

# 基于3D WARP的混合绘制算法研究

汤晓安 蔡宣平 孙茂印 郝建新

(国防科技大学电子科学与工程学院, 长沙 410073)

**摘要** 几何绘制(GBR)是传统计算机图形学的研究内容,随着计算机图形学的发展,图象绘制(IBR)成为研究热点,两者各有其优缺点.其中,GBR具有绘制自由度大、速度慢等特点,需占用大量系统资源;而IBR则正好相反.因此,寻找一种能够结合GBR与IBR优点,而又能克服其缺点的方法是必要的.为了使几何绘制和图象绘制能够实现有机地结合,提出了一种全新的“基于几何与图象的混合绘制(Geometry and Image-Based Hybrid Rendering, GIBHR)”方法,并分析了GIBHR的研究内容,同时给出了GIBHR的绘制流程.在此基础上,将IBR领域的3D WARP算法在几何绘制领域进行了进一步拓展与推论,证明了其可行性和有效性,提出了一种基于3D WARP的混合绘制算法,最后对该算法进行了实验.结果表明,该算法在提高几何绘制速度方面具有明显优势,且具有空间反走样能力.

**关键词** 基于几何与图象的混合绘制 几何绘制 图象绘制 3D WARP

**中图分类号:** TN941.3 TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2001)07-0710-05

## An Algorithm of 3D WARP-Based Hybrid Rendering

TANG Xiao-an, CAI Xuan-pin, SUN Mao-yin, HAO Jian-xin

(Electronic Science and Engineering College of NUDT, Chang Sha 410073)

**Abstract** Geometry-based rendering (GBR) is a subject of traditional computer graphics. Along with the development of computer graphics, Image-based rendering (IBR) becomes an important approach. GBR and IBR have advantage and disadvantage independently. This paper gives a novel approach of geometry-and image-based hybrid rendering (GIBHR) aiming at the status quo of computer graphics, analyses the research contents of GIBHR, and , gives a rendering pipeline of GIBHR. GIBHR can overcome the disadvantage of GBR and IBR, which can render geometry object and scene freely like GBR, and, has a high rendering speed like IBR. by texture map, it can keep high reality also. This paper expands algorithm of 3D WARP of IBR into geometry-based rendering, proves the feasibility and validity, and, gives an algorithm of hybrid rendering based 3D WARP. This algorithm can overcome pixel discrete phenomenon of 3D WARP algorithm. At last, this paper gives an experiment result of hybrid rendering algorithm, it proves that the algorithm of hybrid rendering based 3D WARP can speed the rendering of geometry models obviously, and it has the ability of space anti-aliasing.

**Keywords** GIBHR, GBR, IBR, 3D WARP

## 0 引言

传统的计算机图形学,其核心是研究基于几何的物体模型,因此,又被称之为基于几何的计算机图形学,但随着计算机图形学的发展,图形学的研究又涌现出一些崭新的领域.目前,基于图象的计算机图形学成了研究热点,但两者各有其优缺点.经过综合

分析它们的特点,本文提出了一种全新的方法——基于几何与图象的混合绘制方法,以便最大限度地发挥基于几何的计算机图形学与基于图象的计算机图形学二者的优点,以达到有效地提高绘制速度与逼真度的目的.

3D WARP算法是图象绘制领域的重要算法,为了适应混合绘制的要求,本文对该算法进行了拓展与扩充,提出了一个混合绘制算法,通过对该混合

绘制算法进行的实验表明,该混合绘制算法在提高场景绘制速度方面具有明显优势。

## 1 计算机图形学的研究现状

### 1.1 基于几何的计算机图形学

基于几何的计算机图形学是传统意义上的计算机图形学。对这一领域的研究是比较成熟的,已经形成了一整套完整的算法体系。基于几何的计算机图形学的研究核心是三维(或二维)物体的几何模型,其绘制手段是几何绘制。绘制过程主要包括坐标变换、裁剪、消隐、投影、光线计算、象素填充及反走样等。

### 1.2 基于图象的计算机图形学

基于图象的计算机图形学是近年来的研究热点,但目前尚未形成一个完整的理论体系,我国在这方面的研究仍处于起步阶段。基于图象的计算机图形学与传统的计算机图形学(即基于几何的计算机图形学)的区别在于,基于几何的计算机图形学的研究核心是几何模型,而基于图象的计算机图形学的研究核心是图象模型,图象模型中物体使用真实世界的采样来表述,也就是首先通过一些具体手段如摄影、摄像、照相等,获得真实世界的采样,然后按一定的规则表达出物体模型。绘制的过程实际上就是图象变换的过程。目前,国内外有关研究机构正在这一领域积极探索。

## 2 基于几何与图象的混合绘制

基于图象与基于几何的计算机图形学各有其优缺点。前者具有逼真度高、运算速度快、占用系统资源少等优点,但是,图象模型是对现实世界的真实采样,在很多场合下,获取这样的采样有很多实际困难,如对火山内部、海底世界、外太空等的采样,甚至在真实世界中根本就不存在这样的模型,因此,需要充分发挥设计者的想象力,去创造一个未知世界(虚拟世界);而基于几何的计算机图形学则正好相反。由此可见,充分发挥基于图象与基于几何的计算机图形学各自的优点,并将两者有机结合起来,是一个很有意义的研究课题。

混合绘制的研究内容,从模型(基于模型的混合绘制)的角度讲,可以分为以下几个部分:

(1)在图象场景中融入几何模型,即在真实世界

中融入虚拟世界的物体,以实现真实世界和虚拟世界的融合,其实质是对真实世界的完善。

(2)在几何场景中融入图象模型,即在虚拟世界中融入真实世界的物体,同样能实现真实世界和虚拟世界的融合。其典型应用为虚拟现实、虚拟演播室技术等。

从算法与绘制流程(基于算法与渲染的混合绘制)的角度讲,混合绘制充分利用了基于图象与基于几何的计算机图形绘制算法,并将其有机融合,但为了适应这种新的处理方法,还必须提出新的算法,以充分发挥混合绘制方法的优越性,最大限度地提高三维图形的逼真度和绘制速度。

基于几何与图象的混合绘制处理流程见图1。



图1 基于几何与图象的混合绘制处理流程

以上的处理流程,是基于几何与基于图象的计算机图形学处理流程二者的有机组合,它可以充分发挥各自的优点,其中,关键的一点在于,它继承了计算机图形学已有的研究成果,并在原有的基础上融入了基于图象的绘制算法,因而极大地提高了绘制效率。

各单元的具体含义如下:

(1)模型融合:该单元是针对几何模型和图象模型而言,它完成如下两种功能:其一是对已经建好的几何模型和图象模型进行选择,即根据视点、俯仰角、视角等参数的变化,适当地选择出所需场景,并对场景进行预裁剪,以降低系统的计算量;其二是对已经建好的模型进行数据融合,以获得同时具有几何及图象模型特点的场景,这种数据融合可以是一个预处理过程,也可以是一个实时计算过程。

(2)混合绘制:由于该单元是一个实时计算过程,因此需要使用几何及象素处理器,其绘制结果将作为关键帧,然后由关键帧导出显示帧。

(3)图象变换:图象变换单元负责完成由关键帧导出显示帧的任务,但该模块需依赖于具体的算法,如全视函数、MORPH、WARP、插值等<sup>[1~4]</sup>。该过程根据算法的不同,将涉及到数据库的组织、管理、检索等技术。三维变形、插值的理论基础是“针孔相机模型”,如果对几何模型采用三维变形、插值等算法,则需要增加约束条件,即“具有严格参数标定的针孔

相机模型”。

### 3 基于3D WARP的混合绘制算法

#### 3.1 3D WARP 算法

3D WARP 算法<sup>[5]</sup>是图象绘制领域的重要算法,该算法的理论基础是基于针孔相机的数学模型,其总体思路是:

设  $C_1, C_2$  分别为两个观察点(以矢量表示其空间坐标),通过其对空间点  $X$  进行观察,  $P_1, P_2$  分别为  $C_1, C_2$  的观察矩阵(观察平面  $x, y$  方向的单位向量与观察点至观察平面原点向量组成的矩阵),  $t_1, t_2$  分别为比例因子(即观察点至观察平面上点的距离与观察点至空间点距离之比),  $X_1, X_2$  分别为  $C_1, C_2$  与  $X$  的连线与观察平面的交点(该交点实际就是图象坐标),令  $c_1, c_2$  分别表示  $C_1, C_2$  观察点在世界坐标系中的三维坐标,并令  $x_1, x_2$  分别表示  $X_1, X_2$  在观察平面上的坐标,即  $x_1 = (u_1, v_1, 1)$  及  $x_2 = (u_2, v_2, 1)$  (令观察平面的深度为1,其在世界坐标系下的实际深度由  $P_1 x_1$  及  $P_2 x_2$  决定),则有

$$x_2 = \frac{t_1}{t_2} P_2^{-1} P_1 x_1 + \frac{1}{t_2} P_2^{-1} (c_1 - c_2)$$

这样,由已知某一观察点的图象,即可以获知另一观察点的图象(算法的推导过程见文献[5])。

#### 3.2 基于3D WARP的混合绘制算法

##### 3.2.1 3D WARP 算法在几何绘制领域的拓展

针孔相机模型是指将图象场景看作是对真实世界的采样(即使用针孔相机进行拍照)。

对该定义进行扩充,即针孔相机模型指的是将计算机上显示的图象或图形看作是对真实世界或虚拟世界的采样。从数学的角度看,对真实世界及虚拟世界的采样可以同时存在。

基于以上理由,对针孔相机模型的范围进行拓展,将其拓展到几何绘制领域,即将针孔相机的方位、焦距、俯仰角分别对应于几何模型的观察点、景深、视点方向及方位角。设其存在图2所示的几何投影空间。

图2中,  $c, s, p$  分别为观察点、屏坐标和空间点,在引入观察方向  $d$  后,即得到观察空间的投影原理图(图3)。

图3中,  $o$  是观察平面的原点,  $c'$  是  $c$  在观察平面上的投影,  $\vec{o}u, \vec{o}v$  分别是观察平面  $u, v$  方向的单位矢量。这样,在两个观察点对  $p$  进行观察时,则扩

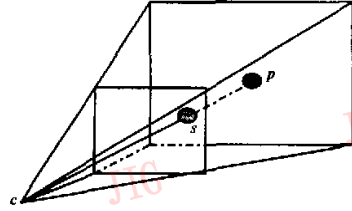


图2 几何投影空间

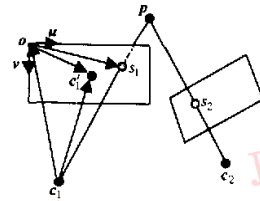


图3 观察空间的投影原理

展成  $c_1, c_2$ , 两个观察平面上的各点均使用1, 2下标, 令  $r_1, r_2$  分别为  $c_1, c_2$  至各自观察平面的距离, 则

$$\begin{aligned} p &= c_1 \vec{p} + c_1 = c_2 \vec{p} + c_2 = c_1 + t_1 c_1 s_1 \\ &= c_1 + t_1 (d_1 r_1 - o_1 c'_1 + s_{1x} o_1 u_1) + s_{1y} o_1 v_1 = c_2 + t_2 c_2 s_2 \\ &= c_2 + t_2 (d_2 r_2 - o_2 c'_2 + s_{2x} o_2 u_2) + s_{2y} o_2 v_2 \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} s_{2x} o_2 u_2 + s_{2y} o_2 v_2 &= \frac{1}{t_2} (c_1 - c_2) + \frac{t_1}{t_2} (d_1 r_1 - o_1 c'_1 + \\ & \quad s_{1x} o_1 u_1 + s_{1y} o_1 v_1) - d_2 r_2 + o_2 c'_2 \end{aligned} \quad (2)$$

上式即为3D WARP 算法在几何投影空间的表述。

##### 3.2.2 对3D WARP 算法的进一步推论

设点  $P$  在两个观察空间的深度值分别为  $z_1, z_2$ , 则  $t_1 = \frac{z_1}{r_1}, t_2 = \frac{z_2}{r_2}$ , 代入式(2), 得

$$\begin{aligned} s_{2x} o_2 u_2 + s_{2y} o_2 v_2 &= \frac{r_2}{z_2} (v_1 - v_2) + \frac{z_1 r_2}{z_2 r_1} (d_1 r_1 - o_1 c'_1 + \\ & \quad s_{1x} o_1 u_1 + s_{1y} o_1 v_1) - d_2 r_2 + o_2 c'_2 \end{aligned} \quad (3)$$

至此,通过对3D WARP 算法的拓展,即将3D WARP 算法完全扩展到了几何绘制领域,并可得到如下结论:

**结论1** 经过拓展的3D WARP 算法可以应用到混合绘制领域,同时,它也证明了混合绘制方法的可行性。

##### 3.2.3 GIBHR 算法

式(3)虽然给出了新象素的坐标值,但是,象素除了坐标值以外,还有其他参数,如  $x, y, z, r, g, b, a$  (三维坐标、象素颜色值及透明度等),同时,公式(3)也不能处理几何投影的可见性与空间反走样问题,为了解决这些问题,提出如下解决方法:

设由几何绘制得到2或N帧图象(几何绘制结

果,这里以参考帧表示).对所有参数的表示进行扩展(原参数仅表示两帧之关系,现扩展到  $N$  帧),其所有参考帧参数的下标均以  $n(1 \leq n \leq N)$  表示;结果帧(由参考帧得到,以结果帧表示)像素以  $c$  表示,则其相应的三维坐标、像素颜色值及透明度分别表示为  $c_x, c_y, c_z, c_r, c_g, c_b, c_a$ , 与其对应的各参考帧像素为  $s_n(1 \leq n \leq N)$ , 相应参数分别为  $s_{nx}, s_{ny}, s_{nz}, s_{nr}, s_{ng}, s_{nb}, s_{na}$ , 则结果帧与参考帧像素坐标取如下关系

$$c_x = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N s_{nx} \quad c_y = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N s_{ny} \quad c_z = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N s_{nz}$$

考虑到几何绘制的光照特性,结果帧的像素颜色值取  $N$  帧参考帧像素颜色值的均值,且将该均值对深度进行插值,即得到

$$c_r = \left( \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N s_{nr} / \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N s_{nz} \right) c_z = c_z \sum_{n=1}^N s_{nr} / \sum_{n=1}^N s_{nz}$$

同理可以得到  $c_g, c_b, c_a$ , 深度值取  $N$  帧参考帧深度的均值.

综上所述,可以得到:

$$\left. \begin{aligned} c_x &= \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N s_{nx}; c_y = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N s_{ny}; \\ c_z &= \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N s_{nz}; c_r = c_z \sum_{n=1}^N s_{nr} / \sum_{n=1}^N s_{nz}; \\ c_y &= c_z \sum_{n=1}^N s_{ng} / \sum_{n=1}^N s_{nz}; c_b = c_z \sum_{n=1}^N s_{nb} / \sum_{n=1}^N s_{nz}; \\ c_a &= c_z \sum_{n=1}^N s_{na} / \sum_{n=1}^N s_{nz} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

至此,即可得到结论

**结论 2** 由几何绘制得到的  $N$  帧参考帧,通过混合绘制算法可以直接得到结果帧的完备集,即可以得到结果帧像素的  $x, y, z, r, g, b, a$  值,且由  $N$  帧参考帧而得到的结果帧具有空间反走样的能力.

### 3.3 GIBHR 算法总结

混合绘制算法可归结为:

- (1) 对几何模型进行  $M$  次几何预绘制. 选取相邻帧为参考帧,得到  $N$  帧参考帧;
- (2) 获取  $N$  帧参考帧的  $x, y, z, r, g, b, a$  值;
- (3) 设定新的观察点,获得观察点参数;
- (4) 代入公式(3);
- (5) 代入公式(4),得到结果帧的完备参数;

(6) 如果处理结束,转(3)

否则,转到(4).

## 4 GIBHR 算法与其他算法的比较

### 4.1 GIBHR 算法与 3D WARP 算法的比较

3D WARP 算法以实拍图象为处理对象,其前提条件是多幅图象的光照条件没有明显变化,因此,3D WARP 算法仅给出了坐标变换值  $(x, y)$ , 变换后像素的颜色取原图颜色值;3D WARP 算法的变换过程是基于点的变换,因此必然形成离散效应. GIBHR 算法以 3D WARP 算法为基础,将其在 GBR 领域进行了拓展, GIBHR 算法依据 GBR 特性给出了像素的完备表示,实现了像素颜色与透明度的过渡,同时, GIBHR 算法是依据多幅相邻帧进行图象映射,因此具有空间反走样的能力(解决由独立像素点进行空间变换而导致的离散问题); GIBHR 算法的时间复杂度为  $O(M)$ , 其中,  $M$  为相邻帧数, 3D WARP 算法的时间复杂度为  $O(1)$ , 因为 3D WARP 算法仅对 1 帧进行处理.

### 4.2 GIBHR 算法与传统 GBR 算法的比较

GIBHR 算法以预生成的  $M$  帧参考帧为处理对象,且充分考虑了相邻帧的相关性,因此不依赖于场景(复杂的场景计算作为预处理过程),而 GBR 则以欧氏空间的 3D 模型为处理对象,不考虑相邻帧的相关性,因此将依赖于场景的复杂度,即复杂度越大,绘制时间越长. GIBHR 的结果帧是对 GBR 的逼近,通过参考帧的选取,可以很好地逼近 GBR 的处理结果.

## 5 实验结果

在 PI 400 微机上,对 DEM 数据(具有纹理与法矢量)用本文算法进行了 36 帧预绘制( $M=36$ , 角度为  $10^\circ$ )实验,实验中,选取 2 帧相邻帧( $N=2$ )为参考帧,得到如表 1 的结果,选取 3 级复杂度模型,对相同视点分别用 GBR 和 GIBHR 算法进行绘制,得到结果如图 4 所示.

表 1 对不同复杂度模型分别进行 GBR 与 GIBHR 绘制的时间

图形数据	几何绘制时间	GIBHR 绘制时间	逼真度	GIBHR 预处理时间
256×256	800~1 000ms	170~250ms	无明显变化(图 1b)	32.4s
512×512	5~9min	210~410ms	无明显变化(图 1d)	3.6h
985×748	20~25min	350~500ms	无明显变化(图 1f)	18.2h

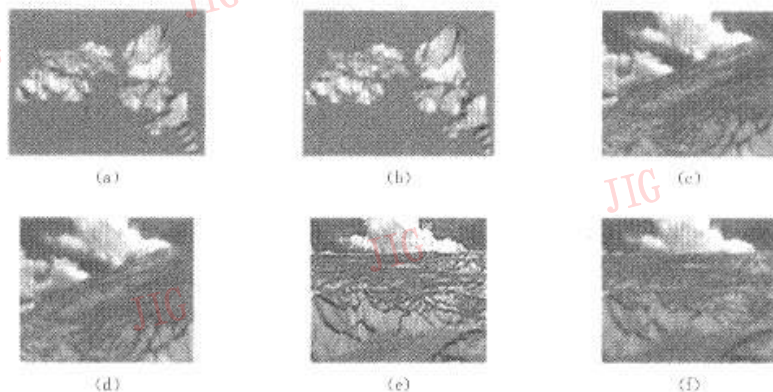


图4 对不同复杂度模型分别进行GBR和GIBHR绘制的结果图象

其中,图4(a)、图4(b)分别为 $256 \times 256$ DEM数据的绘制结果,图4(c)、图4(d)为 $512 \times 512$ DEM数据的绘制结果,图4(e)、图4(f)为 $935 \times 748$ DEM数据的绘制结果其中,图4(a)、图4(c)、图4(e)为几何绘制,图4(b)、图4(d)、图4(f)为GIBHR绘制结果图象,通过对比可以看出,其逼真度无明显区别,但绘制时间却大大减少,且GBR绘制时间随模型复杂度增加呈几何级数上升,而GIBHR绘制时间则没有明显变化(表1)。

以上提出的GIBHR算法目前尚局限于平行投影,下一步的工作是将其拓展到透视投影,此项工作正在研究之中。

#### 参考文献

- 1 Chen S E. Quicktime VR: An image-based approach to virtual environment navigation. In: Robert Cook, editor, SIGGRAPH '95 Conference Proceedings, ACM SIGGRAPH, Addison Wesley Press, August 1995, 29~38.
- 2 Oliveira M, Bishop G. Image-Based Objects. In: Proceedings of 1999 ACM Symposium on Interactive 3D Graphics, Atlanta, Ga, April 26-28, 1999, 181~198.
- 3 Robertson P. Fast perspective views of images using one-dimensional operations. IEEE Computer Graphics and Applications, 1987, 7(2): 47~56.
- 4 Michael Gleicher. Image Snapping. In: Robert Cook, editor, SIGGRAPH 95 Conference Proceedings, Annual Conference Series, ACM SIGGRAPH, Addison Wesley Press, August 1995, 183~190.
- 5 Leonard McMillan Jr. An image-based approach to three-dimensional computer graphics. Ph. D. Dissertation, University of North Carolina, April 1997, UNC Computer Science TR97-013. <http://www.cs.unc.edu/publication>.



汤晓安 1968年生,讲师,博士研究生,主要研究方向为图形、图象与科学计算可视化。



蔡宣平 1962年生,国防科技大学电子科学与工程学院信息与通信系主任、教授,主要从事计算机图形学、信息处理等方面的教学与科研工作。



孙茂印 国防科技大学电子科学与工程学院教授、博士生导师,主要从事计算机图形学、科学计算可视化、虚拟现实技术等方面的研究工作,发表论文60余篇。

郝建新 1955年生,国防科技大学电子科学与工程学院副教授,主要研究方向为实时信息处理与仿真。