

显著物体形状结构保持的图像缩放方法

林晓^{1,2} 沈洋³ 马利庄² 邹盼盼²

(洛阳师范学院信息技术学院 洛阳 471022)¹ (上海交通大学电子信息与电气工程学院 上海 200240)²
(丽水学院计算机系 丽水 323000)³

摘要 针对传统的缝裁剪图像缩放方法中可能出现对图像中显著物体形状结构的破坏问题,提出一种既考虑到显著物体内容保持又考虑到显著物体形状结构保持的新的图像缩放方法。该方法首先利用经典的图像显著度图模型,结合图像梯度直方图等信息构建形状结构更加清晰的图像重要度图;然后利用已构建的重要度图,对图像进行分块,按显著块的大小来确定缩放方法;最后结合经典缝裁剪方法和基于共形能量的变形方法对图像进行缩放。实验结果显示,该方法能够在图像缩放时更好地保持显著物体的内容和形状结构。

关键词 显著度图,形状结构保持,图像缩放

中图分类号 TP391 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2014.12.062

Image Resizing Based on Shape and Structure-preserving of Salient Objects

LIN Xiao^{1,2} SHEN Yang³ MA Li-zhuang² ZOU Pan-pan²

(Academy of Information Technology, Luoyang Normal University, Luoyang 471022, China)¹

(College of Electronic Information and Electrical Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China)²

(Academy of Computer Information Engineering, Lishui University, Lishui 323000, China)³

Abstract Since the traditional seam carving based image resizing methods may destroy the shape and structure of saliency objects in the image, we presented a new image resizing method which can preserve the content and shape and structure of salient objects. The proposed method firstly produces the significant map of clear shape and structure by combining with the classic saliency map and gradient histogram information, and then divides the image into blocks by using the existing significant map. Finally, image can be resized which combines the classic seam resizing method and the resizing method of deformation based on conformal energy according to the significant block size. And the experiments show that the proposed method has better performance in preserving the content and shape and structure of saliency objects than the previous works.

Keywords Saliency map, Shape and structure-preserving, Image resizing

1 引言

随着显示设备的不断发展,图像缩放技术已经成为图像处理 and 计算机图形学领域研究的一个热点问题,特别是近年来苹果公司不断地推出 iPad 系列产品,不同的 iPad 的显示屏大小都不相同,这使得同样的图像在不同大小的显示屏上显示时能够保持显著物体的内容和形状结构不变的问题显得更加突出。当前网络发展迅速,在网页上合理动态地调整图像的大小以适应不同页面布局的需要,也对图像缩放提出了新的要求。

到目前为止,图像缩放仍然是一个不适定问题,没有一种很好的客观评价标准。通常认为,满足以下 3 个方面将被认

为是比较好的缩放方法。

1. 缩放后的图像能够尽可能地保持原图像中的显著性物体内容;
2. 缩放后的图像能够尽量保持原图像中的重要结构信息;
3. 能够尽可能地减少缩放图像的视觉变形现象。

传统的裁剪(cropping)和缩放(scaling)方法由于只考虑了缩放图像的几何约束,容易引起重要信息的丢失或者是对图像内容产生大的变形失真,因此不能提供满意的缩放结果。近年来,一些研究学者提出了基于内容敏感的缩放方法^[1-7],该方法主要分为两部分:首先计算原始图像中的显著度图,也就是确定图像中的重要物体;然后根据重要度图来选择合适

到稿日期:2013-06-25 返修日期:2013-08-16 本文受国家“九七三”重点基础研究发展规划项目基金(2011CB302200),国家自然科学基金联合基金项目(U1304616),国家自然科学基金重点项目(61133009),国家自然科学基金面上项目(61073089),上海市科委 2013 年度“科技创新行动计划”信息技术领域项目(13511505000)资助。

林晓(1978-),女,博士生,副教授,主要研究方向为图形图像、视频处理, E-mail: lin6008@126.com; 沈洋(1975-),男,博士,讲师,主要研究方向为图像视频处理、多媒体与虚拟现实; 马利庄(1963-),男,博士,教授,主要研究方向为计算机图形学、图像视频处理、多媒体与虚拟现实; 邹盼盼(1989-),男,硕士生,主要研究方向为数字图像处理。

的缩放算子对原始图像进行缩放,从而得到目标缩放图像。

Avidan 和 Shamir^[1]在 2007 年的 SIGGRAPH 国际会议上首次提出了基于内容的缝裁剪(Seam Carving)图像缩放方法。首先利用梯度能量从图像中寻找一条 8 连通的能量最小化缝,然后根据缩放目的来删除或者增加一条能量缝,重复这种操作可以得到需要的缩放图像大小。缝裁剪方法考虑到图像中的能量,选择最小能量的缝进行删除,能够较好地保护图像中的显著性物体,得到好的缩放效果。但是该方法也有很多缺陷:(1)缝裁剪方法只是迭代地移除或者插入低能量像素,没有考虑真实的视觉影响;(2)具有低能量的重要物体会被删除;(3)在图像中物体布局不理想的情况下缝不可避免地穿过重要物体区域,产生几何形变现象,破坏物体的形状结构;(4)缝裁剪方法是一种离散的方法,执行的是像素操作,在移除每条缝后要重新计算能量图,从而增加了时间消耗。

由于经典的缝裁剪方法有很大的局限性,很多研究者在图像缩放质量以及计算速度方面对缝裁剪方法进行了提高改进。Rubinstein 等人^[2]改进了缝裁剪方法,考虑了由于缝的删除而引起的能量变化,引入了前向能量公式,并采用了图切方法来实现图像缩放,能够较好地对图像形状结构进行保持。Huang 等人^[5]提出在加权二部图中寻找最优的匹配关系,根据确定的匹配关系来寻找缝,避免了采用动态规划方法来寻找最优缝所产生的时间消耗,从而提高了缩放的效率。Thilagam 和 Karthikeyan^[6]提出了分段缝裁剪方法,运用分割区域来约束缝的定义,通过优化方法来保持低能量的显著物体,从而最小化形状变形。林晓等人^[7]为了避免缝穿过显著物体,改进了缝裁剪方法,将原有的 8 连通约束打破,提出了 seamlet carving 方法,从而避免了对显著物体的破坏,同时引入了反错切能量公式来对能量进行修正,得到了优化的图像缩放结果。

基于变形的缩放方法近年来也得到了很多研究。Wang 等人^[8]提出了基于四边网格的变形缩放方法,该方法采用了 Itti 等人^[17]提出的显著度图结合梯度图形成重要度图,按照重要度图对图像采用变形缩放方法,使得重要区域尽可能地不变形,该方法能够减少变形,更好地保持重要物体形状结构等信息。张国鑫等人^[9]运用共形能量的方法,有效地扩散变形,同时保持了全局局部特征。该方法没有考虑重要区域变形可能产生的旋转,会使图像的重要区域产生扭曲结果。雷励星^[10]提出了一种基于混合能量的内容敏感的图像缩放方法,有效地避免了重要区域的扭曲和旋转。施美玲等人^[11]提出了一种考虑网格形状和大小的形变量度量模型,在图像重要度约束下,通过简单的参数调整让用户选择性地控制主体对象的大小,从而更好地保持图像的重要特征。Niu 等人^[12]提出了非均匀变形方法,即定义二次方程度量图像变形,引入块连接规划,通过最小化二次方程问题来保持缩放时图像的全局结构,从而使图像缩放时更好地保持全局结构。

没有一种单一的缩放方法能够很好地得到任意尺寸的缩放图像,因此一些研究者近年来采用多算子缩放方法^[13-16]。他们采用了多种算子的混合运算将裁剪、缩放和缝裁剪联合起来,定义一种度量准则来衡量在什么情况下进行算子的转换。这种方法在一定程度上较好地保持了显著物体的形状结

构特征,但是效果并不是很理想。本文方法能够更好地保持显著物体的形状结构,并能较好地保持物体间的比例关系。

本文提出了一种基于显著物体的形状结构保持的图像缩放方法。该方法分为以下几个步骤:(1)结合显著度图和梯度直方图能量对输入图像进行显著物体检测;(2)根据检测的显著物体将输入图像进行分块;(3)根据目标图像与显著块大小的比较选取合适的缩放方法,大于显著块时选择缝裁剪方法,如果小于显著块大小,由于继续使用缝裁剪方法会造成重要物体的严重变形,因此改用其他缩放方法,本文采用文献^[9]中的基于共形能量的变形缩放方法,它能够更好地保持显著物体的形状结构。

2 显著物体检测

为了在缩放时更好地保持图像的显著物体,显著性检测显得尤为重要。本文拟采用 Itti 等人^[17]提出的显著性模型结合图像梯度直方图信息来进行显著物体的检测。

2.1 图像的显著度图

Itti 等人^[17]在 1998 年提出的自底向上的显著性物体检测模型是视觉显著性领域的一个经典方法。该方法是基于生物启发模型和特征整合理论的视觉显著性计算方法。首先对图像进行线性分析,得到图像的颜色、亮度和方向特征图像,在每个特征图的不同位置按照一定的方式进行衡量,得到图像的局部最显著位置,从而保持突出位置;然后将所有的特征图按自下而上的方法合成一张总体显著度图,从而保留了图像中的局部显著性。

2.2 图像的梯度直方图能量函数

给定图像 I , 图像的梯度函数 e 为:

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

定义图像的梯度直方图能量函数 e_{HoG} 为:

$$e_{HoG}(I) = \frac{\left| \frac{\partial}{\partial x} I \right| + \left| \frac{\partial}{\partial y} I \right|}{\max(HoG(I(x, y)))}$$

其中, $HoG(I(x, y))$ 是每个像素的方向梯度直方图^[18], 本文采用 11×11 窗口, 使用八尺度直方图。这样, 分母上得出的是 HoG 的最大值。

2.3 图像的重要度图

本文结合显著度图和梯度直方图能量函数来确定图像重要度图, 这样既能很好地体现视觉关注度, 同时又考虑了图像的梯度直方图等相关信息, 能更好地保持图像的边缘和视觉关注度信息, 从而能够更好地指导后续的图像缩放。

定义重要度图 W 为:

$$W(I) = S(I) + e_{HoG}(I)$$

其中, $S(I)$ 为显著度图, $e_{HoG}(I)$ 为梯度直方图能量, W 为加权后的图像重要度。

图 1 显示了图像的重要度图的生成过程。本文采用将显著度图与梯度直方图能量图直接进行加权的方法, 目的是加强图像的视觉特征, 增强图像的梯度信息, 该方法比使用平均加权方法有更好的视觉效果, 两种方法产生的重要度图如图 2 所示。



图1 图像重要度图生成



图2 图像重要度图比较

3 图像缩放算法

3.1 缝裁剪方法

Avidan 和 Shamir^[1]在2007年提出了经典的缝裁剪方法。

假设给定的图像 I 大小为 $n \times m$, 定义一条竖缝为:

$$s^x = \{s_i^x\}_{i=1}^n = \{(x(i), i)\}_{i=1}^n, \forall i, |x(i) - x(i-1)| \leq 1$$

其中, x 是映射, $x: [1, \dots, n] \rightarrow [1, \dots, m]$ 。也就是说, 一条竖缝实际上是一条图像自上而下的 8 连通像素路径, 在每行中包含且仅包含一个像素。同样可以定义一条水平缝为:

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

一条缝路径(以竖缝 $\{s_i^x\}$ 为例):

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

给定能量函数 e , 定义缝的代价为:

$$E(s) = E(I_s) = \sum_{i=1}^n e(I(s_i^x))$$

寻找最优的缝 s^* 使能量代价最小化:

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

运用动态规划来寻找最优路径。首先从图像的第 2 行开始遍历到最后一行, 对每个入口点 (i, j) 计算所有可能的连接缝的累计最小能量 M :

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

计算结束后, 最后一行的最小值显示了最小连接竖缝; 接着, 从 M 的最小入口开始回溯寻找最优的缝。

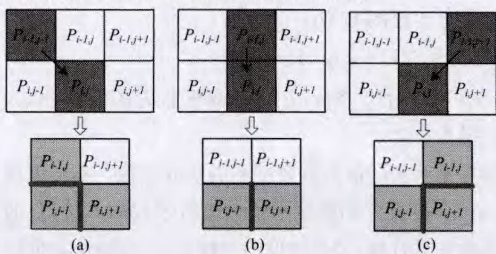


图3 删除缝后可能的能量变化情况图^[2]

由于这种方法没有考虑由删除缝引起的能量变化, Rubi-

nstein^[2]提出了前向能量补偿方法, 对应于图 3 的情况定义了补偿能量。

$$(a) C_L(i, j) = |I(i, j+1) - I(i, j-1)| + |I(i-1, j) - I(i, j-1)|$$

$$(b) C_U(i, j) = |I(i, j+1) - I(i, j-1)|$$

$$(c) C_R(i, j) = |I(i, j+1) - I(i, j-1)| + |I(i-1, j) - I(i, j+1)|$$

对于竖缝, 每个代价 $M(i, j)$ 用下面的规则进行变化:

$$M(i, j) = P(i, j) + \min \begin{cases} M(i-1, j-1) + C_L(i, j) \\ M(i-1, j) + C_U(i, j) \\ M(i-1, j+1) + C_R(i, j) \end{cases}$$

其中, $P(i, j)$ 是基于能量测量的附加像素。

3.2 图像分块

对于图像直接利用缝裁剪方法进行缩放, 容易裁剪到显著性物体。根据上面得到的重要度图, 拟将图像首先进行简单的分块, 先以缩放图像宽度为例(对于图像高度的缩放原理类似), 如图 4 所示, 首先根据重要度图将图像分为水平的 3 块, 可以看出, 图像中间的一块为显著性物体所占据的区域, 于是可以假设为了保护显著物体, 首先采用缝裁剪方法时仅考虑对图像的左边块和右边块运用缝裁剪方法, 这样自然能很好地保持显著物体的形状结构等信息。但是当图像要求缩放的尺度小于中间块的宽度时, 必然要对中间块进行缩放, 这时如果继续运用缝裁剪方法, 必然会破坏显著物体的形状结构等信息, 于是本文提出在此种情况下, 将改用其他方法(如连续型的基于变形的方法)对中间块进行缩放。



图4 分块图像(水平方向)

3.3 图像缩放流程

根据上面的分析, 总结本文图像缩放的流程, 如图 5 所示。

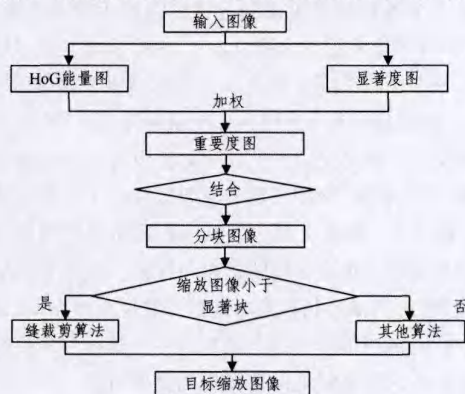


图5 算法的流程

首先根据本文第 2 节所述的方法对输入图像进行显著性物体检测, 根据得到的重要度图对输入图像按重要度做简单的分块, 根据分块的结果判断缩放后图像的大小与显著度块的大小, 如果缩放结果图像尺度大于显著块, 采用前向能量计算的缝裁剪方法对图像进行缩放, 如果小于显著块, 直接使用裁剪方法裁剪出显著块, 对显著块再利用连续型方法如基于变形的方^[9-12]等, 得到缩放图像。

4 实验结果与讨论

为了说明缩放效果,将本文方法与裁剪、均匀缩放、缝裁剪^[2]和多算子^[13]方法进行对比分析,程序在 2.80GHz Intel (R) Core(TM) i5 CPU, 4GB RAM 配置的 PC 机上运行。如图 6 所示,原图大小为 216×300 ,先仅考虑横向缩放,将原图缩小为 216×200 大小(由于版面所限,图例中的图片进行了等比例缩小)。



图 6 不同缩放方法的对比

从图 6 的对比结果中可以看出:对于横向缩放,在缩放尺度有限的情况下(缩放后图像大小小于显著块),裁剪方法与缝裁剪方法效果很接近,对于物体的显著性内容和形状结构都能够很好地保持。从图中看到此时仅仅对于小鸟有部分的破坏;缩放方法对图中的人物等显著性物体变形很大;多算子方法也对人物有大的变形;本文方法明显能够更好地保持小鸟和人物的形状结构。

继续对图像进行缩放,缩放后图像大小为: 216×150 ,各种方法得到的缩放结果如图 7 所示。



图 7 横向缩放对比效果图

从图 7 中可以看到,如果继续对图像进行缩放,当缩放宽

度为原图像的一半时,缩放后的图像远小于显著块,使用裁剪方法明显使人物内容部分丢失,小鸟整个被裁剪掉;缩放方法使显著物(人物和小鸟)明显变形;缝裁剪方法使得人的结构特别是手臂部分明显变形失真;多算子方法虽然较好地保持了整体效果,但是也对人物有少量的变形;本文方法明显地保持了显著物体(人物、小鸟)的形状结构,且保持了比例的协调一致。

下面仅考虑缩放图像的高度,通过对比可以更明显地看出本文方法的效果。如图 8 所示,将原图由 216×300 缩放到 100×300 。由于在高度方面,图像的显著块占据了大部分图像高度,因此在图像高度缩放比例比较大的情况下更能体现出本文的优势。从图 8 中可以看到,裁剪方法在这种情况下效果非常差,基本已将人的脸部信息全部裁掉;缩放方法和缝裁剪方法效果接近,都使得图像中人物变形严重;多算子方法相比其他方法效果已经得到了很大提高,但是人物的形状也遭到破坏,结构比例已经完全失调;本文方法能够很好地保持图像中显著物体(如人物和小鸟)的形状结构等信息,同时也很好地保持了显著物体的结构比例,视觉效果明显优于其他方法得到的缩放结果。



图 8 纵向缩放对比效果图

表 1 列出了几种缩放方法在内容丢失、形状结构保持和显著物的结构比例关系方面的比较。

表 1 几种缩放方法性质的比较

方法	显著物体		
	内容丢失	形状结构变形	结构比例失调
裁剪方法	✓	×	×
缩放方法	×	✓	×
缝裁剪方法	×	✓	✓
多算子方法	×	✓	✓
本文方法	×	×	×

结束语 本文提出了一种新的解决图像缩放的方法,即结合分块原理,运用缝裁剪方法和基于共形能量的变形方法对图像进行缩放,以避免缝裁剪方法由于过度裁剪使得显著内容变形失真等缺点,更好地保持显著物体的形状结构。本文对于形状结构保持较好,但是由于采用了缝裁剪与变形方法对图像进行缩放,并且首先采用了分块的策略,这些技术都会消耗一定的时间,因此在图像缩放的效率方面有待提高。

由于缩放问题目前还没有固定的评价标准,研究学者大多根据主观进行评价,所以在未来希望能够通过实验找出一

些共同的客观的评价准则。

参 考 文 献

[1] Avidan S, Shamir A. Seam carving for content aware image resizing [J]. ACM Transactions on Graphics, 2007, 26(3): 1-9

[2] Rubinstein M, Shamir A, Avidan S. Improved seam carving for video retargeting [J]. ACM Transactions on Graphics, 2008, 27(3): 1-9

[3] Shamir A, Avidan S. Seam carving for media retargeting [J]. Communications of the ACM, 2009, 52(1): 77-85

[4] Ariel S, Olga S. Visual media retargeting [C]//ACM SIGGRAPH ASIA 2009 Courses. New York, NY, USA, 2009, 11: 1-13

[5] Huang Hua, Fu Tian-nan, Rosin P L, et al. Real-time content-aware image resizing [J]. Science in China Series F-Information on Sciences, 2009, 52(2): 172-182

[6] Thilagam K, Karthikeyan S. Optimized image resizing using piecewise seam carving [J]. International Journal of Computer Applications, 2012, 42(14): 24-30

[7] Lin Xiao, Sheng Bin, Ma Li-zhuang, et al. Seamlet Carving for Shape-Aware Image Resizing [J]. Science China: Information Sciences, 2012, 55(5): 1073-1081

[8] Wang Y S, Tai C L, Sorkine O, et al. Optimized Scale-and-Stretch for Image Resizing [J]. ACM Transactions on Graphics, 2008, 27(5): 1-8

[9] Zhang Guo-xin, Cheng Ming-ming, Hu Shi-min, et al. A Shape-Preserving Approach to Image Resizing [J]. Computer Graphics

Forum, 2009, 28(7): 1897-1906

[10] 雷励星. 基于混合能量的内容敏感图像缩放新方法[J]. 计算机学报, 2010, 33(10): 2015-2021

[11] 施美玲, 徐丹. 主体大小能控的内容感知图像缩放[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2011, 23(5): 915-922

[12] Niu Y Z, Liu F, Li X Q, et al. Image resizing via non-homogeneous warping [J]. Multimedia Tools and Applications, 2012, 56(3): 485-508

[13] Dong W M, Zhou N, Paul J C, et al. Optimized image resizing using seam carving and scaling [J]. ACM Transactions on Graphics, 2009, 28(5): 1-10

[14] Rubinstein M, Shamir A, Avidan S. Multi-operator media retargeting [J]. ACM Transactions on Graphics, 2009, 28(3): 1-11

[15] Dong W M, Bao G B, Zhang X P, et al. Fast multi-operator image resizing and evaluation [J]. Journal of Computer Science and Technology, 2012, 27(1): 121-134

[16] Luo S Q, Zhang J P, Zhang Q, et al. Multi-operator image retargeting with automatic integration of direct and indirect seam carving [J]. Image and Vision Computing, 2012, 30(9): 655-667

[17] Itti L, Koch C, Niebur E. A Model of Saliency-Based Visual Attention for Rapid Scene Analysis [J]. IEEE Transactions on Pattern Recognition and Machine Intelligence, 1998, 20(11): 1254-1259

[18] Dalal N, Triggs B. Histograms of oriented gradients for human detection [C]//Proceedings of the 2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2005). San Diego, CA, United States, 2005: 886-893

(上接第 282 页)

中每秒的图像小于 25 帧并且目标的图像小于 2×10^4 个像素时, 该算法可以用于目标的实时跟踪。

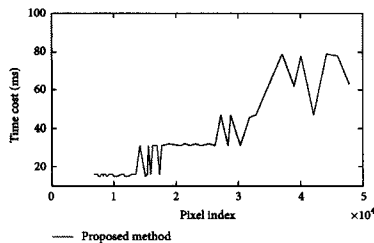


图 5 算法的运行时间评估

结束语 基于机器人视觉的目标跟踪是机器人研究领域的重要研究内容之一。经典的 Mean-Shift 算法虽然对目标跟踪有着很好的执行效率, 但是不能有效地应对被跟踪目标的遮挡以及尺度的变化问题。本文基于目标尺度的仿射变换, 提出了一种尺度自适应的机器人目标跟踪算法。与其它相关算法相比, 该算法能有效地识别被跟踪目标的遮挡问题; 当被跟踪目标的尺度发生改变时, 该算法仍然能准确地对目标进行识别。最后, 通过实验表明, 当视屏流中每秒的图像小于 25 帧并且目标的图像小于 2×10^4 像素时, 该算法可以用于目标的实时跟踪。

参 考 文 献

[1] Li X R, Jilkov V P. Survey of maneuvering target tracking. Part I. Dynamic models [J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2013, 39(4): 1333-1364

[2] 邵文坤, 黄爱民, 韦庆. 目标跟踪方法综述 [J]. 影像技术, 2006

(1): 17-20

[3] Comaniciu D, Ramesh V, Meer P. Kernel-based object tracking [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25(5): 564-577

[4] Ning J, Zhang L, Zhang D, et al. Robust mean-shift tracking with corrected background-weighted histogram [J]. IET Computer Vision, 2012, 6(1): 62-69

[5] Mohammadi S A, Amoozegar S, Jolfaei A, et al. Enhanced adaptive bandwidth tracking using mean shift algorithm [C]// Proceedings of the IEEE 3rd International Conference on Communication Software and Networks (ICCSN'11). May 2011: 494-498

[6] Bhattacharyya A. On a measure of divergence between two multinomial populations [J]. Sankhyā: The Indian Journal of Statistics, 1946, 7(4): 401-406

[7] Peng N, Yang J, Liu Z, et al. Mean-Shift 跟踪算法中核函数窗宽的自动选取 [J]. 软件学报, 2005, 16(9): 1542-1550

[8] Bradski G R. Computer vision face tracking for use in a perceptual user interface [C]//Proceedings of the 4th IEEE Workshop on Applications of Computer Vision (WACV '98). 1998: 214-219

[9] Hu J, Juan C, Wang J. A spatial-color mean-shift object tracking algorithm with scale and orientation estimation [J]. Pattern Recognition Letters, 2008, 29(16): 2165-2173

[10] Zhao C, Knight A, Reid I. Target tracking using mean-shift and affine structure [C]// 19th International Conference on Pattern Recognition (ICPR 2008). IEEE, 2008: 1-5

[11] Leichter I, Lindenbaum M, Rivlin E. Tracking by affine kernel transformations using color and boundary cues [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2009, 31(1): 164-171