

基于图切的交互式图像分割方法

胡局新, 丁 宾, 邵晓根

(徐州工程学院信电工程学院, 江苏 徐州 221111)

[摘要] 图切是一种基于图论的图像分割方法,它基于最大流/最小割定理实现能量函数最小化,其中能量函数的设定、实现的流程等方面可以改进以提高对不同图像的适应性. 本文给出了一个基于图切的交互式图像分割方法,用户通过手绘封闭或不封闭线条的方法提供关于前景和背景的先验信息,在此基础上实现图像的分割. 首先采用分水岭方法对输入图像进行预分割,把颜色相近的像素分为若干个小区域;设定合适的能量函数,将预分割的区域之间的颜色相似性、分割结果的平滑性等约束包含在能量函数中,利用求最大流的方法求取使得能量函数最小化的标签集合,从而实现图像的分割. 实验证明,本文的方法能快速有效地实现交互式图像分割.

[关键词] 图切, 图像分割, 最大流/最小割, 能量函数

[中图分类号] TP391.41 [文献标志码] A [文章编号] 1672-1292(2014)04-0062-05

Interactive Image Cut Method Based on Graph Cuts

Hu Juxin, Ding Bin, Shao Xiaogen

(Department of Information and Electrical Engineering, Xuzhou Institute of Technology, Xuzhou 221111, China)

Abstract: Graph cut is a kind of image segmentation method based on graph theory. Graph cut realizes the minimization of energy based on max-flow/min-cut theorem. In order to make the method more suitable to various images, the energy function and the work flow of the method can be improved. This paper presents an image segmentation method based on graph cuts. In this method, users can present information about foreground and background through hand drawing closed or unclosed curves, and the image segmentation can be further realized based on the information. Watersheds method is first used to pre-segment the input image, and the image is segmented into many small regions based on the color of the pixels. An appropriate energy function is set. The energy function incorporates the color similarity between different regions and smoothness of segmentation result. The label set which makes the energy function minimized is achieved through max-flow method. Thus the image segmentation is completed. The experimental results show that this method can realize interactive image segmentation quickly and effectively.

Key words: graph cuts, image segmentation, max-flow/min-cut, energy function

图像分割是计算机视觉中的重要研究内容,一般是利用图像颜色、纹理等底层信息,将图像中具有显著区别的区域分割出来. 目前图像分割已经在影视制作、医学图像处理、图像压缩、智能视频监控等领域得到了广泛的研究和应用,由于图像分割是很多高层计算机视觉任务的基础,它对于系统的稳定性具有十分重要的意义. 对于典型的计算机视觉任务而言,人们关注的一般是人体、车辆等目标,这些目标也称为前景,将目标从图像中分割出来也称为前景分割.

在图像处理软件如 Photoshop 中,抠图是常用的操作. 在抠图应用中,可以方便实现交互式分割,即由用户提供一些辅助信息来帮助提高分割效果. 目前,国内外科研人员已对交互式图像分割进行了大量研究. Li Y 等人^[1]采用图像预分割和和图切算法计算每个像素的二值标签,开发了著名的懒人抠图系统. Rother C 等人提出了 Grabcut 算法^[2],使用迭代方法求解能量函数最小化,并给出边界调整方法对不精确的边界进行编辑.

文献[3]采用了基于区域级的图切,以提高分割速度,即先将图像进行预分割,分割成很多小区域,只

需给每个小区域赋予一个前景或背景标签即可完成图像分割. 用户用红色和蓝色分别在前景和背景区域画出若干线条, 以帮助确定前景与背景. 本文采取了与文献[3]类似的框架, 但采用了一种更灵活的交互方式, 用户可以画封闭或不封闭的线条, 可以用一种颜色(如蓝色)的线条所经过的区域表示背景, 用另一种颜色(如红色)的线条所经过的区域表示前景; 另外封闭线条表示其内部所有像素与线条经过的区域具有同样的标签.

1 基于图切(Graph Cuts)的图像分割方法

图切算法根据能量函数中每个因子的取值巧妙地构造赋权图, 并通过最小割算法极小化目标能量函数, 从而将能量极小化问题转换为赋权图的最小割问题. 由于最小割问题等价于最大流问题, 能量函数的优化可以采用最大流算法.

1.1 图切的图论基础

图切(Graphcut)是一种基于图论的能量最小化方法的框架, 具有广泛的应用. 图切的理论基础是图论中的最大流/最小割方法. 以下是一些符号定义和基本概念.

(1) 假设 $G=(V, E)$ 是有向带权图, 其中 V 表示图的结点集合, E 表示图的边集合.

(2) 在该网络中, 有一个入度为 0 的结点, 称为源; 有一个出度为 0 的结点, 称为汇.

(3) 每条边 (u, v) 有一个边容量 $C(u, v) \geq 0$, 有一个流量 $f(u, v)$.

(4) 最大流问题: 最大流问题是求一个网络的最大流, 即将边上的权值看作管道的输送能力, 求一个网络的最大流量的问题.

(5) 最大流/最小割定理: 1956 年, Ford 和 Fulkerson 证明了最大流/最小割定理, 即一个网络的最大流的价值等于该网络上的最小割的容量. 在图切方法中利用这一定理, 将能量函数的最小化问题(即最小割问题)转化为等价的极大流问题, 可以利用已有的最大流算法求得图像分割的结果.

(6) 将图切用于图像分割问题的基本思路是: 将图像用图表示, 顶点表示像素, 边表示像素之间的关联. 图像分割则与图的割集相对应. 使图像分割的最优目标对应图的最小割, 根据最大流/最小割定理, 即可用最大流算法求解最小割问题, 从而得到使能量函数最小化的二值标签集合, 也就实现了图像分割. 最大流/最小割定理在图像分割中的应用方式如图 1 所示^[4].

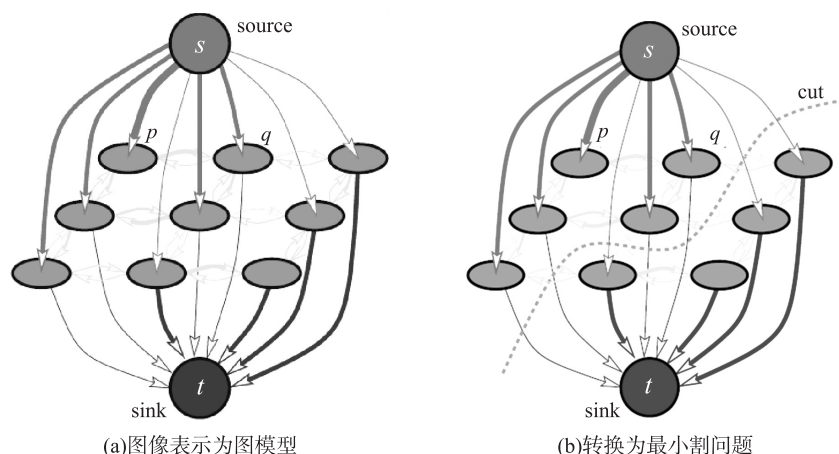


图 1 最大流/最小割在图像分割中的应用

Fig. 1 Application of max-flow/min-cut in image segmentation

1.2 基于图切的图像分割方法

Boykov Y 在文献[5]中给出的基于图切的图像分割方法中能量函数的构造函数如下:

$$E(X) = \lambda \sum_{p \in v} D_p(x_p) + \sum_{|p, q| \in N} V_{p, q}(x_p, x_q), \quad (1)$$

其中, x_p 表示一个像素的标签, 即一个像素属于前景还是背景; D_p 是似然能量项, 表示给顶点 p 分配标签 x_p 的代价, 该项体现了相邻像素如果颜色、纹理等特征相近, 则应被分配相同的标签, 另外还可包含交互式分割中用户给出的约束; $V_{p, q}$ 是平滑能量项, 表示相邻两个像素被分配标签之后的平滑程度, 即相邻像素

被分配不同的标签则应进行一定的惩罚,以使分割结果较为平滑。 λ 用于调节两个能量项之间的权重。

2 本文的方法

本文算法的基本过程是:先利用分水岭方法对图像进行预分割,再利用基于区域级图切的方法进行图像分割。

2.1 基于分水岭方法的图像预分割

分水岭方法是一种常用的图像分割方法,它的计算量小、分割结果精确。本文采用 Vincent L 提出的“模拟浸没”方法得到图像中的分水线^[6]。该方法先求取图像的梯度图,把梯度图看作一幅地形图,寻找梯度图上的局部极小点,看作盆地的最低点并在该处打一个洞,水从地下冒出,逐渐淹没整个地形,当两个盆地的水即将汇合时筑坝拦截,形成分水岭,最终实现整幅图像的分割。

我们发现对于对比度较低或局部颜色分布较平坦的图像,其梯度图像的局部最小值会形成大量的谷底,最终分割形成大量的过分割极小区域,而真正的图像边缘包含在这些分水线中。为了减小计算量,将颜色相似的小区域进行合并。

2.2 基于区域级图切的图像分割

基于区域级图切的方法中需要合理设置能量项,然后利用最大流方法求解能量函数最小化。基于区域的图切分割所用的公式与式(1)相同,但其中 p 的含义与文献[5]不同,在这里 p 表示经预分割之后的一个区域。

式(1)中能量项包括 D_p 和 $V_{p,q}$ 两项,其中 D_p 表示将预分割得到的各区域赋予前景或背景标签的代价总值。给像素 p 赋予的标签 x_p 有两种取值可能, $x_p=0$ 表示 p 为背景, $x_p=1$ 表示 p 为前景。在设置 D_p 时,用户交互时所画的红线经过的区域,可以确定是前景;蓝线所经过的区域可以确定是背景;红线和蓝线都没有经过的区域,是不确定区域。

$$\begin{cases} D_p(x_p=0)=\infty, & D_p(x_p=1)=0, & \forall p \in F, \\ D_p(x_p=0)=0, & D_p(x_p=1)=\infty, & \forall p \in B, \\ D_p(x_p=0)=d_p^B/(d_p^F+d_p^B), & D_p(x_p=1)=d_p^F/(d_p^F+d_p^B), & \forall p \in U, \end{cases} \quad (2)$$

其中, F 表示用户通过画线所确定的前景区域, B 表示用户画线确定的背景区域,其余的区域为未知区域,用 U 表示。式(2)的第一行的含义是,对于用户所确定的前景区域,赋予标签 0(表示背景)的代价是 ∞ , 赋予标签 1(表示前景)的代价是 0。第二行的含义是,对于用户所确定的背景区域,赋予标签 1 的代价是 ∞ , 赋予标签 0 的代价是 0。第三行中, d_p^B 表示将未知区域 p 归为背景所应付出的代价, d_p^F 表示将 p 归为前景所应付出的代价,这两个参数应根据未知区域在形状、颜色、纹理等方面与已确定的区域之间的相似性进行计算。为了消除光照变化对颜色的影响,本文在计算 d_p^B 和 d_p^F 时,将图像转换到 HSI 颜色空间,取出其 H 和 S 分量,这样一个像素的颜色用 (H, S) 二维坐标表示。 d_p^B 为区域 p 的颜色均值到用户所标识的背景区域的颜色均值的欧式距离的最小值, d_p^F 为区域 p 的颜色均值到用户所标识的前景区域的颜色均值的欧式距离的最小值。

能量项 $V_{p,q}$ 反应了给相邻区域赋予的标签的平滑性,本文参考文献[5]的方法设定 $V_{p,q}$,采用如下的公式设定能量项 $V_{p,q}$:

$$V_{p,q}(x_p, x_q) = \begin{cases} \exp(-\frac{(I_p - I_q)^2}{2\sigma^2}), & \text{if } x_p \neq x_q, \\ 0, & \text{if } x_p = x_q, \end{cases} \quad (3)$$

其中 p 和 q 是相邻的两个区域, I_p 和 I_q 分别是两个区域的颜色均值。式(3)说明,如果给 p 和 q 赋予相同的标签,则代价为 0,即相邻的区域更有可能标签相等;如果相邻的两个区域 p 和 q 赋予的标签不相等,则应该给予一定的惩罚值 $\exp(-\frac{(I_p - I_q)^2}{2\sigma^2})$,当 p 和 q 的颜色相近时惩罚值较大, p 和 q 的颜色相差较大时会使得惩罚值较小。

与文献[5]相比,能量项 $V_{p,q}$ 去掉了因子 $\frac{1}{dis(p, q)}$,理由是对分割平滑性的约束应该在相邻

的两个区域之间设定,而与它们距离无关;且不相邻的区域不应该施加平滑性约束. 一般情况下图像中前景对背景的遮挡关系较为复杂,这里 p 和 q 之间的距离有时会对分割的平滑性产生误导.

能量函数设定好之后,按照文献[4]中图的权值的设定方法,通过求最大流的算法计算使得能量函数去最小值的标签集合,即可完成图像分割.

3 实验结果

图2显示了部分实验结果,其中图(a)、(d)是原图,图(b)、(e)是用户通过画线提供了关于前景和背景的信息,其中封闭线条内部为前景区域,非封闭的线条所经过的区域为背景. 图(c)、(f)为分割的结果. 图(f)所示的分割结果中,椭圆所标出的部分出现了错误,原因是这个区域的颜色过暗,使得边界不明显. 由于图像中难免出现边界不清晰的情况,这个问题难以彻底解决,可以在画线时尽可能靠近边界,由用户提供更多的先验信息,或者是在分割完成之后再提供一个边界编辑步骤. 本文的算法在 Intel Core2 P8700 CPU、2 GB 内存的计算机上实现,对于 400×400 的图像,可以在 100 ms 内完成分割.

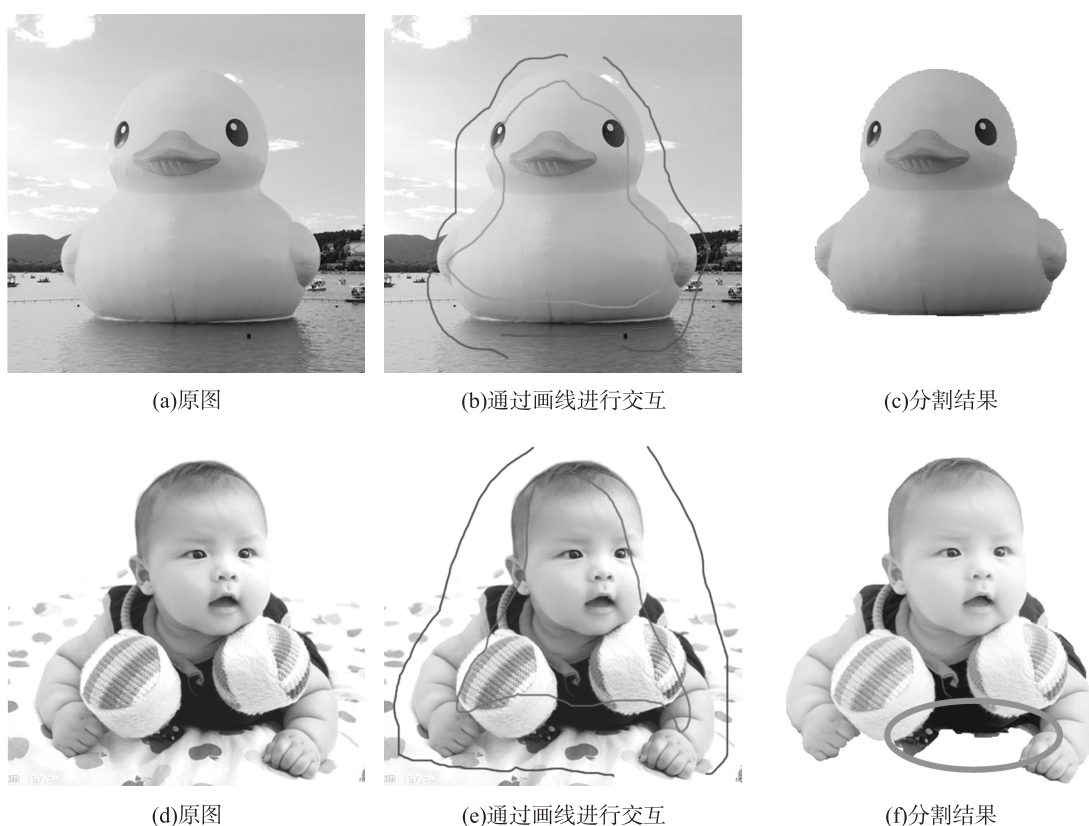


图2 部分实验结果

Fig.2 Some experimental results

4 结论

本文给出了基于图切的交互式图像分割方法,采用一种新的交互方式,即用户可以用封闭线条或不封闭线条标识前景或背景,封闭曲线内部所有像素的标签与线条所经过的区域标签一致. 这样可以提供更灵活、更丰富的前景和背景的先验知识. 本文对图切方法中的能量函数进行了一些改进,以减少光照不均对分割的影响,提高方法的适应性.

在将来的工作中,可以考虑在设置似然能量项时将更多的特征加进去,如纹理特征. 在基于预分割的方法框架中,局部纹理模式体现在相邻的预分割区域的颜色变化上,如何寻找和描述纹理特征是需要研究和解决的问题.

(下转第70页)

- and Information Processing, Shenyang Aerospace University, 2013. (in Chinese)
- [5] 宋晓莉. 基于 VxWorks 的数据通信及控制技术的研究与实现[D]. 西安: 西安电子科技大学通信与信息系统系, 2009.
Song XiaoLi. Research and implementation of data communications and control technology based on VxWorks[D]. Xi'an: Department of Communication and Information System, Xidian University, 2009. (in Chinese)
- [6] 宋泽帅, 王守城, 段俊勇, 等. 基于 OPC 技术的电能数据采集系统设计[J]. 电气自动化, 2013, 35(6): 9-10, 59.
Song Zeshuai, Wang Shoucheng, Duan Junyong, et al. Design of OPC-based power data acquisition system[J]. Electrical Automation, 2013, 35(6): 9-10, 59. (in Chinese)
- [7] 田启贻. 基于 VxWorks 的 PXIe 嵌入式控制软件开发[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学仪器科学与技术系, 2013.
Tian Qiben. Software development of PXIe embedded controller based on VxWorks[D]. Harbin: Department of Instrument Science and Technology, Harbin Institute of Technology, 2013. (in Chinese)
- [8] 詹俊, 龙辛, 黄波, 等. 基于 VxWorks 的软 PLC 远程监控系统设计与实现[J]. 机械工程与自动化, 2013, 178(3): 3-5, 8.
Zhan Jun, Long Xin, Huang Bo, et al. The remote monitor system design and implementation of soft PLC based on VxWorks[J]. Mechanical Engineering and Automation, 2013, 178(3): 3-5, 8. (in Chinese)
- [9] Mazinan A H, Kazemi M F. Recent developments on applications of sequential loop closing and diagonal dominance control schemes to industrial multivariable system[J]. Journal of Central South University, 2013, 12: 3 401-3 420.

[责任编辑: 顾晓天]

(上接第 65 页)

[参考文献] (References)

- [1] Li Y, Sun J, Tang C K, et al. Lazy snapping[C]//International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques. New York, 2004: 303-308.
- [2] Rother C, Kolmogorov V, Blake A. "GrabCut": interactive foreground extraction using iterated graph cuts[J]. ACM Transactions on Graphics (TOG), 2004, 23(3): 309-314.
- [3] Wu Xiaoyu, Wang Yangsheng. Interactive foreground/background segmentation based on graph cut[C]//International Congress on Image and Signal Processing. Sanya, 2008.
- [4] Boykov Y, Kolmogorov V. An experimental comparison of min-cut/max-flow algorithms for energy minimization in vision[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2004, 26(9): 1 124-1 137.
- [5] Boykov Y, Jolly Pi M. Interactive graph cuts for optimal boundary and region segmentation of objects in n-d images[J]. ICCV, 2001(7): 105-112.
- [6] Vincent L, Soille P. Watersheds in digital spaces an efficient algorithm based on immersion simulation[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1991, 13(6): 585-598.

[责任编辑: 丁 蓉]