

1-4-2019

Co-matting of Natural Image Pairs

Wei Yi

1. *School of Mathematics and Computer, Wuyi University, Wuyishan 354300, China; ;*

Shang Liu

2. *Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China; ;*

Jiahe Qiu

2. *Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China; ;*

Guijuan Zhang

3. *School of Information Science and Engineering, Shandong Normal University, Jinan 250014, China; ;*

See next page for additional authors

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the [Artificial Intelligence and Robotics Commons](#), [Computer Engineering Commons](#), [Numerical Analysis and Scientific Computing Commons](#), [Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons](#), and the [Systems Science Commons](#)

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Co-matting of Natural Image Pairs

Abstract

Abstract: Aiming at dealing with the problem of natural image matting, this study focused on a closed-form solution to image pairs matting. *For given two images and their corresponding trimaps, the affinity matrix between the two images is calculated. The matting Laplacian which characterizes an image to co-matting Laplacian which characterizes a pair of images is generalized. The alpha mattes of image pairs were obtained by optimizing the energy function which derived from co-matting Laplacian.* To validate the approach, the experiments on several datasets are conducted. The results demonstrate that the method can achieve higher quality and is suitable for matting of a sequence of images.

Keywords

natural image matting, co-matting, affinity estimation, co-matting Laplacian

Authors

Wei Yi, Shang Liu, Jiahe Qiu, Guijuan Zhang, Dengming Zhu, and Yanfei Shen

Recommended Citation

Wei Yi, Shang Liu, Qiu Jiahe, Zhang Guijuan, Zhu Dengming, Shen Yanfei. Co-matting of Natural Image Pairs[J]. Journal of System Simulation, 2018, 30(11): 4180-4186.

自然图像对的联合抠图方法

魏毅¹, 商柳², 邱嘉和², 张桂娟³, 朱登明^{2,4*}, 沈燕飞⁵

(1. 武夷学院数学与计算机学院, 武夷山 354300; 2. 中国科学院计算技术研究所, 北京 100190; 3. 山东师范大学信息科学与工程学院, 济南 250014; 4. 太仓中科信息技术研究院, 太仓 215400; 5. 北京体育大学信息工程学院, 北京 100084)

摘要: 针对自然图像的抠图问题, 研究了一种基于闭形式解的图像对联合抠图方法。根据输入的两张图像与其初始掩像, 计算图像对之间的相似矩阵; 扩展现有描述单幅图像的抠图拉普拉斯矩阵, 提出一种联合抠图拉普拉斯矩阵来刻画图像对; 基于联合抠图拉普拉斯矩阵构造能量函数, 并通过求解其极小值得到图像对的抠图结果。在多个数据集上进行了实验, 实验结果表明新方法具有很好的抠图效果, 适用于连续图像序列的抠图。

关键词: 自然图像抠图; 联合抠图; 相似性估计; 联合抠图拉普拉斯

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2018) 11-4180-07

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201811016

Co-matting of Natural Image Pairs

Wei Yi¹, Shang Liu², Qiu Jiahe², Zhang Guijuan³, Zhu Dengming^{2,4*}, Shen Yanfei⁵

(1. School of Mathematics and Computer, Wuyi University, Wuyishan 354300, China; 2. Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China; 3. School of Information Science and Engineering, Shandong Normal University, Jinan 250014, China; 4. Taicang Institute of Information Technology, Taicang 215400, China; 5. School of Information Engineering, Beijing Sport University, Beijing 100084, China)

Abstract: Aiming at dealing with the problem of natural image matting, this study focused on a closed-form solution to image pairs matting. For given two images and their corresponding trimaps, the affinity matrix between the two images is calculated. The matting Laplacian which characters an image to co-matting Laplacian which characters a pair of images is generalized. The alpha mattes of image pairs were obtained by optimizing the energy function which derived from co-matting Laplacian. To validate the approach, the experiments on several datasets are conducted. The results demonstrate that the method can achieve higher quality and is suitable for matting of a sequence of images.

Keywords: natural image matting; co-matting; affinity estimation; co-matting Laplacian

引言

抠图是一种对图像中指定前景对象进行提取的技术, 在影视和广告制作等领域有重要应用^[1]。

Protter^[2]最早提出抠图的数学模型, 此后基于该数

学模型的抠图方法得到长足发展。本文将现有抠图方法分成基于单幅图像的抠图方法和基于多幅图像的抠图方法。基于单幅图像的抠图方法仅利用单幅图像的信息进行抠图, 可细分为三类: 基于采样的方法、基于传播的方法、采样与传播混合的方法。基于采样的方法聚焦以下问题: 如何采样未知的像素、使用多少像素样本、如何建立未知像素的颜色模型。对这些问题的回答导致了多种解决思路。例如, 贝叶斯抠图方法^[3]把抠图问题建模为一个贝叶



收稿日期: 2018-05-05 修回日期: 2018-06-10;
基金项目: 国家科技重大专项(2017ZX05019005),
国家自然科学基金(61173067, 61379085, 61572299),
国家 863 计划(2015AA016401), 福建省自然科学基金项目(2018J01562);
作者简介: 魏毅(1978-), 男, 福建建瓯, 博士, 讲师, 研究方向为虚拟现实。

<http://www.china-simulation.com>

• 4180 •

斯框架模型, 然后用最大后验估计法估计透明度因子的值; Easy 抠图方法^[4]通过全局采样技术解决稀疏用户输入的问题; Shahrian^[5]利用充分采样集来提升采用的代表性; Levent^[6]将采样问题转化为稀疏子集的选择问题, 以弱化对采样分布的假设限制; Jubin^[7]利用稀疏编码技术估计透明度因子的值。与基于采样的方法不同, 基于传播的方法无需显示估计前景和背景的颜色就能得到透明度因子的值。例如, 泊松抠图方法^[8]通过求解一个泊松方程得到抠图结果。Grady^[9]提出一种基于随机游走的抠图方法。闭形式的抠图方法^[10]假设前景和背景的颜色在局部窗口内服从线性模型, 然后通过极小化一个透明度因子的二次函数得到抠图结果。混合方法^[11-13]结合了采样方法与传播方法的优点, 以期得到更好的抠图效果。

单幅图像的抠图方法仅使用单幅图像的信息, 这些有限的信息对于提升抠图的质量是不足的。因此, 研究者开始研究联合其它信息和多幅图像数据的抠图方法。Rother^[14]提出图像对的联合分割方法。该方法利用图像对之间的关联信息同步提取出两幅图像中的公共部分。Sun^[15]提出一种针对

Flash/nonflash 图像对的抠图方法, 但要求图像中的前景严格对齐。Wang^[16]提出一种联合抠图方法来处理多幅图像的抠图问题。该方法假设多幅图像中的前景相似或变化很小, 并且需要一个复杂的训练过程, 这限制了该方法的应用范围。

针对自然图像对的联合抠图问题, 本文提出一种基于闭形式解的图像对联合抠图方法。该方法融合了 Wang^[16]与 Levin^[10]方法的优点, 可处理图像对中具有不同朝向、大小和表现的前景对象, 适用于连续图像序列的抠图。

1 方法概述

如图 1 所示, 首先计算每张图像内相邻像素之间的相似性、图像对之间的相似性。为得到图像对之间的相似性, 将图像对之间的像素点进行匹配, 并提出一种双向边权重计算方法; 其次, 基于像素相似性, 扩展单幅图像的抠图拉普拉斯矩阵, 提出一种联合抠图拉普拉斯矩阵来刻画图像对; 最后, 基于联合抠图拉普拉斯矩阵构造能量函数, 并通过求解其极小值得到图像对的抠图结果。

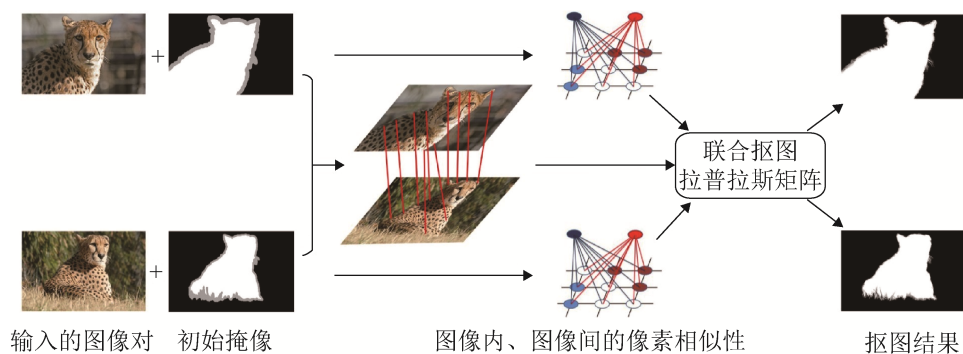


图 1 图像对的联合抠图方法

Fig. 1 Method of co-matting of image pairs

2 相似性估计

2.1 图像内的像素相似性估计

本文采用文献[11]的方法计算图像中相邻像素之间的权。将图像像素看成图的顶点, 相邻像素之间由一条带权重的边连接。相邻像素点 i 和 j 之

间的边权重 W_{ij} 定义为:

$$W_{i,j} = \sum_k^{(i,j) \in w_k} \frac{1}{9} (1 + (\mathbf{C}_i - \mathbf{u}_k)(\sum_k + \frac{\epsilon}{9} \mathbf{I})^{-1}(\mathbf{C}_j - \mathbf{u}_k)) \quad (1)$$

式中: w_k 表示一个包含像素点 i 和 j 的 3×3 窗口; \mathbf{u}_k 和 \sum_k 分别表示窗口范围内的颜色平均值与方差;

ε 为正则化因子, 取值为 10^{-5} ; C_i 和 C_j 分别为像素点 i 和 j 的颜色。引入前景纯虚节点 Ω_F 和背景纯虚节点 Ω_B (图 2)。每个像素与 Ω_F 和 Ω_B 的边权重表示每一个像素属于前景或背景的概率。像素点 i 与前景纯虚节点 Ω_F 之间的边权重定义为:

$$W_{i,F} = \gamma[\hat{f}_i \hat{\alpha}_i + (1 - \hat{f}_i) \delta(\hat{\alpha}_i > 0.5)] \quad (2)$$

类似地, 像素点 i 与背景纯虚节点 Ω_B 之间的边权重定义为:

$$W_{i,B} = \gamma[\hat{f}_i(1 - \hat{\alpha}_i) + (1 - \hat{f}_i) \delta(\hat{\alpha}_i < 0.5)] \quad (3)$$

$\hat{\alpha}_i$ 和 \hat{f}_i 是透明度因子 α_i 和置信度 f_i 的估计值, δ 是返回值为 0 或 1 的布尔函数, γ 是取值为 0.1 的参数, 用于平衡权 $W_{i,F}$ ($W_{i,B}$) 与 W_{ij} 。

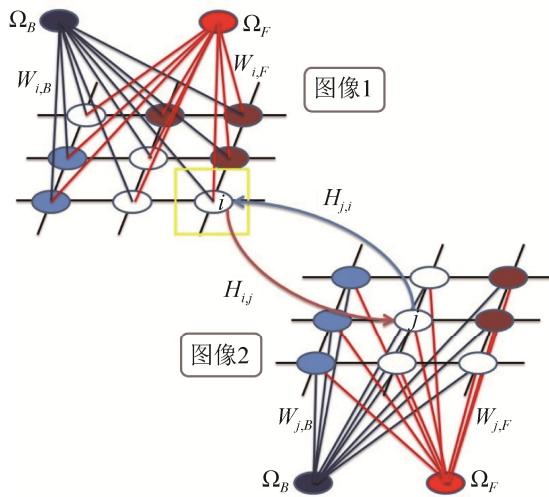


图 2 图像对之间的权重计算

Fig. 2 Calculation of weights between a pair of images

2.2 图像间的像素相似性估计

第一步: 利用 Transformed color SIFT^[17]方法找出两张图像上的关键点, 然后计算两张图像的关键点之间的相似度。对于第一张图像上的关键点 i 和第二张图像上的关键点 j , 二者的相似度定义为二者的余弦相似度, 如果余弦相似度大于 0.8, 就认为这两个关键点是匹配的。

第二步: 使用双向权重法计算匹配像素点之间的权重。令 i 是一张图像上的一个关键像素点, j 是另一张图片上与点 i 匹配的关键像素点。从点 i 到点 j 的权定义为:

$$H_{i,j} = \sum_k^{j \in w_k} \frac{1}{|w_k|} (1 + (C_i - u_k)(\sum_k + \frac{\varepsilon}{|w_k|} \mathbf{I})^{-1}(C_j - u_k)) \quad (4)$$

$H_{i,j}$ 由第一张图像中的像素点 i 和另一张图像中包含像素点 j 的局部窗口 w_k 共同决定。本文采用 3×3 的局部窗口。

3 联合抠图拉普拉斯矩阵的构造与透明度因子求解

假设第一张图像有 M 个像素点, 第二张图像有 N 个像素点。首先构造四个相似性矩阵, 其中 A_{MM} 和 A_{NN} 是表示图像内部的相似性矩阵, A_{MN} 和 A_{NM} 是表示图像之间的相似性矩阵。 A_{MM} 和 A_{MN} 的定义如下:

$$A_{MM} = [W_{i,j}]_{M \times M} \quad (5)$$

$$A_{MN} = [H_{i,j}]_{M \times N} \quad (6)$$

A_{NN} 和 A_{NM} 的定义类似。联合抠图相似矩阵 A_{cm} 按以下方式构造:

$$A_{cm} = \begin{bmatrix} (1 - \lambda)A_{MM} & \lambda A_{MN} \\ \lambda A_{NM} & (1 - \lambda)A_{NN} \end{bmatrix} \quad (7)$$

$\lambda \in [0, 1]$, 是平衡图像内部相似性矩阵与图像对之间相似性矩阵的因子。本文 λ 取值 $1/3$ 。

本文将 Levin^[10]提出的抠图拉普拉斯矩阵构造方法扩展到图像对的情况。给定联合抠图的相似矩阵 A_{cm} , 联合抠图拉普拉斯矩阵 L_{cm} 定义为:

$$L_{cm} = D - A_{cm} \quad (8)$$

D 是对角矩阵, 定义为:

$$D(i,i) = \sum_j A_{cm}(i,j) \quad (9)$$

联合抠图拉普拉斯矩阵 L_{cm} 同时包含了图像内部的相关信息和图像间的相关信息。

令图像 1 和图像 2 的透明度因子 α 矢量分别为 α_M 和 α_N , 联合抠图问题中的 α 矢量定义:

$$\alpha = \begin{bmatrix} \alpha_M^T & \alpha_N^T \end{bmatrix}^T \quad (10)$$

根据方程 7-8, 联合抠图拉普拉斯矩阵写为:

$$L_{cm} = D - \begin{bmatrix} (1 - \lambda)A_{MM} & \lambda A_{MN} \\ \lambda A_{NM} & (1 - \lambda)A_{NN} \end{bmatrix} \quad (11)$$

与 Levin 的方法^[10]类似, 本文将联合抠图问题

的能量函数定义为:

$$J(\alpha) = \begin{bmatrix} \alpha_M^T & \alpha_N^T \end{bmatrix} \mathbf{L}_{cm} \begin{bmatrix} \alpha_M \\ \alpha_N \end{bmatrix} \quad (12)$$

与鲁棒抠图方法^[11]类似, 本文通过将联合抠图拉普拉斯矩阵分解为对应于已知节点和未知节点的块来最小化以上能量函数并得到 α 的值。

此外, 假设处理的是两张完全不同的图像。此时 \mathbf{A}_{MN} 和 \mathbf{A}_{NM} 为零矩阵, \mathbf{L}_{cm} 简化为:

$$\mathbf{L}_{cm} = (1-\lambda) \begin{bmatrix} \mathbf{L}_M & 0 \\ 0 & \mathbf{L}_N \end{bmatrix} \quad (13)$$

其中, \mathbf{L}_M 和 \mathbf{L}_N 分别是两张图像的拉普拉斯矩阵。此时能量函数 $J(\alpha)$ 简化为:

$$J(\alpha) = (1-\lambda)J(\alpha_M) + (1-\lambda)J(\alpha_N) \quad (14)$$

以上分析表明, 当两张图像之间没有任何联系

时, 联合抠图退化为两张图像的单张抠图。

4 实验结果与讨论

4.1 带有标准 α 图的数据集

Alpha Matting Evaluation 网站^[18]提供了测试图像的标准 α 图。本文选择两张图像(GT04 和 GT09), 并用其标准 α 图将两张图像的前景提取出来, 进行缩放、翻转或平移操作, 然后合成到新的背景上形成两组图像对(图 3(a))。图 3(a)四幅图像的分辨率分别是 400×282、400×266、322×400、600×480。实验平台的硬件配置是 Intel Core i5 处理器和 8GB 内存。程序在 Matlab 环境下运行, 每一组图像对的抠图处理时间均小于 4 s。



图 3 在 alpha matting evaluation 数据集上的实验
Fig. 3 Experiments on dataset of alpha matting evaluation

图3(c)~(d)是实验结果。表1给出了鲁棒抠图方法^[11]、充分采样抠图方法^[5]以及本文方法的均方根误差(RMSE)。均方根误差的计算公式如下:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\alpha_i^r - \alpha_i^g)^2} \quad (15)$$

N 是像素点的个数, α^r 是计算出的 α 值, α^g 是标准 α 值。从表1可以看出, 本文方法的结果比充分采样抠图方法和鲁棒抠图方法的结果更准确。

表1 3种抠图方法的RMSE
Tab. 1 RSME of three matting methods

图像	鲁棒抠图 ^[11]	充分采样抠图 ^[5]	本文方法
GT04(1)	0.073	0.057	0.041
GT04(2)	0.059	0.057	0.050
GT09(1)	0.045	0.054	0.032
GT09(2)	0.032	0.028	0.024

4.2 Amira 视频数据

图4给出在Amira视频数据上的实验结果。输入的图像分别是视频中第1帧和第52帧。每张图像下面红色和绿色的小方框是图像的局部放大图。在第1帧的抠图结果中, 红色小方框内有一缕

比较模糊的头发, 在鲁棒抠图方法和充分采样抠图方法的抠图结果中都没有提取出来, 而本文方法却将它比较好地提取出来。在第52帧的抠图结果中, 红色小方框内的头发有许多镂空的地方, 这一点在鲁棒抠图方法和充分采样抠图方法的抠图结果中没有体现出来, 而在本文方法的结果中可以比较清晰地看到镂空的地方。抠图结果的以上局部细节表明本文方法可得到更精确的抠图结果。

4.3 iCoseg 数据

图5前两列取至CMU-Cornell iCoseg数据^[19], 其中每一组图像对的前景对象的大小尺度或头部朝向有明显差异。例如, 图5第一行, 一只熊的头部仅侧面可见, 而另一只熊的整个面部几乎可见。再如, 图5第三行, 两只猎豹在图像上的大小有约1倍的差异。图5后两列是本文方法的抠图结果。相较于Wang^[16]中前景对象之间的差异用肉眼难以分辨的情况, 本文方法能处理相似但具有不同朝向、尺度大小的前景对象。

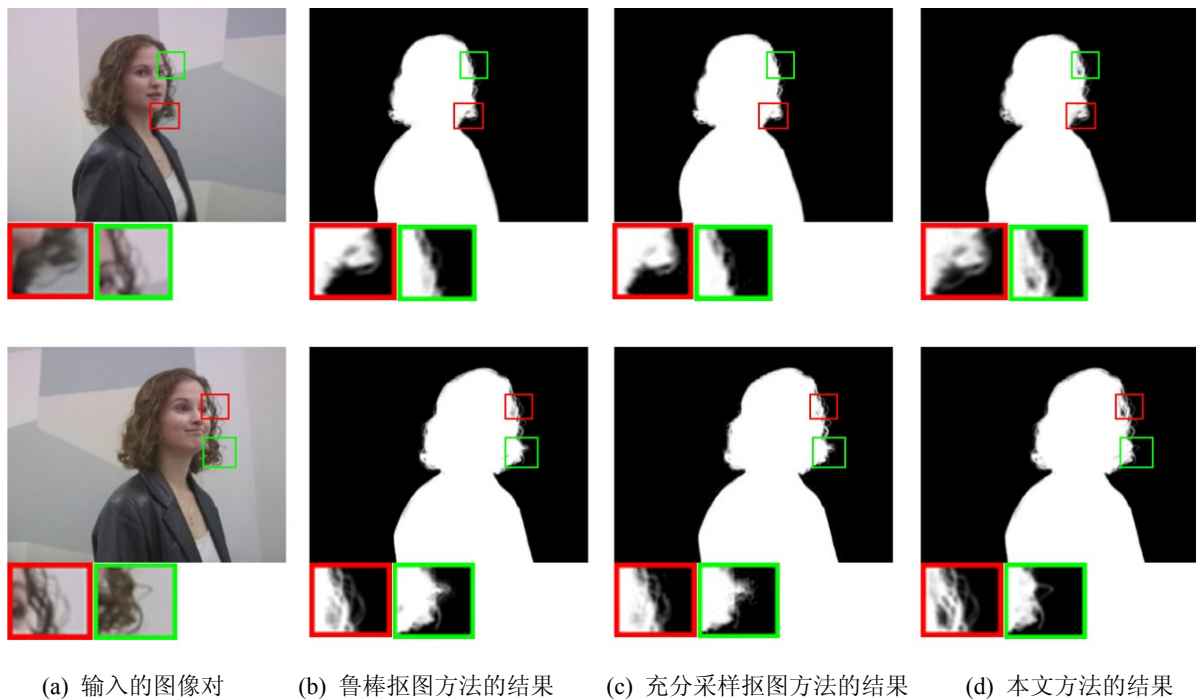
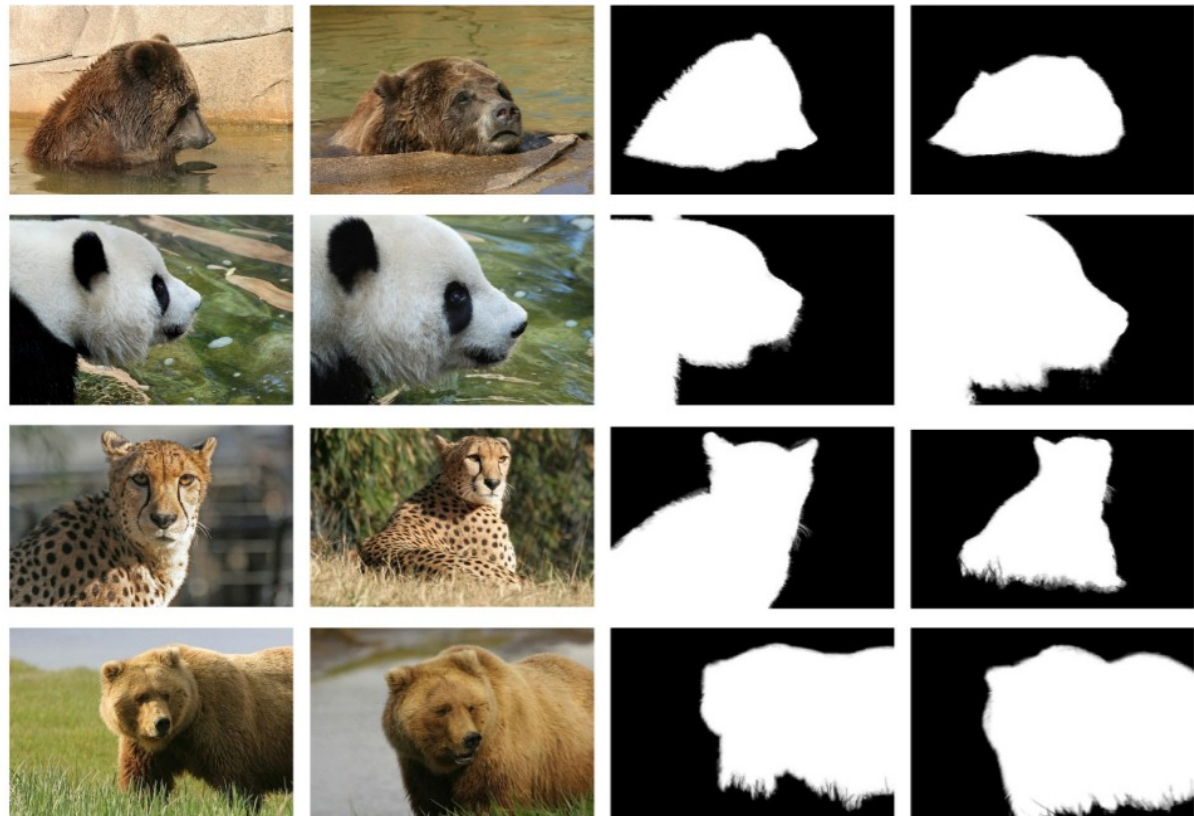


图4 在Amira数据集上的实验
Fig. 4 Experiments on dataset of Amira



(a) 输入的图片对

(b) 本文方法的结果

图 5 在 iCoseg 数据集上的实验

Fig. 5 Experiments on dataset of iCoseg

4.4 讨论

最近, 基于深度学习框架, Xu^[20]提出一种新的抠图方法, 并在具有复杂背景的测试图像上取得了比充分采样抠图^[5]、闭形式抠图^[10]等方法更好的效果。为满足深度学习对训练数据的巨大需求, Xu^[20]通过手工分割和背景替换的方法, 构造出 49 300 个训练样本, 然后基于深度学习框架训练出抠图模型。与之相比, 本文方法在数据集上的要求是输入成对的图像对, 并且不涉及训练过程, 计算复杂度低, 使用方式更为灵活。

5 结论

本文提出了一种图像对的联合抠图方法, 其思想是通过挖掘图像对之间的关联信息来提升抠图结果的质量。为此, 应用 Transformed color SIFT 特征构建图像对之间的联系; 之后, 使用双向权重

方法计算匹配点间的权重; 最后构造出联合抠图关联矩阵及联合抠图拉普拉斯矩阵, 并分解联合抠图拉普拉斯矩阵, 将其转换为一个线性系统, 通过求解线性系统计算出两张图像的前景掩像。实验结果表明, 比起单张图像抠图方法, 本文提出的联合抠图方法可以得到更高质量的抠图结果, 并且可处理图像对中具有不同朝向、大小和表现的前景对象, 适用于连续图像序列的抠图。

参考文献:

- [1] 沈洋, 林晓, 谢志峰, 等. 交互式前景抠图技术综述[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2014, 26(4): 511-519.
Shen Yang, Lin Xiao, Xie Zhifeng, et al. A survey on interactive alpha matting technology[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2014, 26(4): 511-519.
- [2] Porter T, Duff T. Compositing digital images[C]//Proc of the 11th Annual Conference on Computer Graphics and

- Interactive Techniques. New York: ACM Press, 1984: 253-259.
- [3] Chuang Y Y, Curless B, Salesin D H, et al. A Bayesian approach to digital matting[C]//Proc of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Kauai: IEEE Computer Society Press, 2001: 264-271.
- [4] Guan Y, Chen W, Liang X, et al. Easy matting-a stroke based approach for continuous image matting[J]. Computer Graphics Forum (S1467-8659), 2006, 25(3): 567-576.
- [5] Shahrian E, Rajan D, Price B. Improving image matting using comprehensive sampling sets[C]//Proc of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Portland: IEEE Computer Society Press, 2013: 636-643.
- [6] Levent K, Aykut, E, Erkut E. Alpha matting with KL-divergence-based sparse sampling [J]. IEEE Transactions on Image Processing (S1057-7149), 2017, 26(9): 4523-4536.
- [7] Jubin J, Ehsan S V, Hisham C, et al. Sparse coding for alpha matting [J]. IEEE Transactions on Image Processing (S1057-7149), 2016, 25(7): 3032-3043.
- [8] Sun J, Jia J, Tang C K, et al. Poisson matting[J]. ACM Transactions on Graphics (S1557-7368), 2004, 23(3): 315-321.
- [9] Grady L, Schiwietz T, Aharon S, et al. Random walks for interactive alpha-matting[C]//Proc of Visualization, Im-aging, and Image Processing. Benidorm: ACTA Press, 2005: 423-429.
- [10] Levin A, Lischinski D, Weiss Y. A closed-form solution to natural image matting[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (S0162-8828), 2008, 30(2): 228- 242.
- [11] Wang J, Cohen M F. Optimized color sampling for robust matting[C]//Proc of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Minnesota: IEEE Computer Society Press, 2007: 1-8.
- [12] He K, Rhemann C, Rother C, et al. A global sampling method for alpha matting[C]//Proc of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Colorado: IEEE Computer Society Press, 2011: 2049-2056.
- [13] Jin M, Kim B, Song W. Adaptive propagation-based color sampling for alpha matting[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology (S1051-8215), 2014, 24(7): 1101-1110.
- [14] Rother C, Minka T, Blake A, et al. Cosegmentation of image pairs by histogram matching-incorporating a global constraint into MRFS[C]// Proc of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. New York: IEEE Computer Society Press, 2006: 993-1000.
- [15] Sun J, Li Y, Kang S B, et al. Flash matting[J]. ACM Transactions on Graphics (S1557-7368), 2006, 25(3): 772-778.
- [16] Wang L, Xia T, Guo Y, et al. Confidence-driven image co-matting [J]. Computers & Graphics (S0097-8493), 2014, 38(1): 131-139.
- [17] Koen E A, Theo G, Cees G M. Evaluating color descriptors for object and scene recognition [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (S0162-882 8), 2010, 32(9): 1582-1596.
- [18] Rhemann C, Rother C, Wang J, et al. Alpha matting evaluation website[DB/OL]. [2018-05-05]. <http://www.alphamatting.com>
- [19] Batra D, Kowdle A, Parikh D, et al. iCoseg: interactive co-segmentation with intelligent scribble guidance[C]// Proc of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. San Francisco: IEEE Computer Society Press, 2010: 3169-3176.
- [20] Ning Xu, Brian Price, Scott Cohen, et al. Deep Image Matting[C]//Proc of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Honolulu: IEEE Computer Society Press, 2017: 311-320.