

图像和视频油画风格化研究

黄 华 臧 或 张 磊

(西安交通大学电子与信息工程学院 西安 710049)

摘 要 图像和视频的油画风格化是计算机图形学中非真实感绘制的热点问题之一,在动漫、娱乐等领域有着较广泛的应用。回顾了图像和视频油画风格化绘制的发展过程,分类介绍了各种方法的特点,并比较了不同方法的优缺点。在此基础上,讨论了图像和视频油画风格化绘制存在的难点和可能的研究方向。

关键词 油画风格化,非真实感绘制,纹理,笔触

中图法分类号 TP391.4 **文献标识码** A

Survey on Image and Video Painterly Rendering

HUANG Hua ZANG Yu ZHANG Lei

(School of Electronic and Information Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract Image and video painterly rendering is an important problem in Non-Photorealistic Rendering (NPR), which has various applications in many fields, like cartoon animation, digital entertainment, etc. This paper reviewed the development of painterly rendering, whilst some typical approaches were investigated and classified, and the characteristic of each technique was fully analyzed. Based on this, some challenges and possible directions in the domain of image and video painterly rendering were discussed for reference.

Keywords Painterly rendering, Non-photorealistic rendering, Texture, Stroke

1 引言

非真实感绘制是计算机图形学的重要分支之一。与追求物理准确性、绘制真实性的真实感计算不同,非真实感绘制通常采用艺术的表现手法,如油画、钢笔画、水彩画等来绘制场景,从而使得绘制效果能够传递丰富的情感。在各种非真实感绘制风格中,油画以其悠久的历史和丰富的表现力受到广泛的青睐,它既可以精确地描绘场景(如图 1(a)所示),也可以通过一定的艺术夸张手段传达画家的某种情感(如图 1(b)所示)。



图 1 不同风格的真实油画作品

图像的油画风格化绘制是将一幅输入的真实图像转化成具有油画风格的绘画作品,而视频的油画风格化绘制是图像绘制技术的进一步推广。图像和视频的油画风格化绘制在动漫、娱乐等领域有着较广泛的应用,因此得到了众多研究者的关注。

本文回顾了油画风格化绘制的发展过程,按其处理对象

和绘制方法,分类介绍了每种方法的特点,并在此基础上分析、讨论了待解决的技术难点及可能的研究方向。

2 图像的油画风格化绘制

图像的油画风格化绘制方法大体可以分为两类:基于模拟的绘制技术以及基于学习的绘制技术。基于模拟的绘制技术致力于模拟真实的油画创作过程,通过在画布上叠加各种颜色、尺寸的笔触生成油画。而基于学习的绘制技术则多通过纹理合成的方法模拟给定模板图像的风格特征等,从而使结果不仅保持目标图像本身的内容也具有模板图像的风格。下面就两种不同的思路分别进行介绍。

2.1 基于模拟的绘制技术

基于模拟的绘制技术着眼于模仿画家的创作过程,图 2 是这类技术的一般绘制框架。通过该图可以看出,这类技术主要着眼于绘画过程中的 3 个主要方面:笔画属性的定义、笔画的布置策略以及笔画方向设计。而该技术的发展也基本遵循这一线索:在发展初期,对笔画的定义以及笔画布置策略的设计成为诸多研究关注的重点,如何自动布置笔画、渲染笔画是这一时期的主要研究工作;随着这两方面研究的逐渐成熟,如何生成更自然、逼真的艺术作品渐渐成为大家追求的新目标,而由于笔画的方向场在视觉上的显著性,模拟更自然、更贴近现实艺术作品的笔画走向,逐渐成为了新的研究热点。下面根据各绘制技术的特点进行分类介绍。

到稿日期:2010-11-30 返修日期:2010-12-30 本文受国家自然科学基金(60970068),中国博士后科学基金(20100471618)资助。

黄 华(1975—),男,博士,教授,博士生导师,主要研究方向为图像与视频处理、模式识别与机器学习, E-mail: huanghua@xjtu.edu.cn;臧 或(1985—),男,博士生,主要研究方向为图像与视频处理;张 磊(1981—),男,博士后,主要研究方向为计算机图形学。

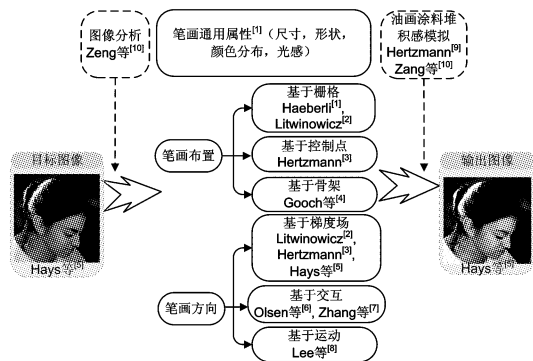


图2 基于模拟的绘制技术框架

2.1.1 笔画属性

Haerberli^[1]在1990年提出的交互式绘画渲染方法是最早的绘制技术之一,这一工作对笔画属性的定义及笔画布置模式的设计很大程度上影响着后来的研究工作。在这一工作中,笔画主要具有如下属性:位置、尺寸、颜色、方向以及形状,而其中大部分属性的确定都来源于用户的交互输入。比如鼠标移动的起始点决定了笔画的位置,鼠标移动的速度决定了笔画的尺寸,鼠标移动的方向决定了笔画的走向,而笔画的形状则由用户从一个预先定义的菜单中选择。通过对上述属性的定义和表达,得以表现各种风格的绘画效果。这一工作为后来的绘制技术提供了许多很有意义的参考,比如对笔画关键属性的定义就被后来的绘制技术纷纷采纳。然而,过多的交互使得这种方法对用户的要求很高,因此如何实现一种自动的绘制技术就成了后来的一些绘制工作^[2-4]关注的重点。

2.1.2 笔画布置

Litwinowicz^[2]提出的绘制技术主要致力于绘画过程的自动性。整个画布首先被均匀地分成一定大小的栅格,笔画以固定的间隔分布在整个画布上,其尺寸由一些预先定义参数决定,其颜色由参考图像在相同位置的颜色决定。在笔画方向的计算方面,笔画的方向被定义为其放置点处局部梯度的法向,从而避免了用户的交互过程。同时,通过一种结合Canny边缘检测技术的笔画截断算法来保证一些细节不被破坏。这一工作也可以扩展到视频方面,具体技术后文会提到。然而,该技术的笔画布置策略仅是直线形式,直接限制了它的艺术表现力,因此更自然的笔画布置策略逐渐成为后续工作的重点。



图3 Hertzmann^[3]的绘制结果

Hertzmann^[3]随后提出的基于多层以及曲线笔画的绘制方法对真实绘制技术做了更加逼真的模拟。多层绘制技术对画布进行多次渲染,最先渲染的一层由大尺寸笔画构成,以完成对作品框架的勾勒,随后渲染的各层中笔画尺寸逐步减小,并且主要集中在纹理细节丰富的区域,以保证对细节部分的准确描绘。在此基础上,传统笔画的直线布置被一系列控制点取代,进而对这些控制点进行反走样三次B样条拟合,从而形成自然的弯曲笔画。这种多尺度曲笔绘制技术能够更好地模拟真实的绘制过程,从而使绘制效果有了长足的进步,对

后来的绘制技术有着重要的影响。图3给出了这种方法的绘制结果,其中图3(a)为输入目标图像,图3(b)为绘制结果。

Gooch等^[4]同样采用了曲线笔画绘制技术,但是笔画的布置策略却与以前大不相同。在这一工作中,待绘制图像首先依据强度的相似性被分割为不同的块,对每一块提取其骨架,然后通过一种分组算法连接相近的骨架,从而形成完整的笔画骨架标识符(tokens),最后按得到的骨架标识符将笔画渲染在画布上。这种方法对笔画布置的思路令人耳目一新,然而由于比较依赖分割的结果,并且对噪声比较敏感,因此在一定程度上影响了一些细节区域的绘制效果。

随着笔画定义和布置模式的逐渐成熟,笔画的走向作为显著的视觉元素逐渐成为绘制效果的瓶颈,因此随后对此进行了不少的改善工作。

2.1.3 笔画方向

Hays和Essa^[5]总结了以前各种方法的优点,提出了一种统一的绘制框架,并重点对笔画方向的计算进行了改善。除了采用分层绘制机制以及曲线笔画外,该工作的一个重要贡献在于计算笔画方向场。之前的绘制技术对笔画方向主要确定为局部梯度的法向。然而这样的计算方式对局部梯度的噪声非常敏感,因此笔画比较明显时画面较乱。在这一工作中,一些局部梯度较强的点被选为种子点,这些点处的方向由梯度法向决定。其他点的方向由这些种子点进行RBF插值获得。通过这种方式确定的笔画方向更加自然、平滑,并更接近于真实的绘画过程。图4给出了这种方法的绘制结果。其中图4(a)为输入目标图像,图4(b)为绘制结果。

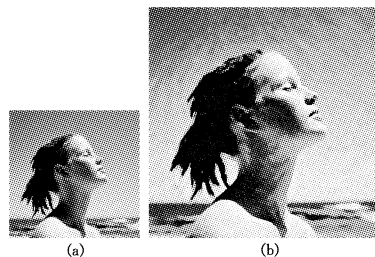


图4 Hays等^[5]的绘制结果

Olsen等^[6]提出了一种交互式向量场设计策略,即允许非专业用户在绘制过程中通过一些人工交互设计特定的方向场。首先,通过Mean Shift色彩空间聚类方法,将图像分成不同的区域,每个区域标定了不同风格方向场的作用范围。在一些平坦区域,通过漩涡动力学与流体模拟技术的结合,该工作提出了一种鲁棒的、易于控制的向量场计算技术,从而使类似Van Gogh作品中充满旋转动感的方向场得以模拟;而针对一些细节纹理丰富的区域,传统的RBF方向场计算方式又可以保证一些细节的完整。

Zhang等^[7]针对绘制技术中的方向计算提出了一种张量场设计系统以及相应的可视化技术,使用户可设计出样式更加广泛的表面张量场。针对张量场中难以消除的退化点(degenerate points)经常带来的不自然效果,这一工具允许用户移动退化点的位置或通过放置一对性质相反的退化点来编辑张量场。通过这种工具,方向场可以被更自由地设计,同时可以表达更广泛的方向场样式。该技术同样可以用来对传统方向场进行修正,从而使之更自然、平滑。

Lee等^[8]认为传统的基于梯度法向的方向场计算方式擅长描述物体的形状,而对于物体的运动则不能很好地表达。

真实艺术作品中常有根据语义上物体的运动来确定笔画走向的方式,其具有很好的动感。该工作中,系统输入为几帧连续的图像序列。根据输入进行两方面的分析工作:1)运动分析,计算物体运动的方向、幅度、标准差;2)图像分析,根据梯度和边缘检测结果构建边距图(Edge distance map)。在渲染时,对于运动趋势比较显著的区域,方向场由运动方向决定。而对于那些运动不很明显的区域,采用传统的基于梯度法向的方向场计算方式。该技术比较适合绘制一些具有运动特性的物体。

2.1.4 涂料堆积感模拟

通过对笔画属性、笔画布置和笔画走向 3 方面的研究,基本的基于模拟的绘制框架已经比较完善,绘制效果也日趋逼真。然而,除了前文提到的绘制过程中的 3 个关键步骤外,对油画艺术中特有的涂料堆积感的模拟也为画面的艺术感添彩不少,其中代表性工作包括 Hertzmann^[9] 以及 Zeng 等^[10]。

Hertzmann^[9] 最早注意到对油画中涂料堆积感的模拟,并提出了一种特殊的笔画渲染技术。在该技术中,笔画除了渲染在画布上外,还按照一个预先定义的透明度和高度场渲染出一幅完整的高度图。根据这样一个高度图和 Phone 光照模型,可以为画布叠加光照效果,从而实现油画艺术中特有的涂料堆积感。这一工作也被后来的绘制技术^[5,20] 吸纳。

Zeng 等^[10] 在涂料堆积感的表达中采用了另一种方式。在渲染过程中,不同于 Hertzmann^[9] 通过计算机模拟表达涂料堆积感,这一工作建立了一个笔画词典(Stroke Dictionary),其中的笔画全部采自真实绘画作品中,根据不同区域的特点,自动选择词典中相应的笔画进行渲染。此外,该工作还提出了一种基于图像分析的绘制方法。首先,通过交互的方式,整幅图像被分解为一个语义树(Parse Tree),这种树结构使图像中的每一部分得以有层次地表达,进而可以得到一个草图用以计算笔画布置所需的方向场,并表现不同重要性的结构。由于笔画的逼真度较高,该技术可以很逼真地模拟真实的绘画作品。同时,通过建立的语义树,一幅作品的不同区域可以用不同风格渲染。

基于模拟的绘制技术属于一种临摹式的绘制方式,其重点并不在于支持一种友好的设计模式,因此这种艺术模式对用户的素质要求是很高的。也就是说,只有充分了解了绘制过程中每个参数的意义后,用户才可能得到符合自己审美的个性化作品,这对业余用户来讲门槛太高了。因此一种更友好的艺术设计模式日益成为人们关注的重点,并形成了油画风格化绘制中的另一个分支:基于学习的绘制技术。

2.2 基于学习的绘制技术

随着基于模拟的绘制技术日趋成熟,这种绘制模式在艺术设计方面的弊端逐渐表现出来。在其绘制框架中,不同风格艺术作品通常由一些封装好的绘制参数决定。如果希望得到喜爱的风格,用户必须对这些绘制参数的含义有较好的理解,通过反复调整这些参数,来得到个性化的艺术结果。然而,对于大多数业余用户来讲,这一操作显然过于复杂了。一种更友好的方式应该是用户选择一个类似的风格模板,然后告诉计算机:“照着这个模板的风格画!”^[11],基于这种需求,图像油画风格化的另一个分支:基于学习的绘制技术产生并逐渐发展起来。图 5 给出了基于学习的绘制技术的框架,通过不同的学习模板和学习方法,用户被允许对作品进行更广

泛的设计。

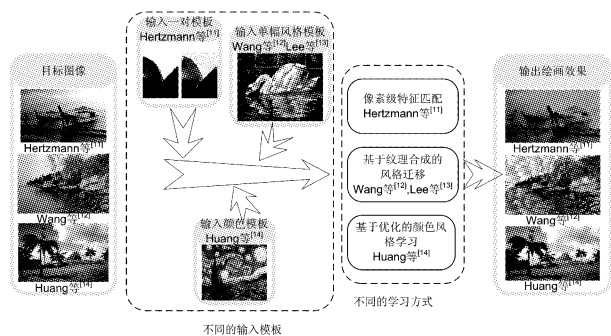


图 5 基于学习的绘制技术框架

2.2.1 基于类比的学习模式

Hertzmann 等^[11] 提出的图像类比是基于学习的绘制技术的雏形。在这一工作中,用户需要输入一对关系样本(记作 A 和 A')以及一个目标图像(记作 B),以亮度通道作为特征空间,建立每一个输入图像的高斯金字塔。然后,通过一个多尺度、逐像素的匹配过程,可以得到输出 B' ,使得 B 和 B' 的关系与 A 和 A' 的关系相同。这种技术的最大优势在于从 B 到 B' 的关系是由模板 A 和 A' 决定的,这意味着用户可以通过一种非常直观的方式定义输出图像的风格,而不必面对繁杂的参数。由于这种技术为非专业用户提供了一种非常友好的风格设计模式(用户仅需提供一对学习模板),使得这种基于学习的绘制技术在随后得到了广泛的关注和发展。后续技术^[12-14] 对输入模板进行了进一步简化,从而更加方便用户设计。

2.2.2 基于单模板的学习模式

Wang 等^[12] 提出了一种高效的基于纹理合成的风格迁移技术,从而简化了模板输入。在该工作中,用户仅需输入目标图像以及一幅风格模板图像,就可渲染出具有模板风格的结果。首先,用户需要在模板图像中指定一些最能代表其风格的块,系统将自动建立这些块在不同尺度、不同方向下的金字塔。然后根据目标图像的内容进行分割,并计算每个分割区域的方向场,依据这一方向场和分割区域的尺寸,选择不同方向和尺度的风格块进行合成。该技术由于以块为单位进行操作,并且不需要任何训练过程,因此大大加速了整个合成过程。图 6 是该技术的一个结果,其中图 6(a)为输入风格模板以及几块交互输入的最能代表模板风格的风格块;图 6(b)为待绘制目标图像;图 6(c)为绘制结果,具有目标图像的内容和模板图像的风格。

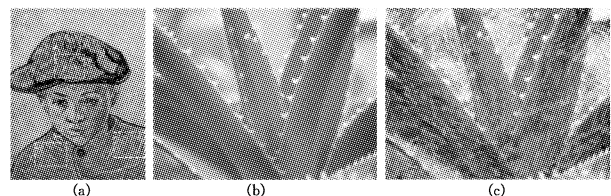


图 6 Wang 等^[12]的绘制结果

在此基础上, Lee 等^[13] 提出了一种基于有向纹理合成的风格学习技术,重点考虑了目标图像本身的方向场特征。通过在传统快速纹理迁移技术的基础上添加一个额外的能量项,来衡量目标图像梯度的影响,并通过一个方向性因子来描述目标图像的梯度方向,以在表现模板图像纹理风格的同时,

能较好地保持目标图像本身的方向场。此外,该工作还提供了一种估测方向性因子的方法,以避免用户反复调整参数的问题。

Huang 等^[14]针对油画绘制中特有的颜色空间,提出了一种重点考虑颜色特征学习的绘画渲染方法,以学习给定模板的颜色风格,从而使输出结果更具艺术化颜色特点。这一工作首先从数学上定义了一些决定参考模板颜色感情和颜色风格的颜色特征,包括色调、冷暖等,然后针对这些特征提供了一种基于优化的学习机制,并建立二分图匹配对这一优化问题建模,进而采用经典 KM 算法解决该问题。针对结果中可能出现的一些伪边界效应,该工作提出了一种基于图像分割的后处理技术,以保证空间上连续的结果。该工作通过对颜色风格的学习使得输出结果与给定模板风格相似,并更具艺术化特点。

基于图像的油画风格化绘制技术的成功使人们很自然地希望将其拓展到视频绘制中。然而传统的基于笔画的绘制框架在视频中会造成强烈的闪烁效应,极大地影响了最终的效果。针对这一核心问题,涌现了大量工作。下一节将介绍油画的视频绘制工作。

3 视频的油画风格化绘制

相对于单幅图像的绘制,视频的油画风格化绘制更具有挑战性。这主要是由于视频是由一系列按照时间、空间顺序排列的帧图像组成,前后相邻帧之间具有一定的时空相关性。如果简单地对每一帧进行单独绘制,势必产生严重的帧间不连续,造成绘制画面的视觉闪烁。因此,生成高质量的视频油画的关键,是如何提高绘制过程中的帧间连续性,以有效消除绘制画面的视觉闪烁^[15,16]。图 7 为视频绘制的一般框架。根据表示形式的不同,视频的视频绘制可以分为基于视频序列和基于视频体的绘制方法。

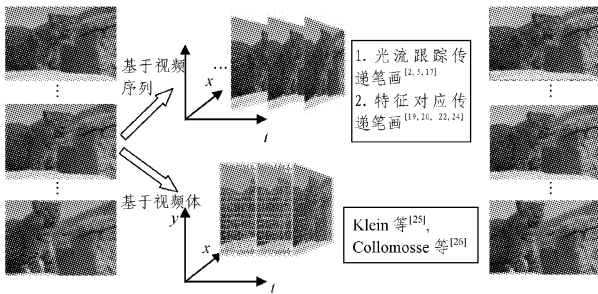


图 7 油画的视频绘制框架

3.1 基于视频序列的绘制方法

该方法通过将笔画属性、笔画方向在各帧之间进行光滑的传递过渡,来生成连续的视频油画。为了进行光滑传递,通常需要在前后帧之间建立对应关系,然后按照对应顺序传播笔画。下面根据笔画传播的特点对基于视频序列的各种油画绘制技术进行具体介绍。

3.1.1 通过运动差异传播笔画

Meier^[15]提出了一种跟踪三维模型运动的视频绘制方法。其输入是三维模型,然后采用粒子跟踪的方法,通过粘附于物体上的笔刷,将笔画的几何位置等绘制参数变换到运动过程中的每一帧进行绘制,最后通过投射变换得到二维的视频绘制结果。为了生成正确的笔刷绘制结果,在映射到二维时,代表笔刷的粒子按照深度排序,由远及近投射,作为笔画

的几何位置;笔画定向则是通过简单地将三维模型法向投射到平面得到;笔画的尺寸、纹理等则可由用户指定。该方法不是直接以视频作为输入,因此不能有效绘制一般的输入视频。

Litwinowicz^[2]首先提出了以视频作为输入的油画风格化绘制方法,即采用跟踪相邻帧之间的像素运动的方法传播笔画。在第一帧完成绘制后,相应的笔画位置沿光流方向进行位移传递,得到第二帧上笔画的初始布置。考虑到相邻两帧的差异,简单地传递前一帧笔画,会造成笔画超出画面或者笔画位置分布不均。因此,该方法进一步采用 Delaunay 三角化的方法在前一帧传递的笔画分布的基础上添加新的笔画位置,使得笔画能够覆盖新的画布。然后利用相同的绘制方法得到当前帧的绘制结果。该方法绘制的视频多呈现印象派风格。由于计算的不稳定性,简单地将光流作为笔画传播工具,对很多复杂场景的视频仍然会产生严重的视频闪烁。

Hertzmann 和 Perlin^[17]指出视频绘制时的闪烁主要是视频中的同一静态场景在不同帧使用不同的笔画参数进行绘制引起的。他们提出的一种改善方案是对每一帧计算一个差异掩模,即当前帧与经过光流变化的前一帧的差异,用来表征与前一帧的变化。然后仅在差异比较大的区域进行重新绘制,从而可以减少静态区域的闪烁。而对于相邻帧之间变化缓慢的视频,比如渐进渐出,采用一段视频序列的累积差异掩模。当累积差异较大时,再进行重新绘制。为了进一步减少闪烁,绘制当前帧差异较大的区域时,将前一帧的笔画控制点经过光流变化得到当前帧的笔画。采用光流在帧之间传递笔触,使得场景中对对应部分采用一致的笔触绘制,从而减少视频闪烁。Kovacs 和 Sziranyi^[18]则综合 Litwinowicz^[2]以及 Hertzmann 和 Perlin^[17]两种方法,将整个视频分解为一些关键帧的组合,关键帧之间在变化较大的区域采用如 Litwinowicz^[2]的方法传播笔画,然后采用 Hertzmann 和 Perlin^[17]方法进行绘制。由于绘制前后帧之间差异较大的区域时没有考虑笔画的一致性,这种方法不能够有效解决绘制不连续的问题,严重的视觉闪烁仍旧存在。

Hays 和 Essa^[5]也采用光流的方法在视频各帧之间传播笔画。与 Litwinowicz^[2]在绘制时采用的笔画模型不同,在对每一帧进行滤波后,根据图像频率的不同,将其分解为不同的层,每一层根据边缘频率由相应参数的笔画进行绘制,然后在不同层传播笔画。对于每一层上没有被笔画覆盖的区域,添加新的笔画绘制。最后将各层上的笔画叠加,得到最终的绘制结果。该方法不但画面绘制结果更具有油画的效果,而且对于简单场景的视频,能够生成连续性比较好的绘制结果。

Park 和 Yoon^[19]提出了一种基于运动图的视频绘制方法,其核心是通过相邻帧间的场景差异计算每一帧的运动图。运动图包含两种:强运动和弱运动。强运动是由物体边界处运动引起的,弱运动则是位于物体内部区域的运动。在布置笔画的时候,根据两种不同运动图引导笔画位置、方向等的传播,然后进行绘制。对于强运动,采用尺寸大的笔画在前一帧的基础上进行绘制;而对于弱运动,则采用小尺寸笔画再绘制。这种针对运动的笔画布置方法,可以有效减少运动物体内部的视觉闪烁。

Kagaya 等^[20]提出了一种基于场景内容的视频绘制方法,该方法根据场景内具体包含的物体进行笔画的布置,能够进行多风格绘制。首先对输入视频采用 Video Tooning^[21]的

方法进行时空一致的分割,通过用户交互在关键帧指定笔画的绘制参数,然后求解 Laplace 方程,将关键帧的参数扩散到整个视频序列,最后根据每一帧上每个像素得到的参数对视频进行绘制。由于在整个视频求解笔画布置参数,因此该方法可以得到视觉连续性较好的绘制结果,但对于运动比较快速的视频场景,仍无法有效消除视觉闪烁。

3.1.2 通过特征对应传播笔画

Lin 等^[22]提出了基于视频语义分析和场景内容特征对应的绘制方法。首先在关键帧上通过用户交互的方法分割视频图像,并借助图像解析^[10]的方法得到每个分块的语义标签,进而得到其相应的笔画模型。然后通过视频分割技术,如 Video Snapcut^[23]等,获得整个视频的一致分割,并对每一帧的分块都建立语义标签;对于每一分块,检测其特征点,建立特征点对应,借助薄板样条得到同一分块在相邻帧的变换,从而将关键帧的笔画传递到其它各帧。在绘制时,首先采用通用笔画模型绘制场景,然后根据由标签获取的笔画再进行精细绘制,从而得到更完善的油画效果。为了进一步减少视频闪烁,相邻帧之间对应的笔画连接形成阻尼系统,通过优化该系统控制笔画的变化。

Huang 等^[24]基于视频中的运动分层技术,将视频场景根据运动模型分解为不同区域。对于背景区域,利用图像匹配技术拼成全景图,在全景图上进行笔画布置,然后再映射回每一帧;对于运动的前景区域,借助薄板样条插值得到运动变换,然后将关键帧上的笔画依次传递到其余各帧进行绘制。由于绘制视频的背景来自于同一个全景图,因此该方法可以完全消除背景层上的视频闪烁;同时,利用光滑函数传递笔画,也可以有效消除前景运动的闪烁。另外,通过调节不同分层上的笔画,也可以生成多风格的视频绘制效果。但是该方法不能够处理具有周期性运动的视频场景,如波浪、烟雾等的绘制。图 8 给出了该技术的绘制结果,其中第一行是分层结果,第二行是分层结果在各帧之间的传播,第三行是间隔 10 帧的绘制效果。



图 8 Huang 等^[24]的绘制结果

相对于运动差异传播笔画的方法,借助特征对应传播笔画,通常可以取得更好的绘制效果。这是由于视频特征往往蕴含了诸如运动、视差等具有高级语义的信息,更加符合人的主观认知,从而使得绘制出来的油画视频更具观赏性。因此特征对应的笔画传播技术受到越来越多的关注,也成为基于视频序列绘制的发展趋势。

3.2 基于视频体的绘制方法

视频除表示为按时间顺序的图像序列外,还可以看作一个体表示,能够从整体的角度进行处理。Klein 等人^[25]将视频序列表示为体,然后通过创建体绘制单元将视频序列进行整体分解。每个绘制单元是一个定义在时间轴上的向量函

数,定义了笔画的绘制参数,从而将离散的视频像素表示转化为一组连续函数的集合。在进行油画风格化绘制时,在视频立方体内通过三次 B-样条对重要特征像素点插值,获得连续曲线段表示的绘制单元,进而将视频分解为三次 B-样条曲线的集合。然后,每一帧的每个像素的绘制参数由体单元在相应时间平面的截值确定,从而得到整个视频的绘制结果。每个体单元都包含了相邻帧的颜色等信息,因此能够减少视频闪烁。

Collomosse 等^[26]提出一种 Stroke Surfaces 的视频表示方法,即首先将视频转化为体分割的中间表示,用 Stroke Surfaces 来表示相邻体分块相交曲面,然后再进行绘制。在对每一帧进行分割后,为了避免分割过细,以位置和颜色作为度量函数参数,通过相邻帧分割区域匹配的 $2D+t$ 的方法得到视频体分割。在绘制时,Stroke Surfaces 在时间轴的每一个截面都可以由样条曲线表示。通过相邻 Stroke Surfaces 在相邻两帧的变化可以估计运动,从而可以连续地进行笔画布置。通过调节控制 Stroke Surfaces,可以得到不同效果的绘制。这种方法绘制的视频油画表现力更加丰富,画面过渡也更加连续。

4 分析和讨论

随着绘制技术趋于成熟,对油画风格的模拟效果越来越逼真,然而这种辅助绘制的结果与真实作品的差异依然相当明显。本节将探讨这一领域依然存在的技术难点及可能的发展趋势,供后续研究参考。

4.1 图像绘制技术

图像的绘制技术主要包含两个方向,其中基于模拟的绘制技术侧重模仿,而基于学习的绘制技术侧重于设计。下面分别就这两个方向进行讨论。

4.1.1 基于模拟的绘制技术

基于模拟的绘制技术通常以 Hertzmann^[3], Hays 和 Essa^[5]以及 Zeng 等^[10]为代表。这 3 种绘制技术在攻克了油画绘制中的各个难关后,显著提升了当时的绘制效果。Hertzmann^[3]首先设计的曲线绘制技术相比传统的直线笔画更加逼真,并且更具艺术表现力,同时在随后的工作中^[9]提供了一种对油画中涂料堆积感进行模拟的方法,给后来的工作带来了很大的启示。Hays 等^[5]在笔画的走向方面做了重点研究,传统的基于局部梯度的方向场计算模式被 RBF 插值技术取代,从而使画面整体更加自然,而后来的一些基于交互的方向场设计方法^[7,6]也将这方面研究工作推到了顶峰。Zeng 等人^[10]的工作主要将图像分析与油画绘制相结合,同时对笔画的建立及渲染模式做了重要革新。该技术通过建立真实的笔画纹理库,并在不同区域选用不同的笔画来渲染,从而极大地提升了绘制效果。虽然基于模拟的绘制技术在不断完善,绘制效果也越来越逼真,然而绘制工作中的一些难点问题依然没有得到很好的解决。

在笔画纹理的建模方面,Hertzmann^[9]提出采用凹凸映射技术及一个创建的笔画高度图对整个画面进行光照渲染,从而实现油画作品中特有的涂料堆积感,然而其效果和真实的绘画作品仍然存在一定差距。Zeng 等人^[10]通过建立一个笔画词典 (Stroke Dictionary),在模拟效果上做出了重大改善,然而这种方法在易用性和灵活性上还存在瑕疵。首先,用

户可能不希望在使用一种绘制技术的同时另外去下载一个笔画词典,其次,若要对笔画进行一些个性化设置,那么采用这样一种方式也很不方便。因此,在笔画纹理建模方面,如何建立一个通用的笔画纹理模型,使其能较好地模拟真实的油画笔触,并对不同的风格具有良好的参数化表示,从而方便用户进行灵活的个性化设置,在未来的研究中依然存在广阔的空间。

另外,在油画的颜色方面,艺术化颜色的模拟仍未得到深入的研究。传统的绘制技术常致力于通过对油画的基本单位——笔画的模拟来得到真实照片在结构方面的艺术化抽象,却很少关注如何构建一个合理的艺术化颜色空间。Zeng等^[10]及Huang等^[14]虽然在其工作中注意到了这方面问题,并提出了一些模拟冷暖、补色等艺术对比的手段,然而整个油画颜色方面的研究仍显得比较单薄。事实上,在绘画过程中,艺术家除了对场景的结构方面进行简化之外,也经常在颜色、光影等方面进行一定的抽象和夸张,而这些也是绘画作品的关键视觉特征。因此,如何建立从真实照片颜色空间到艺术作品具有夸张特点颜色空间的映射关系,使绘制结果在颜色、光影方面也具备一定的艺术气息,还需要在未来的工作中进行深入研究。

4.1.2 基于学习的绘制技术

基于学习的绘制技术,其初衷在于如何在绘制过程中让用户进行更自由的设计。现有的基于学习的绘制技术通常致力于对风格的学习。这里“风格”这一概念往往被定义为一种特殊的纹理^[11-13],这类风格学习技术在处理一些具有独特纹理的风格上(如Van Gogh的绘画风格)具有不错的表现,然而采用这种像素级的低层特征来描述风格仍然存在一些固有的问题。首先,很多风格的形成是与某些高层特征相关的,因此其不太适合采用这种像素级的特征描述。如图1(a)所示,这种写实派风格是油画艺术中一种常见的艺术形式,其特点主要表现为画面非常细腻,几乎看不到笔触的存在。这样一种风格显然无法通过纹理特征来描述,而对其进行模拟的关键在于笔画之间的融合及绘制精度控制。另外,这种纹理合成的方式变化比较单一,画面常常显得较为机械,缺乏个性,这也是这种对“风格”定义方式不可避免的问题。而在真实的作画过程中,画家往往通过绘画技法的变化来表现不同的风格,从这个意义上讲,“风格”可以被定义为一系列与绘制单元和绘制技法相关的高层特征的集合,并且应该是独立于作品内容的。这些特征包括笔画的各种属性(如尺寸、纹理等),也包括抽象的绘制技巧,如笔画走向等。这种风格描述方式显然具备更强的表现能力,并更接近真实的绘制过程。因此,如何从这些高层的绘画元素出发,建立统一的风格描述框架,从而赋予绘制系统更强的风格学习和表达能力,将成为基于风格学习的绘制技术中一个新的挑战。

此外,现有风格学习技术允许用户进行一些风格方面的选择,然而对其他一些艺术设计却仍然没有很好的办法(比如对画面中特定的物体进行形状方面的艺术夸张,或者对整个画面的构图和艺术布局等),这其中的一个关键挑战是如何在缺少成对学习模板的情况下,抽象并表达语义相关的艺术设计行为。首先,艺术家进行艺术创作的过程通常是对脑海中想象场景的表达,因此大多数艺术作品对应的现实原型是无法获取的。在这种缺少成对模板的情况下,如何学习从现实

场景到艺术作品的映射关系就变得十分棘手。其次,很多艺术设计行为可能是语义相关的,例如一个艺术家在设计漫画肖像时通常会考虑临摹对象异于常人的特点,并通过对这种特点的放大来表现特定的夸张效果,对这种语义相关行为的模拟本身就是一个极大的挑战。因此,如何在训练数据缺失和高度语义相关的情况下进行更加广泛的艺术设计模拟,依旧是目前研究工作中的难点。

综上所述,目前的基于学习的绘制技术对艺术设计方面的支持仍然是比较薄弱的,因此在支持艺术设计的绘制领域依然存在广泛的研究空间。

4.2 视频绘制技术

与单幅图像的油画绘制不同,帧间连续性仍然是视频绘制中具有挑战性的核心问题。无论是基于视频序列的绘制技术,还是基于视频体的绘制技术,都是围绕如何避免绘制后的视频闪烁展开的,而这也是生成高质量油画视频的关键所在。

4.2.1 基于视频序列的绘制技术

从最近几年的研究趋势来看,基于视频序列的绘制技术倾向于对视频场景进行具有高级语义的内容分析^[22],根据物体类别、运动等属性,对场景进行划分,然后将笔画在具有相似属性的区域进行一致传播。但是目前这些技术通常以颜色分布、光流等的计算作为输入,具有不稳定性,而且对于复杂的场景,往往需要大量的手工交互才能获得准确的场景划分,生成理想的绘制结果。另外,这类方法不能够对诸如烟雾、水流、海浪等局部不稳定而整体呈现一定周期性的场景进行合理划分,进而无法有效传递笔画,生成视觉连续的绘制帧。因此,如何对视频场景引入更深入的语义解释,以及更准确地在帧间传递笔画,仍是基于视频序列绘制技术的挑战性问题。

4.2.2 基于视频体的绘制技术

基于视频体的绘制技术对场景过渡缓慢的视频通常可以获得三维空间中连通性很好的划分,进而布置笔画时可以得到理想的绘制效果。相反,对于运动剧烈、前后帧关联性较小的场景,基于视频体的技术仍然不能够有效处理体内笔画的不连续,这是因为在这种情况下,尽管整个视频序列被作为一个体来处理,但由于内部场景可能存在不相关性,视频体会被割裂成很多小的视频体,而小的视频体之间缺乏笔画连续传播手段。因此,关于视频体绘制研究仍处于起步阶段,还有很多关键的问题需要解决。

另外,相对于单幅图像,视频包含的数据量要大得多,对计算机软硬件以及算法复杂度的要求也更高。目前的绘制技术普遍算法复杂,计算时间较长,整个绘制过程缓慢,更不可能得到实时的反馈。而在视频每一帧的油画绘制中,及时地反馈绘制效果,可以更好地指导笔画的传播并进行以后各帧的绘制,这就需要对现有的算法进行优化,进一步提高其运行效率。随着计算机硬件水平的提高以及并行化技术的发展,通过对绘制流程进行有效组织和设计,充分挖掘现在计算机的计算能力,也是视频绘制的一个重要问题,对于油画视频的推广也具有很强的现实意义。

结束语 本文总结了图像和视频的油画风格化绘制的相关研究工作,并分类比较了各种不同方法的优缺点。目前的计算机辅助绘制技术虽然为用户提供了非常方便的艺术接口(如各种笔刷、滤镜),但相比真实艺术作品的效果和艺术性仍

(下转第27页)

Princeton, NJ, 2006

- [33] Cai N, Yeung R W. Secure Network Coding[C]// Proc. IEEE Int'l. Symp. Info. Theory. 2002;323
- [34] Jain K. Security based on network topology against the wiretapping attack[J]. IEEE Wireless Communications, 2004, 11(1): 68-71
- [35] Bhattad K, Narayanan K R. Weakly secure network coding[C]// Proc. NETCOD'05. Riva del Garda. Italy, Apr. 2005
- [36] Adeli M, Liu Hua-ping. Secure Network Coding with Minimum Overhead Based on Hash Functions[J]. IEEE Communications Letters, 2009, 13(12): 956-958
- [37] Rouayheb S Y E, Soljanin E. On wiretap networks II[C]// Proc. IEEE Int. Symp. Information Theory. Nice, France, 2007;551-555
- [38] Luis M V, Luis Roderio-merino, Juan Caceres, et al. A break in the clouds; toward a cloud definition[J]. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2009, 39(1): 50-55

- [39] Schonlaum, Dumouchelw, Ju Wen-hua. Computer intrusion; Detecting masquerades[J]. Statistical Science, 2001, 16(1): 1-17
- [40] 余顺争, 唐人亨. 二商品流最大流问题的合成流算法[J]. 北京邮电学院学报, 1987, 10(2): 21-29
- [41] MinJi Kim, Lu'sa Lima, Zhao Fang, et al. On Counteracting Byzantine Attacks in Network Coded Peer-to-Peer Networks[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2010, 28(5): 692-702
- [42] Liu Ai-xi, Yu Shun-zheng. Secure Physical Layer Network Coding; Challenges and Directions[C]// The International Conference on Internet Technology and Applications (iTAP 2010). Wuhan, August 2010
- [43] 王静. 网络编码理论及其应用的研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2008
- [44] 贾春福, 钟安鸣, 等. 基于系统调用的 Linux 系统入侵检测技术研究[J]. 计算机应用研究, 2007, 24(4): 147-150

(上接第 6 页)

有不小的差距。因此, 如何更好地支持艺术设计工作, 更多地模拟艺术家的创作思路; 如何更好地解决视频绘制中的连续性问题, 并提高绘制效率, 都是未来油画风格化的重要研究方向。

参 考 文 献

- [1] Haeberli P. Paint By Numbers; Abstract Image Representations [J]. ACM SIGGRAPH Computer Graphics, 1990, 24(4): 214
- [2] Litwinowicz P. Processing images and video for an impressionist effect[C]// Proc. SIGGRAPH'97. Addison Wesley Publishing Co, 1997; 407-414
- [3] Hertzmann A. Painterly rendering with curved brush strokes of multiple sizes[C]// Proc. SIGGRAPH. ACM, 1998; 453
- [4] Gooch B, Coombe G, Shirley P. Artistic Vision; Painterly Rendering Using Computer Vision Techniques[C]// Proc. Non-photorealistic Animation and Rendering. ACM, 2002; 83-90
- [5] Hays J, Essa I. Image and video based painterly animation[C]// Proc. Non-photorealistic Animation and Rendering. ACM, 2004; 113-120
- [6] Olsen S C, Maxwell B A, Gooch B. Interactive vector fields for painterly rendering[C]// Proc. Graphics Interface. Canadian Human-Computer Communications Society, 2005; 241-247
- [7] Zhang E, Hays J, Turk G. Interactive tensor field design and visualization on surfaces[J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2007; 94-107
- [8] Lee H, Lee C H, Yoon K. Motion based painterly rendering[J]. Computer Graphics Forum, 2009, 28(4): 1207-1215
- [9] Hertzmann A. Fast Paint Texture[C]// Proc. Non-photorealistic Animation and Rendering. ACM, 2002; 03-05
- [10] Zeng Kun, Zhao Ming-tian, Xiong Cai-ming, et al. From image parsing to painterly rendering[J]. ACM Transactions on Graphics, 2009, 29(1): 1-11
- [11] Hertzmann A, Jacobs C E, Oliver N, et al. Image analogies[C]// Proc. SIGGRAPH. ACM, 2001; 327-340
- [12] Wang Bin, Wang Wen-ping, Yang Huai-ping, et al. Efficient example-based painting and synthesis 2d directional texture[J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2004, 10(3): 266-277

- [13] Lee H, Seo S, Ryoo S, et al. Directional texture transfer [C]// Proc. Non-photorealistic Animation and Rendering. ACM, 2010; 43-48
- [14] Huang Hua, Zang Yu, Li Chen-feng. Example-based Painting Guided by Color Features[J]. The Visual Computer, 2010, 26(6-8): 933
- [15] Meier B J. Painterly rendering for animation[C]// Proc. SIGGRAPH. ACM, 1996; 477-484
- [16] Green S, Salesin D, Schofield S, et al. Non-photorealistic rendering[C]// Proc. SIGGRAPH Non-photorealistic Rendering Course Notes. AK Peters Ltd, 1999
- [17] Hertzmann A, Perlin K. Painterly rendering for video and interaction[C]// Proc. Non-photorealistic Animation and Rendering. ACM, 2000; 7-12
- [18] Kovacs L, Sziranyi T. Creating animations combining stochastic paintbrush transformation and motion detection[C]// Proc. International Conference on Pattern Recognition. 2002; 1090-1093
- [19] Park Y, Yoon K. Painterly animation using motion maps[J]. Graphical Models, 2008, 70(1): 1-15
- [20] Kagaya M, Brendel W, Deng Qing-qing, et al. Video painting with space-time-varying style parameters[J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2010(to appear)
- [21] Wang Jue, Xu Ying-qing, Shum H Y, et al. Video tooning[J]. ACM Transactions on Graphics, 2004, 23(3): 574-583
- [22] Lin Liang, Zeng Kun, Lv Han, et al. Painterly animation using video semantics and feature correspondance[C]// Proc. Symposium on Non-photorealistic Animation and Rendering. ACM, 2010; 73-80
- [23] Bai Xue, Wang Jue, Simons D, et al. Video snapcut; Robust video object cutout using localized classifier[J]. ACM Transactions on Graphics, 2009, 28(3): 1-11
- [24] Huang Hua, Zhang Lei, Fu Tian-nan. Video painting via motion layer manipulation[J]. Computer Graphics Forum, 2010, 29(7): 2055-2064
- [25] Klein A W, Sloan P J, Finkelstein A, et al. Stylized video cubes [C]// Proc. Symposium on Computer Animation. ACM, 2002; 15-22
- [26] 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