

基于 Hot-Target 图和特征边缘保持的图像收缩方法*

梁云^{1,2,3}, 苏卓^{3,4+}, 罗笑南^{1,3}, 王栋²

¹(中山大学 信息科学与技术学院 计算机应用所, 广东 广州 510006)

²(华南农业大学 信息学院, 广东 广州 501642)

³(中山大学 数字家庭教育部重点实验室, 广东 广州 510006)

⁴(中山大学 软件学院, 广东 广州 510006)

Image Shrinkage Based on Hot-Target Map and Featured Edge Preservation

LIANG Yun^{1,2,3}, SU Zhuo^{3,4+}, LUO Xiao-Nan^{1,3}, WANG Dong²

¹(Institute of Computer Application, School of Information Science and Technology, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510006, China)

²(College of Informatics, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

³(Key Laboratory of Digital Life, the Ministry of Education (Sun Yat-Sen University), Guangzhou 510006, China)

⁴(School of Software, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510006, China)

+ Corresponding author: E-mail: suzhuoi@gmail.com

Liang Y, Su Z, Luo XN, Wang D. Image shrinkage based on hot-target map and featured edge preservation. *Journal of Software*, 2011, 22(4): 789-800. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/3824.htm>

Abstract: Image shrinkage is the process of reducing image resolution to adapt to display screens with different aspect ratios and different sizes. Its key is to highlight important areas, keep continuity and avoid twists. This paper presents a novel image shrinking method. First, this paper iteratively shrinks the quad mesh covering the original image to the target size under the constraint of energy distortion. Then, this paper obtains the target image by interpolating and mapping the target mesh. The energy distortion function reflects the effects of highlighting important regions, preserving structure and avoiding twists. Less distortion owns better result. Under the constraint of energy distortion, every sub quad of mesh shrinks non-uniformly. Quads with more importance shrink less. In order to accurately calculate quad's importance, this paper proposes a new method named as Hot-Target map to calculate image importance according to image saliency and edges. Finally, this paper avoids distortion by preserving image linear edges named as featured straight edge. To increase efficiency and reduce complexity, the method is carried out by solving linear equations. Experimental results verify its effectiveness.

Key words: image shrinking; Hot-Target map; featured straight edge; quad deformation

摘要: 图像收缩是缩小高分辨率图像以适应不同纵横比小尺寸显示屏幕的过程,关键是收缩后能够凸显图像重要区域,保持连续,避免扭曲.提出一种新的图像收缩方法,该方法首先基于能量失真约束,迭代收缩覆盖图像的四边形网格至目标大小,然后映射,插值目标网格实现图像收缩.能量失真反映了对重要区域的凸显程度、

* 基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973)(2006CB303106); NSFC-广东联合基金(U0735001, U0835004, U0935004); 国家科技支撑计划(2007BAH13B01); 高等学校博士学科点专项科研基金(20060558078); 国家教育部科技创新工程重大项目(706045)

收稿时间: 2009-12-01; 定稿时间: 2010-02-02; jos 在线出版时间: 2010-05-10

结构的保持效果以及扭曲避免情况,失真越小,目标图像越理想.在该约束下,构成网格的子四边形非均匀收缩,重要度大的收缩小.为准确计算子四边形的重要度,根据图像显著度和边缘构建反映图像重要度的 Hot-Target 图.最后,通过保持图像直线边,称为特征边缘,避免非均匀收缩引起的边缘扭曲.为提高效率,降低复杂度,该方法由迭代求解线性方程实现.实验结果验证了方法的有效性.

关键词: 图像收缩;Hot-Target 图;特征边缘;网格变形

中图法分类号: TP301 **文献标识码:** A

伴随手机、PDA、车载电视等的普及,媒体显示设备越来越趋向于多样化和个性化.高分辨率图像要在不同纵横比和分辨率的设备上显示.一个关键问题是如何快速收缩图像以适应目标屏幕大小,同时能够突出图像的显著区域和重要物体,避免图像扭曲.本文基于反映图像重要度的 Hot-Target 图和图像边缘保持提出一种新的图像收缩方法,与现有方法相比,该方法能够更好地避免图像扭曲,保持图像连续,突出图像重要区域.

相关工作

收缩高分辨率图像以适应小尺寸屏幕是近期的一个研究热点,早期方法主要是裁剪或缩放.从高分辨率图像中裁剪出满足目标大小的图像会造成信息丢失,如图 1(b)所示;缩放会扁平或挤压图像,如图 1(c)所示.它们不仅影响图像质量,有时还会造成对图像认知的误解.

当前的图像收缩方法主要基于用户视觉关注度和梯度来确定图像的显著区域和重要物体,尽可能地保持重要区域不变,将收缩分散到非重要区域.其中,最大的挑战是如何避免因突出显著区域所引起的图像扭曲.平滑区域的扭曲对图像质量影响较小;但对反映图像边缘轮廓的特征边缘的扭曲,会极大地影响图像质量.目前,图像收缩方法大致分为 3 类:基于离散处理的图像收缩^[1-4],如:Seam Carving^[1],简称 SC;基于网格变形的图像收缩^[5-9],如:Wang^[5]等人的方法,简称 OSS(optimized scale-and-stretch)和基于视觉特性自适应裁剪的图像收缩^[10-14].

基于离散处理的图像收缩方法首先由 Avidan^[1]等人提出,通过移出信息量最小的像素降低图像分辨率.优点是:保持了图像重要区域;缺点是:速度慢,图像不连续易扭曲,如图 1(d)中所示钟塔.后来,Rubinstein^[2,3]等人改进了此方法,但本质上仍未解决不连续问题.Wang 等人提出了变形四边形网格收缩图像的方法,使覆盖显著区域的四边形收缩小,以凸显重要物体.该类方法的优点是:保持连续,处理快;缺点是:重要度小的图像边缘易扭曲,如图 1(e)中所示的钟塔底部.Guo^[6]和 Shi^[7]等人用三角网格代替四边网格收缩图像,但三角形易旋转扭曲图像,难以保持边缘.Zhang^[8]等人通过控制手柄保持图像边缘,达到一定效果,但复杂度高.基于视觉自适应裁剪方法^[10]的思想是:从源图像裁剪出包含重要区域且满足目标分辨率的图像,其最大缺陷是破坏了图像完整性.

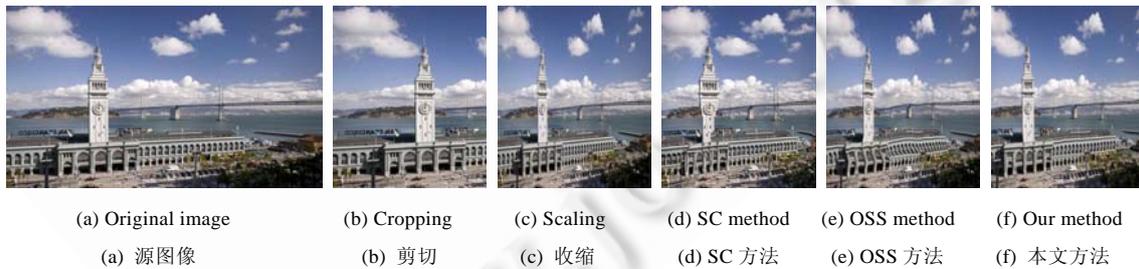


Fig.1 Some methods of image shrinking

图 1 几种方法的图像收缩

此外,还出现了一些其他图像收缩方法^[15-17].Ren^[15]等人提出对高分辨图像限制采样再插值的收缩方法,Liu^[16]等人提出基于鱼眼的图像收缩,但它们只能处理含单个物体的图像.基于图像分割的收缩方法也是近几年出现的,如 Setlur^[17]方法,该方法将图像分割为前后景,分别收缩后再缝合,但受限于分割和缝合技术.

本文工作

针对现有方法的缺陷和不足,本文提出一种新的基于 Hot-Target 图和特征边缘保持的图像收缩方法.该方

法能够自适应地检测出多个图像显著区域、重要物体和特征边缘,并在图像收缩过程中充分突出图像的显著区域和重要物体,保持特征边缘,避免图像扭曲变形。本文首先结合图像显著区域和重要物体的轮廓及视觉显著度构造一种能够精确定位图像显著区域和重要物体的能量图,即 Hot-Target 图;然后用四边形网格覆盖图像,并由 Hot-Target 图来计算网格子四边形的重要度,根据重要度大小对网格非均匀迭代收缩,重要度大的子四边形收缩小,重要度小的子四边形收缩大,以此凸显收缩后图像的重要区域;再对目标网格优化处理,保持特征边缘不被扭曲变形;最后插值,映射优化后的目标网格得到目标图像。本文方法的关键是在保持图像结构、避免扭曲的同时,对四边形网格非均匀地迭代收缩。为此,我们建立以能量失真为约束的网格迭代收缩。能量失真由结构失真、重要区域保持失真、图像扭曲失真 3 部分组成,失真越小,则目标图像越理想。为了提高计算准确度和速度,我们将新网格顶点的求解转换为解线性方程组,并对 x, y 坐标分量分别计算。

本文方法的优势在于:一方面,基于 Hot-Target 图的图像收缩,能够更准确地定位图像的显著区域和重要物体,更好地凸显图像显著区域和重要物体;另一方面,对特征边缘线性关系的保持,可避免图像扭曲,克服收缩后图像的不连续问题。此外,与现有非线性求解相比,本文的线性求解提高了计算速度,降低了计算复杂度。

本文第 1 节给出图像重要度图即 Hot-Target 图的定义和计算方法,第 2 节详细说明如何通过能量约束对重要区域网格小幅度收缩,对其他区域网格大幅度收缩,实现重要内容突出、特征边缘保持的图像收缩。第 3 节是实验结果及其分析。最后总结本文所提出的方法并展望未来工作。

1 Hot-Target 图

图像收缩要求保证图像的完整性和连续性,突出其显著区域和重要物体。因此,首先要获取图像重要度。Avidan(2007 年)和 Wolf(2007 年)以梯度值为重要度,梯度值大,则重要度大。Rubinstein(2008 年)对此作了改进,根据收缩后图像的不连续性来确定重要度。基于梯度的重要度,对保持物体轮廓有效,但对重要内容的保护和突出不够。

目前,常用方法是根据视觉关注度模型、视觉识别和检测方法来计算图像重要度^[18-22]。视觉关注度属于人眼生理结构和神经生物学方面的概念,用于刻画观察者对图像的认知程度。它以图像的低层亮度、对比度为基础,结合对高层图像内容和场景的理解,通过启发性规则和策略,构造可计算模型。Ma^[18]等人借助一系列关于人眼视觉的启发式规则,提出基于图像对比度的关注度计算模型。Itti^[19]等人结合多尺度图像,提出一种以生物认知体系为指导的视觉关注度计算模型。Harel^[20]等人则提出一种基于图的自底向上的视觉显著度计算模型。

Wang 等人将梯度融入视觉关注度,主张以梯度和显著度的乘积作为图像重要度,一定程度上突出了显著区域。但是显著度与梯度存在数量级差异,简单乘积运算不能精确定位图像重要区域,后文的图 3(b)展示了 Wang 的重要度图的不足,由图可知,显著区域的信息明显不够突出,显著区域覆盖范围太小,重要物体描述不够准确。

显著度值对保持图像区域特征的意义重大,因此加强重要区域的显著程度和覆盖范围十分重要。受 Wang 等人方法的启发,本文提出一种新的图像重要度模型,如图 2 所示。我们将图像的热点关注区域称为 Hot-Target 区域,相应的重要度图为 Hot-Target 图。该模型包括以下 3 步:

(1) 提取并增强图像边缘

根据 Sobel 算子或 Laplace 算子提取图像边缘识别并勾画出重要物体和显著区域的轮廓。传统的边缘提取算子仅能反映物体边界的梯度差,影响范围有限。一种有效的解决方法是增强显著物体的边缘。图 2(b)描述了增强图像边缘的效果,由图可知,重要物体轮廓非常明显。

(2) 计算图像的显著度值

采用 Harel(2006 年)等人提出的视觉显著度模型计算图像的显著度,如图 2(c)所示。该模型首先根据图像的特征建立活化图,然后再标准化活化图来突出图像显著区域。与 Itti 方法相比, Harel 方法能够更准确地定位显著区域和重要物体。由图 2(c)可知,该方法较准确地区分重要和非重要区域,但边界模糊,因此缩放时对重要区域保持不足。

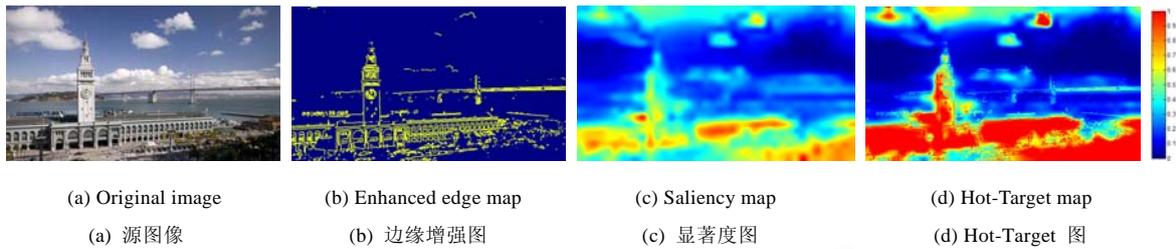


Fig.2 Overview of Hot-Target map

图 2 Hot-Target

(3) 构造 Hot-Target 图

为了增强重要区域,扩大其覆盖范围,我们定义一种新的图像重要度计算模型,即 Hot-Target 图,见公式(1):

$$I_{\text{HotTarget}} = (\alpha \times (k \times I_{\text{Saliency}}) + (1 - \alpha) \times I_{\text{Edge}}) \times I_{\text{Saliency}} \quad (1)$$

其中, $I_{\text{HotTarget}}$ 表示重要度, I_{Saliency} 表示显著度, I_{Edge} 为增强后的边缘. α 为调节显著度和边缘信息比例的权重; k 为显著度的增强因子,用于强化图像的显著度.本文实验中,我们设定 α 的值为 0.3, k 的值为 10.等式右边最后一项乘积实现对 Hot-Target 值的归约. $I_{\text{HotTarget}}$ 值大的像素点,重要度大,显著物体分布在重要度值 $I_{\text{HotTarget}}$ 较大的区域.由公式(1)可知,与现有方法相比,我们的显著物体区域不仅包括视觉显著度大的区域,还包括图像边缘.因此,在图像收缩突出显著物体的同时,图像边缘作为显著物体的组成部分也得到增强.图 2(d)是由公式(1)得到的 Hot-Target 图,浅色区域显著度值较大,重要度较高;深色区域为非重要区域.对比图 2(c)和图 2(d)可知,Hot-Target 图增强了重要物体的显著性,扩大了其覆盖范围,勾画了它们的轮廓.图 3(c)是基于 Wang 的重要度效果,图 3(d)是基于 Hot-Target 图的效果,图 3(d)对建筑物保持得更好.

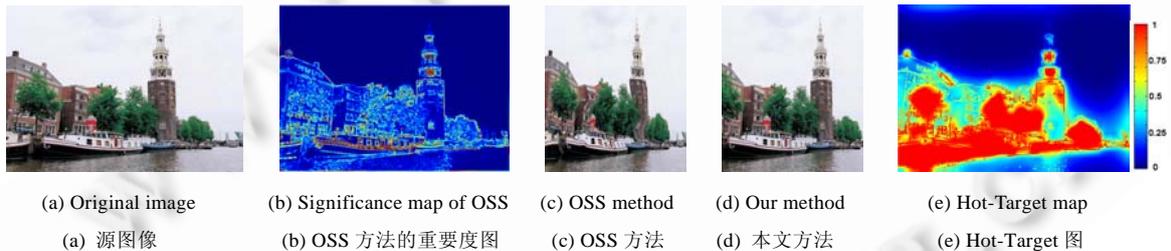


Fig.3 Influence of important map and Hot-Target map for image shrinking

图 3 重要度图与 Hot-Target 图对图像收缩的影响

2 基于 Hot-Target 图和特征边缘保持的图像收缩

图像收缩实现了高分辨率图像在低分辨率、纵横比不同的屏幕上显示的问题.它的关键是在保持显著区域和重要物体的同时,避免扭曲变形.本文算法的主要思想是把图像收缩映射为覆盖图像的四边形网格的非均匀变形,使重要区域的子四边形变形小,其他子四边形变形大,并避免扭曲,实现重要区域从视觉上保持相对突出.

图 4 描述了本文方法的主要流程,我们首先建立反映源图像特征结构和信息分布的边缘增强图及显著度图,并结合两者构建反映图像显著区域和重要物体的 Hot-Target 图(见第 1 节);然后构造覆盖源图像的四边形网格(见第 2.1 节);为了提高视觉效果,突出显著区域和重要物体,本文将重要度约束、边界约束、边长约束融合为能量失真约束,实现基于能量约束的网格收缩(见第 2.2 节);为了避免图像扭曲,我们基于图像边缘和网格定义特征边缘(见第 2.3 节);为了优化最终结果,我们采用网格迭代收缩获取适合目标大小的网格;算法最后通过插值,映射获取目标图像.

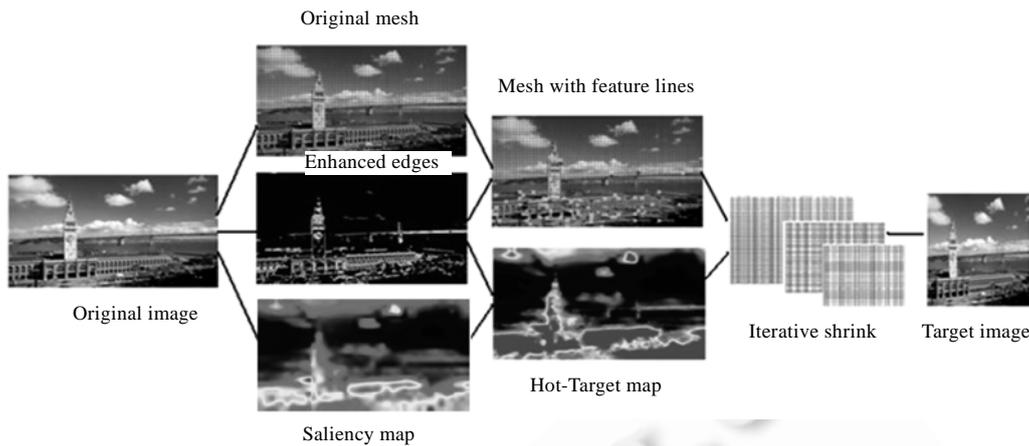


Fig.4 Overview of algorithm

图 4 算法流程

2.1 图像网格化

与三角形网格和多边形网格相比^[23],四边形网格根据像素排列的自然结构来构造,易于创建和操作.本文采用四边形网格思想,首先构建一个覆盖图像的四边形网格 $Q=(V,E,F)$,为顶点集, E 为边集, F 为四边形面片集. $V=[v_0,v_1,\dots,v_n], v_i \in R^2, V'=[v'_0,v'_1,\dots,v'_n], v'_i \in R^2$ 分别表示源网格和目标网格.把图像收缩当作是覆盖图像的四边形网格变形并进行纹理映射的过程.为了凸显图像的重要区域,我们根据 Hot-Target 图所反映的图像重要度信息不等比例收缩四边形网格,使覆盖重要区域的子四边形发生小形变,将收缩量从各个方向分散到重要度小的区域,同时保持图像特征边缘不弯曲,避免图像扭曲.每个子四边形的重要度是其所含像素重要度的均值.

2.2 基于能量约束的网格变形

为了最小化图像重要物体的扭曲变形,定义图像收缩前后失真能量函数 $D=\{D_{SC},D_{ST}\}$, D_{SC} 和 D_{ST} 分别表示重要区域保持失真和图像结构失真.最优图像收缩要求重要物体和结构失真最小,即 D 取值最小.

覆盖图像的四边形网格由多个相邻接的子四边形组成,因此全局网格收缩可转化为局部网格收缩,为最小化收缩图像的重要区域,实现非均匀缩放,子四边形的变形程度取决于其重要度.网格的非均匀变化,必然导致失真.我们用 D_{SC} 来衡量失真程度,见公式(2),右侧的 2 次项为理想收缩与实际差异,即每个子四边形面片的失真.

$$D_{SC}(f) = \sum_{(i,j) \in E(f)} \|s_{(f)}(v_i - v_j) - (v'_i - v'_j)\|^2 \tag{2}$$

公式(3)描述了网格顶点的变化表达式,其中 M 是反映缩放、切变和旋转变化的仿射矩阵, T 是平移向量:

$$v' = vM + T \tag{3}$$

公式(2)的能量失真反映了网格中每个子四边形等量缩小,未能反映出图像各区域的差异,但为了突出图像重要区域,必然要求四边形网格的每个子四边形非等量地缩小.因此,我们对每个子四边形的能量失真增加一个由重要度决定的权重因子 ω_{HT} . ω_{HT} 的值等于四边形内像素点重要度的均值.构造带权能量失真约束公式如下:

$$D = \sum_{f \in F} \omega_{HT} D_{SC}(f) \tag{4}$$

我们将四边形网格收缩分解为 X 方向和 Y 方向的收缩来简化缩放比例 $s_{(f)} = \{s_x, s_y\}$ 的求解和网格迭代变形的处理,如图 5 所示.当图像在两个方向收缩时,将分步实现 X 方向和 Y 方向的缩放比例,见公式(5):

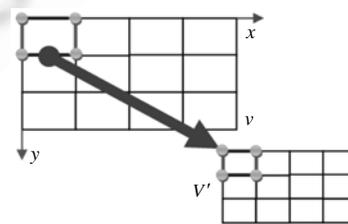


Fig.5 Single shrinking from x, y directions

图 5 x,y 方向独立收缩

$$s_x = \frac{|v'_{x+1,y} - v'_{x,y}| + |v'_{x+1,y+1} - v'_{x,y+1}|}{|v_{x+1,y} - v_{x,y}| + |v_{x+1,y+1} - v_{x,y+1}|}, s_y = \frac{|v'_{x,y+1} - v'_{x,y}| + |v'_{x+1,y+1} - v'_{x+1,y}|}{|v_{x,y+1} - v_{x,y}| + |v_{x+1,y+1} - v_{x+1,y}|} \quad (5)$$

图像重要特征保持的非均匀网格收缩,会使相邻网格顶点的偏移量不同,导致网格线弯曲,从而扭曲收缩后的图像.我们引入结构约束来缓解重要特征保持所引起的扭曲.图 6(b)是无结构约束的图像收缩,与有结构约束相比(如图 6(c)所示),船舷被扭曲.结构约束 $D_{ST} = \{D_L, D_A, D_B\}$ 包括边界约束 D_B 、边长约束 D_L 和角度约束 D_A 这三种约束相互制约,边长约束和角度约束效果类同,但角度约束计算复杂,本文采用边长约束和边界约束作为结构约束.

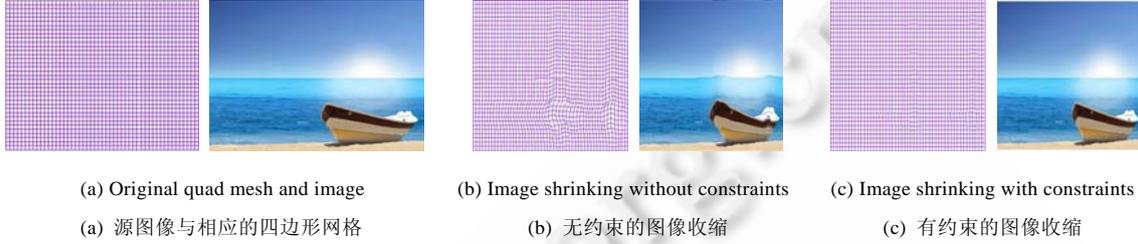


Fig.6 Image shrinking with constraints

图 6 基于约束的图像收缩

2.2.1 边长约束

网格边的边长约束属于结构约束,源网格和目标网格的边长比 $l_e = \{l_x, l_y\}$ 的构造与缩放比类似, l_x, l_y 分别表示横向边变形前、后长度比和纵向边变形前、后长度比,我们针对两个方向分别加以处理,见公式(6):

$$l_x = \frac{|v'_{x+1,y} - v'_{x,y}|}{|v_{x+1,y} - v_{x,y}|}, l_y = \frac{|v'_{x,y+1} - v'_{x,y}|}{|v_{x,y+1} - v_{x,y}|} \quad (6)$$

边长约束能量函数用来计算边长的理想变化与实际变化间的失真,见公式(7).与角度约束下无法单方向处理相比,边长约束可以对 X 方向和 Y 方向分别进行处理,能够简化运算.

$$D_L = \sum_{(i,j) \in E(f)} \|l_e \times (v_i - v_j) - (v'_i - v'_j)\|^2 \quad (7)$$

2.2.2 边界约束

为保持图像完整性,使收缩后网格不越界而丢失信息,图像收缩应保证目标边界顶点为源边界顶点.假设输入图像的分辨率为 $h \times w$,输出图像的分辨率为 $h' \times w'$,则原始网格和目标网格的边界描述,见公式(8):

$$\begin{cases} v'_{i,x} = 0, & \text{if } v_{i,x} = 0 \\ v'_{i,x} = w', & \text{if } v_{i,x} = w \\ v'_{i,y} = 0, & \text{if } v_{i,y} = 0 \\ v'_{i,y} = h', & \text{if } v_{i,y} = h \end{cases} \quad (8)$$

为保证不发生越界,我们设定边界约束 D_B 为图像收缩的硬约束,见公式(9).其中 nt, nb, nl, nr 分别表示网格上边界、下边界、左边界和右边界的顶点数.为严格保持图像网格不发生越界,边界约束 D_B 应满足 $D_B=0$.

$$D_B = \sum_{i=1}^{nt} (v'_{i,x} - v_{i,x})^2 + \sum_{i=1}^{nb} (v'_{i,x} - v_{i,x})^2 + \sum_{i=1}^{nl} (v'_{i,y} - v_{i,y})^2 + \sum_{i=1}^{nr} (v'_{i,y} - v_{i,y})^2 \quad (9)$$

2.3 图像特征边缘的保持

当突出图像的重要区域和显著物体时,网格顶点发生不同位移,造成图像边缘弯曲,如图 6(b)所示.当弯曲位于平滑区域时,图像基本无扭曲;当弯曲位于重要区域时,如建筑物边缘、植物枝干、地平线等,图像会被严重扭曲.我们将弯曲后引起图像变形的边缘称为特征边缘,通常位于重要物体边缘区域.为保持图像重要区域

边缘的平直效果,我们提出特征边缘保持策略,并根据边的直线状态,构造 3 种特征边缘:H-Edge,V-Edge 和 O-Edge,如图 7(b)所示.

H-Edge:水平状态特征边缘集,特点是集合的每一条横向特征边缘顶点的 Y 坐标均相同.

V-Edge:竖直状态特征边缘集,特点是集合的每一条纵向特征边缘顶点的 X 坐标均相同.

O-Edge:斜向特征边缘集,特点是集合的每一条斜向特征边缘顶点的 X,Y 坐标满足直线.

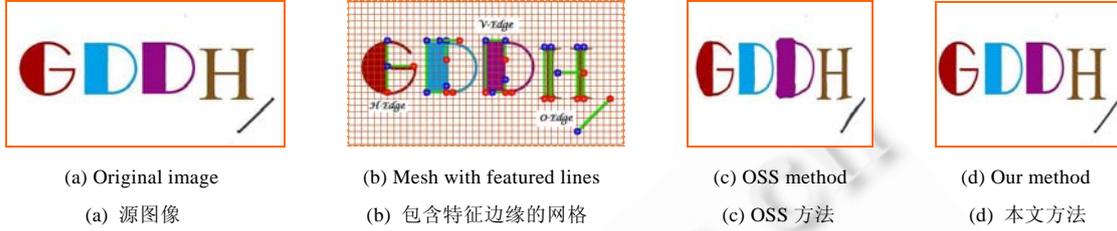


Fig.7 Image featured straight edges

图 7 图像的特征边缘

我们首先基于边缘检测算子构建源图像的边缘增强图,然后根据 Hough 变换,从边缘增强图中识别特征边缘;再将特征边缘从像素域映射到网格域,形成包含特征边缘的网格,如图 7(b)所示.本文对特征边缘的保持主要体现在特征边缘与网格的交集集.图 7(b)展示了 3 种类型的特征边缘,其中每条线段为一条特征边缘.定义 3 种特征边缘如下:

$$\begin{cases} F_{H-Edge} = \left\{ \left(\bigcup_{HE} P_{i,j} \right) \mid i \in [1, hn], j \in [1, hm] \right\} \\ F_{V-Edge} = \left\{ \left(\bigcup_{VE} P_{i,j} \right) \mid i \in [1, vn], j \in [1, vm] \right\} \\ F_{O-Edge} = \left\{ \left(\bigcup_{OE} P_{i,j} \right) \mid i \in [1, on], j \in [1, om] \right\} \end{cases} \quad (10)$$

F_{H-Edge} 为水平特征边缘集, F_{V-Edge} 为竖直特征边缘集, F_{O-Edge} 为斜向特征边缘集, $P_{i,j}$ 为第 i 条特征边缘的顶点集.此外, hn, vn, on 分别为水平特征边缘、竖直特征边缘和斜向特征边缘的条数, hm, vm, om 则分别为每条水平特征边缘、竖直特征边缘和斜向特征边缘的顶点数.定义变形后特征边缘如下:

$$\begin{cases} F'_{H-Edge} = \left\{ \left(\bigcup_{HE} Q_{i,j} \right) \mid i \in [1, hn], j \in [1, hm] \right\} \\ F'_{V-Edge} = \left\{ \left(\bigcup_{VE} Q_{i,j} \right) \mid i \in [1, vn], j \in [1, vm] \right\} \\ F'_{O-Edge} = \left\{ \left(\bigcup_{OE} Q_{i,j} \right) \mid i \in [1, on], j \in [1, om] \right\} \end{cases} \quad (11)$$

F'_{H-Edge} , F'_{V-Edge} 和 F'_{O-Edge} 分别表示收缩后的水平特征边缘集、竖直特征边缘集和斜向特征边缘集, $Q_{i,j}$ 为图像收缩后第 i 条特征边缘的顶点集.为使收缩前后特征边缘保持平直状态,它们必须分别满足以下约束关系:

H-Edge 的约束关系:

收缩前、后,每条水平特征边顶点纵坐标相等,即 $P_{i,x}(y) = P_{i,x+1}(y) = \dots = P_{i,x+n}(y)$, $Q_{i,x}(y) = Q_{i,x+1}(y) = \dots = Q_{i,x+n}(y)$.

V-Edge 的约束关系:

收缩前、后,每条竖直特征边顶点横坐标相等,即 $P_{i,y}(x) = P_{i,y+1}(x) = \dots = P_{i,y+n}(x)$, $Q_{i,y}(x) = Q_{i,y+1}(x) = \dots = Q_{i,y+n}(x)$.

O-Edge 的约束关系:

收缩前,斜向特征边缘顶点横坐标 $P_{i,j}(y)$ 和纵坐标 $P_{i,j}(x)$ 满足 $P_{i,j}(y) = k \times P_{i,j}(x) + b, k \in (0, \infty), k$ 为斜率, b 为偏移量.收缩后,斜向特征边缘斜率改变.因此,需根据斜向特征边缘两端顶点的新位置,重新计算变化后的斜率 k' 和偏移量 b' ,并构造新特征边缘表达式 $Q_{i,j}(y) = k'Q_{i,j}(x) + b', k' \in (0, \infty)$.再将原网格直线上的顶点代入新直线方程,求出满足新特征直线表达式的顶点位置,并更新网格顶点.图 7(c)和图 7(d)分别是无特征边缘约束和有特征边缘约束的结果.由图 7(c)可知,图像的特征边缘在收缩后弯曲变形,降低了图像质量,而图 7(d)所示的特征边缘则被保持平直状态,从而避免了边缘扭曲.

2.4 迭代求解

根据以上分析,建立基于能量失真约束的图像收缩,并由加权约束最小能量思想,定义总能量约束如下:

$$D = \min(\omega_{HT} \times D_{SC} + \delta \times D_L + \eta \times D_B) \text{ 满足 } F_{H-Edge}, F_{V-Edge}, F_{B-Edge} \quad (12)$$

D 为总能量, D_{SC} 为缩放失真能量, D_L 为网格边长约束, D_B 为图像边界约束, ω_{HT} 为基于 Hot-Target 的重要度权重, δ 和 η 为权重调节因子.目标函数要满足 3 种特征边缘 F_{H-Edge} , F_{V-Edge} 和 F_{O-Edge} 的约束条件.

我们根据加权约束线性最小二乘的思想求解 D ,首先由能量失真约束构建 $Ax = b$ 形式的线性方程组,然后将均匀缩放后的顶点位置设定为迭代的初始值,并根据预先指定的迭代次数对 x 向量和 y 向量迭代求解,再根据特征边缘约束调整网格迭代的结果,从而得到目标网格,最后对网格贴图映射获取目标图像.实验结果表明,有限次数迭代计算(通常控制小于 8 次),网格变形失真更小,图像保持更好.

3 实验结果和分析

我们采用 Intel Pentium(R) T2370 1.73GHz 和 2GB 的 PC 平台,实验本文方法.网格顶点的采样间隔为 10 个像素点,缩小采样间隔增多网格顶点,将增大时间花费.为达到理想效果,我们针对图像特点调整特征边缘的长度和数量,如对边缘复杂的图像增多特征边缘.此外,图像对边界和扭曲的敏感度不同,调整公式(12)的系数,可以获取理想效果,如边界需要严格保持的图像,则需要增大 η .当缩放分辨率为 400×300 的图像到 300×300 时,本文方法花费 47.45s.以下是实验结果及其分析.

由图 8 可知,在没有特征边缘约束时,为突出图像重要区域,荷花花瓣和建筑物柱底部(如图 8(b)和图 8(e)所示)被严重扭曲变形.增加特征边缘约束后,我们在保持显著区域的同时,能够保持直线边界平直,避免图像扭曲,如图 8(c)和图 8(f)所示.

本文方法是一种连续型图像收缩方法,与离散型方法(如 SC 方法)相比,最大的优点是不破坏收缩后图像的连续性,不引起图像的失真.SC 方法的核心思想是,通过从图像中移去能量值最小的若干条能量线来收缩图像,当被移出的能量线穿越图像边缘区域时,会导致收缩后的图像不连续,严重破坏收缩图像的质量.如图 9 中所示的帆船和房屋,通过 SC 方法收缩后,帆的斜向边、房屋的屋顶和墙面直线边都遭到破坏,被分成若干段不连续的线段,导致图像失真.本文方法采用网格变形和图像插值思想收缩图像,网格变形属于连续空间处理方法,因此不会引起图像边缘的断裂.当突出图像重要区域时,会引起收缩后网格的弯曲,本文通过对图像特征边缘和结构的保持弥补了该不足.对比图 9(b)与图 9(c)和图 9(e)与图 9(f)可知,本文方法能够很好地保持收缩后图像的连续性.

与等比例缩放(Scale 方法)相比,本文方法能够在收缩过程中更好地凸显显著区域和重要物体,如图 10 所示.本文首先通过计算图像的 Hot-Target 图来定位图像的重要区域,然后在基于能量失真约束下收缩网格,以对图像重要区域保持的失真程度作为能量失真约束的组成部分,在能量失真最小的情况下得到目标图像.因此,与等比例缩放相比,本文方法凸显了图像的显著区域和重要物体,如图 10 中所示的小孩、老人和风车.



Fig.8 Image shrinking based on preserving featured straight edges

图 8 保持特征边缘的图像收缩



Fig.9 Preservation of image continuity based on our method

图 9 本文方法对图像连续性的保持



Fig.10 Highlight of image salient regions and important objects by our method

图 10 本文方法对图像的显著区域及重要物体的突出保持

图 11 给出了几组本文方法与现有图像收缩方法的比较.分析可知,等比例缩放 **Scaling** 使图像中的重要物体和显著区域太小,不够显著突出,如图 11 所示的汽车、房屋和书柜,**Scaling** 易产生挤压效果,如图 11 中所示的金鱼、瓜和喜鹊.**SC** 方法是近几年出现的一种效果非常好的图像收缩方法,被广泛应用于工业界,该方法的最大缺陷是破坏了图像的连续性,如图 11 中所示的金鱼附近的球和篮框等.连续图像收缩方法最典型的代表是 **OSS** 方法,但 **OSS** 方法会因为对重要物体的保持而弯曲网格,从而扭曲图像的轮廓,如图 11 所示的藤条、瓜和喜鹊.虽然 **OSS**

方法在一定程度上凸显了重要区域,但扭曲图像畸变,因此有效地解决该方法的畸变问题,能够更好地对图像缩放.

本文受 OSS 方法的启发,将图像收缩归结于覆盖图像的四边形网格的收缩,逐步迭代缩小网格,直至达到目标大小.为突出显著区域和重要物体,我们基于能量约束对四边形网格非均匀地收缩,覆盖显著区域的四边形收缩相对较小.非均匀网格收缩引起图像直线边的扭曲,引起变形.为避免图像直线边的扭曲,我们定义了 3 种特征边缘,并通过结构约束保证特征边缘呈直线状态.本文方法克服了连续收缩方法对图像边缘的扭曲,如图 11(f)所示.

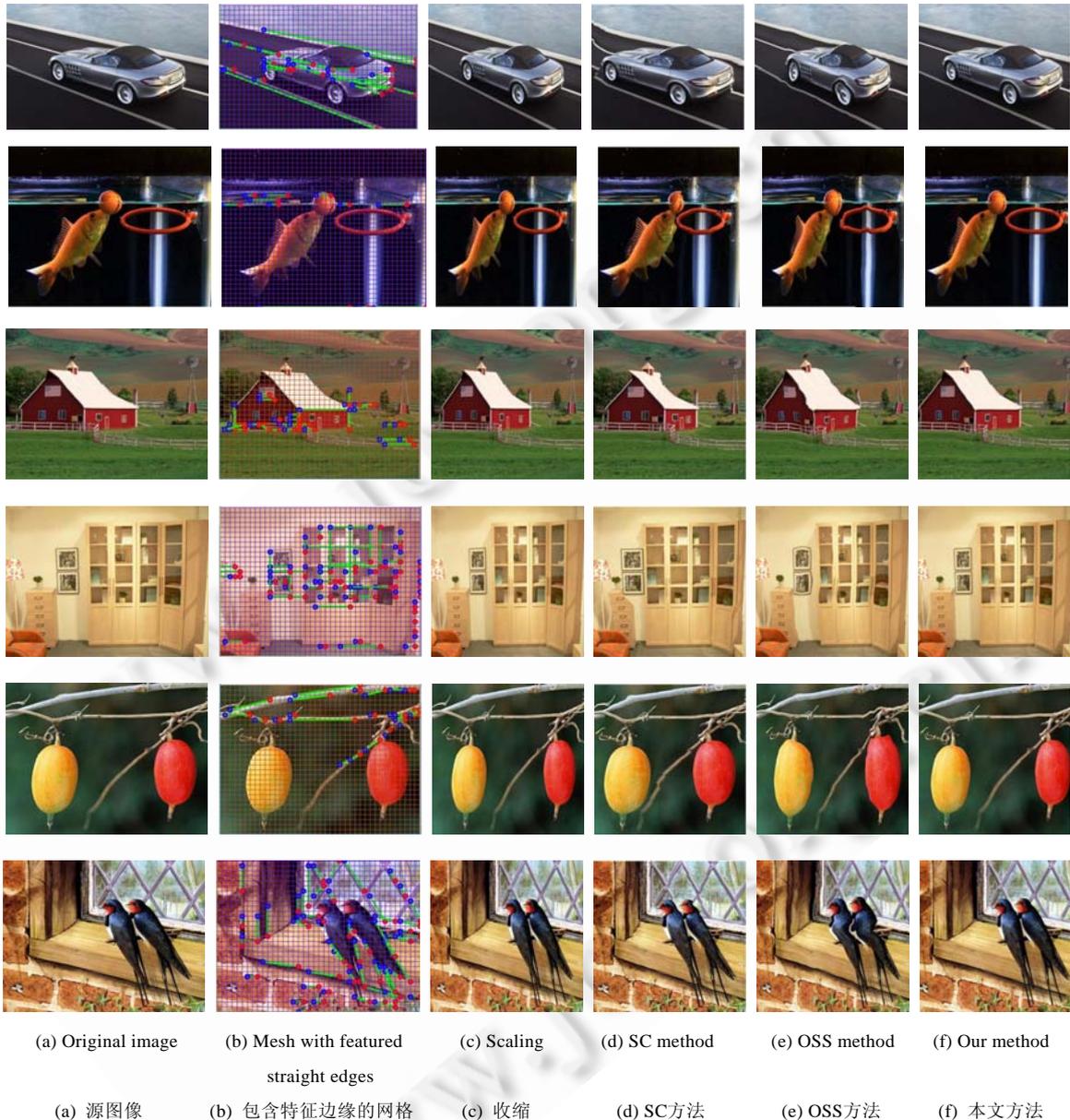


Fig.11 Comparison between our approach and previous methods

图11 本文方法和其他图像收缩方法的比较

4 总结和展望

本文提出了一种基于 Hot-Target 图和特征边缘保持的图像收缩方法.该方法的主要贡献是在收缩图像时突

出显著区域和重要物体,保持图像的结构特征,避免图像扭曲和不连续.该方法将图像收缩归结为覆盖图像四边形网格的迭代处理,在结构约束、边界约束、特征保持约束等构成的能量约束下,对四边形网格非均匀变形,以达到突显重要区域、图像无扭曲的效果.为了更好地突出显著区域和重要物体,首先要准确检测和定位出重要区域,本文结合图像显著度和边缘提出一种新的图像重要度,即 Hot-Target 图模型.实验结果表明,该模型更准确地判断出图像重要区域.为避免图像扭曲和不连续,本文对图像特征边缘处理,通过分类特征边缘对每种类型分别加以处理,保证特征边缘平直.本文算法的另一个优点是,将对网格变形的求解转化为解线性方程组,提高了处理的速度.

在突出显著区域和重要物体、保持图像连续、避免图像扭曲的处理上,本文方法已取得很好的效果,但缺乏对图像中重要物体相对位置的考虑,有时图像收缩后不能保持图像的原有语义.此外,对特征边缘的保持受限于检测方法,特征边缘的提取和识别在一定程度上影响了收缩结果.以上是我们进一步研究要解决的问题.本文算法采用线性求解的方法实现,处理速度较快,将该方法推广到视频处理领域是我们下一个研究方向.

致谢 在此,我们向对本文工作给予宝贵建议的审稿专家和中山大学教育部数字家庭中心的研究工作人员表示衷心的感谢.

References:

- [1] Avidan S, Shamir A. Seam carving for content-aware image resizing. *ACM Trans. on Graph*, 2007,26(3):267–276.
- [2] Rubinstein M, Shamir A, Avidan S. Improved seam carving for video retargeting. *ACM Trans. on Graph*, 2008,27(3):1–9.
- [3] Rubinstein M, Shamir A, Avidan S. Multi-Operator media retargeting. *ACM Trans. on Graph*, 2009,28(3):1–11,23.
- [4] Pritch Y, Venaki EK, Peleg S. Shift-Map image editing. In: *Proc. of the HIEEEH Int'l Conf. on Computer Vision (ICCV)*. 2009. <http://www.cvpapers.com/iccv2009.html>
- [5] Wang YS, Tai CL, Sorkine O, Lee TY. Optimized scale-and-stretch for image resizing. *ACM Trans. on Graph*, 2008,27(5):1–8.
- [6] Guo YW, Liu F, Shi J. Image retargeting using mesh parametrization. *IEEE Tran. on Multimedia*, 2009,11(5):856–867. [doi: 10.1109/TMM.2009.2021781]
- [7] Shi J, Guo YW, Du ZL, Zhang FY, Peng QS. A mesh parameterization-based image retargeting method, *Journal of Software*, 2008,19:19–30 (in Chinese with English abstract). <http://www.jos.org.cn/1000-9825/19s/19.htm>
- [8] Zhang GX, Cheng MM, Hu SM, Martin RR. A shape-preserving approach to image resizing. *Pacific Graphics*, 2009,28(7): 1897–1906.
- [9] Wolf L, Guttman M, Cohen-Or D. Non-Homogeneous content-driven video-retargeting. In: *Proc. of the HIEEEH Int'l Conf. on Computer Vision (ICCV)*. 2007. <http://www.cvpapers.com/iccv2007.html>
- [10] Santella A, Agrawala M, Decarlo D, Salesin D, Cohen M. Gaze-Based interaction for semiautomatic photo cropping. In: *ACM Human Factors in Computing Systems (CHI)*. 2006. 771–780. <http://www.chi2006.org/>
- [11] Setlur V, Talagi S, Raskar R, Gleicher M, Gooch B. Automatic image retargeting. In: *Proc. of the Mobile and Ubiquitous Multimedia (MUM)*. ACM Press, 2005. 148–155. <http://www.hitlabnz.org/mum2005/>
- [12] Liu H, Xie X, Ma WY, Zhang HJ. Automatic browsing of large pictures on mobile devices. In: *ACM Multimedia*. 2003. 148–155. <http://www.informatik.uni-trier.de/~ley/db/conf/mm/mm2003.html>
- [13] Suh B, Ling H, Bederon B, Jacobs D. Automatic thumbnail cropping and its effectiveness. In: *ACM UIST*. New York: ACM Press, 2003. 95–104. <http://www.acm.org/uist/archive/html/proceedings/2003.html>
- [14] Chen LQ, Xie X, Fan X, Ma WY, Zhang HJ, Zhou HQ. A visual attention model for adapting images on small displays. *Multimedia Systems*, 2003,9(4):353–364. [doi: 10.1007/s00530-003-0105-4]
- [15] Ren TW, Guo YW, Wang GS, Zhang FY. Constrained sampling for image retargeting. In: *ICME 2008*. 2008. 1397–1400. <http://www.icme2008.org/Papers/PaperKit.asp.html>
- [16] Liu F, Gleicher M. Automatic image retargeting with fisheye-view warping. In: *ACM UIST*. 2005. 153–162. <http://www.acm.org/uist/archive/html/proceedings/2005.html>

- [17] Setlur V, Lechner T, Nienhaus M, Gooch B. Retargeting images and video for preserving information saliency. IEEE Computer Graphics and Applications, 2007,27(5):80–88. [doi: 10.1109/MCG.2007.133]
- [18] Ma YF, Zhang HJ. Contrast-Based image attention analysis by using fuzzy growing. In: ACM Multimedia. New York: ACM Press, 2003. 374–381. <http://www.informatik.uni-trier.de/~ley/db/conf/mm/mm2003.html>
- [19] Itti L, Koth C, Niebur E. A model of saliency-based visual attention for rapid scene analysis. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1998,20(11):1254–1259. [doi: 10.1109/34.730558]
- [20] Harel J, Koch C, Perona P. Graph-Based visual saliency. In: Proc. of the NIPS. 2006. <http://books.nips.cc/nips19.html>
- [21] Hu Y, Rajan D, Chia LT. Robust subspace analysis for detecting visual attention regions in images. In: ACM Multimedia. New York: ACM Press, 2005. 716–724. <http://www.informatik.uni-trier.de/~ley/db/conf/mm/mm2005.html>
- [22] Zhang P, Wang RS. Detecting salient regions based on location shift and extent trace. Journal of Software, 2004,15(6):891–898 (in Chinese with English abstract). <http://www.jos.org.cn/1000-9825/15/891.htm>
- [23] Zhou Y, Liu SJ, Jin XG, Feng JQ, Ye XF. Geodesic-Based constrained deformations for polygonal mesh models. Journal of Software, 2007,18(6):1543–1552 (in Chinese with English abstract). <http://www.jos.org.cn/1000-9825/18/1543.htm> [doi: 10.1360/jos181543]

附中文参考文献:

- [7] 时健,郭延文,杜振东,张福炎,彭群生.一种基于网格参数化的图像适应方法.软件学报,2008,19:19–30. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/19s/19.htm>
- [22] 张鹏,王润生.基于视点转移和视区追踪的图像显著区域检测.软件学报,2004,15(6):891–898. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/15/891.htm>
- [23] 周艳,刘圣军,金小刚,冯结青,叶晓丰.基于测地距离的多边形网格模型约束变形.软件学报,2007,18(6):1543–1552. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/18/1543.htm> [doi: 10.1360/jos181543]



梁云(1981—),女,山东临沂人,讲师,主要研究领域为图形图像研究,视频处理,数字家庭.



罗笑南(1963—),男,博士,教授,博士生导师,主要研究领域为图形图像研究,视频处理,数字家庭.



苏卓(1985—),男,硕士,主要研究领域为图形图像处理,模式识别.



王栋(1977—),女,讲师,主要研究领域为计算机图形学,视频图像处理.