

基于三维模型的风格化线条渲染方法

蒋宝吉 唐 棣

(辽宁师范大学计算机与信息技术学院 大连 116081)

摘 要 3D模型风格化线条绘制^[1]中的一个最大问题是可见性的计算,当前在以复杂的模型计算线条可见性的算法中,不是交互式渲染速度太慢就是渲染后的动画不连贯,由此提出一种在GPU下快速、高质量地计算线条可见性的算法,其利用先进的可编程图形流水线技术,可以支持线条可见性和广泛风格化选项。实验结果表明,该算法运算速度能够满足交互系统的实时性需求。

关键词 线条可见性,线条风格化,非真实感渲染,图形处理器

中图分类号 TP391.41 **文献标识码** A

Research on Stylized Lines Rendering of 3D Models

JIANG Bao-ji TANG Di

(College of Computer and Information Technology, Liaoning Normal University, Dalian 116081, China)

Abstract A substantial challenge for making stylized line drawings from 3D models is the visibility computation. Current algorithms for computing line visibility in models of moderate complexity are either too slow for interactive rendering, or too brittle for coherent animation. This paper introduced methods that exploit graphics hardware to provide fast and robust line visibility. Using a full optimized pipeline can support line visibility and a broad range of stylization options. The experimental results show that operation speed can satisfy the requirements of real-time interactive system.

Keywords Line visibility, Style, Non-photorealistic rendering, Graphics processor unit(GPU)

1 引言

随着计算机图形学的快速发展,三维计算机图形已经渗入到计算机应用的各个领域。传统的真实感绘制技术受到真实的表现场景的局限,无法抛弃琐屑、提取重要部分,从而不能有效地表现场景的特征信息。非真实感绘制^[2](Non-photorealistic rendering, NPR)是近些年来飞速发展的一种绘制技术,它主要采用铅笔、蜡笔、彩笔等风格对物体进行绘制。在非真实感绘制的研究领域中,风格化线条在3D模型NPR^[3]的许多应用程序中发挥着重要作用。利用特定的艺术效果对场景信息进行不同层面的抽象,通过这种抽象信息能够清晰地传达场景和物体的特征。这种绘制技术提供了一种有效的表现场景信息的方法,弥补了真实感绘制方法的束缚^[4]。

目前,从计算机辅助设计到建筑建模再到3D动画软件,笔划渲染是最常用的方法,即通过相机绘制多边形偏移,然后绘制线条基元,并通过 z 缓冲区裁剪模型。这种方法是利用图形卡^[5]优化管线,可以很容易地进行绘图并着色多边形,缺点是它得出的结果只有很少的风格化控制(如颜色、宽度、类型),如wu^[6]所描述的。本文提出了一种新的利用图形硬件GPU绘制笔划和可见性测试的方法,提供了更多对模型进行渲染的风格化选项并能很好地处理曲线笔划。

2 算法原理

利用图形硬件GPU绘制笔划^[7]和可见性测试的方法的主要思想是,首先从构图模型中提取出一组具有代表性的线条,这组线条的取处主要来自于模型的折缝或纹理的边缘。提取的手段主要是利用投影和裁剪的方式进行,其中我们需利用相关转换将2维模型转化为3维模型来进行构建^[8],并利用舍弃选择算法来完成对有用端点值的选取。其次,对可见性采样端点数进行偏移量的计算。在第一步的基础上,我们将投影和裁剪处理后的结果进行进一步的加工和运算,从而满足对段表偏移量的需求。在对偏移量段表进行填充的过程中,需要充分考虑各相关要素的独立性,避免出现片段的重合。在此步骤中,还需要通过检查每个片段轮廓的边缘条件来提取轮廓的边缘参数,并将相关参数进行汇总和整理为创建段表做好数据准备。再次,利用准备数据创建段表。段表主要用于存储模型的每个线条的可见性信息,此步骤可分为两个方面的操作:(1)对可见性信息进行计算。因为每个提取的线条是可以由若干个片段组成的,所以计算片段中哪部分是可见的需要我们通过分析来进行辨别;(2)对可见性信息的测试。为保证提取数据的有效性,本算法提出利用栅格法来进行可见性测试,为段表数据的正确生成提供保障。最后,将储存在段表中的片段信息用于渲染。通过以上步骤的执

收稿日期:2012-12-17 返修日期:2013-03-13 本文受辽宁省“百千万人才”项目,辽宁省教育厅项目(2010921090)资助。

蒋宝吉(1986—),男,硕士,主要研究方向为计算机图形学、动画, E-mail: fuelling@qq.com; 唐 棣(1960—),女,教授,硕士生导师,主要研究方向为计算机图形学、动画。

行,所有片段的信息已经储存在段表中,本步骤的主要任务就是依据渲染格式,从段表中查找片段、相关信息,然后进行风格化线条的绘制。

本算法的设计实现共分为4个步骤,依次是:线条的投影和裁剪,计算段表的偏移,绘制段表和测试可见性以及笔划渲染,如图1所示。

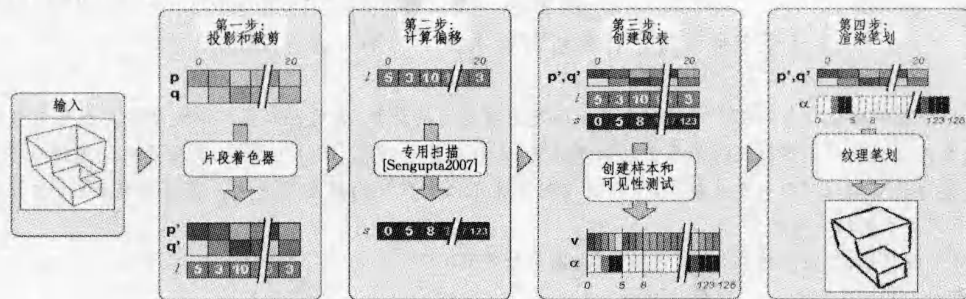


图1 算法实现步骤

3 算法的具体实现

3.1 投影和裁剪

第一阶段是投影并裁剪一组候选线条片段到视图平截头体。因为我们需要光栅化^[10]之后再去裁剪每一个线条片段,所以 GPU 自带的裁剪软件在这里不可用^[11],本文采用自己的片段程序进行投影和裁剪片段。

输入每个线条片段 (p, q) 顶点的三维空间坐标,封装到六通道帧缓冲区对象中(见图2第1步)。在这个过程中,每一帧中的线条片段位置变动都会更新这个缓冲区。然后输出一个包含裁剪齐次坐标 (p', q') 的九通道缓冲区和可见性采样数 l 。可见性采样数 l 为:

$$l = \lceil \|p_w' - q_w'\| / k \rceil \quad (1)$$

式中, (p_w', q_w') 是片段2D窗口的端点坐标, k 是屏幕空间采样率。我们通常设置 $k=1$ 或2,也就是说沿着每个线条每1或2像素确定其可见性。

在视图平截头体以外的部分片段返回 $l=0$ 。抛弃 $l \leq 1$ 不是路径一部分的片段(即子像素大小的片段),其余的必须保留,否则路径将显示不连贯。算法流程如图2所示。

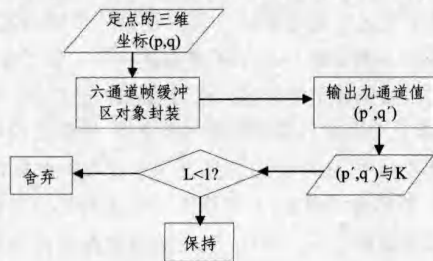


图2

3.2 计算偏移

在进行投影和裁剪步骤后,将通过计算运行总和把可见性采样数 l 转换成段表偏移量 s (图2第2步)。通过对采样数 l 进行专用扫描操作计算总和^[12]。计算段表偏移 s 后,可在段表中绘制每一片段,独立的没有重叠。

如果系统处理多片段路径,段表可以包含两个额外的通道,存储其路径每个部分的开始和结束的偏移量。通过比较这些指针,可以区别一个独立的部分是否为路径的一部分,应用在渲染笔划阶段平滑连接多节段的邻近片段。

染,如图1所示。各步骤的具体实现算法将在下一节中做具体详细的介绍。另外,在此算法步骤的所有阶段 GPU 都参与执行,通过相关处理将 OpenGL 帧^[9]缓冲对象与顶点缓冲对象在窗体中所需的数据全部存储在 GPU 内存中。

最后,在投影和裁剪阶段通过加载表面法线与顶点坐标,检查每个片段轮廓的边缘条件提取轮廓边缘。如果边缘不是一个轮廓,则会被丢弃,设置 $l=0$ 。此方法类似于布拉克和赛德尔在 GPU 上计算阴影卷积的方法^[18]。然而,我们当前的方法是无法将这些轮廓边缘连成连续多节段轮廓路径(比如球体的轮廓)。假定片段索引是相邻的并且不断增加,可以通过专用扫描操作计算参数化多片段路径。一个轮廓路径的片段在段表中的顺序是随机的。

3.3 创建段表

3.3.1 段表生成

3.3.1.1 可见性计算

段表的作用是存储场景中的每一个线条片段的可见性样本信息。第 i 个片段分配可见性样本 l_i 并记录(例如,片段2可能是5个像素长并分配3个记录,而片段3可能长为20像素并分配10个记录)。每个记录设置段表始于偏移量 s_i 。每个记录都包括3D空间屏幕样本位置 v 和可见性值 α 。在计算可见性后,就不再存储样本位置 v ,当前 GPU 通常支持四通道纹理,而可见性值的计算只需要单通道。

我们使用 GPU 的光栅化硬件^[14]计算屏幕空间样本位置 v 。建立段表为渲染目标(类似一个 OpenGL 帧缓冲区对象),绘制单个像素宽线条(代理线条)到段表,如下所示:主机传递一个顶点到 GPU,通过索引 i 识别每个片段。然后几何着色器在投影和裁剪段表查找第 i 个记录,为代理线条片段产生两个顶点。如果硬件不支持几何着色器,主机必须传递两个顶点到顶点着色器,每个用索引 i 和二进制的“开始顶点/结束顶点”标志识别。然后着色器根据标志定位代理片段两个顶点。

在任一情况下,代理片段 i 在段表的位置从 s_i 开始,有 l_i 像素长。光栅化硬件在执行裁剪空间位置的插值时绘制代理线条。然后片段着色器执行透视除法和视口变换步骤生成屏幕空间坐标 v (图2,第3步)。同时,片段着色器检查该样本的可见性,片段着色器最后输出的是插值的位置 v 和可见性值 α 。

3.3.1.2 可见性测试

在上节所述的线条片段栅格化到段表过程中执行每个样本的可见性测试。通过对样本的投影深度值和相邻多边形深度值进行比较来计算样本的可见性。在绘制段表过程中,线条片段程序计算每个样本的齐次裁剪空间坐标,并执行透视

除法。利用片段着色器计算屏幕空间位置 v_i 深度缓冲区。然后对生成的裁剪空间 z 值与深度缓冲区作比较,每个采样对应段表的一个片段,记录每个片段的可见性值 α_i (见图3)。

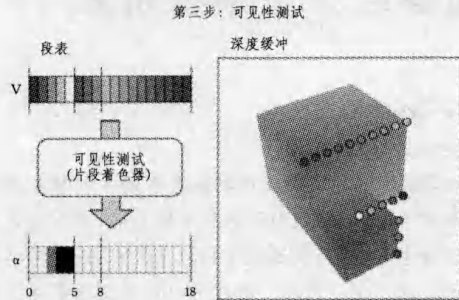


图3 可见性测试

Cole 和 finkelstein^[6] 等人在线条可见性测试上会受走样的影响。段表法不易受线条走样的干扰。但是依然有两个造成走样的潜在因素:每个样本深度测试的走样和有关原始多边形深度缓冲区的走样。这两个因素都可以用超级取样解决。

3.4 笔划渲染

在进行可见性测试后,绘制笔划所有需要的信息都存储在段表中。渲染笔划的方法是每个线条片段在主机生成一个单独点。然后几何着色器用点作索引,在段表中查找合适的 (p', q') 。如果位置 v 存储在段表中,在段表中就可以查找片段端点。因两个顶点位置存储在不同的通道并具有相同的纹理偏移,所以使用段表很方便。然后几何着色器在线条片段两个端点之间利用风格化线条进行绘制。算法实现的整个过程如图4所示。

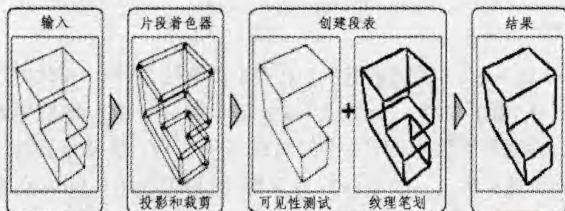


图4 渲染过程

4 结果分析

系统是在配有 Intel(R) Core(TM) 2 Duo T6600 2.20 GHz, 2GB 内存, NVIDIA GeForce GT 512MB 显卡, Windows7 操作系统的笔记本下实现的。图5展示本系统生成的一些效果图。

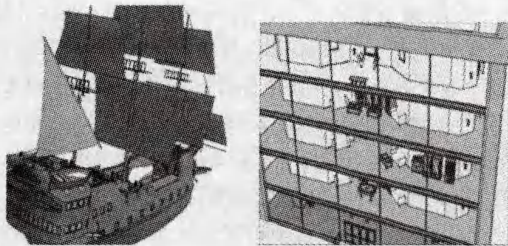


图5 复杂的三维模型的渲染效果

本文使用 OpenGL 和 GLSL^[16] 语言实现这种方法。

对连接叉、船舶、办公室3个模型的渲染帧率进行了测

试,如图5所示。表1给出了生成图所示的各种三维模型绘制效果的渲染速率。

表1 渲染速率

模型	三角面片数	线条片段	段表法 渲染帧率	项目缓冲 渲染帧率
连接叉	989	498	46	4
船舶	46645	23559	14	1.1
办公室	64876	40441	12	1.0

在对连接叉、船舶、办公室3个模型进行渲染的过程中,本文与 Cole and Finkelstein^[17] 的项目缓冲区方法进行了比较。从表1中的实验数据可以看出,段表法的渲染速率始终大大快于项目基于缓冲区的方法。段表法能够满足实时绘制的要求,提供了快速有效的线条可见性计算。

图6给出利用基于三维模型的风格化方法进行渲染的效果,针对前一个猫的模型,绘画线条的流畅度与连贯性显然不够,通过本文介绍的方法依次经过投影和裁剪、计算偏移值、段表的生成以及最后的渲染过程后,形成了后图猫的清晰轮廓。经实验验证,该方法切实有效,并取得了很好的渲染效果。

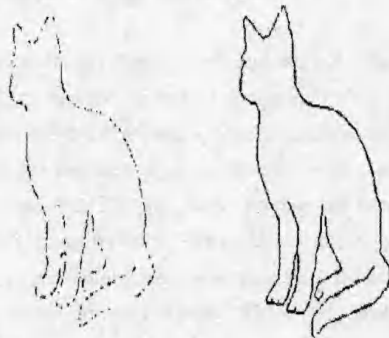


图6 风格化渲染图

本方法很容易在 GPU 上提取和渲染边缘轮廓^[18,19]。而提取和渲染的难度与隐藏线条片段的总数增长是成比例的。对于小的模型,可以很容易对样本进行可见性测试。而对于大型模型,线条的绘制主要是深度缓冲区的创建。投影、裁剪及笔划渲染是次要的成本^[20],所以也可以较容易地对样本进行可见性测试。

结束语 非真实感线条画绘制理论和方法已经成为计算机图形学领域的一个研究热点,其采用某种艺术风格化线条对物体进行绘制,通过信息抽象来清晰地表达物体特征,研究的思路符合人类认知机理。其应用非常广泛,常出现在设计、卡通动画、建筑、教学插图等领域中。段表法存储所有线条的可见性信息,不仅仅提供了广泛的线条风格化选项,来以不同的颜色、宽度、样式对模型的线条进行非真实感渲染,而且还可以对隐藏线条进行特殊的渲染,为未来的工作打开了许多可能性。

参考文献

- [1] 孙玉红,屠长河,孟祥旭.基于形状演化的线条画风格转换与变形[J].计算机辅助设计与图形学学报,2006,18(2):209-211
- [2] 钱小燕,肖亮,吴慧中,等.基于多分辨率的非真实感绘制[J].南京理工大学学报:自然科学版,2010,30(3):348-351

(下转第308页)

影像具有更好的识别效果,能够更好地为高光谱影像的进一步处理提供方便,具有十分可观的应用前景。

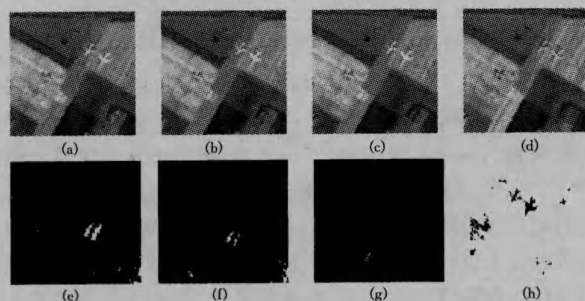


图5 4种方法的波段选择及目标识别结果

结束语 针对以往常见的波段选择方法的缺点和不足,提出了一种基于感兴趣区域的遥感影像的高效、精确的波段选择方法。利用波段间相关系数矩阵“成块”的特点与求取局部互信息量的局部极小值来划分波段子空间,提取出波段子空间指数最大的波段,然后利用夹角余弦公式求得最大光谱角且选择出地物可分性最好的波段组合。该方法充分考虑了波段选择的三条准则,并且通过实验验证得出,此方法得到的波段组合对目标的提取效果良好,具有较好的应用价值。

参考文献

- [1] 浦瑞良,宫鹏. 高光谱遥感与应用[M]. 北京:高等教育出版社, 2003
- [2] Sheffield C. Selecting Band Combinations from Multispectral Data[J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 1985, 51(6): 681-687
- [3] 刘建平,赵英时,孙淑玲,等. 高光谱遥感数据最佳波段选择方法试验研究[J]. 遥感技术与应用, 2001, 16(1): 7-13
- [4] Novovicova J, Somol P, Haindl M, et al. Conditional mutual information based feature selection for classification task[C] // LNCS 4756: 12th Iberoamerican Congress on Pattern Recognition (CIARP2007). Valparaiso, Chile, November 2007: 417-426

(上接第 291 页)

- [3] 徐从富,陈健松,潘云鹤,等. 基于 NPR 的 3 维模型线绘算法[J]. 中国图象图形学报, 2011, 12(4): 707-712
- [4] 钱小燕,肖亮,吴慧中,等. 基于多分辨率的非真实感绘制[J]. 南京理工大学学报:自然科学版, 2012, 30(3): 348-351
- [5] 杨衡. 基于图形卡的通用计算[D]. 上海:上海交通大学, 2012
- [6] Wu X. An efficient antialiasing technique[C] // Proceedings of SIGGRAPH 2011, 2011: 143-152
- [7] 闫文. 基于 GPU 实时非真实感渲染的研究与实现[D]. 杭州:浙江大学, 2012
- [8] 黄炳乐,姚剑敏. 一种二维视频转换为三维视频的新方法[J]. 光电子技术, 2011, 31(2): 137-140
- [9] 陈俊涛,肖明,郑永兰,等. 用 OpenGL 开发地下结构工程三维有限元图形系统[J]. 岩石力学与工程学报, 2012, 25(5): 1015-1020
- [10] 贾运宁,赵峰. Bresenham 直线光栅化算法的硬件实现方法研究[J]. 信息技术, 2011, 32(9): 132-134, 137
- [11] 唐兵. GPU 优化的 3D 游戏室外大场景的渲染[D]. 金华:浙江师范大学, 2011
- [12] 张强,郭宝龙. 一种基于非采样 Contourlet 变换红外图像与可见

- [5] 谷延峰,张晔. 基于自动子空间划分的高光谱数据特征提取[J]. 遥感技术与应用, 2008, 18(6): 384-387
- [6] 孙立新,高文. 基于粗糙集的遥感优化分类波段选择[J]. 模式识别与人工智能, 2000, 13(2): 181-186
- [7] 刘春红,赵春晖,张凌雁. 一种新的高光谱遥感图像降维方法[J]. 中国图象图形学报, 2005, 10(2): 218-222
- [8] Keshava N. Best bands selection for detection in hyperspectral processing [A] // Proc IEEE International Conference on Acoustics, Speech, Signal Processing [C]. 2001(5): 3149-3152
- [9] 苏红军,盛业华,杜培军. 自动子空间划分在高光谱影像波段选择中的应用[J]. 地球信息科学, 2007, 9(4): 123-127
- [10] Chavez P S, Berlin G L, Sowers L B. Statistical method for selecting landsat MSS ratios[J]. Journal of Applied Photographic Engineering, 1982(8): 23-30
- [11] Haq Ihsan ul, Xu Xiao-jian, Aamir S. Band clustering and selection and decision fusion for target detection in decision fusion for target detection in hyperspectral imagery [C] // ICASSP, 2009: 1101-1104
- [12] Bioucas-Dias J M, Nascimento J M P. Hyperspectral subspace identification [J]. IEEE Trans Geosci Remote Sens, 2008, 46(8): 2435-2445
- [13] He Ming-yi, Bai Lin, Dai Yu-chao, et al. Hyperspectral Image Lossless Compression Algorithm Based on Adaptive Band Regrouping[C] // MProc. SPIE Volume 7455 Satellite Data Compression, Communication and Processing V. San Diego(USA), 2009
- [14] 吴昊,李士进,林林,等. 多策略结合的高光谱图像波段选择新方法[J]. 计算机科学与探索, 2010, 4(5): 464-469
- [15] 刘颖,谷延峰,张晔,等. 一种高光谱图像波段选择的快速混合搜索算法[J]. 光学技术, 2007(27)
- [16] 杨金红,尹球,周宁. 一种改进的高光谱数据自适应波段选择[J]. 遥感技术与应用, 2007, 22(4): 513-519
- [17] 李行,毛定山,张莲蓬. 高光谱遥感影像波段选择算法评价方法研究[J]. 地理与地理信息科学, 2006, 22(6): 34-37

- 光图像融合算法[J]. 红外与毫米波学报, 2012, 26(6): 476-480
- [13] Kalnins R D, Davidson P L, Markosian L, et al. Coherent stylized silhouettes[J]. ACM Trans. Graph., 2011, 22(3): 856-861
- [14] 刘保权,刘学慧,吴恩华,等. 基于 GPU 的实时深度图像前向映射绘制算法[J]. 软件学报, 2012, 18(6): 1531-1542
- [15] Cole F, Finkelstein A. Partial visibility for stylized lines[C] // Proceedings of NPAR 2011. 2011: 9-13
- [16] Zhao Hua, Lu Yan-chou, Chen Jie, et al. Fine grain IRSL and GLSL dating of late Quaternary sediments from North China [J]. 科学通报:英文版, 2010, 46(4): 334-337
- [17] Cole F, DeCarlo D, Finkelstein A, et al. Directing gaze in 3D models with stylized focus[C] // Proceedings of Eurographics Symposium on Rendering 2006. 2006: 377-387
- [18] 郑利平,陈斌,王文平,等. 基于分布式渲染架构的远程可视化研究[J]. 计算机研究与发展, 2012, 49(7): 1438-1449
- [19] 吉成德. 嵌入式 Linux 下 3D 渲染技术的研究与实现[D]. 武汉:华中科技大学, 2011
- [20] 唐兆,邬平波. 三维实时云建模与渲染在工业仿真中的应用[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2012, 19(8): 1051-1055
- [21] 熊黎丽,王国胤,龚勋. 基于三维重建的人脸姿态估计[J]. 重庆邮电大学学报:自然科学版, 2010, 22(3): 375-380