

形状模板约束的图像协同分割

潘 翔 余慧斌 郑河荣 刘 志

(浙江工业大学计算机科学与技术学院 杭州 310023)

摘 要 已有的协同分割方法没有考虑到同一类图像所具有的目标形状相似性,从而使得分割结果不一致。提出了形状模板约束的图像交互协同分割算法,通过少量用户交互提高协同分割质量。该算法首先定义形状模板;然后通过形状上下文实现分割结果传递,自动形成图像分割所需的前景和背景掩码;最后采用最小割理论进行分割边界优化。实验结果表明,与已有的协同分割算法相比,该算法能在简单用户交互下明显提高分割质量,使分割结果更具有语义性。

关键词 图像协同分割,形状模板,形状上下文,图割

中图分类号 TP391 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2016.11.060

Image Co-segmentation by Constraints of Shape

PAN Xiang YU Hui-bin ZHENG He-rong LIU Zhi

(College of Computer Science & Technology, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, China)

Abstract Existing image co-segmentation method fails to consider the similarity of shape between images, so that the segmentation results are inconsistent. We introduced a method of interactive image co-segmentation by the constraints of shape. First, the method preprocess an input image and finds the template of shape. Secondly, shape context matching algorithm is used to produce foreground and background mask for graph cut. Finally, minimum cut theory is used to optimize segmentation boundary. The experimental results show that compared with existing image co-segmentation method, this algorithm can significantly improve the quality of segmentation and make the segmentation results more semantical.

Keywords Image co-segmentation, Shape template, Shape context, Graph cut

1 引言

图像分割是计算机图形学的一个基础问题,也是很多应用领域的前提和基础,例如图像语义识别、图像搜索、三维物体重建等。传统的图像分割根据图像的颜色、纹理等特征将图像划分成若干个具有独特性质的区域^[1]。由于图像几何特征和用户理解之间的语义鸿沟问题,使得分割区域无法满足用户要求。对于这类问题,最有效的解决方法是在分割过程中引入用户交互,通过抠图技术得到高质量分割结果。

近年来,已有学者在交互式图像分割方面做了很多研究工作。有研究采用线条交互,利用包含前景的矩形提供交互信息,如 GrabCut 算法^[2]。也有研究采用草图交互进行标记,例如相似区域融合算法^[3]、图割(Graph Cut)算法^[4]。草图方式提供了一种更为方便的交互方法,用户只需在前景和背景做一些简单标记就可以完成对目标对象的分割。目前,该交互手段已经被广泛应用于各种图形编辑产品,例如 Photoshop 等。但是这些交互方法只考虑了单一图像的分割问题,当应用于多幅图像的协同分割问题时存在缺陷。如果对每幅图像都进行交互,会大大增加分割的时间。图像协同分割领域中,对交互式分割的研究并不多,已有研究主要集中在采用

不同图像之间的颜色、纹理等相似性提高分割质量。Carsten Rother 等人考虑多个图像所具有的前景一致性,提出了协同分割的马尔可夫模型^[5]。此后,协同分割迅速发展。文献[6]针对 Rother 算法优化问题,提出了利用奖励策略构建全局项,并且利用最大流算法实现了模型的优化。文献[7]将协同分割问题转化为共同区域聚类问题,提出了基于判别聚类的协同分割方法。文献[8]利用将图像前景特征组成的矩阵的秩为 1 的思想,提出了基于尺度不变的协同分割方法。文献[9]在传统随机游走分割模型中引入前景一致性约束来实现协同分割。文献[10]在水平集图像分割算法的基础上利用颜色奖励策略解决协同分割问题。但是,这些研究并没有考虑到用户交互问题,使得结果存在明显的欠分割问题。而对于交互式协同分割, Batra D 等人提出通过用户标记提高颜色聚类性能,但很难适用于颜色不一致的分割问题^[11]。

本文针对具有形状相似性的同类物体协同分割问题,提出了形状模板约束的图像协同分割算法。其研究思想是针对具有形状或姿态相似的同类分割物体图像组,可以通过形状模板进行匹配以有效地区分出前景和背景。对于模板定义,提出了一种非常简单有效的交互方法。用户首先对其中一幅图像进行交互式分割,得到分割对象。利用这种方法,用户只

到稿日期:2015-10-16 返修日期:2016-02-03 本文受省自然科学基金项目(LY15F020024,LY16F020033),浙江省文物局(2014014)资助。

潘翔(1977—),男,博士,教授,博士生导师,主要研究方向为模式识别、多媒体搜索、图形图像处理, E-mail: panx@zjut.edu.cn; 余慧斌(1991—),男,硕士生,主要研究方向为图形图像处理; 郑河荣(1971—),男,博士,教授,硕士生导师,主要研究方向为模式识别、图形图像处理(通信作者); 刘志(1969—),女,博士,教授,硕士生导师,主要研究方向为模式识别、多媒体搜索、图形图像处理。

需对部分图像进行交互标记,但是可以明显地提高分割质量。在实验部分,将所提算法和已有协同分割算法进行了性能比较分析,结果表明所提算法能够得到更好的分割质量。

2 算法总体框架

本文算法是对已有图像交互分割的扩展,因此,其在算法框架上与交互分割类似,如图1所示。用户首先在一幅图像上进行前景和背景设置,然后采用交互图割算法提取形状模板。对于其他图像,首先进行流域变换分割,得到不同区域。然后采用形状上下文特征对不同区域进行相似性分析,自动形成图割所需的前景和背景掩码。最后对任意一幅图像进行图割处理,得到优化的分割结果。

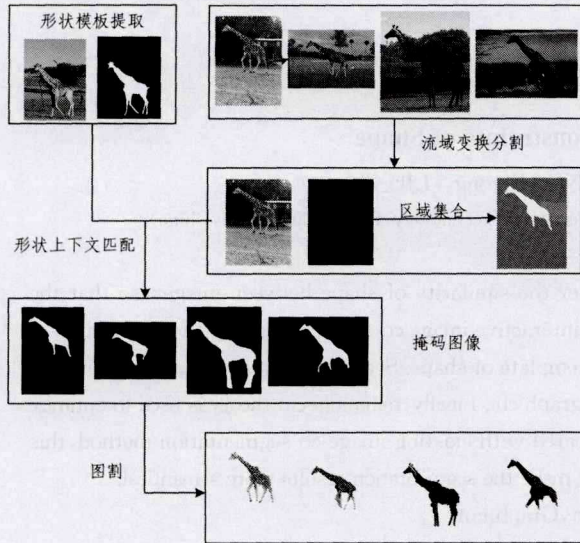


图1 算法总体框架

3 算法细节

在上述算法框架的基础上,本节给出算法各部分细节。对于形状模板提取,可以采用针对单一图像的交互式分割完成。采用基于星形约束的交互式图像分割算法(Geodesic Star Convexity For Interactive Image Segmentation, GSC)^[12]对图像组中的一幅图像进行交互式分割,获得协同分割所需的形状模板。

3.1 流域变换分割

本文利用图像过分割算法将图像根据轮廓、颜色、纹理等特征进行聚类分析,形成子区域集合^[13];然后提取区域特征用于形状相似性分析,形成掩码。本文使用流域变换(Oriented Watershed Transform)分割方法生成局部区域集合^[14]。该方法结合图像的局部与全局信息进行轮廓检测,能够最大程度地保持形状的外部特征,基于式(1)预测在像素点的最大后验概率 mPb 获得局部信号。基于式(2)利用高斯滤波器进行卷积以获得方向信号 $\{\nabla_{\theta} v_k(x, y)\}$,并解决轮廓不平滑问题。最终的边界概率 gPb 结合了局部与光谱信号。

$$mPb(x, y, \theta) = \sum_s \sum_i \alpha_{i,s} G_{i,\sigma(i,s)}(x, y, \theta) \quad (1)$$

$$sPb(x, y, \theta) = \sum_{k=1}^n \frac{1}{\sqrt{\lambda_k}} \cdot \nabla_{\theta} v_k(x, y) \quad (2)$$

$$gPb(x, y, \theta) = mPb + \lambda \cdot sPb \quad (3)$$

在获得边界概率后,利用基于分水岭变换的面向流域变换分割生成一系列具有形状特征的局部区域集。该区域集能够有效地应用于形状匹配。假设图像集合 $I = \{I_1, I_2, \dots,$

$I_i, \dots, I_n\}$ 。对于任意一幅图像 I_i ,其分割结果为 $R_i = \{R_{i,1}, R_{i,2}, \dots, R_{i,j}, \dots, R_{i,m}\}$,其中 $R_{i,j}$ 代表任意一个对象区域。

从图1可以发现,流域变换分割由于考虑目标对象的轮廓连续性,因此能够很好地提取出大部分形状轮廓,能够有效用于形状上下文匹配。但是作为一种无监督聚类分割,该方法也无法提取出完整的对象轮廓,例如,长颈鹿的腿部、尾巴都没有被很好地从背景中分离出来。因此,其分割质量还存在明显的问题。

3.2 掩码映射

在获得每张图像的可能对象集合后,利用形状上下文来计算可能对象形状模型与模板模型形状相似性。通过匹配算法获得图割算法所需要的可能前景掩码区域,如图2所示。

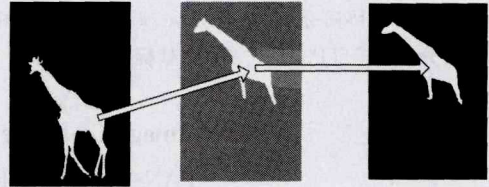


图2 通过形状匹配获得前景掩码

由于形状上下文特征具有平移不变性、旋转不变性,因此作为一种统计直方图特征,其对局部区域丢失也不是特别敏感。对于形状上下文特征提取,首先采用跟踪算法提取每个目标对象的轮廓。在轮廓上提取 n 个样本点,以样本点为极点建立极坐标并根据距离与向量进行区域分块,划分为 k 个区域 bins,其余 $n-1$ 个样本点落在不同的区域上,从而原点样本点与其他的样本点建立上下文约束,利用形状直方图 h 来描述,计算公式为:

$$h_i(k) = \# \{q \neq p_i : (q - p_i) \in \text{bin}(k)\} \quad (4)$$

对于样本点上剩余的点,按照式(4)计算形状直方图,最终得到 n 个形状直方图,以 $n \times (n-1)$ 大小的矩阵存储,即为生成的目标对象形状模型 P 。

对于两个不同的形状 P, Q ,利用形状上下文计算代价矩阵 C 。 p, q 是形状 P, Q 上的样本点。利用式(4)计算两点之间的形状上下文差别,即代价 C_{pq} ,从而得到两个形状之间的代价矩阵 C 。

$$C_s = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^K \frac{[h_{P,p}(k) - h_{Q,q}(k)]^2}{h_{P,p}(k) + h_{Q,q}(k)} \quad (5)$$

形状 P, Q 上的点 p, q 利用最优匹配算法(匈牙利算法)找到最优匹配,使得整体形状代价最小。其中匹配代价为 $H(\pi)$,计算公式为:

$$H(\pi) = \sum_{1 \leq i \leq n} c(p_i, q_{\pi(i)}) \quad (6)$$

最后使用形状距离 D_s 来描述两个形状之间的相似性,其中使用 T 变换来衡量形状之间的转变。

$$D_s(P, Q) = \frac{1}{n} \sum_{p \in P} \arg \min_{q \in Q} C(p, T(q)) + \frac{1}{m} \sum_{q \in Q} \arg \min_{p \in P} C(p, T(q)) \quad (7)$$

3.3 分割边界优化

通过形状匹配产生的前背景掩码能够将协同图像分割问题转化为单一图像的最小割问题。利用图的数据结构描述第 k 幅图像为 $G_k = (\gamma_k, \epsilon_k)$, ϵ, γ 分别表示图上的点和与邻接点之间的边。为图像上的像素点赋前景标签或背景标签 $\chi_k = \{x_{k1}, x_{k2}, \dots, x_{kn}\}$,其单幅能量函数表示如式(8)所示。

$$E_k(\chi_k) = \sum_{i \in \gamma_k} E_i(x_{ki}) + \lambda \sum_{(i,j) \in \epsilon_k} E_{ij}(x_{ki}, x_{kj}) \quad (8)$$

$E_i(x_{ki})$ 为一元数据项,用来描述前景与背景的相似性。根据掩码映射所获得的先验信息(F_k, B_k),利用高斯混合模型描述前景与背景特征(GMM_f^k, GMM_b^k),从而为图像上的每个点计算一元数据项,即与前景背景的相似性。 $E_{ij}(x_{ki}, x_{kj})$ 为二元平滑项,用来惩罚具有相似特征但被赋予不同标签的相邻像素点,其计算公式如式(9)所示。

$$E_{ij}(x_{ki}, x_{kj}) = \begin{cases} \exp\left(\frac{-d(x_{ki}, x_{kj})^2}{2\langle d(x_{ki}, x_{kj}) \rangle^2}\right), & \text{if } x_{ki} \neq x_{kj} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (9)$$

从而图像组的能量函数可以表述为式(10)。其边界优化结果如图3所示。

$$E = \sum_{i=1}^n (\sum_{i \in \gamma_k} E_i(x_{ki}) + \lambda \sum_{(i,j) \in \epsilon_k} E_{ij}(x_{ki}, x_{kj})) \quad (10)$$

图3给出了分割边界优化前后的对比结果。可以发现,对于流域分割,虽然其能够得到大部分区域,但是由于过分割问题,使得提取出来的对象区域很不完整,四肢部分出现了严重的丢失。但是流域分割所得到的主要区域能够很好地应用于形状上下文匹配,构成前景掩码。在此基础上,具有二值分割特性的图割理论能够提取出完整的形状轮廓。



图3 图像分割掩码优化

4 实验分析和讨论

对本文提出的算法进行实验分析和比较。首先采用MSRC数据库的基准数据对分割质量进行分析和比较,然后讨论本文算法在生产实际中的应用。

图4给出了典型分割对比结果。

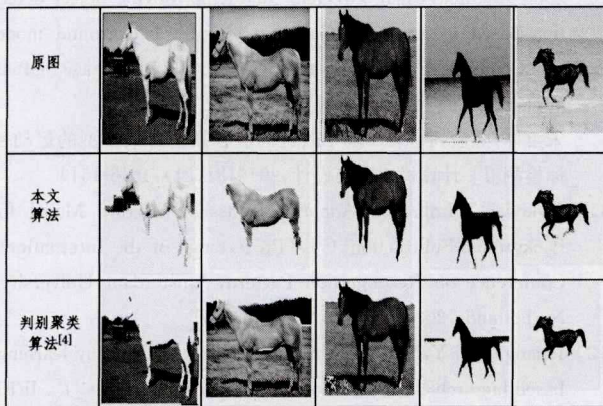


图4 协同分割结果对比

注意到,原始图像集合在颜色空间中并没有明显可区分性。因此,在这种情况下,对多个图像进行无监督聚类很难得到理想的分割结果,无效可靠地分割出图像中的物体如图4的第一列和第二列所示。尽管第三列的地面颜色和对象目标具有一定的区分度,但是在无监督聚类空间里面也很难保证分割能够很好地提取出对象。与判别聚类分割相比较,本文算法只采用流域变换进行过分割,保证了不同区域的独立性;而通过形状模板匹配能够很好地定位到目标对象位置。另

外,本文算法不是对所有图像进行协同聚类,只是采用形状相似性进行掩码定义,然后对每一幅图像采用图割分别进行优化。这种处理方法能够最大程度地保持每个图像中的目标轮廓特征,从而得到更好的分割结果。

为了进一步验证算法的有效性,对两种算法得到的基准数据库进行量化评价。本文算法的图像分割正确率计算公式为式(11), $P_{segment}$ 为算法分割像素点集合, P_{ground_truth} 为实验数据正确分割像素点集合。

$$k = \frac{P_{segment} \cap P_{ground_truth}}{P_{ground_truth}} \quad (11)$$

对不同类别的物体类别进行统计分析,可以发现,对于目标对象比较相似的图像数据集合,本文算法的分割质量要明显高于判别聚类方法。

表1 图像协同分割正确率对比(%)

物体类型	本文算法	判别聚类协同分割方法 ^[4]
Horse	87.89	80.1
Cow	98.54	81.6
RedSoxPlayer	98.86	91.21
Giraffes	92.12	77.647

本文算法在实际项目中得到了很好的应用。在生产实际中,需要对证件图像进行预处理,把背景替换成透明颜色,然后用于制卡。这类图像由于都是人脸正面照片,其一个明显的特征是轮廓形状非常相似。本文算法用于证件照的背景处理成功率要明显高于判别聚类分割算法。图5给出了本文算法能够处理而判别聚类分割算法无法处理的证件照数据。判别聚类分割算法虽然能够将人脸区域分割出来,但是提取出的对象不完整。而在制卡行业中,由于背景处理的高质量要求,导致判别聚类分割算法无法有效地完成透明背景工作。而本文算法通过交互式分割获得形状模板的条件,根据模板的形状信息可以完整提取出对象,有效地证明了形状模板的作用。



图5 证件照协同分割结果对比

结束语 本文针对协同分割中具有形状相似性的同类物体图像集合,提出了通过少量用户交互构建形状模板,提高协同分割质量的算法。该算法避免了已有研究只考虑颜色等几何特征进行聚类,而缺少目标对象的形状特征约束的问题。通过实验分析表明,该算法能得到更好的分割结果。对于后续研究,一个主要问题是如何利用局部匹配解决目标物体不完整情况下的掩码构造,从而使算法有更好的通用性。另一方面,协同分割可以面向用户建立反馈模型,通过用户的渐进反馈提高分割质量。

参考文献

- [1] Ling kai, Wu Jun-hui, Xu Li-hong. A Survey on Color Image Segmentation Techniques[J]. Journal of Image and Graphics, 2005,10(1):1-10(in Chinese)
林开颜,吴军辉,徐立鸿.彩色图像分割方法综述[J].中国图象图形学报,2005,10(1):1-10
- [2] Rother C, Kolmogorov V, Blake A. "GrabCut"—interactive foreground extraction using iterated graph cuts[J]. Acm Transactions on Graphics, 2004, 23(3): 309-314
- [3] Ning J, Zhang L, Zhang D, et al. Interactive image segmentation by maximal similarity based region merging[J]. Pattern Recognition, 2010, 43(2): 445-456
- [4] Liu Song-tao, Yin Fu-liang. The basic principle and its new advances of image segmentation methods based on graph cuts[J]. Acta Automatica Sinica, 2012, 38(6): 911-922(in Chinese)
刘松涛,殷福亮.基于图割的图像分割方法及其新进展[J].自动化学报,2012,38(6):911-922
- [5] Rother C, Minka T, Blake A, et al. Cosegmentation of Image Pairs by Histogram Matching-Incorporating a Global Constraint into MRFs[C]//2006 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. IEEE, 2006:993-1000
- [6] Hochbaum D S, Singh V. An efficient algorithm for Co-segmentation[C]//IEEE International Conference on Computer Vision. 2009:269-276
- [7] Bach F, Ponce J. Discriminative clustering for image co-segmentation[C]//IEEE Conference on Computer Vision & Pattern Recognition. 2010:1943-1950
- [8] Peng J, Singh V, Mukherjee L. Scale invariant cosegmentation for image groups[C]//2012 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. IEEE, 2012:1881-1888
- [9] Collins M D, Xu J, Grady L, et al. Random walks based multi-image segmentation: Quasiconvexity results and GPU-based solutions[C]//2012 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition(CVPR). IEEE, 2012:1656-1663
- [10] Meng F, Li H, Liu G, et al. Image Cosegmentation by Incorporating Color Reward Strategy and Active Contour Model[J]. IEEE Transactions on Cybernetics, 2012, 43(2): 725-737
- [11] Batra D, Kowdle A, Parikh D, et al. iCoseg: Interactive co-segmentation with intelligent scribble guidance[C]//2013 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. IEEE, 2013:3169-3176
- [12] Gulshan V, Rother C, Criminisi A, et al. Geodesic Star Convexity For Interactive Image Segmentation[C]//2010 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). 2010:3129-3136
- [13] Wang Chun-yao, Chen Jun-zhou, Li Wei. Superpixel segmentation algorithms review[J]. Application Research of Computers, 2014, 31(1): 6-12(in Chinese)
王春瑶,陈俊周,李炜.超像素分割算法研究综述[J].计算机应用研究,2014,31(1):6-12
- [14] Arbelaz, Pablo, Maire M, et al. Contour Detection and Hierarchical Image Segmentation[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 2011, 33(5): 898-916
-
- (上接第 299 页)
- [2] Song G H, Ji Q G, Lu Z M, et al. A novel video abstraction method based on fast clustering of the regions of interest in key frames[J]. AEU-International Journal of Electronics and Communications, 2014, 68(8): 783-794
- [3] Wang Ya-pei, Li Ren-wang, Liu Xiang. Extraction Method of Surveillance Video Synopsis Combines Objects and Keyframes [J]. Industrial Control Computer, 2015(3): 11-13(in Chinese)
王亚沛,李仁旺,刘翔.对象和关键帧相结合的监控视频摘要提取方法[J].工业控制计算机,2015(3):11-13
- [4] Zhang P, Zhuo T, Zhang Y, et al. Real-time Tracking-by-Learning with High-order Regularization Fusion for Big Video Abstraction[J]. Signal Processing, 2015, 124(c): 246-258
- [5] Liu Shou-da. Video Synopsis Based on Multi-target Tracking and Trajectory Combinatorial Optimization[D]. Xiamen: Xiamen University, 2014(in Chinese)
刘守达.基于多目标跟踪及轨迹组合优化的视频摘要[D].厦门:厦门大学,2014
- [6] Han Jan-kang. Moving Area Detection and Tracking Based Video Condensation[D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications, 2012(in Chinese)
韩建康.基于运动检测及跟踪的视频浓缩方法研究[D].北京:北京邮电大学,2012
- [7] Felzenszwalb P, Girshick R, McAllester D, et al. Object detection with discriminatively trained part based models[J]. Pattern Analysis and Machine Intelligence(PAMI), 2010, 32(9): 1627-1645
- [8] Dalal N, Triggs B. Histograms of oriented gradients for human detection [C]// Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). San Diego, CA, 2005, 1: 886-893
- [9] Wu B, Nevatia R. Detection and tracking of multiple, partially occluded humans by bayesian combination of edgelet based part detectors[J]. International Journal of Computer Vision, 2007, 75(2): 247-266
- [10] Song Xue-hua, Chen Yu, Geng Jian-feng. Moving object detection based in improved Gaussian mixture background model [J]. Computer Engineering and Design, 2010, 31(21): 4646-4649 (in Chinese)
宋雪桦,陈瑜,耿剑锋.基于改进的混合高斯背景模型的运动目标检测[J].计算机工程与设计,2010,31(21):4646-4649
- [11] Zivkovic Z. Improved Adaptive Gaussian Mixture Model for Background Subtraction[C]//Proceedings of the International Conference on Recognition Pattern, Amsterdam University. Netherlands, 2004, 2: 23-26
- [12] Huang C, Li Y, Nevatia R. Multiple target tracking by learning-based hierarchical association of detection responses[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2013, 35(4): 898-910
- [13] Wang Jiang-feng. Researches on Object Tracking and Event Detection Based on Tracklet Association[D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2011(in Chinese)
王江峰.基于轨迹片段关联的目标跟踪与事件检测方法研究[D].长沙:国防科学技术大学,2011
- [14] Ristani E, Tomasi C. Tracking Multiple People Online and in Real Time[M]//Computer Vision-ACCV 2014. Springer International Publishing, 2015: 444-459