

文章编号:1000-582X(2012)06-112-05

局部 C-V 主动轮廓模型快速图像分割算法

朱 雷^{1,2}, 杨 璟², 黄席樾¹

(1. 重庆大学 自动化学院, 重庆 400044; 2. 克拉玛依职业技术学院, 新疆 克拉玛依 833600)

摘 要:经典的 C-V 模型分割算法在处理较大尺寸图像时存在需多次迭代、运算时间长的缺点。在分析图像尺寸和初始逼近图像与获得稳定解的迭代次数与运算时间的关系的基础上,提出了一种改进的基于阈值分割及快速连通域标记算法的局部 C-V 图像分割算法,对大尺寸图像进行处理。采用 OTSU 算法对图像进行初步的阈值分割,再利用快速非递归连通域标记算法进行连通域的标记及图像的局部分片。对分片后的小块图像以其阈值分割的结果作为初始逼近图像采用 C-V 算法进行分割处理。算法分析及仿真结果证实,与经典 C-V 算法相比较,改进的算法能够以很少的迭代次数和很短的运算时间达到稳定解,能够对含有丰富轮廓细节的大尺寸图像进行快速有效的处理。

关键词:主动轮廓模型;图像分割;阈值分割;连通域

中图分类号:TP391.41

文献标志码:A

A fast image segmentation algorithm with local C-V active contour model

ZHU Lei^{1,2}, YANG Jing², HUANG Xi-yue¹

(1. College of Automation, Chongqing University, Chongqing 400044, P. R. China;

2. Karamay Institute of Technology, Kelamayi 833600, Xinjiang, P. R. China)

Abstract: For the typical C-V Algorithm, there exists the weakness of requiring multi-iterative operations and long time computation to deal with large size image. Based on the analysis upon the relationship between the image size and the initialized approaching image with the number of iterations and computing time to obtain the steady results, an improved local C-V image divisional algorithm based on the segmentation of threshold value and the connected domain labeled algorithm to deal with large size image is proposed. The OTSU method is used to divide the threshold value of image to reach the goal of label and local segmentation of image through the fast non-recursion algorithm of connected domains. The segmented pieces and the result of its segmentation are used as the initialized approaching image of the C-V algorithm model. Compared with the classical C-V algorithm, the analysis and simulated result indicates that the improved C-V algorithm reaches the steady solution quickly with fewer times of iterations. The proposed method can handle large size image with profound contour details quickly and effectively.

Key words: active contour model; image segmentation; threshold value segmentation; connected domain

图像分割是图像处理、计算机视觉、模式识别中的核心问题,分割的目的是为了进一步的分析、处理。它是图像分析的第一步,同时也是图像识别与

图像理解的重要组成部分。因此,图像分割的结果直接影响着后续分析与识别的结果。

常用的图像分割方法有很多种,总体上可以分

收稿日期:2011-12-01

基金项目:国家社科基金特别委托项目(06@ZH007)

作者简介:朱雷(1972-),男,重庆大学博士,主要从事图像处理技术方向研究,(Tel)13579175508;

(E-mail)xjzl@tom.com。

为 4 大类:第一类是基于图像直方图等全局信息的分割方法,在此类中灰度门限法是最简单也最有效的分割方法。第二类是基于边缘的图像分割方法,这类方法在边缘检测算子获得边缘图像的基础上,完成对图像方法所得到的边缘是间断的,所检测出的目标并不能够保证是完整的。第三类是基于区域的图像分割方法,是根据区域的相似性来直接寻找不同的区域,从而获得分割图像。如区域合并与分裂、区域生长法等。以上三类都是传统的基于数据驱动的图像分割方法。第四类是基于模型驱动的分割方法^[1],如主动轮廓模型^[2-3]、组合优化模型、目标几何统计学模型等。

传统的图像分割方法的效果都不够理想。近年来,基于偏微分方程和变分方法的分割方法成为主流的研究方面^[4-5]。其中由 M. Kass 提出的主动轮廓图像模型是这一领域的一个重大突破。Kass 等人认为,在很多图像理解任务中,由于底层事件需要依赖于高层知识,因此,他们提出了“snake”主动轮廓模型。其主要思想是约束满足要求的边缘的性质,形成一个能量极小泛函,通过曲线演化来分割图像^[6]。蛇模型是在曲线本身的内力和图像数据的外部约束力作用下产生移动的变形轮廓线^[7]。它的工作过程主要是利用能量最小化原理^[8],用可变形曲线 $v(s) = \{x(s), y(s)\}$ 来定义蛇模型^[9],其中 $s \in [0, 1]$ 。当定义的能量函数达到最小值时,判断曲线所在处为轮廓^[10]。由于该方法具有计算的高效性、简单性及特别适用于建模以及提取任意形状的变形轮廓等特点,因此,活动轮廓模型在图像分割、运动跟踪等领域有着广泛的应用^[11],目前也是计算机视觉领域最活跃的研究主题之一。

在经典的 snake 模型和基于边缘的主动轮廓分割模型中,使用依赖于初始图像或其光滑图像的梯度作为边缘检测算子来作为约束使演化曲线停止在目标轮廓上。但是梯度算子对噪声敏感,因此基于边缘的主动轮廓分割模型不能准确地定位边缘且会产生伪边缘,从而产生不正确的分割。T. F. Chan 和 L. Vese 就 MS 模型的极小分割问题提出了 MS 模型在两相分片数情况下的水平集实现问题,即 C-V 模型^[12]。C-V 模型与基于边缘的经典主动轮廓模型相比具有比较明显的优点:由于消除了梯度项,因此不必使用边缘停止函数,从而可以对没有明确边缘定义的图像进行分割;初始曲线可以任意选取,避免了经典主动轮廓分割模型中必须严格选取初始曲线,其必须在物体内部或外部的缺点;C-V 模型可以自动探测到目标的内部边缘^[13]。

经典 C-V 算法从初始曲线出发,对整幅图像进行处理。因此,当对大尺寸图像进行处理时,需要进行多次迭代,运算时间很长。先采用适当的方法对较大尺寸的图像进行阈值分割及合理的分片,以阈值分割的结果作为初始图像对分片的小尺寸图像采用 C-V 算法进行分割处理,能够有效地减小迭代次数,缩短处理所需的时间。

1 局部主动轮廓模型算法

1.1 局部分片主动轮廓模型

C-V 模型的优点在于,可以任意选取初始曲线,并能够自动探测到目标内部的轮廓。但由于探测过程需要重复迭代进行,因此,迭代次数的多少及每次迭代所耗费的时间决定着分割的效率。

经仿真分析发现,输入图像 u 的尺寸,对迭代次数及每次迭代所耗费的时间起着决定性的影响。取图像内容一样但尺寸不同的图像做为输入图像,进行同样次数的迭代处理,效果对照如图 1。

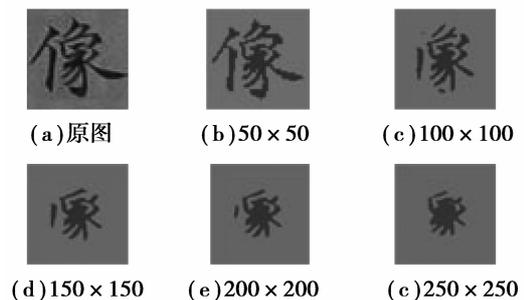


图 1 不同尺寸的图像迭代 10 次后效果对比

从图 1 所示的仿真效果分析可知,经过同样次数的迭代,尺寸较小的图像已经能够得到比较好的效果,而尺寸越大,离稳定解的差距越大。

再对尺寸不同的图像进行处理,直到获得稳定解,分析其所需的迭代次数及运算时间。

具体数据见表 1。

表 1 不同尺寸图像获得稳定解的迭代次数及运算时间

图像尺寸	迭代次数	运算时间/s
50×50	10	0.105 0
100×100	50	0.984 4
150×150	150	2.578 1
200×200	300	9.187 5
250×250	600	27.734 4

由仿真结果可知,随着输入图像尺寸的增大,获得稳定解所需的迭代次数及运算时间急剧增大。

基于表 1 的分析结果,将 250×250 的输入图像预先分成 25 块 50×50 的块,将每个分块单独作为输入图像以 C-V 模型算法进行分割处理,达到稳定解合计所需的时间为: $25 \times 0.1250 = 2.625/s$,仅为整块处理所需时间的 1/10 不到。即:由仿真结果可知,适当地将大尺寸的输入图像分解成小块的局部输入图像,分别进行分割处理,其总的运算时间能够得到有效的降低。

1.2 基于 OTSU 的预分割 C-V 模型

按照两相片光滑图像的模型,假设输入图像 u 定义在区域 Ω 上,有 2 个光滑区域 Ω_1, Ω_2 ,且 $\Omega = \Omega_1 \cup \Omega_2, \Gamma = \Omega_1 \cap \Omega_2$ 是边缘区域,希望找到一个光滑图像 u_0 来逼近 u 。C-V 模型不断迭代的过程就是一个逐渐逼近的过程。采用 C-V 模型进行轮廓探测时,一般以矩形或圆形做的初始的轮廓线并由此来初始化逼近图像 u 。因为初始的 u_0 是与 u 的无关,因此 u_0 需要多次迭代才能够逐渐逼近 u 。如果初始的 u_0 能够一定程度上逼近 u ,则能够以较少的迭代次数得到正确的分割图像。

按逐渐逼近的思路,先用其它方法寻找 u 的近似解。采用 OTSU 算法对图像进行阈值分割。

最大类间方差法计算简单、稳定有效,一直广为使用,是一种受到普遍欢迎的阈值选取方法^[14]。其基本思路是将直方图在某一阈值处分割成 2 组,当被分成的两组的方差最大时,得到阈值。因为方差是灰度图像布均匀性的一种量度,方差值越大,说明构成图像的 2 部分差别越大,当部分目标错分为背景或部分背景错分为目标都会导致两部分差别变小,因此使类间方差最大的分割意味着错分概率最小。

在 OTSU 方法中,阈值 t 把图像的像素分为 $C_0 = (0, 1, \dots, t)$ 和 $C_1 = (t+1, t+2, \dots, L-1)$ 两类(分别代表目标与背景)。

C_0 和 C_1 类的方差

$$\sigma_0^2 = \sum_{i=0}^t \frac{(i - \mu_0)^2 p_i}{\omega_0},$$

$$\sigma_1^2 = \sum_{i=t+1}^{L-1} \frac{(i - \mu_1)^2 p_i}{\omega_1}.$$

类间方差

$$\sigma_w^2(t) = \omega_0 \sigma_0^2 + \omega_1 \sigma_1^2.$$

类内方差

$$\sigma_B^2(t) = \omega_0 (\mu_0 - \mu_T)^2 + \omega_1 (\mu_1 - \mu_T)^2.$$

总体方差为 $\sigma_T^2(t) = \sigma_B^2 + \sigma_w^2$ 。

引入关于 t 的等价判决准则函数

$$\eta(t) = \sigma_B^2 / \sigma_w^2.$$

最优阈值 t^* 通过等价判决准则的最大值得到

$$t^* = \arg \max_{i=[0, L-1]} \eta(t).$$

即阈值 T 将图像分成目标、背景 2 部分,使得 2 类总方差取得最大值的 t ,即为最佳分割阈值。

将阈值分割的结果作为 CV 分割的初始值进行细分,以求得更好的分割效果。

1.3 基于阈值分割及快速连通域分片的局部 C-V 图像分割算法

从以上分析可知,尺寸较小的输入图像能够以快速地获得稳定解。而以接近分割结果的图像作为初始值再进行细分也能够以较少的迭代次数得到正确的分割图像。

一幅实际的图中可能包含多个相互分离的目标轮廓,如一篇文字的图片。以阈值法初步分割完毕后,采用一种快速非递归的连通域算法进行连通域的标记。

连通域的提取算法有多种,目前常见的有行程标记法、像素标记法、区域生长法等。行程标记法和像素标记法算法先对图像进行一次扫描、标记后,必须对标记结果再次进行递归等处理才能得到连通域^[15],随着图像像素和连通域个数的增多,算法复杂度也增加;区域生长法计算复杂度过高。有些改进的算法不能对分叉等一些复杂的连通形状进行处理,或不能识别大量数目的连通域等场合,不具有普遍的实用性。文献[16]中提出了一种带标记矫正的二值图像连通域像素标记算法,但对于向上分叉的图形,仍需进行一次以上的扫描。对像素标记法进行了研究并进行了改进,提出了一种通用的快速连通域标记算法。算法对二值图像只需进行一次扫描,对需要识别的目标进行标记,遇到分叉时即进行连通域的合并。因此,在扫描过程中就可得到已扫描区域中的连通域,一次扫描后,无需再进行任何处理,就得到了二值图像的连通域的正确划分。

连通域生成算法如下:

1) 从左至右、从上至下扫描图像。

如果扫描到的当前像素 A 是图像的边界点,则 A 点在图像以外的相邻点视为背景颜色处理。

2) 如果当前像素 A 是前景,则扫描处理下一个点。

如果像素 A 是背景,则进行一系列判断处理。

① 如果 A 点的左、左上、上、右上方 4 个相邻点都是背景,则 A 点不属于目前已扫描过区域的任何连通域,应是一个新的开始域的开始像素。

②如果 A 点的左、左上、上、右上方 4 个相邻点中有一个点 B 是背景点,则 A 点属于 B 点所在的连通域。

如果如果 A 点的左、左上、上、右上方 4 个相邻点中有不止一个点是背景点,此时将 A 点归属于第一个点(按左、左上、上、右顺序)所在的连通域,并需根据相邻背景点的个数、位置判断是否需要再进行连通域的合并。如果需要,则进行连通域的合并。

3)回到 2),进行下一个像素点的处理。

上述算法基本上与一般的像素标记连通域生成算法相同,但连通域的合并是在扫描中完成的,无需扫描完成后,对标记情况进行递归处理才能完成连通域的生成。

分析像素分布的各种情况:

在相邻像素有不止一个目标像素的情况下,可能的像素分布情况有如图 2 所示的 11 种。在第(a)、(b)、(c)、(d)、(g)、(h)、(j)、(k)种情况下,无需进行连通域的合并,只有在第(e)、(f)、(i)种情况下,需要进行连通域的合并。仔细分析可以总结出:当像素 A 的左、左上、上、右上位置像素中有 2~3 个目标像素,且正上方位置的像素为背景像素时,需要进行连通域的合并。

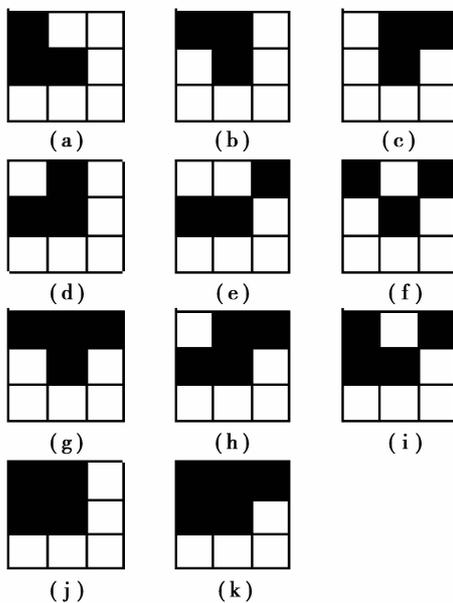


图 2 8 邻域连通像素分布情况

此算法仅对图像进行一次扫描,在扫描过程中分析目标像素点邻域像素的情况,当遇到向上分叉需要进行连通域的合并时,配合相应的数据结构进行连通域的合并。由于在扫描过程中即进行连通域的合并,因此,在多次分叉的复杂情况下,也能够正

确地对连通域进行合并。此算法适用于任意复杂图像、任何连通数目的连通域标记,由于只需要对图像进行一次扫描,扫描完成后无需再对标记结果进行递归处理进行连通域的合并,因此在算法复杂度及运算速度上有一定优势。

经典的 C-V 算法演变为

第一步:采用 OTSU 算法对整幅图像进行阈值分割;

第二步:采用快速非递归算法进行连通域标记;

第三步:对连通域根据其外接矩形的包围、相交情况进行适当的合并,并根据合并的情况将整幅图像切分成 N 幅小图像;

第四步:对每小图像,以阈值分割的结果作为初始的值,采用 C-V 算法进行细分。

2 仿真分析

取一幅 500×500 的图像作为需要进行分割的原始图像,分别以经典的 C-V 算法和改进的基于阈值分割及快速连通域分片的局部 C-V 图像分割算法进行处理,比较所需的运算时间(如图 3 所示)。

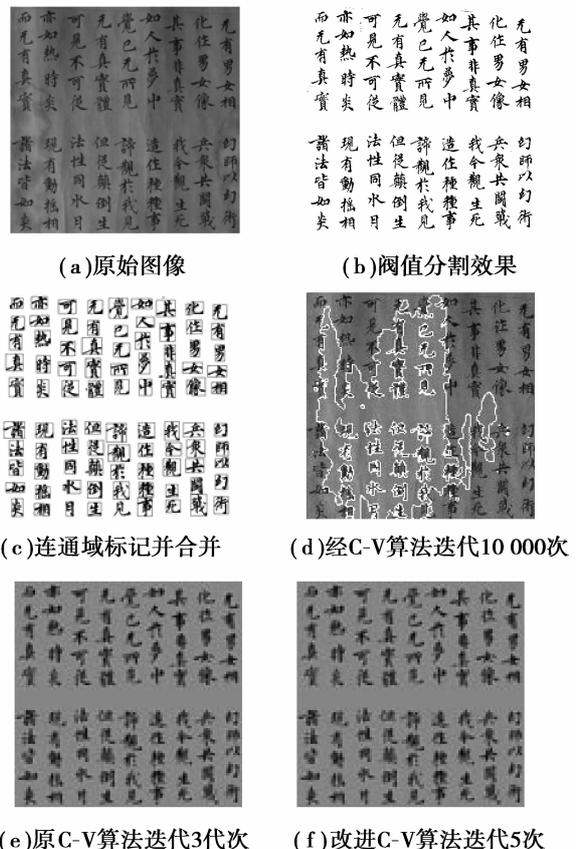


图 3 大尺寸图像分割效果对比

由于原始图像尺寸较大,且轮廓细节较多,采用

经典 C-V 算法对整幅图像进行处理,达到稳定解需要迭代 3×10^4 次,耗时 2 000 s。而采用改进的基于阈值分割及快速连通域分片的局部 C-V 图像分割算法仅需 2.358 0 s。在保证处理效果的前提下速度上得到了极大的提高。

3 结 论

传统的 C-V 模型分割算法在处理较大尺寸图像时存在需多次迭代、运算时间长的缺点。提出了一种改进的基于阈值分割及快速连通域分片的局部 CV 图像分割算法对大尺寸图像进行处理。算法分析及仿真结果证实,与经典 C-V 算法相比较,算法能够以很少的迭代次数和很短的运算时间达到稳定解。该算法对含有丰富轮廓细节的大尺寸图像能够进行有效的处理。

参考文献:

- [1] 王文哲,唐克伦,牟宗魁. 主动轮廓模型综述[J]. 机械设计与制造, 2009(8): 257-259.
WANG WEN-ZHE, TANG KE-LUN, MOU ZONG-KUI. An overview on active contour model [J]. Machinery Design & Manufacture, 2009(8): 257-259.
- [2] CHAN T F, VESE L A. Active contours without edges [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2001, 10(2): 266-277.
- [3] VESE L A, CHAN T F. A multiphase level set framework for image segmentation using the Mumford and Shah model [J]. International Journal of Computer Vision, 2002, 50(3): 271-293.
- [4] 刘皓挺,姜国华,王丽. 变形模板技术及其在多目标跟踪中的应用[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(4): 1073-1077.
LIU HAO-TING, JIANG GUO-HUA, WANG LI. Design of deformable template: a case for multi-object tracking [J]. Journal of System Simulation, 2006, 18(4): 1073-1077.
- [5] LI C M, KAO C Y, GORE J C, et al. Implicit active contours driven by local binary fitting energy [C] // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), June 17-22, 2007. Minnesota, USA; IEEE, 2007: 1-7.
- [6] WANG Y P, DANG C Y. An evolutionary algorithm for global optimization based on level-set evolution and latin-squares [J]. IEEE Transactions on evolutionary Computation, 2007, 11(5): 579-595.
- [7] WANG W Y. An active contour model for selective segmentation [C] // Proceedings of the International Conference on Computer Graphics, Image and Vision: New Trends, July 26-29, 2005. Washington DC, USA; IEEE, 2005: 111-116.
- [8] LIU H F, CHEN Y M, CHEN W F. Neighborhood aided implicit active contours [C] // Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), June 17-22, 2006. New York, USA; IEEE, 2006, 1: 841-848.
- [9] WONG W C K, CHUNG A C S. Bayesian image segmentation using local iso-intensity structural orientation [J]. IEEE Transaction on Image Processing, 2005, 14(10): 1512-1523.
- [10] 张开华,周文罡,张振,等. 一种改进的 C-V 主动轮廓模型[J]. 光电工程, 2008, 35(12): 112-116.
ZHANG KAI-HUA, ZHOU WEN-GANG, ZHANG ZHEN, et al. Improved C-V active contour model [J]. Opto-Electronic Engineering, 2008, 35(12): 112-116.
- [11] CASELLES V, KIMMEL R, SAPIRO G. Geodesic active contours [J]. International Journal of Computer Vision, 1997, 22(1): 61-79.
- [12] SANKUR B, SEZGIN M. Image threshold techniques: a survey over categories [J]. Pattern Recognition, 2001, 21(2): 24-31.
- [13] 王恺,靳简明,史广顺,等. 基于特征点的汉字字体识别研究[J]. 电子与信息学报, 2008, 30(2): 272-276.
WANG KAI, JIN JIAN-MING, SHI GUANG-SHUN, et al. Chinese font recognition based on feature point [J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2008, 30(2): 272-276.
- [14] 付强,丁晓青,蒋焰. 基于多信息融合的中文手写地址字符串切分与识别[J]. 电子与信息学报, 2008, 30(12): 2916-2920.
FU QIANG, DING XIAO-QING, JIANG YAN. Segmentation and recognition algorithm for Chinese handwritten address character string [J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2008, 30(12): 2916-2920.

(编辑 侯 湘)