

## 结合视觉显著图的 Seam Carving 图像缩放方法<sup>\*</sup>

郭正红, 张俊华, 郭晓鹏, 梅礼晔  
(云南大学 信息学院, 云南 昆明 650091)

**摘要:** Seam Carving 算法在缩放主体区域与背景颜色对比不明显或者视觉主体区域较大的图像时,可能会造成图像视觉主体变形和重要内容缺失的现象.为了改善 Seam Carving 算法的不足,采用图像梯度图和显著图结合的方法来改进图像的梯度能量图.实验表明,这种方法在缩放图像时比 Seam Carving 算法更能很好地保持图像重要内容,整体视觉效果较好,图像像素的平均能量值更大,图像缩放质量更好.

**关键词:** Seam Carving 算法; 梯度图; 显著图; 图像缩放

**中图分类号:** TP 391    **文献标志码:** A    **文章编号:** 0258-7971(2018) 02-0222-06

传统的图像缩放方法是基于几何变换的图像缩放算法,通过对图像进行双线性插值、3 次插值和最近邻插值等方法来改变图像的尺寸<sup>[1-2]</sup>.该方法只是对图像中所有内容机械地等比例的缩放,对于长宽比相同的图像进行缩放时效果可能更好,但是如果目标图像与原图像的长宽比不一致时,缩放后图像的视觉主体区域容易失真,导致图像变形,视觉效果并不令人满意,无法满足用户的需求.如图 1 所示,对比图 1(a) 和图 1(b),可以看出传统的缩放算法会导致图像变形,整体视觉效果较差.



图 1 对比传统缩放算法与 Seam Carving 算法效果图

Fig.1 Comparison of the traditional scaling algorithm with the Seam Carving algorithm

为了解决传统的图像缩放技术存在的问题,早期很多研究者提出了不同的方法<sup>[3-4]</sup>.其中比较经典的是 Avidan 等<sup>[5]</sup>于 2007 年提出的基于内容感知的 Seam Carving 图像缩放算法.如图 1(c) 所示,

Seam Carving 算法相比传统的几何变换缩放方法会取得较好的缩放效果.但是如图 2(b) 所示, Seam Carving 算法对酸橙色矩形框中的汽车尾部被过度裁剪,同时红色方框中的建筑物变形.从图 2 中可以看到 Seam Carving 算法在缩放视觉主体区域比较大或背景比较复杂的图像时,会引起图像重要内容缺失或视觉主体区域变形的现象,视觉效果不理想.

针对 Seam Carving 算法的不足,目前国内外许



图 2 Seam Carving 算法的缩放效果图

Fig.2 The scaling effect of the Seam Carving algorithm

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2017-04-19

基金项目: 国家自然科学基金(61361010).

作者简介: 郭正红(1989-),男,云南人,硕士生,主要研究方向为图像处理.E-mail: 313726520@qq.com.

通信作者: 张俊华(1976-),女,云南人,博士,教授,主要研究方向为生物医学图像处理等.E-mail: jhzhang@ynu.edu.cn.

多研究者在此基础上做了相应研究<sup>[6-9]</sup>. 赵伟伟等<sup>[7]</sup>提出了改进能量函数的 Seam Carving 图像缩放方法, 选择性地保留了图像边缘信息与视觉感兴趣区域中能量点比较大的值, 但该方法在缩放主体区域与背景颜色对比不明显或者主体区域较大的图像时图像像素点平均能量值较低, 图像缩放效果不理想. 彭国琴等<sup>[8]</sup>提出了一种基于视觉显著图的裁剪线算法, 但是该算法在缩放视觉主体区域较大的图像时容易出现图像部分结构扭曲的现象. Liu 等<sup>[9]</sup>提出了基于区域匹配的 Seam Carving 视频缩放算法, 并将该算法应用于视频缩放. Chen 等<sup>[10]</sup>提出了一种结合 3D 显著性改进 Seam Carving 算法, 使该算法用于 3D 立体图像的缩放. 林晓等<sup>[11]</sup>提出了基于缝裁剪和变形的图像缩放方法, 该方法利用了缝裁剪算法和图像变形算法的优点, 避免了原有 Seam Carving 算法对图像重要内容的结构破坏. Zhou 等<sup>[12]</sup>提出了优化双向 Seam Carving 压缩感知的图像缩放, 该算法同时考虑了图像边缘信息和视觉显著性, 能够较好地保持图像重要内容.

本文采用 Scholkopf 等<sup>[13]</sup>提出的基于图论的显著性分析算法( Graph-based Visual Saliency, GB-VS 算法) 产生的显著图和图像的梯度图相结合的方法, 提出了一种新的结合视觉显著图的 Seam Carving 图像缩放方法, 该算法在缩放背景与主体区域颜色对比不明显或视觉主体区域较大的图像时比 Seam Carving 算法更能很好地保持图像视觉主体区域, 得到更好的缩放效果.

## 1 Seam Carving 算法理论

Seam Carving 算法是通过移除或者插入累计能量最小的像素线的方式来实现图像缩放. 其思想就是每次在垂直或水平方向上利用动态规划法找到一条能量最小的像素线, 通过删除该像素线实现图像缩小, 反之插入该像素线实现图像放大.

**1.1 定义梯度能量函数** 设  $I$  是一幅给定的图像, 大小为  $n \times m$ , 则定义图像的梯度能量函数为:

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

即在  $x$  方向和  $y$  方向上的梯度绝对值之和为像素的能量值. 图像像素点的能量值越大, 说明该像素点是需要保持的高能量像素值, 对图像重要性越大, 反之为低能量像素值, 对图像重要性不大.

**1.2 确定裁剪线** 设图像  $I$  的大小为  $n \times m$ , 则定

义其垂直裁剪线为:

$$s^x = \{s_i^x\}_{i=1}^n = \{(x(i), j)\}_{i=1}^n, \\ \text{s.t. } \forall i, |x(i) - x(i-1)| \leq 1, \quad (2)$$

其中  $x$  是一个映射  $x: [1, 2, \dots, n] \rightarrow [1, 2, \dots, m]$ , 即像素从上到下在图像中的每一行里只包含 1 个像素点.

同理定义一条水平裁剪线为:

$$s^y = \{s_j^y\}_{j=1}^m = \{(j, y(j))\}_{j=1}^m, \\ \text{s.t. } \forall j, |y(j) - y(j-1)| \leq 1, \quad (3)$$

其中  $y$  是一个映射  $y: [1, 2, \dots, m] \rightarrow [1, 2, \dots, n]$ , 即像素从左到右在图像中的每一列里只包含一个像素点.

以垂直裁剪线  $\{s_i\}$  为例, 一条裁剪线  $s$  包含的所有像素点为:  $I_s = \{I(s_i)\}_{i=1}^n = \{I(x(i), j)\}_{i=1}^n$ . 类似于从一幅图像中移除一行或者一列, 移除图像中裁剪线上的所有像素点只会产生一个局部效应. 假设我们从一幅图像中移除一条垂直裁剪线, 裁剪线是由图像中从上到下的顺序来确定, 这条垂直裁剪线在相邻两行中像素点的选取有: 正上方、左上方和右上方 3 种情况.

如果给出了一个能量函数  $e$ , 则一条裁剪线的能量和为:  $E(s) = E(I_s) = \sum_{i=1}^n e(I(s_i))$ . 那么能量成本最小的裁剪线, 即一条最佳裁剪线  $s^*$  为:

$$s^* = \min_s E(s) = \min_s \sum_{i=1}^n e(I(s_i)), \quad (4)$$

以垂直裁剪线为例, 使用动态规划法寻找出最佳裁剪线  $s^*$ , 第 1 步是从图像的第 2 行遍历到最后一行, 并计算所有可能连接裁剪线的每一点  $(i, j)$  的累积最小能量值  $M$  为:

$$M(i, j) = e(i, j) + \min(M(i-1, j-1), M(i-1, j), M(i-1, j+1)), \quad (5)$$

在这个过程中, 在  $M$  的最后一行的最小值意味着最小垂直裁剪线的结束. 第 2 步我们从  $M$  的最后一行回溯找到最佳裁剪线. 同理可以找到最佳水平裁剪线. 图 3 所示为图像的最佳垂直裁剪线和最佳水平裁剪线.

## 2 本文算法的实现

本文提出了一种新的结合视觉显著图的 Seam Carving 图像缩放方法, 采用图像梯度图和显著图相乘作为图像的新能量图. 其中, 梯度图是用 Sobel 算子<sup>[14]</sup>计算, 反映了图像边界的信息, 而显著图是



(a) 原始图像 (b) 最佳垂直裁剪线 (c) 最佳水平裁剪线

图3 图像的最佳垂直裁剪线和最佳水平裁剪线

Fig.3 The best vertical crop line and the best horizontal crop line of the image

由Scholkopf等提出的基于GBVS(Graph-based Visual Saliency)模型产生的,反映了图像中用户感兴趣的区域,这些区域像素点的能量值比较大,即为需要保持的视觉显著比较明显的区域,而其它能量值比较小的区域可以发生变形.该算法在缩放主体区域与背景颜色对比不明显或视觉主体区域较大的图像时比Seam Carving算法更能很好地保持图像视觉主体区域,并且图像像素的平均能量值更大,图像缩放质量更好.

**2.1 计算图像的显著图** 基于图论的显著性分析算法(Graph-based Visual Saliency, GBVS算法)是一种考虑局部特征的自底向上方法构建的视觉显著性模型,主要包括2个步骤:首先在特征通道上形成激活图,即从输入图像中计算出原图像显著图,再从图像的方向、颜色和亮度等几种特征,把图像的激活图从显著图中计算出来.其次以突出显著性的方式对图像的激活图进行归一化,再从每一个显著区域计算出的显著度进行平均化,并相加全部显著区域的显著度值.

GBVS模型采用了马尔可夫链,是在Itti模型的基础上<sup>[15]</sup>充分利用了马尔可夫随机场的特点,把图像显著区域的信息通过定义相异性得到.设节点 $(i, j)$ 和 $(p, q)$ 的特征分别为 $M(i, j)$ 和 $M(p, q)$ ,则可以定义这2个节点的距离(相异性)为:

$$d((i, j) || (p, q)) \triangleq \left| \log \frac{M(i, j)}{M(p, q)} \right|. \quad (6)$$

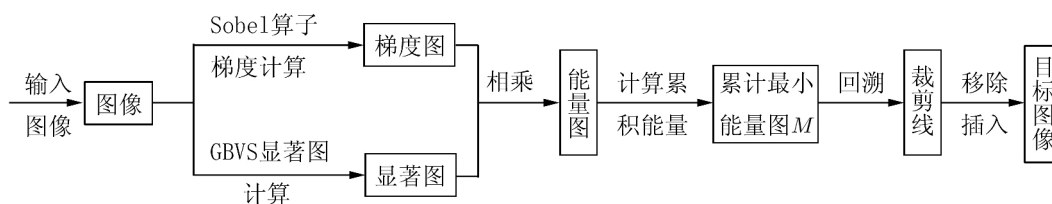


图4 本文算法流程图

Fig.4 The algorithm flow chart in this paper

同时我们可以根据公式(6)定义节点 $(i, j)$ 和 $(p, q)$ 之间完全连接的权重:

$$w((i, j) || (p, q)) \triangleq d((i, j) || (p, q)) \cdot F(i - p, j - q), \quad (7)$$

其中:  $F(a, b) \triangleq \exp\left(-\frac{a^2 + b^2}{2\sigma^2}\right)$ .

**2.2 计算新的能量图** 假设 $e(i, j)$ 为原始图像的梯度能量图, $g(i, j)$ 为GBVS模型算法产生的显著度图,则总能量图为:

$$E(i, j) = e(i, j) \times g(i, j). \quad (8)$$

**2.3 图像缩放算法流程** 图4显示了本文算法流程图.根据输入的图像分别计算图像梯度图和显著图,再把图像梯度图和显著图相乘作为图像的新能量图.本文算法与文献[8]算法不同之处在于文献[8]在计算显著图时是使用Itti等<sup>[15]</sup>提出的基于视觉显著性的自下而上方法来构建的;而本文算法中梯度图是用Sobel算子计算,显著图是由GBVS模型产生的.在计算出来的新能量图上,首先利用动态规划法找出累计能量最小的裁剪线,即找到最佳裁剪线;其次在图像中移除或者插入最佳裁剪线来实现图像缩放.例如可以通过移除这些最佳裁剪线来减小图像尺寸,移除裁剪线后,图像中裁剪线右边(下面)的所有像素点会整体向左(向上)移动一个像素点,以弥补被移除裁剪线的路径.

### 3 实验结果对比与分析

为了进一步说明实验缩放效果,选取了不同的图像,将本文算法与Seam Carving算法、文献[7]算法、文献[8]算法分别从图像视觉效果、图像像素的平均能量值两个方面进行对比与分析.

**3.1 从图像视觉效果分析** 图5为对原始图像分别用4种不同算法缩小相同列数后的图像缩小效果图作比较.从图5中可以看出,图5(b)、图5(c)和图5(d)中红色矩形框里的物体明显收缩变形,说明裁剪过程中裁剪线穿过了图像主体区域,导致



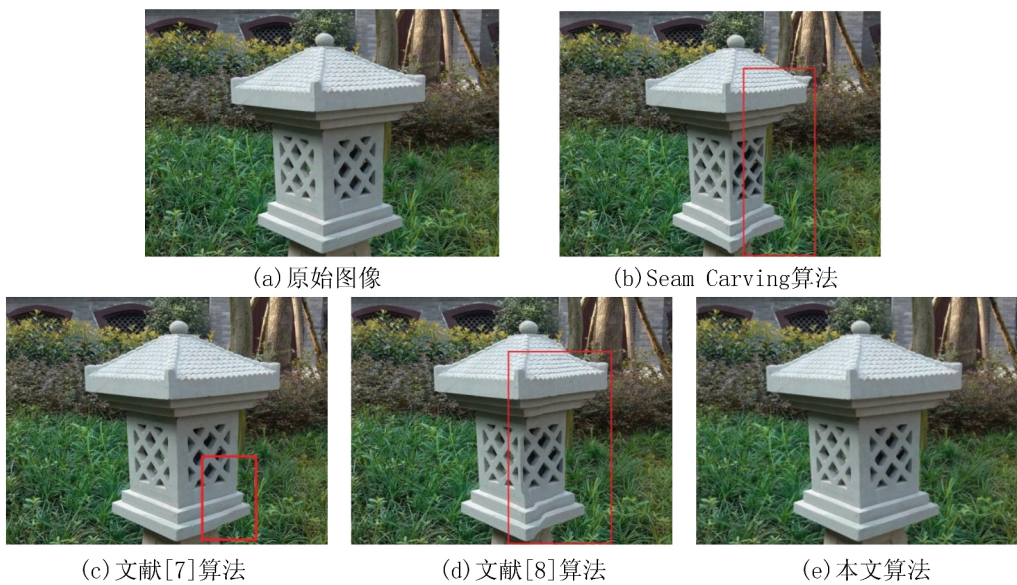


图 5 用 4 种不同算法缩小相同列后的效果图

Fig.5 The effect map of using four different algorithms to reduce the same column

用户感兴趣的视觉主体区域明显出现缺失或者锯齿现象 ,图像整体视觉效果较差 ,而用本文算法缩小的图 5( e) 中的视觉主体区域基本保持不变 ,很好地保持了图像的重要内容 ,视觉效果更好.

图 6 为对原始图像分别用 4 种不同算法缩小相同行数和列数后的图像缩小效果图进行分析 ,该图像中我们会关注图中的建筑物 ,即为该图像中的重要内容 ,从图 6( b) 红色矩形框中可以看到 ,通过 Seam Carving 算法缩小的图像把建筑物的整体形

状明显拉伸;从图 6( c) 可以看出 ,文献 [7] 算法缩小的图像中建筑物的宽度明显减少;从图 6( d) 也可以看出 ,虽然文献 [8] 算法缩小的图像整体效果比图 6( b) 、图 6( c) 更好 ,但是细细关注其红色矩形框就可以发现建筑物相比原始图像收缩明显 ,视觉效果并不令人满意;而从图 6( e) 图中可以看到 ,通过本文算法缩小的图像中的建筑物保持不变 ,只是缩小了图像中一些不太重要的区域 ,整体视觉效果比图 6( b) 、图 6( c) 、图 6( d) 好 ,有效提高了图

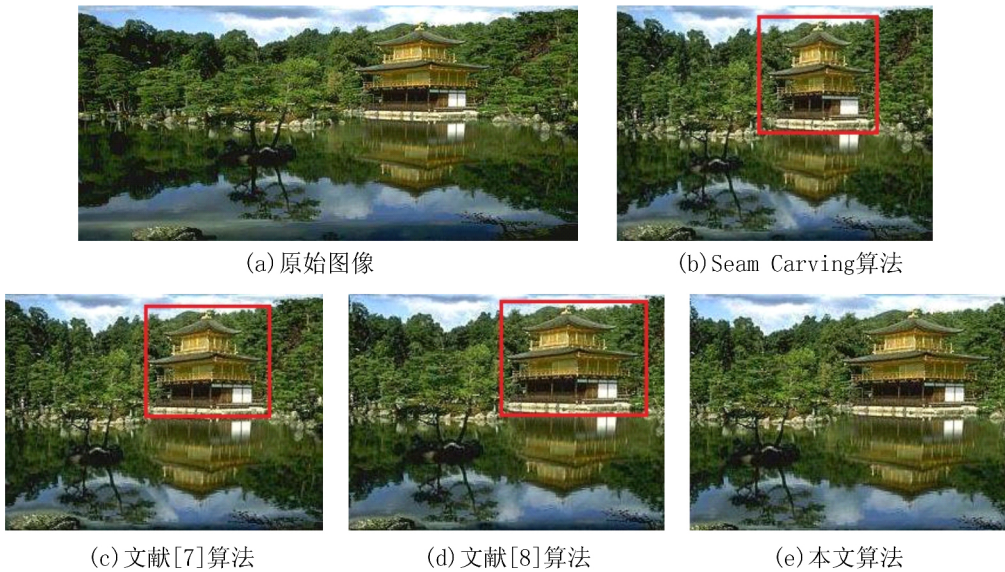


图 6 用 4 种不同算法缩小相同行数和列数后的效果图

Fig.6 The effect map of using four different algorithms to reduce the number of rows and columns

像缩小质量.

**3.2 从图像像素的平均能量值分析** 用 Seam Carving 算法缩小图像时,只移除每行或每列中其能量最小的像素点,从而构成累计能量最小的裁剪线.因为图像的能量是用梯度图定义的,所以图像缩小后,其像素点的平均能量值会增大,而文献[7]、文献[8]和本文算法也是在 Seam Carving 算法基础上提出的,原始图像和缩放后图像的能量值都用图像梯度图来定义.从 3.1 节中可以看到,本文算法比 Seam Carving 算法缩放的图像视觉效果更好.下面选取图 5、图 6 的图片,如表 1 所示,分别计算用 4 种不同算法缩小后的图像像素的平均能量值,以此来分析比较图像缩放效果.

表 1 对比图像像素的平均能量值

Tab.1 Comparison of the average energy value of the image pixels

算法	图 5	图 6
Seam Carving 算法	92.43	85.56
文献[7]算法	96.78	86.02
文献[8]算法	93.70	87.49
本文算法	97.03	93.28

为了更好地说明实验效果,实验中另外给出了 6 组不同的图像,同样对原始图像分别用 4 种算法缩小相同列数,计算出的图像像素的平均能量值如表 2 所示.

分析表 1 和表 2 中的数据可知,本文算法缩小后的图像像素点的平均能量值比 Seam Carving 算法、文献[7]和文献[8]算法更高,说明图像缩放效果更好.

综上实验表明,对于主体区域与背景颜色对比不明显或者视觉主体区域较大的图像时,使用本文算法缩放后的图像整体视觉效果比 Seam Carving 算法缩放后的图像更好,并且计算出的图像像素的平均能量值更大,图像缩放质量更好.

## 4 总 结

在 Seam Carving 算法的基础上,采用由 GBVS 模型产生的显著图和图像的梯度图相结合的方法来检测图像的重要区域,使得这些视觉主体显著区域的能量值相比其它非重要区域更大,能够保证在插入或移除裁剪线时裁剪线无法穿过这些高能量值区域,从而保持这些高能量值的区域不变.通过实验表明,本文算法比 Seam Carving 算法能够更好地保持图像重要内容,有效提高了图像缩放质量.

表 2 对比 6 组不同图像像素的平均能量值

Tab.2 Comparison of the average energy value of the other 6 groups of different image pixels

算法	1 组	2 组	3 组	4 组	5 组	6 组
Seam Carving 算法	126.25	164.15	96.62	90.80	123.44	142.96
文献[7]算法	128.42	165.69	97.14	94.08	123.97	142.98
文献[8]算法	126.56	165.35	96.79	93.97	123.87	145.67
本文算法	130.39	166.33	97.30	94.45	124.10	145.92

## 参考文献:

- [1] 张洋.基于双线性插值法的图像缩放算法的设计与实现[J].电子设计工程,2016,24(3):169-175.  
ZHANG Y. Design and implementation of image scaling algorithm based on bilinear interpolation [J]. Electronic Design Engineering, 2016, 24(3): 169-175.
- [2] HARB S M E, ISA N A M, SALAMAH S. New adaptive interpolation scheme for image upscaling [J]. Multimedia Tools and Applications, 2016, 75(12): 7293-7325.
- [3] SETLUR V, TAKAGI S, RASKAR R. Automatic image

retargetting [C]. Proc of Mobile and Ubiquitous Multimedia (MUM), 2005: 59-68.

- [4] 赵旦峰,王博,杨大为.基于随机置乱的内容感知图像缩放算法[J].吉林大学学报:工学版,2015,45(4):1324-1328.  
ZHAO D F, WANG B, YANG D W. Content-Aware image resizing based on random permutation [J]. Journal of Jilin University: Engineering and Technology Edition, 2015, 45(4): 1324-1328.
- [5] AVIDAN S, SHAMIR A. Seam carving for content-aware image resizing [J]. Acm Transactions on Graphics,

- 2007 26( 3) : 10.
- [6] CHOI J ,KIM C.Sparse seam-carving for structure preserving image retargeting[J].Journal of Signal Processing Systems 2016 85( 2) : 1-9.
- [7] 赵伟伟,张俊华,王逍.改进能量函数的 Seam Carving 图像缩放方法[J].云南大学学报:自然科学版,2014 36( 2) : 181-186.
- ZHAO W W ,ZHANG J H ,WANG X.Seam carving with improved energy function for image resizing[J].Journal of Yunnan University: Natural Sciences Edition ,2014 , 36( 2) : 181-186.
- [8] 彭国琴,施美玲,杨磊.一种基于视觉显著图的线裁剪算法[J].中国传媒大学学报:自然科学版,2011 , 18( 2) : 74-78.
- PENG G Q ,SHI M L ,YANG L.Seam carving for image resizing based on saliency[J].Journal of Communication University of China: Science and Technology ,2011 ,18 ( 2) : 74-78.
- [9] LIU ,SUN K ,YAN B.Matching-area-based seam carving for video retargeting[J].IEEE Transactions on Circuits & Systems for Video Technology ,2013 ,23( 2) : 302-310.
- [10] CHEN Y ,PAN Y ,SONG M.Improved seam carving combining with 3D saliency for image retargeting[J]. Neurocomputing 2015 ,151: 645-653.
- [11] 林晓,张晓煜,马利庄.基于缝裁剪和变形的图像缩放方法[J].计算机科学,2015 42( 9) : 289-292.
- LIN X ,ZHANG X Y ,MA L Z.Image resizing based on seam carving and warping [J]. Computer Science , 2015 42( 9) : 289-292.
- [12] ZHOU B ,WANG X ,CAO S.Optimal bi-directional seam carving for compressibility-aware image retargeting[J].Journal of Visual Communication & Image Representation 2016( 41) : 21-30.
- [13] SCHOLKOPF B ,PLATT J ,HOFMANN T. Graph-based visual saliency [J].Advances in Neural Information Processing Systems 2007 ,19: 545-552.
- [14] 潘跃龙,顾寄南,郑立斌.基于梯度算子的边缘检测方法的研究与改进[J].制造业自动化,2014( 17) : 82-84.
- PAN Y L ,GU J N ,ZHENG L B.Research and improvement on the algorithms of image edge detection based on gradient operators [J].Manufacturing Automation 2014( 17) : 82-84.
- [15] ITTI L ,KOCH C ,NIEBUR E.A Model of saliency-based visual attention for rapid scene analysis [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence ,1998 20( 11) : 1 254-1 259.

## Seam Carving image scaling method with visual significant graph

GUO Zheng-hong , ZHANG Jun-hua , GUO Xiao-peng , MEI Li-ye

( School of Information Science and Engineering ,Yunnan University ,Kunming 650091 ,China)

**Abstract:** Seam Carving algorithm may result in the distortion of the visual subject area and the missing of the important content of the image when scaling an image with no obvious contrast between the subject area and the background color or with larger subject area. In order to improve the lack of Seam Carving algorithm ,we use a combination of image gradient graph and saliency map to improve the gradient energy graph of the image. The results of experiments show that ,compare with the Seam Carving algorithm ,the proposed method can better maintain the important content of the image ,preserves a better overall visual effect ,and obtains a larger average energy value of the image pixel and a better image scaling quality in scaling the image.

**Key words:** Seam Carving algorithm; gradient graph; significant graph; image scaling