

结合边缘检测的 Seam Carving 图像缩放算法

杨剑炉

(莆田学院 信息工程学院, 福建 莆田 351100)

摘要: Seam Carving 算法是一种能够尽可能保留图像中视觉关注度高的对象和区域的图像缩放技术。为了改善 Seam Carving 算法的缩放效果, 提出一种结合显著性的梯度能量函数模型, 能够更有效地定义图像中的对象或区域的视觉关注度, 避免它们在缩放时被删减。此外, 对 Seam 的提取路线加以改进, 采用结合图像边缘识别的分段 Seam 提取路线, 能够更有效减低路线中像素的平均能量值, 也能避免图像边缘被破坏而引起图像中物品的形变扭曲。

关键词: 图像缩放; Seam Carving; 边缘检测; 显著性

中图分类号: TP391.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-380X (2019) 03-0035-04

Seam Carving Image Scaling Algorithm Combined with Edge Detection

YANG Jian-lu

(School of Information Engineering, Putian University, Putian 351100, China)

Abstract: Seam Carving algorithm is an image scaling technology that preserves objects and areas of high visual attention in the image as much as possible while zooming. In order to improve the scaling effect of Seam Carving algorithm, a gradient energy function model combining with saliency is proposed, which can more effectively define the visual attention of objects or regions in the image, so as to avoid them being deleted during scaling. In addition, the segmentation Seam extraction route combined with image edge recognition improves the extraction route of Seam, which can effectively reduce the average energy value of pixels in the route, and avoid the distortion of objects in the image caused by image edge damage.

Key words: image scaling; Seam Carving; edge detection; saliency

近年来, 移动设备的普及率越来越高, 手机、平板电脑等移动设备成为人们工作、生活、娱乐必不可少的工具。但是各种手机和平板电脑等移动设备的分辨率五花八门, 同一个 app 需要对不同分辨率的设备进行适配, 才可以适应不同分辨率的设备。因此, 图像视频的缩放技术成为一个热门的课题。常用的图像和视频的缩放技术有传统的缩放技术、裁剪技术和基于内容的 Seam Carving 技术^[1]。传统的缩放技术是基于采样和插值, 如果缩放的高宽比不一致, 则图像或视频会出现严重的扭曲变形, 影响视觉感受。裁剪技术则容易造成图像或视频丢失重要的信息, 特别是处于图像或视频边缘的信息, 进而会极大地破坏用户体验。而 Seam Carving 技术则是基于图像内容的一种缩放技术, 它通过计算出

图像或视频中重要内容区域和信息量较少的区域, 从而在修改图像大小时对于原图像或视频的破坏较小, 并尽可能得保留原始的重要信息, 以保证图像或视频的视觉完整性。

Seam Carving 虽然较传统缩放算法有很大的优势, 但是在复杂图像的处理上仍然有一些不足。特别当缩放比例比价大的时候, 图像中物体的边缘容易发生错位, 导致图像的扭曲不自然。如图 1 所示, 原始图像的主体建筑部分很大, 几乎占满整个画面, 如果使用 Seam - Carving 技术进行缩放, 则会发生部分扭曲现象, 如图 1 (b) 红圈部分, 建筑原笔直的屋顶发生了变形, 影响了缩放的效果。近年来, 中外研究者为了改进 Seam - Carving 算法提出了不同的解决方案。Kopf 等人^[2]提出了针对图像中直

收稿日期: 2018-08-26

作者简介: 杨剑炉 (1984-), 男, 福建莆田人, 讲师, 硕士, 研究方向: 数字图像处理和图像取证。

线边缘的改进算法,通过提高 Seam 与直线边缘交点的能量,减少了图像缩放后直线发生形变的可能性。Chen 等人^[3]提出了 3D 显著性的一种新型的能量函数,这种能量函数同时考虑了局部信息和全局信息,以达到较好的缩放效果。Yan 等人^[4]提出了一种考虑空间和时间相关性的能量函数,将 Seam - Carving 算法的应用引入到视频缩放中。ZHOU 等人^[5]提出了一种兼顾边缘信息和视觉显著性的新的显著性检测方法,能够在缩放后更好的保持图像的重要内容。FA Sebastian 等人^[6]采用 Dijkstra 与有向无环图两种最短路径算法来改进 Seam 路径的计算,以获得更快的性能和更好的效果。黄金凤等人^[7]采用局部前驱点的选择和全局线路位置偏移差共同决定新的提取线路,在矢量图、简笔画等简单图像中取得较好的缩放效果。



图1 Seam Carving 缩放缺陷图

1 Seam Carving 算法简介

Seam Carving 是由 Avidan 和 Shamir 提出的一种技术,基于内容感知的图像大小调整。该技术属于像素去除的范畴,其基本思想是从上到下或从左到右去除由低能量像素构成的联通路径 (Seam),由于能量小,所以该路径像素的删除对于理解图像内容影响不大。每个 Seam 的去除会令原图像的尺寸减小,其中垂直 Seam 减小宽度,水平 Seam 减小高度。图2显示了一个带有垂直 Seam 的示例和移除它们后的最终图像。



图2 垂直 Seam 的示例和移除它们后的最终图像

对于一幅高度为 n 的图像,它的一条垂直 seam 可以定义为如下公式:

$$S^v = \{i, col(i)\}_{i=1}^n, s.t. \forall i, |col(i) - col(i-1)| \leq T \quad (1)$$

其中 i 和 $col(i)$ 分别表示像素点的横、纵坐

标。水平 seam 可以类似定义。公式指出了 Seam 的两个原则: 1、垂直 Seam 每一行有且只有一个像素点,以保证 Seam 删除后图像仍然为矩形。2、垂直 Seam 中上下相邻的像素点的水平距离 ($col(i) - col(i-1)$) 不能超过阈值 T ,一般为了保证 Seam 的连续性,阈值一般取值 1。

为了使删除的 Seam 对于图像视觉影响较小,需要定义每个像素点的能量函数。像素点的能量函数大小反应了该像素点的重要性。Avidan 和 Shamir 采用梯度来定义能量函数,则每个像素的能量可定义为公式 (2),其中 I 表示图像灰度矩阵。最近的一些研究也提出了使用小波分解作为能量函数^[8],此外还可以添加附加信息用于改善能量函数,如基于人脸检测和显著性的人类注意力模型等^[9]。

$$e(I) = \left| \frac{\partial}{\partial x} I \right| + \left| \frac{\partial}{\partial y} I \right| \quad (2)$$

接下来需要使用动态规划的方法来找到最佳 Seam,它被定义为基于能量函数 e 的最小成本的 Seam。Seam 的成本是所有路径像素的能量值的总和。以垂直 Seam 为例,为了计算垂直 Seam 的成本,首先需要通过将图像从第一行遍历到最后一行来计算的图像的能量累计图 M ,每个像素点 (i, j) 的累计能量定义为公式 (3)。

$$M(i, j) = e(i, j) + \min(M(i-1, j-1), M(i-1, j), M(i-1, j+1)) \quad (3)$$

能量累计图 M 的最后一行的最小值即是最小成本的垂直 Seam 的终点,一行一行向上回溯计算,就可以找到并定位整条最佳 Seam。水平 Seam 的计算与上述垂直 Seam 的计算是类似的。

2 本文算法的实现



图3 图像的显著图和能量函数图

如果只以梯度作为能量定义,那么部分图像的背景如草地、水面等因为具有复杂的纹理,从而会具有比较复杂的梯度特征,容易在提起 Seam 的时候对图像的主体部分构成负面的影响。为了提高主体部分的能量值,可以通过 Achanta R 等人^[10]提出的方法计算图像的显著性,生成图像的显著图,再使用公式 (2) 来计算图像的能量,能有效的避免

图像主体部分遭到破坏。图3左边原始图像,中间是使用文献^[9]计算的显著图,右边是使用显著图计算的能量函数图。

Seam - Carving 算法的核心是寻找一条能量最低的 Seam, 能量是 Seam 最重要的指标, 它反映了 Seam 所携带的信息量大小。能量越小, Seam 上附带的信息越少, 则用这个 Seam 对图像进行缩放处理后对图像的破坏越小, 越能保留原图像上的重要信息。如图2所示, 红色线代表一条垂直的 Seam, 携带信息量很小, 多为视觉冗余区域, 删除后对图像几乎没有影响。但是, Seam 的连贯性注定了找到的 Seam 不会是能量最小的全局最优解。如果允许 Seam 分段, 则每段可以得到最小能量函数的局部最优解, 从而可以得到更优的全局解。表1表示了多种规格的分段 Seam 与连贯 Seam 上每个像素的平均能量的对比。

表1 分段 Seam 与连贯 Seam 的能量对比

	一组	二组	三组
不分段	50.8	27.8	35.3
3 段	10.8	15.9	18.2
5 段	6.9	13.7	11.1

此外, Seam - Carving 算法的一个最大的缺点是如果原始图像包含规则图案或直线时, 如果找到的 Seam 过多的穿过这些规则图案或直线, 那么这些规则图案或直线在最终图像中可能变得弯曲或断开。图4显示了一个的例子, 左边是带直线边缘的原始图, 中间是有一条垂直 Seam 穿过这个直线边缘, 右边是当从图像中去除垂直 Seam 时的结果。去除 Seam 后, Seam 右侧的所有像素向左移动一个像素, 以填充间隙。如果穿过这个直线边缘的 Seam 比较多, 并且几个 Seam 在相邻的交点上穿过直线, 当像素移动时, 失真就变得比较严重。

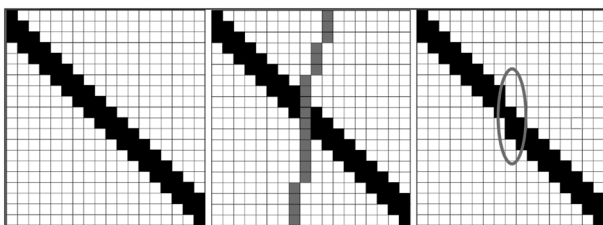


图4 Seam 穿过边缘引起的图像扭曲

因此, 如果把边缘检测作为 Seam 分段的一个重要参考依据, 则可以有效地减少 Seam 穿越图像边缘的可能性, 从而减少最终图像失真。首先使用 sigma 为 3 的高斯模糊来降低图像的噪声, 然后使用基于 Canny 边缘检测器检测图像中的边缘。若进

行垂直 Seam 计算, 则从图像顶端从上到下计算最大的平滑长度作为分段的长度, 如此循环, 直到完成整幅图像的分段。具体计算为首先设置一个计算矩阵 $M(x, y)$, 其中 x 和 y 对应图像的水平分辨率。将矩阵的最后一行初始化为 1, 其余初始化为 0。从矩阵的倒数第二行向上循环计算到矩阵的第一行, 计算公式如下:

$$L(x, y) = \begin{cases} 0 & \text{边缘点} \\ \max\{L(x-1, y-1), L(x, y-1), L(x+1, y)\} + 1 & \text{非边缘点} \end{cases} \quad (4)$$

$L(x, y)$ 表示像素点 (x, y) 向下的最大平滑距离, 因此只需计算矩阵 L 第一行的最大值, 即为第一个分段的长度。循环计算分段的长度, 直至完成整幅图像的分段。图5是一个分段矩阵计算的简单示意图, 黑色表示边缘像素点。第一行最大值为 6, 所以第一次分段在第 6 行。第二段从第 7 行开始, 而第 7 行最大值为 11, 所以第二段分割在第 18 行 ($7 + 11 = 18$)。

5	5	5	5	5	5	5	4	4	4	3	3	6	6	6	6	6	6	6
4	4	4	4	4	4	3	3	3	2	2	2	3	5	5	5	5	5	5
3	3	3	3	3	2	2	2	2	1	1	1	1	2	4	4	4	4	4
2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	6	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	11	11	11	11	11	11	11
5	5	5	8	8	8	8	8	8	8	8	8	10	10	10	10	10	10	10
4	4	4	4	7	7	7	7	7	7	7	7	9	9	9	9	9	9	9
3	3	3	3	6	6	6	6	6	6	6	6	8	8	8	8	8	8	8
2	2	2	2	2	2	5	5	5	5	5	5	5	5	7	7	7	7	7
1	1	1	1	1	1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	6	6	6
7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

图5 分段矩阵计算示意图

3 实验结果与分析

实验在 Matlab 环境下进行, 数据采用 UCID 图像库^[11]。为了说明实验效果, 以下将从图像的像素平均能量值和缩放的视觉效果两个方面分别与 Seam - carving 算法、文献^[12]算法分别作对比和分析。

3.1 图像像素平均能量的对比分析

能量是 Seam 最重要的指标, 它反映了 Seam 所携带的信息量大小。Seam - carving 算法的核心思想是在缩放时删除能量较小的像素点, 能量小意味着所携带的信息较少, 对原图的破坏越小。删除较小的能量点必然会导致图像像素的平均能量值增加, 因此对比图像的平均能量值能够说明图像的缩放效果。实验给出 3 组不同的图像, 分别使用三种算法图像缩小相同的比例, 计算出的图像平均像素能量值如表 2 所示。分

析表2中的数据,可以发现本文算法缩放后的像素平均能量值要比 Seam - carving 算法和文献^[12]算法的像素平均能量值大,因此可以说明本文算法在缩放后可以保存更多的信息,缩放效果更好。

表2 对比图像像素的平均能量值

	一组	二组	三组
原图	79.70	54.82	138.39
Seam - carving 算法	88.16	60.97	153.78
文献 [] 算法	84.10	58.13	144.44
本文算法	121.09	93.06	186.06

3.2 图像缩放视觉效果的对比如分析

图6、图7和图8显示了本文算法与传统 Seam - carving 算法和文献^[12]改进算法的缩放效果对比。从图6和图7上可以看出,水面的波纹等复杂纹理对能量提取造成很大的干扰,中心的鸭子反而由于身体纹理平滑被误识别为不重要的内容,其中图6的鸭子头部发生了形变,而图7的鸭子尾巴遭到了删除。图8为本文算法,所提取的路线总体能量更低,即都为视觉的冗余区域,对重要内容的保护更加优秀,整个缩放结果与原始图像有着极为相似的视觉感知效果。



图6 文献^[11]提取线路及缩放结果



图7 文献^[12]提取线路及缩放结果



图8 本文算法提出线路及缩放结果

4 结束语

Seam - Craving 算法能够对图像进行缩放操作时尽量保持图像中重要的视觉内容,能量函数的设

置和 Seam 的提取路线是 Seam - Craving 算法的核心。本文采用了结合显著性的梯度能量函数,能够更有效地定义图像中的对象或区域的视觉关注度,避免它们在缩放时被删减。此外,本文提出了采用结合图像边缘识别的分段 Seam 提取路线,能够更有效减低路线中像素的平均能量值,也能避免图像边缘被破坏从而引起图像中物品的形变扭曲。

参考文献:

- [1] Shai Avidan ,Ariel Shamir. Seam carving for content - aware image resizing [J]. ACM Transactions on Graphics , 2007 26(3) : 1 - 10.
- [2] Kopf S ,Guthier B ,Effelsberg W. Seam carving with improved edge preservation [J]. Proceedings of Spie the International Society for Optical Engineering ,2010 ,7542: 75420G - 75420G - 11.
- [3] Chen Y ,Pan Y ,Song M ,et al. Improved seam carving combining with 3D saliency for image retargeting [J]. Neurocomputing 2015 ,151(151) : 645 - 653.
- [4] Yan B ,Sun K ,Liu L. Matching - Area - Based Seam Carving for Video Retargeting [J]. IEEE Transactions on Circuits & Systems for Video Technology 2013 23(2) : 302 - 310.
- [5] Zhou B ,Wang X ,Cao S ,et al. Optimal Bi - directional Seam Carving for Compressibility - Aware Image Retargeting [J]. Journal of Visual Communication & Image Representation 2016 (41) : 21 - 30.
- [6] FA Sebastian ,RG Santosa ,HR Theresia. PERBANDINGAN ALGORITMA SHORTEST PATH DALAM PEMROSESAN CITRA DIGITAL SEAM CARVING [J]. Jurnal Informatika 2016 ,11(2) : 127 - 128.
- [7] 黄金凤 陈小娥. 基于 Seam Carving 的图像自适应缩放算法研究 [J]. 龙岩学院学报 2017 35(5) : 38 - 44.
- [8] Han J W ,Choi K S ,Wang T S ,et al. Improved seam carving using a modified energy function based on wavelet decomposition [C]. IEEE ,International Symposium on Consumer Electronics. IEEE 2009: 38 - 41.
- [9] Hwang D S ,Chien S Y. Content - aware image resizing using perceptual seam carving with human attention model [C]. IEEE International Conference on Multimedia and Expo. IEEE 2008: 1029 - 1032.
- [10] Achanta R ,Hemami S ,Estrada F ,et al. Frequency - tuned salient region detection [C]. Computer Vision and Pattern Recognition 2009. CVPR 2009. IEEE Conference on. IEEE , 2009: 1597 - 1604.
- [11] Schaefer G ,Stich M. Uncompressed colour image database [DB/OL]. (2010 - 08 - 16) [2015 - 12 - 11]. <http://vision.cs.aston.ac.uk/datasets/UCID/data/ucid.v2.tar.gz>.
- [12] 翟胜楠 孟凡佳 刘金华. 一种改进的 Seam Carving 图像重定向算法 [J]. 湖北民族学院学报(自然科学版) , 2018 (2) : 194 - 198.