

## 基于 Seam Carving 的图像自适应缩放算法研究

黄金凤 陈小娥

(福建船政交通职业学院 福建福州 350007)

**摘要:** 基于 Seam Carving 的自适应缩放图像质量依赖于线路能量函数的定义和线路的提取。针对 Seam Carving 算法中可能同时存在多条累积能量值最小的线路,提出一种改进的线路提取方法。当待提取的线路数量小于图像中存在的等值累积能量值线路数量时,通过增加约束条件,由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,即在累积能量值和局部较优均相同的情况下位置偏移差较小的线路优先被提取。实验表明,算法提取的线路定位可较好地应用于各种风格属性的图像缩放,特别是内容相对简单的图片能获得更好的裁剪结果,同时视觉关注重点区域出现扭曲变形的问题也得到改善。

**关键词:** Seam Carving; 自适应缩放; 累积能量值; 位置偏移差; 线路提取

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1673-4629(2017)05-0038-07

随着多媒体技术的迅速发展,现如今多媒体显示设备的尺寸大小不一,比如平板、电视、移动电话等,它们纵横比例不同。但是,这些设备和待显示的图像大小、比例不可能总是一样的,所以就涉及到图像的自适应缩放问题。图像缩放问题已成为当前图像处理领域研究的热点问题之一。

迄今为止,已有不少图像缩放相关技术被相继提出。早期的缩放技术有直接裁剪和统一缩放等。然而,统一缩放技术或者均匀缩放在源图像纵横比被改变之后可能会扭曲重要区域。而直接裁剪技术则因为裁剪位置的关系,容易造成重要内容的丢失,且只适用于图像缩小。近年来, SUH<sup>[1]</sup>等提出了一种基于内容感知的图像缩放方法,利用贪婪算法搜索裁剪窗口。AVIDAN 等<sup>[2]</sup>于 2007 年首次提出了基于线裁剪的图像缩放方法。该方法首先利用能量函数计算各个像素点的能量值,再计算具有反映每条线路对视觉感知的重要性的累积能量值,然后采用一次选择一条能量值最小的像素带的提取策略,进行删减(缩小)或者增加(放大),以达到缩放的最终目标尺寸。自 AVIDAN 提出基于线裁剪的图像缩放算法之后,很多学者对于该算法的研究主要通过两个方面进行改进,一个是从能量函数的计算着手:如文献[3]提出通过计算删除每条线路上的像素后的前向能量作为能量函数;文献[4]通过对图像进行小波分解后得到的高频分量进行混合计算像素能量;文献[5]计算像素能量主要通过图像区域显著性提取算法;当然,还有其他一些改进算法都取得了不错的效果<sup>[6-9]</sup>。另外一方面是从提取的线路着手<sup>[10-13]</sup>,如文献[10]提出了一种新线路能量函数,该算法为权衡删除线路上某些像素点后会造造成图像局部区域的变形而定义了新增能量项;SEBASTIAN 等<sup>[11]</sup>讨论比较了 Dijkstra 和 Acyclic 两种最短路径方法,以此寻找更有效的线裁剪的转换方法。

以上算法在一些摄影图片中均取得了不错的裁剪效果,然而在其他风格属性的图像中,尤其是某些内容相对简单的图像,裁剪效果反而不尽人意。由于有些图片根据 Seam Carving(以下简称 SC)算法计算得

收稿日期: 2017-04-18

Doi: 10.16813/j.cnki.cn35-1286/g4.2017.05.008

作者简介: 黄金凤,女,江西吉水人,福建船政交通职业学院信息工程系副教授,主要研究方向: 计算机应用技术。

基金项目: 福建省中青年教师教育科研项目(JAT160704)。

到的累积能量值可能存在大量等值的情况,此时选取策略不同,裁剪效果就不一样。因此,本文针对 SC 算法中可能同时存在多条累积能量值最小线路的情况,提出一种新的线路提取策略。特别是一些内容相对简单的简笔画或矢量图等,待提取的线路数量通常会小于图像中存在的等值累积能量值线路数量,通过增加约束条件,由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,即在累积能量值和局部较优均相同的情况下位置偏移差较小的线路优先被提取,由此可以避免提取线路经过视觉关注区域,改善图像中局部区域变形问题。

## 1 算法原理

### 1.1 SC 算法思想

基于 SC 的图像缩放算法的思路是,通过定义像素点的能量值,然后用动态规划算法在图像能量图中寻找能量值最低的像素带,然后按一定的规律增加或者删除这些像素带,从而实现图像进行缩放。图像的垂直方向的裁剪线路  $S$  定义为:

$$S^X = \{s_i^x\}_{i=1}^n = \{x(i) - i\}_{i=1}^n, \\ s.t. \forall i, |x(i) - x(i-1)| \leq 1$$

这里  $x$  是一个映射,即  $x: [1 \dots n] \rightarrow [1 \dots m]$ 。即从上到下每一行只包含一个像素点,在每个像素点的八邻域范围内寻找一条自上而下的像素带,以此保持裁剪线的联通性。同理,水平方向的像素带公式如下:

$$S^Y = \{s_j^y\}_{j=1}^m = \{j - y(j)\}_{j=1}^m, \\ s.t. \forall j, |y(j) - y(j-1)| \leq 1$$

其中,  $y$  是一个映射:  $y: [1 \dots m] \rightarrow [1 \dots n]$ 。

以垂直的  $S$  为例, SC 的过程如下:  $S$  在图像  $I$  中表示为:

$$I_S = \{I(s_i)\}_{i=1}^n = \{I(x(i) - i)\}_{i=1}^n$$

同时,像素带  $S$  的能量函数采用图像的梯度函数,计算方式如下:

$$e(I) = \left| \frac{\partial}{\partial x} I \right| + \left| \frac{\partial}{\partial y} I \right| \quad (1)$$

$S$  能量定义的一般形式为  $E(s) = E(I_s) = \sum_{i=1}^n e(I(s_i))$ 。接着,通过寻找最优解  $s^*$  使得  $E(s)$  最小。对于任意输入点  $(i, j)$  能量值  $e(i, j)$ ,记累积能量值  $M(i, j)$ ,则有

$$M(i, j) = e(i, j) + \min(M(i-1, j-1), M(i-1, j), M(i-1, j+1)) \quad (2)$$

因此,只需遍历图像第二行到最后一行,计算出累积能量。最后,整条最优路径可以从最小值位置进行回溯得到。同理,水平方向最小值和最优路径可以根据以上方法求得。

### 1.2 改进的算法

SC 算法的思想通过选择图像中累积能量值最小的线路,让待删除和待增加的像素带发生在图像重要区域以外。而对于大部分图像来说,累积每个像素点的能量值,得到的像素带的最小能量值一样的情况概率极低,有的话,一般也只有极少数几条,对整体的缩放效果基本没有任何影响。但是于某些图片,特别是内容和背景相对单一的图片,如矢量图、简笔画等,可能存在大量相同的最小能量值的像素带,即会有多条路径(假设  $N$  条)都能得到等值的最小能量值,设需要删除的像素带条数为  $M$ ,当  $M < N$  时,选择不同的像素带进行删除,会得到不同的效果图。

为解决这个问题,本文从以下 2 个方面对 Seam Carving 算法进行改进:

(1) 局部较优。为了使得缩放结果更符合人类视觉特征,当具有多条最小能量值的路径存在时,可尽量选择跟裁剪方向一致的像素带,由此可以减少重点对象发生扭曲变形的概率。以垂直方向像素带为例,像素带中相邻像素点的选择有三种情况:左上方、正上方和右上方。当这三个点的能量值相等的时候,回溯时选取不同的点将形成不同的像素带。为使缩放后的图像主体对象尽量不发生扭曲变形,某点回

溯时尽量取正上方向的点作为该点回溯的前一个点<sup>[12]</sup>。如图 1 所示为回溯点的选择过程。(a) 为圆的示意图。(b) 为其能量值对应的 01 矩阵示意图。(c) 为矩阵中第三行第四列的点(图中加粗表示)回溯过程中前驱点的选择,如箭头所示,在没有约束的情况下,可以是①或者②。本文中的局部较优,选择的是第二种情况。



图 1 回溯点的选择

(2) 全局最优。在文献[2]算法动态规划求解过程中,增加一个参数  $\delta$  用来表示像素带生成过程中每个点偏离最后一个点的位置差,具体计算方法见公式(3)。以垂直方向为例,计算累积像素点的最小能量值的同时,通过  $\delta$  累积每个像素点的位移偏差。当某一像素带累积的位置偏移差比较小时,说明像素带方向越接近竖直方向,由此产生变形的概率就越小。反之,如果累积的位置偏移差比较大,产生变形的概率越大。对于任意输入点  $(i, j)$  位移偏差表示为

$$\text{offset}(i, j) = \begin{cases} \text{offset}(i-1, j-1) + \delta \\ \text{offset}(i-1, j) \\ \text{offset}(i-1, j+1) + \delta \end{cases} \quad (3)$$

公式(3)的计算约束于公式(2),即  $\text{offset}(i, j)$  的计算依赖于  $M(i, j)$  的计算,即当式(2)中的  $M(i-1, j-1)$  使得  $M(i, j)$  取最小值时,  $\text{offset}(i, j)$  的计算就取第一个式子  $\text{offset}(i-1, j-1) + \delta$ 。另外两种情况以此类推。在垂直方向上,  $\delta$  值由下式中的  $k$  值决定,可以是欧氏距离或者其他距离公式计算。

$$S^x = \{s_i^x\}_{i=1}^n = \{x(i) - \bar{x}\}_{i=1}^n, \\ s.t. \forall i, |x(i) - x(i-1)| \leq k$$

同理,水平方向上,  $\delta$  值由下式中的  $k$  值决定。

$$S^y = \{s_j^y\}_{j=1}^m = \{y(j) - \bar{y}\}_{j=1}^m, \\ s.t. \forall j, |y(j) - y(j-1)| \leq k$$

图 2 为圆的缩放示意图,同样是删除 2 条累积能量值最小的像素带。(a)、(b)和(c)图的左边是圆及其待删除路径,图中数字加着重点和下划线所形成的路线分别为两条等值的最小累积能量值路径,右边为缩放结果图。视觉上容易认为删除 2 条最小值线路应该就是左右的两条,如图(a)所示,但是实际上如果没有任何约束条件的话,还可能是(b)和(c)等所示的裁剪结果。而根据本文提出的局部较优原则,(c)的提取方式就先被排除了。而(a)和(b)都满足局部较优,此时还要考虑全局最优。(a)标识出的待删除的两条累积最小值像素带的位置偏移差都为 0,而(b)中加下划线的路线位置偏移差为 0,加着重点的路线的位置偏移差为  $2\sqrt{2}$  (当参数  $k$  取值为 1,  $\delta$  取欧氏距离时)。因此,根据本文的算法只有(a)图符合条件。

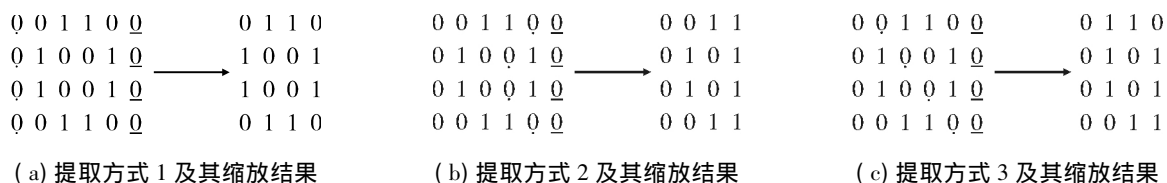


图 2 圆的缩放示意图

## 2 实验结果分析

本文主要完成了 Seam Carving 算法及其改进的算法。实验过程中,参数  $k$  设置为 1,  $\delta$  取对应的欧氏距离。以下分几个方面分析实验测试效果。

### 2.1 与原 SC 算法的实验对比

本文的算法在矢量图、简笔画等简单图像的缩放效果较优于文献[2]的算法。因一些图像可能存在许多相同的最小能量值的像素带,裁剪顺序如果没有一定约束,实际裁剪跟视觉上认为的裁剪结果会有很大不同,如图3所示。(a)图为源图,其中两抽象花瓶中有一条和背景一样的粗直线,当在水平方向上找裁剪线路时,视觉上容易觉得先裁剪掉的像素带应该是在该片直线区域上,因为肉眼就很容易看出该片区域的能量值根据(1)式的计算结果为最小。然而实际并不是,(b)图为采用文献[2]算法裁剪掉15条像素带后的结果图,裁剪了左上角经过花茎的几条像素带。(c)为文献[2]裁剪掉22条像素带后的结果图。也就是说裁剪第16条之后,才开始裁剪直线区域,相对比较不符合人类的视觉习惯。

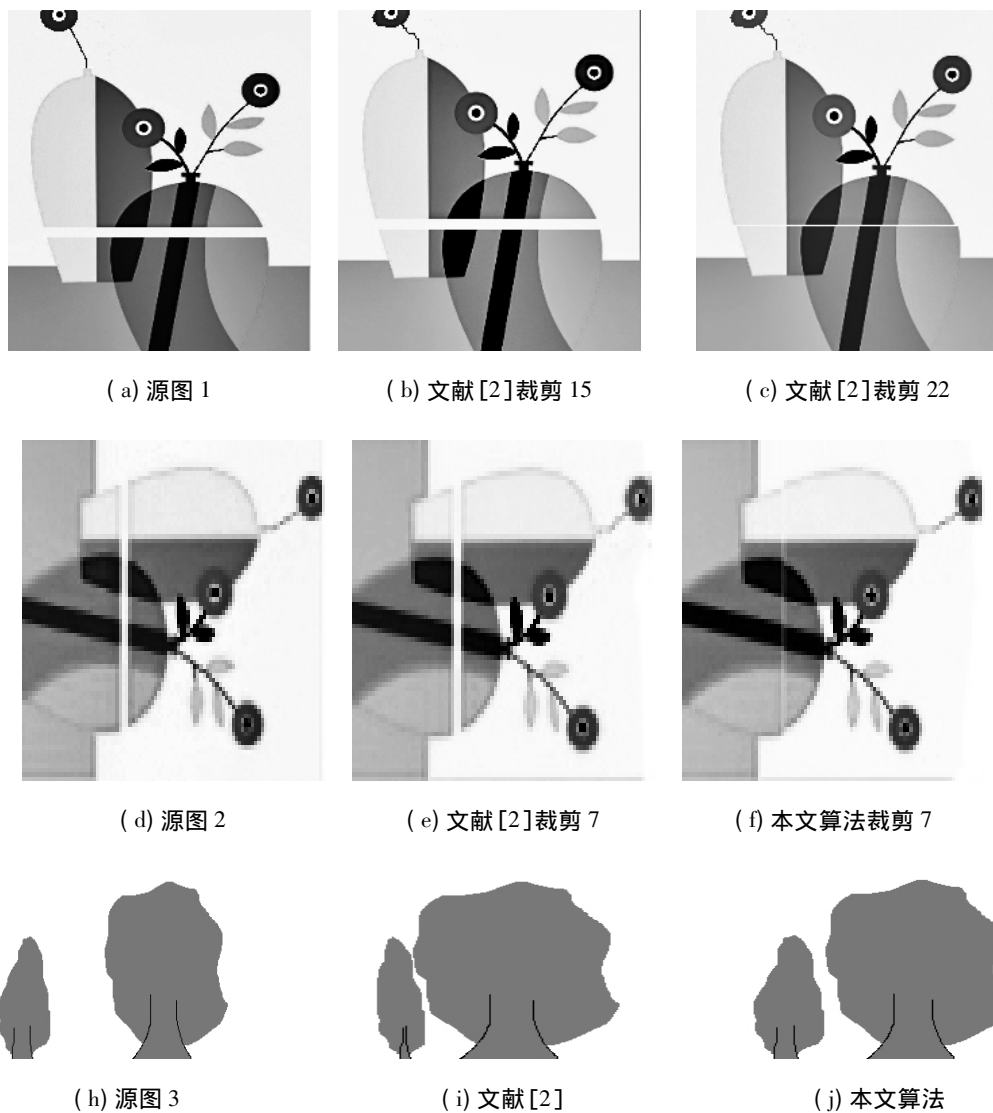


图3 与原 SC 算法的比较



图(d)为图(a)向右旋转 $90^\circ$ 所得,(e)和(f)图为裁剪掉(d)图7条像素带后所得结果图。文献[2]算法根据图片的具体朝向不同,可能先裁花茎和花朵区域中的最小能量值像素带,也可能先裁直线区域的像素带。本文算法所得(f)图裁剪的结果比较符合人类视觉机制,而且根据本文算法,不管图片旋转到哪个方向,选择的删除线路都是粗直线所在的区域。

图(h)为另一源图,图(i)为图(h)经文献[2]算法垂直方向裁剪掉 $1/3$ 像素带之后的结果,同样,图(j)为图(h)经本文算法裁剪之后的结果。由实验结果可以看出,图(i)左侧的树发生了变形,而图像右侧仍有空白的部分。图(j)经本文算法裁剪后的结果,是比较理想的,保留了图片中视觉相对重要的区别,且没有发生变形。

## 2.2 与传统图像自适应缩放算法比较

将本文改进后的算法与其他缩放算法进行实验对比。在图4中,将本文算法与传统图像缩放方法进行分析比较。其中,图4(a)、(e)为原始图像,(b)、(c)、(d)为(a)缩放后的结果图,(f)、(g)、(h)为(e)缩放后的结果图,它们依次是经过直接裁剪方法、均匀缩放方法和本文自适应缩放所得。实验结果表明,传统的直接裁剪算法,根据裁剪窗口的位置不同,一些重要图像信息可能没有显示出来,如(g)图左侧的道路被裁剪掉了;采用传统均匀缩放算法处理后,图像主体内容均产生了一定的压缩变形;而本文自适应图像缩放处理后,能较好地显示图像的整体效果,保护图像主体内容不变形、不丢失。



图4 不同图像缩放算法的比较分析

## 2.3 在其他风格属性图像中的应用分析

很多学者研究 SC 算法主要将其应用于摄影图片,本文算法除了在摄影图片,简笔画、矢量图等图像具有比较好的缩放效果外,同样适用于其他风格属性的图像。图5的(a)~(c)为原始图像,分别是油画、国画和素描,(d)~(f)为采用本文自适应缩放算法所取得的相应的裁剪效果图。实验表明,本文算法在其他风格属性的图像自适应缩放中也取得了不错的应用效果。

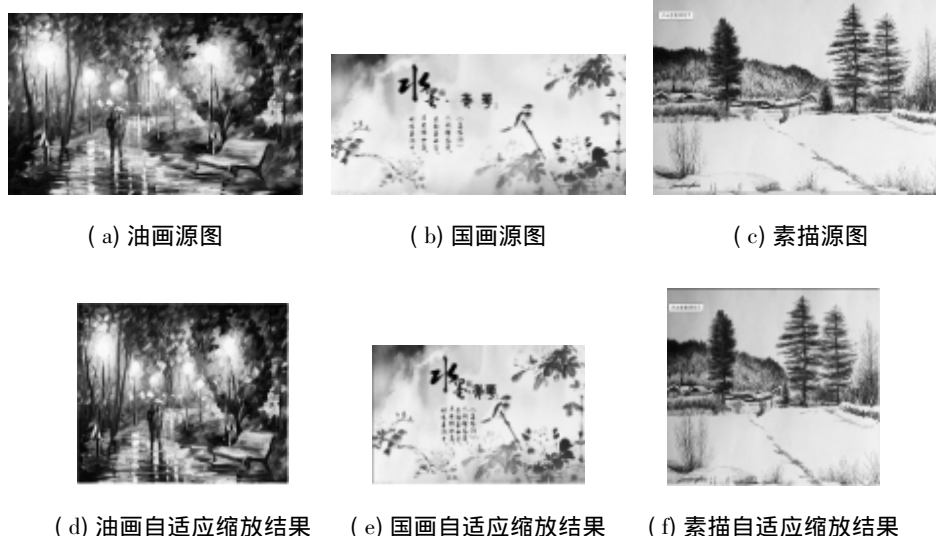


图5 在其他风格属性图像中的应用

### 3 结语

本文提出了一种改进的 SC 算法的线路选择方法,通过增加局部前驱点的选择和累积的全局线路位置偏移差等约束条件共同决定待删除或者待增加的像素带。改进的算法在一些简笔画或矢量图中可获得更好的缩放效果,可有效减少视觉关注区域的扭曲变形问题,当然也适用于其他各种风格属性的图片缩放。算法还可以进一步改进,如结合改进的能量函数计算累积能量值,进一步优化缩放效果。

#### 参考文献:

- [1]SUH B, LING H, BEDERSON B B, et al. Automatic thumbnail cropping and its effectiveness [C]//Proceedings of the 16th annual ACM symposium on User interface software and technology. ACM, 2003: 95-104.
- [2]AVIDAN S, SHAMIR A. Seam carving for content-aware image resizing [C]//ACM Transactions on graphics (TOG). ACM, 2007, 26(3): 10.
- [3]RUBINSTEIN M, SHAMIR A, AVIDAN S. Improved seam carving for video retargeting [C]//ACM transactions on graphics (TOG). ACM, 2008, 27(3): 16.
- [4]HAN J W, CHOI K S, WANG T S, et al. Wavelet based seam carving for content-aware image resizing [C]//Image Processing (ICIP), 2009 16th IEEE International Conference on. IEEE, 2009: 345-348.
- [5]ACHANTA R, SUSSTRUNK S. Saliency detection for content-aware image resizing [C]//Image Processing (ICIP), 2009 16th IEEE International Conference on. IEEE, 2009: 1005-1008.
- [6]雷励星. 基于混合能量的内容敏感图像缩放新方法 [J]. 计算机学报, 2010, 33(10): 2015-2021.
- [7]DONG W M, BAO G B, ZHANG X P, et al. Fast multi-operator image resizing and evaluation [J]. Journal of Computer Science and Technology, 2012, 27(1): 121-134.
- [8]SIVA P, SCHARFENBERGER C, DAYA I B, et al. Return of grid seams: A superpixel algorithm using discontinuous multi-functional energy seam carving [C]//Image Processing (ICIP), 2015 IEEE International Conference on. IEEE, 2015: 1334-1338.
- [9]CHENG J J, CHANG C C, TAI W K, et al. Image resizing based on strengthened edges [J]. Journal of the Chinese Institute of Engineers, 2016, 39(4): 447-454.

- [10] 聂栋栋, 马勤勇. 新线路能量函数下基于线裁剪的图像自适应缩放[J]. 模式识别与人工智能, 2014, 27(11): 1040-1046.
- [11] SEBASTIAN F A, SANTOSA R G, HERLINA T. PERBANDINGAN ALGORITMA SHORTEST PATH DALAM PEMROSESAN CITRA DIGITAL SEAM CARVING[J]. Jurnal Informatika, 2016, 11(2): 127-128.
- [12] 陈小娥, 李慧敏. 多相同最小能量值线路下基于线裁剪的图像缩放算法研究[J]. 长春工程学院学报(自然科学版), 2016(2): 111-115.
- [13] OLIVEIRA S A F, NETO A R R, BEZERRA F N. A novel Genetic Algorithms and SURF-Based approach for image retargeting[J]. Expert systems with applications, 2016, 44: 332-343.

(责任编辑: 巫永萍)

## Research on Image Adaptive Resizing Algorithm Based on Seam Carving

HUANG Jinfeng, CHEN Xiao'e

(Fujian Chuanzheng Communications College, Fuzhou, Fujian 350007, China)

**Abstract:** The image quality of resizing method based on seam carving depends on the definition of seam energy function and the result of seam extraction. To solve the problem that there may be lots of optimum seams with the same minimum energy values, an improved adaptive image resizing algorithm was proposed. When the amount of the same cumulative energy values was more than to be extracted, the choice of local precursor and global position offset was to be considered. The improved algorithm calculates the position offset of seams and selects the minimum one. The experimental results show that the seams extracted by the improved algorithm is more reasonable, and can be better applied to all kinds of images, especially for images with simple content such as simple stroke drawing, which has fewer aliasing problems in the details of image's key objects.

**Key words:** seam carving; adaptive scaling; cumulative energy values; position offset; route extraction