

基于多项式纹理的 Lengyel 毛发实时绘制

唐 勇, 李 原, 吕梦雅

(燕山大学信息科学与工程学院, 秦皇岛 066004)

摘要: 针对普通绘制毛发光照效果方法存在的实时性较差的问题, 提出一种基于多项式纹理的 Lengyel 毛发实时绘制方法, 将多项式纹理融入 Lengyel 绘制毛发方法中。在预处理阶段, 对毛发模型进行采样, 并计算纹元的多项式纹理系数, 利用该系数计算不同光照下纹元的亮度信息, 通过所得亮度信息确定当前光照下纹元的颜色值, 并由内到外对毛发网格层进行融合绘制。实验结果表明, 该方法可以满足中等规模物体的实时绘制需求。

关键词: 多项式纹理; Lengyel 方法; 阴影; 毛发绘制

Lengyel Fur Real-time Rendering Based on Polynomial Texture Maps

TANG Yong, LI Yuan, LV Meng-ya

(College of Information Science & Engineering, Yanshan University, Qinhuangdao 066004)

【Abstract】 Aiming at the problem of worse real-time in ordinary rendering fur light effect method, a Lengyel fur real-time rendering method based on Polynomial Texture Maps(PTM) is proposed, which merges PTM into Lengyel rendering fur method. In period of pretreatment, the fur model is sampled, and the polynomial texture coefficients is calculated, use which, the light information is obtained. The color value is identified by using this information. The fur network layer is rendered from inner part to outer part. Experimental results show this method can meet the real-time rendering requirement of middle-scale objects.

【Key words】 Polynomial Texture Maps(PTM); Lengyel method; shadow; fur rendering

1 概述

随着计算机图形学的发展, 人们对作为动物特征的毛发绘制要求越来越高。毛发数量及其几何特征, 使模拟毛发的难度变大, 有许多学者对毛发的绘制方法进行研究。最具代表性的是 Lengyel 的毛发绘制方法, Lengyel 将物体的毛绒表面表示为一系列同心网格层, 每层网格上映射相应的半透明毛发纹理, 对这些半透明网格层进行混合绘制就可以产生短毛效果^[1]。Lengyel 方法较好地实现了毛发绘制, 达到了实时和交互的要求, 但忽视了光照对毛发绘制效果产生的影响。光照使毛发产生阴影, 对毛发阴影的绘制能增加毛发绘制的真实感。Lengyel 方法用光照模型来绘制毛发的光照效果, 是绘制光照效果的一种简便方法, 对于物体自身的遮挡带来的自阴影的处理, 只在绘制多层网格时, 通过光照值从上向下逐层递减来粗略地反映自阴影效果, 得到的自阴影效果缺乏真实感。后来有学者在 Lengyel 方法的基础上, 利用层状阴影图^[2]对毛发的光照效果进行绘制, 增加方向纹理、阴影图、深度图、影区距离图等多幅辅助纹理。这些方法能够较好地表现阴影效果, 但是当光线变化时必须更新上述辅助纹理, 由于毛发复杂的几何结构, 因此难以保证较好的实时性。一些重光照算法已经能够很好地绘制带阴影的物体, 不过这些方法研究的是一般材质的光照特点, 无法直接运用到毛发的绘制上。

根据毛发的几何结构和材质特征, 本文将多项式纹理(Polynomial Texture Maps, PTM)^[3]与 Lengyel 方法相结合, 对毛发的光照效果进行绘制。先将毛发模型分割成多层, 对每层进行采样生成多层二维纹理, 并计算用于计算光亮度的 PTM 系数。在绘制阶段, 根据当前光线方向和 PTM 系数在

GPU 中计算出这些二维纹理的新颜色值, 然后融合绘制多层网格层, 每层映射相应地包含新颜色值的纹理。这样就绘制出毛发的阴影效果, 且在光线发生改变时, 仅需更新 PTM 参数即可, 更新代价小。

2 多项式纹理的引入

现有的毛发绘制技术采用光照模型与阴影图结合的方法对毛发光照效果进行绘制。在光照模型技术中, 物体的漫反射系数、镜面反射系数和透明系数等物理量与物体所表现的颜色直接相关。这些物理量是真实感毛发绘制中常用的材质参数, 通常在建模的时候就定义好, 并存储在相应的数据结构中。

材质参数是影响质感的重要参数, 随意给定的参数很难做到自然和真实。实际计算时应根据实际材料的测量结果进行设定, 若没有现成的测量结构, 则应根据图形效果对参数反复修正, 以达到较好的效果。但是若一种物体的毛发只指定一种简单的材质, 当然不能模拟自然界中毛发精美的花纹和图案, 毛发绘制的真实感会降低, 而阴影图绘制毛发阴影效果的方法又十分耗时。

纹理映射技术能够解决这些问题, 通过定义纹理与物体之间的映射关系, 可以合成具有真实感的图形表面的花纹、图案和细微结构。

基金项目: 河北省自然科学基金资助项目(F2006000267)

作者简介: 唐 勇(1964 -), 男, 教授、博士, 主研方向: 虚拟现实技术及其应用, 软件工程化技术, 信息安全; 李 原, 硕士研究生; 吕梦雅, 教授、博士

收稿日期: 2009-04-15 **E-mail:** maja0567@sina.com

传统的纹理映射用图像来表现模型的细节,但当光线条件与开始生成图像时所处的光线条件不同时,绘制的结果就不会不真实。此外,这些方法不能绘制物体的各种阴影效果,而 PTM 方法能捕捉所绘制物体的自阴影、反复反射产生的阴影等效果,增强绘制效果的真实感,并适用于绘制毛发一类以漫反射为主的物体。

PTM 本质上是个如式(1)所示的 4 次多项式,多项式的系数 a_0, a_1, \dots, a_5 存储在纹元中,用于在光照方向发生变化时,更新物体表面的颜色,其中, (l_u, l_v) 为给定视线方向和当前光照方向; (u, v) 代表纹元的坐标。

$$L(u, v; l_u, l_v) = (l_u \quad l_v \quad 1) \begin{pmatrix} a_0 & a_2 & a_3 \\ a_2 & a_1 & a_4 \\ a_3 & a_4 & a_5 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} l_u \\ l_v \\ 1 \end{pmatrix} = a_0 l_u^2 + a_1 l_v^2 + 2a_2 l_u l_v + 2a_3 l_u + 2a_4 l_v + a_5 \quad (1)$$

该方法利用多项式计算每个纹元的亮度 L , 保持原始颜色不变,当光线方向相对于物体发生变化时,用一张纹理图来记录物体表面的颜色变化。引入 PTM 对毛发进行绘制能得到很好的光照效果,能在渲染过程中利用 PTM 系数和光线方向对物体表面颜色进行快速更新。当光线方向一定时,仅需要计算一次 PTM 系数,这不但实现了毛发绘制的实时效果,且减少系统开销;当光线改变时,如果使用层状阴影图的方法则需要更新多幅辅助纹理,使用 PTM 仅仅更新用于计算像素光亮度的 PTM 参数即可,因此,当光线频繁改变时,这种算法的优势更加明显。此外,PTM 所进行的运算是定点运算,对硬件资源的消耗小,且 PTM 只涉及加法和乘法运算,运算简单、快速、直接。

如何将多项式纹理引入 Lengyel 绘制毛发的方法中,实现对毛发的光照效果的绘制是本文的关键问题。毛发具有复杂的几何结构,对于这种结构,Lengyel 将毛发表示成多层的网格面,并映射相应的纹理实现对毛发的绘制。PTM 只能包含一层信息,并不能表达毛发复杂的几何形态,对每层使用相应的 PTM,用 PTM 系数计算出像素的亮度信息,得到在光照环境下纹理像素的颜色值,绘制带有阴影效果的毛发。

3 毛发预处理

首先,将毛发水平分割成多层,在没有光照条件的情况下对模型进行采样得到包含毛发的原始颜色信息的纹理,然后对每层沿不同光照方向进行采样,得到一组二维纹理图,所得二维纹理都包含 RGBA 4 个通道,这些纹理均在同一视点下获得。为绘制毛发在光照下的阴影效果,在采样完成后,计算 PTM 系数。如图 1 所示。

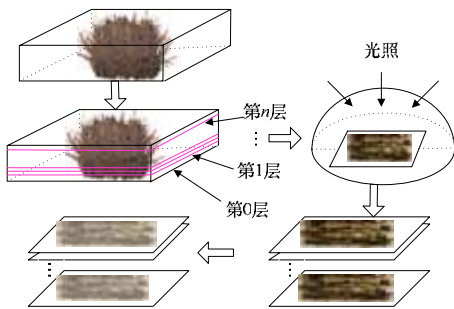


图 1 毛发采样过程

对 PTM 系数 a_0, a_1, \dots, a_5 进行单值分解(Singular Value Decomposition, SVD),从而拟合在不同光照下所得到的图像,如式(2)所示。其中, L_0, L_1, \dots, L_n 由采样获得。在给定光线方

向的情况下, SVD 仅被计算 1 次,所得系数用于每个像素。

$$\begin{bmatrix} l_{u0}^2 & l_{v0}^2 & l_{u0}l_{v0} & l_{u0} & l_{v0} & 1 \\ l_{u1}^2 & l_{v1}^2 & l_{u1}l_{v1} & l_{u1} & l_{v1} & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ l_{un}^2 & l_{vn}^2 & l_{un}l_{vn} & l_{un} & l_{vn} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \vdots \\ a_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_0 \\ L_1 \\ \vdots \\ L_n \end{bmatrix} \quad (2)$$

为便于 GPU 的计算,将 PTM 系数 a_0, a_1, \dots, a_5 组装成纹理形式,存储在显存中。由于 a_0, a_1, \dots, a_5 是浮点类型的数据,因此必须将 a_i 转化为 0~255 之间的 8 bit 系数,得到 a'_i 。

$$a'_i = \frac{1}{\lambda} a_i + \Omega \quad (3)$$

其中, λ 和 Ω 分别为缩放值和基值。这样用 1 个字节来表示每个系数,共需要 2 张具有 RGBA 四通道的纹理图来存储多项式系数。在绘制阶段,原始颜色和参数均以纹理形式传递给 GPU。

Lengyel 还采用在模型轮廓线区域放置 Fin 切片的方法掩盖轮廓线处由于层间空隙过于明显而造成的过度透明现象,对 Fin 纹理也采用同样方法进行处理。与 Lengyel 方法不同的是本文的 Fin 纹理带有 PTM 信息。

在完成对纹理的预处理后,用 Lapped Textures 方法^[4]生成模型的纹理坐标,以解决 PTM 纹理到模型表面的映射。

4 基于 PTM 的毛发绘制

先根据当前的光线方向和 PTM 系数,利用 PTM 系数纹理和原始颜色纹理在 GPU 中计算当前光照方向下纹元的颜色值。

当光线改变时,纹元的原始颜色始终是固定不变的。光线的改变仅改变纹元的亮度,用 $R_n(u, v), G_n(u, v), B_n(u, v)$ 表示每个纹元的原始颜色, $L(u, v)$ 表示纹元的亮度, $L(u, v)$ 亮度值是由式(1)计算得到的, $R(u, v), G(u, v), B(u, v)$ 表示改变后的颜色, (u, v) 代表纹元的坐标。由式(4)得到在一定光线条件下纹元的颜色,可以看出,光线改变后的纹元颜色是通过纹元亮度的不同来实现的。

$$\begin{aligned} R(u, v) &= L(u, v)R_n(u, v) \\ G(u, v) &= L(u, v)G_n(u, v) \\ B(u, v) &= L(u, v)B_n(u, v) \end{aligned} \quad (4)$$

通过计算得到纹元在某一光线方向下的颜色信息 RGB,并将结果保存为二维纹理,将包含新颜色信息的纹理映射到相应的网格面上,并根据采样过程中得到的 α 值,由内到外对多层网格面进行融合绘制。多层网格面通过将原模型顶点沿法向量方向或一定轨迹进行偏移而形成,如图 2 所示。

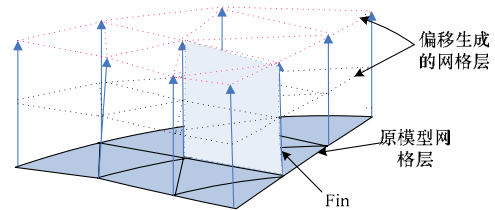


图 2 生成多层网格面

5 实验结果

在 Lengyel 算法基础上,引入 PTM 方法实现在光照环境下的毛发绘制。在 Windows 实验平台下,以 VC++ 和 OpenGL 为软件平台,硬件环境:CPU 为 Intel 酷睿双核 T2300E 1.66 GHz, 1 GB 内存, NVIDIA Quadro NVS 110 MB 显卡, 64 MB 显存。先生成一张 $64 \times 64 \times 16$ 体纹理,采样生成 16 层

二维纹理,分辨率为 64×64。

为测试本算法的实时性,用 PTM 方法和层次阴影图方法分别对同样规模的毛发进行绘制,实验结果如表 1 所示。

表 1 PTM 方法与层次阴影图方法的绘制效率比较

| 三角面片数 | 绘制效率/(f.s ⁻¹) | |
|--------|---------------------------|------|
| | 层次阴影图 | PTM |
| 512 | 41.6 | 57.3 |
| 4 608 | 14.3 | 17.4 |
| 16 896 | 5.7 | 7.7 |

从表 1 可以看出,当引入 PTM 后,在光照下毛发的绘制速度得到提高,用该方法捕捉毛发簇在平面上的投影,能增强毛发的真实感,效果如图 3 所示。

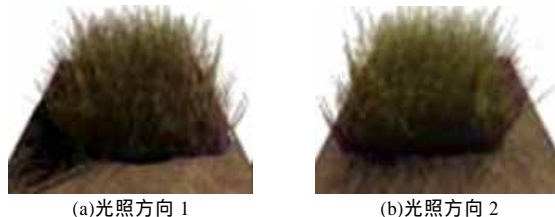


图 3 多项式纹理生成毛发的投影效果

图 4 为毛发间互相遮挡产生的阴影效果随光线方向的变化而发生变化的情况,可以看出,同一块毛发在光线方向不同的情况下,毛发的色泽和密度在视觉上都是有差异的。

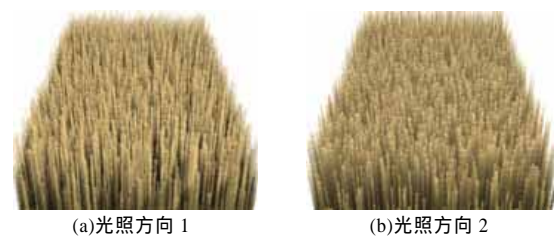


图 4 多项式纹理生成毛发的阴影效果

由于毛发长度会对阴影效果产生较大影响,因此可以通过生成不同长度的毛发来观察阴影效果,如图 5 所示,当毛发较短时,光线方向对毛发的影响较小。

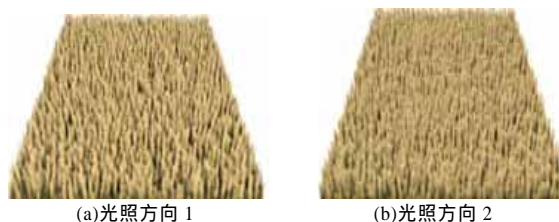


图 5 多项式纹理生成较短毛发的阴影效果

由于 PTM 方法是种基于纹理的方法,虽然在一定程度上提高了毛发的绘制效率,但每层都使用 PTM,使数据量增加,因此在绘制大规模的物体时,实时性较差。

6 结束语

本文提出一种 Lengyel 毛发绘制算法,将多项式纹理映射 PTM 技术引入毛发的实时绘制中,可对光照环境下的毛发效果进行绘制,对中等规模物体能取得较好的实时性,能获得较好的视觉效果,增加物体绘制的真实感。今后的工作包括:(1)动态毛发的光照效果的绘制。有学者将质点弹簧等系统应用于毛发动态效果的绘制,并获得较好的效果^[5],但没有对毛发光照效果进行改进,如能将本文方法加以利用,在实时性和真实感方面会有一定提高。(2)模拟自然界中毛发的状态多样性,如脏毛、湿毛等。

参考文献

[1] Lengyel J. Real-time Fur over Arbitrary Surfaces[C]//Proc. of the ACM Symp. on Interactive 3D Graphics. North Carolina, USA: [s. n.], 2001.

[2] 杨刚, 孙汉秋, 王文成, 等. 基于 GPU 的真实感毛发绘制[J]. 软件学报, 2006, 17(3): 577-586.

[3] Malzbender T. Polynomial Texture Maps[C]//Proc. of the ACM SIGGRAPH'01. New York, USA: [s. n.], 2001.

[4] Praun E. Lapped Textures[C]//Proc. of the ACM SIGGRAPH'00. New Orleans, Louisiana, USA: [s. n.], 2000.

[5] 唐勇, 邵绪强, 吕梦雅. 基于 Lengyel 方法的动态毛发模拟研究[J]. 计算机工程, 2008, 34(11): 243-245.

编辑 陈文

(上接第 202 页)

6 结束语

系统对目标 Haar 特征进行训练,获得 Adaboost 强分类器,通过该分类器对目标进行粗跟踪,得到目标在图像中的大致区域。在目标上确定 4 个特征点,对这 4 个点的几何位置应用单目测量的原理,检测目标的实际位姿参数,再将其转化为电机控制信号。通过实验,将控制信号反馈给控制单元,验证其可行性。

参考文献

[1] 范路桥, 蒋梁中, 汪伟. 排爆机器人双目立体视觉系统的研究和开发[J]. 计算机工程, 2007, 33(7): 207-209.

[2] Merler S, Caprile B, Furlanello C. Parallelizing AdaBoost by Weights Dynamics[J]. Computational Statistics & Data Analysis, 2007, 51(5): 2487-2498.

[3] Duan Fuqing, Wu Fuchao, Hu Zhanyi. Pose Determination and Plane Measurement Using a Trapezium[J]. Pattern Recognition Letters, 2008, 29(3): 223-231.

[4] 段福庆, 吴福朝, 胡占义. 基于平行性约束的摄像机标定与 3D 重构[J]. 软件学报, 2007, 18(6): 1350-1360.

[5] 张耀欣, 丛爽. 平面二自由度并联机器人运动学参数的快速估计方法[J]. 中国科学技术大学学报, 2007, 37(12): 1494-1499.

编辑 顾逸斐