

线条增强的建筑物图像抽象画生成

柳有权^{1,2,3)}, 吴宗胜¹⁾, 韩红雷⁴⁾, 吴恩华^{2,3)}

¹⁾(长安大学信息工程学院 西安 710064)

²⁾(澳门大学科技学院 澳门)

³⁾(中国科学院软件研究所计算机科学国家重点实验室 北京 100190)

⁴⁾(中国传媒大学动画与数字艺术学院 北京 100024)

(youquan@chd.edu.cn)

摘要: 针对建筑物图像线条鲜明、轮廓清晰的特点,提出一种自动化的抽象画生成算法.首先通过双边滤波对原始图像的细节进行简化;然后利用快速的、带有误判控制的图像线段检测算法来获得建筑物的外轮廓和门窗等线条特征,通过该线条特征增强基于流的高斯差滤波器生成线条框架;最后将双边滤波处理结果与线条框架进行融合形成最终的抽象画效果.该算法既去掉了建筑物图像中多余的细节信息,使整个图像更趋抽象,同时又通过边缘信息保持了建筑物自身独有的风格,充分展现出富有艺术家手绘风格的建筑物效果.文中算法简单、易于实现,并通过实验充分证明了其有效性.

关键词: 建筑物图像;线条增强;图像抽象化;非真实感绘制

中图分类号: TP391

Line Enhanced Image Abstraction for Building Images

Liu Youquan^{1,2,3)}, Wu Zongsheng¹⁾, Han Honglei⁴⁾, and Wu Enhua^{2,3)}

¹⁾(School of Information Engineering, Chang'an University, Xi'an 710064)

²⁾(Faculty of Science and Technology, University of Macau, Macao)

³⁾(State Key Laboratory of Computer Science, Institute of Software, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190)

⁴⁾(School of Animation and Digital Arts, Communication University of China, Beijing 100024)

Abstract: In this paper we present an automatic abstraction algorithm for building images. Firstly, the bilateral filter technique is used to remove the redundant details of the building image; and then the fast line segment detector with a false detection control is used to detect the outlines of the door, window or other edge features. Based on the line segments detected, a line-drawing image is generated by Flow-Based Difference-of-Gaussians filter to keep building's sketchy and clear outline features; at last the image from bilateral filtering and the line-drawing image are integrated to form the final abstraction result. With the presented algorithm, the redundant information is removed to abstract the detail content of the image, while a novel line enhanced technique is used to strengthen the special style of the building, which is similar to artist's hand-painting. Our algorithm is simple and easy to implement. And the experimental results verified the effectiveness of the algorithm.

Key words: building images; line enhanced; image abstraction; non-photorealistic rendering

在计算机图形学领域,绘制技术分为真实感绘制和非真实绘制两大类.真实感绘制技术强调再现

自然界中真实的光影效果,每一个细节都尽量满足物理的光照分布规律.相比之下,非真实感绘制技术

收稿日期:2013-04-08;修回日期:2013-04-19. 基金项目:国家自然科学基金(60973066,60833007);国家“九七三”重点基础研究发展计划项目(2009CB320802);中国科学院软件研究所计算机科学国家重点实验室开放基金(SYSKF1004);澳门大学科技项目.柳有权(1976—),男,博士,副教授,硕士生导师,CCF会员,主要研究方向为物理仿真、虚拟现实;吴宗胜(1973—),男,硕士,工程师,主要研究方向为计算机图形学;韩红雷(1980—),男,博士研究生,讲师,主要研究方向为计算机图形学、真实感绘制;吴恩华(1947—),男,博士,教授,博士生导师,CCF高级会员,主要研究方向为真实感图形学、虚拟现实.

更强调如何依据人类视觉认知规律进行高效表达,即通过简化和突出来促进视觉交流,并不追求光照的细节精准,这在某种程度上类似于艺术家的手绘风格,如线条画、抽象画等。

作为非真实感绘制技术的典型代表——图像抽象画生成技术,其核心问题是在保护图像的重要结构信息的同时尽量简化场景的复杂度,达到抽象表达的目的。传统的方法经常使用图像分割、颜色量化,或采用特征保留的平滑等技术来进行图像抽象化,它们主要关注同质区域中平滑像素,因此仅仅简化了颜色,并没有简化图像区域的边缘。但是,过多的像素平滑和简化经常会导致诸如方向特征之类的重要图像信息的丢失,因此需要寻求一些比较好的图像抽象方法。

在图像抽象化过程中,图像的内部区域会被平滑的颜色和成簇的像素所填充。由于单纯的颜色分割缺乏足够的表现力,为了清晰地区别像素簇区域和显示形状边界,在渲染过程中经常会使用线条来增强效果。Orzan 等^[1]利用多尺度 Canny 边缘检测获取边的重要度和外形信息,然后利用梯度重构方法对图像进行保结构的内容调整,达到抽象化目的;Fischer 等^[2]应用 Canny 边缘检测算法结合双边滤波解决线条抽取和区域平滑的问题,实现了虚实混合环境中的风格一致性表达;DeCarlo 等^[3]用 Mean-Shift 滤波对图像进行区域平滑和分割,然后直接叠加上通过 Canny 边缘检测获取的线条得到抽象化图像;Wang 等^[4]用各向异性的 Mean-Shift 滤波生成卡通视频,同时通过构造三维空间里的薄片来为每一帧绘制边,以增加生动性;Collomosse 等^[5]将 Mean-Shift 分割方法扩展到视频,能生成连贯的卡通效果的图像序列;Wen 等^[6]则基于 Mean-Shift 和少许人机交互技术对图像进行颜色分割,并叠加上外轮廓线,把图像处理成素描的风格;Kang 等^[7]提出一种基于平均曲率流的方法,然后结合冲击滤波器对颜色和形状同时进行简化。但是,单纯的图像分

割通常会使得块状区域之间的边界比较粗糙、不太光滑,因此这些区域边界必须经过某些处理才能达到光滑和风格化的效果。

在国内,卢少平等^[8]结合改进的双边滤波与数学形态学操作来建立金字塔结构的多层参考图像序列,然后基于人脸等特征作为重要性区域进行笔画布置模拟了油画绘制效果;黄沛杰等^[9]提出一种针对视频的抽象化方法,不仅可以降低传输带宽,而且可以提高图像序列的可理解性,他们在实现中结合非线性扩散算法和边缘提取方法,同时考虑了时空一致性问题。但是到目前为止,针对特定对象的抽象画主要集中在人脸上。相对于一般图像来说,建筑物图像有着其自身的特点,鲜明的轮廓让建筑物的外观显得格外清晰,充分展现了建筑风格,然而针对建筑物对象的抽象画生成算法的工作尚不是很多。

本文从建筑物的视觉特征出发,利用双边滤波进行图像细节冗余信息的简化抽象处理,同时通过快速的、带有误判控制的图像线段检测算法获得线条,以增强建筑物的轮廓和其他边缘特征,进而凸显其建筑风格特点。

1 线条增强的图像抽象化

形状和颜色是在图像抽象化中 2 个最重要的特征,形状通过轮廓简化来体现,颜色则通过颜色量化来简化。本文通过线条增强图像的重要轮廓特征,同时尽量减少那些并不重要的细节的干扰,以进行建筑物图像的抽象化。首先使用双边滤波对原图像进行区域平滑,以减少颜色种类,进而达到抽象化的目的;然后通过生成建筑物线条画的方法生成特征线条,再将特征线条和平滑后的图像进行融合叠加,就可以生成具有抽象化效果的建筑物图像。该算法简化了原图中不必要的细节,同时保留了鲜明简约的建筑物线条特征,算法流程如图 1 所示。

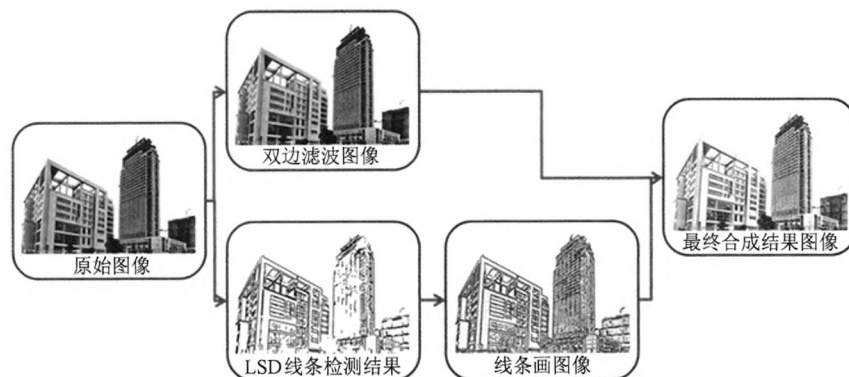


图 1 线条增强的抽象画算法流程

1.1 图像双边滤波器

双边滤波算法是一种比较成熟的平滑滤波算法^[10],它将当前点的灰度值用周围点灰度值的加权平均来代替,其中权因子不只是与两点的几何距离有关,更与它们的灰度值差异有关.图像 $I(u)$ 上的双边滤波器算子定义为

$$\hat{I}(u) = \frac{\sum_{p \in N(u)} W_c(\|p-u\|)W_s(I(u)-I(p))I(p)}{\sum_{p \in N(u)} W_c(\|p-u\|)W_s(I(u)-I(p))};$$

其中, $N(u)$ 为 u 的邻域, p 为 $N(u)$ 中任一点, $I(p)$ 为该点像素的灰度值, $W_c(x) = e^{-x^2/2\sigma_c^2}$ 为空间距离

权重, $W_s(x) = e^{-x^2/2\sigma_s^2}$ 为相似度权重.双边滤波器同时考虑周围像素与中心像素间的几何距离度量和灰度相似性度量(2种度量均采用高斯核函数),对邻域中距离接近和灰度相似的像素点赋予较大的权值,反之赋予较小的权值.正是这种双重各向异性加权机制(距离各向异性和灰度各向异性)保证了双边滤波的特征保持性.图 2 b 所示为对图 2 a 双边滤波之后的结果,从图 2 c,2 d 的局部放大图可清楚地看到,双边滤波去掉了原始图像中的很多细节,但同时保留了原始图像的结构特征.

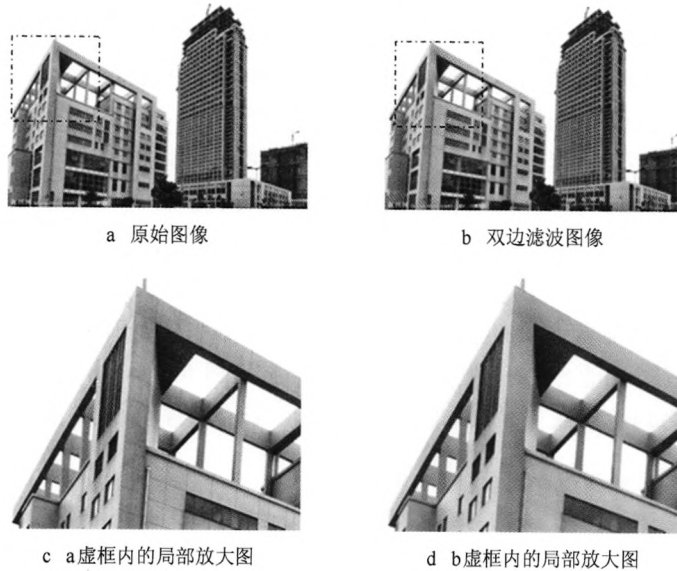


图 2 双边滤波结果对比

1.2 线条增强技术

在建筑物图像中通常会看到建筑物的外墙截面和轮廓线条,这些线条构成了建筑物的视觉特征.本文基于建筑物的重要视觉特征基本上都可以由直线段来描述这样一个假设,通过在图像中强化线条即可表现出建筑物的重要视觉特征,因此需要选择一种好的直线检测算法.

作为直线检测算法中的经典算法,Hough 变换被许多研究者运用或通过改进其算法来检测图像中的线段.本文引入 von Gioi 等^[11]提出的一种线性时间复杂度的线段检测方法来获取轮廓特征,它是一种快速的、带有误判控制的图像线段检测算法(fast line segment detector with a false detection control, LSD),能较好地检测出直线段,没有太多的噪声,并且计算效率也很高. LSD 算法首先利用图像梯度和水平线信息检测图像的局部直线轮廓,如图 3 所示^[11],这里轮廓通常指图像灰度从暗到亮或从亮到暗快速变化而形成的区域,它构成视觉观察中的线段,可通

过水平线方向角表达.

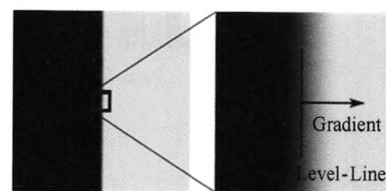


图 3 图像梯度和水平线

水平线方向角

$$\theta_{\text{Level-line}} = \arctan\left(-\frac{g_x(x,y)}{g_y(x,y)}\right),$$

其中 $g_x(x,y)$ 和 $g_y(x,y)$ 分别是图像 (x,y) 处像素梯度值的 x,y 分量.可以通过区域生长算法结合水平线方向角的计算来判断哪些像素可以连成一条线段,计算过程中用图像中像素的连通区域的错误警报值来控制像素状态,具体细节见文献^[11].

图 4 所示为由 Hough 变换和 LSD 算法得到的线条的比较,可以看出,Hough 变换把树叶都检测为线段,整体上检测出很多多余的错误线段;相比

之下 LSD 算法生成的线条更为准确,没有 Hough 变换中那么多杂乱细小的短线. 显然,这些 LSD 检测出的线条能更好地反映出建筑物最主要的外轮廓

特征,清晰而不杂乱. 因此本文采用 LSD 算法帮助提取建筑物的线条特征,并藉此来增强建筑物的抽象画效果.

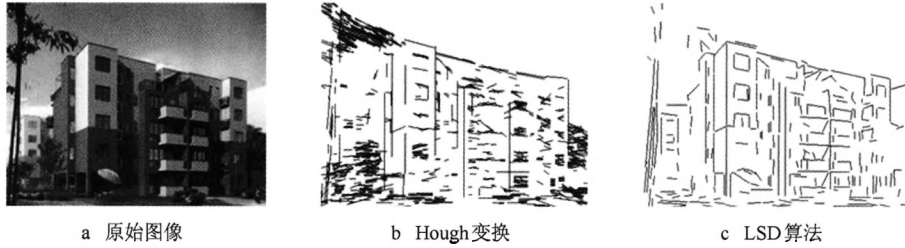


图 4 不同算法线条检测结果比较

但是,如图 4 c 所示,单纯的 LSD 线条仍然让整个图像显得凌乱不连续,图像不够平滑,因此 LSD 算法只是改进积分用来进行线条画抽取. 在线条画生成方面, Kang 等^[12]提出的边缘正切流(edge tangent flow, ETF)生成的效果让人印象深刻,但是该工作对边缘特征的处理没有针对性. 我们在此基础上进行改进,详见文献[13],为了本文的完整性,这里略做介绍. 本文在 Kang 等^[11-12]的基础上调整 ETF 公式,增加 LSD 线条的直线梯度强度权值函数 ω_l ,以强化突出建筑物的轮廓线条特征,即

$$t^{new}(x) = \frac{1}{k} \sum_{y \in \Omega(x)} t^{cur}(y) \omega_i(x, y) \omega_m(x, y) \omega_d(x, y) \omega_l(x, y).$$

然后在 Kang 等采用的基于流的高斯差(flow-based difference-of-Gaussians, FDoG)滤波器方法基础上进一步修改,利用 LSD 提取出的线条再次强化建筑物的特点,即线条画的输入改为原始图像灰度图与检测得到的线段图像的乘积. 针对图 2 a,图 5 给出了 LSD 算法线条检测的结果和通过 LSD 线条增强后的线条结果,图 5 a 中左边为 LSD 检测出的线条,图 5 b 为采用 LSD 增强后的线条画,图 5 c,5 d 分别给出了图 5 a 和 5 b 的局部放大图. 通过对比可以看到,采用增强后的线条比原始的 LSD 线条更流畅连续.

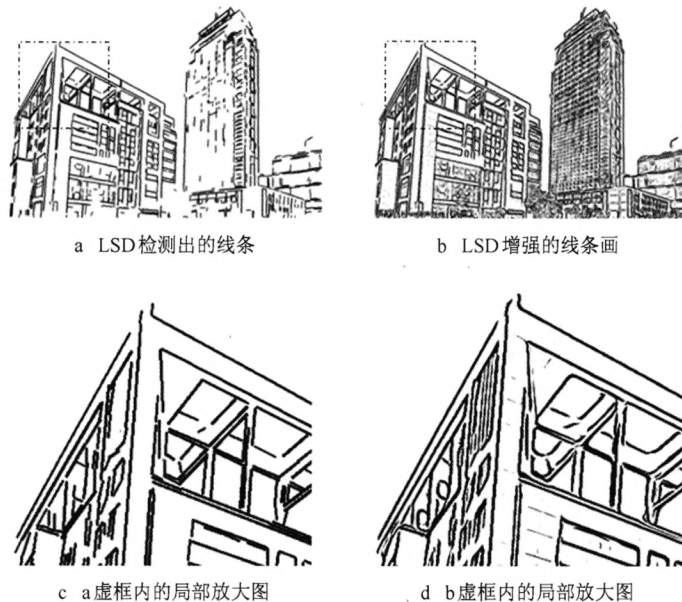


图 5 LSD 线条与 LSD 增强后的线条画效果对比

1.3 图像融合

通过第 1.1 和 1.2 节的介绍,双边滤波提供了原始图像信息的简化和抽象,线条抽取则提供了原始图像中建筑物的轮廓特征,通过图像融合则将两者的优势结合在一起. 其中图像融合叠加是指把不

同源的图像信息经过一定方法的处理,最终通过叠加获得单一图像的技术. 本文使用 Alpha 通道技术对得到的建筑物线条画图像和原图像经过双边滤波平滑后的结果图像进行融合叠加,得到了具有明显建筑物线条特征增强的抽象画图像. 该方法实现简

单,缺点是会使得整体色调稍微发生变化,但对整个图像特征不构成影响.图 6 c 所示为通过 LSD 算法检测出来的线条信息;通过 Alpha 通道对图 6 b,6 c

的结果进行图像融合,得到图 6 d.可以看到,建筑物的中间细节被抹平,而边缘轮廓这些能表现建筑物风格特征的细节通过线条得到了增强.



图 6 实验结果图

2 实验及结果分析

我们采用本文算法针对建筑物图像进行了一系

列实验.图 7 所示为部分原始图像与最终合成出的结果图的对比,可以看到,本文算法可以大幅度减少原始图像中的冗余信息;同时由于采用了 LSD 线条增强技术,使得建筑物轮廓清晰,特征保持度良好.



图 7 部分结果对比图

图 8 所示为图 7 中著名的迪拜帆船酒店的局部放大图,更多清晰的大图请访问 <http://imlab.chd.edu.cn/npr/> 网站。可以看到,融合叠加后的图像抹平了原图像的局部细节,但保留了比较显著的线条特征,达到了抽象化的效果。



图 8 帆船酒店图像局部放大图

通过图 7 b 所示最终合成效果图可以看到,如果建筑物的外轮廓多由直线构成,那么最终合成的抽象画效果会很好。但如果该建筑物繁冗细节过多,如图 8 中的帆船酒店图像,抽取出的线条的流畅程度就会下降,导致最终合成出的效果受到一定影响。

3 结论与未来工作

建筑物外观通常以鲜明的线条给人们留下深刻的印象,目前针对建筑物的抽象画自动生成算法尚不多见,为此本文提出一种针对建筑物的自动的、保特征的抽象画生成算法。该算法中,抽象化由双边滤波器进行控制,可以大大简化原始图像的细节信息,而且实现简单、高效,保特征则是通过 LSD 算法来提取好的线条特征;然后通过 FDoG 形成边缘增强的线条;最后通过这 2 幅图像的融合得到最终的抽象画,充分展现出富有艺术家手绘风格的建筑物效果。实验结果表明,本文算法行之有效。

另外,提取的线条越连贯清晰,最终合成的效果就越理想。一般情况下,普通建筑物的线条通常都很明显,因此这类条件很容易满足,最终合成的效果比较好。

今后,我们将进一步增强抽象化程度,探讨根据人类视觉感知模型对颜色进行简化,根据颜色感知来进行图像分割,以使得抽象结果更符合人类认知。尤其是当场景中既有建筑物又有自然环境时,如何平滑掉自然环境部分,只突出人工建筑,值得进一步探讨。

参考文献 (References):

- [1] Orzan A, Bousseau A, Barla P, *et al.* Structure-preserving manipulation of photographs [C] //Proceedings of the 5th International Symposium on Non-Photorealistic Animation and Rendering. New York: ACM Press, 2007: 103-110
- [2] Fischer J, Bartz D. Stylized augmented reality for improved immersion [C] //Proceedings of IEEE Conference on Virtual Reality. Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 2005: 195-202+325
- [3] DeCarlo D, Santella A. Stylization and abstraction of photographs [J]. ACM Transactions on Graphics, 2002, 21(3): 769-776
- [4] Wang J, Xu Y Q, Shum H Y, *et al.* Video tooning [J]. ACM Transactions on Graphics, 2004, 23(3): 574-583
- [5] Collomosse J P, Rowntree D, Hall P M. Stroke surfaces: temporally coherent artistic animations from video [J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2005, 11(5): 540-549
- [6] Wen F, Luan Q, Liang L, *et al.* Color sketch generation [C] //Proceedings of the 4th International Symposium on Non-Photorealistic Animation and Rendering. New York: ACM Press, 2006: 47-54
- [7] Kang H, Lee S. Shape-simplifying image abstraction [J]. Computer Graphics Forum, 2008, 27(7): 1773-1780
- [8] Lu Shaoping, Zhang Songhai. Visual importance based painterly rendering for images [J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2010, 22(7): 1120-1125 (in Chinese)
(卢少平, 张松海. 基于视觉重要性的图像油画风格化绘制算法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2010, 22(7): 1120-1125)
- [9] Huang Peijie, Zhu Lihua, Liu Xuehui, *et al.* Automatic abstraction of image sequences for real-time visual communication [J]. Acta Electronica Sinica, 2009, 37(4A): 42-50+56 (in Chinese)
(黄沛杰, 朱立华, 刘学慧, 等. 针对实时视觉通信的图像序列自动提炼[J]. 电子学报, 2009, 37(4A): 42-50+56)
- [10] Paris S, Kornprobst P, Tumblin J, *et al.* Bilateral filtering: theory and applications [J]. Foundations and Trends® in Computer Graphics and Vision, 2009, 4(1): 1-73
- [11] von Gioi R G, Jakubowicz J, Morel J, *et al.* LSD: a fast line segment detector with a false detection control [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2010, 32(4): 722-732
- [12] Kang H, Lee S, Chui C K. Flow-based image abstraction [J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2009, 15(1): 62-76
- [13] Liu Youquan, Wu Zongsheng, Wang Shandong, *et al.* Line drawing technique for building images [J]. Journal of Software, 2012, 23(Suppl. 2): 34-41 (in Chinese)
(柳有权, 吴宗胜, 王山东, 等. 建筑物图像的线条画生成算法[J]. 软件学报, 2012, 23(增刊 2): 34-41)

线条增强的建筑物图像抽象画生成

作者: [柳有权](#), [吴宗胜](#), [韩红雷](#), [吴恩华](#), [Liu Youquan](#), [Wu Zongsheng](#), [Han Honglei](#), [Wu Enhua](#)
作者单位: [柳有权, Liu Youquan\(长安大学信息工程学院 西安 710064;澳门大学科技学院 澳门;中国科学院软件研究所计算机科学国家重点实验室 北京 100190\)](#), [吴宗胜, Wu Zongsheng\(长安大学信息工程学院 西安 710064\)](#), [韩红雷, Han Honglei\(中国传媒大学动画与数字艺术学院 北京 100024\)](#), [吴恩华, Wu Enhua\(澳门大学科技学院 澳门;中国科学院软件研究所计算机科学国家重点实验室 北京 100190\)](#)
刊名: [计算机辅助设计与图形学学报](#) 
英文刊名: [Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics](#)
年, 卷(期): 2013, 25(9)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_jsjfszsjtxxx201309002.aspx