

基于 Seam Carving 的图像放大算法研究与改进^①

陈小娥¹, 陈昭炯²

¹(福建船政交通职业学院 信息工程系, 福州 350007)

²(福州大学 数学与计算机科学学院, 福州 350116)

摘要: 针对 Seam Carving 图像放大算法中, 能量值前 k 小的像素带可能出现共用点的情况, 提出了一种改进的图像放大自适应算法, 通过判断图像中出现共用点的像素带的情况及计算其共用率的值, 经过一定的策略确定待新增的像素带位置, 该算法使得图像中视觉关注非重要信息区域像素带的增加能得到较均匀的分布; 实现了人工干预选择视觉关注重要区域的方法, 避免了自适应算法本身因误判视觉关注重要区域而带来关注对象发生变形扭曲的情况. 实验证明, 改进的算法能得到更好的放大效果.

关键词: Seam Carving; 图像放大; 共用率; 能量值; 自适应; 人工干预

Research and Implementation of Image Magnification Algorithm Based on Seam Carving

CHEN Xiao-E¹, CHEN Zhao-Jiong²

¹(Department of Information Engineering, Fujian Chuanzheng Communications College, Fuzhou 350007, China)

²(College of Mathematics and Computer Science, Fuzhou University, Fuzhou 350116, China)

Abstract: An improved image magnification adaptive algorithm was proposed on the basis of seam carving algorithm which may appears the situation that the first k small pixels share the same points. It finds the newly adding position of pixels by some strategies through judging the sharing situation and its sharing rate, which makes the addition of new pixels in non-important area of visual attention more reasonable. The manual intervention to select the important area of visual attention is implemented to avoid perpetual object becoming warped and deformed by wrong judgment itself. Experiments show that the improved algorithms get better effects.

Key words: seam carving; image magnification; sharing rate; energy value; adaptation; artificial selection

随着科技的进步, 现如今出现了种类繁多的数字图像设备, 如各种尺寸的电视机, 平板电脑, 笔记本, 以及手机等. 那么, 如何在这些不同分辨率和纵横比的设备上自适应地显示一幅原本分辨率和尺寸均为固定的数字图像, 就成为人们研究关注的热点问题, 即根据不同的显示设备自适应地调整图像本身的大小, 亦即图像缩放问题. 图像缩放是近年来图像处理领域研究的热点问题之一.

图像放大, 是图像处理中的基本课题之一, 广泛应用于工业、国防、医疗、社会安全等领域. 图像放大, 即将低分辨率图像转化为高分辨率图像, 又称超分辨率复原. 目前已经有很多实用化的图像放大算法, 它们有各自的特点、优点和不足. 图像放大算法的选

择会直接影响到放大后的图像的质量, 所以寻找合适的算法是提高放大图像质量的关键. 传统的图像线性插值放大主要包括最近邻插值, 双线性插值及三次样条插值等, 这类方法是根据离散的点建立一个连续函数, 再用这个重建的函数求出任意位置处的函数值, 这类方法对分辨率提高有限, 存在边缘细节模糊、强边缘锯齿波效应严重的缺点; 另一类非线性插值方法, 如分形插值、小波插值、偏微分方程插值等, 该类方法的图像放大能够较好地增强边缘, 增强图像空间分辨率, 提高图像清晰度. 近年来, 偏微分方程技术应用得比较多, 如 Kim^[1]等提出了一种基于偏微分方程的曲率插值算法, 从而有效地减弱了一般放大方法的边缘模糊和块状效应等问题; Jiang^[2]等针对 Chanbolle

① 收稿时间:2015-11-03;收到修改稿时间:2015-12-10 [doi: 10.15888/j.cnki.csa.005215]

图像放大模型产生的块状效应, 提出非局部的变分正则化图像放大模型.

以上学者研究的图像放大算法大都针对的是放大后的目标图像和原始图像的纵横比相等的情况, 而现实生活中很多情况下, 图片以及显示设备对应的纵横比经常不一致, 由于原始图像和显示纵横比不同, 插值算法通常会导致原始图像中重要内容在缩放过程中产生较大变形. 那么如何保持图像重要内容尽量不变形的情况下得到更好的图像放大效果, 是我们需要考虑的问题. Avidan 等^[3]于 2007 年提出了一种基于 Seam Carving 的图像缩放方法. 该方法采取一次提取一条能量值最低的像素带的策略, 然后逐次删减(图像缩小)或者在其左边或者右边增加一条像素带(图像放大), 直到最终达到目标尺寸. 在具体优化过程中, 采用动态规划的方法选出能量最低的像素带. 自 Avidan 提出基于线裁剪的图像缩放算法之后, 多年来已成为研究基于内容感知的图像缩放算法的主流算法, 但很多学者研究的是图像缩小问题^[4-9]. Avidan 在文献[3]中有提及 Seam Carving 算法可应用于图像放大, 本文针对其算法中, 前 k 小能量值所在像素带可能出现共用点的情况, 提出了改进的自适应图像放大算法, 通过计算图像中出现共用点的像素带的情况及其共用率的值的判断, 经过一定的策略, 有条件地选择图像中的像素带作为待新增的像素带位置, 改进后的算法能在保证图像中的视觉关注重要区域尽量不发生扭曲变形的同时, 使得视觉关注非重要信息区域像素带的增加得到较均匀的分布. 与此同时, 针对自适应算法本身容易误判视觉关注重要区域而带来的关注对象发生变形扭曲的情况, 实现了人工干预选择视觉关注重要区域的方法. 实验证明, 改进后的算法与传统的图像放大算法以及文[3]算法比较, 本文算法具有更好的放大效果.

1 Seam Carving 算法思想与分析

Seam Carving(简称 SC)算法, 目前在基于内容感知的图像缩放问题中比较流行. 即在缩放过程中每次按一定的规律插入或者抽取图像中能量值最低的横向或者纵向的一条像素带. 首先, 定义能量函数:

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

假设 I 是一幅 $n \times m$ 的图像, 那么定义一条垂直方向的像素带 S :

$$S^x = \{s_i^x\}_{i=1}^n = \{x(i), i\}_{i=1}^n, \quad (2)$$

$$s.t. \forall i, |x(i) - x(i-1)| \leq 1$$

其中, x 是一个映射, 即 $x: [1, \dots, n] \rightarrow [1, \dots, m]$. 这条垂直方向的 S 是从第一个像素点开始, 在每个像素点的 8 领域范围寻找一条自上而下的缝. 以此类推, 定义一条水平方向的像素带:

$$S^y = \{s_j^y\}_{j=1}^m = \{j, y(j)\}_{j=1}^m, \quad (3)$$

$$s.t. \forall j, |y(j) - y(j-1)| \leq 1$$

同样, y 满足如下映射关系 $y: [1, \dots, m] \rightarrow [1, \dots, n]$.

以垂直的 S 为例, SC 的过程如下: S 在图像 I 中表示为:

$$I_s = \{I(s_i)\}_{i=1}^n = \{I(x(i), i)\}_{i=1}^n \quad (4)$$

接着, 根据给定的能量函数 e , 定义能量代价 $E(s) = E(I_s) = \sum_{i=1}^n e(I(s_i))$. 然后寻找最优解 s^* 使得 $E(s)$ 最小. 该最优解可以通过动态规划实现.

文献[3]重点介绍了基于 SC 算法的图像缩小算法, 即通过能量函数的计算, 提取视觉关注非重要区域, 即能量值最低的像素带, 然后进行删除, 处理之后保留下来的就是视觉关注重要区域, 以此保护图像中的重要信息内容. 被挑选的像素带 S 可以通过动态规划算法找出. 整个过程需要从图像的第二行到最后一行遍历, 累积每个像素点的能量得到一个最小能量 M , 以垂直方向为例, 对于任意输入点 (i, j) 能量表示为

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

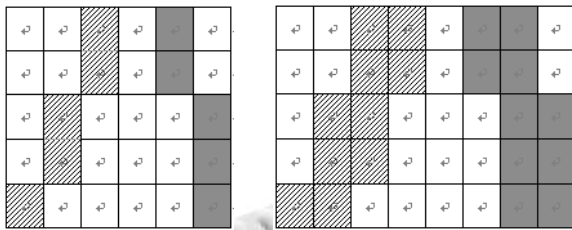
最后, 可以从最小值位置进行回溯找到整条最优路径. 在找到最优路径时, 对于图像缩小, 就是删除该条路径; 对于图像放大, 则可以在该路径左边或者右边插入一条像素带, 该像素带的值为最优路径上的像素点的值和其左边或者其右边像素点的值的平均值. 因为选择插入像素带的区域是视觉非重要区域, 所以此方法可以尽量避免图像的视觉重要区域发生变形扭曲

2 基于 SC 的图像放大改进算法

2.1 SC 算法存在问题分析

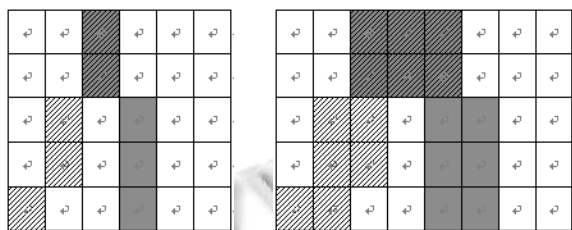
文献[3]算法指出, 如果一次提取一条能量值最小的像素带, 然后进行插入, 接着重新计算能量值最小值, 再插入, 这样可能会出现每次选择的是同一条像素带. 于是文献[3]采用以下方法: 如果要将图像加宽

或者增高 k , 那么就先在水平或者垂直方向找到能量值前 k 小的 k 条像素带, 然后对这前 k 小像素带所在位置左边或者右边作为新增像素带位置, 新增 k 条像素带, 从而达到图像的加宽或者增高. 然而, 有些图片可能出现能量值前 k 小的像素带具有很多共用的像素点. 如图 1 所示, 假设(a)为原始图像, 要将图像增宽 2, 方法是先找出图中最小能量值和次小能量值所在的像素带, 比如假设是图 1 中斜线底纹和纯灰色底纹所在方格的位置. 分别在对应的像素带右边新增一条像素带, 得到右图(b)所示结果图.



(a) 原始图像 (b) 放大结果图
图 1 前 k 小能量值所在像素带无共用点情况

一些图像的前 k 小的像素带可能具有多个共同点, 如图 2 所示. 图 2 中(a)为原始图像, 图中斜线底纹和纯灰色底纹所在位置分别表示最小能量值像素带和次小能量值像素带, 它们的第一行和第二行的像素点是共用的, 经过放大算法后得到(b). 如果图像中较多像素带存在这种情况, 那么放大后的图像就可能呈现放大的区域相对集中, 从而形成较不均匀的过渡.

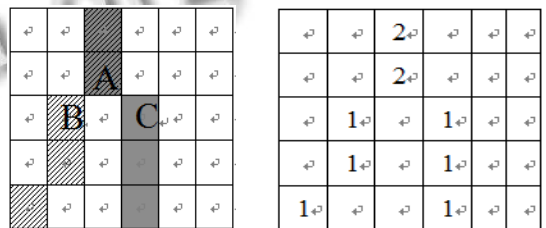


(a) 原始图像 (b) 放大结果图
图 2 前 k 小能量值所在像素带有共用点情况

2.2 改进算法思想分析

针对前 k 小能量值所在像素带可能有共用点的问题, 本文提出以下自适应放大改进算法. 对图像视觉关注重要区域进行保护, 其他非重要区域根据加宽或者变高的列数或行数进行选择放大. 选择的机制首先也是根据像素带能量值由小到大进行挑选判断, 但如

果被挑选的线路上某些点的共用率过高, 就直接跳过, 继续选择下一个像素带. 其中, 共用率的计算如下: 如图 3 所示为有共用点的像素带, 其共用点共用次数示意图. 图(a)中斜线底纹和纯灰色底纹分别表示图像中两条有共用点的像素带. 在用动态规划算法计算出图像中最小能量值后, 回溯过程中, 设定一个变量 $count$, 当某个点 A 在一条像素带上作为另一个点 B 的前一个点时, $count$ 就自动加 1. 当 A 点也作为另一条像素带中某个点 C 的前一个点时, $count$ 再加 1, 变成 2. 由此, 设计 $count$ 变量用来统计某个点被共用的次数, 图(b)显示了图(a)对应位置的 $count$ 值的大小.



(a) 共用情况示意图 (b) 对应(a)图 $count$ 值大小
图 3 像素带共用点共用次数示意图

经过实验测试, 我们设定一条像素带中如果有超过四分之一的像素点被共用, 且这些像素点被共用了三次以上, 就直接舍弃该条像素带而选择下一个像素带. 经过一轮选择后, 即经动态规划算法计算得到的最后一行能量值都遍历一遍之后, 如果增加之后的行数和列数还没达到对应的高度或者宽度, 剩下的均匀随机选择, 避免因共用过多而导致新增后出现类似条纹的图案.

同时, 本文针对文献[3]算法有时候可能会出现视觉关注重要区域误判的情况, 提出了人工选择视觉关注重点区域的算法, 以达到更好的放大效果. 该算法可以人为地选择某些待保护区域, 首先用户可以通过鼠标选择待保护区域, 然后算法自动将用户选择的区域所在的像素的能量值设置为最大, 由此即可尽量避免最小能量值所在像素带经过这些区域, 从而这些区域所在像素也就能尽量避免被提取和处理, 如此就不会出现图像主体信息扭曲变形等现象, 从而人为地保护了图像重要信息内容.

2.3 图像预处理策略

假设原始图像大小为 $m*n$, m 为图像的宽度, n 为图像的高度; 要生成的目标图像大小为 $M*N$, M 为图

像的宽度, N 为图像的高度, 用 R_i 、 R_j 分别表示原始图像和目标图像的纵横比, 分别为 $R_i=m/n$, $R_j=M/N$. 本文根据 R_i 、 R_j 的取值, 分三种情况对图像进行自适应预处理:

1) 若 $R_i > R_j$, 则把原始图像的 n 按照 2.2 算法先放大, 即高度增高 X , 其中

$$X=(N*m-M*n)/M \quad (6)$$

于是, 得到初步放大后的图像的高度 n' 的值:

$$n'=n+(N*m-M*n)/M. \quad (7)$$

2) 若 $R_i < R_j$, 则把原始图像的 m 按照 2.2 算法先放大, 即宽度增宽 Y , 其中

$$Y=(M*n-N*m)/N \quad (8)$$

于是, 得到初步放大后的图像的宽度 m' 的值:

$$m'=m+(M*n-N*m)/N \quad (9)$$

3) 若 $R_i = R_j$, 则不做任何预调整.

进行该预处理, 不管是高度变高, 还是宽度增宽, 主要是为了使原始图像经过初步调整之后, 和目标图像具有一样的纵横比, 同时尽量避免图像中的视觉关注重要区域不发生变形, 这也是本文要解决的主要问题. 当原始图像和目标图像具有一样的纵横比后, 再根据放大的倍数及实际需要选择继续放大的算法.

3 实验及结果分析

算法测试在 Visual Studio 2015 C# 环境下进行, 主要完成了基于 SC 算法的两种改进算法, 一是自适应放大改进算法, 一是人工选择图像视觉关注重要区域放大算法. 以下分四个方面分析实验测试结果.

3.1 自适应算法设定不同参数对放大效果的影响

针对本文提出的改进的自适应算法中的像素带共用率及像素点共用次数两个参数进行实验测试, 设定 α 表示共用率, β 表示共用次数. 实验过程中, 先固定其中一个参数, 通过改变另外一个参数的值观察放大结果. 如图 4 所示, (a) 为原始图像, 图像尺寸为 $300*200$; (b)、(c) 和 (d) 为 α 和 β 设定不同值后的放大结果图, 图像尺寸为 $350*200$. 其中, (b) 和 (d) 具有相同的 β 值, 不同的 α 值, 由图可以看出, (d) 图获得较好的放大效果, 荷花左侧的荷叶部分放大较自然; (c) 和 (d) 具有相同的 α 值, 不同的 β 值, 同样也是 (d) 图获得较好的放大效果. 经过多次实验测试, 我们得出, 当一条像素带中如果有超过四分之一的像素点被共用,

且这些像素点被共用了三次以上, 能获得较好的放大效果. 以下的自适应放大算法实验, 统一设定参数 α 为 $1/4$, β 为 3.

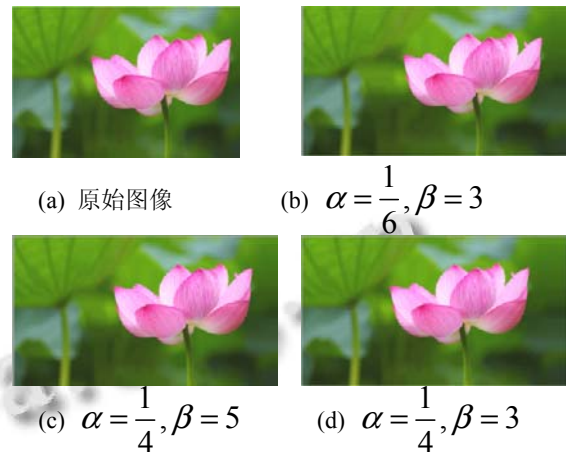


图 4 自适应算法设定不同参数的放大效果图

3.2 与传统图像缩放算法比较

将本文自适应改进算法与传统图像缩放方法进行比较, 如图 5 所示. 其中, (a) 为原始图像, 图像尺寸为 $300*200$; (b)、(c) 为放大后的结果图, 图像尺寸为 $400*200$, 分别为均匀缩放后的放大结果图和经过本文算法放大处理后的结果. 由图可以看出, 用均匀缩放方法放大后的图像, 其主体内容两只小狗被拉伸, 发生了一定的变形, 而由本文自适应算法处理得到的放大图像获得了较好的放大效果, 图像主体内容两只小狗没有发生变形, 主要是因为本文自适应算法核心思想还是采用基于 SC 的算法原理, 提取并增加的线路都位于不受视觉关注的区域, 所以能够较好的保护图像的整体显示效果.

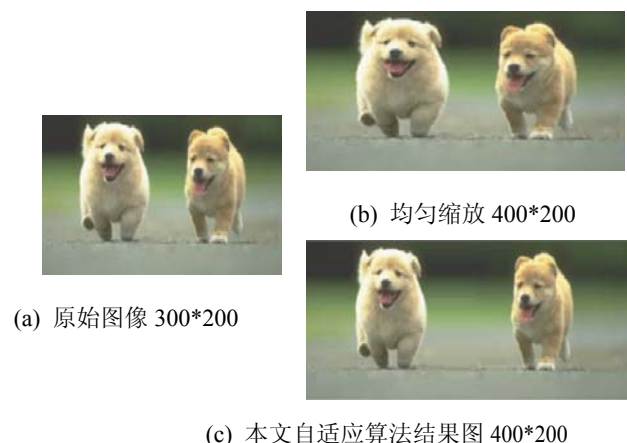


图 5 与传统图像缩放算法比较示意图

3.3 自适应算法放大效果比较

本文提出的自适应图像放大算法能将待新增的线路较均匀地分散在图像各处. 如图 6 所示, (a)为原始图像, 图像大小为 300*200, (b)和(c)采用文[3]算法得到的放大结果图, 其中(b)水平加宽 50, (c)两次的水平加宽 50. (d)和(e)为本文算法得到的放大结果图, (d)水平加宽 50, (e)两次的水平加宽 50. 由图可以看出, (b)和(d)同样是将图像水平加宽 50, 本文算法能较好地新增的像素带均匀分布到图像各处, 得到较好的结果. 而(c)和(e)是实行两次的加宽 50, 结果更为明显, (c)中加宽的位置集中在中间铁栅栏变形比较大的两片区域, 而(d)则较均匀地分散到图像各处, 尽管放大的结果图中铁栅栏某些地方发生了不可避免的扭曲.



(a) 原始图像



(b) 文[3]算法水平加宽 50



(c) 文献[3]算法水平两次加宽



(d) 本文算法水平加宽 50



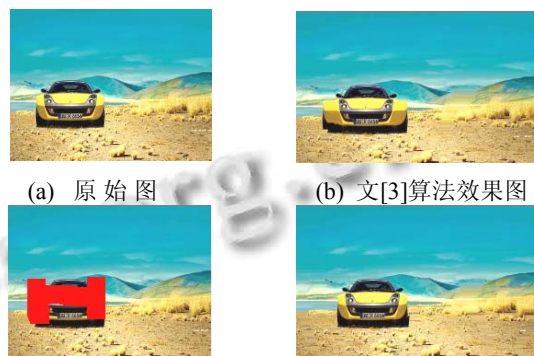
(e) 本文算法水平两次加宽 50

图 6 自适应算法放大效果比较

3.4 人工选择算法放大效果比较

本文提出的人工选择视觉关注重要区域算法能避免自适应放大算法所带来的因图像重要信息区域误判而产生的不符合人类视觉注意机制的效果. 如图 7 所示, 其中(a)为原始图像, 图像大小为 260*200, (b)为文献[3]算法的放大结果图, 图像大小变为 330*200, 由图可以看出车左右两边的翼子板相关部位也跟着图像变宽了, 使得整辆车出现了不合实际的变形. 主要原因是经过车翼子板所在区域的像素带刚好能量值较小, 被误判为视觉非重要区域, 因而被自动选择放大了. (c)和(d)是本文实现的人工干预算法的过程和结果图. (c)图红色部分表示人工选择的区域, 通过将人工选择区

域的像素点的能量值设置为相对最大值, 那么经过该算法求得的待处理的路线就不会经过该人工选择区域, 从而该区域的像素间接被限制不能进行放大处理. (d)图为本文人工干预算法放大后的效果图. 由图可以看出, 经过该算法处理后的效果图很好地保护了图像的重要信息车的部分.



(c) 本文人工干预算法选择区 (d) 本文人工干预算法效果图

图 7 人工选择算法放大效果比较图

4 结束语

本文提出的基于 SC 的图像放大自适应算法及人工选择视觉关注重点区域算法从不同角度改进了文献[3]的缩放算法. 本文自适应图像放大算法能较好地保护图像重要信息区域的同时, 视觉非重要信息区域像素带的增加能得到较均匀的分布, 不会出现明显的条纹图案, 从而得到较好的放大效果. 而人工选择重要区域, 则能避免自适应算法本身因误判视觉重要区域内容而带来的发生变形扭曲的情况, 较好保护图像中视觉关注的重点对象或区域, 当然不足的地方是需要人工干预, 有待进一步改进.

参考文献

- 1 Kim H, Cha Y, Kim S. Curvature in terpolation method for image zooming. *IEEE Trans. on Image Processing*, 2011, 20(7): 1895-1903.
- 2 Jiang DH, Xu GB, Dongye CL. Variational image zooming based on nonlocal total variation. *Journal of Computer Applications*, 2012, 32(3): 725-728
- 3 Avidan S, Shamir A. Seam carving for content-aware image resizing. *ACM Trans. on Graphics*, 2007. [doi:10.1145/1275808.1276390].
- 4 Dong WM, Bao GB, Zhang XP, et al. Fast multi-operator

- image resizing and evaluation. Journal of Computer Science and Technology, Jan. 2012, 27(1): 121-134. [doi:10.1007/s11390-012-1211-6].
- 5 雷励星.基于混合能量的内容敏感图像缩放新方法.计算机学报,2010,33(10):2015-2021.
- 6 Dong WM, Bao GB, Zhang XP, et al. Fast multi-operator image resizing and evaluation. Journal of Computer Science and Technology, Jan. 2012, 27(1): 121-134. [doi:10.1007/s11390-012-1211-6].
- 7 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.模式识别与人工智能,2014,27(11):1040-1046.
- 8 张梓卷,康宝生.基于网格线平移的图像显示适配算法.计算机应用,2015,35(2):481-485,494.
- 9 林晓,杨明晖,马利庄,邹盼盼,蒋林华.基于 Seam Carving 的逐帧优化视频缩放方法.计算机辅助设计与图形学学报,2015,27(7):1298-1303.

WWW.C-S-A.ORG.CN

WWW.C-S-A.ORG.CN