

基于混合特征提取的 PatchMatch 图像风格迁移算法研究与应用

赵 杨

(云南师范大学传媒学院动画系, 云南昆明 650500)

摘要: 图像风格迁移算法是当前计算机视觉领域的研究热点。传统图像风格迁移算法通常从风格图中采集纹理并将其迁移到内容图中, 该类算法在对色彩与纹理较为复杂的图像进行处理时, 合成效果不理想, 且运算速度较慢。随着人工智能技术的不断发展, 图像的艺术风格化已可使用卷积神经网络完成。但如何实现参数的合理调整, 以及如何简化预训练模型, 该类算法仍存在一定的局限性。为解决上述问题, 文章提出基于颜色特征, 基于 LBP 纹理特征, 基于结构张量特征的混合特征提取新算法, 并结合运用 PatchMatch 算法来解除这些限制, 最终进一步通过 GPU 实现实时的图像风格迁移算法。

关键词: LBP 纹理特征; 结构张量; PatchMatch; 非真实感绘制; GPU

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 2096-9759(2023)06-0227-03

Research and Application of PatchMatch Image Style Transfer Algorithm Based on Mixed Feature Extraction

ZHAO Yang

(Animation Department, Yunnan Normal University, Kunming 650500, China)

Abstract: Image style transfer algorithm is a research hotspot in the field of computer vision. Traditional image style transfer algorithms usually collect textures from the style map and migrate them to the content map. When these algorithms process images with complex colors and textures, the synthesis effect is not ideal and the operation speed is slow. With the continuous development of artificial intelligence technology, the artistic stylization of images can be completed using convolutional neural networks. However, such algorithms still have some limitations on how to achieve reasonable adjustment of parameters and how to simplify the pre-training model. In order to solve the above problems, this paper proposes a new hybrid feature extraction algorithm based on color features, LBP texture features, and structure tensor features, and uses PatchMatch algorithm to remove these restrictions. Finally, the real-time image style migration algorithm is implemented through GPU.

Key words: LBP texture features; Structure tensor; PatchMatch; Non photorealistic rendering; GPU

1 引言

20 世纪 90 年代中期, 诸多学者已开始探索和研究如何运用计算机自动合成具备艺术风格的图像^[1]。目前, 图像风格迁移算法已成为计算机视觉领域及非真实感绘制领域的研究热点。

传统图像风格迁移算法通常从风格图中采集纹理并将其迁移到内容图中^[2]。但是该算法只是提取低层次的图像特征, 在对色彩与纹理较为复杂的图像进行处理时, 合成效果不理想^[2], 且运算速度较慢, 在实际场景中很难运用。目前, 随着人工智能技术的不断发展, 德国学者 Gatys 首次提出图像的艺术风格化可使用卷积神经网络完成^[3]。虽然该类算法经过不断改进已具备较好的性能, 但仍面临诸多挑战: 一是如何实现参数的合理调整; 二是如何简化预训练模型。

本文通过研究发现, 虽然传统图像风格迁移算法能较为诚实地描述特定的图像风格特征^[2], 但仍存在一定的局限性。而基于神经网络的算法在运用 GPU 加速实现编码时, 算法编写复杂, 不易实现。因此, 本文提出基于颜色特征, 基于 LBP 纹理特征, 基于结构张量特征的混合特征提取新的相似度距离度量方法, 并结合运用 PatchMatch 算法来解除这些限制, 最终通过 GPU 实现实时的图像风格迁移。

2 图像风格迁移算法研究发展概况

目前主流的图像风格迁移算法主要分为三类: 一类是基于样本图像的纹理传输方法, 第二类是基于图像滤波相关技

术, 第三类则是基于卷积神经网络的纹理建模技术^[4]。其中, 基于样本图像的纹理传输技术又可分为基于点匹配和基于块拼接两类, 后一种传输算法处理速度较快, 便于实现^[2]。

1999 年, Efros 提出以点匹配为基础的纹理合成方法。该算法在样本图像纹理空间搜索与邻域最佳匹配的像素点, 然后将其传输到目标图像中^[5], 但该算法在合成结构纹理时效果不佳。为了克服以上算法存在的缺陷, Efros 在 2000 年又提出了 ImageQuilting 纹理合成传输算法, 基于块拼接, 该算法能将源图像纹理特征快速传输到目标图像中^[6]。

传统的 Image Quilting 算法在进行块拼接时没有考虑目标图像方向场特征的变化。针对传统算法的不足, 赵杨等于 2021 年提出了一种基于目标图像结构张量方向引导的改进的 Image Quilting 图像风格迁移算法, 从而通过方向场引导, 确保方向信息也能合理传输到目标图像中^[7]。

Hertzmann 等人于 2001 年基于类推思想, 通过图像特征映射关系提出一种新颖的图像类推算法, 并由此合成具有新纹理特征的目标图像^[8]。

总的来说, 艺术图像的塑造是以简单化和抽象化为目标的创作过程, 因此可考虑设计特定的图像滤波器来渲染具有特殊艺术效果的图像照片^[2]。

2004 年 Jue Wang 等人设计了视频动画渲染系统, 能够自动生成具有卡通风格的动画^[9]。该系统的基本原理是将视频作为一段时间和空间上连续的数据, 通过设计的各向异性的

收稿日期: 2023-03-13

作者简介: 赵杨(1980-), 男, 云南昆明人, 硕士, 讲师, 研究方向: 非真实感绘制。

MEAN-SHIFT 分割算法,使系统能够在用户的辅助下渲染出时间和空间一致的动画。

2006 年, Winnemller 等人提出了一个基于图像的卡通风格化渲染系统,首次实现了实时的图像卡通化渲染^[10]。虽然图像滤波技术在理论上更趋于成熟,在算法实现上更快、更稳定,但是该类技术在实现渲染风格的多样性方面却受到很大的限制。

为解决上述问题,2021 年赵杨,袁国武,徐丹等人在此基础上设计了一个实时的渲染系统,该系统可将输入图像实时渲染为具有卡通,油画,水彩,铅笔画和水墨画等特殊艺术风格特征的图像^[11]。但是该系统仍然未能建立一个完备、统一的算法框架。

2015 年 Gatys 等人最先提出了基于卷积神经网络的图像风格迁移算法,其思想是通过使用深度神经网络对任意图像的内容和样式进行分离和重构^[1]。其研究思路为图像风格迁移技术提供了基本的参考方向。该方法网络结构简单,但是存在的主要问题就是建模复杂,需要对网络训练模型进行反复的迭代,使得应用效率较低,另外如果没有 GPU 的加速处理,其计算耗时较长,无法实现实时应用的目标。迁移效果也较牵强,生成的图像会出现纹理的畸形和扭曲^[5]。

2017 年由 Xun Huang 等人提出了基于自适应实例归一化(AdaIN)的图像风格迁移算法。该算法解决了原有深度计算模型需要每次生成都进行反复迭代的操作,极大的加快了目标图像的生成时间^[12]。该方法可以计算和控制风格的比例从而实现灵活的用户控制。

3 基于混合特征提取的图像风格迁移算法

PatchMatch 是基于局部和全局的高效的块搜索与匹配的算法,由 Barnes 等^[13]首次提出。经典的 PatchMatch 算法其匹配效果和性能与传统逐像素图像块匹配算法相比有极大提升^[14]。基于这一算法的核心思想,本文提出使用 PatchMatch 算法来实现图像的风格迁移。

传统 PatchMatch 算法通常使用欧氏距离作为度量标准,通过测量块上 RGB 值的欧式距离去定义两块之间的距离^[3]。然而经典算法在寻找最佳匹配块时,仅利用了图像像素点的色彩信息,而图像的其他特征没有得到充分考虑与利用^[15]。针对这一不足,为提高特征提取环节对相似度距离的影响,本文提出基于颜色特征,基于 LBP 纹理特征,基于结构张量特征的混合特征提取新的距离度量方法,对传统 PatchMatch 算法进行了一定的改进,并最终通过 GPU 实现实时的图像风格迁移算法。

3.1 基于颜色特征的提取技术

颜色特征是描述图像表面性质的最直观的视觉特征^[16]。颜色特征具备以下两点优势而在特征提取中被广泛运用:(1)相对稳定,不受图像的摆放角度、方向、尺寸的影响;(2)颜色特征的提取过程,计算简便,复杂度较低。颜色特征的提取方法很多,本文主要采用应用最为广泛的 RGB 颜色空间提取图像的颜色特征。

RGB 颜色空间可视为建立在笛卡尔坐标系中的单位正方体,空间任意一点即表示一种颜色,任意色光可由三基色指定分量叠加得出^[17],形式化表示为:

$$F=r(R)+g(G)+b(B) \quad (1)$$

RGB 颜色空间是最常用的色彩模型,其与人类视觉系统运行机理高度关联,其模型计算简单,应用方便。若 RGB 特征值相近,则表示该匹配块颜色信息相似。

3.2 基于 LBP 纹理特征的提取技术

在图像风格迁移过程中,本文研究发现,大量的内容图像都存在较为复杂的纹理特征,所以仅通过颜色信息寻找最佳

匹配块,是不够全面的。所以如何快速提取内容图像及目标图像的纹理特征,并将其融合到最佳匹配块的度量标准中去,是本文的重点研究内容。LBP 算法是目前应用最广泛的纹理特征提取算子,本文主要采用 LBP 算法快速提取图像的纹理特征。

LBP(Local Binary Pattern, LBP)算法主要应用于图像纹理特征的提取,其核心思想是对图像局部区域进行灰度值逐点计算,并分别统计不同 LBP 值出现的次数,以此来描述该区域内图像的纹理特征,其计算简单,复杂度较低,而且具有较强的灰度不变性^[16]。

本文主要采用原始局部二值模式算法提取图像的纹理特征。其计算步骤为:(1)首先将图像转化为灰度图像,以方便后续 LBP 计算与特征分析;(2)将转化后的灰度图像分割成多个方形局部区域,以方便 LBP 值的计算;(3)以中心像素点为阈值,分别与 8 个邻域像素值进行灰度比较,邻域值大的位置记为 1,反之记为 0。最终得到一个 8 位的二进制序列^[16]。计算方法如式(2)(3):

$$LBP(x_a, y_b) = \sum_{p=0}^{p-1} 2^p f(i_p - i_c) \quad (2)$$

$$f(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } x \geq 0 \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (3)$$

其中 (x_a, y_b) 为中心像素的坐标, i_p 为邻域像素灰度值, i_c 为中心像素灰度值, $f(x)$ 为符号函数。

(4)结合每个二进制位所对应的权值,将二进制转化为十进制,即为该局部区域中心像素点的特征值^[16]。若 LBP 特征值相近,则表示该匹配块纹理特征相似。

3.3 基于结构张量特征的提取技术

结构张量通常用来分析图像的局部几何结构,它包含了局部区域的强度信息,特定像素邻域梯度的主要方向及其相干程度^[15]。

令 F 表示输入图像, $G_{\sigma,x}$ 和 $G_{\sigma,y}$ 表示高斯分布在 x 轴方向和 y 轴方向的导数,形式化定义为^[18]:

$$G_{\sigma}(x) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{\|x\|^2}{2\sigma^2}\right) \quad (4)$$

对 F 进行卷积,得到 x 轴和 y 轴上的偏导数 f_x, f_y , 结构张量表示为:

$$J(\nabla F) = \begin{bmatrix} f_x \cdot f_x & f_x \cdot f_y \\ f_x \cdot f_y & f_y \cdot f_y \end{bmatrix} := \begin{bmatrix} E & F \\ F & G \end{bmatrix} \quad (5)$$

结构张量的非负特征值为:

$$\lambda_{1,2} = \frac{E+G \pm \sqrt{(E-G)^2 + 4F^2}}{2} \quad (6)$$

结构张量特征向量的方向可表示为:

$$t = \begin{bmatrix} \lambda_1 - E \\ -F \end{bmatrix} \quad (7)$$

局部方向定义为: $\theta = \arg(t)$ 。

$\lambda_{1,2}$ 分别代表结构张量在像素点处的最大和最小特征值,表明图像局部边缘的强度^[15]。若其特征值相近,则表示该匹配块局部几何结构信息相似。

3.4 基于混合特征的欧式距离度量方法

欧氏距离计算的是 D 维空间中两点之间的真实距离,本文提出的基于混合特征的欧式距离度量方法形式化为^[3]:

$$D(W_p, V_q) = \sum_{(x,y)} \|W_p(x,y), V_q(x,y)\|^2 \quad (8)$$

3.5 基于 PatchMatch 的图像风格迁移算法

PatchMatch 算法主要包括 3 个步骤。

step 1: 位置初始化。图像 A 中的 3 个相邻图像块,被随机的初始化在图像 B 中的偏移位置。其后,对图像 A 中的所

有图像块迭代进行位置传播和随机搜索,如图 1(a)所示。

step 2: 位置传播。遍历图像 A 中的图像块,比较其相邻图像块在图像 B 中是否具有相似度更高的匹配(运用混合特征作为相似度距离度量),如图 1(b)所示。

step 3: 随机搜索。仅根据位置初始化与位置传播过程,往往不能得到最佳的匹配位置,容易陷入局部最小的情况。因此需要在更大的局部区域进行随机搜索以提供更好的位置偏移。随机搜索过程在一个逐渐缩小的窗口中随机选取某一块计算到待匹配块的距离,直到这一窗口的值小于块的大小时候停止^[19]。之后,将最近距离以及所对应的块作为待匹配块的近似最近邻。如图 1(c)所示。

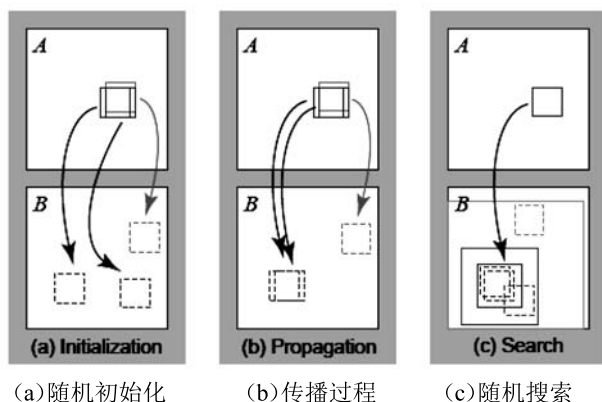


图 1 PatchMatch 算法过程图^[13]

本文采用 C++ 语言实现核心算法。实验硬件配置为: intel. Core.i7-6700HQ 处理器, 8.0GB 内存。软件配置为: Windows10 (X64) OS, VC++2015, OpenCV。基于 CPU 算力, 本文实现了混合特征提取的 PatchMatch 图像风格迁移算法, 但该算法存在的主要问题是匹配效率较低, 对一幅 512*512 分辨率的图像进行风格迁移及处理需要耗时 15 分钟。

为此, 本文进一步提出使用 GLSL 语言对算法进行了 GPU 改进。本文在此基础上进一步提出了 GPU-PatchMatch 图像风格迁移算法, 通过使用 GPU 并行计算能力提高了算法计算效率, 经过改进对一幅 512*512 分辨率的图像进行 GPU 加速风格迁移及处理仅需耗时 12 秒左右。

4 实验结果及分析

本文采用 Visual C++ 语言及 GLSL 语言实现核心算法。本文提出了一个简单新颖的基于混合特征提取的 PatchMatch 图像风格迁移算法, 取得了较为良好的合成效果, 但仍存在大量需要改进和优化的工作。其中结构张量特征值如何更好的融合到匹配块距离度量计算方法中, 仍值得进一步改进。



图 2 改进的 PatchMatch 图像风格迁移算法渲染效果



图 3 改进的 PatchMatch 图像风格迁移算法渲染效果



图 4 改进的 Gpu-PatchMatch 图像风格迁移算法渲染效果

参考文献:

- [1] 赵朋. 基于深度学习的图像风格迁移若干关键技术研究[D]. 浙江: 浙江理工大学, 2022: 1-62.
- [2] 刘建峰, 钟国韵. 基于神经网络的图像风格迁移研究综述[J]. 电子技术应用, 2022, 48(06): 14-18.
- [3] 王铖. 基于改进 PatchMatch 的图像迁移算法研究与应用[D]. 云南: 云南大学, 2018: 1-58.
- [4] 薛峰. 基于样图的纹理合成技术研究[D]. 安徽: 合肥工业大学, 2006: 1-135.
- [5] 孙天鹏. 基于 GAN 的局部写实感漫画图像风格迁移方法研究[D]. 江苏: 南京邮电大学, 2022: 1-66.
- [6] 张慧婕. 基于样图的纹理合成算法研究[D]. 河南: 河南理工大学, 2018: 1-64.
- [7] 赵杨. 基于结构张量方向引导的改进的 Image Quilting 图像风格迁移算法[J]. 电子测试, 2021(05): 46-48+11.
- [8] 陈淑环. 基于深度学习的图像风格迁移研究与应用[D]. 广东: 广东工业大学, 2019: 1-60.
- [9] Jue Wang., Yingqing Xu, etc. Video Tooning[J]. ACM Transactions on Graphics (TOG)-Proceedings of ACM SIGGRAPH 2004 (S0730-0301), 2004, 23(3): 574-583.
- [10] Holger Winnemoeller., Sven C. Olsen., Bruce Gooch. Real-time video abstraction [J]. ACM Transactions on Graphics (TOG)-Proceedings of ACM SIGGRAPH 2006 (S1-59593-364-6), 25(3): 1221-1226.
- [11] Yang Zhao, Guowu Yuan, Hao Wu, Yuanyuan Pu and Dan Xu. Real-Time Image and Video Artistic Style Rendering System Based on GPU. In Proceedings: Data Science-7th International Conference of Pioneering Computer Scientists, Engineers and Educators, ICPCSEE2021, 2021: 314-338.
- [12] HUANG X, BELONGIE. Arbitrary style transfer in real-time with adaptive instance normalization[C]. Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision, 2017: 1501-1510.
- [13] Barnes C, Shechtman E, Finkelstein A, et al. PatchMatch: a randomized correspondence algorithm for structural image editing[J]. ACM Trans Graph, 2009, 28(3): 24.
- [14] 田昊, 陆恒, 等. 基于改进 PatchMatch 算法的胶囊内镜图像相似度评估方法[J]. 中国生物医学工程学报, 2022, 41(06): 680-690.
- [15] 何雨亭, 唐向宏, 等. 结构张量的改进 Criminisi 修复[J]. 中国图象图形学报, 2018, 23(10): 1492-1507.
- [16] 宋楚楚. 基于 LBP 的文物图像特征提取方法研究[D]. 山西: 中北大学, 2021: 1-161.
- [17] 林鑫. 基于彩色纹理特征的板材分类研究[D]. 黑龙江: 东北林业大学, 2021: 1-76.
- [18] 赵杨. 基于 GPU 加速的水彩风格实时渲染绘制算法[J]. 信息通信, 2020(03): 280-282.
- [19] 尉寅玮. 最近邻搜索及图像修复技术研究[D]. 天津: 天津大学, 2013: 1-48.