

层次深度拼图集:一种新的树木快速绘制方法

张淮声 华 炜 王 青 鲍虎军

(浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室,杭州 310027)

摘 要 提出了一种层次深度拼图集的树木表示方法,可以快速绘制树木,并有较高真实感效果。首先对树模型进行采样,得到其 LDI 集,然后使用一种包含遮挡信息的自适应纹理压缩方法,组合成纹理图像包,并创建对应的深度拼图集。这样树被表示成多个采样方向上的层次深度拼图集的组合。在绘制中,使用一种融合策略进行绘制合适的层次深度拼图集,实现了渐进过渡。通过实验,可以使用相对于树的原始面片较少的深度拼图绘制,能够满足交互式应用的需要。

关键词 层次细节 层深图像 深度拼图

中图法分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2004)10-1216-07

LDM-Pack: A New Method for Rendering Trees Rapidly

ZHANG Huai-sheng, HUA Wei, WANG Qing, BAO Hu-jun

(The State Key Laboratory of CAD&CG, Zhejiang University, Hangzhou 310027)

Abstract This paper presents a new specification of LDM-Pack tree, which renders trees rapidly with high fidelity. It first samples the tree model, and gains its LDI-Packs. All LDI-Pack textures are compressed by an occlusion-inclusive compression approach, and packed into texture packages. Then the corresponding LDM-Packs are created from LDI-Packs according to the predetermined viewpoints. Thus, a tree is specified by a group of LDM-Packs with several sample directions. When rendering stage, one blending scheme is used to render correct LDM-Packs for smooth transitions. Shown by the experiments, the number of rendering depth mosaics is less than the one of the tree original polygons.

Keywords levels of detail (LOD), layered depth image (LDI), depth mosaic (DM)

1 引 言

逼真的树木绘制效果在自然场景模拟中是重要的组成部分。然而树木包含大量的细节信息,以及光照和可见性影响,使得在绘制中将消耗较多的计算时间。解决这个问题关键,就是适当简化树木的复杂模型,同时尽量保持其绘制质量。

前人已对植被等复杂模型的简化进行了深入的研究,一般都包括如何简化原始模型,并重组成优化结构这个步骤。主要有

(1) 几何的 LOD (levels of detail) 模型 这类方法计算多个植被的多边形层次模型,并使用视觉

依赖的 LOD 技术实现不同层次之间的平滑切换。一种自动的外观保持的植被简化算法^[1,2],在绘制中,根据到视点的距离选择合适的层次,绘制包含 200 棵树的场景,能够获得较好的效果。

(2) Billboard 和其变化类型 在许多应用中,经常使用一个带纹理的 Billboard 来表示一棵树,但过于简化,不能很好表现树的细节信息。一个改进的策略就是使用好几个 Billboard,构成 X 形状的 Billboard。把树分解为两部分:树干和树叶^[3]。树干用多边形网格表示,树叶简化为许多的切片,每个切片包含一组透明的平行薄片。树的一个视域方向上采样一个切片。在绘制时,根据误差尺度选择两个切片,然后以融合模式进行绘制。使用多个方向的

基金项目:国家自然科学基金(60203014),博士点基金(20030335083);创新群体项目(60021201);

国家重点项(60133020),973 项目(2002CB312102)

收稿日期:2004-06-18;改回日期:2004-08-11

Billboard 构成 Billboard Clouds 来近似物体^[4],在远处观察时效果较好,但距离过近时,可能观察到 Billboard 之间的裂缝。

(3) 体纹理 树模型首先被体素化,然后使用 3D 纹理映像的技术进行绘制^[5]。但是,这种方法通常比其他方法消耗更多的内存。

(4) 基于图像的绘制 (IBR) IBR 方法把物体空间的复杂度转换为图像空间的复杂度,这样通过增大存储量降低绘制时间。这种方法很适合做植被的绘制,因为植被的复杂度通常很高^[6~9]。一些 IBR 方法如图像缓存^[10],Imposter^[11],都可结合到几何绘制中来。

(5) 点绘制 (PBR) 一种快速采样算法^[12],用于处理复杂的几何物体,并演示了一个包含 1 000 棵树的自然场景。Wand 等提出了一个随机 Z-Buffer 算法来控制复杂场景^[13]。在他们的实验中,能以交互的速度绘制 10^{14} 个三角形构成的森林场景。

从树木的特征入手,考虑到树的复杂外观通常有明显的冗余信息,树的结构通常是层次性的,提出一种树木的新表示:层次深度拼图集 (Layered Depth Mosaic Pack, LDM-Pack),可以较好的模拟树木。该表示方法不但能够真实的快速绘制树林,并且消耗的存储空间不大。我们通过采样树的模型得到一组 LDI (Layered Depth Image)^[6],然后组织成包含多层离散单元的结构,并压缩纹理信息。层次深度拼图集没有拓扑信息,这很适合表示树,因为树的复杂部分,即树叶在大部分情况下都是离散的。从这个方面来看,这与点绘制很接近,但我们的绘制单元要比点绘制的单元大的多。层次深度拼图集的绘制代价与树的原始几何面片数没有直接关系,只与采样的图像分辨率有关。

2 层次深度拼图集的构造

深度拼图是一个近似估计一组空间点的小平面矩形,记为 depth mosaic,简记为 DM。每个深度拼图对应 LDI 上的一个矩形区域,并使用这个区域作为深度拼图的纹理,深度拼图的深度值是落在 LDI 矩形区域内的可见像素点的平均深度值,这些点到深度拼图的深度距离记为 $Diff_{depth}$ 。把一组处于同一层的深度拼图称为层次深度拼图,记为 LDM (layered depth mosaic),多个层次深度拼图构成了一个层次深度拼图集 (LDM-Pack)。

2.1 建立树模型的 LDI-Pack 的层次结构

首先采样树的模型,选择一些采样点分布在采样球上,这个采样球的中心为树模型的中心点,其采样半径等于 $r_{bound}/\sin(0.5fov)$,其中, r_{bound} 是树模型包围球的半径, fov 是采样中使用的摄像机视域广角。这些采样点称作预处理视点,从树模型中心到预处理视点的方向称为采样方向。

对每个采样方向,用一组平行的切平面把该树模型的包围球切分成多层,这些切平面垂直于采样方向,如图 1 所示。然后,利用光线跟踪算法绘制每层中的几何面片,得到一张带深度的采样图像,即 LDI,这一概念来自于文献^[6]。其不同在于,文献^[6]的每张 LDI 图像的像素点对应一个或多个空间点,而本文的 LDI 是先分为多层,每层上的像素点可能对应至多一个空间点。LDI 的每个像素包含 5 个分量,3 个分量 R、G、B 表示像素颜色,分量 A 表示像素透明度,分量 D 表示像素的深度。如果光线没有与几何面片相交,那么对应像素的 A 分量值是 0,否则为 1。因此,对每个预处理视点,都有一组同样分辨率的 LDI,称作 LDI 集,记为 LDI-Pack。

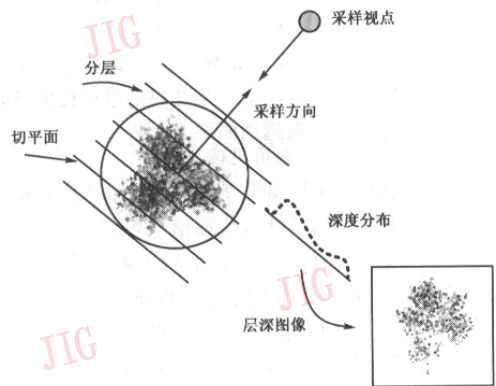


图 1 采样树

2.2 建立 LDI-Pack 的纹理图像包

LDI-Pack 原始的纹理数据占用不少存储空间,为了降低存储容量,使用一种新的压缩算法减小纹理数据。这种方法是 Kraus 提出的自适应纹理映射的改进^[14],引入层与层之间的遮挡信息,从而进一步减少纹理的占用空间。

对每个采样方向上的每个 LDI-Pack 做如下处理。首先把 LDI-Pack 中所有的深度拼图分成大小相等的正方形块,称作基块,基块的颜色信息称作块

纹理,记为 B_T 。对每一个块纹理建立一个金字塔结构,在最精细一层的块纹理称为 B_{T_0} ,最粗糙一层称为 B_{T_n} 。在 B_{T_m} 的一个像素对应 $B_{T_{m-1}}$ 的 4 个像素。定义 $EXPAND(B_{T_m})$ 操作为把 B_{T_m} 扩大为 $B_{T_{m-1}}$ 。 B_{T_m} 和 $B_{T_k} (m > k)$ 之间颜色的差异可以通过下式计算

$$G(m, k) = \frac{\sum_{i, j} |EXPAND^{(m-k)}(B_{T_m})(i, j) - B_{T_k}(i, j)|}{N_p} \quad (1)$$

这里, $B_{T_k}(i, j)$ 是 B_{T_k} 中像素 (i, j) 的颜色。 $EXPAND^{(m-k)}(B_{T_m})(i, j)$ 是把 B_{T_m} 扩展 $(m-k)$ 倍后,得到的块纹理中像素 (i, j) 的颜色, N_p 是 B_{T_k} 中可见像素的数量。

然后计算 $G(m, 0)$, m 依次取为从 1 到 n , 直到找到 m 满足 $G(m, 0) \leq \delta < G(m+1, 0)$, 这里, δ 是后面将要讨论的一个阈值。这样就认为 B_{T_m} 可以很好地估计 B_{T_0} , 所以可以代替 B_{T_0} 。

因为 LDI-Pack 包含的基块分布在多层中, 所以从预处理视点观察一组 LDI-Pack 时, 基块之间存在明显遮挡。这样, 可以估计每个基块的遮挡比例, 如果基块的遮挡比例较大, 那么该基块可以有较少的纹理细节。使用下面公式来计算阈值

$$\delta = (1 + s \cdot \gamma_{occluded}) \delta_c \quad (2)$$

这里, δ_c 是用户定义的颜色差异常量, s 是放缩因子, 可以调节受遮挡的影响, $\gamma_{occluded}$ 是基块的遮挡比例, 即

$$\gamma_{occluded} = \frac{\text{被遮挡的像素个数}}{\text{总可见像素个数}}$$

$\gamma_{occluded}$ 可以在构造 LDI-Pack 的层次结构时计算出来。

处理完所有的基块后, 纹理信息可以得到很好的压缩。当 $\delta_c = 10$ 且 $s = 2$ 时, 平均压缩率是 23%。压缩会造成块纹理变为不同大小的分辨率, 如果每个块纹理仅用单个图像文件存储, 将会产生太多的小图像, 纹理映射的性能将在绘制阶段极大下降。因此, 把这些块纹理重组为几个大的纹理图像包。

2.3 建立树的 LDM-Pack 的层次结构

可以根据 LDI-Pack 创建用于绘制的层次深度拼图集 LDM-Pack, 其使用的纹理与 LDI-Pack 对应的纹理图像包一致。在每个方向上都有一个预处理视点 v , 对该点对应的 LDI-Pack 自上而下创建一些合适的深度拼图。对于 LDI-Pack 的一个 LDI, 进行自适应的递归剖分, 构造一个层次深度拼图。

对于 LDI 中每个基块, 利用 Warping 算法计算出对应的深度拼图, 同时计算深度拼图的平均深度和最大深度距离 $Diff_{depth}$ 。然后需要判断该深度拼

图, 是否满足在预处理视点 v 处的视差阈值 η 。视差 D 是一个用来衡量深度拼图和它包含的深度像素的最大深度差在投影平面上的投影尺度。如图 2 所示, 在视点 v , 视差可以通过下式计算:

$$D = \frac{\max(w, h)}{2 \tan(fov/2)} \cdot \frac{Diff_{depth}}{d} \quad (3)$$

这里, w 和 h 分别是视域的宽和高, d 是 v 和该深度拼图中心的距离。视差阈值 η 由下式决定

$$\eta = (1 + s \cdot \gamma_{occluded}) \eta_d > D \quad (4)$$

这里, η_d 是用户定义的常量。通过式(2)和式(4), 引入了遮挡信息, 即较大遮挡的部分将用较少几何信息和纹理信息表示。

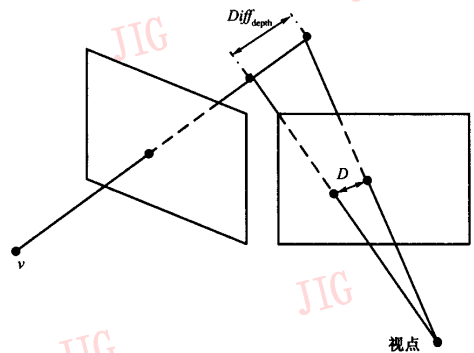


图2 深度差带来的视差

如果得到的投影视差满足阈值 η , 则记录该深度拼图, 否则继续剖分。方法是, 把所对应的基块四叉剖分得到子图块, 如果有完全透明的子图块, 则丢弃。同样计算子图块对应的深度拼图, 并检测是否满足阈值。不满足则继续剖分, 当子图块小到某个尺寸时, 递归剖分结束。这样处理完 LDI 中所有的基块后, 得到一组深度拼图, 就是 LDM。

处理完 LDI-Pack 的所有层后, 完成了 LDM-Pack 深度拼图结构的创建。考虑到选择用于绘制的深度拼图的投影面积通常很小, 故纹理的扭曲很小, 所以 LDM-Pack 仍使用 LDI-Pack 的纹理信息, 没有过多的影响绘制质量。

为了提高绘制的效率, 可以建立层次深度拼图集的层次细节 LOD 结构。如果需要创建 N 层, 则在每个采样方向上设定 N 个预处理视点 v_i , 然后利用上面的步骤创建出相应的 LDM-Pack_i。对每个采样方向均如此执行, 最后完成构造树的 LDM-Pack 的层次结构过程。

3 绘制

在绘制时,首先进行视域剔除,选择落在视域内的树木,然后根据观察者所在的视域区,选择合适的预处理视点对应的层次深度拼图集,使用融合策略进行绘制。

对每棵树,如果选择 M 个采样方向,在每个方向的 LDM-Pack 中有 N 级层次细节,那么共有 M 个采样方向与 N 个同心圆相交,故共有 $N \times M$ 个预处理视点,这些预处理视点在图 3 中以小圆点表示,每个预处理视点对应一个 LDM-Pack。更进一步,这些预处理视点和采样方向形成了一个空间分区。图 3 显示了二维的空间分区。由采样方向和同心圆围成的封闭区域称作视域区(viewcell),在图 3 中以灰色表示的区域是外部的视域区,为无穷远范围。

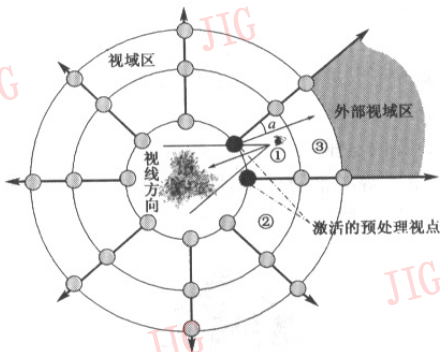


图 3 预处理视点围绕构成视域区

当观察者移到一个视域区时,将激活落在该视域区且距结点中心近的预处理视点。如图 3 所示,当观察者位于视域区①时,标记为黑点的就是激活的预处理视点。然后,激活的预处理视点的 LDM-Pack 的所有深度拼图以绘制模式从后向前绘制。计算 $f(\cos(\alpha))$ 作为深度拼图的融合系数。参数 α 是深度拼图的法向量和视线方向反相的夹角。函数 $f(\cdot)$ 称作调节函数。在实现中,采用 Bezier 曲线作为调节函数。这个融合策略可以保证当视点从某个视域区移到另一个视域区时,实现绘制的平滑过渡,如图 3 中从视域区①到视域区②。

但是,当观察者从视域区①移到视域区③时,因为绘制了不同层次的 LDM-Pack,将会出现明显的跳跃。为了减轻这种跳跃,建立两个视域区的过渡区域。图 4 中显示的灰色区域就是过渡区域,到树中心

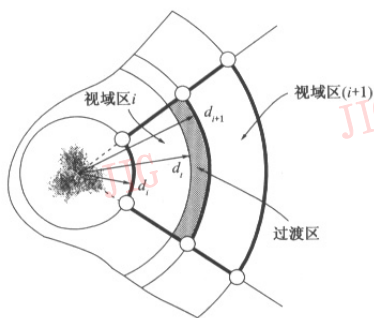


图 4 视域区 i 和 $i+1$ 过渡区域

的距离变化范围是从 d_i 到 d_{i+1} 。当观察者在过渡区域时,融合从两个视域区中选择的 LDM-Pack。融合系数可以通过下式计算

$$w_i = 1 - \frac{d - d_i}{d_{i+1} - d_i} \quad (6)$$

$$w_{i+1} = \frac{d - d_i}{d_{i+1} - d_i}$$

这里, w_i 是对于视域区 i 的融合系数, w_{i+1} 是视域区 $(i+1)$ 的融合系数, d 是观察者和结点中心的距离。 d_i ($d_i < d_i < d_{i+1}$) 是所定义的过渡区域的内边界,也是一个球面半径。

4 实现和实验结果

在预处理过程中使用 POV-Ray 系统进行光线跟踪,整个数据表示被打包成两个文件,一个文件存储各方向 LDM-Pack 的层次结构,另一个文件存储所有的纹理图像包。当前的绘制场景是基于 OpenGL 的,所使用计算机的性能为 Intel 2.4 GHz 的 CPU,主存 1GB, GeForce 4 MX 显卡(64MB 显存)。

考虑到观察树的上方比较重要,在采样球上半部分选择了 15 个采样方向。在每个采样方向上,树被切分成 6 层,每层 LDI 的分辨率是 256×256 。每个像素都有 R、G、B、A 和深度值。LDI 分成的基块大小为 32×32 。

纹理包中每个图像的分辨率是 512×512 。树的整个纹理被添加到 6、7 张纹理图中。表 1 显示了树的纹理和 LDM-Pack 的存储代价,其中纹理预先进行了 Mipmap 处理。从表中可以看出,本文方法进一步减少了纹理数据,结果约为原始的 23%。设置遮挡因子公式(2)中的 $s=2$, $\delta_c=10$,在每个采样方向上构造了 4 级的 LDM-Pack 层次细节,并使用阈值

$\eta_a=6$ 和 $s=2$ 计算式(4),最后一列为 LDM-Pack 所使用的存储空间,约为 200~300kB。

表 2 显示了预处理树模型的时间,这一过程比较慢,其耗时与初始的几何面片数有关。

表 1 树的存储容量

树	原始面片数	原始的纹理数据(MB)	文献[14]方法(MB)	本文方法(MB)	LDM-Pack(KB)
#0	19 076	30	9.66	7.0	318
#1	60 059	30	8.0	5.66	226
#2	430 836	30	11.0	7.66	294

表 2 处理树模型所花的时间

	树		
	#0	#1	#2
原始面片数	19 076	60 059	430 836
处理时间(min)	21	65	290

在绘制实验中,对于单棵树,在最近的预处理视点处,所绘制的深度拼图数量约为 500~1 000 个,一般需要 2ms,直接使用树的原始模型绘制,一般需要几十 ms 以上,这是因为本文的方法与采样的图像分辨率大小有关,与原始树的几何信息没有直接的关系,故比较适合高度复杂的树木的绘制。图 5 显示了本文绘制方法和使用光线跟踪方法之间质量的比较。本文的绘制方法可以表现高度真实感的细节信息,只是因为使用了融合策略,显得有点模糊。图 6 是一棵树的不同层次细节的绘制效果和对应的

深度拼图的分布,共有 4 级的 LOD。

图 7 分别显示了绘制 4 000 棵树的场景中不同位置的视觉效果,包含 7 种不同的树,每帧绘制树木需时 100ms~200ms,在这个场景中可达到 4.5 帧。由于采用了绘制融合策略进行视城区过渡,因此能够产生飞行和地面上的任意漫游,且没有明显的视觉跳跃。

5 结 论

层次深度拼图集的树木表示方法(LDM-Pack),在图像质量、绘制性能和存储代价上提供了很好的平衡。通过采样树的模型,建立分层的深度拼图集来实现快速绘制树木。更进一步的,所有纹理通过包含遮挡信息的自适应纹理压缩方法进行处理。在绘制中,我们选择合适预处理视点的深度拼图集,利用一种融合策略进行绘制。

本文是针对植被等复杂物体的简化工作,还有多个地方可以进一步研究和提高,如(1)怎样把多棵树看成一个整体进行处理,从而进一步提高绘制效率;(2)我们这里仅处理树,是否可以该方法应用到草、皮毛等类似复杂物体的绘制;(3)怎样实现光线变化时,对树的动态光照效果。

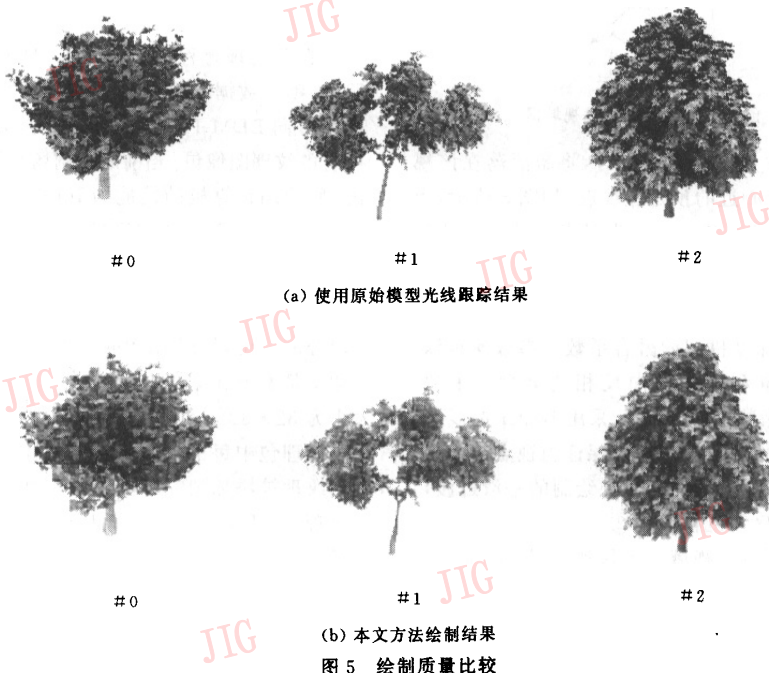


图 5 绘制质量比较

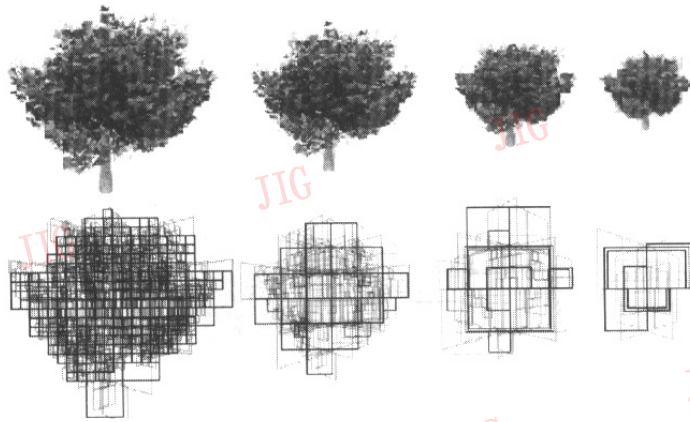


图 6 一棵树的不同层次细节



(a) 地面上观察效果



(b) 树林上方的观察效果

图 7 树林的绘制场景

参 考 文 献

- 1 Remolar I, Chover M, Belmonte ó, *et al.* Geometric simplification of foliage [A]. In: Eurographics 2002 (Short Presentations)[C], Saarbrücken, Germany, 2002;397~404.
- 2 Remolar I, Chover M, Belmonte ó, *et al.* Real-time tree rendering[A]. In: Proceedings of Computational Science ICCS 2004[C], Krakow, Poland, 2004;173~180.
- 3 Jakulin A. Interactive vegetation rendering with slicing and blending[A]. In: Eurographics 2000 (Short Presentations)[C], Interlaken, Switzerland, 2000;273~282.
- 4 Décoret X, Durand F, Sillion F, *et al.* Billboard clouds for extreme model simplification [A]. In: Proceedings of ACM Siggraph 2003[C], New York; ACM Press, 2003;689~696.
- 5 Neyret F. Synthesizing verdant landscapes using volumetric textures [A]. In: Eurographics Workshop on Rendering 1996 [C], London; Springer-Verlag, 1996;215~224.
- 6 Shade J, Gortler S, He L, *et al.* Layered depth images[A]. In: Proceedings of ACM Siggraph 1998 [C], New York; ACM Press, 1998; 231~242.
- 7 Meyer A, Neyret F, Poulin P. Interactive rendering of trees with shading and shadows[A]. In: Eurographics Workshop on Rendering 2001[C], London;Springer-Verlag, 2001;183~196.
- 8 Max N, Ohsaki K. Rendering Trees from precomputed z-buffer views[A]. In: Eurographics Workshop on Rendering 1995[C], Dublin, Ireland, 1995;45~54.
- 9 Levoy M, Hanrahan P. Light field rendering [A]. In: Proceedings of ACM Siggraph 1996 [C], New York; ACM Press, 1996; 31~42.
- 10 Shade J, Lischinski D, Salesin D H, *et al.* Hierarchical image caching for accelerated walkthroughs of complex environments [A]. In: Proceedings of ACM Siggraph 1996[C], New York; ACM Press, 1996; 75~82.
- 11 Schaufler G. Per-object image warping with layered impostors [A]. In:9th Eurographics Workshop on Rendering[C], Vienna, Austria, 1998;145~156.

- 12 Stamminger M, Drettakis G. Interactive sampling and rendering for complex and procedural geometry [A]. In: Eurographics Workshop on Rendering 2001 [C], London: Springer-Verlag, 2001:151~162.
- 13 Wand M, Fischer M, Peter I, *et al.* The randomized z-buffer algorithm: interactive rendering of highly complex scenes [A]. In: Proceedings of ACM Siggraph 2001 [C], New York: ACM Press, 2001:361~370.
- 14 Kraus M, Ertl T. Adaptive texture maps [A]. In: Proceedings of the ACM Siggraph/Eurographics Conference on Graphics hardware [C], Aire-la-Ville, Switzerland: Eurographics Association, 2002:7~15.



张淮声 1976 年生。现为浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室博士研究生。主要研究方向为计算机图形学、实时绘制、自然场景模拟。
E-mail: zhs@cad.zju.edu.cn



华 炜 1972 年生。讲师。2002 年于浙江大学获应用数学博士学位。主要研究方向为实时模拟和绘制系统、虚拟现实和软件工程。



王 青 1976 年生。助理研究员。2003 年于浙江大学获计算机系博士学位。主要研究领域为计算机图形学、计算机辅助几何设计、虚拟现实。



鲍虎军 1966 年生。系主任、博士生导师。1993 年于浙江大学获应用数学专业博士学位。从事计算机图形学、虚拟现实和数字几何理论等方面的研究。

中国科学院地理信息技术与产业化论坛 暨 SuperMap GIS 新产品发布会

2004 年 9 月 23 日,“中国科学院地理信息技术与产业化论坛暨 SuperMap GIS 新产品发布会”在京隆重召开,会上推出了面向网络海量的大型 GIS 平台——SuperMap GIS5.0 系列新产品。

本次会议历时两天,共三个主题,分别是“地理信息技术创新与产业化”、“地理信息技术应用”、“SuperMap GIS 发展”。陈述彭院士等众多专家纷纷发表了自己对 GIS 行业的看法,为国内 GIS 软件尤其是 SuperMap GIS 的发展感到喜悦,认为中国 GIS 的发展前景良好。

上午的新产品发布会上,超图公司隆重推出了面向网络的大型 GIS 平台 SuperMap GIS5.0 系列产品,包括大型分布式空间数据库引擎 SuperMap SDX+5.0、新一代网络 GIS 开发平台 SuperMap IS.NET5.0、大型全组件式 GIS 开发平台 SuperMap Objects5.0、嵌入式 GIS 开发平台 eSuperMap 5.0、专业桌面 GIS 软件 SuperMap Deskpro、大众桌面 GIS 软件 SuperMap Express5.0 等系列产品。

参加本次会议的有中国 GIS 事业的创始人陈述彭院士、中国科学院重庆禧院士、中国 GIS 协会会长陈军、中国科学院地理科学与资源环境研究所刘纪远所长、国家遥感中心专家委员会副主任兼科技部 GIS 专家组组长方裕、国务院信息办董宝青处长、中国科学院地理信息产业发展中心钟耳顺主任等领导、专家,以及来自香港、台湾、日本、东南亚等国家和地区的参会代表和部分 SuperMap GIS 国内外用户共 800 多人,20 多家来自中国大陆、台湾和日本等地的开发商在会上展出了基于 SuperMap 开发的应用系统和软件产品。