

基于混合能量的内容敏感图像缩放新方法

雷励星

(清华大学计算机科学与技术系 北京 100084)
(空军军训器材研究所 北京 100195)

摘 要 提出了一种内容敏感图像缩放的新方法. 该方法旨在保持图像缩放前后重要特征区域尽量相似的前提下, 通过约束重要区域的旋转使得图像缩放前后视觉效果尽量一致. 该方法分为 3 个步骤: 首先, 为图像关联全局和局部的控制单元, 并根据这些控制单元所覆盖原始区域的重要性给予权重; 然后定义一种新的混合能量约束控制单元, 在变化前后尽量保持相似并惩罚其旋转; 最后通过优化混合能量加权求和来计算这些控制单元变形后的最佳位置, 并插值得到最终图像变形结果. 大量的对比实验结果表明, 该方法具有保全局和局部特征、重要物体不易旋转、能够高效地得到扭曲较小的结果等优点.

关键词 图像缩放; 混合能量; 内容敏感; 重要性图

中图法分类号 TP391 **DOI号**: 10.3724/SP.J.1016.2010.02015

Content-Aware Image Resizing Based on Hybrid Energy

LEI Li-Xing

(Department of Computer Science & Technology, University of Tsinghua, Beijing 100084)
(Institute of Air Force Training Equipment, Beijing 100195)

Abstract This paper presents a new content aware image resizing method. This method tries to keep important features as similar as possible to their origin, and aims to provide similar visual appearance after resizing by reducing rotation of important areas. This method consists of three steps: Associate global or local control units for the image, and assign weights according to the regions they cover; define new hybrid energy to constrain the units, making them as similar as possible before and after deformation with rotation penalized. These energy items are finally added and minimized to get the positions of the deformed control units, and the new image is obtained by interpolation. A lot of comparison results show that the method can keep both global and local features, avoid over rotating important objects, and the final results are less distorted and better than previous methods.

Keywords image resizing; hybrid energy; content aware; importance map

1 引 言

随着显示设备制造技术的不断发展, PDA、掌上电脑、手机、高清电视等不同分辨率和长宽比的显示设备越来越普及. 这些新的显示设备给用户带来极大方便的同时也遇到了一些问题, 图像内容在不

同长宽比显示设备上显示时经常出现严重的扭曲. 例如, 传统 4:3 的电视画面在 16:9 的高清电视显示时, 电视画面上的人物通常变胖, 效果受损 (如图 1). 研究能够对图像进行任意尺寸变形, 保持图像中的重要区域变形和旋转极小化, 并能将扭曲扩散到相对不重要的图像区域的内容敏感图像缩放的高效算法受到了越来越多研究者的重视.



(a) 4:3传统电视画面



(b) 16:9 高清电视画面

图 1 传统 4:3 的电视画面与 16:9 的高清电视画面

传统均匀缩放方法通过插值方式可以实时地改变图像大小以适应不同分辨率的显示设备.然而,这种方法容易造成图像内容的扭曲,特别是当变形先后长宽比有显著变化的时候这种扭曲更为明显(如图 1(b)).基于剪裁的图像缩放方法^[1-4]通常利用视觉注意模型^[5-6]来确定图像中的重要区域,并选取一个最优的矩形区域作为缩放结果.这种方法对重要性区域比较集中的图像能够有效地保持重要区域不被扭曲.但是当重要性区域比较分散时,剪切方法会破坏图像整体内容.

为了能够在图像变形过程中保持重要区域尽量不被破坏,把不可避免的扭曲分布到相对不重要的图像区域去,研究者提出了内容敏感的图像缩放方法^[7-10].按照结果的连续性,可以将这类方法分为离散方法和连续方法.按照扭曲扩散方式,这类方法可分为一维扭曲扩散方法和任意方向扭曲扩散方法.根据保持特征的范围,这类方法又可以分为局部特征保持方法^[7-9]和全局特征保持方法^[10].

基于接缝雕刻(seam carving)的方法^[7,11-12]是当前最新的离散型方法.图像中的一个接缝是指从左到右或者从上到下的像素组成的一条连续一维路径.该方法通过迭代地移除相对不重要的接缝来实现内容敏感的图像缩放.虽然这种接缝雕刻方法可以为很多图像生成内容敏感的图像缩放结果,并保证重要的图像区域尽量不被破坏,但是这种离散方法也面临着一些不可避免的问题.接缝雕刻方法处理无结构的纹理区域通常能够得到较好的结果,但在有明显结构的区域容易造成缺陷(如图 2(c)).

在图像尺寸变化方向上对扭曲进行扩散的方法可以被归结为一维扭曲扩散方法.其中的典型方法

包括非均匀缩放方法^[3,13]、基于接缝雕刻的方法^[11]和随机游走方法^[8]等.这些方法通过在缩放方向上拉伸或者挤压相对不重要的区域来尽量避免图像中的重要区域不被破坏.由于只利用了缩放方向上的非重要区域,较大尺度的图像缩放容易受到较大尺寸重要性物体的影响而产生缺陷.例如,当重要性区域的宽度大于目标图像宽度时,这种方法一定会产生有缺陷的结果(如图 2(c)、(d)).

为了能够更加有效地利用图像中的相对不重要区域,研究者提出了基于任意方向扭曲扩散的内容敏感图像缩放方法^[9-10].即使只是对图像进行一个方向上的尺寸调整(如减少图像宽度),这类方法也能对图像中的重要区域做合理的拉伸或者挤压并有效地利用各个方向上的相对不重要区域来隐藏图像尺寸变化所带来的扭曲.受到几何处理领域广泛应用的共形能量^[14]的启发,Zhang^[10]等人提出了一种基于推广共形能量的方法.该方法不但能够有效地扩散扭曲,而且能够同时保持图像的全局和局部特征.然而,由于仅考虑保持图像局部或者整体区域和变形前相似,而没有顾及重要区域可能产生的旋转,该方法可能使得图像中重要区域产生扭曲的结果(如图 2(h)).本文方法有效地避免重要区域的扭曲和旋转(如图 2(j)).

本文提出了一种基于混合能量的内容敏感图像缩放方法.该方法分为 3 个步骤:(1)为图像关联全局和局部的控制单元,并根据这些控制单元所覆盖原始区域的重要性给予其权重;(2)定义一种新的混合能量来约束控制单元,在变化前后尽量保持相似并惩罚其旋转;(3)通过优化混合能量加权和来计算这些控制单元变形后的最佳位置,并插值得到最终图像变形结果.

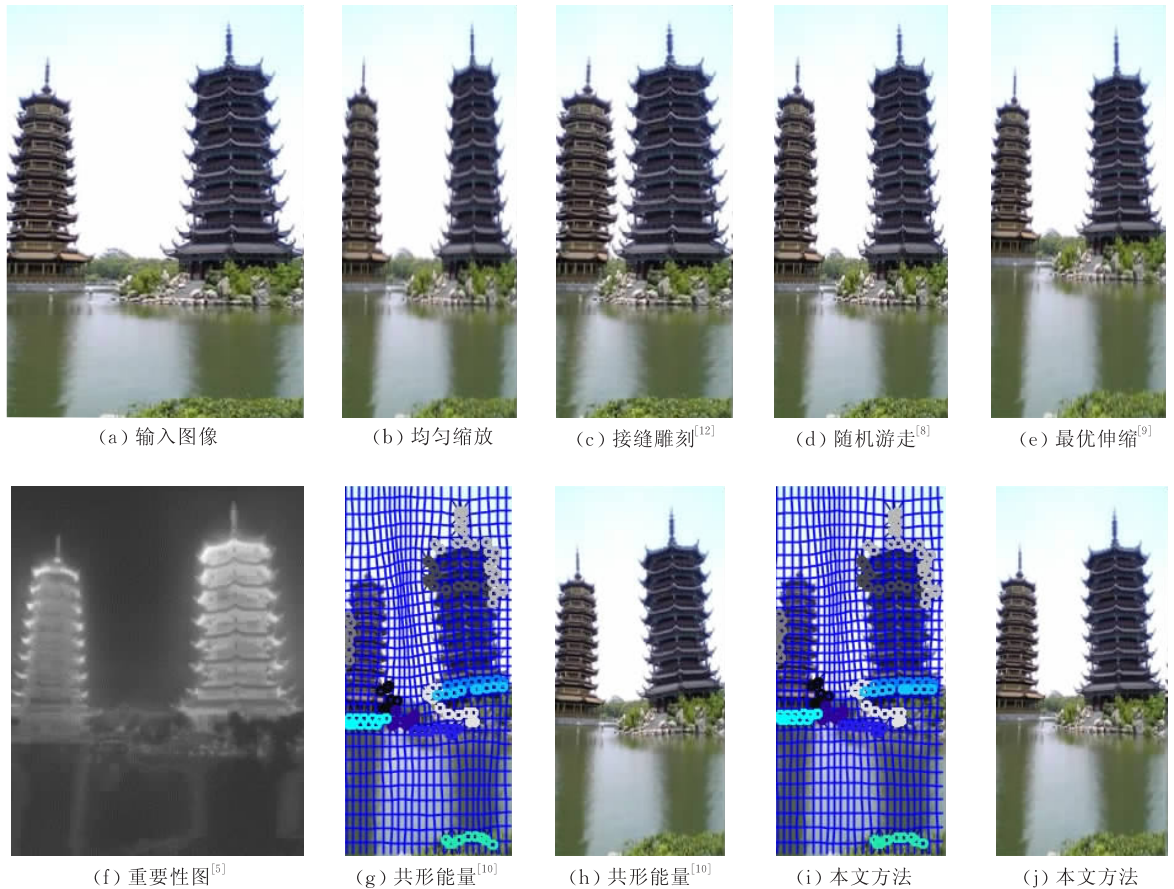


图 2 不同图像缩放方法的比较

所有控制单元集合 $\zeta = \{H_i\}$ 的变形能量为

$$E = \sum_{H_i \in \zeta} \epsilon(H_i, H'_i).$$

2 混合能量图像缩放算法

进行任意尺寸图像缩放的过程中,如果长宽比产生变化,图像扭曲不可避免.为了避免在缩放过程中重要图像区域产生扭曲和旋转,我们提出了一种基于混合能量的内容敏感图像缩放方法.本方法将图像扭曲扩散到相对不重要的区域,以保证重要的图像局部和整体区域扭曲和旋转极小化.

2.1 算法概述

和文献[10]相同,我们为每一个图像关联一组控制单元,并通过控制单元的变形驱动整个图像的内容敏感缩放过程.如图3所示,首先为输入图像选取一组控制点,包括覆盖图像的均匀四边网格的顶点和位于四边网格中心的图像边缘点.然后将这些控制点进行分组,得到一组控制单元(控制单元的选取方法见2.2节控制单元选取).每一个控制单元包含至少3个控制点,记为 $H_i = \{P_{i,j}\}$,其中 $P_{i,j}$ 为控制点.记控制单元 H_i 变形后的新控制单元为 $H'_i = \{P'_{i,j}\}$,变形能量为 $\epsilon(H_i, H'_i)$.和图像关联的

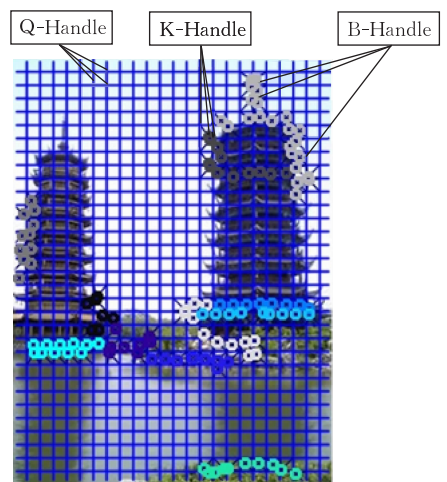


图 3 图像及其控制点与控制单元

通过优化该能量方程,可以计算变形后控制点的位置,进而插值得到缩放后的图像.我们将在2.2节控制单元选取中介绍如何选取控制单元,在2.3节混合能量中介绍如何定义变形能量,并说明这种变

形能量和文献[10]的关系。

2.2 控制单元选取

如图3所示,我们采用和文献[10]相同的控制单元定义方式。这些控制单元有3种:四边型控制单元、边缘型控制单元和结合型控制单元。其中每一个四边型控制单元由不覆盖其它控制点的网格单元的4个顶点构成;边缘型控制单元由属于同一图像边缘(采用边缘提取方法^[15]得到)的控制点构成;结合型控制单元由网格单元4个顶点加上所覆盖的边缘点控制点构成。其中四边型控制单元由4个控制点组成,用于控制图像的一个局部区域。边缘型控制单元包含的点数至少为3,用于控制对应图像边缘所覆盖的全局区域。图中的不同颜色的每一组控制点表示一个边缘型控制单元。结合型控制单元由5个控制点组成,除了控制所覆盖的局部区域变形以外,它还用于连接另外两种控制单元,使得边缘型控制单元的约束能够影响局部控制单元约束,进而实现同时考虑图像局部特征(对应于四边型控制单元和结合型控制单元)和全局特征(对应于边缘型控制单元)。

2.3 混合能量

在图像缩放的过程中,我们希望图像中的重要区域满足一定的约束。这种约束可以通过约束控制单元 $H_i = \{P_{i,j}\}$ 的变形来实现。 H_i 的变形能量可以定义为

$$\epsilon(H_i, H'_i) = \min_{s \in S} |s(H_i) - H'_i|^2,$$

其中 S 代表可行的变换集,能量 $\epsilon(H_i, H'_i)$ 代表控制单元 H_i 和其在变换集 S 内的可行变形后版本 $H'_i = s(H_i)$ 的最小差距。这一能量可以保证在变换集 S 下,这种控制单元的变形是最优的。在文献[10]中,可行的变换集 S 定义为相似变换集,以保证每一个控制单元覆盖的区域都和原始图像尽量相似,能够很好地保护图像特征。但这种约束并不能避免图像中的重要区域不变形。如图2(h)所示,重要物体的旋转在很多情况下也会带来严重的视觉缺陷。

为了解决这一问题,我们引入相似变形能量和缩放变形能量,并定义新的混合能量为

$$\epsilon(H_i, H'_i) = \alpha_i \epsilon_1(H_i, H'_i) + (1 - \alpha_i) \epsilon_2(H_i, H'_i),$$

其中 $\epsilon_1(H_i, H'_i)$ 为相似变形能量, $\epsilon_2(H_i, H'_i)$ 为缩放变形能量。对于含有 n 个控制点的控制单元 $H = \{(x_j, y_j)\}$, 记 H 变形为 $H' = \{(x'_j, y'_j)\}$, $\mathbf{b}_H = (x'_1, y'_1, \dots, x'_n, y'_n)^T$, 则 $\epsilon_s(H, H') = |\mathbf{C}_H \mathbf{b}_H|^2$ 。 \mathbf{C}_H 对 $\epsilon_1(H_i, H'_i)$ 和 $\epsilon_2(H_i, H'_i)$ 有所不同, 分别记为

$\mathbf{C}_{1,H}$ 和 $\mathbf{C}_{2,H}$ 。相似性能量对应的 $\mathbf{C}_{1,H}$ 和文献[10]中的一样, $\mathbf{C}_{1,H} = \mathbf{A}_1 (\mathbf{A}_1^T \mathbf{A}_1)^{-1} \mathbf{A}_1^T - \mathbf{I}$, 其中 \mathbf{I} 为单位矩阵, \mathbf{A}_1 的定义如下:

$$\mathbf{A}_1 = \begin{bmatrix} x_1 & -y_1 & 1 & 0 \\ y_1 & x_1 & 0 & 1 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ x_n & -y_n & 1 & 0 \\ y_n & x_n & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

为了防止图像重要内容的旋转,我们对变形做更为严格的要求,仅允许 S 为相似变换中没有旋转的部分,即缩放变换。从而缩放变形能量 $\epsilon_2(H_i, H'_i)$ 中要求 $H_i = \{P_{i,j}\}$ 中的控制点 P 变形后为

$$P' = s(P) = \begin{bmatrix} c' & 0 \\ 0 & c' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \end{bmatrix}, \quad P = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \in R^2.$$

$\epsilon_2(H_i, H'_i)$ 是在缩放变化下 H'_i 和 H_i 的最小距离。 $\mathbf{X}_s = [c' \quad t_x \quad t_y]^T$ 唯一确定了缩放变换 $s(P)$ 。对 $H_i = \{P_{i,j}\} = \{(x_{i,j}, y_{i,j})\}$,

$$s(P_{i,j}) - P'_{i,j} = \begin{bmatrix} x_{i,j} & 1 & 0 \\ y_{i,j} & 0 & 1 \end{bmatrix} \mathbf{X}_s - \begin{bmatrix} x'_{i,j} \\ y'_{i,j} \end{bmatrix},$$

$$\epsilon_2(H_i, H'_i) = \min_{s \in S} |\mathbf{A}_2 \mathbf{X}_s - \mathbf{b}_{H'}|^2.$$

其中,

$$\mathbf{A}_2 = \begin{bmatrix} x_1 & 1 & 0 \\ y_1 & 0 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x_n & 1 & 0 \\ y_n & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

最优的 \mathbf{X}_s 可以通过求解 $\mathbf{A}_2 \mathbf{X}_s = \mathbf{b}_H$ 的最小二乘解得到,为 $\mathbf{X}_s = \mathbf{A}_2^T \mathbf{A}_2^{-1} \mathbf{A}_2^T \mathbf{b}_H$, 因而 $\mathbf{C}_{2,H} = \mathbf{A}_2 (\mathbf{A}_2^T \mathbf{A}_2)^{-1} \mathbf{A}_2^T - \mathbf{I}$ 。对于重要性为 ω_i 的控制单元 H_i , 对应的 $\alpha_i = 1 - \omega_i^\beta$ 。 H_i 的重要性权值可以通过其所覆盖范围的平均显著性^[5]来计算。此处的 $\beta \in [0, 1]$ 是一个控制参数,较大的 β 会使得 ϵ_2 的影响更大,重要区域更不容易旋转,但也使得误差向非重要区域扩散更低效。在我们的试验中,我们取 $\beta = 0.5$, 也就是说,除了约束控制单元进行相似变换,我们同时惩罚重要区域的旋转。

3 实验与分析

应用本文所述的混合能量方法,我们在 PC 机 (2.33GHz Pentium Duo CPU、4GB RAM) 上进行了内容敏感的图像缩放实验,重点与基于共形能量

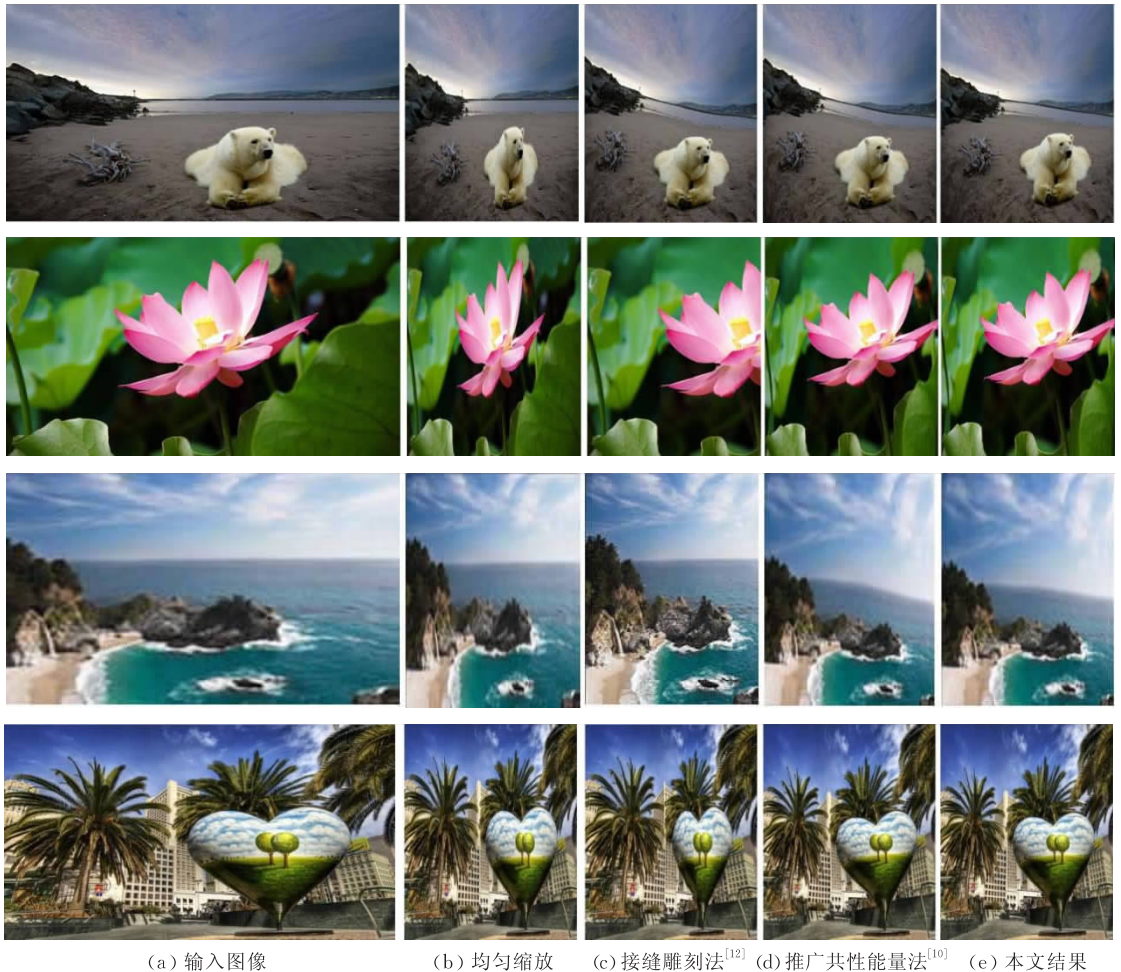
法的内容敏感图像缩放算法^[10]进行比较. 一般情况下, 文献[10]与本文方法都能有效地对图像进行基于内容敏感的缩放(如图 5), 但是对于重要区域可能产生的旋转的图像, 文献[10]方法可能使得图像中重要区域产生扭曲, 而本文方法能有效地避免重要区域的扭曲和旋转(如图 2).

我们的方法是非常有效的. 该类算法中, 花时最多的是解一个小的含有许多网格的稀疏线性系统, 网格越密, 结果越好, 但时间越长. 为了公平地进行比较, 我们采用同一图片(图 2(a)), 并使用相同的网格, 对于 1024×754 大小的图像, 求解线性系统通常需要 0.024s.

3.1 对照比较

图 2 演示了本文方法和几种经典方法的结果比较. 为了进行公平比较, 我们使用相同的重要性图(图 2(f)). 均匀缩放方法(图 2(b))由于不考虑图像内容, 图像中的重要物体在缩放过程中产生了严重的变形. 接缝雕刻法^[12]是一种内容敏感的图像缩放

方法. 该方法可以有效地处理含有纹理或者均匀区域的图像. 但该方法在处理结构信息比较明显的图像时容易产生带有瑕疵的结果. 例如, 图 2(c)中塔的底部在缩放过程中结构被破坏掉了. 仅从图像尺寸变化方向进行处理的方法^[8,12], 由于不能有效地在任意方向扩散扭曲, 当重要物体区域大于目标图像尺寸时, 这类方法一定会产生扭曲问题(图 2(d)中的塔被横向压扁了). 图 2(e)中, 最优伸缩法能够有效地将图像变窄过程中产生的扭曲扩散到任意方向的相对不重要区域, 通过减少塔的高度更好地保持了塔的结构. 但是该方法并未对图像中的整体部分进行保护, 容易破坏图像整体特征. 虽然后来提出的共形能量方法^[10]能够保护图像的整体区域扭曲变形极小, 但该方法未能有效地阻止图像扭曲的发生(图 2(h)). 本文方法可以有效地避免图像重要区域的扭曲和旋转(如图 2(j)). 图 4 和图 5 演示了更多的结果比较.



(a) 输入图像

(b) 均匀缩放

(c) 接缝雕刻法^[12](d) 推广共性能量法^[10]

(e) 本文结果

图 4 更多的实验结果比较



图 5 增加图像长宽比的例子

本方法具有闭形式的解,可以实时求解.表 1 比较了几种常用内容敏感图像缩放方法的时间效率.其中,本文方法和共形能量算法都使用 20×20 网格(该时间不包括边缘检测和重要性图计算等预处理时间).

表 2 列出了包括该方法在内的几种典型的内容敏感图像缩放方法的性质比较.本方法通过优化一种新的混合能量来保护重要区域尽量和变形前相似

并惩罚其扭曲,能够有效地将扭曲扩散到图像中相对不重要的区域.此外,本方法具有闭形式的解,可以实时求解.

表 1 速度比较(图像大小 1024×754)

方法	时间/s
接缝雕刻方法	5.6
推广共形能量法	0.024
本文方法	0.03

表 2 几种典型的内容敏感图像缩放方法性质比较

方法	性质				
	可得到连续结果	向任意方向扩散扭曲	保持图像全局特征	重要区域不旋转	可实时计算
接缝雕刻方法 ^[7,11-12]	×	×	×	√	×
随机游走方法 ^[8]	√	×	×	√	√
非均匀缩放方法 ^[3,13]	√	×	×	√	√
最优缩放拉伸法 ^[9]	√	√	×	√	√
推广共形能量法 ^[10]	√	√	√	×	√
本文方法	√	√	√	√	√

3.2 限制

当重要性物体充斥整个图像时,内容敏感的图像缩放方法也无法有效扩散图像扭曲,结果不佳.这时本文方法退化成均匀缩放.其它方法也无法解决这个问题.事实上在这种情况下均匀缩放或许本身就是一个最好的选择.

4 结束语

本文提出了一种基于混合能量的内容敏感图像缩放方法.该方法能够有效地向各个方向扩散图像扭曲,保持图像的全局特征,并可以实时地得到连续的输出.同时我们的方法避免了传统方法^[10]中重要区域容易旋转的缺陷.同时该方法具有闭形式的解.

未来的工作主要是考虑视频帧之间的连续性,把该方法扩展到内容敏感的视频缩放领域.

致谢 感谢推广共形能量算法^[10]作者张国鑫、程明明提供的测试比较程序及对本文的指导!

参 考 文 献

- [1] Suh Bongwon, Ling Haibin, Bederson Benjamin B, Jacobs David W. Automatic thumbnail cropping and its effectiveness//Proceedings of the ACM Symposium on User Interface Software and Technology. Vancouver, Canada, 2003: 95-104
- [2] Tao Chenjun et al. Active window oriented dynamic video re-targeting automatic browsing of large pictures on mobile devices//Proceedings of the Workshop on Dynamical Vision, ICCV. Rio de Janeiro, Brazil, 2007: 377-384
- [3] Liu Feng et al. Automatic image re-targeting with fisheye-view warping inverse texture synthesis//Proceedings of the ACM Symposium on User Interface Software and Technology. Seattle, USA, 2005: 153-162
- [4] Liu Feng, Gleicher Michael. Video re-targeting: Automating pan and scan//Proceedings of the 14th International Conference on Multimedia. Santa Barbara, CA, USA, 2006: 241-250
- [5] Liu Tie, Sun Jian, Zheng Nan-Ning, Tang Xiaou, Shum Heung-Yeung. Learning to detect a salient object//Proceedings of the CVPR. Minneapolis, USA, 2007: 1-8

- [6] Stas Goferman, Lihi Zelnik-Manor, Ayellet Tal. Context-aware saliency detection//Proceedings of the CVPR. San Francisco, USA, 2010: 1-8
- [7] Avidan Shai, Shamir Ariel. Seam carving for content-aware image resizing. *ACM Transactions on Graphics*, 2007, 26(3): 10
- [8] Zhang Yi-Fei, Hu Shi-Min, Martin Ralph R. Shrinkability maps for content-aware video resizing. *Computer Graphics Forum*, 2008, 27(7): 1-8
- [9] Wang Yu-Shuen, Tai Chiew-Lan, Sorkine Olga, Lee Tong-Yee. Optimized scale-and-stretch for image resizing. *ACM Transactions on Graphics*, 2008, 27(5): 1-8
- [10] Zhang Guo-Xin, Cheng Ming-Ming, Hu Shi-Min, Martin Ralph R. A shape-preserving approach to image resizing. *Computer Graphics Forum*, 2009, 28(7): 1897-1906
- [11] Rubinstein Michael, Shamir Ariel, Avidan Shai. Multi-operator media retargeting. *ACM Transactions on Graphics*, 2009, 28(3): 1-8
- [12] Shamir Ariel, Avidan Shai. Seam carving for media retargeting. *Communications of ACM*, 2009, 52(1): 77-85
- [13] Gal Ran, Sorkine Olga, Cohen-Or Daniel. Feature-aware texturing//Proceedings of the Eurographics Symposium on Rendering. Nicosia, Cyprus, 2006: 297-303
- [14] Levy Bruno, Petitjean Sylvain, Ray Nicolas, Maillot J E Rome. Least squares conformal maps for automatic texture atlas generation. *ACM Transactions on Graphics*, 2002, 21(3): 362-371
- [15] Cheng Ming-Ming. Curve structure extraction for cartoon images//Proceedings of the 5th Joint Conference on Harmonious Human Machine Environment (HHME). Xi'an, China, 2009: 13-20



LEI Li-Xing, born in 1966, Ph. D. candidate, senior engineer. His research interests include computer graphics and flight simulator.

Background

Content aware image resizing is an important research topic which aims at resizing an image while keeping important features as similar as possible to their origin. With rapid growing of various display devices, this research field has receiving more attention ever before. Pervious image resizing methods in this field mainly have several of the following benefits but not all: producing continuous results, distributing distortions to all directions, preserving global image features, preventing important region from rotations and real time efficiency.

Traditional uniform scaling method will produce results with clear visual artifacts if there are clear changes in aspect ratio. To avoid such problem, Avidan and Shamir proposed a seam carving method in 2007 which resizes an image by remove less important seams. Although this method could produce pleasant results for many images with less structure areas. However, this discrete method fails to protect image structure and can only distribute image distortions in the resizing direction. If the desired image size has less space for keeping all important regions, these methods which only distribute distortions in one direction will definitely fails. This

paper proposed a new hybrid energy function to solve image resizing problem while keeping all benefits described above. To efficiently distribute distortions to all directions while resizing an image, Wang et al. proposed a scale-and-stretch method with continuous solution in 2008. In 2009, Zhang et al. further fixed the problem of preserving both global and local image features while keeping the benefits of distribute distortions to all directions. This method also has close form solutions which enable is real time performance. However, there method will result in rotations of important image regions in some cases, resulting clear artifacts.

This paper presents a new technique for the emerging field of content aware image resizing. The new method keeps all benefits described above. The most important development is that the new method could preserve important regions from rotations. By using a hybrid energy functions which preserve similarity between image regions and origin during resizing while punish rotation of them, the new method could produce better results with real time efficiency. Experimental comparison results show the effectiveness of the new method.