

文章编号: 1672 - 058X(2009)03 - 0237 - 05

基于图像的铅笔画绘制技术

郭晓永^{1,2}, 陈克林³

(1. 临沧师范高等专科学校 数理系, 云南 临沧 677000; 2 西安电子科技大学 理学院, 陕西 西安 710071;
3. 云南民族大学 数学与计算机科学学院, 云南 昆明 650031)

摘 要:介绍了基于图像的铅笔画绘制技术的研究进展,分析了几种常用的基于图像的铅笔画绘制算法;研究了基于图像的铅笔画绘制技术的算法,首先对输入图像进行适当的预处理,从原图像生成白噪声图像,将原图像按纹理特征做区域分割,其次对白噪声图像做卷积操作,采用边缘检测算子提取原图像的轮廓线,最后对卷积所得图像与轮廓线图进行融合得到最终的铅笔画效果图。

关键词:非真实感绘制 (NPR); 铅笔画; 图像分割; 卷积算子

中图分类号: TP311. 51

文献标识码: A

非真实感绘制 (Non-Photorealistic Rendering, NPR) 技术是一门随着计算机图形、图像软硬件的发展而出现的新技术,致力于如何生成类似于艺术家手绘效果的作品。目前, NPR 已经在模拟铅笔画、油画、水彩画、钢笔画、版画等方面取得了长足的进展。其中,如何运用 NPR 技术来模拟铅笔画的绘制,是研究人员长期以来比较感兴趣的研究领域。铅笔画绘制技术是 NPR 领域里的重要组成部分,也是最常见的一种艺术表现形式。铅笔画是一种以铅笔或固体矿物为色素颜料,在不特定纸上,以明暗面为主,结合线条来表现立体,所构成的画面能给人予简洁明快、自然流畅的感觉。然而手工铅笔画绘制技术并不是所有人都能够轻易掌握的。因此,用计算机来模拟生成具有铅笔画艺术效果的图片(动画)的技术越来越受到人们的关注。

1 铅笔画绘制技术的发展

自 20 世纪 80 年代以来,非真实感图形学成为计算机图形学的一个非常重要的研究领域,许多图形学研究人员撰写大量的论文,国际会议开始设立专题专门讨论非真实感绘制技术。作为 NPR 的重要组成部分的铅笔画绘制技术也随之开始受到研究人员的重视。

目前,铅笔画绘制技术已经有几种较为完善的方法。一种早期的 2D 绘图系统 PencilSketch^[1]是使用鼠标和一个虚拟桌面,让用户设定参数,如铅笔的硬度、使用铅笔时的压力、条纹的方向等,这种技术不能做到自动化,限制了其应用。Sousa 等^[2]使用电子显微镜扫描真实的铅笔画开发了一个铅笔画的产生模型。在这个模型中,当用户指定一些参数后,能把一张 2D 图片转换成一张铅笔画,在其开发的另一个模型中,通过指定参数值也可以把 3D 场景直接渲染成铅笔画^[3]。Takagi 和 Fujishiro 提出了一种彩色铅笔画的模型^[4]。此外,文献 [5] 是采用线性卷积法 (Linear Integral Convolution, LIC) 来模拟生成铅笔纹理。

收稿日期: 2009 - 03 - 15; 修回日期: 2009 - 04 - 20。

作者简介: 郭晓永 (1975 -), 男, 河南镇平人, 讲师, 博士生, 从事智能控制研究。

2 铅笔画绘制技术的分类

铅笔画的生成方法通常是按照生成方法是否有交互(执行方式)、使用 3D 场景还是使用 2D 图片作为输入来分类的。按照这样的标准可以将目前的铅笔画绘制技术大致分为 4 类: 2D 交互式绘制技术、3D 交互式绘制技术、2D 自动铅笔画绘制技术及 3D 自动铅笔画绘制技术。交互式的铅笔画生成方法允许用户实时的输入诸如笔画长度、宽度及倾角等参数以便生成用户满意的艺术效果。非交互式的铅笔画生成方法,也就是自动铅笔画生成方法在绘制前由用户或算法设计者设置一些默认的参数,这些参数能够满足大多数的输入对象,多应用于输入对象为视频的风格化绘制中。另外,按照铅笔画的色彩又可以将铅笔画绘制技术分为:灰度铅笔画绘制技术和彩色铅笔画绘制技术。基于图像的铅笔画绘制技术的输入对象是 2D 图片,因此它可以分为 2D 自动式和 2D 交互式两种。

3 常见的基于图像的铅笔画绘制算法

基于图像的铅笔画绘制技术就是要将用户指定的图片转换成具有画家手绘风格的铅笔画图片。图 1 给出了基于 2D 图像的铅笔画绘制算法的框架,基本处理步骤是:(1)对输入图像进行适当的预处理,以满足铅笔画绘制的需要;(2)从原图像生成白噪声图像;(3)对原图像按纹理特征做区域分割;(4)对白噪声图像做卷积操作(不同的算法中卷积算子各有不同);(5)采用边缘检测算子提取原图像的轮廓线,得到原图像的轮廓线图;(6)对卷积所得图像与轮廓线图进行融合,得到最终的铅笔画效果图。

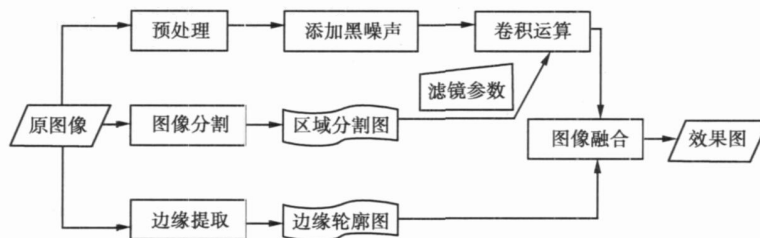


图 1 图像的铅笔画绘制算法框架图

3.1 图像预处理

铅笔画绘制技术中的图像预处理主要包括:图像的灰度化处理 and 图像的增强处理。

灰度化处理是为接下来生成的噪声图像作铺垫,这个操作在多数算法中都要用到。式(1)给出了彩色图像灰度化处理的方法:

$$I = 0.2989 \times R + 0.5870 \times G + 0.1140 \times B \quad (1)$$

图像增强的方法有很多,在不同的文献中都有所体现。文献[5]采用了分层绘制的技术来达到图像增强的目的。方法首先对源图像分割为若干个区域,然后每个区域作为一个图层来单独执行后续步骤,最后将所有图层叠加在一起,从而达到图像增强的目的。文献[6]采用 USM (Unsharp Mask) 锐化处理来实现对图像的增强(图 2)。USM 处理的基本原理是先通过高斯滤波得到原始图像的一个平滑版本,然后在此基础上用原始图像减掉平滑的这部分,从而达到对原始图像进行高通滤波的作用。

3.2 白噪声图像的生成

白噪声图是依据一定的概率,对原图像每个像素的灰度随机生成 0 或 255 的灰度值,它决定了最终铅笔画的灰度色调。为了模拟铅笔纹理的墨粒随机分布的特性,在基于图像的铅笔画的绘制技术中都引入了具有随机特性的白噪声图像。文献[5]中结合下面两个函数来产生白噪声图像:



图 2 USM 锐化效果图

$$I_{noise} = \begin{cases} 255, & \text{if } P > T \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}, \quad T = k \cdot \left(1 - \frac{I_{input}}{255} \right) \quad k \in [0, 0, 1, 0]$$

上面方法由于生成的白噪声图像仅含有 0 和 255 两个灰度等级,因此最终生成的铅笔画效果图明暗对比不够突出,致使生成的整个铅笔画图像的色调比较单一。文献 [6] 改进了文献 [5] 的方法,将原图像的不同灰度范围内的情况分开处理,从而使生成的铅笔画明暗对比更突出,空间感更强,更类似于手工绘制的效果。具体的改进方法如下式所示:

$$I_{noise} = \begin{cases} I_{noise1} \begin{cases} I_{min1} & P > T_1 \\ I_{max} & \text{otherwise,} \end{cases} & I_{input} < L_1 \\ I_{noise2} \begin{cases} I_{min2} & P > T_2 \\ I_{max} & \text{otherwise,} \end{cases} & L_1 < I_{input} < L_2 \\ I_{noise3} \begin{cases} I_{min3} & P > T_3 \\ I_{max} & \text{otherwise} \end{cases} & I_{input} > L_2 \end{cases}, \quad \begin{cases} T_1 = k_1 \cdot \left(1 - \frac{I_{input}}{255} \right) \\ T_2 = k_2 \cdot \left(1 - \frac{I_{input}}{255} \right) \\ T_3 = k_3 \cdot \left(1 - \frac{I_{input}}{255} \right) \end{cases}$$

这里, I_{max} 为输出像素的最大灰度值,一般取 255; I_{min1} 、 I_{min2} 、 I_{min3} 为输出像素的最小灰度值; L_1 、 L_2 为两个不同的灰度域值,一般情况下 L_1 取 25 左右, L_2 取 80 左右。 k_1 、 k_2 、 k_3 是 3 个经验值,取值范围 $[0, 0, 1, 0]$ 。

3.3 图像分割

画家在铅笔画绘画过程中对不同区域常常采用的铅笔条纹的方向、深浅也不同,通过这种方法来表达物体的明暗、空间感、质感等。为了表现出这种效果,基于图像的铅笔画绘制技术需要对图形进行分割,然后对不同的区域分别提取特征,再分别产生各区域的向量场或铅笔笔刷模型。

目前对图像进行分割的算法有很多,大体上可分为:基于边缘检测的方法、基于区域的分割方法、与其他理论结合的技术。目前用于铅笔画绘制技术的图像分割算法多采用的是基于区域的分割方法。基于区域的分割方法又可细分为直方图阈值法、区域生长法和颜色聚类法。文献 [5] 就采用了直方图阈值法,这种分割方法不需要先验信息,计算量也很小,但是这种方法的对于没有明显阈值的图像的分割效果不好。文献 [7] 采用了一种基于图论的彩色图像分割方法,方法属于颜色聚类算法的一种。

3.4 卷积操作

模拟铅笔纹理的生成是铅笔画绘制过程中的一个关键环节。早期的研究人员采用物理建模法^[2]来对绘画中的各种元素(铅笔、纸张和橡皮等)进行建模,使白噪声图像呈现出铅笔纹理的线条特性。

随后,LC方法^[8]被广泛的采用。LC方法是由 Cabral和 Leedom于 1993年首次提出的基于纹理的向量场可视化技术。采用 LC方法进行铅笔画绘制时,首先要根据原图像得到其对应的一个可视化向量场,然后对输入的白噪声图像沿图像向量场方向做卷积运算,从而使得白噪声图像获取可视化向量场的方向特征(图 3)。

最近,文献 [9] 提出了一种基于卷积算子的铅笔画绘制技术(图 4)。该方法通过对真实的铅笔纹理的结构特征分析,建立了铅笔滤镜的数学模型;用户可以根据自己的需要来调整铅笔滤镜的参数,生成不同特征(线条方向、尺寸等)的铅笔纹理来。

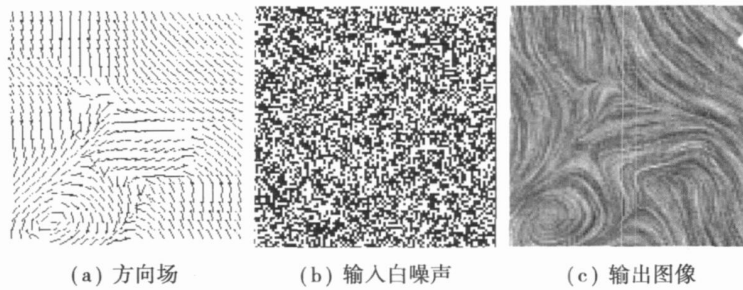


图 3 LIC 卷积法

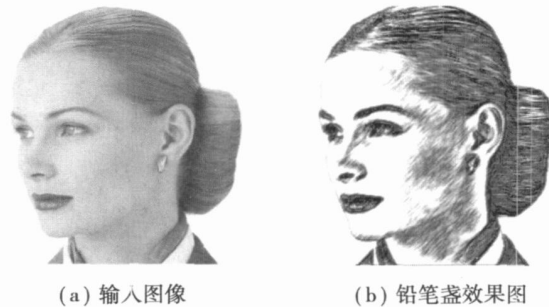


图 4 文献[9]所得的铅笔画效果图

3.5 轮廓线提取

勾边是最简单的绘画表现形式,同时也是铅笔画绘制过程中的一个组成部分。通过使用勾边技术可将复杂模型或场景绘制成为最简单的素描风格。在计算机上要实现画家的勾边动作就必须对图像进行轮廓线的增强。计算机提取图像轮廓线最简单的一种方法就是借助于各种边缘检测算子来完成,这是一种通用的方法。为满足具体算法的需要,研究者又提出了各种各样的轮廓线提取算法。文献[10]提出了一种交互式方法来模拟卡通以及铅笔素描风格;文献[11]设计了一个软件系统,可以交互地变现实技术制图中的关键信息,文献[12]提出了一种基于卷积算子的铅笔滤镜生成算法,借助于 GPU 的硬件加速功能成功地实现了对视频图像的实时铅笔画风格绘制。

3.6 图像融合

上面卷积操作得到的图像称为铅笔画草图,将该草图与轮廓线图按照一定的比例进行叠加就得到了最终的铅笔画效果图。

4 研究难点

(1) 铅笔纹理的方向与真实纹理不相吻合。现有的基于图像的铅笔画绘制技术大多借助于图像分割的手段对某一区域采用同一方向的笔刷绘制,这与手工铅笔画绘制中笔画方向的自然变换仍有较大出入。

(2) 色调变换较为单一。现有的基于图像的铅笔画绘制技术所采用的生成白噪声图像的方法决定了最终的铅笔画效果图中铅笔色调只可能是有限的几种,这就不能很好的表达出自然场景的明暗变换。

5 结 语

铅笔画作为一种最简单的艺术表现形式有着其自身所独有的简洁、流畅之特点,深受广大艺术爱好者和普通人的喜爱。基于图像的铅笔画绘制技术是 NPR 研究领域的一个重要组成部分,但其技术还处在一个

成长阶段,算法的通用性还不能够满足现实应用的需求,最终的处理效果还存在着诸如线条过于机械化、明暗对比不够鲜明等不足之处。因此采用交互式铅笔画绘制算法,让用户更多的介入绘制过程中将是今后的一个发展方向。

参考文献:

- [1] VERMEULEN A H, TANNER P P. PencilSketch-a pencil-based paint system [C]. Graphics Interface '89 Conference Proceedings, London, 1989
- [2] SOUSA M C, BUCHANAN J W. Observational model of blenders and erasers in computer-generated pencil rendering [C]. Graphics Interface 99 Conference Proceedings, Kingston, Ontario, Canada, 1999
- [3] SOUSA M C, BUCHANAN J W. Computer-generated graphite pencil rendering of 3D polygonal models [C]. EUROGRAPHICS '99 Conference Proceedings, England, 1999
- [4] TAKAGI S, FUJISHIRO I, NAKAJIMA M. Volumetric modeling of colored pencil drawing [C]. Pacific Graphics 99 Conference Proceedings, 1999
- [5] MAO X, NAGASAKA Y, MAMIYA A. Automatic generation of pencil drawing from 2D images using line integral convolution [J]. CAD Graphics, 2001, 22 (8): 240-248
- [6] 李龙生,周经野.用 USM 锐化生成铅笔画的新方法 [J]. 吉林大学学报:工学版, 2007, 37 (2): 442-447
- [7] 孙硕,黄东卫.一种有效的基于区域的铅笔画方法 [J]. 计算机工程与应用, 2007, 43 (14): 34-37
- [8] CABRAL B, LEEDOM C. Imaging Vector Field Using Line Integral Convolution [C]. Computer Graphics Proceedings Annual Conference Series, ACM SIGGRAPH, 1993, 263-270
- [9] 谢党恩,赵杨,徐丹.一种新的铅笔滤镜的生成算法 [C]. 第一届中国图学大会论文集, 2007
- [10] LAKE A, MARSHALL C, HARRISM. Stylized rendering techniques for scalable real-time 3d animation [J]. ACM SIGGRAPH, 2000 (2): 13-20
- [11] GOOCH B, SLOAN P-P J, GOOCH A. Interactivetechnical illustration [J]. ACM SIGGRAPH, 1999 (2): 31-38
- [12] 谢党恩,赵杨,徐丹.一种铅笔滤镜生成算法及其在 GPU 上的实现 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2008 (1): 26-31

An overview of image-based pencil drawing rendering

GUO Xiao-yong^{1,2}, CHEN Ke-lin³

(1. Department of Mathematics and Science, Lincang Teacher's College, Yunnan Lincang 677000, China; 2. School of Science, Xidian University, Shaanxi Xi'an 710071, China;
3. School of Mathematics and Computer Science, Yunnan Nationalities University, Yunnan Kunming 650031, China)

Abstract: In this paper, the research progresses in image-based pencil drawing rendering are surveyed. Some typical rendering methods are explored. Image-based pencil drawing rendering algorithm is studied. Firstly, the input images are preprocessed appropriately; the original images generate white noise and are divided into region segmentation way based on texture directions. Secondly, the white noise image convolution operation is done, the contour of original images are distilled using edge detection extraction. Thirdly, the artistic pencil drawing renderings are gained by amalgamation between convolution and contour of the original image.

Key words: non-photorealistic rendering (NPR); pencil drawing; image segmentation; convolution operator

责任编辑:田静