

利用光度立体法生成真实物体的三维模型

黄勇 汪炳权 任彬

(安徽大学电子工程与信息科学系,合肥 230039)

摘要 在计算机三维动画制作中,要制作一个具体的真实物体的三维模型,是一项复杂而困难的事情。本文根据由阴影恢复形状的视觉理论,利用光度立体视觉技术,给出了由3幅光移图象计算物体表面方向和深度信息,并利用贝塞尔曲线拟合获得物体表面的结构模型的方法。

关键词 计算机视觉,光度立体法,三维动画,三维模型

1 引言

随着计算机多媒体技术的发展,“三维动画”这项新生的高科技产品,在短短的十几年中已经渗透到了:广告业、机械制造业、建筑业、军事科技、商业和影视娱乐业等众多行业中。越来越多的人开始认识它、学习它、利用它为各自行业发挥作用。

在计算机三维动画制作中,要制作一个具体的真实物体的三维模型,是一项复杂而困难的事情。目前,在国外的一些三维制作软件中(如:Power-Modeling, Advance Animator 等)采用激光输入或机械扫描装置来获取真实物体的三维数据,从而在计算机上进行三维建模。随着计算机视觉的发展,人们可以由二维图象来恢复或重构出物体的三维形状,如果能将该技术应用于多媒体的三维建模上,那么就可以进一步简化获取真实物体三维数据的方法。基于这种思想,本文根据由阴影恢复形状的视觉理论,利用光度立体视觉技术,给出了由3幅光移图象计算物体表面方向,通过积分运算得到物体的深度信息,并利用贝塞尔曲线拟合获得物体表面的结构模型的方法。

2 基本原理

2.1 反射分布函数

对于任一反射表面,其反射率函数表示为

$\Phi(i, e, g)$, 其中: i 是光源与表面法向之间的入射角, e 为观察者的视线与表面法向之间的辐射角, g 为入射光线与反射光线之间的相位角。通常反射率函数的种类很多,而对于全扩散表面,即理想的朗伯表面,其反射率函数则可简单地表示为 $\Phi(i, e, g) = \cos i$ 。在梯度空间中,设 (p, q) 为物体表面的方向梯度 $(p = \frac{\partial z(x, y)}{\partial x}, q = \frac{\partial z(x, y)}{\partial y})$, (p_s, q_s) 为光源的方向,根据空间中2向量的规格化内积,可导出:

$$\cos i = \frac{1 + pp_s + qq_s}{\sqrt{1 + p^2 + q^2} \sqrt{1 + p_s^2 + q_s^2}} \quad (1)$$

因此在平行光照下朗伯表面的反射分布函数为:

$$R(p, q) = \frac{\rho(1 + pp_s + qq_s)}{\sqrt{1 + p^2 + q^2} \sqrt{1 + p_s^2 + q_s^2}} \quad (2)$$

根据图象的辐照度方程: $E(x, y) = R(p, q)$, 可得到表面方向与图象亮度之间的对应关系:

$$E(x, y) = \frac{\rho(1 + pp_s + qq_s)}{\sqrt{1 + p^2 + q^2} \sqrt{1 + p_s^2 + q_s^2}} \quad (3)$$

其中: ρ 是反射常数, $p_s = -\cos \phi_0 \tan \theta_0$, $q_s = -\sin \phi_0 \tan \theta_0$, (ϕ_0, θ_0) 为光源的倾角与仰角。

2.2 光度立体法

所谓光度立体法,就是根据在不同光源方向的情况下,拍摄的多幅图象的光强来计算物体表面的

• 本文得到安徽省自然科学基金项目资助

收稿日期:1997-12-20;收到修改稿日期:1998-02-21

方向梯度,从而获得图象的三维信息。

如图 1 所示:设 $R_1(p, q), R_2(p, q)$ 是分别在 2 个方向 (p_1, q_1) 和 (p_2, q_2) 的光源照射下拍摄的 2 幅图象的反射图。 $E_1(x, y), E_2(x, y)$ 分别是 2 幅图象中 (x, y) 点的图象亮度,与 $E_1(x, y)$ 和 $E_2(x, y)$ 相对应的等值线,在梯度空间中分别被定义为 $R_1(p, q) = E_1(x, y), R_2(p, q) = E_2(x, y)$,景物内 (x, y) 点的表面法向就对应于这两条曲线的交点,若这 2 条曲线有 2 个交点,表面法向就有 2 个可能的方向,为了确定其唯一性,我们利用第 3 个光源在第 3 个方向上再拍摄一幅图象,这样在梯度空间得到第 3 条等值线 $R_3(p, q) = E_3(x, y)$,找出它与其它 2 条曲线相交的那个点,就可确定唯一的表面法向。

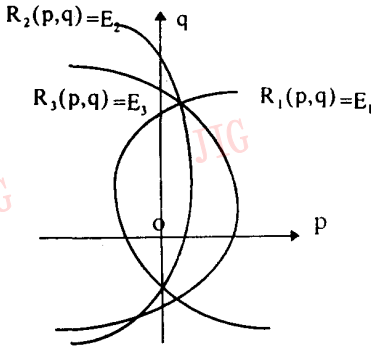


图 1 光度立体法原理图

3 算法实现

3.1 计算表面方向梯度

对于在 3 个不同的光照条件下得到的 3 幅明暗图象,我们可以得到以下方程组:

$$E_1(x, y) = \frac{\rho(1 + p p_1 + q q_1)}{\sqrt{1 + p_1^2 + q_1^2} \sqrt{1 + p^2 + q^2}} \quad (4)$$

$$E_2(x, y) = \frac{\rho(1 + p p_2 + q q_2)}{\sqrt{1 + p_2^2 + q_2^2} \sqrt{1 + p^2 + q^2}} \quad (5)$$

$$E_3(x, y) = \frac{\rho(1 + p p_3 + q q_3)}{\sqrt{1 + p_3^2 + q_3^2} \sqrt{1 + p^2 + q^2}} \quad (6)$$

式中 $E_1(x, y), E_2(x, y), E_3(x, y)$ 分别对应 3 幅图象上 (x, y) 点象素的规格化亮度值,所谓规格化亮度即该点的灰度值与图象上最大灰度值之比, $(p_1, q_1), (p_2, q_2), (p_3, q_3)$ 为 3 幅图象的光源方向。

利用反射图的特性,对此方程组做如下讨论:

对于图象上某一象素点 (x, y)

(1) 当 $E_1(x, y), E_2(x, y), E_3(x, y)$ 其中之一

为 1 时,如假设 $E_1(x, y) = 1$,那么其反射图在梯度空间表示为一点,且该点的方向为 (p_1, q_1) ,同理,当 $E_2(x, y) = 1$ 或 $E_3(x, y) = 1$ 时,表面方向为 (p_2, q_2) 或 (p_3, q_3) 。

(2) 当 $E_1(x, y), E_2(x, y), E_3(x, y)$ 其中之一为 0 时,其反射图在梯度空间表示为一条直线,这样在解方程组时,可能会出现 p 或 q 为无限大的情况,针对这种情况,根据表面平滑条件,我们取该点的灰度值为其周围 4 个象素点灰度的平均值。

(3) 当 $0 < E_1(x, y), E_2(x, y), E_3(x, y) < 1$ 时,其反射图在梯度空间表示的为二次曲线,方程组有唯一解。

通过对方程组的求解,得到图象上各象素点的表面方向梯度。

3.2 计算各象素点的深度

由表面梯度求深度,我们采用了线积分的方法,其计算公式如下:

$$\begin{aligned} z(i, j) = & z(i_0, j_0) + \\ & \frac{1}{2} \left(\frac{q(i_0, j_0) + q(i_0, j)}{2} + \sum_{k=j_0+1}^{j-1} q(i_0, k) \right) + \\ & \frac{1}{2} \left(\frac{p(i_0, j) + p(i, j)}{2} + \sum_{k=i_0+1}^{i-1} p(k, j) \right) + \\ & \frac{1}{2} \left(\frac{p(i, j_0) + p(i, j)}{2} + \sum_{k=j_0+1}^{j-1} p(k, j_0) \right) + \\ & \frac{1}{2} \left(\frac{q(i, j_0) + q(i, j)}{2} + \sum_{k=j_0+1}^{j-1} q(i, k) \right) \quad (7) \end{aligned}$$

其中 (i_0, j_0) 为参考点。这里我们选取了图象的中心点为参考点。

为了提高计算效果和精度,我们又利用变分法对深度数据进行优化,其计算公式为:

$$\begin{aligned} z(x, y) = & \frac{1}{4} (z(i+1, j) + z(i-1, j) + \\ & z(i, j+1) + z(i, j-1)) - \frac{1}{4} (p(i, j) \\ & p(i-1, j) - q(i, j) - q(i, j-1)) \quad (8) \end{aligned}$$

3.3 Bezier 曲线拟合

设在三维空间中给定了 $m+1$ 个点: P_0, P_1, \dots, P_m , 其中 $P_i = (x_i, y_i, z_i)$, $i=0, 1, \dots, m$ 称为控制点,由这些点依次连接后得到的多边形,称为控制多边形。Bezier 方法的基本思想就是假定拟合这些控制点的曲线可以用下面的多项式 $P(t), 0 \leq t \leq 1$ 来表示:

$$P(t) = \sum_{i=0}^m P_i \cdot b_{i,m}(t) \quad (9)$$

其中 $b_{i,m}(t)$ 是伯恩斯坦基底函数:

$$b_{i,m}(t) = C_m^i \cdot t^i \cdot (1-t)^{m-i}$$

$$\text{式中: } C_m^i = \frac{m!}{i!(m-i)!}$$

本文采用的是三次 Bezier 多项式, 即 $m=3$, 此时权函数组是:

$$b_{i,3}(t) = C_3^i \cdot t^i \cdot (1-t)^{3-i}$$

其矩阵形式为:

$$[b_{0,3}(t), b_{1,3}(t), b_{2,3}(t), b_{3,3}(t)]^T = [t^3, t^2, t, 1] \cdot B$$

$$\text{其中矩阵 } B = \begin{bmatrix} -1 & 3 & -3 & 1 \\ 3 & -6 & 3 & 0 \\ -3 & 3 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

如果把由 P_0, P_1, P_2, P_3 这 4 个控制点构成的三次 Bezier 多项式记为 $Q_3(t)$, $0 \leq t \leq 1$, 那么 $Q_3(t) = [t^3, t^2, t, 1] B [P_0, P_1, P_2, P_3]^T$ 这里我们取 P_0, P_1, P_2, P_3 为图象上相邻 4 个象素点的坐标。

3.4 实验结果

对于以上理论方法, 我们用 C 语言编制了实现的程序, 并选取了一尊人体面部石膏雕像作为实验对象, 在微机实现了图象的输入、计算和三维显示, 实验结果如下:



(a) 光源方向 $(\tau, \sigma) = (140^\circ, 30^\circ)$ (b) 光源方向 $(\tau, \sigma) = (50^\circ, 30^\circ)$ (c) 光源方向 $(\tau, \sigma) = (90^\circ, 5^\circ)$

图 2 面部雕像的 3 幅光移图象, 大小为 128×128

从实验结果来看, 该算法是成功的, 基本得到了原始图象的三维结构模型, 运算量小, 运算速度快。当然由于实验条件的限制, 结果还存在一定的误差, 如在解决遮合边界的影响上, 存在一定的误差; 另外对恢复的深度数据, 在某些细节上还不十分理想, 这将在我们以后的研究工作中加以解决。

4 结论

本文根据由阴影恢复形状的视觉理论, 利用光度立体视觉技术, 给出了由三幅光移图象计算物体表面方向, 通过积分运算得到物体的深度信息, 并利

用贝塞尔曲线拟合获得物体表面的结构模型的方法。该方法对于进一步研究如何从图象中获得物体的三维模型具有一定的理论意义和实用价值。

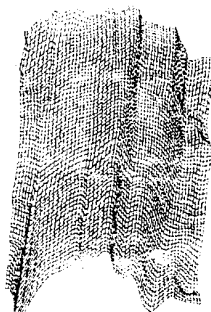


图 3 面部雕像的曲线拟合结果

参考文献

- 1 Szeliski Richard. Fast Shape From Shading. Computer Vision Graphics Image Process.: Image Understanding, 1991, 53(2): 129~153.
- 2 杨敬安, 张奠成. 三维计算机视觉. 合肥: 安徽教育出版社.
- 3 Tagare H D, DeFigueiredo R J P. A theory of photometric stereo for a class of diffuse Non-Lambertian Surfaces. IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intel. 1991, PAMI-13(2): 133~152.
- 4 黄 勇. 从单目图象获取物体形状的研究[硕士论文]. 合肥: 安徽大学, 1997.

黄 勇 1988 年获安徽大学电子工程与信息科学系学士学位, 1997 年获该校电路与系统专业硕士学位。现为安徽大学电子工程与信息科学系讲师及科研人员, 主要从事计算机视觉及图象处理与识别方法的研究工作。



汪炳权 1959 年毕业于安徽大学物理系, 现为安徽大学电子工程与信息科学系教授, 中国图象图形学会理事, 中国电子学会高级会员。主要研究方向是图象识别和计算机视觉应用。发表论文数十篇, 曾获安徽省科技进步三等奖 2 项。



任 彬 1987 年安徽大学无线电系毕业, 获工学学士学位, 1995 年获安徽大学电子工程与信息科学系电路与系统专业硕士学位。主要从事计算机视觉及图象处理等教学研究工作。



Construct ion of 3D Model of Real-Object Using The Methed of Photometric Stereo

Huang Yong, Wang Bingquan, Ren Bin

(Department of Electronic Engineering & Information Science, Anhui University, Hefei 230039)

Abstracts It's a complicated and difficult task to construct 3D model of real-object when making 3D studio. Based on the computer vision theory of shape from shading and photometric stereo techinque, this paper proposes a method, which can calculate the gradients of surface and height information from three grey images, and finally constructs the 3D model by using the draft of Bezier curve.

Keywords Computer vision, Photometric stereo, 3D studio, 3D model

欢迎订阅《测绘学报》

邮发代号:2-224 国外代号 615 定价 6 元

《测绘学报》(Acta Geodaetica et Cartographica Sinica)创刊于 1957 年,是由中国测绘学会主办的反映我国测绘科学技术发展水平的国家级综合性学术刊物。也是我国提交国际测绘科技交流的主要文献,发表中、英两种文字的论文,并每年出版一集英文选集。

《测绘学报》着重报道我国测绘科技最新的重要研究成果及其应用,内容涉及大地测量、工程测量、遥感、航空摄影测量、地图学、地理信息系统、矿山测量、海洋测绘、地籍测绘、地图印刷、测绘仪器,信息传输等测绘学科及其相关相邻学科。主要栏目有综述、学术论文、博士论文摘要及学术活动信息。

作为中国科协的优秀学术期刊,《测绘学报》被列为中文核心期刊测绘类首位,入选 CSTA 数据库,中国科学引文数据库,被世界六大检索系统之一的俄罗斯《文摘杂志》(PЖ)收录,是《中国学术期刊文摘》、《测绘文摘》、《中国科学文摘(英文卷)》、《矿业文摘》等检索杂志的源期刊。同时本刊以整体形式加入《中国学术期刊(光盘版)》。

《测绘学报》为季刊,主编:陈俊勇,每期 100 页,1999 年改为大 16 开本,定价不变。国内订购:全国各地、市邮局,国外订购:北京 399 信箱(中国国际图书贸易总公司)

本刊电子版网址:<http://www.chinainfo.cn.net/periodical> 欢迎读者进入 chinainfo 系统免费查询检索本刊内容(明年开始酌情收费),欢迎各界朋友对本刊提出宝贵意见和建议(E-mail:chxb@public.sti.ac.cn)。

《测绘学报》编辑部 邮编:100045

地址:北京三里河路 50 号 电话:010-68526568

传真:010-68597933