

基于图像空间的高质量三维线绘制算法

杨慧婷

(厦门大学软件学院 福建 厦门 361005)

【摘要】线绘制是一种用来简洁地表达物体形状的技术。有两类常用来生成线条的方法:物体空间和图像空间。图像空间与物体空间法相比有较高的效率并且不依赖于三维物体本身,但是渲染图像中出现的一些小噪声会影响到线绘制的最终效果。本文针对图像空间法提出一种新的线绘制算法,在线条提取前预先对渲染出的图像进行保留边缘的L0梯度平滑处理。实验证明本文算法能够有效地去除多余线条,使得图像空间法的处理效果接近物体空间。

【关键词】线绘制,图像空间,梯度平滑

1 引言

和写实图像相比,非真实感渲染技术^[1]能更有效的传达出物体的形状和意义,它能够用最少的视觉抽象方式来表达最重要的信息,因此被广泛应用于各种领域,例如技术插画、艺术风格画和一些卡通作品。

线绘制技术中最重要的角色是线条,尤其是轮廓线条,常用来作为与背景进行区分的主要线索。目前大致有两类绘制三维物体轮廓的策略:物体空间方法^[2],直接操作于三维物体的网格本身,通过一系列计算得到物体的特征线;图像空间方法^[3],通过对渲染过的图像应用某些图像处理技术来生成线绘制图形。与物体空间法相比,图像空间会高效地多,并且与三维物体自身网格的复杂度无关,但是其效果会受限于渲染得到的中间图像的准确度,而且非常容易被渲染图中出现的一些小的噪声所影响。因此最终得到的线绘制结果中往往会有很多不必要的细小线条。

本文针对图像空间方法中出现的这些多余线条提出一种基于L0梯度最小化的图像空间轮廓生成方法,在线条绘制前先对渲染得到的中间图像应用L0梯度最小化的过程进行平滑。实验结果表明,本文提出的方法能够有效的减少渲染图像中由噪声产生的多余小线条,优化图像空间法的处理效果。

2 研究现状

近年来有很多关于图像空间的轮廓生成方法的研究。一种生成三维场景线绘制的简单方法是从指定的视点来渲染场景,检测图像中的边缘,并且呈现出这些线条。Gooch等人提出了几种进行边缘轮廓检测^[4]的简单算法,Raskar和Cohen对其进行改进提出了一种类似的方法,允许可变长度的线条段的出现^[5]。但是,从图片中检测得到的边缘通常不是我们希望绘制出来的轮廓边缘^[6]。一种更好的方法是提取出深度图,然后对该深度图进行边缘检测^[7]。但是,这种方法不能检测出位于同样深度中的物体的边界,也不能检测出物体表面的褶皱信息。

3 三维物体轮廓定义

本文针对上述研究存在的缺陷提出了一种新型的轮廓生成算法,相关定义如下: S 表示一个平滑并且闭合的表面,它的轮廓是指出现在这个表面上并且满足下列条件的点的集合:

$$n(p) \cdot v(p) = 0$$

用 c 表示给定的视点所在位置, $p \in S$ 是表面上的一个点, $n(p)$ 是点 p 处的表面单元法向量, v 是视线向量 $v(p) = c - p$ 。

除了这些轮廓线外还有一种隐性轮廓线也对表达物体特征有着重要的抽象意义。这些特征所在的面虽然背离了视点,

但是仍然保持其对视点的可见性,这些特征线处在近似成为标准轮廓线的位置附近,被称为启发性轮廓,并且可以定义成一个位于表面上且满足如下条件的点的集合,该点在该表面上的曲率半径 κ ,为0,并且 κ ,在 w (视线向量 v 在点 p 处的切线平面上的投影)方向的方向导数为正值:

$$D_w \kappa > 0$$

这里的方向导数 $D_w \kappa$,是指应用在 w 上的 $\kappa(p)$ 的导数,或者表示为 $d\kappa(w)$ 。

启发性轮廓在物体空间中能够通过遍历 κ 的所有零交点来检测,同时过滤掉那些由于最小主曲率近似零, w 只是大致的重合于对应的主方向而导致的假零交点。

4 基于L0梯度最小化的图像空间轮廓生成

根据上述定义,本文算法采用把漫射光源置于相机原点位置的方式得到 $n \cdot v$ 的近似值,即一个平滑的渲染图,然后检测这副渲染图中的启发性轮廓,最终得到 $n \cdot v / \|v\|$ 的稳定最小值。

最关键的步骤是能够有效的检测到所有的隐性轮廓。但是,渲染时出现的图像噪声以及边缘检测的高敏感性增大了获得高质量线绘制结果的困难性。因此本文受Xu等人提出的全局平滑算法^[8]所启发,对渲染得到的图像进行低振幅细节的预处理,使得能够在保留图像重要结构的同时稳定了线条抽象的过程。

4.1 基于L0梯度最小值的稳定化

用 I 表示渲染得到的图像, S 表示稳定后的图像,则 S 中每一个像素 p 的梯度值表示为 $\nabla S_p = (\partial_x S_p, \partial_y S_p)^T$,分别表示该像素在 x 和 y 方向上与相邻像素间的颜色差值。则梯度度量值可以定义如下:

$$C(S) = \# \{p \mid |\partial_x S_p| + |\partial_y S_p| \neq 0\}$$

该式是对梯度值 $|\partial_x S_p| + |\partial_y S_p|$ 非零的像素 p 的计数器。我们最终可以通过求解如下方程对 S 进行估算:

$$\min_S \left\{ \sum_p (S_p - I_p)^2 + \lambda \cdot C(S) \right\}$$

梯度值 $|\partial S_p|$ 定义为RGB通道中的梯度值的和。 $\sum(S - I)^2$ 该项限制了图像结构相似度。

4.2 L0梯度最小化求解

由于常规的离散优化方法例如梯度下降法不适用于这里的求解,因此本文提出了一种新的求解过程。通过引入新的辅助变量对原始的项进行扩展,然后利用半二次方分裂法进行求

解。引入辅助变量 h_p 和 v_p , 分别对应于 $\partial_x S_p$ 和 $\partial_y S_p$, 得到了一个新的目标函数:

$$\min_{S, h, v} \left\{ \sum_p (S_p - I_p)^2 + \lambda C(h, v) + \beta (\partial_x S_p - h_p)^2 + (\partial_y S_p - v_p)^2 \right\}$$

这里的 $C(h, v) = \#\{p \mid |h_p| + |v_p| \neq 0\}$ 和 β 是一个用来控制变量 (h, v) 和它们对应梯度之间相似度的自适应参数。新的目标函数能够通过分别最小化 (h, v) 和 S 求解得到, 每一次遍历中固定一组变量值:

第一步: 计算 S 。此时 S 的估算阶段对应于最小化:

$$\left\{ \sum_p (S_p - I_p)^2 + \beta ((\partial_x S_p - h_p)^2 + (\partial_y S_p - v_p)^2) \right\}$$

第二步: 计算 (h, v) 。则新的目标函数变为:

$$\min_{h, v} \left\{ \sum_p ((\partial_x S_p - h_p)^2 + (\partial_y S_p - v_p)^2) + \frac{\lambda}{\beta} C(h, v) \right\}$$

这里的 $C(h, v)$ 表示 $|h| + |v|$ 中非零元素的个数。因此该能量函数能够进行分解, 每个元素 h_p 和 v_p 分别进行估算, 从而使得该问题经验上可解:

$$\sum_p \min_{h_p, v_p} \left\{ \sum_p ((h_p - \partial_x S_p)^2 + (v_p - \partial_y S_p)^2) + \frac{\lambda}{\beta} H(|h_p| + |v_p|) \right\}$$

这里的 $H(|h| + |v|)$ 是一个二元函数, 如果 $|h| + |v| \neq 0$ 返回 1, 否则返回 0。

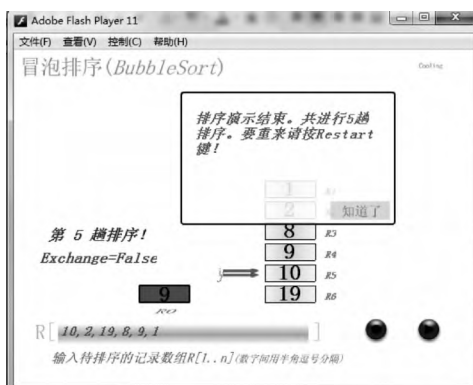
5 实验结果

本文实现了一个原型系统来验证所提方法的可行性。图 1 展示了对比实验结果图, 从左到右分别为改进前图像空间算法线绘制效果、改进前图像空间渲染效果、本文算法线绘制效果、本文算法渲染图和物体空间效果图。



图 1 实验效果图

(上接第 171 页)



3. 结语

通过这些措施我发现实验课中独立成功完成作业的学生由 1 个慢慢的增加到了 80% 的学生能真正领会算法并独立完

能够明显的从图中看出本文提出的方法最终效果更接近于物体空间方法, 渲染图中少了很多由于噪声抖动产生的多余的细小线条。

6 小结

本文针对传统图像空间线绘制算法的一些缺点, 引进了 L0 梯度最小化平滑过程, 较好地解决了传统图像空间算法对噪声的敏感性等问题, 能够获得较好的高质量线绘制结果。本文提出的算法比较适用于复杂物体, 今后的改进方向可以集中于对算法时间复杂度的进一步提高。

参考文献:

- [1] Kyprianidis, Jan Eric, et al. State of the Art: A Taxonomy of Artistic Stylization Techniques for Images and Video [J]. Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions, 19.5 (2013): 866 - 885.
- [2] DeCarlo, D., Finkelstein, A., Rusinkiewicz, Suggestive contours for conveying shape [J]. ACM Transactions on Graphics, 22(2003):848 - 855.
- [3] Saito, T. & Takahashi, T. Comprehensible rendering of 3-D shapes [J]. ACM SIGGRAPH Computer Graphics, 24.4(1990):197 - 206.
- [4] Gooch, B., Sloan, P. P. J., Gooch, A., Shirley, P. & Riesenfeld, R. Interactive Technical Illustration. Proceedings of the 1999 symposium on Interactive 3D graphics, pp.31 - 38, 1999.
- [5] Raskar, R. & Cohen, M., Image Precision Silhouette Edges. Proceedings of the 1999 symposium on Interactive 3D graphics, pp.135 - 140, 1999.
- [6] Sanocki, T., Bowyer, K. W., Heath, M. D. & Sarkar, S., Are real edges sufficient for object recognition. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 24(1), pp.340 - 349, 1998.
- [7] Curtis, C. J., Loose and Sketchy Animation. ACM SIGGRAPH 98 Electronic art and animation catalog, Article No. 145, 1998.
- [8] Xu, L., Lu, C., Xu, Y. & Jia, J., Image smoothing via L0 gradient minimization. ACM Transactions on Graphics, 30(6), Article No. 174, 2011.

作者简介:

杨慧婷(1991)女(汉族), 陕西西安人, 硕士研究生, 主要研究方向为计算机图形学。

成该算法的编写。这样既能激发学生主动学习知识的积极性和兴趣, 又能锻炼学生的编程动手能力。它高效地组织和开展了课程教学, 有利于理论与实践教学的有机结合, 有利于提高学生解决实际问题的综合能力, 在提高教学效果上起着较为明显的作用。

参考文献:

- [1] 蓝雯飞. 数据结构的面向对象描述方法研究[J]. 计算机工程与应用, 2006(26):79 - 80.
- [2] 严蔚敏, 吴伟民. 数据结构(C语言版)[M]. 北京:清华大学出版社, 2007:3 - 17.
- [3] 肖宏启. 高职院校"数据结构"教学改革与实践[J]. 电脑知识与技术, 2010(17):4730 - 4731.
- [4] 庞晓琼. 案例驱动的数据结构课程设计教学改革实践[J]. 计算机教育, 2009(1):53 - 55.