

基于图象的室内虚拟漫游系统

马向英 杜威 袁晓君 李华

(中国科学院计算技术研究所 CAD 开放实验室, 北京 100080)

摘要 基于图象的绘制(Image Based Rendering)作为一种全新的图形绘制方式,以其相对于传统几何绘制而言,具有高效实用的优点,近年得到了研究人员越来越多的关注,但 IBR 技术仍存在一些主要难点,如图象的无缝拼接和实时漫游. 针对此问题,开发了一个基于部分球面模型的室内虚拟漫游系统. 该系统采用自动匹配和人机交互相结合的方法,可以无缝地将多幅照片拼接成一张全景图,同时采用一种改进的基于查找表的算法,实现了固定视点的实时漫游.

关键词 基于图象的绘制 全景图 图象投影 图象拼接 漫游

中图法分类号: TP391.9 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2001)01-0086-06

Walkthrough in Image-Based Virtual In-door Environment

MA Xiang-ying, DU Wei, YUAN Xiao-jun, LI Hua

(CAD lab, Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Science, Beijing 100080)

Abstracts As a new rendering technique, image based rendering (IBR) receives more and more attention because of its high efficiency in virtual scenes modeling and rendering comparing with traditional geometry based rendering. The major challenge of IBR is to represent the continuous scene with images of discontinuous views, so that users can change their viewpoints arbitrarily in real-time. In other words, we should find a way to stitch images of different views together. In this paper, we show the implementation of an image based spherical virtual in-door environment. The scene is represented as a spherical panorama, which means user is fixed at the center of the sphere and can only look around. Compared with previous works, our system can stitch a continuous panorama from several photos with a semiautomatic method more easily. Meanwhile, a lookup table based algorithm is used to realize the real time walkthrough on a fixed point. At the end of this paper, some experimental results can demonstrate the efficiency and quality of our method.

Keywords Image based rendering, Panorama, Image warping, Image stitching, Walkthrough

0 前言

基于图象的建模和绘制 (Image Based Modeling & Rendering) 是近年来兴起的一种备受关注的场景绘制方法,其基本出发点是为了解决如何在普通计算机上实现真实感图形的实时绘制问题^[1]. 该技术是基于一些预先生成的图象或者所谓的环境映射图,来实时生成不同视点的场景画面.

与传统的基于几何的绘制技术相比,基于图象的建模和绘制有以下优势:

(1) 图形绘制速度独立于场景复杂性,仅与所要生成的画面分辨率有关.

(2) 预先存贮的图象(或全景图)既可以是计算机生成的,也可以是实际拍摄的照片,而且两者可以混合使用.

(3) 该绘制技术对计算资源要求不高,因而可以在普通工作站和个人计算机上实现复杂场景的实

时显示。

本文不仅给出了基于图象室内虚拟漫游的球面模型解决方案,并对若干具体问题提出了自己的解决办法。

1 IBR 的研究现状

IBR 的最初发展可追溯到图形学中广为应用的纹理映射技术。为了简化表面光滑物体对遥远场景镜面反射的计算,1986 年,Greene 首先提出环境映射(Environment Mapping)的概念^[2]。这种环境映射实际上是以全景图象的方式来提供其中心视点处的场景描述。而具体到应用中,环境映射则是以场景中心为固定视点,再将周围场景的图象记录在以该点为中心的环境映射球面或立方体表面上。实际上,这和图象投影变形技术(Image Projective Warping)是完全一致的。

1995 年,McMillan 和 Bishop 提出了全景建模(Plenoptic Function Modeling)的思想^[3],他们首先提出了一种用离散采样来重构全景函数的方法。这里,全景函数作为一个参数化函数,可以用来描述空间中任意给定一点看到的所有东西;而用计算机图形学的术语来说,全景函数实际上就是对给定场景的所有可能的环境映射。

环境映射和全景建模的思想是在虚拟现实(VR)中应用 IBR 技术的基础,在以后的发展中,无论是投影变形技术还是光场重建技术,其核心思想均未出其右。

在经历了多年的发展之后,基于图象的绘制技术目前已经呈现了明确的研究方向和研究方法。特别是在光场全景函数理论的描述和指导下,基于图象的绘制技术目前已开始倾向于以光场的表示、重构和显示等内容为重点,综合使用经典图形学中的图象投影变形、视图插值、场景映射等图形图象技术,并结合传统的基于几何的绘制方法,来构造各种具有高度真实感的实时三维交互系统。

2 基于图象的室内虚拟漫游系统的原理与实现

基于图象的虚拟环境漫游系统的模型可以用图 1 来表示^[4]。

全景图模型一般有立方体、圆柱体和球体 3 种

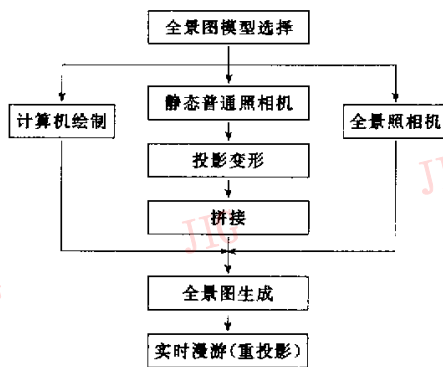


图 1 基于图象的漫游系统模型

模型,而其选择是指生成哪种类型的全景图,且由于采取何种投影方式来生成全景图以及采取何种重投影方式来实现漫游都取决于全景图模型的选择,因此全景图选择在虚拟漫游的实现中具有重要意义,其中最自然的全景图模型是以视点为中心的单位球,而且一旦全景图建立起来,就可以实现固定视点的全部 3 个自由度的观察^[6]。下面以球面模型为例来介绍室内全景环境的实现方法。

2.1 图象投影

因为球面不是一个可展曲面,所以我们无法利用横向与纵向像素数来表示球面片,而事实上,球面上的任何一点均可以由两个角度来唯一标识。若以球心为原点建立坐标系,并设球面上一点与球心的连线为 L , L 在以球心为原点的 XYZ 坐标系 $X-Z$ 平面上的投影为 L_1 ,则 L_1 与 Z 轴正方向的夹角 θ , L 与 L_1 的夹角 α ,就唯一表示了球面上的一点。显然, θ 和 α 可以作为描述球面片的基本单位,如果把 θ 作为横坐标, α 作为纵坐标,那么,现在要做的就是在这种坐标系下,找出球面片上一些点与相应照片平面上像素之间的对应关系,照片平面到球面的投影变换如图 2 所示。

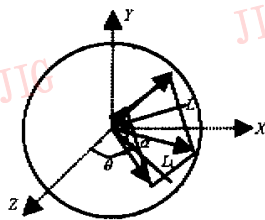


图 2 照片平面到球面的投影

照片平面到球面的透视变换的问题也可以作如下形式化描述:

已知球面的半径为 R , 照片宽度为 W_p , 照片高度为 H_p .

求与球面上一点 $S(\theta, \alpha)$ 对应的照片上一点 T 的坐标 (X, Y)

解:

其水平方向上的变换关系如图 3 所示:

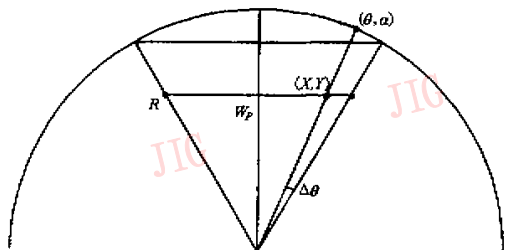


图 3 水平方向(θ 方向)上的透视变换

一般, 球面上的点以角度为单位, 平面上的点以像素为单位, 显然, 在透视关系下, 以像素为单位的均匀改变, 并不对应以角度为单位的均匀变化, 因而

这就有个选择什么单位作为媒介来进行二者转换的问题.

(1) 如果以单位角度(如 1°)为单位进行变换, 则球面上的点是均匀分布的, 但与之对应的平面上的采样点则是中间稠密, 而越到边缘越稀疏. 这样势必会丢失大量信息, 因而将为以后的拼接和重投影带来麻烦.

(2) 如果以单位像素为单位进行变换, 则虽然平面上的采样点是均匀恢复的, 但是球面上的对应点却出现边缘稠密, 中间稀疏的情形. 这样, 将会在球面上形成许多“空洞”, 而且在将来实时漫游时, 当视点转到相应的位置时, 将无法进行重采样.

所以, 一种折衷的解决方案是, 可以选择照片平面上最边缘的像素与视点的连线和视角边缘的夹角作为度量球面片的最小单位. 由于这个角度是所有相邻像素与视点连线夹角的最小值, 因此这既可以保证球面元素的均匀分布, 又可以确保取遍照片平面上所有的点, 而不致丢失信息.

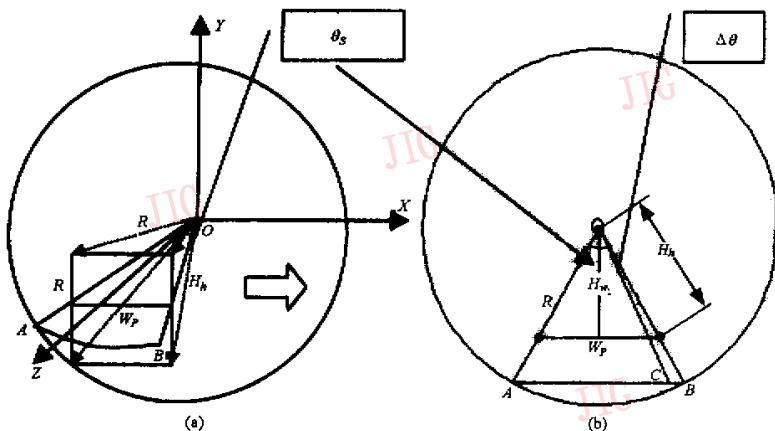


图 4 照片到球面的投影

如图 4 所示, 照片两个边线中点与原点 O 的连线分别为 AO 和 BO , 而 AO 与 BO 形成的夹角才可作为水平方向上穷尽所有投影范围的角度和 θ_s .

$$H_h = \sqrt{R^2 - (H_p/2)^2} \quad (1)$$

$$\theta_s = 2 \times \arcsin\left(\frac{W_p/2}{H_h}\right) \quad (2)$$

若取照片平面上最边缘的一个点, 其和球心 O 连线的反向延长线交球面于 C 点, 则 CO 和 BO 的夹角就是本文前面寻找的水平方向最小角度单位 $\Delta\theta$.

$$H_{w1} = \sqrt{H_h^2 - (W_p/2)^2} \quad (3)$$

$$\Delta\theta = (\theta_s/2) - \arctan\left(\frac{W_p/2 - 1}{H_{w1}}\right) \quad (4)$$

进而就可得出水平方向上, 以 $\Delta\theta$ 为单位的球面片长度为 L

$$L = \text{int}(\theta_s/\Delta\theta)$$

对于球面上的任何一点 S 的 θ 坐标, 其对应照片平面上投影点 P 的横坐标 X_p 为

$$X_p = W_p/2 + H_{w1} \times \tan(\theta - \theta_s/2) \quad (5)$$

竖直方向上的变换关系与水平方向同理, 照片上下两个边线中点与原点 O 的连线形成的夹角才

可以作为竖直方向上穷尽所有投影范围的角度和 α_s . 同上所述,有

$$H_w = \sqrt{R^2 - (W_P/2)^2} \quad (6)$$

$$\alpha_s = 2 \times \arcsin\left(\frac{H_P/2}{H_w}\right) \quad (7)$$

$$H_{h_1} = \sqrt{H_w^2 - (H_P/2)^2} \quad (8)$$

$$\Delta\alpha = (\alpha_s/2) - \arctan\left(\frac{H_P/2 - 1}{H_{h_1}}\right)$$

$$H_S = \text{int}(\alpha_s/\Delta\alpha)$$

所以,球面投影竖直方向上角度变化范围是 α_s ,它以 $\Delta\alpha$ 为基本度量单位,其长度为 H_S ,对应照片平面上投影点的纵坐标 Y_P 为

$$Y_P = H_P/2 + H_{h_1} \times \tan(\alpha - \alpha_s/2) \quad (9)$$

这样就得出球面上任何一点 $P_S(\theta, \alpha)$ 在对应平面上的投影点 $P_P(X_P, Y_P)$.

2.2 拼接与融合

球面拼接的关键问题是照相机视角参数的获得.如果能精确知道与现有照片完全一致的照相机视角以及照相机竖直方向上的仰角,从理论上来说,一旦把照片图象投影至球面上,拼接问题就等价于对两幅球面片做 θ 和 α 方向上的位移,然后就完全可以实现两幅相邻照片的精确拼接^[6].

Bergen 把寻找合适的 θ 和 α 方向位移的工作归结为一个最小化问题^[7]:

$$E(\delta t) = \sum_i [I_1(x'_i + \delta t) - I_0(x_i)]^2$$

其中, x_i 和 x'_i 是两幅图象重叠区域中的对应点, I 是光强函数,它实际上表示了照片各点的颜色值.经过一级泰勒级数展开,以上等式就可以变为下面的形式:

$$E(\delta t) \approx \sum_i [g_i^T \delta t + e_i]^2$$

其中, $e_i = I_1(x'_i) - I_0(x_i)$ 表示当前位置上对应点的颜色差,而 $g_i^T = \nabla I_1(x'_i)$ 则表示图象 I_1 在点 x_i 处的梯度值(颜色变化率).这样,对于该函数的最小化问题,即可以找到其简单的最小二乘解

$$\left(\sum_i g_i g_i^T\right) \delta t = -\left(\sum_i e_i g_i\right)$$

在实际应用中,由于照相机的参数不易精确知道,而且用上述优化的方法容易陷入局部极值,所以完全自动的拼接很难实现.本文采用半自动的方法来实现拼接与融合,即首先由用户在两张照片上手工确定一对对应点,然后用迭代法求出精确值,这样

既避免了迭代法的初值敏感性,又极大地减少了用户的交互量.

2.3 实时漫游

实时漫游,实际上就是对全景图的重采样,即实现从球面片到照相机平面片的透视变换,而且该变换必须满足实时要求. Chen 和 Miller 提出的基于扫描线相关性的两遍算法(Two Pass Algorithm)已获得美国专利^[8]. 蔡勇提出一种在柱面模型下以空间换时间的变换策略^[9],即在预处理阶段把可能用到的各个视角下的变换图象预先做好,然后在实际漫游中,或者直接显示已有图象,或者根据某种调度策略进行相应调整.

本文设计了一种基于查找表(Look Up Table)的实时变换方法,现简要介绍如下:

从球面片到视平面的透视投影,实际上是 2.1 节中介绍的图象投影变换的逆过程.如图 2 和图 3 所示,对于任何方向上的视平面,如果其大小形状固定,则其对应的球面片也是大小形状固定的,而且,该视平面上的一点与球面片上点的对应关系也都是不变的,所以,完全可以对给定大小的视平面(视区),用这种方法生成与其对应的球面片的“对应关系集”,而对于不同方向上的视平面,只要对这个球面片的“对应关系集”加上相应的初值即可.该对应关系集就是本文所说的查找表.

查找表的内容是视平面上与每个象素对应的球面片上元素的位置(以 θ 和 α 为单位),其可以通过 2.1 节中给出的方法求逆得到.在查找表可以在预处理阶段给出,而且在整个漫游阶段保持不变.当视线方向变化时,只要对查找表中的每个元素加上相应的初值,即可得到对应象素在全景图上的确切位置了.

2.4 实验结果

本文采用的实验数据是用普通相机在实验室环拍一周得到的照片.相片拍摄是将相机固定在三角架上,在竖直方向上以仰角 30° ,在水平方向上每隔 30° 拍摄 3 张相片,共得到 $3 \times 12 = 36$ 张场景照片.

从前面的推导可以看出,相机的视角不仅是影响整个实验的关键数据,同时也决定了球面的半径.本文实验取视角为 60° ,即截面周长 = 照片长度 $\times 6$.

下面给出的图 5、图 6 为部分的实验结果.本文采用的实验平台是 SGI Indigo2 x|z 工作站,编程环境为 Ansi C, Open GL 1.0.



图5 拼接后的全景图象(水平部分)

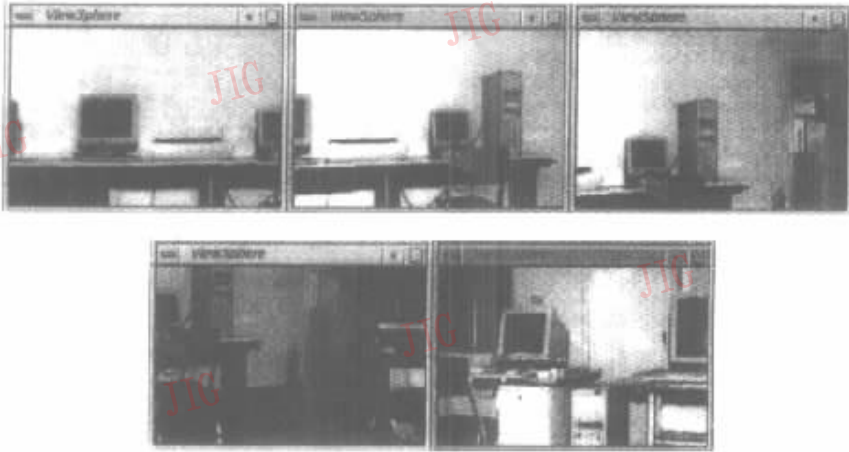


图6 漫游中的显示图象

3 总结与展望

本文讨论了基于图象绘制的球面模型室内虚拟漫游系统的建立,并对水平方向上的图象投影、拼接与融合、实时漫游等关键技术给出了自己的改进算法和实现策略。

对于球面模型而言,其难点仍然是相机参数(具体地说,就是照相机的视角)的准确获得。如果拍摄时相机的视角精确,且已知,则可以把图象精确投影到相应的球面上,才有可能顺利实现后续的自动拼接。对于采用计算机建模的虚拟场景,如果人们用虚拟相机进行采样的话,则这些参数及其一致性可以轻易地得到保证,而且应用本文前面讨论过的方法,无疑可以得到完整的球面模型。

参考文献

- 1 鲍虎军,彭群生. 基于图象的图形绘制技术(专题报道). 计算机世界,1998-09-21.
- 2 Greene N. Creating raster omnimax images from multiple perspective views using the elliptical weighted average filter. IEEE Computer Graphics and Applications, 1986,6(67):21~27.
- 3 McMillan Leonard, Gary Bishop. Plenoptic modeling: An image-based rendering system. In: Proceedings of SIGGRAPH'95, New York, 1995:39~46.

- 4 Chen S E. Quicktime VR—An image-based approach to virtual environment navigation. In: Proceedings of SIGGRAPH'95, New York, 1995:29~38.
- 5 李洪举,吴恩华. 一种用于室内虚拟环境的新表示. 软件学报, 1998,9(9):641~645.
- 6 Szeliski, Richard. Heung-yeung shum creating full view panoramic image mosaics and environment maps. In:Proceedings of SIGGRAPH'97, Los Angeles, 251~258.
- 7 Bergen J R, Anandan P, Hanna K J *et al.* Hierarchical model-based motion estimation. In: Second European Conference on Computer Vision (ECCV'92), Santa Margherita Liguere, Italy, Springer-Verlag,1992:237~252.
- 8 Chen S E, Miller G S P. Cylindrical to planar image mapping using scanline coherence. United States Patent number: 5 396 583. 1995-05-07.
- 9 蔡勇,刘学惠,吴恩华. 基于图象绘制的虚拟现实系统环境. 软件学报, 1997,8(10):721~728.
- 10 马向英. 虚拟现实技术中的场景漫游与纹理生成[硕士学位论文].北京:中国科学院计算技术研究所,1999年5月.

马向英 1974年生,1999年毕业于中国科学院计算技术研究所CAD实验室,获硕士学位。主要从事虚拟现实和基于图象的绘制研究。

杜威 1974年生,1997年毕业于天津大学计算机系,获学士学位。现于中国科学院计算技术研究所CAD实验室攻读博士学位。主要研究方向为虚拟现实、基于图象的绘制和计算机视觉。

袁晓君 1972 年生,中国科学院计算技术研究所 CAD 实验室博士研究生. 主要从事虚拟现实和计算机图形学的研究.

李 华 1957 年生,博士生导师. 1989 年毕业于中国科学院计算技术研究所 CAD 实验室,获博士学位,现为中国科学院计算技术研究所 CAD 实验室主任. 主要从事计算机图形学和计算几何的研究.