

基于边缘预测与边缘增长的图像分割方法^①

丁伟利^{②*} 谷 朝* 王明魁* 王文锋**

(* 燕山大学电气工程学院 秦皇岛 066004)

(** 燕山大学车辆与能源学院 秦皇岛 066004)

摘 要 针对现有图像分割方法过分割与分割效率低的问题,该文提出了新的基于边缘的图像分割方法。算法首先在图像梯度基础上提取锚点得到初始边缘图像,从初始边缘任意一点沿两个不同的方向出发,进行边缘预测,遍历边缘图像形成边缘段。然后,通过八邻域扫描的方法寻找边缘断点,根据断点间的马哈顿距离与距离阈值寻找断点间的最小距离并连接。进一步,判断剩余断点与其周围像素点中距离最小的像素点并连接,消除断点。最后通过判断边缘增长的增长点周围的平均灰度值与断点处灰度值的差值是否满足阈值要求,满足即在 11 × 11 邻域内进行增长直到遇到其他断点或是边缘,否则在 15 × 15 邻域内进行增长。实验结果表明,本算法能够通过边缘信息快速连接获得封闭区域,图像分割速度快、准确性好。

关键词 图像分割,边缘预测,边缘增长,断点检测

0 引 言

图像分割是指把图像分成若干个具有独特特性的区域并提出感兴趣目标的技术^[14]。图像分割按照分割层次的不同可分为两大类,一类为基础分割,这种方法主要是基于基本信息与特征分割的基础分割;第二类为深层次分割,此类分割建立在第一类分割或是图像基本特征基础之上,对相似特征、区域等进行判断合并或是进行大数据训练最终实现对被识别物体的整体分割。

在基础分割中,聚类算法、阈值分割算法、区域分割算法等都较为常用。聚类算法是通过不断迭代与修正将图像中具有相似特征的像素聚类到同一个区域最终形成图像分割结果,主要方法有 Mean-shift^[5]、K-Means 等,聚类算法较为稳定,鲁棒性较好,但无法控制分割聚类块数且运行速度较慢。阈

值分割主要分割背景和目标物体,如申铨京等人^[6]于 2016 年提出的多阈值 OTSU 分割算法,分割速度快,但忽略了较多细节信息。深层次分割在早些年 的发展中基于图论的方法是 其典型代表,此方法是 利用像素之间的相似性或是 差异性以及像素之间的相 邻关系进行自上而下的全 局分割,如由 Boykov 等 人^[7]提出的 Graph Cuts 算 法及其改进型^[8],Graph Cuts 算法需要大量的矩阵广 义特征向量运算导致其运 行速度较慢,同时此算法需 要人工标记。近些年来随 着神经网络、机器学习、深 度学习等算法的崛起,深 层次分割得到极大的发展。 通过对图像的颜色、边缘、 纹理、基础分割区域等进 行大数据训练,将图像中同 一物体或特征相似物体进 行整体分割最终达到识别 物体的目的。例如 Girshick 等人^[9]于 2014 年提出的 Fast-CNN 方 法对物体进行语义分割与 识别,此方法需要大量数据, 同时受到图像特征选取准 确性的制约。

① 河北省自然科学基金(F2016203211)和燕大青年教师自主研究计划(15LGA014)资助项目。
② 女,1979 年生,博士,教授;研究方向:虚拟现实,计算机视觉,医学图像处理;联系人,E-mail: weiyue51@ysu.edu.cn
(收稿日期:2017-12-06)

通过以上算法可知,目前基础分割算法尚在速度、分割准确性方面存在很大的问题,因此也直接影响部分深层次分割的准确性。鉴于此,本文以研究基础分割算法为出发点,提出一种基于边缘预测与边缘增长的图像分割新方法。

1 分割算法描述

本文算法是利用锚点检测和边缘预测的方法得到图像的边缘,在此基础上寻找边缘断点并利用断点间距离以及断点周围信息对断点进行连接,最后通过边缘增长实现图像的分割。具体步骤如下:

- (1)通过梯度计算提取锚点,形成初始边缘图;
- (2)对初始边缘图进行边缘预测,形成单像素宽度的无噪声干扰的边缘图像;
- (3)寻找断点并计算相邻断点间距离,小于距离阈值则进行断点连接;
- (4)判断剩余断点在 11×11 模板内是否存在其他像素点,计算最小距离连接断点;
- (5)在剩余断点处进行边缘对称增长,消除所有断点形成封闭区域,达到图像分割的目的。

1.1 锚点提取

本文算法通过锚点的提取获得初步边缘图。梯度值反映了图像在水平和垂直方向的变化情况,这种变化就像山峰的山脊一样。锚点^[10]即为山脊局部区域的顶点(如图 1(c)所示),锚点表现了梯度在水平和垂直方向急剧变化情况,因此锚点为边缘点的概率极大。

在计算梯度提取锚点之前,首先对图像进行高斯滤波去除图像噪声(如图 1(a)),分别得到其水平梯度 G_x 和垂直梯度 G_y 。其次可以通过公式 $G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}$ 求取梯度值 G ,结果如图 1(b)。为了处理运算速度,本文采用 $G = |G_x| + |G_y|$ 进行梯度计算。在得到图像的梯度值后即可提取锚点。

根据图像水平和垂直两个方向的梯度分别提取其周围 3×3 邻域的水平与垂直方向的极大值,如果像素点大于设定阈值,则定义为锚点,然后将结果合并到一幅图像中形成最终的锚点图像,即初始边缘图(如图 1(d))。尽管噪声点很多,边缘间也存在单像素或是多像素间隙(图 1(e)),但是与传统边缘检测相比,该步骤已经得到了基本的边缘图。

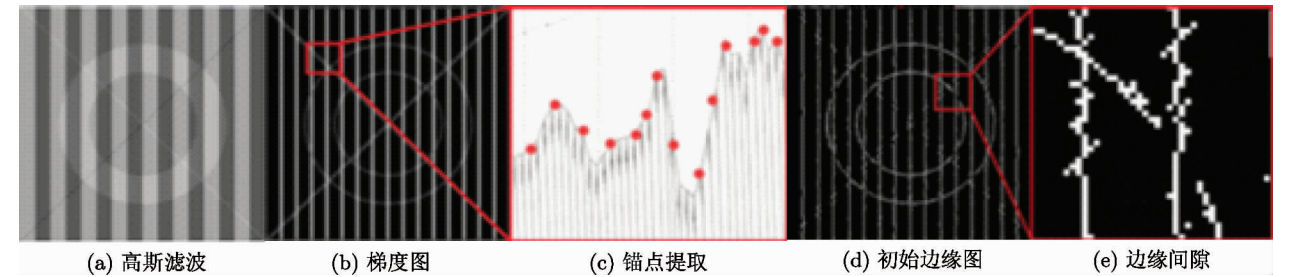


图 1 梯度与锚点图

1.2 边缘预测

基于边缘预测^[11]的方法可以形成无噪声、单像素宽度边缘图像。根据锚点提取形成的初始边缘,从边缘中任意一点出发,通过判断 8 邻域的方向对边缘走向进行预测,如果满足预测的条件则将预测的像素加入到其像素链中,同时记录此时的方向,最终形成单像素宽度的像素链,并对此像素链进行标号。当此条像素链完成后,寻找其他边缘没有标号的点进行如上操作,最终将边缘图像全部转化为单像素链边缘。

本文列出 Down 和 Up-Right 的预测规则,如图 2 所示。以边缘走向为 Down 的情况进行边缘预测规则详细阐述,如图 2(a)所示。当前像素在黑色 (x, y) 处,而此位置是从 $(x, y - 1)$ 处移动而来,则标记为灰色。将根据 (x, y) 像素位置的前 8 个像素的方向进行方向统计,若前 8 个方向中 Lift 或是 Down-Lift 个数较多时,将按照图 2(a)Pre: Down-Lift 的方式进行标号,否则按照图 2(a)Pre: Down-Right 的方式进行标号。从边缘走向可知边缘方向为 Down 时,那么下一个像素位置最有可能是 $(x, y + 1)$,所

以将其标记为 1 进行优先判断,如此位置存在边缘则将其加入像素链中,若不存在则按照相应编号的大小逐次寻找边缘信息。

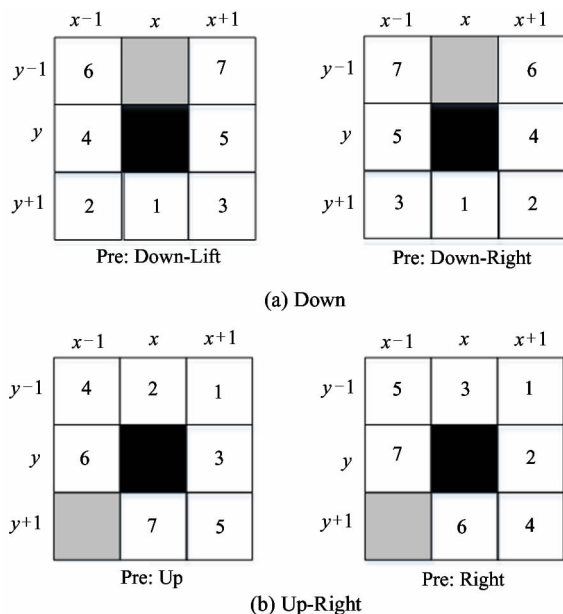


图 2 边缘预测规则

除 Down、Up-Right(如图 2(b))方向之外,还存在 Right、Up、Lift、Down-Right、Down-Left 和 Up-Left 6 个方向,其预测规则与上图相似,不一一列举说明。还有由于通过 8 邻域方向预测最终形成边缘轮廓的单像素链,所以得到的边缘图像宽度一定为 1 个像素宽度,同时如图 1 所示的边缘噪声点也会在这个过程中被消除,其最终效果图如图 3 所示。

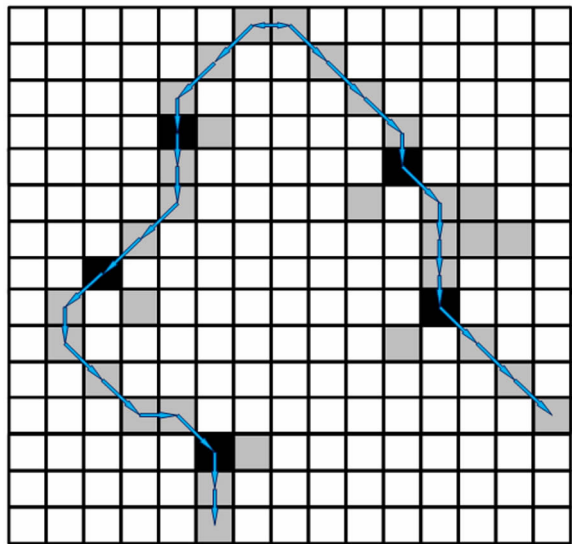


图 3 边缘预测

1.3 断点连接

边缘预测可以将边缘转换为单像素链边缘,但有些单像素链边缘并不是封闭的,其间存在间隙(如图4所示)。为使单像素链边缘封闭,采用断点连接和边缘增长^[12]的原理填充间隙。本文采用3步递进式的方法进行断点连接,第1步首先判断当前断点与周围断点的距离,如果距离较短则连接;否则进行第2步,在断点处寻找周围其他像素链上较近像素点进行连接。如果当前断点与周围断点间距离较远,则进行第3步,在断点处进行边缘生长,直到找到可连接的像素点,并最终使边缘像素链形成不同的封闭区域。

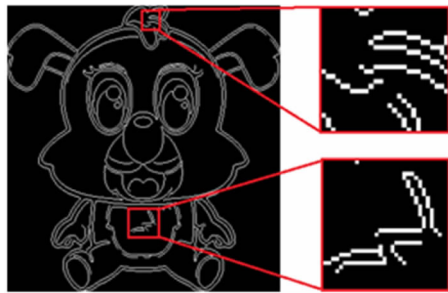


图 4 边缘缺口

1.3.1 距离连接

距离连接是根据断点之间是否小于距离阈值进行连接。本文采用马哈顿距离来完成计算。设在二维平面上两个断点坐标分别为 $a(x_1, y_1)$ 和 $b(x_1, y_1)$, 其公式如下:

$$d = |x_1 - x_2| + |y_1 + y_2|$$

如果 $d < T$, 则定义连接。本文中, 设当前断点与周围断点距离均小于 8 像素时 (图 5(a)), 选取断点间最小距离并进行连接。

1.3.2 相邻像素连接

有些断点与其他断点距离较远,盲目扩大距离连接将造成错误连接。从图像意义上说,断点最有可能是由于噪声干扰或是梯度值较小而产生,所以就近连接周围像素点是较为合理的选择。本文采用 9×9 的窗口模板寻找其中断点周围最小距离的像素点(如图 5(b)),此时的距离计算依然是采用马哈顿距离公式,找到最近像素点连接。

1.3.3 边缘增长

边缘增长是以断点为中心进行边缘对称延长,

直到遇到边界或是其他断点为止。本文在进行边缘增长(如图 5(c))之前首先要计算断点(黑色)8 邻域内像素点的平均灰度值 mean ,然后在 11×11 的窗口模板内找到断点对应的增长点(中心打叉的像素点),并提取其像素点的灰度值 gray ,若 $|\text{gray} - \text{mean}|$ 的值小于等于 30,则进行对称生长(中心为十字的像素点)。

当在 11×11 的窗口模板内未找到增长点,将采用以下步骤进行边缘增长:

- (1)将窗口模板扩大到 15×15 ,在此模板中寻找增长点;
- (2)若 15×15 的窗口模板依然没有找到其增长点,将按照对称延长的方式对边缘进行延长,并寻找增长点,如图 5(d);
- (3)若步骤(2)后依然没有增长点,则重复步骤(1)、(2),直到找到增长点。

众所周知,无论是自然界还是人类生活中,绝大多数物体都可以分解成对称或是部分对称图形(如矩形、圆等),或是用相应的线条(如直线、弧线等)表示,因此对边缘进行对称延长增长是较为合理的方案。

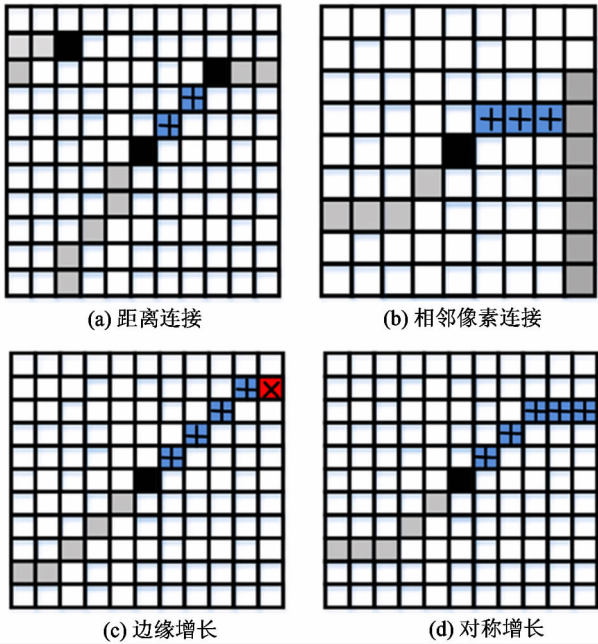


图 5 断点连接

2 实验结果与分析

本文以不同场景图像作为实验对象对本算法进
— 412 —

行验证,如图 6 所示。首先,对图像进行 $5 \times 5, \sigma = 1$ 的高斯滤波,通过 sobel 算法计算图像梯度,设定锚点阈值为 15;其次,通过锚点检测提取初始边缘图像,随后在初始边缘图基础上进行边缘预测得到单像素宽度的边缘图像。在边缘图像基础上先后进行断点检测、断点间距离连接、断点邻近像素分布条件连接;最后,在断点处进行边缘增长与对称延长得到分割结果。图 6 从上到下依次为原始图、锚点提取图、初始边缘图、断点间距离连接图、相邻像素连接图、边缘增长图以及分割结果图。从图 6 可以看出,本算法能较好地完成不同场景图片的分割工作,分割结果符合人眼视觉分割结果,并且能最大限度保留其细节信息。

其中,为方便检验断点间距离连接、断点相邻像素连接的有效性,本文在图 6 中分别标记了进行这 3 个步骤后断点的位置,利用不同的彩色线条分别表示出每张图像每条边缘进行边缘增长后的效果。同时,根据 5 张图片的处理结果分别统计了图像边缘预测、断点间距离连接、断点相邻像素连接后的断点数目,进一步说明本文方法的有效性,如表 1 所示。

本算法与图像分割诸多方法(包括 Watershed^[13]、Fuzzy c-means (FCM)^[14,15]、K-Means^[16]、Graph Cuts^[8]等)相比有较大优势。图 7 为以上算法或是其改进型与本算法分割效果比较图。从图中可以看出,基于距离变换的 Watershed 算法在处理噪声较多的图像时出现明显的过分割和错误分割现象,同时分割结果丢失了大量的细节特征。FCM 算法分割效果较好,但是由于分类类别的不可控因素而造成错误分割现象。K-Means 分割效果较好,但是分类类别需要人为设定,同时分割图像细节中含有大量噪声干扰。由图 7(e) Graph Cuts 算法的分割结果可以看出其对图像对象的整体分割效果较好,这也造成图像绝大部分细节信息被忽略,且在背景与对象颜色相近时,分割对象整体轮廓丢失产生错误分割。而本文算法分割效果较好,有效解决了过分割和错误分割,同时最大可能地保留了图像的细节特征。

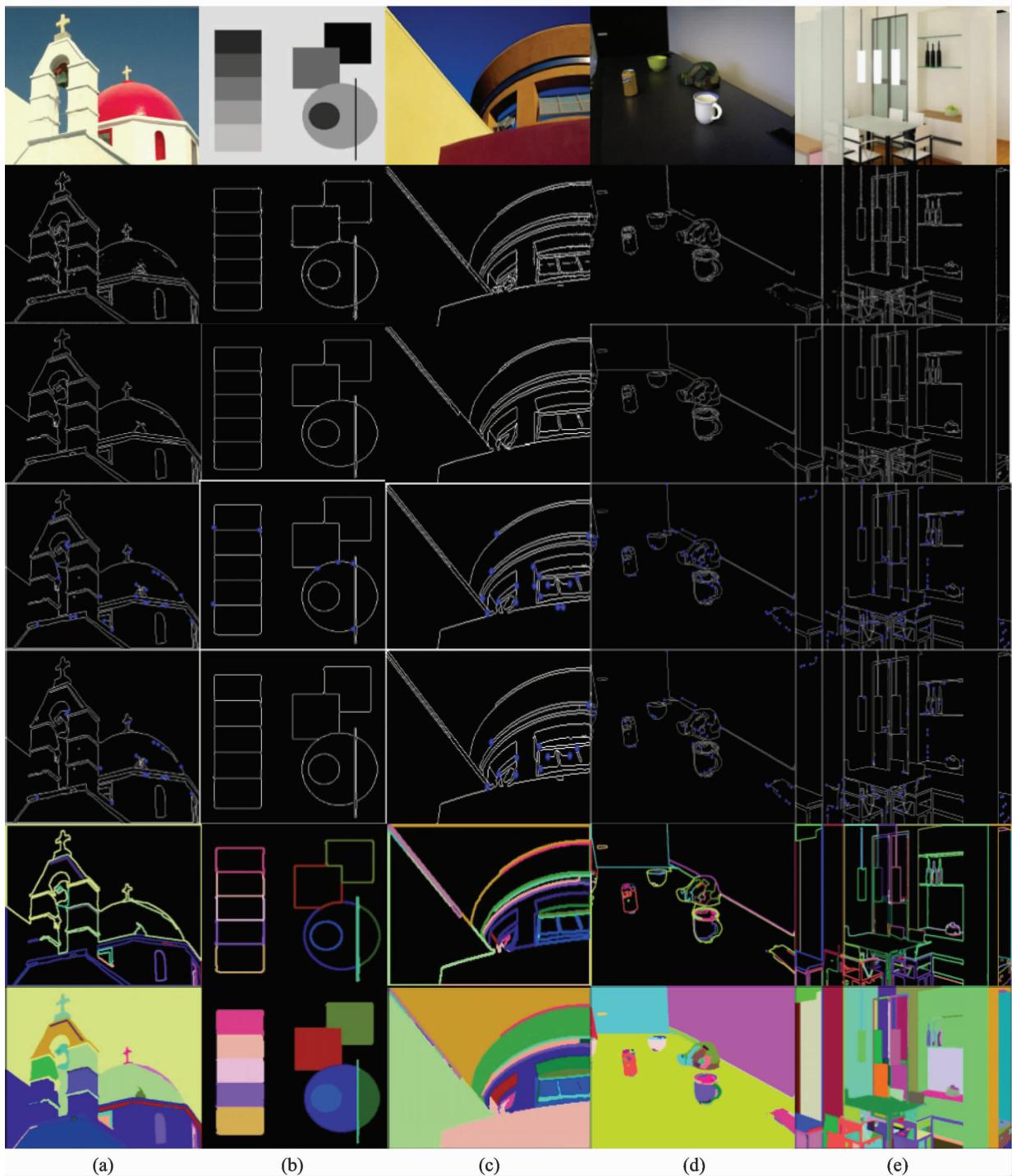


图 6 图像分割结果

表 1 图像边缘预测、断点间距离连接、断点相邻像素连接后的断点数目

原始图像标号	边缘预测图像断点数目	断点间距离连接后断点数目	断点相邻像素连接后断点数目
(a)	60	39	18
(b)	7	7	0
(c)	29	23	12
(d)	128	57	37
(e)	173	102	67

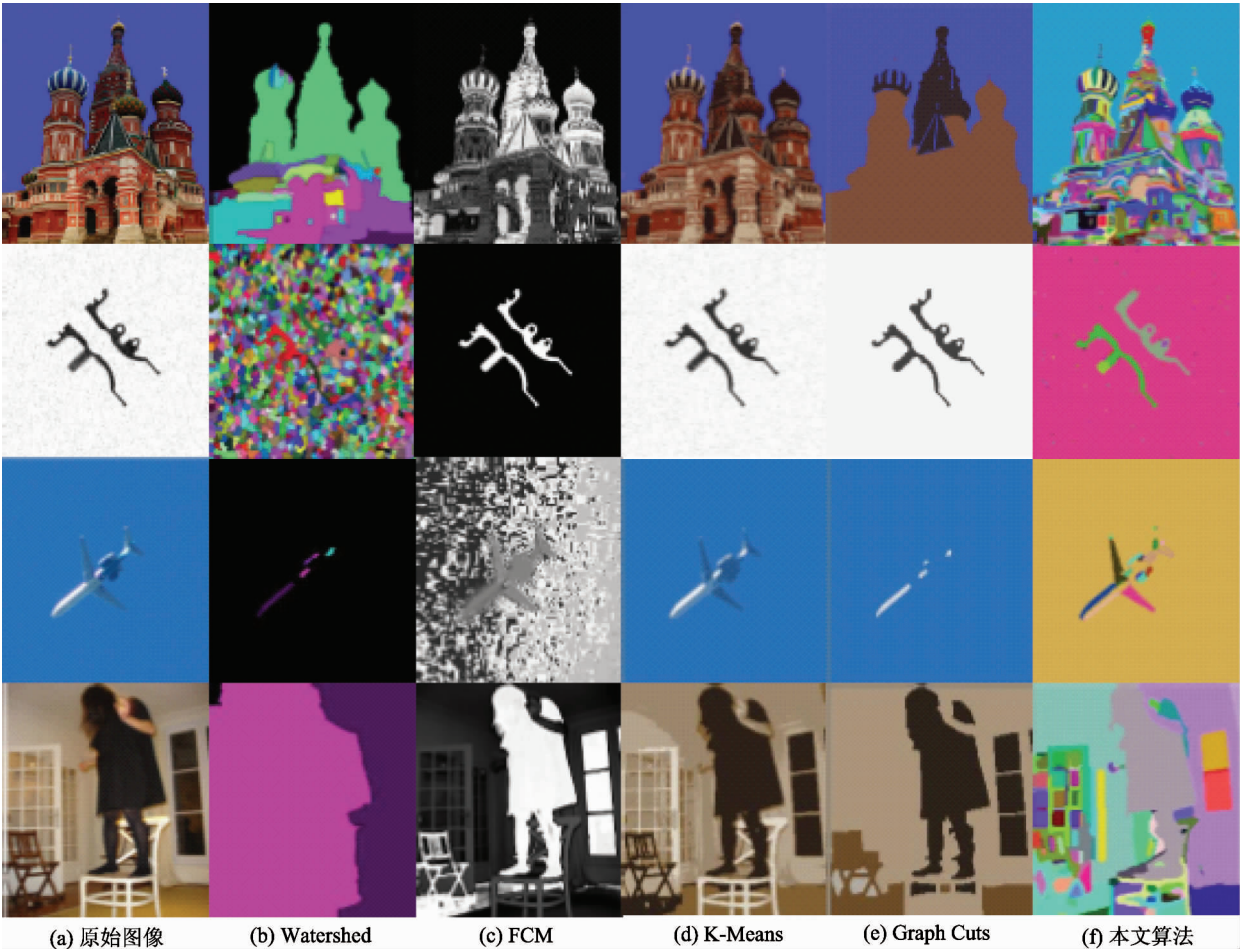


图 7 各分割算法分割对比图

图 8 为本算法与以上算法或是其改进型算法分割效率的比较对比图,其中算法基于 VS2013 的 C + + 编程环境在 Intel i7、8G 内存上实现,数据库来自 ThePASCALVOC2012,此图中显示其中 2164 张不

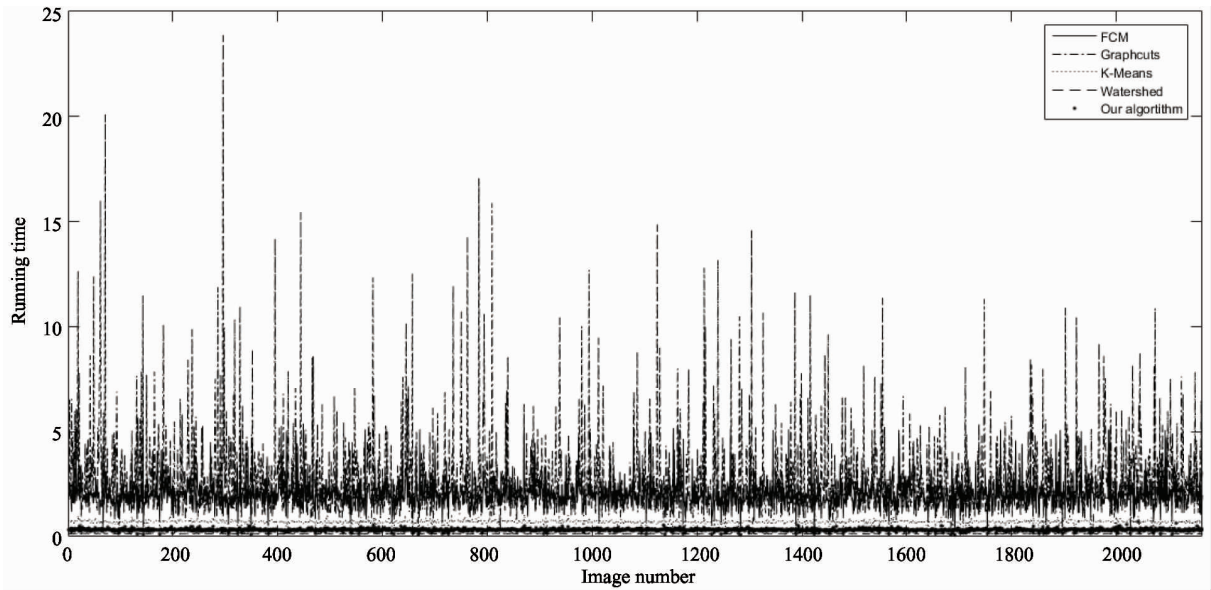


图 8 各分割算法运行效率对比图

同图片分割时间的对比结果。从图 8 中可以看出除 Watershed 算法相对本文算法稍具优势外,其他算法的运行效率远低于本文算法。从图 8 中可以看出本文算法的执行效率较高,运行时间基本在 0.1 ~ 0.4s 之间。从整个数据库 2012 年 2164 张图像的整体运行时间来看,本文算法在运行效率上同样占有较大的优势,平均每张图片运行时间为 0.292s,而 Watershed、Fuzzy c-means (FCM)、K-Means 和 GraphCuts 算法平均每张图片的运行时间分别为 0.208s、2.008s、0.702s 和 2.761s。从平均运行时间可以看出,Water-shed 算法仍有微弱的优势,但是由图 7 可以发现此算法有严重的过分割和错误分割现象,解决此问题需要区域合并和错误估计矫正,这将影响其整体运行速度。

3 结 论

本文算法首先通过梯度计算找到图像的锚点,得到初步边缘图。采用边缘预测的方法将图像边缘转换成单像素宽度的像素链,并去除掉所有噪声,此时的边缘图即为无噪声干扰的单像素宽度边缘图。在此基础上,通过寻找边缘图像的断点进行断点连接与边缘增长等操作使其成为封闭的区域,最终达到分割图像的目的。本文分割算法是基于图像基本信息与特征分割的基础分割,不需要大量的数据训练和人为标记。通过对比可以知道,本文算法在图像分割的效果上尽可能地保留了图像的诸多特征,分割较为准确。

本文算法锚点阈值选取是人为设定的,根据不同图像需要进行修正,阈值一般在 15 ~ 20 的范围内进行选取。在未来的工作中可以利用图像灰度、纹理等信息进行自动阈值。本文算法与 FCM、K-Means 和 Graph Cuts 等算法相比图像分割效率较高,但是并不能达到实时分割的效果,因此算法代码仍然需要优化,算法中计算过程仍然需要改进。

参考文献

- [1] Hanbay K, Talu M F. Segmentation of SAR images using improved artificial bee colony algorithm and neutrosophic set[J]. *Applied Soft Computing*, 2014, 21(3): 433-443
- [2] Li J, Rao X, Wang F, et al. Automatic detection of common surface defects on oranges using combined lighting transform and image ratio methods [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2013, 82: 59-69
- [3] Abo-Eleneen Z A, Abdel-Azim G. An improved image segmentation algorithm based on MET method[J]. *International Journal of Computer Science Issues*, 2012, 9(5): 346-351
- [4] Funck J W, Zhong Y, Butler D A, et al. Image segmentation algorithms applied to wood defect detection [J]. *Computers and electronics in agriculture*, 2003, 41(1): 157-179
- [5] Vedaldi A, Soatto S. Quick shift and kernel methods for mode seeking[C]. In: *Proceedings of European Conference on Computer Vision*, Marseille, France, 2008. 705-718
- [6] 申铨京, 潘红, 陈海鹏. 基于一维 Otsu 的多阈值医学图像分割算法[J]. *吉林大学学报:理学版*, 2016, 54(2): 344-348
- [7] Boykov Y, Funka-Lea G. Graph cuts and efficient ND image segmentation[J]. *International Journal of Computer Vision*, 2006, 70(2): 109-131
- [8] Wang T, Ji Z, Sun Q, et al. Interactive multilabel image segmentation via robust multilayer graph constraints[J]. *IEEE Transactions on Multimedia*, 2016, 18(12): 2358-2371
- [9] Girshick R, Donahue J, Darrell T, et al. Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation[C]. In: *Proceedings of the Computer Vision and Pattern Recognition*, Columbus, USA, 2014. 580-587
- [10] C. Topal, C. Akinlar, Edge drawing: a Combined real-time edge and segment detector [J]. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 2012, 23(6): 862-87
- [11] Akinlar C, Chome E. PEL: a predictive edge linking algorithm[J]. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 2016, 36: 159-171
- [12] Cao X Y, Ding W L, Hu S, et al. Image segmentation based on edge growth[C]. In: *Proceedings of the International Conference on Information Technology and Software Engineering*, 2012. 541-548
- [13] Yuan L, Yu Q, Shen C, et al. New watershed segmenta-

tion algorithm based on hybrid gradient and self-adaptive marker extraction[C]. In: Proceedings of the 2nd IEEE International Conference on Computer and Communications, 2016. 624-628

[14] Alipour S, Shanbehzadeh J. Fast automatic medical image segmentation based on spatial kernel fuzzy c-means on level set method[J]. *Machine Vision and Applications*, 2014, 25(6): 1469-1488

[15] Benaichouche A N, Oulhadj H, Siarry P. Multiobjective improved spatial fuzzy c-means clustering for image segmentation combining Pareto-optimal clusters[J]. *Journal of Heuristics*, 2016, 22(4): 383-404

[16] Gupta A K, Bora D J. A novel color image segmentation approach based on K-Means clustering with proper determination of the number of clusters and suitable distance metric[J]. *International Journal of Computer Science & Engineering Technology (IJCSET)*, 2016, 7(9): 395-409

Image segmentation based on edge prediction and edge growth

Ding Weili^{*}, Gu Zhao^{*}, Wang Mingkui^{*}, Wang Wenfeng^{**}

(^{*} School of Electrical Engineering, Yanshan University, Qinhuangdao 066004)

(^{**} College of Vehicles and Energy, Yanshan University, Qinhuangdao 066004)

Abstract

A new method of image segmentation is proposed for the realistic situation of image segmentation and segmentation efficiency. First, the proposed method extracts the anchors to get initial edge image based on the image gradient, and then predicts edge segments by linking the continuous edge points which starts from the initial edge point in two different directions. Second, the breakpoints are found based on 8 neighborhoods scanning and the small gaps between breakpoints are connected based on the smallest Manhattan distance and distance threshold. Finally, the edge segments are confirmed whether growth by judging the difference of the gray value between growth point and its neighborhood breakpoint. If the difference meets the threshold requirements, the edge segment will grow in its 11×11 neighborhood until other breakpoints or edges are met, otherwise the edge segment will grow in its 15×15 neighborhoods. Experimental results show that the proposed algorithm can quickly connect edge information to obtain closed regions, the segmentation speed is fast, and the accuracy is good.

Key words: image segmentation, edge predicted, edge growth, breakpoint detection