

一种绘画效果生成算法

卢盛荣¹,林舒杨²,杜晓凤²,李翠华²

LU Sheng-rong¹,LIN Shu-yang²,DU Xiao-feng²,LI Cui-hua²

1.龙岩学院 数学与计算机科学学院,福建 龙岩 364000

2.厦门大学 信息科学与技术学院,福建 厦门 361005

1.School of Mathematics and Computer Science,Longyan University,Longyan,Fujian 364000,China

2.School of Information Science and Technology,Xiamen University,Xiamen,Fujian 361005,China

E-mail:xfdu2005@gmail.com

LU Sheng-rong,LIN Shu-yang,DU Xiao-feng,et al.Method for generation of painting-like artistic effect.Computer Engineering and Applications,2010,46(26):166-169.

Abstract: Painting-like artistic effects can be achieved from photographic images by filters that smooth out texture details, while preserving or enhancing edges and corners.A novel image filter is proposed in this paper to generate painting-like effects.By adaptively changing its bandwidth and shape to image features,this filter can simulate the size of brush and painting skills.A large variety of experimental results show that the output of the proposed operator is visually similar to a painting.The proposed operator is robust to degradations of the input image such as blurring and noise contamination.

Key words: adaptive filters;gradient structure tension;painting-like artistic effect

摘要: 图像的绘画效果由平滑纹理,保持并加强边角获得。给出一种鲁棒的由真实图像自动生成相应绘画效果的算法。算法根据图像的局部结构,自适应地调节滤波器的带宽与形状,来模拟画笔宽度和绘画技法。实验结果表明,算法的处理结果在视觉效果上接近绘画,并且对低质量的输入图像同样有效。

关键词: 自适应滤波器;梯度结构张力;绘画效果

DOI:10.3778/j.issn.1002-8331.2010.26.051 文章编号:1002-8331(2010)26-0166-04 文献标识码:A 中图分类号:TP391.41

1 引言

随着数字照相机和摄像机的普及,数以万计的家庭拥有了照相机、摄像机等数字设备。一次朋友聚会,一次出行旅游,数百张图像往往随之而生。然而,拥有了海量的图像,富有创造性的人们,往往更感兴趣的是如何能够在图像上做出个性化的处理。学者们分别从两个领域来解决这一实际需求。计算机图形学领域的研究人员借助于计算机来模拟画家生成具有诸如油画^[1]、水彩^[2-3]、铅笔^[4]等不同艺术风格的图片,称之为非真实感绘制技术(Non-Photorealistic Rendering, NPR)其目标不在于图形的真实性,而主要在于表现图形的艺术特质,模拟艺术作品(甚至包括作品中的缺陷),以此作为真实感图形的有效补充。而在计算机图像处理领域,一般运用图像处理算法对原始图像进行加工,而获得具有特定的视觉效果的新图像。主要从图像处理方法出发,研究根据真实图像生成绘画效果的算法。

在视觉效果上,拍摄得到的图像是以像素为单位的,忠实地表现了自然景象色彩的平滑变化及完整的纹理细节,图像

细腻逼真;绘画作品则具有一定的概括性,绘画的基本单位为画笔宽度的色块,绘画时通常用一块单一的颜色来描述某一区域,区域之间的对比明显。由真实图像生成绘画效果时,需要去除小的图像的纹理,而同时保持并锐化边缘与角点。这就要求滤波算法要兼顾保边与平滑功能。传统上的平滑滤波器会造成边缘的模糊,学者们已提出了多种具有保护边缘能力的滤波器,如中值滤波器^[5]、双边滤波器^[6]、基于偏微分方程的滤波^[7]、可控滤波器^[8]等。但是,并非所有的保边滤波算法都可以生成绘画效果的图像。这是因为绘画时所用的画笔尺寸有限,画笔的大小决定了对图像的局部表达的精细程度,在绘画过程中,往往会摒弃过小的纹理,用单一的色块来代替,而以上的保边滤波器却不具有这种功能。Kuawahara算法^[9]将对称的正方形滤波窗口划分成4个子区域,中心像素点的值赋为最平滑(即有最小方差的)子区域中的均值,如图1(a)。Kuawahara滤波器的这一性质,使得滤波后的图像有一定的绘画效果。随后,学者们分别从滤波窗口的形状,中心像素点的取值上扩展了Kuawahara的算法,提出了一系列的扩展的

基金项目:国家重点基础研究发展规划(973)(the National Grand Fundamental Research 973 Program of China under Grant No.2007CB311005);福建省自然科学基金(the Natural Science Foundation of Fujian Province of China under Grant No.A0710020)。

作者简介:卢盛荣(1970-),男,硕士研究生,实验师,主要研究领域为数字图像处理、数据库应用等。

收稿日期:2010-03-30 **修回日期:**2010-06-10

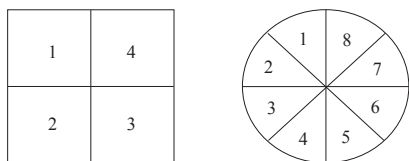
Kuawahara 滤波算法^[10-11]。文献[12]中提出了泛化的 Kuawahara 滤波器 (Generalizations of the Kuwahara Filter, GKF), 并且成功地应用于绘画效果的图像生成中。从绘画角度来看, 文献[12]的算法存在两个局限, 一是对整幅图像采用固定带宽的滤波算子, 无法模拟多种画笔的宽度, 导致了图像部分细节丢失。另一个是滤波器的形状固定, 没能模拟绘画时的用笔技法, 所生成的绘画结果不够细腻。

在文献[12]的基础上, 提出一种自动绘画效果生成的算法, 通过对图像局部区域的分析来决定画笔的宽度及技法。

2 GKF 算法

2.1 GKF 算法简介

如图 1(b)所示。文献[12]将圆形滤波窗口按照角度 θ 划分为 8 个子区域 $S_i, i=1, 2, \dots, 8$, 计算每个子区域的加权均值 m_i 及局部方差 s_i 。



(a) Kuawahara 区域划分 (b) (a) 中区域划分
图 1 滤波窗口划分示意

设滤波核函数为带宽为 σ 的高斯核:

$$K_\sigma(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

定义各子区域对输入图像 I 的滤波均值为 m_i , 标准差为 s_i 。

$$m_i = I * K_{\sigma_i} \quad (2)$$

$$s_i = \sqrt{I^2 * K_{\sigma_i} - m_i^2} \quad (3)$$

扇形区域定义为:

$$U_i(\theta) = \begin{cases} 1, & (i-1) < \frac{4\theta}{\pi} \leq i \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (4)$$

则核函数被划分为 8 个部分, 每部分核函数为: $K_{\sigma_i} = U_i \cdot K_\sigma$, 其中

$$K_\sigma = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 K_{\sigma_i}$$

以 s_i^{-q} 作为子区域的权值, 滤波窗口的最终输出为:

$$I_\sigma = \frac{\sum_{i=1}^8 m_i s_i^{-q}}{\sum_{i=1}^8 s_i^{-q}}$$

滤波结果是窗口子区域的非线性加权组合, 一般取 $q \geq 4$, 这样 s_i 越大的子区域的权值越小, s_i 较小区域的权值较大, 这样最终的滤波结果可以平滑纹理, 并保护边角。

2.2 GKF 的局限

GKF 存在着两个局限性, 首先, 如文献[12]中指出的, 当 q 的值越大时, GKF 的滤波结果越接近 s_i 最小的那一个, 滤波的区域变小了, 平滑噪声的能力也就小了。其次, GKF 的滤波窗口大小一定, 当图像的边缘变化范围小于滤波窗口时, GKF 滤波后, 边缘会被模糊。图 2 是一个例子, 其中(a)为原图, (b)为滤波后结果, 可以看出滤波对较粗的边缘保护得很好, 而对细边缘造成了模糊。(c)为对(a)的局部放大, 可以看到, 当滤波窗

口位于粗边缘处, 根据式(3)得到的 s_8 与 s_5 较小, 该点的滤波结果受这两个区域的影响较大, 而且这两个区域都处于黑色区域, 滤波对边缘没有影响。而在(d)中, 虽然 5 和 8 区域的方差同样较小, 权值相对较大, 但滤波子区域本身就超出了边界, 包含了部分白色区域, 这样不可避免地造成了边缘的模糊。这种情况的产生是由于 GKF 滤波算法对图像中所有的区域采用同一大小的滤波窗口。如果可以控制核函数的带宽及形状, 使其能够自动调整滤波窗口, 如图 2(e), 在边缘区域尽量使滤波子区域不越过边界, 就可以避免这一情况的发生。

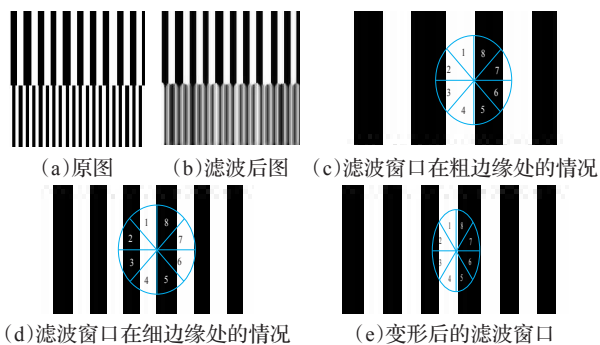


图 2 滤波图示

3 自适应的绘画算法

在实际作画中, 画家往往得用不同尺寸的画笔来描绘不同大小的细节, 同时在绘画技法中, 利用画笔与画布的接触方式, 形成不同形状的笔势, 来表现物体的质感与厚实感。如果利用核函数的带宽来模拟画笔的大小, 利用核函数的形状来模拟绘画时的笔势。图像滤波时, 首先由数据驱动得到图像特征参数, 调整核函数的形状, 使其随图像的特征而改变, 与文献[12]中采用固定带宽的高斯核函数不同, 这里定义核函数为各项异性的椭圆核函数:

$$K_\sigma(x, y) = \exp\left[-\frac{(x \cos \theta + y \sin \theta)^2}{2(\gamma\sigma_u)^2} - \frac{(-x \sin \theta + y \cos \theta)^2}{2(\gamma\sigma_v)^2}\right] \quad (5)$$

其中 $\sigma_u = \sigma_c / \lambda; \sigma_v = \lambda \sigma_c$ 。 σ_c 代表圆形核权重分布函数半峰宽, 圆形核函数形状如核函数的形状如图 3(a), 而自适应的核函数形状如图 3(b)所示。椭圆的长轴 σ_u 与短轴 σ_v 之比为拉伸参数 λ^2 ; 椭圆长轴的方向为参数 θ ; 椭圆的缩放参数为 $\gamma; \sigma_u = \sigma_c / \lambda; \sigma_v = \lambda \sigma_c$ 。显然椭圆的参数 λ, γ 和 θ 应与图像的局部特征相关, 即在图像边缘处, 核函数呈椭圆状且椭圆长轴尽量沿边缘方向 θ 倾斜, 越接近图像的边缘时, 椭圆的长短轴比例 λ^2 越大, 滤波区域尽量只包含边缘区域, 避免边缘模糊。为了得到自适应的参数, 首先要知道图像的局部结构。这里采用梯度结构张量^[13] (gradient structure tensor) 来快速估计图像特征参数, 计算 θ 和 λ 的具体过程如下:

对图像 I 每一像素点 $I(x, y)$, 方向张量 T 定义为

$$T(g) = \mathbf{g} \mathbf{g}^T = (g_x, g_y) \quad (6)$$

$$g_x = \frac{\partial I}{\partial x}, g_y = \frac{\partial I}{\partial y} \quad (7)$$

则结构张量是邻域内方向张量的加权线性组合

$$\bar{T}(g) = \overline{\mathbf{g} \mathbf{g}^T}, \text{即:} \quad \bar{T}(g) = \begin{bmatrix} \overline{g_x^2} & \overline{g_x g_y} \\ \overline{g_x g_y} & \overline{g_y^2} \end{bmatrix} \quad (8)$$

从而得到该点局部方向 θ 为:

$$\tan 2\theta = \frac{g_x^2 - g_y^2}{2g_x g_y} \quad (9)$$

$$\theta = \frac{1}{2} \arctan\left(\frac{g_x^2 - g_y^2}{2g_x g_y}\right) \quad (10)$$

核函数是各向异性的,参数 λ 与局部方向的能量相关, $\bar{T}(g)$ 的特征值 α, β ($\alpha \geq \beta$) 代表了方向能量分布, λ 定义为:

$\lambda = \frac{0.5}{S+0.5}$, 其中 $S = \frac{\alpha - \beta}{\alpha + \beta}$. 矩阵分解计算复杂度较高, 因此采用 Harris^[14] 提出的方法, 避免矩阵运算. S 计算方法如下:

$$A = \text{Tr}(\bar{T}) = \alpha + \beta \quad (11)$$

$$B = \text{Det}(\bar{T}) = \alpha\beta \quad (12)$$

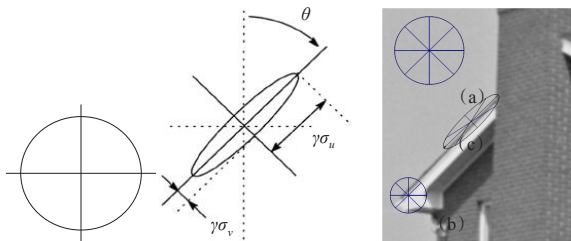
$$S = \frac{\sqrt{(\alpha + \beta)^2 - 4\alpha\beta}}{\alpha + \beta} = \frac{\sqrt{A^2 - 4B^2}}{A} \quad (13)$$

参数 γ 与点图像局部的平滑度相关, 希望在较平滑区域, γ 较大, 而在纹理区, γ 较小. 定义:

$$\gamma = 2 / [2 * \exp((\sqrt{B} - b) / a) + 1] \quad (14)$$

这是一个单边高斯函数, 由 a, b 控制函数的形状, 实验中 $a = 80, b = 50$.

图像滤波时, 首先由图像数据驱动得到图像特征参数, 据此调整核的形状, 使其随图像的特征而改变. 如图4所示, γ 在平滑区较大, 相当于用大的画笔来渲染平滑区域; 而在细小变化的区域, γ 较小, 相当于使用较小的画笔来描绘图像细节. 同时, 在边缘区, λ 较大, 核的形状呈一个拉伸的椭圆形, 边缘强度越强, 方向能量越大, 长短轴的差异也就较大, 椭圆也就越扁, 这样就模拟了绘画时的画笔与画布接触的方式. 同时, 椭圆依边缘方向旋转, 更加适合处理边缘特征, 减少边缘模糊的情况. 在平滑区域, λ 接近 1, 长短轴基本相等, 核的形状基本为圆形.



(a) 原始核形状 (b) 变形后核形状 图4 核函数在各区域的形状

图3 自适应滤波示意 (a) 平滑处 (b) 角点处 (c) 边缘处

4 实验及分析

分别从合成图像及自然图像的处理上验证算法的性能. 对比实验的代码来自网站 <http://www.cs.rug.nl/~imaging/artisticsmoothing>.

4.1 合成图像

图5是对合成图像的对比实验. 其中(a)为原图加上 $\sigma = 20$ 的高斯噪声. 式(1)中的 $\sigma = 3$, 式(7)的 $\sigma_c = 3$. 观察图5(b)与(c), (b)与(c)在平滑区的滤波效果接近, 而在边缘区域, (b)图明显地出现了边缘模糊, 在细边缘上尤其严重, 相比而言, 本文算法对边缘的保护更好, (c)图中没有出现边缘模糊现象.



(a) 噪声图像 ($\sigma = 20$) (b) 文献[12]滤波结果 (c) 本文结果

图5 合成图像对比实验

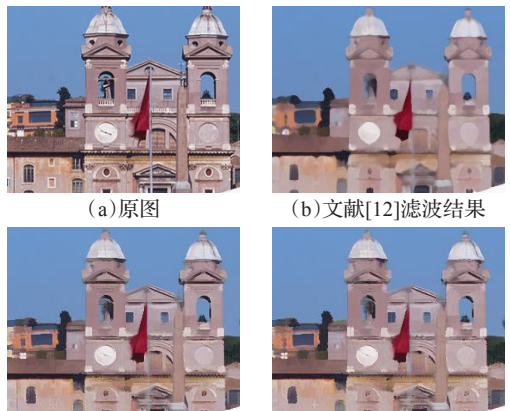
4.2 自然图像

本组实验中的原图及文献[12]的处理结果来自网页 <http://www.cs.rug.nl/~imaging/artisticsmoothing>, 彩色图像按 RGB 三通道分别进行滤波. 图6是自然图像处理的实验. 式(1)中的 $\sigma = 3$, 式(7)的 $\sigma_c = 3$. 对比图(b)与(c), 虽然两种算法都产生了一定的绘画效果, 但本文的算法保护原图的结构信息. 图(d)是本文算法滤波后的局部放大图, 图中墙壁处的砖之间的缝隙边缘及小路上的台阶都清晰可见. 文献[12]算法中采用的固定带宽的核函数, 导致了部分边缘的“消失”, 整体的视觉效果较为模糊. 图7是不同参数下图像的对比实验, (b)为文献[12]的处理结果, (c)与(d)为本文处理结果, 其中 σ 分别为3与5. 同样, 本文的算法在产生绘画效果的同时, 保护了图像中的边缘, 如时钟处的指针, 在(b)图中消失. 本文的算法受 σ 的影响不大, 两个带宽下的滤波结果均较好地保护了指针处的边缘. 图8是由低分辨率图像产生绘画效果的对比实验. 原图的分辨率较低, 放大4倍后如图8(b), 放大后边缘变得模糊, 本文算法与文献[12]的算法可以由放大后的较模糊的图像中产生绘画效果, 对比图8(c)见图8(d), 可以看到, 本文的结果中, 葡萄的外形和枝叶的纹理得以较好的保留.



(a) 原图 (b) 文献[12]滤波结果 (c) 本文滤波结果 (d) 本文滤波结果局部放大

图6 图像对比实验



(a) 原图 (b) 文献[12]滤波结果 (c) 本文结果 $\sigma = 3$ (d) 本文结果 $\sigma = 5$

图7 图像对比实验

5 结束语

提出了一种自动生成绘画效果的图像滤波器. 在文献[12]算法的基础上引入了自适应的核函数. 通过调整核函数的带宽与形状来模拟绘画的画笔大小与技法, 使得生成的绘



图8 放大图像实验

画风格图像呈现不同程度的质感,艺术表达上更加细腻。整个绘制过程自动完成,无需用户的干预,对于不懂绘画的用户来说,易于学习,掌握。在未来的工作,需要加入对艺术风格的学习,以获得更加富有艺术表现力的图像。

参考文献:

[1] Hertzmann A.Painterly rendering with curved brush strokes of multiple sizes[C]//Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, ACM SIGGRAPH, Orlando Florida, 1998:453-460.
 [2] Laerhoven T V, Reeth F V.Real-time simulation of watery paint[J]. Computer Animation and Virtual Worlds, 2005, 16(3/4):429-439.
 [3] Luft T, Deussen O.Interactive watercolor animations[C]//Proceedings of Pacific Graphics, Macao, 2005:7-9.

[4] 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,2008,20(1):26-31.
 [5] Gonzalez R C.Digital image processing[M].2nd ed.Ruan qiu-qi. Beijing:Publishing House of Electronics Industry,2003:175-204.
 [6] Tomasi C, Manduchi R.Bilateral filtering for gray and color images[C]//Proc IEEE Int Conf on Computer Vision,1998:836-846.
 [7] Rudin L, Osher S, Fatemi E.Nonlinear total variation based noise removal algorithms[J].Phys D,1992,60:259-268.
 [8] Hiroyuki T, Sina F, Peyman M.Kernel regression for image processing and reconstruction applied mathematics and computation[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2007, 16(2):419-429.
 [9] Kuwahara M, Hachimura K, Eiho S, et al.Digital processing of biomedical images[M].New York:Plenum Press, 1976:187-203.
 [10] Schulze M A, Pearce J A.A morphology-based filter structure for edge enhancing smoothing[C]//Proc Int Conf on Image Processing, 1994, 94:530-534.
 [11] van den Boomgaard R.Decomposition of the Kuwahara-Nagao operator in terms of linear smoothing and morphological sharpening[C]//Proc the 6th International Symposium on Mathematical Morphology, 2002:283-292.
 [12] Papari G, Petkov N, Campisi P.Artistic edge and corner enhancing smoothing[J].IEEE Transactions on Image Processing, 2007, 16(10):2449-2462.
 [13] van Vliet L J, Faas F G A.Multi-orientation analysis by decomposing the structure tensor and clustering[C]//Proc 18th Int Conf on Pattern Recognition.Hong Kong:IEEE Computer Society Press,2006:856-860.
 [14] Harris C, Stephens M.A combined corner and edge detector[C]// Proc Fourth Alvey Vision Conference, Manchester, UK, 1988: 147-151.

(上接147页)

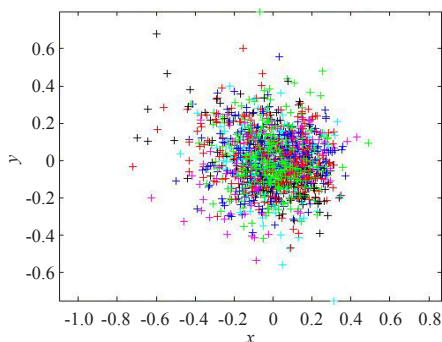


图9(a) 本算法

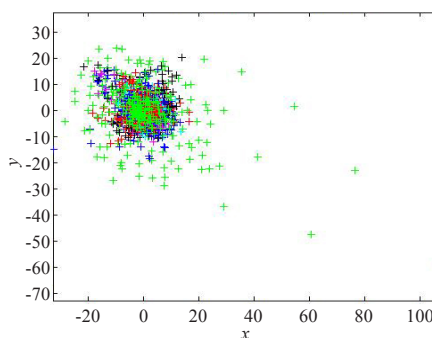


图9(b) Harris算子的算法

棋盘格照片的处理时间已经可以控制在4秒以下,如果使用主流的4核平台进行4线程并行处理,单张照片的处理时间基本可以在1秒左右,而且这一数字还可以按照摩尔定律不断下降。为了验证算法的正确性和有效性,分别用本算法和单纯基于Harris算子的算法在图2中的背景下对10幅定标图像进行了角点检测和定位。比较结果如图9。

从分别采用本算法和传统基于Harris算法的定标结果可以看出,本算法在复杂场景中的识别准确性达到了亚像素级别,要明显高于传统算法。

参考文献:

[1] Lavest J M, Viala M, Dhome M.Dowe really need an accurate

calibration pattern to achieve a reliable camera calibration[C]// Proceedings of the 5th European Conference on Computer Version.London:Springer-Verlag, 1998, 1406:158-174.
 [2] 韩龙,汪增福.基于几何约束的高精度特征点检测和相机标定[J].中国科学技术大学学报,2008(10).
 [3] Zhang Zheng-you.A flexible new technique for camera calibration, Technical Report MSR-TR-98-71[R].Microsoft, 1998.
 [4] 高红波,王卫星.一种二值图像连通区域标记的新算法[J].计算机应用,2007,27(11).
 [5] Forsyth D A, Ponce J.Computer vision: A modern approach[M]. [S.l.]:Prentice Hall,2002.
 [6] Harris C, Stephens M.A combined corner and edge detector[C]// Proc 4th Alvey Vision Conference,1988.