最新的软阴影贴图技术[GBP06]允许使用单个阴影贴图在复杂和动态场景上实时渲染令人信服的软阴影。这种方法虽然很吸引人，但阴影估计过高，并且在处理大半影时变得既昂贵又近似。本文提出了消除这些限制的新解决方案，从而为软阴影生成提供了一种有效且实用的技术。首先，我们提出了一种基于检测封堵器轮廓的新的可见性计算程序，该程序在减少混叠的同时更准确，更快速。其次，我们提出了一种阴影贴图多分辨率策略，可在保持高质量渲染的同时，使计算复杂度几乎不依赖于光照大小。最后，我们提出了一种基于视角的自适应策略，该策略会自动降低大半影区域的屏幕分辨率，从而使我们在任何情况下都能保持很高的帧速率。

介绍

柔和的阴影是最重要的照明效果之一。除了增加合成图像的逼真度外，柔和阴影还简化了对象之间空间关系的识别，而没有硬阴影的侵略性。在过去的十年中，许多研究人员致力于软阴影渲染。但是，要获得具有实时性能的高质量软阴影仍然是一个具有挑战性的开放问题。从实际的角度来看，柔和阴影的渲染等效于解决点和扩展光源之间的可见性问题，扩展光源可以是表面或体积。理想情况下，软阴影算法应能够实时处理动态和复杂的场景，不应将接收者与遮挡者区分开，并且应尽可能忠实于真实阴影。

最近，扩展了两种常见的硬阴影渲染技术：阴影体积[Cro77]和阴影贴图[Wil78]，分别支持半阴影楔形[AAM03，ADMAM03]和样本反投影[GBP06]来支持软阴影。有趣的是，这两个范围保持足够接近其各自的硬阴影版本，因此可以直接将阴影体积与阴影贴图的众所周知的优点和缺点进行概括。特别是，Guennebaud软阴影映射（SSM）技术[GBP06]可以从每个光源的单个阴影图中绘制近似的软阴影，而无需任何其他假设或预先计算。因此，这种方法可以处理所有可光栅化的几何形状，非常适合于实时渲染复杂和动态场景。但是，该方法目前表现出一些局限性，从而降低了其实用性。从质量的角度来看，当前的反投影方法必须处理阴影贴图样本之间的间隙和重叠的伪像。由于问题的复杂性，仅间隙被粗糙地填充，从而增加了重叠误差，从而导致阴影的明显高估。此外，对于大半影（例如，当使用大光源或当物体非常靠近光源时），该方法的性能显着下降。为了保持较高的帧速率，引入了自适应精度策略，但是不幸的是，它会在不同精度级别之间产生明显的不连续性。最终，该方法遭受了常见的单光样本逼近。

在本文中，我们解决了SSM的所有上述局限性，但单个光源样本问题除外，这将成为进一步研究的主题。我们的贡献包括基于有效轮廓检测程序的新的，更准确的可见性计算方法。结合径向区域集成，可以克服间隙和重叠的伪影，并减少混叠。这种新的可见性计算过程也更加有效，特别是在半影较大的情况下，因为它仅反投影封堵器轮廓而不是所有封堵器样本。其次，受三线性mipmap滤波的启发，我们提出了一种平滑方法，该方法可以消除开销很小的光空间自适应策略所产生的不连续性。最后，我们提出了一种原始的屏幕空间，依赖于视图的自适应采样策略，该策略可自动降低大半影区域的屏幕分辨率。然后，使用推拉算法可以有效地重建完整的可见性信息。这种优化可以极大地加速，因为将屏幕分辨率降低4倍，理论上可将计算速度提高16倍。结果，我们获得了一个实用的框架，该框架可以以很高的帧频生成逼真的柔和阴影，从而为其他算法留出了可用资源，从而在实时渲染应用（例如物理模拟和高质量材质渲染）中提高了图像质量和逼真度。

2 相关工作

我们简要回顾一下实时软阴影渲染中的最新成果。 可以在Hazenfratz等人的论文中找到更完整的调查结果[HLHS03]。 硬阴影来自不切实际的点光源，并且通常使用阴影体积[Cro77]或阴影映射[Wil78]进行渲染。 两种方法都有其各自的优点和缺点。 前者通过几何但昂贵的轮廓提取来精确定义阴影边界，后者仅需要快速且更通用的深度图像采集。 但是，阴影贴图的离散性质会导致混叠，可以通过提高有效阴影贴图分辨率[FFBG01，SD02，WSP04]或通过过滤边界[RSC87]来减少混叠。

最近使用半影边缘[AAM03，ADMAM03]扩展了阴影体积，以模拟带有半影的扩展光源。 该方法为从源中心看的每个轮廓边缘构造和栅格化楔形，因此，它仅限于复杂度相对较低的流形网格。 使用反投影和封堵器之间的添加剂累积，对封堵区域进行径向整合。 这通常会导致阴影被高估，可以使用更准确但昂贵的混合启发式方法来改善阴影[FBP06]。 一些混合方法[CD03，WH03]将几何轮廓提取与阴影贴图结合在一起。 尽管比半影楔的栅格化更有效，但此类方法只能计算外部半影的粗略近似。

与基于对象空间轮廓提取的方法相比，基于纯图像的技术尤其有吸引力，因为它们支持任何类型的可光栅化几何体（例如，网格，点云和二进制alpha纹理化模型），并且对图像的敏感度较低。 场景复杂度。 尽管有些需要为每个灯光渲染多个阴影贴图[ARHM00，HBS00，SAPP05]，将它们的使用仅限于静态场景，但其他一些则尝试使用单个灯光样本来保持高性能。但是，大多数这些后面的技术都依赖于启发式而不是可见性计算，或者需要对场景进行限制。例如，有些只限于平面接收器[SS98]，而另一些则不正确地考虑了封堵器的形状以及封堵器融合[BS02]，当原始隐藏的阴影出现时也会产生弹出效果[AHT04]。Eisemann和Décoret[ED06]通过使用概率方法组合的一组扁平切片来近似场景。

最近，Atty等人[AHL \* 06]和Guennebaud等人提出了软阴影映射（SSM）的想法。 [GBP06]。 它克服了这些先前方法的大多数局限性。 Aszódy等人[ASK06]和Bavoil等人[BCS06]也提出了类似的概念。 提示是使用单个阴影图作为场景的离散化表示，通过将阴影图样本反向投影到光源上来计算可见性。 但是，尽管Atty的方法[AHL \* 06]将遮挡物和接收器分开，并且仅限于较小的阴影贴图分辨率，但Guennebaud [GBP06]保留了标准阴影贴图的所有优点，并提供了一些优化方法。 下一部分将总结本文改进的后一种方法。 请注意，反投影的概念最初是为计算脱机精确的软阴影而提出的[DF94]。

3 软阴影映射

Guennebaud等人的软阴影贴图(SSM)技术[GBP06]计算了一个所谓的可见性缓冲区（v-buffer），用于存储从每个3D中看到的光的百分比（可见性因子） 对应于屏幕像素的场景的点p。为了简化说明，我们介绍了一种宽度为的方形光源的方法.

在每帧中，SSM首先计算一张阴影贴图,以提供从光源中心看到的场景的离散化表示。该获取步骤需要定义投影视锥，该视锥的近平面和其边界平行于光并与原点保持距离。令wn为宽度，r为分辨率（图2a）。该算法通过累加每个阴影图样本所遮挡的光区域，来近似深度zp的给定点p的可见性因子νp。每个深度为ss的样本s都被解释为与光源平行的小3D四边形，然后从p反投影到光源上并剪切到光源的边界。实际上，仅对闭塞样本进行反投影，即zs <zp的样本s。但是，由于样品不能完美地结合在一起，因此这种方法容易出现间隙（某些光的遮挡部分没有被去除）和重叠的伪影（某些部分被去除了几次）。由于问题的复杂性，通过将样本扩展到其邻域，增加重叠并因此高估了阴影，可以仅粗略地填补空白。让我们将内核（在[GBP06]中称为“搜索区域”）定义为与阴影图的空间轴对齐的平方区域，其中包含所有可能遮挡的样本的子集，并令wk为像素宽度（图2a） 。