

虚拟演播室的一种虚实无缝合成技术方案研究

李自力 朱光喜 朱耀庭

(华中科技大学电子与信息工程系, 教育部图象信息处理与智能控制重点实验室, 武汉 430074)

摘要 研究了虚拟演播室中, 节目主持人实拍图象与计算机生成的虚拟环境的一种无缝合成技术, 提出了用以视频对象分割边缘等分抽样点为型值点的闭合 B 样条曲线, 建立视频对象的平面格网真实感图形的算法, 并用于虚拟演播室中节目主持人图象的真实感图形建立, 通过对单个节目主持人视频摄像输入的实验, 对算法的可行性进行了验证, 实验结果表明, 该算法对视频对象做基于分割边缘线拟合的简单三维重建是有效的, 且具有自适应性。

关键词 虚拟演播室 虚拟现实 基于图形的建模与绘制(GBMR) 碰撞检测 无缝合成

中图法分类号: TP391.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2002)04-0400-05

Research on a Scheme for Seamless Composition in Virtual Studio

LI Zi-li, ZHU Guang-xi, ZHU Yao-ting

(Department of Electronics & Information Engineering in Huazhong University of Science & Technology,
Key Laboratory of National Ministry of Education for Image Information Processing and Intelligent Control, Wuhan 430074)

Abstract A scheme about the technology for the seamless composition between the presenter image shot by vidicon and the virtual environment image coming from computer in virtual studio has been investigated in this paper. A algorithm has been presented in which the plane wireframe mesh about the video object would be constructed by closed B spline based on the editable points (EP) coming from unbiased partitioning sample points on the segmentation edge about the video object. This algorithm has been used for the construction of the vision-realistic graphics for the presenter in the virtual studio. The experiment has been accomplished to validate the feasibility of the algorithm submitted in this paper, which is carried through capturing on image sequences of single presenter by shooting from vidicon. The experimental result has shown the validity of the algorithm for the simple 3D reconstruction of the video object by fitting the segmentation edge curve and proved that the algorithm is effective and self-adapting in the building of the graphical mesh.

Keywords Virtual studio, Virtual reality, Graphics-based modeling and rendering(GBMR), Collision detection, Seamless composition

0 引言

电视台的节目主持人需要在演播室里完成各种节目的主持, 不同内容的节目往往需要不同布局的演播室, 但构造一个真实的演播室, 其代价和费用常常是高昂的. 计算机图形和虚拟现实技术的发展, 使人们有可能以较低的代价随心所欲地构造出虚拟演播室, 以满足各种用途的需要^[1,2]. 在此提出一种基于图形建模与绘制的虚拟演播室构造方案, 其效果良好, 切实可行.

1 原理及模型

虚拟演播室是将计算机构造的虚拟三维场景作为节目主持人的工作场景, 而将节目主持人的视频摄像, 按其应该所在的位置准确地嵌入其中, 形成节目主持人形象与虚拟三维场景的无缝合成, 以达到以假乱真的目的^[3,4].

1.1 基于计算机图形的几何场景建模

三维真实感图形技术的高效软件算法(包括几何

建模、阴影模型、纹理映射与贴图、光线跟踪技术等方面) 和高性能图形加速硬件(特别是 OpenGL 图形加速卡) 及各种传感技术的飞速发展, 使虚拟现实(VR) 进入人们的工作和生活成为可能. 虚拟现实技术的特征体现为 3 个 I—— 临场感(Immersion)、交互性(Interaction)、想像力(Imagination). 临场感是指用户面对大视野的虚拟环境图象产生身临其境的视觉感受, 这一般要借助于基于立体视觉原理的头盔显示器(HMD) 来实现; 交互性是指用户借助于多种传感设备(包括数据手套与数据服、位置跟踪器等) 以用户化身(user avatar) 这个特殊图形对象的形式, 来与虚拟场景中的对象产生数据交换和相互作用; 想像力是指用户对虚拟场景的主动性, 即用户是虚拟场景的主宰, 可以按自己的意愿对场景进行创造、操作和布置.

基于计算机三维图形的几何图形场景建模与绘制就是以面向对象的方法和真实感图形技术, 用具有自身属性和操作方法的图形对象的集合来组成虚拟场景. 其优点是各对象之间相对独立, 其操作及编程实现都较容易; 其缺点是当场景很复杂时, 因处理器计算能力的限制而难以作实时处理, 从而影响交互性, 使用户会感到明显的时延而觉得不舒服.

1.2 节目主持人视频图象的输入及简单三维重建处理

目前对节目主持人的拍摄大多是使用 BETACAM 系列模拟摄像机(数字摄像机虽已面世, 但尚不普及). 在对其模拟视频图象进行计算机操作

之前, 需进行采样及量化的数字化处理, 这一般是用各种视频采集卡来完成的. 要将节目主持人的视频图象无缝合成到基于计算机三维图形建模与绘制的虚拟几何场景中, 就需要先把节目主持人的图象序列从画面上分离出来, 并重建三维模型, 然后将重建的节目主持人真实感图形插入到虚拟几何场景的适当位置. 本文是从蓝背景摄像得到模拟视频图象中采集图象序列, 并采用抠像的过滤算法来处理实现的, 即在蓝背景摄像的模拟视频图象序列中, 作实时的边缘检测和对节目主持人图象进行分割, 将检测出的人像边缘作基于样条曲线的拟合, 并建立人像的三维图形几何模型(亦称格网或几何网格, mesh), 而将分割出的节目主持人图象序列作为材质贴图对该几何网格模型作实时的纹理映射, 以构成具有真实感图形的实体对象, 并置入到 GBMR 建模的虚拟演播室场景中.

如图 1 所示, 先将具有蓝色背景的节目主持人摄像, 然后经视频采集卡将其采集成存于缓冲区中的数字图象, 再用基于颜色提取算子的快速边缘检测算法, 把节目主持人图象的边缘提取出来, 并对节目主持人图象进行分割, 拟合成封闭的样条曲线并构造节目主持人形象的平板几何格网(Geometric Wireframe), 使用分割出来的节目主持人图象作为该平板几何格网的纹理进行映射. 因为人像的边缘形态比较平滑, 所以用基于型值点序列的 B 样条曲线来完成人像平面的勾画, 对满足实时性的要求来说, 是比较合适的.

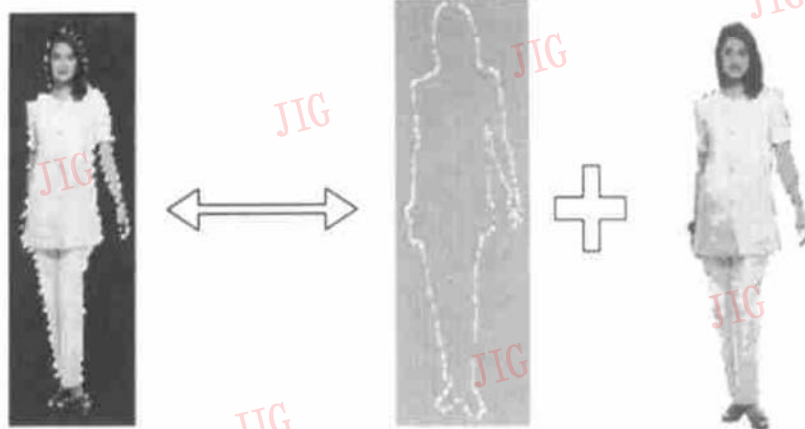


图 1 主持人图象的真实感图形重建过程

由 N 个型值点的序列 $Q_i (i= 1, \dots, N)$ 构成封闭三次 B 样条曲线段的算法为

$$P_i(t) = \begin{vmatrix} t^3 & t^2 & t & 1 \\ 2 - 2 & 1 & 1 & 1 \\ - 3 & 3 - 2 & - 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} Q_i \\ Q_{i+1} \\ Q'_i \\ Q'_{i+1} \end{vmatrix} \quad t \in [0, 1] \quad (1)$$

此处 $P_i(t)$ 是由型值点 Q_i 到型值点 Q_{i+1} 构成的第 i 段 B 样条曲线段 $Q_i Q_{i+1}$ 上的任意一点, Q'_i, Q'_{i+1} 是 B 样条曲线段的端点切线矢量. 对于型值点序列 $Q_i (i= 1, \dots, N)$, 其坐标位置的选取可使用节目主持人图象边缘分割线的 n 等分均值抽样点, 型值点切线序列 Q'_i 可近似取为 Q_i 点的前后邻点构成的矢

量 $\overrightarrow{Q_{i-1}Q_{i+1}}$, 即 $Q'_i = \overrightarrow{Q_{i-1}Q_{i+1}}$.

因为主持人图象边缘的不同部分有不同的曲率, 曲率变化频繁的部分(如手掌部位)就需更精细的建模. 文中采用基于型值点序列的 B 样条曲线曲率阈值进行判定的自适应算法来拟合主持人图象的边缘. 算法阐述如下: 使用基于梯度算子的快速边缘检测算法, 从蓝色背景中对节目主持人图象进行分割时会得到边缘分割线的像素链表 $L\{Q_i\} (i=0, 1, 2, \dots, N)$, 亦即关于边缘像素设备坐标的一维数组 POINT $Q[N]$. 对 $Q[N]$ 进行 n 等分抽取作为基本的型值点 $Q_j (j=0, N/n, 2N/n, \dots, (n-1)N/n, N, 0)$, 以 Q 序列代入式(1)可构造初始的闭合 B 样条曲线, 然后, 对式(1)得到的由型值点构造的 B 样条曲线段进行中值点处($t=1/2$)的曲率计算, 并将计算值与边缘分割线上相邻两个等分点及其中点($Q_i, Q_{[i+N/2n]}, Q_{i+1}$)所确定圆的曲率半径进行比较, 若差值大于设定的阈值, 则对该段 B 样条曲线段进行型值点的内插以及 B 样条曲线段的重构. 因为从边缘分割线像素链表中等分抽取型值点, 实质上是按边缘分割线的长度进行等分的, 所以边缘分割线

上曲率变化越频繁的地方, 其所抽取的型值点就越密集, 因而选取这样的型值点序列来构造闭合 B 样条曲线将有利于对边缘分割线的拟合, 故是一种优化的自适应选择.

图 2 中, 实线圆是由 B 样条曲线段的端点型值点及其中点型值点(即 $P_i(0) = Q_i, P_i(0.5), P_i(1) = Q_{i+1}$)构成的曲率圆(简称样条曲率圆), 虚线圆是由边缘分割线上相邻的等分点及其中点(即 $Q_i, Q_{[i+N/2n]}, Q_{i+1}$)所确定的圆(简称分割线样点曲率圆).

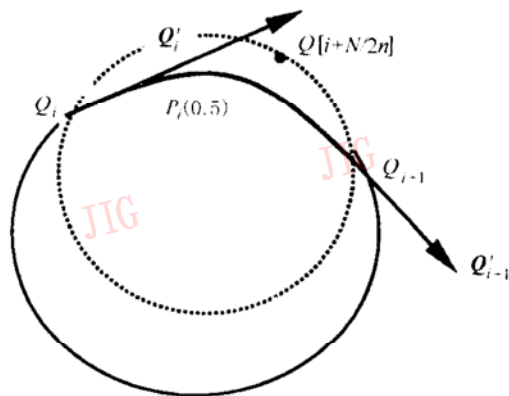


图 2 B 样条曲线段与型值点圆弧的曲率

$$R_s(i) = \frac{\|P_i(0.5)Q_{i+1}\| \cdot \|Q_iQ_{i+1}\| \cdot \|Q_iP_i(0.5)\|}{\sqrt{(\|P_i(0.5)Q_{i+1}\| + \|Q_iQ_{i+1}\|)^2 - \|Q_iP_i(0.5)\|^2} \cdot (\|Q_iP_i(0.5)\|^2 - (\|P_i(0.5)Q_{i+1}\| - \|Q_iQ_{i+1}\|)^2)} \quad (2)$$

分割线样点曲率圆的曲率半径为

$$R_N(i) = \frac{\|Q_{[i+N/2n]}Q_{i+1}\| \cdot \|Q_iQ_{i+1}\| \cdot \|Q_iQ_{[i+N/2n]}\|}{\sqrt{(\|Q_{[i+N/2n]}Q_{i+1}\| + \|Q_iQ_{i+1}\|)^2 - \|Q_iQ_{[i+N/2n]}\|^2} \cdot (\|Q_iQ_{[i+N/2n]}\|^2 - (\|Q_{[i+N/2n]}Q_{i+1}\| - \|Q_iQ_{i+1}\|)^2)} \quad (3)$$

式(2)和式(3)中的 $\|\dots\|$ 运算为矢量的取模运算. 型值点 Q_i 和 Q_{i+1} 之间的样条曲率圆与分割线样点曲率圆的曲率半径之差为

$$\Delta R_i = |R_s(i) - R_N(i)| \quad (4)$$

将 ΔR_i 与预设的阈值进行比较, 以决定是否将 $Q_{[i+N/2n]}$ 作为细分该 B 样条曲线段的新的型值点内插到原先的 Q_i, Q_{i+1} 之间, 以便使重新构造的 B 样条曲线段进一步逼近分割线. 满足预设阈值要求的 B 样条曲线可用相邻三角面构造法来快速构造人像的平面格网, 同时以分割出的人像作为贴图纹理实时映射到该平面格网, 从而生成人像的真实感图形.

2 技术方案

2.1 节目主持人的深度位置标定

对节目主持人深度定位信息的实时获取, 并将

其输入到计算机的深度信息表中的操作. 可以借助于一种称为跟踪器(Tracer)的传感器来完成. 虚拟现实用于实时监测用户位置与方位信息的跟踪器, 常用的有基于超声波测距原理的、基于电磁感应原理的, 也有基于激光测距器的. 用于摄像机保持静态的虚拟演播室时, 只需测定节目主持人相对于 BETACAM 摄像机的位置, 特别是深度距离值. 基于相干超声波位相位差原理的跟踪器, 其测距原理如图 3 所示.

相干超声波信号从超声波发生探测器 D_L, D_D, D_R 同步地向节目主持人所戴的反射器上发射, 并各自独立地经过 $2T_L, 2T_D, 2T_R$ 时间间隔后反射回到发生探测器 D_L, D_D, D_R , 而所传播的空间距离分别为 $2L_L, 2L_D, 2L_R$. 经过左、右两路信号探测电路到达计时器 Timer 的时间差 Δt , 由相干超声波信号的传播路径差 $2(L_1 - L_2)$ 决定, 设左、右探测器的间距为

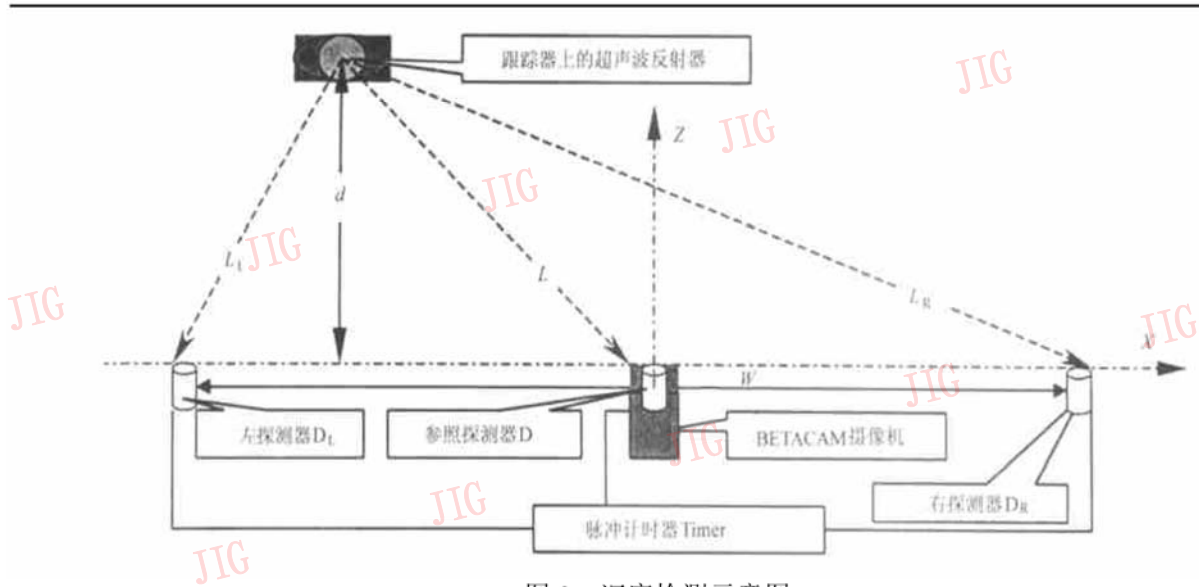


图 3 深度检测示意图

W, v_s 为空气中的声速, Y_0 为预定的高度值, 则深度信息 d 为

$$d = \frac{\sqrt{v_s^2(T_L + T_R)^2 - W^2} \cdot |W^2 - v_s^2(T_L - T_R)^2|}{2W} \quad (5)$$

故节目主持人的坐标值为

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{v_s^2(T_L^2 - T_R^2)}{2W} \\ Y_0 \\ \frac{\sqrt{v_s^2(T_L + T_R)^2 - W^2} \cdot |W^2 - v_s^2(T_L - T_R)^2|}{2W} \end{pmatrix} \quad (6)$$

此处假定超声波发生探测器 D_L, D, D_R 与节目主持人所戴的超声波反射器在同一水平面上, 以使计算简化。

2.2 主持人图象在虚拟几何场景中基于深度的插入算法

节目主持人图象序列的真实感图形要插入到虚拟几何场景中的相应位置上, 除了要将虚拟摄像机的世界坐标位置及摄影方向设置成与 BETACAM 摄像机的世界坐标位置相重合以外, 还要将虚拟摄像机的参数, 包括焦距、成像视角等设置成与 BETACAM 摄像机一致。节目主持人形象的平面格网所在位置的坐标值, 由跟踪器测量值的采样值实时赋值而得, 该平面格网按坐标位置插入虚拟几何场景中, 并由虚拟摄像机进行透视投影。

2.3 对象的空间互斥性及虚实对象的碰撞监测机制

现实生活中的客观物体都具有空间互斥性(也称空间不可入性), 即不同物体不能占据同一空间坐标。虚拟现实场景中应当避免出现两个或多个刚性几何体对象占用相同的空间, 也就是说, 几何对象间应避免发生空间重叠, 其实现的算法称为碰撞检测

技术 (Collision Detection Technology)^[5]。在 GBMR 场景建模中, 碰撞检测机制可以用离散点集拓扑相交算法或最小距离判定算法来实现。在虚拟演播室中, 节目主持人图象与虚拟几何场景中, 几何实体对象间的空间不可入性尤其重要, 若不能用算法实时检测出来, 并反馈给节目主持人, 就会发生主持人图象植入到其他几何体中的情况, 从而使观众产生视觉混乱。因为节目主持人形象的几何图形是由一条闭合 B 样条曲线作为轮廓线构成的平面格网, 它与虚拟场景中其他几何体的求交运算简化为一条闭合 B 样条曲线与一个几何体的求交运算。

3 实验结果及性能评价

虚拟演播室技术方案实验的硬件条件为: BETACAM 摄像机一台, 基于 PVR 视频采集卡的非线性编辑器一台, 其主机为配备了 OpenGL 加速及硬件抗锯齿(Hardware Antialiasing)性能的 Elsa Gloria III 显示适配器的双 PIII 主机。实验过程如图 4 所示。

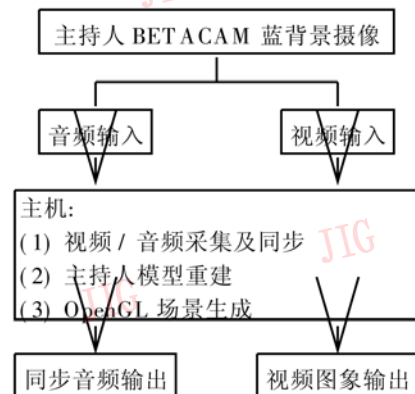


图 4 虚拟演播室硬件配置及流程图

对于节目主持人形体动作变化比较缓慢的情况(实际情况往往如此),视频采集卡所采集的节目主持人图象序列具有清晰的边缘,图象的分割、平面格网的建立及其纹理映射、平面格网的真实感图形对 GBMR 场景的插入都能实时进行。

表 1 中,视频输入分辨率 720×576 是标准 PAL 制电视广播级摄像机做模/数转换的 CCD 采样单元设置,用于支持 PAL 制的各种视频采集卡中.经过试验和筛选后,将初始等分点数 n 的值取为 100 和 150,这对于文中的硬件条件来说达到了预期目的,使重建的节目主持人图形的视觉真实感很强.当然对于不同的硬件条件应取不同的值,以在实时性和视觉真实感之间达到平衡.平面格网建立时间是用软件以计时器消息(WM-TIMER)的捕获来得到的统计时间,其准确性依赖于主机系统硬件和软件操作系统的执行效率.曲率圆半径相差阈值的设定是以正常人眼的空间分辨率(约 $1'$)、观察显示器的正常距离、显示器的尺寸和显示分辨率的值为依据而估算的,也是与实验的硬件条件有关的。

表 1 典型实验数据

	视频输入分辨率(pixel/帧)	
	720× 576	720× 576
初始等分点数 n (个)	100	150
平面格网建立时间(ms)	24	31
人像边缘主观视觉效果	良好	极好
曲率圆半径相差阈值(pixel)	6	6

4 结 论

文中所提的以节目主持人图象分割边缘等分抽样点为型值点的闭合 B 样条曲线拟合来构造节目主持人三维模型平面格网的算法切实可行,且对于图象及视频对象基于内容分割后的边缘拟合具有普适性,但只限于拟合边缘较平滑的图象及视频对象,不适于具有像分形和低频、随机特征的图象及视频对象的拟合,文中的虚拟演播室技术方案使节目主持人视频图象能够无缝地合成到 GBMR 虚拟场景,

包括透视匹配、虚拟阴影生成及光照效果等方面,不同于既有的仅基于色键技术和视频合成的虚拟演播室技术,达到了用虚拟演播室制作电视节目的目的,具有一定的实用价值.对于将虚拟摄像机用来动态实时跟踪实拍摄像机的情况,比本文中的静态摄像机情况更为复杂,尚需将作进一步的深入研究。

参 考 文 献

- 1 李燕. 虚拟演播室系统[J]. 电脑与信息技术, 2000, (1): 9~ 11.
- 2 齐越, 胡晓峰, 张茂军. 虚拟演播室: 结构及关键技术[J]. 中国图象图形学报, 2000, 5A(6): 457~ 460.
- 3 Simon Gibbs *et al.* Virtual Studios: An Overview [J]. IEEE Multimedia, January March, 1998: 18~ 35.
- 4 Blonde L. A virtual studio for live broadcasting: The mona lisa project[J]. IEEE Multimedia, Summer 1996: 18~ 29.
- 5 王兆其, 赵沁平, 汪成为. 虚拟环境中物体物理特性的表示与处理[J]. 计算机研究与发展, 1998, 35(2): 97~ 101.



李自力 1965 年生, 博士研究生, 讲师. 主要研究方向为计算机图形、虚拟现实与仿真及科学计算可视化。



朱光喜 1945 年生, 教授, 博士生导师, 1969 年毕业于华中工学院无线电工程系, 曾主持完成国家自然科学基金、部委基金和“九五”国家重点攻关项目 10 余项, 已发表学术论文 100 余篇。



朱耀庭 1939 年生, 教授, 博士生导师, 1960 年毕业于华中工学院无线电工程系. 长期从事通信与电子系统方面的科研工作, 已主持完成国家自然科学基金、部委基金和“九五”国家重点攻关项目 10 余项, 已发表学术论文 100 余篇。