

改进能量函数的 Seam carving 图像缩放方法^{*}

赵伟伟¹, 张俊华¹, 王 逍², 龚军辉¹, 刘慧敏¹

(1. 云南大学 信息学院, 云南 昆明 650091; 2. 云南大学 软件学院, 云南 昆明 650091)

摘要: Seam carving 算法是一种基于图像内容的缩放方法. 这种方法在进行图像缩放时, 可能会引起图像视觉主体的变形. 为了改善 Seam carving 算法, 采用基于图论的显著图模型(Graph - based Visual Saliency, GBVS)产生的显著度图与图像的梯度图相结合的方法计算像素点对人的视觉的重要性. 实验表明, 这种方法比 Seam carving 图像缩放算法有更好的缩放效果.

关键词: 图像缩放; Seam carving 算法; 梯度图; 显著度图; 动态规划

中图分类号: TP 391. 7 **文献标志码:** A **文章编号:** 0258 - 7971(2014)02 - 0181 - 06

随着科技的发展, 显示设备也越来越多样化. 一幅固定大小的图片如何在不同长宽比的设备上显示, 而不引起图像的变形或失真, 成了必须要解决的问题. 这就要求将待显示的图像进行缩放处理, 满足显示设备的长宽比.

目前, 图像缩放算法主要分为 2 大类: 几何变换缩放算法和保持图像内容缩放算法. 其中前者主要包括均值法^[1]、最近邻域法^[1]、双线性插值法^[2]及双三次插值法^[3-4]. 几何图像缩放算法只能对图像中所有内容进行等比例的放大或缩小, 缩放后的图像失真比较严重, 不能满足现在电子设备的要求. 保持图像内容缩放算法主要包括基于图像裁剪或变形缩放算法^[5]和基于线裁剪(Seam carving)的缩放算法.

Seam carving 算法^[6]保持图像中的感兴趣区域尽量不发生形变, 让待删除或者插入的裁剪线发生在感兴趣区域以外的部分, 从而保证图像中的感兴趣区域的完整性. 与几何变换缩放方法相比, 它取得了很好的缩放效果. 但是, 由于这种方法只采用图像的梯度图定义能量函数, 缩放时可能会造成图像中的视觉主体的变形. 本文以 Seam carving 图像缩放算法为基础, 采用基于图论的图像显著性分析(GBVS)算法与梯度图相结合的方法, 从而去改

进 Seam carving 算法中的能量函数, 使其具有更好的缩放效果.

1 Seam carving 图像缩放方法

线裁剪算法在进行图像缩放时, 删除或者插入图像中累积能量最小像素线, 尽量保证图像的总能量改变最小.

1.1 定义图像的梯度能量图 假设一幅图像为 I , 其大小为 $n \times m$, 定义图像中像素点的能量的函数就是图像的梯度函数:

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

矩阵中像素点的能量值越大, 表明该像素点的重要程度越大, 反之则越小. 图 1(a) 为本文使用的示例图像, 图 1(b) 为图 1(a) 的梯度能量图. 从图 1(b) 中可以观察到, 实例图像中 4 只气球及其倒影部分为图像中的重要内容. 用动态规划算法在图像能量图上找到累积能量最小的裁剪线, 通过删除或者插入这些裁剪线来改变图像的大小.

1.2 裁剪线的确定 图像 I 的垂直裁剪线定义为:

$$s^x = \{s_i^x\}_{i=1}^n = \{x(i), i\}_{i=1}^n, \text{ s. t. } \forall i, |x(i) - x(i-1)| \leq 1, \text{ 其中 } x \text{ 是一个映射, } x: [1, \dots, n] \rightarrow$$

^{*} 收稿日期: 2013 - 04 - 06

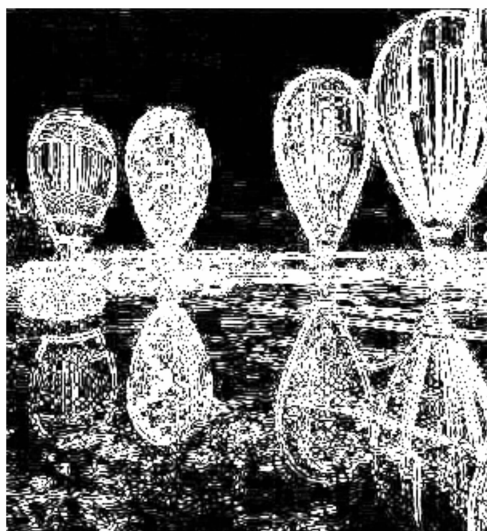
基金项目: 国家自然科学基金(61002049; 61361010); 教育部科学技术研究重点项目(211173).

作者简介: 赵伟伟(1988 -), 男, 河南人, 硕士生, 主要研究方向为图像处理. E-mail: 454999853@qq.com.

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



(a) 实例图像



(b) 梯度图

图1 实例图像及其梯度图

Fig. 1 Example of image and its gradient map

$[1, \dots, m]$, 即从上到下每一行只包含1个像素点. 假设按照由上到下的顺序来确定裁剪线, 垂直裁剪线中相邻像素点的选取有3种情况: 左下方, 正下方和右下方, 每一行只能选取1个像素点删除, 保证删除裁剪线后整幅图像不产生锯齿现象, 这即是裁剪线的连通性. 累积能量最小的裁剪线的寻找采用动态规划算法. 对于图像 I 中的像素点能量值 $e(i, j)$, 记累积能量值为 $M(i, j)$, 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 I 中第2行到最后一行, 计算出其累积能量. 累积能量最小的点即是最小的裁剪线的终点. 然后通过回溯的方法找到最优的裁剪线, 在原图中删除相对应的裁剪线路径的像素点, 把原图像中的被删除的裁剪线右边的像素点依次向左边移动1个像素点, 即缩小了图像的1列.

Seam carving 算法用像素点的梯度值作为该像素点的能量值, 而梯度值反映的是图像的边缘信息, 如果视觉主体的边缘信息不丰富, 裁剪线就很可能穿过视觉主体, 删除或者插入这样的裁剪线时, 会引起图像中的感兴趣对象的断裂或变形.

2 基于 GBVS (Graph - based visual saliency) 模型的 Seam carving 图像缩放算法

2.1 图像的显著性分析算法 为了改善 Seam

carving 算法的缺点, 本文引入了视觉显著度图. 图像的显著性分析算法用以衡量图像中内容对人类视觉的重要程度, 主要有2类, 一类是基于低级视觉信息的由数据驱动的自底向上的数据模型, 另一类是由知识驱动的自顶向下的基于高级视觉信息模型. 基于人眼视觉特性的图像显著性特征分析结合生理学和心理学知识, 根据人眼对亮度、色彩、方向等层次信息的反应的模拟来建立图像显著度模型. 目前, 比较典型的显著性分析算法有 Itti 等^[7]提出的显著图模型, Harel 等^[8]提出的基于图论的图像显著性分析算法, Achanta 等^[9]提出的2种显著图模型等. 这些算法都能有效地找出图像在视觉上吸引人眼注意的区域.

图像缩放算法的目的是放大或者缩小图像时, 尽量保持图像中的人类视觉注意力集中的区域不变形. 而图像的显著性分析能找出人类视觉注意力集中的区域, 即感兴趣区域. 因此, 把图像的显著性分析算法与 Seam carving 图像缩放算法相结合, 在进行图像缩放时, 能够更大限度地保护图像中感兴趣区域的内容. 到目前为止, 国内外很多学者对 Seam carving 算法做了大量的研究和改进的工作, 取得了一定的成果^[10-12]. 本文使用由 Harel 等^[8]提出的基于图论的图像显著性分析算法 (Graph - based visual saliency, GBVS 算法) 与 Seam carving 算法相结合, 对图像进行缩放.

2.2 图像的显著度图 GBVS 算法是一种自上而下的视觉注意力模型. 首先,从原图像中计算出图像的原显著度图,再根据图像的亮度、红色、绿色、蓝色、黄色及方向这几种特征,从原显著度图计算出图像的活化图. 然后对图像活化图进行归一化,计算每一个显著区域的平均显著度,再把所有显著区域的显著度值相加.

GBVS 采用了马尔科夫链方法,通过定义相异性得到图像显著区域的信息. $M(i,j)$ 与 $M(p,q)$ 是节点 (i,j) 和 (p,q) 的特征,则这 2 个节点的相异性(距离)定义为:

$$d((i,j) || (p,q)) \triangleq \left| \log \frac{M(i,j)}{M(p,q)} \right|. \quad (3)$$

同时还可以根据相异性定义完全连通图中点 (i,j) 与点 (p,q) 之间的权重系数:

$$w_1((i,j), (p,q)) \triangleq d((i,j) || (p,q)) \times F(i-p, j-q), \quad (4)$$

$$\text{其中 } F(a,b) \triangleq \exp\left(-\frac{a^2 + b^2}{2\sigma^2}\right). \quad (5)$$

图 2(a)即是由图 1(a)为原图像产生的显著度图. 从图 2(a)中可以看到,图 1 中的 4 只气球及其倒影上半部分亮度比较大,此即为图像中人眼视觉关注度高的区域.

2.3 构造新的能量函数 记由 GBVS 算法产生的显著度图为 $g(i,j)$,归一化后的图像的梯度能量图记为 $e(i,j)$,则总能量函数表示为

$$E_s(i,j) = \max(e(i,j), g(i,j)). \quad (6)$$

即对这 2 幅图进行每个对应能量点的比较,选择能量值大的那个值构成新的能量图. 这样产生的总能量图,选择性地保留了图像中的边缘信息与视觉感兴趣区域中能量点比较大的值,在对图像缩放时,能够同时兼顾到保护这 2 部分相对比较重要的图像内容. 归一化后的图像梯度图及本文定义的图像总能量图如图 2(b)及图 2(c)所示.

3 实验结果对比和分析

目前,除了 Seam carving 缩放算法外,效果比较好的图像缩放算法有基于网格变形缩放算法^[13]以及其改进算法基于显著度的网格变形缩放算法^[14]. 下面选取 2 幅图片分别采用以上 3 种方法及本文缩放算法缩小相同的列数,然后对其缩小效果进行比较.

由于本文采用的是显著度图与梯度图的最大值定义图像的能量函数,所以在一定的缩放范围内,与其它缩放方法相比,本文的缩放方法不仅能够保持图像的重要区域的内容,还能够一定程度上保持几个重要区域间的相对位置的特征. 图 3 中的 4 幅图是将图 1(a)缩小相同列后的结果. 4 组图片对比可以看出,前面 3 种方法缩小相同列后,气球的形状发生了形变或者它们之间的相对位置发生了变化,而本文方法缩小后的图像中,不但气球的形状没有发生明显变化,而且它们之间的相对位置也没有发生明显的变化,缩小效果明显比其他 3 种方法更好.

Seam carving 方法缩小图像时,因其只删除累积能量最小的像素线,缩小后图像的像素点的平均能量值应该增加. 因为梯度图定义图像的能量是最



(a) 图1(a)的显著度图

(b) 图1(a)的归一化梯图

(c) 图1(a)的总能量图

图2 图1(a)的显著度图、归一化梯度图及总能量图

Fig. 2 The saliency map, normalized gradient map and total energy map of Figure 1(a)

基本的一个方法,而后面这几种缩放方法都是在 seam carving 方法提出以后提出的,比 seam carving 方法有更好的效果,所以本文用梯度图定义原图像的能量值以及所有缩放后的图像的能量值,然后根据缩放后图像像素的平均能量值判断其缩放效果.

经计算可知,图 3(a) 的像素点平均能量值为 26.48,而图 3(b) 的像素点平均能量值为 27.54,图 3(c) 的为 29.62,图 3(d) 的为 31.23. 从数据上分析可知,本文改进后的方法缩放后的图像的像素平均能量值更高. 因此,经过改进后的 seam carving 缩放算法在图像缩放上比原 seam carving 缩放算法取得了更好的缩放效果.

图 4 同样是用 4 种方法对同一幅图像缩小相同列后的结果. 从缩小后的结果中可以观察出,前 3 种缩放方法缩小后的图片中荷花或者荷叶也都出现了不同程度的变形,而用本文的方法缩小后,其荷花及荷叶几乎没发生变形,只是删除了图像两边的相对不太重要的荷叶,更好地保持了图像中的荷花形态及其相对位置,相比较而言,本文方法具有更好的缩放效果.

经计算可知,图 4(a) 的像素点平均能量值为 28.80,而图 4(b) 的像素点平均能量值为 30.31,图 4(c) 的像素点平均能量值为 31.86,图 4(d) 的像素点平均能量值为 34.45,图 4(e) 的则为



(a)Seam Carving算法缩小图



(b)Optimized Scale and Stretch方法缩小图



(c)基于显度的网格变形缩小图



(d)本文改进后算法缩小图

图 3 采用几种缩放算法缩小后的图像

Fig.3 The reduced images using several different image resizing algorithms



(a) 实例图像



(b) Seam carving方法缩小图



(c) Optimized Seale and Stretch方法缩小图



(d) 基于显著度的风格变形缩放方法缩小图



(e) 本文缩放方法

图4 实例图像及4种方法缩小后图像

Fig. 4 Example of image and its reduced images using four image resizing algorithms

35.75. 从数据结果可以看出,本文的缩放方法对其在更大的程度上删除图像中人类视觉注意力不集中的区域,更好地保护图像中视觉注意力集中的区域.因此,经过改进后的 seam carving 缩放算法在图像缩放上比原 seam carving 缩放算法取得了更好的缩放效果.

4 结束语

本文在 seam carving 缩放方法的基础上,用图像的显著度图与梯度图相结合来定义图像的能量图,从而保证在删除或者插入裁剪线时裁剪线极少穿过视觉主体区域,更好地保护感兴趣区域的内容.实验结果表明,此方法比 seam carving 方法中单一用像素点的梯度值定义其重要性取得了更好的缩放效果.

参考文献:

- [1] THEVENAZ P, BLU T, UNSER M. Interpolation revisited[J]. Medical Imaging, 2000, 19(7): 739- 758.
- [2] CAREY W K, CHUANG D B, HEMAMI S S. Regularity preserving image interpolation[J]. IEEE Trans Image Processing, 1999, 8(9): 1 293-1 297.
- [3] HAN J K, KIM H M. Modified cubic convolution scale with minimum loss of information[J]. Optical Engineering, 2001, 40(4): 540- 546.
- [4] HSIEH H, ANDREWS H. Cubic splines for image interpolation and digital filtering[J]. IEEE Trans Acoustics Speech and Signal Processing, 1978, 26(9): 508- 517.
- [5] LIU F, GLEICHER M. Automatic image retargeting with Fisheye - View warping[C]//Proceeding of the 18th annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, 2005: 153- 162.
- [6] AVIDAN S, SHAMIR A. Seam carving for content - a -

- ware image resizing[C]//ACM Transactions on Graphics,2007,26(3),doi:10.1145/1276377.1276390.
- [7] ITTI L,KOCH C,NEIBUR E. A model of saliency – based visual attention for rapid scene analysis [J]. IEEE Trans Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1998,20(11):1 254- 1 259.
- [8] HAREL J,KOCH C,PERONA P. Graph – based visual saliency[J]. Advances in Neural Information Processing Systems,2007,19:545- 552.
- [9] ACHANTA R,ESTRADA F,WILS P,et al. Salient region detection and segmentation [C]. ICVS, Springer: 2008;66- 75.
- [10] 颜蓉. 基于内容感知的图像尺寸自适应缩放方法研究与实现[D]. 西安:西安电子科技大学,2011.
- YAN R. Research and implementation of image size adaptive scaling method based on image content aware [D]. Xi'an:Electronic and Science University,2011.
- [11] Tamer Galal Moursi Farag. 基于 Grow Cut 的改进 Seam Carving 图像自适应方法 [D]. 长沙:湖南大学,2010.
- Tamer Galal Moursi Farag. Improved seam carving image adaptive algorithm based on grow cut [D]. Changsha:Hunan University,2010.
- [12] 聂栋栋,马利庄. 改进的图像缝雕刻算法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报,2011(11):1 890- 1 895.
- NIE D D,MA L Z. Improved seam carving algorithm [J]. Journal of Computer Aided Design & Computer Graphics,2011(11):1 890- 1 895.
- [13] WANG Y S,TAI C L,SORKINE O,et al. Optimized scale – and – stretch for image resizing [J]. ACM Trans On Graph,2008,27(5):1- 8.
- [14] 曲新春. 基于显著度的图像缩放方法的研究与应用 [D]. 广州:中山大学,2011.
- QU X C. Research and application of image resizing method based on saliency [D]. Guangzhou:Sun Yat – sen University,2011.

Seam carving with improved energy function for image resizing

ZHAO Wei-wei¹, ZHANG Jun-hua¹, WANG Xiao², GONG Jun-hui¹, LIU Hui-min¹

(1. School of Information Science and Engineering, Yunnan University, Kunming 650091, China;

2. School of Software, Yunnan University, Kunming 650091, China)

Abstract: Seam carving algorithm is an image resizing algorithm based on image content. Resizing an image with this method may deform the image on salient parts. To improve the seam carving algorithm, this paper uses both the salient map produced by the graph – based visual saliency model and the image gradient map to compute the importance of pixels on human visual sense. Experiment results show that the proposed approach gets a better result compared with seam carving algorithm.

Key words: image resizing; seam carving algorithm; gradient map; salient map; dynamic programming