我们提出了一种使用不规则的z缓冲区(IZB)渲染抗锯齿的硬阴影的实时方法.对于子像素精度,我们每个像素使用32个样本，成本大约是单个样本的两倍。 我们的系统在1080p和2160p的分辨率下运行时，可以在各种游戏资产和CAD模型上保持交互性，并且对灯光，摄像头或几何形状没有任何限制，从而可以实现完全动态的场景而无需预先计算.与阴影贴图不同,我们不会引入空间或时间混叠,甚至可以平滑地设置草或电线的子像素阴影的动画效果.

先前的不规则z缓冲区工作在很大程度上依赖于GPU计算.取而代之的是,我们利用图形管线,包括硬件保守栅格和Early-Z剔除.我们观察到不规则z缓冲区性能和阴影贴图质量之间的对偶性;这使常见的阴影贴图算法可以降低我们的成本.与最新的光线跟踪器相比,我们在每个像素处生成相似数量的三角形相交,但在每帧不到2 ms的时间内完全重建了数据结构.

1 介绍

尽管从概念上讲很简单,但是硬阴影的实时渲染仍然是一个巨大的挑战.大多数现代应用程序使用阴影映射的变体[Williams 1978].但是由于离散化和视角空间与光照空间之间的采样不匹配,即使使用高质量的滤波,鲁棒且无伪影结果仍然难以捉摸[Annen等人2008]和级联[Lauritzen等人2011].

我们描述了系统的发展，该系统的设计具有一个简单的目标：在代表现代工作负载的内容可用的分辨率下，交互式，亚像素准确的硬阴影。我们开始时没有任何先入之见，只是阴影贴图会引起锯齿，这可能是一个更具挑战性的问题。虽然很理想，但可扩展到柔和阴影并不是设计目标。 我们的主要目标是建立鲁棒的无伪影的阴影，而次要目标是提高速度。

为避免混淆，我们仅考虑在像素级或以下像素的眼部空间采样的分析阴影技术.这就留下了三个广泛的算法类别：光线追踪[Whitted 1980]，阴影量[Crow 1977]和不规则z缓冲区[Johnson等人2005].从根本上讲，所有分析方法都执行射线三角相交。 关键区别在于测试的产生方式。 光线跟踪器查询沿单个光线的可见性，不规则的z缓冲区在光空间中进行栅格化，并且阴影体积通过测试阴影边界间接确定射线三角形的遮挡.