

DOI:10.19431/j.cnki.1673-0062.2019.05.014

基于边缘切向流与颜色量化的图像抽象化

陈 烽,薛 茹*

(西藏民族大学 信息工程学院,陕西 咸阳 712082)

摘 要:图像抽象化绘制旨在以模糊、抽象的艺术手法展现图像。提出了基于边缘切向流与颜色量化的图像抽象化绘制方法,首先,在 RGB(Red, green, blue) 颜色空间提取各颜色通道的梯度,并对其进行融合,对融合后的梯度图像求边缘切向流,并使用高斯差分滤波(flow-based difference-of-gaussians, FDOG)方法提取图像的特征线条;然后,对原始图像用非线性方法进行平滑处理,并在(hue-saturation-intensity, HSI)颜色空间进行量化;最后,将量化图像和特征线条图像进行融合,得到原图像的抽象化图像。实验证明该方法增强了图像轮廓的主要特征并忽略了局部细节,突出了图像的层次感,使图像简洁清晰,抽象化效果显著。

关键词:边缘切向流;颜色量化;FDOG;图像抽象化

中图分类号:TP317.4 **文献标志码:**B **文章编号:**1673-0062(2019)05-0078-06

Image Abstraction Based on Edge Tangent Flow and Color Quantization

CHEN Feng, XUE Ru*

(College of Information Engineering, Xizang Minzu University, Xianyang, Shanxi 712082, China)

Abstract: The aim of image abstraction is to show the image through means of blurring and abstract artistic expression. A method of image abstraction based on edge tangential flow and color quantization is proposed. Firstly, in the RGB color space, the gradient of each color channel is extracted and fused, abstracting the Edge tangential flow of the fused gradient image, and the feature lines of the image are extracted by using the FDOG filtering method. Then, the original image is smoothed by the nonlinear method, and in the HSI color space the image is quantized. Finally, the quantized image and the feature lines image are fused to obtain the image of the abstract image. Experiments show that the proposed method enhances the main features of the image contour and ignores the local details, high-

收稿日期:2019-03-15

基金项目:西藏自治区自然基金项目(2015ZR-13-24);西藏民族大学青年学人培育计划资助项目(16MYQP05)

作者简介:陈 烽(1983-),男,副教授,主要从事计算机应用、数字图形图像等方面的研究。E-mail:83320789@qq.com。*通信作者:薛 茹(1974-),女,教授,博士,主要从事数字信号处理、数字图像处理理论及技术等方面的研究。E-mail:820213482@qq.com

lighting the image level, so that the image is concise and clear, the abstract results are significant.

key words: edge tangent flow (ETF); color quantization; FDOG; image abstraction

0 引言

计算机图形学中的绘制是将一个场景转换成图像的过程,是为了获得场景的真实感效果,但是在很多实际应用中,人们的注意力只在图像的局部,而对其它细节会忽略,比如在医学、视频通信、考古等领域。非真实感绘制(non-photorealistic rendering, NPR)就是通过不追求现实主义的手段^[1],以艺术的手法表示场景。它一般不会表现出目标的真实、具体细节,而是将图像以观察者关注的结构化、简单化的风格展现出来,其更容易表现非真实的细节,强调某些能体现图像特征的信息,忽略次要信息。虽然真实感图像有很多应用,但在对于观察者而言模拟现实没有创造非现实重要,尤其是摄影技术的出现,使现实主义就变得更不那么重要了,它已经富赋予了更多的抽象表示,例如,梵高画的“星光之夜”,如图1所示。在图像非真实感绘制中抽象化风格绘制是最常见方法之一,由于图像的抽象化使图像的艺术表现力得到加强,使意识和情绪等得到传递,图像的可理解得到提高,视觉效果得到促进,从而使图像的抽象化绘制得到更多学者和艺术家的关注,应用前景更加广泛。



图1 梵高的《星光之夜》

Fig.1 Vincent Van Gogh's *Starry Night*

图像的抽象化能以简洁、含蓄的计算机方式表现事物,对事物的某部分进行夸张^[2],是模仿

艺术绘画的形式,为绘画者提供更方便和简洁的绘画环境和艺术手法,使绘画者能按照艺术需求、展现形态减弱或忽略真实场景中的次要信息^[3];对真实场景中原本模糊、甚至分辨不清的目标或者细节,运用各种图像增强技术或者图像处理方法重新展现其完整信息,这些信息的抽象化处理能够突出或者更清晰的展现实际场景信息和目标的具体特征,从而为以新的方式展现实际场景提供了有效的表达途径。近些年来,专家学者们对抽象化风格绘制进行了多方面的研究,有的把视频中流动的瀑布和河流这些动态的场景,抽象化为中国画风格的形式^[4];在提取图像轮廓的时候采用多尺度的Canny边缘算法,在图像抽象化的过程中采用目标梯度场中用泊松重建技术提取图像,进而实现了图像的非均匀抽象化风格绘制^[5];在实时视频中,对于亮度和颜色对比度高的区域作重要处理,用差分高斯滤波方法对图像颜色对比强烈的地方增强对比度来提取图像中的线条,然后用双边滤波处理对比度相对较低的区域,用这种方法得到的抽象化风格绘制能较好的处理视频的连贯性,并能生成卡通效果的图像^[6]。在抽象化过程中,为了保证图像的简化轮廓和色彩,又能保持图像本身的重要特征,提出了对原始图像的平均曲率流变为受约束的方式进行处理^[7],更能展现图像的方向感和边缘特征,并可以通过迭代次数控制图像的抽象化效果^[8]。对3D图像线条画提取,采用三维立体一致方法提取3D图像的轮廓,并对线条进行风格化处理,确保笔触的立体一致性^[9],提出由移动和缩放两部分组成的灵活的色调变换模型,允许在图像区域内变换色调范围,实现细节的增强使图像分段平滑^[10],以及提出基于颜色感知理论自动颜色分配的方法^[11]。

本文从彩色二维图像基本构成(颜色和线条)出发,以提取图像线条和增强处理为基础,在提取线条同时对图像的颜色进行量化^[12],然后再将提取的线条画和量化结果进行合并得到图像的抽象画。具体流程如图2所示。

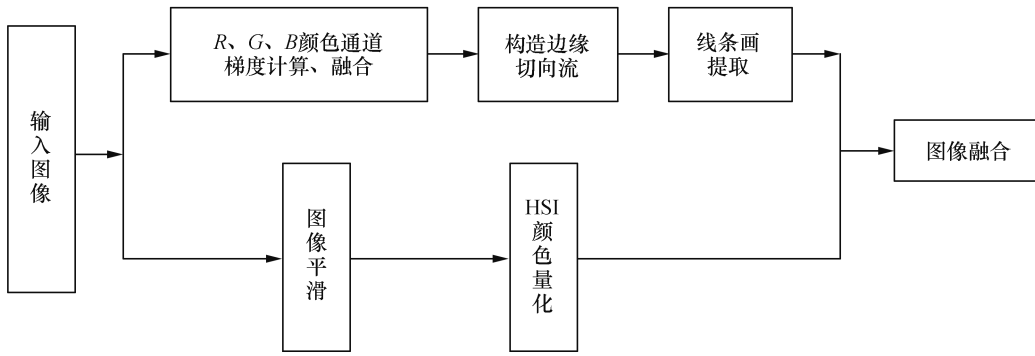


图2 图像抽象化风格绘制流程

Fig.2 Image abstraction style rendering process

1 线条画提取

在一幅图像中线条能体现图像的轮廓和形状,是一幅图像的骨架,有效地提取图像的线条能使图像更简约化的展示出来,也是对图像进行风格化处理的基础。提取图像的线条通过以下过程。

1.1 梯度图像提取

针对彩色图像在 RGB 颜色空间使用 Sobel 算子进行梯度提取,然后对三个颜色通道提取的梯度进行合成。RGB 颜色空间接近于大自然的颜色,由三个基本原色组成 R (Red, 红), G (Green, 绿), B (Blue, 蓝)。对输入的彩色图像用 Sobel 算子计算 R、G、B 三个颜色通道的梯度。Sobel 算子采用的是模板, x, y 方向梯度算子分别为式(1)。

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & +1 \\ -2 & 0 & +2 \\ -1 & 0 & +1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} +1 & +2 & +1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

将 x, y 方向梯度算子与输入图像的三个颜色通道 R, G, B 值做卷积运算,即:

$$G_z^p = \begin{bmatrix} -1 & 0 & +1 \\ -2 & 0 & +2 \\ -1 & 0 & +1 \end{bmatrix} * A^p \quad (2)$$

式(2)中: A^p 表示输入图像各颜色通道值, G_z^p 分别表示图像在水平 x , 垂直 y 方向上的梯度 ($p \in \{R, G, B\}, z \in \{x, y\}$); “*” 为卷积运算符号。对于从图像三个颜色通道提取的梯度值进行融合,在此采取最大值得方法,即

$$G_z = \max \{ G_z^p, P \in (R, G, B), z \in \{x, y\} \}$$

用 Sobel 算子能简单、快速、有效的限制干扰,从图4的第一列可以看到融合后的梯度图像。

1.2 构造边缘切向流

对1.1提取的梯度边缘图像进行平滑,能保证干扰降到最低并维持原有图像边缘特点,因此在此采用 Kang 提出的边缘切向流 (edge tangent flow, ETF) 对1.1得到的图像进行处理。具体应用如下:

$$t^n(x) = \frac{1}{\lambda} \sum_{y \in \Omega_r(x)} \phi(x, y) t^{n-1}(y) \omega_s(x, y) \cdot \omega_m(x, y) \omega_d(x, y) \quad (3)$$

式(3)中以像素 x 为中心,半径为 r 的内核为 $\Omega_r(x)$;归一化因子为 λ ;周期为 2π 的切向量用 $t(\cdot)$ 表示。 ω_s 是半径为 r 过滤器的空间权函数;递归次数为 n ; ω_m 代表幅值权函数; ω_d 代表方向权函数。在边缘切向流构造过程的起始阶段,用2.1节图像 G_x 水平梯度 (在逆时针方向) 作为 $t^0(x)$, 对 $t^0(x)$ 进行格式化处理之后再根据 $t^n(x) \rightarrow t^{n+1}(x)$ 进行递归运算,每次递归结束都可以看到图像比上一次更平滑,在此递归次数 $n=3$ 。

1.3 线条画生成

在线条画提取过程中,采用基于流的高斯差分滤波方法 (flow-based difference-of-gaussians, FDOG), 对1.2生成的边缘切向流图用 FDOG 的方法进行线条提取。

$$h(x) = \int_{-S}^S \int_{-T}^T i(l_{x,s}(t)) D(t) G_{\sigma_m}(s) dt ds \quad (4)$$

式(4)中,输入图像在像素点 $l_{x,s}(t)$ 的值用 $i(l_{x,s}(t))$ 表示;用 $l_{x,s}(t)$ 表示切线段,该切线段垂直于且相交于某条曲线,相交 x 点;单边方差为 σ^2 的高斯函数用 G_{σ} 表示;在式(4)中

$$D(t) = G_{\sigma_c}(t) - \rho G_{\sigma_s}(t)$$

$D(t)$ 代表一个基本滤波函数。

2 图像量化

2.1 图像平滑

通过图像的平滑处理能降低图像颜色的层次和锐度,使图像有模糊感并能有效降低部分干扰。在对图像进行抽象化处理的过程中,用非线性扩散的平化方法对图像进行模糊处理。具体方法如下:

在式(5)中 n 为图像边缘外法线方向, u 表示原输入图像, $G_\sigma(x, y) = c\sigma^{-1}e^{-\frac{(x^2+y^2)}{4\sigma}}$ 表示高斯函数, 滤波尺度 σ 是随时间 t 增加而减小的函数。 div 代表散度算子, c 为扩散系数, $u_0 = u(x, y, 0)$ 代表图像在某像素处初始值, 其中 $t \in [0, T]$ 。

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial t} = \text{div}(c | G_\sigma \cdot \nabla u | \nabla u) \\ u_0 = u(x, y, 0) \\ \frac{\partial u}{\partial n} = 0 \end{cases} \quad (5)$$

2.2 HSI 颜色空间量化

对平滑后的图像,即经过 2.1 处理后的图像在 HSI (Hue-Saturation-Intensity) 颜色空间进行量化。HSI 颜色空间是最符合人类视觉系统感知的, H (Hue) 代表颜色的波长,即色调; S (Saturation) 代表颜色的饱和度,即颜色的深浅, I (Intensity) 代表颜色的亮度。从人类视觉上看,亮度是一个不可测量的量,对图像颜色本身没有太大影响,因此在对图像进行量化时忽略亮度的影响,只强调色调和饱和度影响,即只对 H 、 S 进行量化分析。在 HSI 颜色空间中,区间 $[0^\circ, 360^\circ]$ 为 H 的取值范围,区间 $[0, 1]$ 为 S 的取值范围。为了使量化后图像更符合人类视觉的感知性,在 HSI 颜色空间中 H 、 S 、 I 份量的取值范围进行了特殊规定:在 $I < 15\%$ 时, $H = 0^\circ$, $S = 0$, $I = 0$ 的颜色作为黑色; $S < 10\%$, $I > 80\%$ 时, $H = 0^\circ$, $S = 0$, $I = 1$ 的颜色作为白色。未做规定的区域一概当作彩色区域。在彩色区域中,将 H 份量在区间内均匀的划分为 16 个 bin, S 份量均匀的划分为 8 个 bin。对于彩色区域中像素的 H 、 S 分量,都会落在 H 、 S 份量所划分的 bin 中。

$$H = \begin{cases} 0 & H \in [20, 40] \\ 1 & H \in [40, 60] \\ 2 & H \in [60, 80] \\ \vdots & \vdots \\ 15 & H \in [320, 340] \end{cases}$$

$$S = \begin{cases} 0 & S \in [0, 0.125] \\ 1 & S \in [0.125, 0.25] \\ 2 & S \in [0.25, 0.375] \\ \vdots & \vdots \\ 7 & S \in [0.875, 1] \end{cases} \quad (6)$$

按照式(6)的级别量化,量化后的颜色分量根据式 $G = qH + S$ 合并为一个一维特征矢量; (q 为 S 份量的量化级数,在此量化级数 $q = 3$)。因此,一维矢量上就分布了 H 、 S 两个颜色分量,量化后的颜色直方图维数就为 128 个(在实际的图像抽象化处理过程中,可根据实际情况和图像本质、需要的效果随意调整区间量化级别和量化级数)。

3 图像融合

将第 1 节提取的线条画和第 2 节提取得量化图像进行合并。合并过程采用加权平均的方法,即:

$$f(x) = w_1 f_1(x) + w_2 f_2(x) \quad (7)$$

式(7)中 f 表示合并后的图像, f_1 代表第 1 节提取的线条画图像, f_2 代表第 2 节提取的量化图像; w_1 , w_2 分别为线条和量化图像的权值,且 $w_1 + w_2 = 1$ 。 w_1 , w_2 的取值根据图像的实际情况适当调整。实际中若 $w_1 > w_2$,融合图像的线条特征会更明显;相反, $w_2 > w_1$,量化效果会更明显。

4 实验结果

在实验中采用 Visual C++ 编程,运行在 Windows 7 的系统环境中,实验中使用的图片是传统抽象化处理方法中使用的图片,图 3 是实验所用原图。根据实验所用参数不同,实验的效果也明显不同。具体结果如下。

图 4 中的第一列是经过线条画提取处理后的线条画图,在这一列中可以明显看到图像的线条,简化了原来图像的风格。在第二列中是经过图像量化处理后的 HSI 量化效果图,在此列图像中线条特征不太明显,明显看到没有原始图像清晰。在第三列中,显示图像融合后的效果图,同时也是提出抽象化的结果图。

图 4 中的第一列是经过线条画提取处理后的线条画图,在这一列中可以明显看到图像的线条,简化了原来图像的风格。在第二列中是经过图像量化处理后的 HSI 量化效果图,在此列图像中线条特征不太明显,明显看到没有原始图像清晰。在第三列中,显示图像融合后的效果图,同时也是提出抽象化的结果图。从第三列效果图中可以看

到,对于第一,三副图像,有明显的,所以其抽象化效果图中能明显的看到线条,在第二幅图像中虽然,但差别不是很大,所以线条效果不明显。

第四列给出在实验过程中一些重要参数的变化,在实际抽象化过程中,可以根据图像本身特征和所要达到的效果随即调整参数。

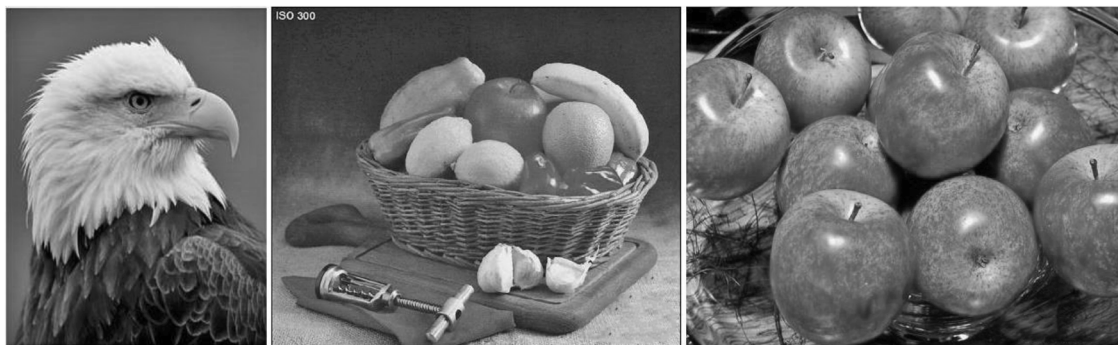


图 3 原始图像

Fig. 3 The original image

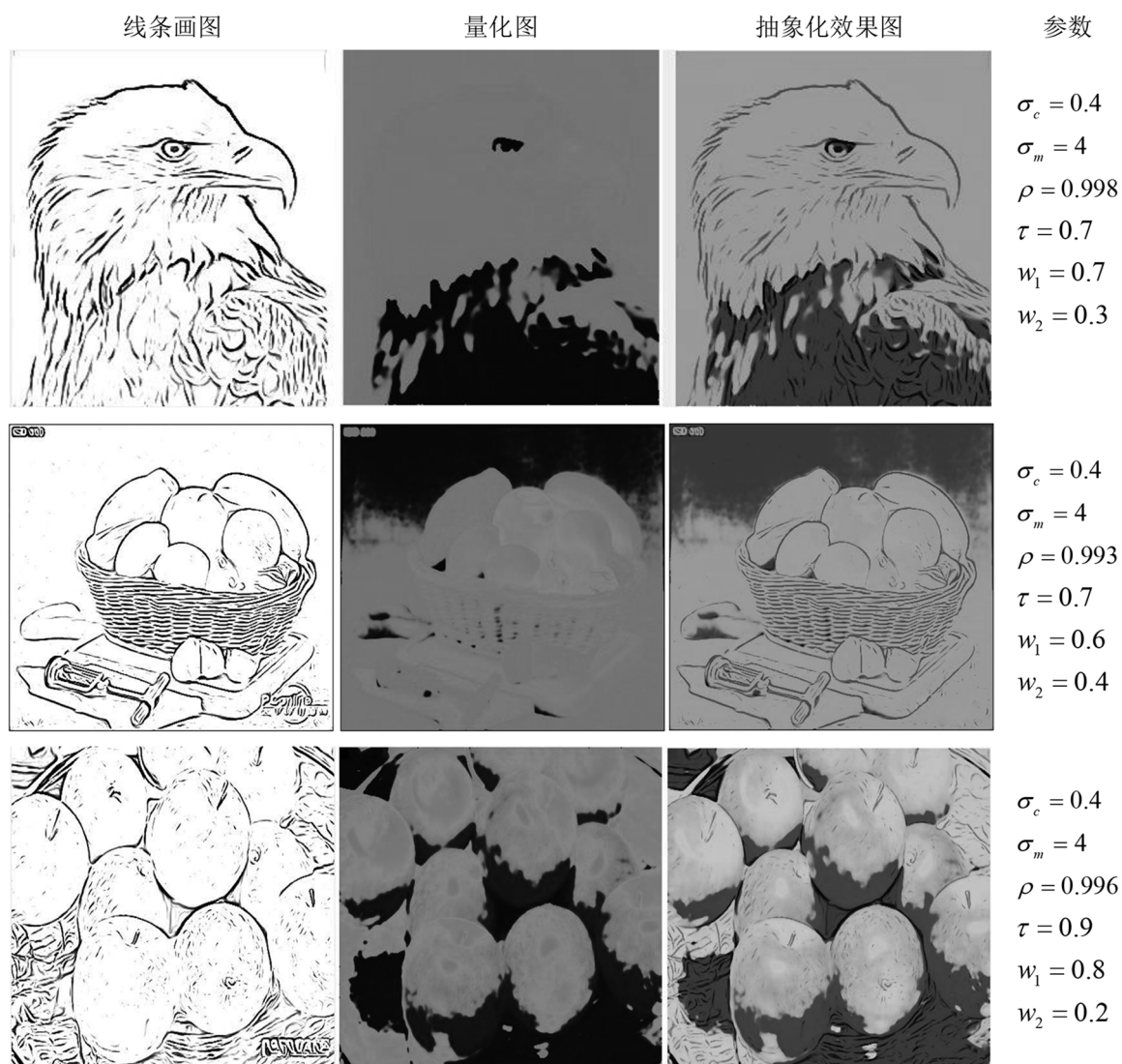


图 4 抽象化效果比较

Fig. 4 Comparison of abstraction effects

5 结 论

从实验结果可以看到,本文提出的方法能有效展现彩色图像的抽象化风格。从图中可以看到抽象化处理后,图像本身的特征得到展现,但是又赋予原图不同的风格;忽略了原图的次要信息,从另一个角度体现了图像本身的特征,有效增强了图像原有的颜色和轮廓特征。从中可以看到,图像的层次感得到加强,抽象处理效果明显,提高了抽象化风格绘制方法的绘制质量。

参考文献:

- [1] LOPEZ-M J. Non-photorealistic rendering[J]. Computer graphics and applications IEEE, 2016, 23(4): 26-27.
- [2] MARKOSIAN L, KOWALSKI M A, TRYCHIN S J, et al. Real-time nonphotorealistic rendering [C]//Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques. New York: Los Angeles Convention Center, 1997: 415-420.
- [3] 王山东, 李晓生, 刘学慧, 等. 图像抽象化的实时增强型绘制[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2013, 25(2): 189-199.
- [4] ZHANG S H, CHEN T, ZHANG Y F, et al. Video-based running water animation in Chinese painting style[J]. Science in China series F (information science), 2009, 52(2): 162-171.
- [5] ORZAN A, BOUSSEAU A, BARLA P, et al. Structure-preserving manipulation of photographs [C]//ACM. International symposium on non-photorealistic animation and rendering. New York: ACM, 2007: 103-110.
- [6] HOLGER W, OLSEN S C, GOOCH B. Real-time video abstraction [C]//ACM. ACM Siggraph. New York: ACM, 2006: 1221-1226.
- [7] KANG H, LEE S, CHUI C K. Flow-based image abstraction[J]. IEEE transactions on visualization and computer graphics, 2008, 15(1): 62-76.
- [8] KANG H, LEE S. Shape-simplifying image abstraction[J]. Computer graphics forum, 2008, 27(7): 1773-1780.
- [9] KIM Y, LEE Y, KANG H, et al. Stereoscopic 3D line drawing[J]. Acm transactions on graphics, 2013, 32(4): 1-13.
- [10] SON M, LEE Y, KANG H, et al. Art-photographic detail enhancement[J]. Computer graphics forum, 2014, 33(2): 391-400.
- [11] KIM H R, YOO M J, KANG H, et al. Perceptually-based color assignment[J]. Computer graphics forum, 2015, 33(7): 309-318.
- [12] CATTE F. Image selective smoothing and edge detection by nonlinear diffusion[J]. Siam journal on numerical analysis, 1992, 29(3): 845-866.

(责任编辑:周泉)