

泊松图像编辑

帕特里克佩雷斯 *
微软英国研究院

米歇尔·甘内特 †
微软英国研究院

安德鲁·布莱克 ‡
微软英国研究院

抽象的

使用基于求解泊松方程的通用插值机制,引入了各种用于图像区域无缝编辑的新颖工具。第一组工具允许将不透明和透明源图像区域无缝导入目标区域。第二组基于类似的数学思想,允许用户在选定区域内无缝修改图像的外观。可以安排这些更改以影响位于该区域中的对象的纹理、照明和颜色,或者使矩形选择可平铺。

CR 类别:I.3.3 [计算机图形学]:图片/图像生成 显示算法; I.3.6 [计算机图形学]:方法论和技术 交互技术; I.4.3 【图像处理与计算机视觉】:增强过滤;

关键词:交互式图像编辑,图像梯度,插值引导,泊松方程,无缝克隆,选择编辑

1 简介

图像编辑任务涉及全局变化(颜色/强度校正、滤镜、变形)或局限于选择的局部变化。在这里,我们感兴趣以无缝和轻松的方式实现本地更改,这些更改仅限于手动选择的区域。变化的程度从轻微的扭曲到完全被新内容取代。实现这一目标的经典工具包括仅限于选择的图像过滤器,用于轻微更改,以及使用克隆工具进行交互式剪切和粘贴以进行完全替换。使用这些经典工具,所选区域的变化会导致可见的接缝,随后只能通过沿所选区域的边界羽化来部分隐藏这些接缝。

我们在这里提出了一种通用机制,从中可以派生出用于无缝编辑和克隆选择区域的不同工具。该方法的核心数学工具是具有狄利克雷边界条件的泊松偏微分方程,它指定感兴趣域上未知函数的拉普拉斯算子,以及域边界上的未知函数值。动机是双重的。

首先,心理学家 [Land and McCann 1971] 众所周知,被拉普拉斯算子抑制的缓慢的强度梯度可以叠加在图像上而几乎不会引起注意

能的效果。相反,拉普拉斯算子提取的二阶变化在感知上是最重要的。

其次,有界域上的标量函数由边界上的值和内部的拉普拉斯算子唯一确定。因此泊松方程有一个唯一的解,这导致了一个合理的算法。

因此,给定在某个域上制作未知函数的拉普拉斯算子的方法及其边界条件,泊松方程可以通过数值求解来实现该域的无缝填充。这可以在彩色图像的每个通道中独立复制。求解泊松方程还有另一种解释,即最小化问题:它计算在给定边界条件下,其梯度在 L2 范数中最接近某个规定矢量场(引导矢量场)的函数。以这种方式,重建函数向内插值边界条件,同时尽可能接近引导场的空间变化。第 2 节详细介绍了这种引导插值。

我们将检查引导向量场的许多可能选择。我们特别展示了这种插值机制在易用性和功能方面都利用了经典的克隆工具。由此产生的克隆允许用户无缝地删除和添加对象。通过将源图像的梯度与目标图像的梯度适当混合,还可以令人信服地添加透明对象。此外,可以自动添加具有复杂轮廓(包括孔)的对象,而无需费力地进行裁剪。这些不同的克隆设施在第 3 节中介绍。

如第 4 节所示,同样的机制也可用于修改受限域内图像的外观,同时避免域边界上出现可见的不连续性。特别是,可以轻松修改对象的颜色、纹理或照明,而无需精确描绘对象边界。此外,矩形图像区域可以无缝平铺。

相关工作泊松方程已广泛用于计算机视觉。它作为解决某些变分问题的必要条件而自然产生。在图像编辑应用程序的特定上下文中,前三项工作与此处提出的泊松方程的使用有关。

在 [Fattal 等人。2002],高动态范围 (HDR) 图像的梯度场被非线性重新缩放,产生不再是梯度场的矢量场。然后通过求解泊松方程获得新图像,该方程的散度作为右侧,并在诺依曼边界条件下指定新图像在垂直于边界的方向上的梯度值为零。相反,我们在这里提出的方法可以应用于从图像中选择的任意块,而不仅仅是整个图像。为此,必须将矩形轮廓上的诺伊曼边界条件替换为任意轮廓上的狄利克雷条件。进一步的概括是扩展应用于梯度的非线性操作的范围,以包括最大操作和小梯度的抑制,这两者都具有有用的编辑功能。

在 [Elder and Goldberg 2001] 中,引入了一个系统,通过图像的边缘元素 (edgels) 的稀疏集来编辑图像。压制一个

电子邮件:pperez@microsoft.com †
电子邮件:mgangnet@microsoft.com ‡ 电
子邮件:ablake@microsoft.com

如果制作或分发的副本不是为了盈利或商业利益、版权声明、出版物的标题及其出现日期,并通知复制已获得 ACM, Inc. 的许可。要以其他方式复制、重新发布、张贴在服务器上或重新分发到列表,需要事先获得特定许可和/或付费。© 2003 ACM 0730-0301/03/0700-0313 \$5.00

对象,相关的边缘被删除;要添加一个对象,相关的边缘以及每个边缘两侧的颜色值都会被合并。然后通过平滑地插值与新的边缘集相关联的颜色来获得新图像。这相当于用边线周围的颜色给出的 Dirichlet 边界条件求解拉普拉斯方程 (右侧为零的泊松方程)。编辑边缘和相关颜色并不总是那么简单。此外,在与轮廓域之间进行转换时,图像细节会丢失,这可能是不可取的。基于稀疏边缘的表示确实是不完整的,相对于基于小波极值的相关表示 [Mallat 和 Zhong 1992],它们是完整的但不太适合手动编辑。

在 [Lewis 2001] 中,通过从所选区域的细节中分离出亮度分量并通过选择边界处亮度的调和插值 (求解拉普拉斯方程) 替换亮度,从毛皮图像中去除斑点。

在图像编辑功能方面,现有的两种技术可以像我们系统的基本实例一样实现无缝克隆。
第一个是 Adobe Photoshop 7 的修复画笔 [Adobe 2002]。据我们所知,该工具使用的技术尚未发布。因此,我们不知道它是否使用泊松求解器。

第二种技术是 [Burt and Adelson 1983] 中提出的多分辨率图像混合。这个想法是使用感兴趣图像的多分辨率表示,即拉普拉斯金字塔。源图像区域的内容在每个分辨率带内独立地与目标图像中的新周围环境混合。然后通过将由此获得的新的复合拉普拉斯金字塔的不同层次相加来恢复最终的复合图像。该技术导致多分辨率混合,其中最精细的细节在选择边界周围非常局部地平均,而较低的频率在这些边界周围的更大距离上混合。这种快速技术实现了源拉普拉斯算子在目标区域 (在拉普拉斯金字塔中间的第一层) 的近似插入,而我们通过泊松方程的解来精确地执行这种拉普拉斯算子插入。更重要的是,多分辨率混合通过金字塔的上层将来自远处源和目标像素的数据合并到最终合成图像中。这种可能不受欢迎的长程混合在我们的技术中不会发生。此外,我们的系统提供了除不透明无缝克隆之外的扩展功能,请参阅第 3 节和第 4 节。

最后,虽然我们提出了一个引导插值框架,引导由用户指定,例如,在无缝克隆的情况下以源图像的形式,已经提出了各种插值方法来自动填充图像区域只有边界条件的知识。

第一类此类方法由修复技术组成 [Ballester 等人。2001年;贝塔尔米奥等。2000] 其中设计了基于 PDE 的插值方法,例如继续等光度线击中所选区域的边界。要求解的 PDE 比泊松方程更复杂,并且仅适用于桥接相对无纹理区域中相当窄的间隙。基于实例的插值方法 [Barret 和 Cheney 2002;伯纳德等人。2002年;Efros 和 Leung 1999] 其中使用许多小块的排列合成新图像区域是修复的有趣替代方法。这些方法以更有说服力的方式处理大孔和纹理边界。此外,它们还可以用于导入纹理,如 [Efros 和 Freeman 2001;赫兹曼等人。2001]。

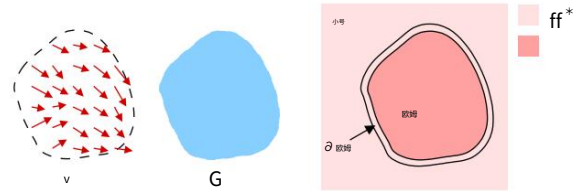


图 1: 引导插值符号。未知函数 f 在矢量场 v 的指导下在域 Ω 中插入目标函数 f^* , 矢量场 v 可能是也可能不是源函数 g 的梯度场。

2 引导插值的泊松解

引导插值 在本节中,我们将详细介绍使用引导矢量场的图像插值。由于单独解决每个颜色分量的插值问题就足够了,我们只考虑标量图像函数。图 1 说明了符号: 设 S (\mathbb{R}^2 的闭子集) 为图像定义域, 设 Ω 为边界为 Ω 的 S 的闭子集。令 f 为标量函数定义在 S 减去 Ω 的内部, 并令 f 是定义在 Ω 内部的未知标量函数。最后, 设 v 是在 Ω 上定义的矢量场。

$\partial \Omega$ 成为知名人士

f 的最简单插值 f^* 超过 Ω 是定义为最小化问题的解的膜插值:

$$\min_{f \in \Omega} \int_{\Omega} |\nabla f|^2 \text{ 与 } f|_{\partial \Omega} = f^*|_{\partial \Omega}. \quad (1)$$

其中 $\nabla = [\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}]$ 是梯度算子。最小化器必须足相关的欧拉-拉格朗日方程

$$\Delta f = 0 \text{ over } \Omega \text{ with } f|_{\partial \Omega} = f^*|_{\partial \Omega}. \quad (2)$$

其中 $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}$ 是拉普拉斯算子。方程 2 是具有 Dirichlet 边界条件的 y_2 普拉斯方程。对于图像编辑应用程序, 这种简单的方法会产生令人不满意的模糊插值, 这可以通过多种方式克服。

一种是使用更复杂的微分方程, 如 [Bertalmio 等人的“绘画”技术。2000]。此处提出的路线是通过以引导字段的形式引入更多约束来修改问题, 如下所述。

引导场是一个矢量场 v , 用于上述最小化问题 (1) 的扩展版本:

$$\min_{f \in \Omega} \int_{\Omega} |\nabla f - v|^2 \text{ 与 } f|_{\partial \Omega} = f^*|_{\partial \Omega}. \quad (3)$$

其解是下列具有狄利克雷边界条件的泊松方程的唯一解:

$$\Delta f = \operatorname{div} v \text{ over } \Omega, f|_{\partial \Omega} = f^*|_{\partial \Omega}. \quad (4)$$

其中 $\operatorname{div} v = \frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y}$ 是 $v = (u, v)$ 的散度。这是彩色图像泊松编辑的基本机制。形式 (4) 的三个泊松方程在所选颜色空间的三个颜色通道中独立求解。本文中报告的所有结果都是在 RGB 颜色空间中获得的, 但在 CIE-Lab 中也获得了类似的结果。

当引导场 v 是保守的, 即它是某个函数 g 的梯度时, 理解泊松插值作用的一种有用的替代方法是定义 Ω 上的校正函数 f 使得 $f = g + f$ 。

泊松方程 (4) 则变成如下带边界条件的拉普拉斯方程:

$$\Delta f = 0 \text{ over } \Omega, f|_{\partial \Omega} = (f^* - g)|_{\partial \Omega}. \quad (5)$$

因此,在 Ω 内部,加法校正 $\sim f$ 是沿边界 Ω 的源和目标之间的不匹配 $(f^* - g)$ 的膜插值。这个特定的引导插值实例用于第 3 节中的无缝克隆。

离散泊松求解器 变分问题 (3) 以及与 Dirichlet 边界条件相关的泊松方程 (4) 可以通过多种方式进行离散化和求解。

对于离散图像,可以使用底层离散像素网格自然地离散化问题。在不失一般性的情况下,我们将为连续对象及其离散对象保留相同的符号: S, Ω 现在变成定义在无限离散网格上的有限点集。请注意, S 可以包括图像的所有像素或仅其中的一个子集。对于 S 中的每个像素 p , 令 N_p 为 p 在 S 中的 4 个相邻像素的集合,并令 p, q 表示满足 $q \in N_p$ 的像素对。 Ω 的边界现在是 $\Omega = \{p \in S \mid N_p \cap \Omega = \emptyset\}$ 。令 f_p 为 f 在 p 处的值。任务是计算强度集 $f|_{\Omega} = f_p, p \in \Omega$

∂

对于定义在任意形状边界上的狄利克雷边界条件,最好直接将变分问题 (3) 离散化,而不是泊松方程 (4)。 (3) 的有限差分离散化产生以下离散的二次优化问题:

$$\min_{f|_{\Omega}} \sum_{p, q \in \Omega, p \sim q} (f_p - f_q - v_{pq})^2, \text{ 其中 } f_p = f|_p, \text{ 对于所有 } p \in \partial\Omega, \quad (6)$$

其中 v_{pq} 是 v (即 $v_{pq} = v$ (线性方程组的 $\frac{p+q}{2}$)) 在有向边 $[p, q]$ 上, 投影: $\frac{p+q}{2} \cdot pq$ 。其解满足以下同构

$$\text{对于所有 } p \in \Omega, |N_p| f_p - \sum_{q \in N_p \cap \Omega} f_q = \sum_{q \in N_p \cap \partial\Omega} F_q^* + \sum_{q \in N_p} v_{pq}. \quad (7)$$

当 Ω 包含 S 边界上的像素时,例如当 Ω 延伸到像素网格的边缘时,这些像素具有截断的邻域,使得 $|N_p| < 4$ 。请注意,对于 Ω 内部的像素 p ,即 $N_p \subset \Omega$,在 (7) 的右侧没有边界项,它显示为:

$$|N_p| f_p - \sum_{q \in N_p} f_q = \sum_{q \in N_p} v_{pq}. \quad (8)$$

等式 (7) 形成了一个经典的、稀疏的 (带状的)、对称的、正定的系统。由于边界 Ω 的任意形状,我们必须使用众所周知的迭代求解器。本文中显示的结果是这 ∂ 使用具有连续过度松弛的 Gauss-Seidel 迭代或 V 循环多重网格计算的。两种方法对于中等大小彩色图像区域的交互式编辑都足够快,例如 0.4 秒。每个系统在 Pentium 4 上的 60,000 像素的盘形区域。正如 [Bolz et al. 2003], GPU 上的多网格实现将为更大的区域提供解决方案。

3 无缝克隆

导入梯度 引导场 v 的基本选择是直接来自源图像中获取的梯度场。用 g 表示这个源图像,插值是在

$$v = \nabla g, \quad (9)$$

和 (4) 现在读

$$\Delta f = \Delta g \text{ over } \Omega, f|_{\partial\Omega} = f^*|_{\partial\Omega}. \quad (10)$$

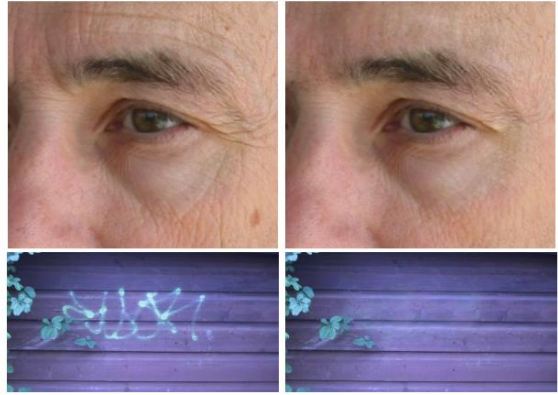


图 2: 隐藏。通过无缝导入一块背景,可以轻松隐藏完整对象、部分对象和不需要的人工制品。在这两个示例中,都使用了多个笔划 (未显示)。

至于数值实现,连续规范化 (9) 转化为

$$\text{对于所有 } p, q, v_{pq} = g_p - g_q, \quad (11)$$

将被插入 (7)。

由此获得的无缝克隆工具确保了源和目标边界的合规性。它可用于隐藏不需要的图像特征或在图像中插入新元素,但比传统克隆具有更大的灵活性和简便性,如图 1 和 2 所示。2-4. 从用户输入的角度来看,大多数任务只需要非常宽松的套索选择,如图 3 所示。但是,当源的特征必须与目标中的相应特征对齐时,如中的栅栏示例图 2 (底行) 或图 4 (顶行) 中的人脸示例,源区域和目标区域的定位必须更加精确。最后,在无缝克隆主要涉及纹理块的情况下,如图 2 (顶行) 中的面部修饰示例,图 4 (底行) 中的纹理交换示例重复应用广泛的笔触更有效方式。

直到由插值过程引起的全局变化,源图像的全部内容被保留在某些情况下,希望仅传输源图像的一部分。此问题最常见的实例是从源传输强度模式,而不是颜色。一个简单的解决方案是预先将源图像变成单色,见图 5。

混合渐变 使用上一节中描述的工具,没有目标图像 f 的痕迹在某些情况下,需要将 f 的属性与 g 的属性组合,例如添加带孔的对 f^* 保存在 Ω 内。然而,象,或部分透明的对象,纹理或杂乱背景的顶部。

图 6 显示了一个示例,其中文本层将从源图像剥离并应用于目标图像,而不需要复杂的选择操作。一种可能的方法是将引导场 v 定义为源梯度场和目标梯度场的线性组合,但这具有洗掉纹理的效果,请参见图 6。

然而,泊松方法允许使用非保守的指导场,这为更引人注目的效果提供了空间。在 Ω 的每个点,我们使用以下指导字段保留 f 或 g 中较强的变化:

*

$$\text{对于所有 } x \in \Omega, v(x) = \begin{cases} \nabla f(x) & \text{如果 } |\nabla f(x)| > |\nabla g(x)|, \\ \nabla g(x) & \text{否则。} \end{cases} \quad (12)$$

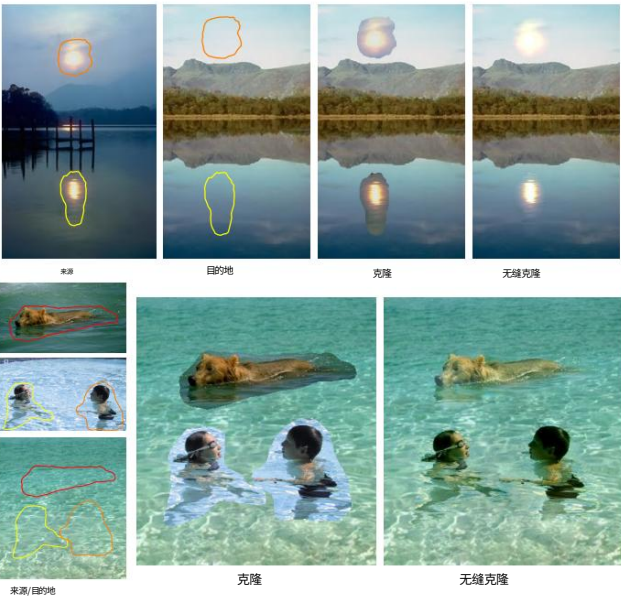


图 3:插入。当将具有复杂轮廓的对象插入到新的背景中时,该方法的威力得到充分体现。由于源和目标之间的巨大差异,在这种情况下不能使用标准图像克隆。

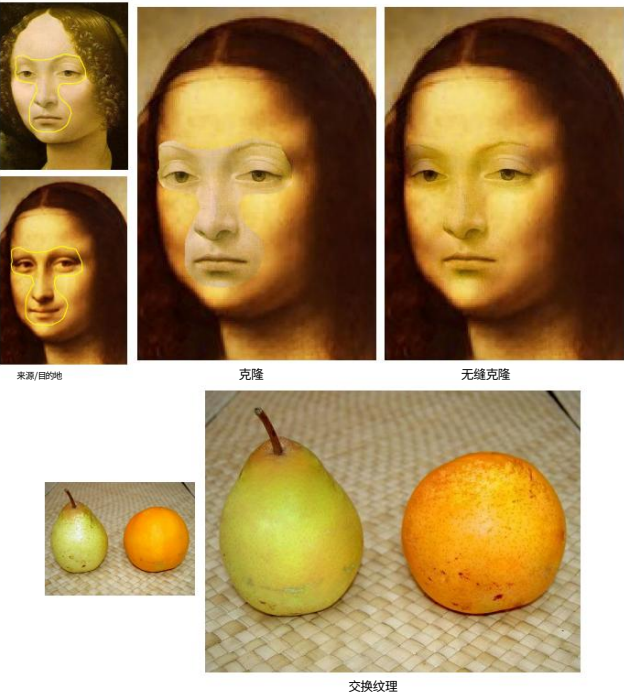


图 4:特征交换。无缝克隆允许用户轻松地用替代特征替换一个对象的某些特征。

在纹理交换的第二个示例中,使用了多个粗笔画(未显示)。

该指导字段的离散对应项是:

$$vpq = \begin{cases} f_p^* - f_q^* & \text{如果 } |f_p^* - f_q^*| > |g_p - g_q| \\ g_p - g_q & \text{否则,} \end{cases} \quad (13)$$

对于所有p,q,这个指导字段的效应在



图 5:单色传输。在某些情况下,例如纹理转移,无缝克隆后保留的源颜色部分可能是不需要的。这是通过预先将源图像变成单色来解决的。

无花果。6 和 7。

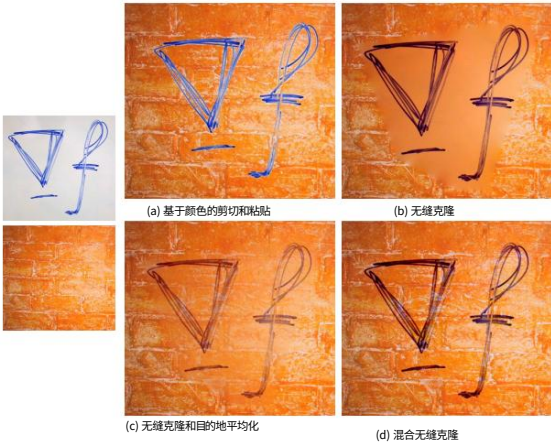


图 6:插入带孔的对象。(a) 经典方法、基于颜色的选择和 alpha 掩蔽可能很耗时,而且常常留下不受欢迎的光晕; (bc) 无缝克隆,即使与原始图像平均,也是无效的; (d) 基于松散选择的混合无缝克隆被证明是有效的。

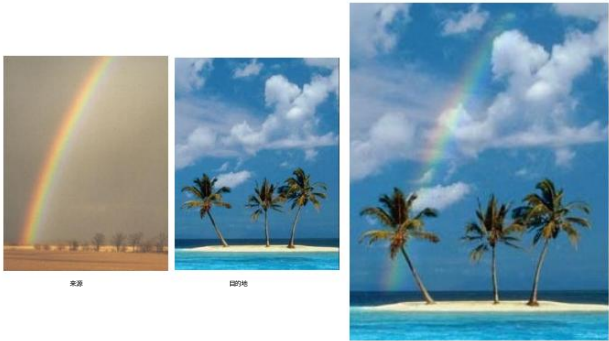


图 7:插入透明对象。混合无缝克隆有助于传输部分透明的对象,例如本例中的彩虹。梯度场的非线性混合挑选出在每个位置更显著的源结构或目标结构。

当从源图像中添加一个对象非常接近目标图像中的另一个对象时,这种混合无缝克隆也很有用,见图 8。



图 8:将一个对象插入到另一个对象附近。通过无缝克隆,目标图像中接触所选区域 Ω 的对象会渗入其中。通过使用混合梯度作为引导场来抑制渗色。

4 选择编辑

在前两节中,制导场部分或全部取决于源图像g的梯度场。或者,可以使用完全取决于原始图像的引导场来定义就地图像变换。基于这个想法,本节详细介绍了纹理扁平化、空间选择性照明变化、背景或前景颜色修改以及无缝平铺。前两个效果依赖于选定区域中原始梯度场 ∇f 的非线性修改。后一种效果依赖于原始图像在域内修改后的就地无缝克隆,提供新的源图像,或在域外修改,提供新的边界条件。

Texture flattening仅保留最显着特征的图像梯度 ∇f^* 通过一个稀疏筛:

对于所有 $x \in \Omega$, $v(x) = M(x) \nabla f^*(x)$, (14)

其中M是在几个感兴趣的位置打开的二进制掩码。
M的一个很好的选择是边缘检测器,在这种情况下,要插入到 (7) 中的 (14) 的离散版本是:

$$v_{pq} = \begin{cases} f_p - f_q & \text{如果一条边位于p和q之间,否则为0,} \end{cases}$$
 (15)

对于所有p,q。如图 9 所示,选择 Ω 的内容呈现扁平化外观,小颗粒细节被洗掉,主要结构得以保留。这种影响的程度显然取决于筛子的稀疏性。边缘检测器的选择性越大,边缘图越稀疏,效果越明显。

请注意,泊松编辑的这个实例与 Elder 和 Goldberg [Elder 和 Goldberg 2001] 的轮廓域编辑系统有很强的联系。不同之处在于,我们通过稀疏指导 (14) 在边缘位置近似指定梯度向量,而他们的系统依赖于每个边缘两侧颜色值的精确指定。

局部光照变化 正如作者所指出的,[Fattal 等人的方法。2002]不限于HDR图像,可以应用于普通图像,以便平滑地修改它们的动态范围。首先,对图像的对数梯度场进行变换,以减少大梯度并增加小梯度。然后,通过在诺伊曼边界条件下在整个图像域上求解泊松方程 $\Delta f = \text{div} v$,变换后的矢量场 v 用于重构图像的对数 f 。



图 9:纹理展平。通过仅保留边缘位置的梯度,在与泊松求解器集成之前,可以洗掉所选区域的纹理,使其内容呈现平坦的外观。

一个自然的扩展是限制对选定区域 Ω 的校正,在 Ω 上使用适当的 Dirichlet 条件。使用 Fattal 等人的简化版本。转型 [Fattal 等人。2002],指导字段在日志域中定义为:

$$v = \alpha \beta |\nabla f^*| - \beta \nabla f^*,$$
 (16)

其中 $\alpha = 0.2$ 乘以 f 在 Ω 上的平均梯度范数,并且 $\beta = 0.2$ 。如图 10 所示,此工具可用于校正曝光不足的目标对象,或减少镜面反射。



图 10:局部光照变化。对选区内的梯度场应用适当的非线性变换,然后用泊松求解器积分回来,局部修改图像的表现照明。这对于突出显示曝光不足的前景对象或减少镜面反射很有用。

局部颜色变化 泊松编辑也是一种处理颜色的强大工具。给定原始彩色图像和选择 Ω ,可以无缝混合该图像的两个不同颜色版本:一个版本提供目标函数 f side Ω ,另一个版本提供源函数 g ,根据 (10)。

* 出去

例如,将图像中除某些感兴趣的对象之外的所有内容都变成单色的任务通常是



图 11:局部颜色变化。左图:原始图像显示选择 Ω 松散地围绕着感兴趣的对象;中心:通过将g设置为原始彩色图像并将f设置为 g 的亮度来完成背景脱色;右图:通过将原始图像的 RGB 通道分别乘以 1.5、0.5 和 0.5 来对感兴趣的对象重新着色以形成源图像。

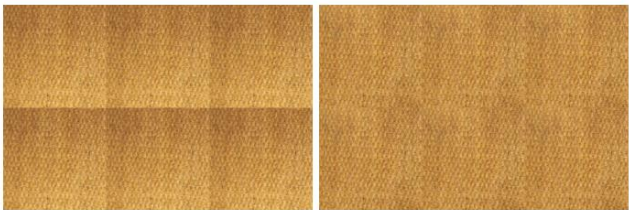


图 12:无缝平铺。在与泊松求解器集成之前,在矩形区域的边界上设置周期性边界值会产生可平铺的图像。

通过精确选择一个对象然后将其补色设置为单色来执行。相反,泊松编辑将用户从精确选择的单调乏味中解放出来:给定源彩色图像g,(a) 目标图像f被设置为来自g 的亮度通道,(b) 用户选择包含对象,这可能比实际对象大一些,并且 (c) 在每个颜色通道中求解泊松方程 (10)。图 11 中给出了一个示例。请注意,尽管结果似乎也免费提供了对象的精确分割,但实际上并非如此,因为目标图像在对象外部存在一些残留污染。

相反,泊松图像编辑可用于修改松散选择的对象的颜色。在求解泊松方程 (10) 之前,将原始图像复制到目标f,并将修改颜色的版本复制到源g,见图 11。

无缝平铺 当域 Ω 为矩形时,可以通过使用泊松求解器强制执行周期性边界条件来使其内容可平铺。源图像g是原始图像,边界条件是从g 的边界值导出的,这样矩形的相对边对应于相同的 Dirichlet 条件。在图 12 中,我们选择了f = f和西边界。

$$f_{\text{北}}^* = 0.5(g_{\text{north}} + g_{\text{south}}), \text{同样适用于东部}$$

5 结论

使用引导插值的通用框架,我们引入了各种工具来以无缝和轻松的方式编辑图像选择的内容。可能的变化范围包括从另一个源图像区域替换或混合到原始图像某些方面的改变

选区内的图像,例如纹理、照明或颜色。与处理类似任务的经典工具相比,所有这些工具的一个重要共同特征是不需要精确的对象描述。这是一个很有价值的功能,无论是对小的润色操作还是对复杂的照片蒙太奇感兴趣。

虽然本文没有说明,但很明显,第 3 节中描述的克隆工具可以与第 4 节中介绍的编辑工具结合使用。例如,可以插入一个对象,同时展开其纹理以使其与一个无纹理的目的地。

最后,值得注意的是,本文中从同一通用框架派生的编辑功能范围可能会进一步扩展。例如,外观变化还可以处理感兴趣对象的锐度,从而允许用户做出明显的焦点变化。

图片来源 图 3 中的两个风景和游泳熊,图 11 中的花朵:来自 Corel Professional Photos,版权所有 c 2003 Microsoft Research 及其许可方,保留所有权利;图 7 中的彩虹由伊利诺伊大学的 James B. Kaler 教授提供。

参考

士坯。2002. Photoshopc 7.0 用户指南。Adobe 系统公司
评级。

BALLESTER, C., BERTALMIO, M., CASELLES, V., SAPIRO, G.和VERDERA, J. 2001。通过
矢量场和灰度级的联合插值进行填充。 IEEE 跨。图像处理 10.8,1200-1211。

BARRET, A.和CHENEY, A. 2002。基于对象的图像编辑。美国计算机学会
图形交易 21.3,777-784。

BERTALMIO, M., SAPIRO, G., CASELLES, V.和BALLESTER, C.
2000. 图像修复。在ACM SIGGRAPH 2000 会议记录中, ACM Press / ACM SIGGRAPH,纽
约,E. Fiume,Ed.,Computer Graphics Proceedings,Annual Conference Series,ACM,
417-424。

BOLZ, J., FARMER, I., GRINPSUN, E.和SCHRODER, P. 2003. GPU 上的
稀疏矩阵求解器:共轭梯度和多重网格。 ACM 图形交易。出现。

BORNARD, R., LECAN, E., LABORELLI, L.和CHENOT, J.-H. 2002.
静止图像和图像序列中的缺失数据校正。在过程中。
ACM 国际多媒体会议。

BURT, P., AND ADELSON, E. 1983. 应用于图像马赛克的多分辨率样条。 ACM 图形交易2.4,
217-236。

EFROS, A., AND FREEMAN, W. 2001.用于纹理合成和传输的图像缝合。在ACM SIGGRAPH
2001 会议记录中, ACM Press / ACM SIGGRAPH,纽约,E. Fiume,Ed.,Computer Graphics
Pro ceedings,Annual Conference Series,ACM,341-346。

EFROS, A., AND LEUNG, T. 1999.非参数采样的纹理合成。在过程中。诠释。会议。计算机视觉,
1033-1038。

ELDER, J.和GOLDBERG, R. 2001.轮廓域中的图像编辑。 IEEE 跨。模式肛门。机器智能23.3,291-
296。

FATTAL, R., LISCHINSKI, D.和VERMAN, M. 2002.梯度域高动态范围压缩。 ACM 图形交易
21.3,249-256。

HERTZMANN, A., JACOBS, C., OLIVER, N., CURLESS, B.和SALESIN, D. 2001.图像类
比。 In Proceedings of SIGGRAPH 2001, ACM Press / ACM SIGGRAPH, New-York, E.
Fiume, Ed., Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, ACM, 327-
340.

LAND, E., AND MCCANN, J. 1971. 亮度和视网膜膜理论。 J. 选择。
社会。阿米尔。 61,1-11。

LEWIS, J., 2001。从黑暗中提取细节。 SIGGRAPH 2001 技术
草图。

MALLAT, S., AND ZHONG, S. 1992.多尺度边缘信号的表征。 IEEE 跨。模式肛门。机器智能14,
710-732。