

一种新的基于环境纹理映射的浓淡方法

祁利文 韩崇昭

(西安交通大学电信学院, 西安 710049)

摘要 提出了一种新的基于环境纹理映射思想实时近似 Phong 效果的浓淡方法. 由于采用了预先定义的光照纹理与仿射纹理映射方法, 使得该方法具有较高的效率, 同时几乎不损失生成画面的质量, 并可以在低档系统中实现实时的仿 Phong 浓淡效果.

关键词 纹理 纹理映射 环境纹理映射 浓淡

中图分类号: TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2000)02-0124-04

A New Method of Shading Based on Environment Texture Mapping

QI Li-wen, HAN Chong-zhao

(Department of Electronic and Information, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049)

Abstract In this paper, a new method is proposed based on environment texture mapping to achieve real-time fake Phong shading effect. Using predefined shading texture map and affine texture mapping method, the method is very effective, and can produce pictures with high quality. So the method can do real-time fake Phong shading effect on low-end systems.

Keywords Texture, Texture mapping, Environment texture mapping, Shading

0 引言

自 60 年代中期以来, 具有真实感的计算机图形显示技术一直是科研人员刻意追求的目标, 而且已经取得了一些令人满意的结果^[1]. 浓淡(shading)效果是产生真实感的重要手段之一. 然而, 在普通的台式计算机这样的低档系统中, 由于缺少硬件加速, CPU 处理能力也较低, 实时的交互式三维画面生成中一般仅可以产生 Gouraud 浓淡效果, 这就大大降低了生成的三维画面的真实感. 无法产生 Phong 浓淡效果. 而 Phong 浓淡效果是使光滑物体表面产生高光(highlight)效果的一个重要方法, 因此本文提出了一种基于环境纹理映射的浓淡方法, 能够以较低的开销, 产生近似 Phong 光照效果的画面. 实验表明, 这种方法具有较高的效率, 生成画面的效果良好.

1 浓淡方法

常用的浓淡方法有 Gouraud 插值算法^[2]和 Phong 插值算法^[3]. Gouraud 算法只在多边形面片的顶点处才利用照明模型计算表面的亮度, 而面片内其它点的亮度是通过对顶点的亮度插值求出的. 此算法的优点是比较简单, 线性插值利于实时计算, 并且生成画面的效果也较好; 缺点是由于顶点的亮度主要取决于用来逼近曲面的多边形面片, 因此生成的曲面有时会趋于平坦, 且线性插值不可避免会带来马赫带效应, 并且难于再现由镜面反射引起的高光效果.

Phong 插值算法与 Gouraud 算法的思路是一致的. 它是基于 Phong 照明模型的一种算法. Phong 从数学理论上推导证明^[3]了多边形顶点处的亮度与

多边形其它各点的亮度并不满足线性插值关系. 为此, Phong 提出了对多边形顶点的法向量进行插值的浓淡算法. 虽然 Phong 算法避免了 Gouraud 算法中的平坦曲面的趋势, 降低了马赫带效应, 并且能够较好地模拟镜面反射产生的高光效果, 但是, 算法对于每一点都要按照 Phong 照明模型^[3] 计算其亮度, 因此运算量很大. Duff 指出^[4], 如果将照明和浓淡计算结合在一起, 并利用差分的方法求各点的亮度, 可以使运算的效率大大提高. 即使这样, 如果没有硬件的支持, 微机的处理能力也很难达到实时 Phong 浓淡效果.

2 新的基于环境纹理映射的浓淡方法

如果物体表面比较光滑, 具有镜面反射效果, 则物体的表面会映射出周围环境的图象, 环境纹理映射算法就是用于生成这种效果的算法. 其实现过程, 一般是先形成一个比较接近于环境的纹理, 然后将此纹理映射到物体上, 以物体上产生反射环境图象的效果, 因此称为环境纹理映射. 著名的三维动画软件 (3D Studio) 也采用这种算法来实现光滑物体表面映射的周围环境图象的效果.

2.1 光照纹理

照明效果最终将体现在对物体表面颜色或纹理明暗程度的影响, 这启发我们可考虑通过直接将具有不同明暗效果的纹理映射到物体表面上, 来实现 Phong 插值算法所产生的高光效果. 为了达到这一目的, 首先应生成一个 Phong 高光效果的纹理位图象, 即亮度从 0 (黑) ~ 255 (白), 如图 1 所示.

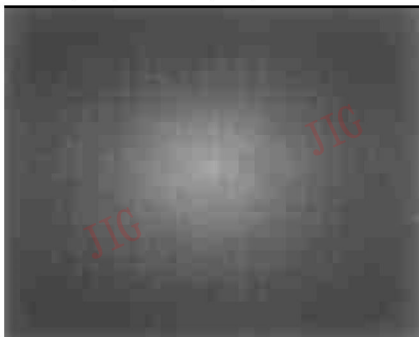


图 1 Phong 光照效果纹理位图

这个图象可以通过用光线跟踪软件对一个球体着色产生, 也可以用一些图象处理软件得到. 图中心的白色表示其代表光源的亮度最大值, 乘以不同的比例因子就可以调节其代表光源的亮度. 为了节省存储空间, 可以只保存此纹理图象位于第一象限的

部分, 其余部分的值可通过对称性得到.

对于虚拟现实场景中的某一个物体, 在绝大多数情况下都可以把入射光看作来自无限远处的平行光线, 而视线也可以看作是一组平行的视线 (图 2).

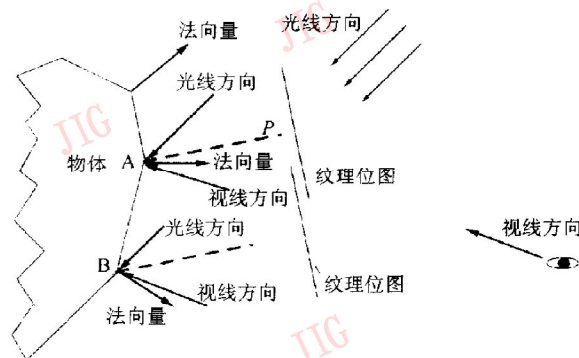


图 2 确定物体纹理位图的方向

虚线 AP 是光线入射方向和视线方向夹角的角平分线. 根据光的反射定律, 如果存在一个平面与 AP 垂直, 即此平面的法向量与 AP 方向相同, 则入射光线经此平面反射后将经过观察点, 此时便会出现 Phong 插值算法中的高光效果. 因此, AP 所指的方向应映射到纹理位图的圆心处, 也即光照纹理位图中心应在 AP 上, 且该纹理位图方向与 AP 垂直. 又由于我们考虑的是平行光线, 因此物体上其它顶点所对应的纹理位图的方向也是一致的. 但其纹理位图中心点位于通过该顶点与 AP 平行的直线上, 方向依然与 AP 垂直 (如图 2 所示).

2.2 Phong 浓淡效果的环境纹理映射算法

由于图 1 是按照 Phong 浓淡方法产生的, 因而反过来我们可以将通过顶点的法向量在此纹理位图上的投影点坐标处的亮度值作为此顶点处的光强. 例如, 在图 2 中, 顶点 A 处的法向量与 AP 夹角较小, 则此点处的亮度应较大, A 点法向量投影到纹理位图上则位于较中心的位置; 而顶点 B 处的法向量与 AP 的夹角较大, 则此点处的亮度应较小, 其投影到纹理位图上位于较外围的位置. 为此, 需要将物体顶点处的法向量映射到以纹理位图为 XY 平面的坐标系统中. 下面给出其算法.

如果被映射多边形的顶点在纹理位图中的坐标用 (p, q) 表示, AP 向量用 (x, y, z) 表示, 用 AP 向量的方向作为新坐标系的 Z 轴方向, 即把 XY 坐标系的 Z 轴旋转到 AP 方向, 由于图 1 是相对于中心完全任意向对称的, 旋转后不需修正 X 轴与 Y 轴的方向. 则旋转矩阵为

$$R = R_y R_x = \begin{pmatrix} \cos\theta & 0 & -\sin\theta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin\theta & 0 & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\phi & \sin\phi & 0 \\ 0 & -\sin\phi & \cos\phi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta & \sin\theta\cos\phi & -\sin\theta\sin\phi & 0 \\ 0 & \cos\phi & \sin\phi & 0 \\ \sin\theta & -\sin\theta\cos\phi & \cos\theta\sin\phi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

式中, θ, ϕ 分别为 AP 在 XZ, YZ 平面上的投影与 Z 坐标轴的夹角(如图 3). 且

$$\sin\phi = \frac{x}{\sqrt{x^2 + z^2}} \quad \cos\phi = \frac{z}{\sqrt{x^2 + z^2}}$$

$$\sin\theta = \frac{y}{\sqrt{y^2 + z^2}} \quad \cos\theta = \frac{z}{\sqrt{y^2 + z^2}}$$

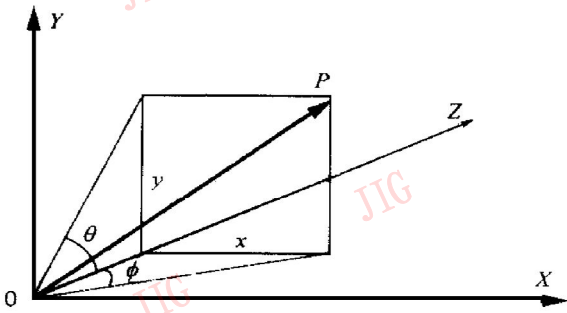


图 3 坐标旋转

按式(1)就可以将顶点处的法向量变换到以纹理位图为 XY 平面, 且 Z 轴通过纹理位图中心的坐标系中. 于是此顶点在纹理位图中的坐标就可按下式确定:

$$p = M/2 \times (1 + X_n)$$

$$q = M/2 \times (1 + Y_n)$$

式中, (p, q) 代表顶点在纹理中的坐标, M 为纹理位图的大小, (X_n, Y_n) 代表顶点处的法向量在新坐标系中的 X, Y 坐标. 一般多边形上其它顶点在纹理位图中的坐标都可按上式计算出, 然后就可以将

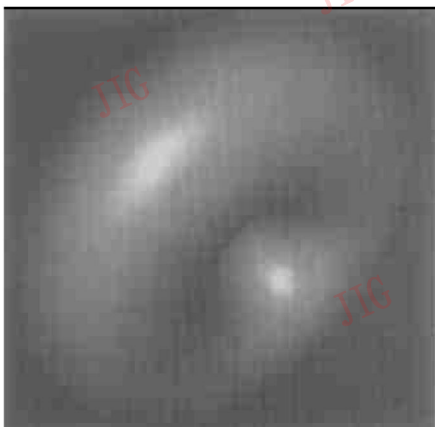


图 4 纹理映射算法结果

纹理位图(图 1)映射到物体表面的各个多边形上. 由于仅需仿射映射(Affine texture mapping), 运算开销较小.

虽然式(1)的旋转矩阵计算比较麻烦, 但对于每个物体仅需要计算一次, 因此对运算的速度影响不大.

由于高光是经物体外表面反射产生的, 除金属和一些固体染料外, 高光具有与入射光同样的性质^[5]. 例如, 当白光照射在涂着蓝色的光亮物体上时, 反射生成的高光仍为白色而不是蓝色. 考虑到环境光, 则处理物体上某点光强时有以下几种情况:

(1) 高光情况: 当通过纹理映射得到的光强达到某个阈值时, 物体上的颜色或纹理用此光源的颜色代替.

(2) 环境光情况: 当通过纹理映射得到的光强小于物体上的环境光强时, 应采用物体上的环境光强. 另外, 当顶点处的法向量与纹理位图的法向量夹角小于 90° 时, 此顶点位于背光面, 也应仅采用环境光强.

(3) 普通情况: 当纹理映射光强在高光和环境光强之间时, 应对物体的表面颜色或纹理做相应变化. 多个光源亮度叠加的效果可以通过对每一个光源作如上处理, 然后叠加即可.

3 实验结果

从前面论述可以看出, 由于纹理位图的方向是由光线方向与视线方向决定的, 因此当物体旋转时, 虽然顶点处的法向量也随之转动, 但是映射到物体上的光照位图不会随物体移走, 其效果与 Phong 浓淡算法类似, 也与我们的日常经验相符.

下面是分别采用 Phong 插值算法和纹理映射算法生成的 2 幅图象(图 4、图 5). 从图上可以看出, 采用本算法生成的图象能够很好地获得近似 Phong 插值算法的高光效果.

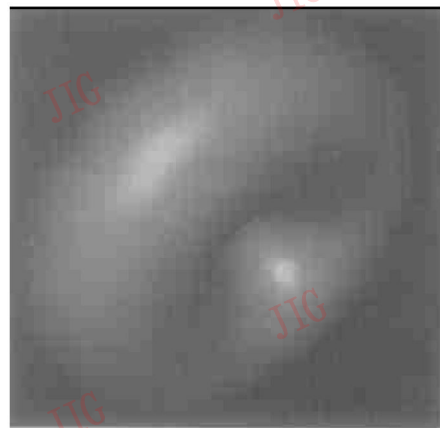


图 5 Phong 算法结果

图 6~ 图 8 是采用本文算法所绘制的物体. 图 6 是由 240 个三角形构成的 Utah 茶壶, 图 7 是 520 个三角形构成的蜘蛛, 图 8 的零件则包含 342 个三角

形. 本算法在运算速度上较 Phong 插值算法快得多 (表 1).

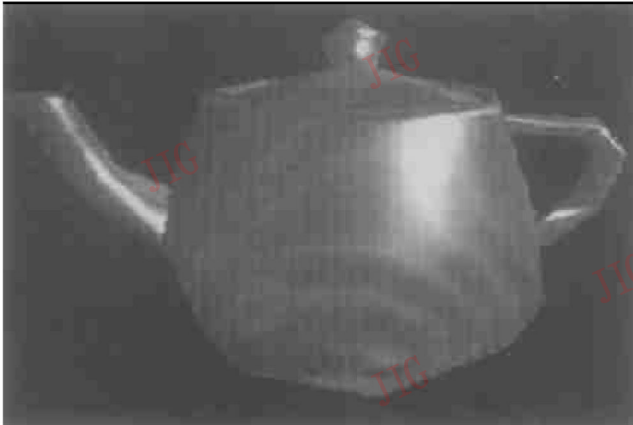


图 6 Utah 茶壶



图 7 蜘蛛

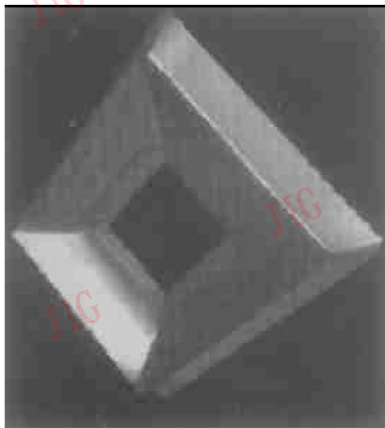


图 8 零件

表 1 着色算法的速度对比(帧/s)

多边形数量	Phong 插值算法	Gouraud 插值算法	纹理映射算法
16	48	142.6	113.5
160	5.8	30.2	20.6
1 600	0.73	6.4	4.4

4 结 论

由于微机处理能力的限制, 实时的 Phong 算法一直不能在交互式 3D 画面生成中广泛使用. 本文提出的方法使得实时地产生 Phong 浓淡效果成为可能. 从实验结果上看, 本文的方法效率较高, 同时几乎不损失画面的质量, 因而是一种可行的方法.

参 考 文 献

- 1 James D Foley, Andries Van Dam. Fundamentals of Interactive Computer Graphics. Addison-Wesley Publishing Company, 1983.
- 2 Gouraud H. Computer display of curved surfaces. IEEE Transaction. 1971, C-20: 623~ 628.
- 3 Bui-Tuong Phong. Illumination for computer-generated pictures. Communications of the ACM, 1975, 18(6): 311~ 317.
- 4 Duff T. Smooth shaded renderings of polyhedral objects on raster displays. Computer Graphics, 1979, 13: 270~ 275.
- 5 David F Rogers. Procedural Elements for Computer Graphics, McGraw-Hill, Inc, 1985.



祁利文 1969 年生, 1991 年于西安交通大学获得学士学位, 1994 年在校获得硕士学位, 现于西安交通大学电信学院综合自动化研究所攻读博士学位. 主要研究方向为飞行器仿真与虚拟现实技术研究.



韩崇昭 1943 年生, 教授、博士生导师. 1968 年毕业于西安交通大学电机工程系, 1981 年在中国科学院研究生院攻读自动控制专业研究生, 获我国首批授予的硕士学位, 1981 年至今在西安交通大学工作. 主要研究领域为随机控制与自适应控制、工业过程控制与优化、非线性频谱分析、决策理论与决策支持系统等.