_1 与 p_2 焦距关联, 那么这两个视点空间分别反映在同一个视点处用户使用不同焦距所看到的全景图像.

位置关联、时间关联与焦距关联分别赋予了虚拟实景空间不同的特性. 由于有位置关联, 用户可以在虚拟实景空间中前进与后退; 由于有时间关联, 用户在虚拟实景空间中可以体会到季节、朝暮等时间上的变化; 由于有焦距关联, 在虚拟实景空间中, 用户可以或近看, 看得更仔细, 或远看, 看到整体.

在 HVS 系统中, 我们借助超媒体系统中的“链”来描述视点空间的关联. 依照关联的种类, 链有“位置链” l_p 、“时间链” l_t 与“焦距链” l_f . 链是单向的, 每一个关联实际上由两个链描述, 比如 p_1 与 p_2 之间的位置关联可以等价于链 $l_{p_1}(p_1, p_2, \text{property}(l_{p_1}))$ 和链 $l_{p_2}(p_2, p_1, \text{property}(l_{p_2}))$. 其中 $\text{property}(l_{p_1})$ 与 $\text{property}(l_{p_2})$ 为链的属性, 分别表示视点空间 p_1 到 p_2 与从 p_2 到 p_1 空间位置的变化值.

上述操纵实现了 vis 八元组约束的一种简化形式 $vis(\theta, dx, dy, t)$. 视点空间内操纵实现了 vis 随 θ 的变化而变化; 视点空间间的操纵分别实现了 vis 随 dx, dy, t 的变化而变化. HVS 目前尚未实现 vis 的其它变化特性.

3 HVS 系统组成

HVS 系统包括虚拟实景空间生成平台与虚拟实景空间浏览器两部分. 生成平台又分为全景图像生成器与空间编辑器. 前者负责把多幅相互间有少量重叠区域的普通图像或连续的视频拼接为全景图像. 把众多的全景图像组织为虚拟实景空间的功能则是由空间编辑器实现的, 如图2.

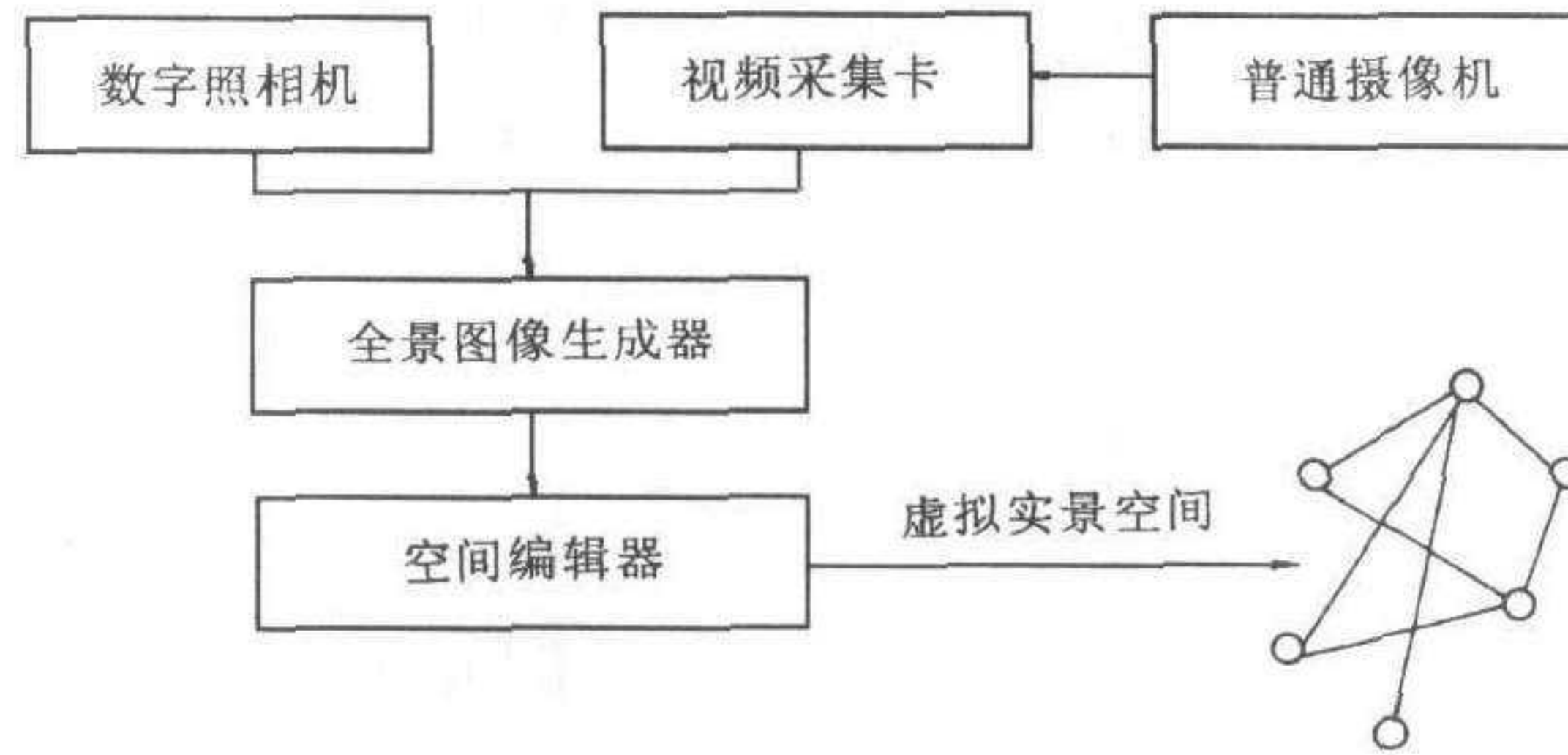


图2 虚拟实景空间生成流程

4 关键技术的实现

4.1 全景图像生成技术

如前所述,这里的全景图像专指柱面全景图像.柱面全景图像是由若干幅照片或连续的视频拼接而成.由连续视频拼接全景图像的快速算法已有一些研究成果^[1].在实际应用的过程中,由于摄像机视频图像分辨率较低,HVS倾向于采用数码照相机.下面主要针对使用照相机的情况介绍全景图像生成器的实现.

由于局部图像 g_i 与 $g_j (i \neq j)$ 分别是在不同方向上拍下的图像,它们的投影平面存在一定的夹角.在拼接全景图像之前,必须把它们统一投影到某一柱面上,使得现实世界中相同的景物在不同的局部图像中是相同的.得到投影图像后,进行计算机自动无缝拼接就能得到没有畸变的全景图像如图3所示.值得一提的是,把全景图像反变换为用户所观察到的图像时,需要进行反向柱面投影.浏览器将根据用户当前的观察方向从全景图像中取出正确的数据,反向柱面投影,才能得到用户观察到的局部图像.

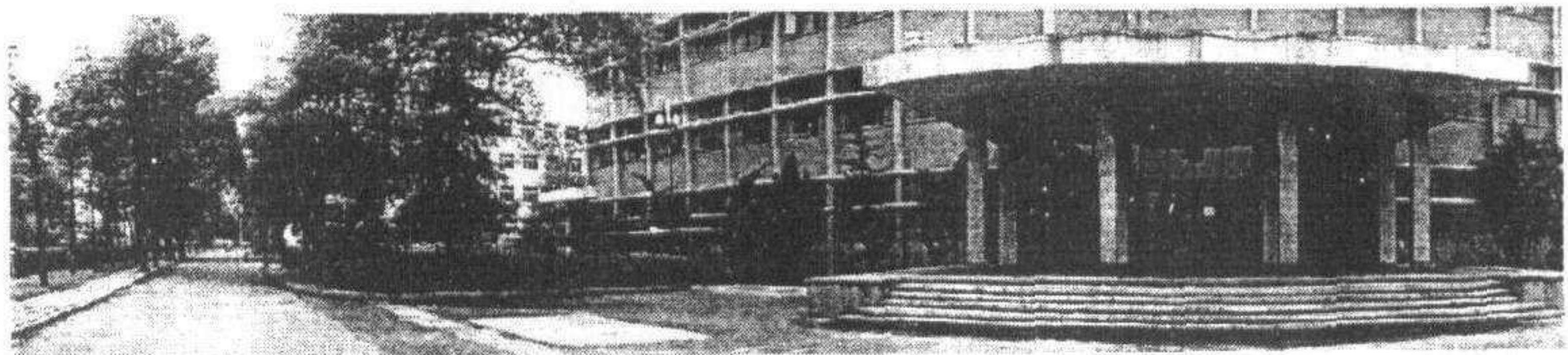


图3 一幅全景图像

无缝拼接是基于两幅重叠图像的像素相关性.一般有基于面积、特征等方法.基于面积的方法是把一幅图像中某一像素的像素值邻域作为模板,在另一幅图像中搜索具有相同(或相似)像素值分布的对应点邻域,从而确定两幅图像的重叠范围.在搜索过程中,通常是以相关函数作为两个搜索邻域间的相似性测度.

基于特征的方法不是直接利用图像像素值,而是通过像素值导出符号特征(如特征点、特征线段等)来实现匹配,所以它对于对比度和明显的光照变化等相对稳定.同时,基于特征的匹配可以通过对特征属性的简单比较来实现,因此它比基于面积的方法要快得多.HVS提出抽样特征线段拼接技术^[3],具有速度快,效率高的优点.

4.2 全景图像压缩技术

在HVS中,一幅柱面全景图像的分辨率是 4096×600 ,24位真彩色,其数据量是7.2Mb,而一个虚拟实景空间的全景图像一般都有成百上千幅.很显然,如此巨大的数据

量既增加了系统管理的难度,也造成了不必要的存储资源浪费,所以必须进行图像压缩.

HVS 系统不仅需要好的压缩性能,而且需要适合于用户在虚拟实景空间的浏览. HVS 系统采用的是分块压缩的方法,把全景图像垂直分块,分成大小相等的一系列子图,例如每块为 64×600 . 在压缩时,对每个子图分别进行压缩,然后依次存放在文件中,并在文件头添加一个子图索引,以便随机访问. 子图的最优宽度受 CPU 速度、硬盘速度的影响. 实践证明,64 像素宽的子图对 HVS 的实时解压浏览较合适.

4.3 场景平滑过渡技术

为使用户看到的场景是连续平滑的,浏览器需要解决一些关键技术. 首先是全景图像数据预调技术,由于整幅全景图像数据量比较大,而且浏览器一次只显示全景图像的一部分. 因此,HVS 浏览器进入到一个视点空间时,没有把整幅全景图像一次性调入内存中,而是只调入可见部分解压显示在屏幕窗口. 但考虑到用户可能需要左右移动全景图像,HVS 浏览器提出了双向流缓冲机制^[3],预调恰当的全景图像解压缓存在内存中. 其次,当用户沿位置链从当前空间位置行进到另一个空间位置时,HVS 浏览器需要解决把当前屏幕上的图像平滑过渡到另一幅图像的问题. 如果浏览器只是简单地把当前图像切换为另一幅图像,是无法使用户产生在空间行进的. 为此,HVS 系统提出了纵平移图像平滑过渡技术,该技术提供了两种技术解决方案:一是图像插值法^[3,4],即计算机由起始图像与终点图像,并结合其它信息实时地计算出中间帧,并依次显示在屏幕上;二是参考点法^[3],在采集全景图像时,便在相邻视点之间沿轴线采集多幅参考图像,参考图像不是柱面全景,它的图像分辨率由浏览器决定,如浏览器表现虚拟实景空间所用的窗口大小为 800×500 像素点,则参考图像的分辨率也是 800×500 或稍大,在纵平移图像平滑过渡时,参考图像被作为中间帧依次显示. 在实际应用过程中,两种方法可结合使用.

5 结束语

本文介绍了 HVS 系统的空间模型,系统组成以及全景图像生成、纵平移平滑过渡、全景图像压缩等关键技术. 由于篇幅所限,本文对关键技术的分析与介绍比较肤浅,与 HVS 相关的一些论文已分别在各类中文期刊发表,有兴趣读者可留意参阅.

参 考 文 献

- 1 张茂军等. PanoVideo:摄像机运动建模以及从视频中估计摄像机运动参数的一种方法. 中国图像图形学报,1997, 2(8):89~96
- 2 钟力等. 全景视频信息空间模型. 小型微型计算机系统,1997,18(11):58~65
- 3 钟力. 虚拟实景空间研究与实现[博士学位论文]. 长沙:国防科技大学七系,1998
- 4 Thaddeus Berier *et al.* Feature-based image metamorphosis. *Computer Graphics*,1992, 14(7):29~38

张茂军 博士,国防科技大学系统工程与数学系副教授,主要研究兴趣包括虚拟现实、多媒体信息系统等.

胡晓峰 博士生导师,国防大学作战模拟中心主任,主要研究兴趣包括多媒体系统、综合集成研讨.