

基于并行处理的图像分割算法研究

李威, 尚堃, 陈宜峰
(中国空空导弹研究院, 河南 洛阳 471000)

摘要: 为了实时而准确地分割高分辨率图像, 提出一种基于图的并行分割算法。该算法采用并行结构, 将图像分为多个区域, 充分利用不相邻区域的处理具有并行性的特点, 对多个区域进行并行处理。算法可直接部署在多核处理器上, 多核并行处理以减少运行时间。为了增强算法对杂乱背景的适应能力, 提升分割的准确性, 采取低权值直接合并策略, 将相对较为均匀的区域直接合并, 使同一目标区域内的分割一致性更强。实验结果表明, 该分割算法的实时性较好, 明显优于现有分割算法, 并且分割准确性较高, 在复杂场景中应用也能取得较好的分割效果。

关键词: 图像分割; 基于图的分割; 并行处理; 实时性

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-637X(2017)05-0052-04

An Image Segmentation Algorithm Based on Parallel Processing

LI Wei, SHANG Kun, CHEN Yi-feng
(China Airborne Missile Academy, Luoyang 471000, China)

Abstract: A novel parallel graph-based image segmentation algorithm was constructed to segment high-resolution image precisely in real time. This algorithm adopts parallel structure and divides the image into multiple regions. Parallel processing can be made to the non-adjacent regions. This algorithm can be deployed easily on multi-core processors for multi-core parallel processing to shorten the runtime. In order to segment precisely and enhance the ability in clutter scenes, this algorithm combines the smooth regions directly by setting low weight threshold. Based on this method, the object regions can be segmented coherently. Experiments demonstrate that this algorithm can segment high-resolution images rapidly and precisely, has better performance than the traditional segmentation algorithms, and can achieve high level performance in segmenting images with complex background.

Key words: image segmentation; graph-based segmentation; parallel processing; real-time performance

0 引言

图像分割技术是计算机视觉研究领域的一个重要分支, 它是一种高层视觉处理技术, 分割效果的好坏与具体的应用场景和先验知识密不可分, 所以至今并不存在一种通用的分割算法适用于所有的图像, 图像分割问题仍然是计算机视觉研究中的一个难点和热点。

常用的图像分割方法主要有基于阈值的分割、聚类法、基于边缘的分割、基于区域的分割、基于能量函数的分割和基于图论的分割等^[1]。

OTSU 分割算法^[2] 是最为著名的阈值分割算法, 该方法计算比较简单, 但是对于复杂场景的分割效果较差; 常用的聚类分割算法^[3] 有 K-means 和谱聚类^[4], 这些方法的优点是计算简单, 缺点是需要确定分类数, 初始参数对分类结果影响较大; 边缘跟踪算法^[5] 以及基于最小描述长度和补充交汇点信息的边缘分割算法^[6] 都是性能较好的基于边缘的分割算法^[7], 但是该类算法难以在抗噪性能与分割精度之间取得平衡, 导致算法适应性较差; 基于区域的分割算法的目标是将图像划分为最大一致性区域, 主要包括区域增长法^[8]、区域分裂法、区域合并法以及区域分裂合并法^[9]。基于区域的分割算法抗噪能力强, 缺点是该类方法十分依赖初始区域选择和区域合并标准, 算法适应性较差; 水平集法^[10-12] 是常见的基于能量函数的分割方法, 该

收稿日期: 2016-04-13

修回日期: 2017-02-17

基金项目: 国家“九七三”研究计划项目(6132710101)

作者简介: 李威(1982—), 男, 河南南阳人, 博士, 工程师, 研究方向为图像处理。

算法利用函数的零水平面对应实际轮廓,算法参数设置较为自由,但算法运行效率不高,适应性也较差;基于图论的图像分割技术^[13]是近年来图像分割领域的研究热点,代表方法主要有基于图割(Graph-Cut)的分割算法^[14-16]、基于随机游走理论(Random Walks)的分割算法^[17]、Grab Cut 算法^[18]以及基于图的分割算法(Graph-Based Segmentation, GBS)^[19-20]。基于图割的分割算法分割精度高,算法效率较低;基于图的分割算法继承了图割算法带权无向图优势,运算量与图像分辨率成线性关系,对高分辨率图像处理有着明显优势。

本文将对基于图的分割算法进行改造,减少算法运行时间并提升分割效果。

1 基于图的并行分割算法

为了充分利用多核处理器的并行计算优势,本文提出了一种基于图的并行分割算法。

1.1 基于图的分割算法

基于图的分割将图像视作带权无向图 $G = (V, E)$,其中, V 表示图像中的像素点,对应着无向图中的节点,连接相邻节点,生成向右、向下、向右上、向右下4个方向的边集合 $(V_i, V_j) \in E$,其中, V_i, V_j 为边的2个端点,如图1所示。每条边 (V_i, V_j) 的权重 W 等于像素点 V_i 和 V_j 之间的灰度差的绝对值。

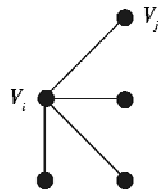


图1 顶点和边示意图

Fig.1 Sketch map of vertices and edges

对图像的分割操作被转化为对节点集合 V 的划分,即将节点按照一定的相似性准则划分到多个集合中,同一集合中的节点具有较高的相似性。基于图的分割算法利用最小生成树算法,通过比较区域间间距和区域内间距的大小关系判断2个区域是否应该合并。如果2个区域的区域间间距明显大于其中任意1个区域的区域内间距,那么就认为这2个区域之间存在明显的界限,不应该合并,算法原理和流程说明详见文献[19]。

1.2 并行分割算法的原理和步骤

经过实验分析发现,基于图的分割算法中最耗时的部分是边权值排序和建图过程。如果能够大幅地减少边权值排序和建图过程的时间,整个分割算法的运行时间也将大大减少。由于建图过程的并行化比较简单,各个并行的流程不存在逻辑关联,所以在此不做详细的阐述。边权值排序与区域合并紧密相关,如果区域合并过

程可以并行化,那么边权值排序也就可以实现并行化,因此本文重点研究如何使区域合并过程并行化。

按照基于图的分割算法原理可知:如果2个区域不相邻,那么对2个区域的处理是独立的,即它们可以并行处理。如图2所示,图中,2个白色矩形框所框区域不相邻,这2个区域的分割合并过程是独立的。基于该认识,构造并行分割算法,并部署在多核处理器上,以减少算法运行时间。



图2 并行原理示意图

Fig.2 Sketch map of parallel principal

基于以上原理,将图像分为多个区域,每个区域单独进行区域合并操作。遇到区域边缘边时,先不做处理,待处理完各个区域内的边时,再统一进行处理。具体算法步骤如下:

1) 如图3所示,首先对图像进行高斯滤波,以减轻噪声点的影响,将滤波图像分为4块并行建图(可以为任意多块),同时对边界节点进行标记;



图3 图像分块示意图

Fig.3 Sketch map of image partition

2) 利用基于图的分割算法分别对4个图像块进行分割,连接相邻2个图像块的边先不处理,加入延迟处理边队列,并对边界边所连接的区域进行标记;

3) 如果在合并过程中,某条边的1个或2个端点处于标记区域时,则将该边置于延迟处理边队列中,延迟处理;

4) 处理完所有的边之后,对4块并行区域延迟处理的边统一进行排序和合并,得到最终的分割图像。

1.3 低权值直接合并策略

对于背景比较杂乱的图像,容易分割出大量的非目标区域,影响后续处理。事实上,通常感兴趣目标区域是图像中对比度较高的区域,而大量的非目标区域

与背景的对比较低,对应于基于图的分割算法,也就是节点连接边的权值较低。如图4所示,当一个区域的轮廓中存在低权值的边时,将会产生水桶效应,导致其他相邻区域合并。此现象在杂乱背景中较多,而对于目标区域,其轮廓上的边的权值通常会比较高,因此,通过直接合并低权值边,可以有效减少杂乱背景区域,提高目标区域的分割一致性。

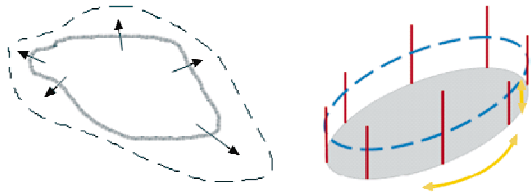


图4 低权值直接合并原理示意图

Fig.4 Sketch map of low-weight edge combination

由于在分割过程中首先要对图像中的边的权值进行排序,并能获得边权值的直方图,因此可以根据权值排序和权值直方图确定最佳的低权值阈值。

方式一:通常图像中的高权值边所占的比例较低,所以可以直接选择权值序列(权值由小到大排序)中某个权值作为直接合并阈值,该阈值之前的所有的边直接合并,也可以根据目标大小确定低权值阈值。

方式二:分析权值直方图,根据权值分布确定最佳直接合并阈值。如计算权值直方图中的拐点,以拐点位置的权值作为直接合并权值阈值。

确定低权值直接合并阈值后,权值低于该阈值的边所连接的两个区域直接合并,不需要判断是否满足合并准则。

2 实验结果与分析

本文使用PC机进行算法验证。PC机的配置为: Intel Core i3 CPU,主频为3.3 GHz,内存为2 GB。

为了验证算法的分割效果,本文使用了具有不同场景复杂度的高分辨率图像,并与基于图的分割算法进行效果对比,对比结果如图5~图7所示。其中,图5和图7的场景较为复杂,而图6的场景相对较为简单。

比较图5~图7可以发现,本文算法可以在保证目标完整的同时,过滤掉细小的分割块。尤其在目标背景较为杂乱以及目标本身分布不均匀的情况下,如图7所示,本文算法由于加入了低权值直接合并策略,目标一致性显著增强,可以更精确地提取目标区域,利于后续处理。图6中两种分割算法的分割效果基本一致,这是因为图6的场景较为简单,是否进行低权值直接合并对分割效果的影响不大。

本文通过对比基于图的分割算法和并行分割算法



图5 牛群分割效果图

Fig.5 Segmentation results of cattle image

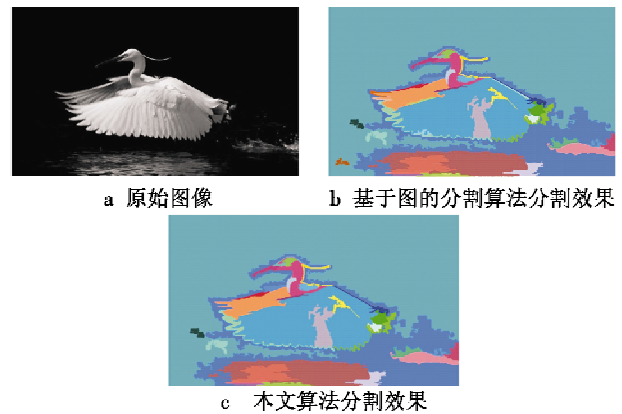


图6 水鸟分割效果图

Fig.6 Segmentation results of waterfowl image

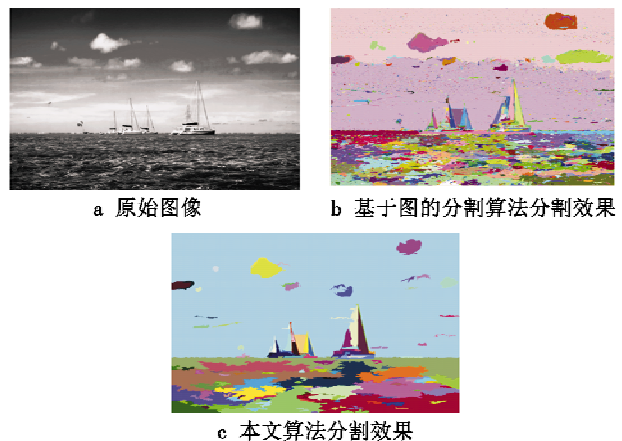


图7 帆船分割效果图

Fig.7 Segmentation results of sailboat image

的运行时间以验证基于图的并行分割算法的运算效率。由于在特定的硬件环境下,两种算法的运行时间都只与图像分辨率有关,而与图像内容无关,并且与像素数成线性正比关系,所以只比较一张图像的算法运行时间,即可获知两种算法的运算效率关系。本文使用图7中的原始图进行实验,图像像素大小为 1920×1200 ,两种算法的总运行时间和各步骤运行时间对比如表1所示。

表1 算法运行时间对比

Table 1 Runtime comparison of two algorithms ms

时间项	基于图的分割算法	基于图的并行分割算法
建图	3.773	1.572
边权值排序	17.960	6.383
区域合并	1.447	0.668
延迟边排序	0	1.055
延迟边合并	0	0.076
低权值边合并	0.865	0.429
总计	24.045	10.183

由表1可知,在时间消耗方面,除了增加延迟边排序和延迟边合并两项较少的时间开销外,在其余步骤中并行算法都比基于图的分割算法消耗的时间少,尤其在边权值排序时间上有着明显的优势,总时间也明显减少。该算法还可以通过使用具有更多核的处理器充分发挥并行优势,进一步减少运行时间。

3 结论

本文提出了一种基于图的并行分割算法,该算法对经典的基于图的分割算法进行改进。新算法采用并行算法结构,提升了算法的实时性,实验表明,并行分割算法的运行时间明显少于原算法。通过采取低权值直接合并策略,提高了算法的适应性和分割准确性。今后将继续研究区域合并策略,进一步提高算法的适应性和分割的准确性。

参考文献

- [1] 何俊,葛红,王玉峰. 图像分割算法研究综述[J]. 计算机工程与科学, 2009, 31(12):58-61.
- [2] OTSU N. A threshold selection method from gray-level histograms [J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 1979, 9(1):62-66.
- [3] 许晓丽. 基于聚类分析的图像分割算法研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学, 2012.
- [4] VON LUXBURG U. Tutorial: a tutorial on spectral clustering [J]. Statistics and Computing, 2007, 17(4):395-416.
- [5] YUH-TAY L. A contour tracing algorithm that preserves common boundaries between regions [J]. CVGIP Image Understanding, 1991, 53(3):313-321.
- [6] LINDBERG T, LI M X. Segmentation and classification of edges using minimum description length approximation and complementary junction cues [J]. Computer Vision and Image Understanding, 1997, 67(1):88-98.
- [7] 钮圣斌,王盛,杨晶晶,等. 完全基于边缘信息的快速图像分割算法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2012, 24(11):1410-1419.
- [8] NOCK R, NIELSEN F. Statistical region merging [J]. IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2004, 26(11):1452-1458.
- [9] 闵海. 基于区域型水平集方法的图像分割算法研究[D]. 合肥:中国科学技术大学, 2014.
- [10] OSHER S, SETHIAN J A. Fronts propagating with curvature dependent speed; algorithms based on Hamilton-Jacobi formulations [J]. Journal of Computational Physics, 1988, 79(1):12-49.
- [11] OSHER S, PARAGIOS N. Geometric level set methods in imaging vision and graphics [M]. Berlin: Springer-Verlag, 2003.
- [12] 徐京. 基于水平集的医学图像分割算法研究[D]. 长春:吉林大学, 2014.
- [13] 罗青青. 基于图论的图像分割技术研究[D]. 南京:南京邮电大学, 2014.
- [14] BOYKOV Y, VEKSLER O, ZABIH R. Fast approximate energy minimization via graph cuts [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2001, 23(11):1222-1239.
- [15] 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):1124-1137.
- [16] BOYKOV Y, FUNKA-LEA G. Graph cuts and efficient N-D image segmentation [J]. International Journal of Computer Vision, 2006, 70(2):109-131.
- [17] GRADY L. Random walks for image segmentation [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2006, 28(11):1768-1783.
- [18] ROTHER C, KOLMOGOROV V, BLAKE A. "GrabCut" - interactive foreground extraction using iterated graph cuts [J]. ACM Transactions on Graphics, 2004, 23(3):309-314.
- [19] FELZENSZWALB P, HUTTENLOCHER D. Efficient graph-based image segmentation [J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 59(2):11-33.
- [20] WASSENBERG J. Efficient algorithms for large-scale image analysis [M]. Karlsruhe: KIT Scientific Publishing, 2014.