

计算机图形学中的阴影算法

FRANKLIN C. CROW

University of Texas at Austin

Austin, Texas

原论文链接: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=563901>

译者: 刘阳

I. 摘要

在计算机合成的图片中, 提倡用阴影来提升感知性, 增强现实感。一种对于阴影算法的分类方式描述了三种途径: 扫描时进行阴影计算; 在移除隐藏表面前先将物体表面分为有阴影区域和无阴影区域; 在物体数据中加入阴影体积。这些类别关联到已经存在的阴影算法, 并且各个类别的实现都有概述。一次对于这三类途径的简要比较表明最后一种途径有最吸引人的特征。

II. 关键词

计算机图形学, 隐藏表面移除, 阴影, 描影法, 光栅显示器

III. 介绍

现在大多数计算机合成的荫蔽图片有一个主要的缺陷, 就是缺少阴影。尽管当光源和出射点一致时, 阴影并不需要。很多早期的实现方式都利用了这一事实。但是许多对现实感图片有严肃要求的应用(像太空飞船的入轨, 飞机的着陆模拟)都要求有阳光照射的图片。现在已经可以生成包含阴影的很真实的场景图了, 但是这些图片的成败依赖于有一个漫射光源的假设, 像多云天气时的阳光那种。

有些情况下, 阴影是很重要的。一个投射阴影可以让设备的一块重要组件在实际情况下事实上不可见, 即使它可以在没有阴影的模拟环境下清晰地显示。计算机图形学应用到建筑坐落问题, 环境影响调查方面时, 要求阴影的计算, 用来评估空调的需求, 或者太阳能的可用性。更重要的是, 阴影提供了有价值的位置信息。一个物体投射到另一个

物体上的阴影可以表明空间关系, 不然的话, 就是模糊的空间关系。此外, 阴影造成了一个有趣的问题。它们应该得到比现在更多的关注。

Appel[3]和之后的Bouknight、Kelley[5]展示了对阴影问题的解决方案, 之后在这篇论文中会用对阴影算法分类的方式来讨论这些解决方案。现在有三类解决方案是可以确认的(也许未来会有还未发现的类别)。Appel, Bouknight和Kelley提出了一类的解决方案和算法, 而另两类提出了但还没有实现。

第一类算法, 由Appel, Bouknight和Kelley论证, 在图片从光栅扫描器生成时检测阴影边界。通过投影潜在的阴影多边形的边到正在扫描的表面, 可以找到投射阴影的边。由此形成的阴影边之后投影到物体平面。当穿越一条阴影边时, 扫描片段的颜色也会恰当地变换。

第二类算法包括两遍隐藏表面算法, 或者也许是两种不同算法各只进行一次。第一遍区分有阴影表面和无阴影表面, 然后从和光源一致的角度决定隐藏表面, 划分部分有阴影的表面。接着, 有阴影表面的颜色会被修改。第二遍从观察者的角度来操作这些增强了的数据。

第三类阴影算法包括计算一个表面, 这个表面包围被物体阴影(它的本影)遮盖的空间体积。这个本影表面之后被添加到数据中, 并且被当作一个不可见的表面。当这个表面被穿透时, 会产生穿进或穿出物体阴影的变化。

一个对于这三类方案更加完整的解释会随着每个类别建议的实现方式一起给出。在此之前, 会有对光源建模的回顾。在此之后, 是尝试性的对于实践过程中实现这三种途径的难度的比较。

IV. 为光源建模

通常来说,光源都被建模成点光源或者方向光源。但是,一个实际的光源有有限的尺寸,一个可能不规则的外形,和一个相对于被展示物体的明确的空间位置。有限尺寸的光源投射出的阴影包括本影和半影。本影是指没有从光源接收到光线的阴影空间。半影是指接收到部分但不是全部光线的阴影空间。所以对于这样的阴影,都有一个深色的中心区域,环之以边界区域,在边界区域里有从有阴影区域到无阴影区域的平滑过渡。对于一个不规则形状的光源,可以在本影的外围用一条固定宽度的、线性渐变的条带阴影来估计半影。我们可以期望半影的计算能够显著增强展示阴影的效果。所以,我们假设用一个点光源,或者一个无限远离的光源(只用方向描述)。

阴影边界通过投射一个物体的轮廓到另一个物体上来决定。使用的投射类型取决于光源的位置。用来计算阴影的最简单的光源是无限远离的光源。因为阴影边界通过一次正射投影就可以找到。另一方面,当光源位于物体空间中时,计算阴影边界的难易程度因位置而不同。如果光源在视场外,阴影边界的计算采用和图片显示一样的透视投影方式。但是,当光源在视场内时,必须采用不同的方法。因为传统的透视变换只对有限的视场准确,所以,要么空间必须被划分成以光源为中心的放射状部分,这样就可以用透视变换,要么就要使用更复杂的三维几何方法。

透视变换提供了便利和高效。但是,下面这种方式也总是可以确定物体空间内的阴影边界。利用光源的位置和物体轮廓来确定表面,然后计算这个表面和其他物体的相交面。

V. 第一类: 扫描时进行阴影计算

Appel[2][3]和之后的Bouknight, Kelley[5]展示了渲染阴影的方法:在扫描图片的时候计算阴影边界。Appel通过扩展他对于量化不可见性的概念来探测阴影边界。量化不可见性是一种对于隐藏一个顶点的表面数量的度量。(假设是多边形物体)这样的话,仅当一条线段上的所有点都是值为零的量化不可见性时,这条线段才是可见的。Appel的隐藏表面算法可以探测到线段上量化不可见性的变化,然后只画出可见的部分。这种方法产生一条线段绘制。

在扫描时决定阴影表面,同样也可以用来遮盖线段绘制。通过在相等空间的水平线上和图片平面相交,产生穿过出射点的“切”平面,这样来执行扫描过程。(图1)扫描段的集合由可见线段和切平面的交集决定。然后对应于光源的量化不可见性(之前已对所有可见顶点算出)会被用来确定那些在阴影中的区段。更多细节在Appel发表的论文[1][2][3]中可见。

Bouknight和Kelley开发了一套相似的阴影探测方法[4][5]。但是,他们享有一个优势,那就是他们的隐藏表面算法已经基于扫描过程。通过投射边到正在扫描的表面上,计算出阴影边界,第二次扫描则用来检测这个边界。主扫描采用图片空间的光栅模式,然后产生第二次扫描,和在物体空间内穿过可见表面的对应路径。所以,在其他投射到第二次扫描区段的多边形边的地方,就会出现阴影边。

一种用来发现所有的可以投射阴影到某个多边形的多边形的步骤被用来减少边投影的计算量。这个程序将所有的多边形转换成一个伪球形座标空间,而原点在光源处。多边形之后会测试是否重叠,然后每个多边形都会有一个链接表,使其他可能投射阴影到它上面的多边形可以轻易找到(在图1中,多边形2会链接到多边形1)。重叠测试的扩展版会引出第二类算法,这将在之后看到。

由Bouknight-Kelley提出的典型的通用方法可以解析成两个基本操作:(1)多边形的阴影优先级顺序和(2)计算投射阴影的边界。值得注意的是,这两个操作相对于显示的隐藏表面算法是独立的,且可以应用到事实上任何基于多边形的算法。可以开发很多基于Bouknight和Kelley的算法的变体。例如,他们的伪球面重叠测试的算法复杂度是多边形数量的平方。所以,将可视的物体空间划分成以光源为中心的放射状区域是有利的。这样就可以将同一个区域内的所有多边形按照阴影优先级顺序排序,而不用参考其他的区域。确定阴影优先级要求一个特殊的排序方法,例如Newell等人用的方法[9]。这个算法的行为(同样遵守N方的增长律)在Sutherland等人的论文中有讨论[12]。

在有利条件下,分区可以把Bouknight-Kelley(或Newell等人)的N方增长律降低到线性增长律。分区的增长正比于 $S * (\frac{N}{S})^2$,其中S是分区的数量,N是多边形的数量(只要多边形在空间中大体分布保持类似)。如果增加分区

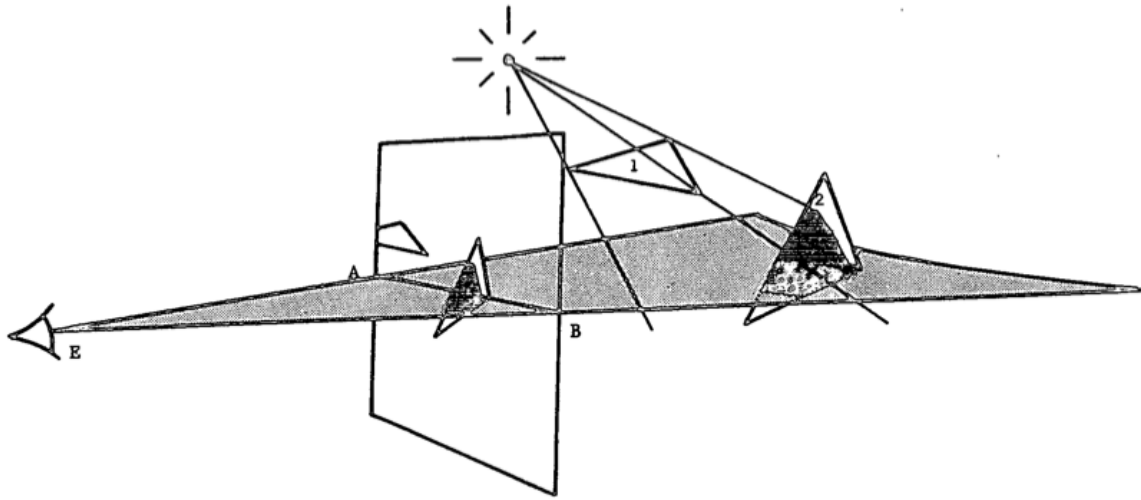


Figure 1: 在Appel的算法中， ABE 定义了一个“切平面”。多边形1的边投射到多边形2，形成阴影边界，之后投射到图片平面。

的数量，同时同比例地增加多边形的数量， $\frac{N}{S}$ 保持不变，那么优先级的步骤就遵守线性增长律。但是，这个增长速率在受到限制时会变得复杂。当分区足够小时，很大一部分的多边形和分区的边界重叠了，导致多边形的有效数量增加了。这是因为如果一个多边形横跨了两个分区，那么它必须被两个分区都考虑。但是，潜在的线性增长速率还是让它成为一个吸引人的方法，不管在这里，还是在通用的分区算法的设计里。

第二个基本操作，计算阴影边界，要求一个和裁剪类似的步骤。正在考虑的多边形必须作为一个窗口，而更高优先级的多边形基于这个窗口进行裁剪。这个操作的增长速率正比于有阴影多边形的边数和更高优先级多边形的边数的乘积，也是一个 N 方的增长速率。但是，分区仍然可以提供一个在有利条件下，总体上线性增长的速率。（应该注意到，Bouknight和Kelley提出的，在这里使用的链接表在某种程度上是一种优化了的分区。）有两个因素可以显著减小增长律中的比例常数：

- (1) 阴影计算只需针对那些可见的多边形进行
- 和
- (2) 当一个多边形是完全被阴影遮盖的话，计算可以终止。

总结这个部分，应该重新强调的是，在所有阴影算法中，通过仅考虑阴影物体的外围，而不是它的单独的每个多边形，可以减少大量的计算。这就限制了只要搜索那些产生了可见阴影边界的边。

VI. 第二类：两遍的方式

对于探测哪些表面是从光源不可见的，和探测哪些表面是从视点不可见的，隐藏表面算法都很容易使用。

VII. 第三类：投射阴影多边形

VIII. 三类方法间的比较

IX. 鸣谢

参考文献

- [1] Appel, A., *The Notion of Quantitative Invisibility and the Machine Rendering of Solids*, Proceedings ACM 1967 National Conference.
- [2] Appel, A., *Some Techniques for Shading Machine Renderings of Solids*, 1968 SJCC, AFIPS Vol. 32.
- [3] Appel, A., *On Calculating the Illusion of Reality*, IFIP 1968.
- [4] Bouknight, W. J., *A Procedure for the Generation of 3-D Half-Toned Computer Graphics Presentations*, CACM, Vol. 13, no. 6, Sept. 1970.
- [5] Bouknight, W. J. and Kelley, K., *An Algorithm for Producing Half-Tone Computer Graph-*

ics Presentations with Shadows and Moveable Light Sources, 1970 SJCC, AFIPS Vol. 36.

- [6] Bui Tuong Phong and Crow, F. C., *Improved Rendition of Polygonal Models of Curved Surfaces*, Proc. of the 2nd USA-Japan Computer Conf., 1975.
- [7] Clark, J. H., *Hierarchical Geometric Models for Visible Surface Algorithms*, CACM, Vol. 19 no. 10, Oct. 1976.
- [8] Crow, F. C., *The Aliasing Problem in Computer-Synthesized Shaded Images*, Dept of Computer Science University of Utah, UTEC-CSc-76-015, March 1976. (abridged version to appear in CACM)
- [9] Newell, M. G., Newell, R. G. and Sancha, T. L. *A Solution to the Hidden-Surface Problem*, Proceedings of the 1972 ACM National Conference.
- [10] Newell, M. G., *The Utilization of Procedural Models in Digital Image Synthesis*, Department of Computer Science, University of Utah, UTEC-CSc-76-218, Summer 1975.
- [11] Sutherland, I. E., *Polygon Sorting by Subdivision: A Solution to the Hidden-Surface Problem*, Unpublished, 1973.
- [12] Sutherland, I. E., Sproull, R. F. and Schumaker, R. G., *A Characterization of Ten Hidden-Surface Algorithms*, Computing Surveys, Vol. 6, No. 1, March 1974.