

结合进化规划的图像分水岭分割技术

赵 珊^{1,2} 王 水¹

(河南理工大学计算机科学与技术学院 焦作 454000)¹

(南京邮电大学江苏省图像处理与图像通信重点实验室 南京 210003)²

摘 要 为了解决分水岭算法的过分割问题,提出用一种结合进化规划的控制标记符提取技术对图像进行预处理的分水岭图像分割方法。该方法基于进化规划的生灭过程,对传统分水岭分割中的图像目标区域进行重新标记,根据新标记的区域特点,重新设置图像目标区域的控制标记符。然后通过分水岭变换,实现图像的区域分割。实验结果表明,该方法既能有效解决分水岭算法的过分割问题,又保留了各种重要的目标区域,可以得到较满意的图像分割结果。

关键词 图像分割,分水岭算法,进化规划,控制标记符

中图法分类号 TP391 文献标识码 A

Image Watershed Segmentation with Evolutionary Programming

ZHAO Shan^{1,2} WANG Shui¹

(School of Computer Science and Technology, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China)¹

(Jiangsu Province Key Lab. on Image Processing and Image Communication, Nanjing University of

Posts and Communication, Nanjing 210003, China)²

Abstract In order to solve over-segmentation in watershed algorithm, this paper proposed a combination of evolutionary programming and control tags in image pre-processing technique of the watershed image segmentation method. The method was based on evolutionary programming Birth-death process, restructured structural elements of the control tags, and reorganized the minimum values for each of the marked points, with it modified the control tags and then doing watershed transform, achieved the image region segmentation. The experimental results show that the method can effectively solve the issue of over-segmentation in watershed algorithm, and still retaining a variety of important target area. And it can split the image characteristics and specific requirements by adjusting the segmentation process to get the satisfaction of selected parameters image segmentation results.

Keywords Image segmentation, Watershed algorithm, Evolutionary programming, Control tags

1 前言

基于数学形态学的分水岭算法是新发展起来的一种图像分割方法, Rafael C. Gonzalez 和 Beucher 等^[1]人最早提出将其应用于图像分割。Luc Vincent 和 Pierre Soille^[2]提出的算法是采用模拟浸没过程来实现分水岭变换,该算法利用了先进先出(first input first output, FIFO)的数据结构,提高了算法效率。分水岭算法具有较强的抑制噪声能力,可以得到单像素宽的、连通的、封闭的及位置准确的轮廓。但是,由于图像中的非规则灰度扰动和噪声等原因,直接运用分水岭算法进行图像分割时,通常会产生过度分割的现象。

本文借鉴控制标记符分割^[1,3]的思想,着眼于分割之前的预处理过程,提出一种结合进化规划和控制标记符提取技术的分水岭图像分割方法。实验结果表明,这种方法比单纯采用控制标记符方法更能有效解决分水岭算法的过分割问

题,能够得到较好的图像分割效果,并且不需要区域合并的后续过程,算法简便,运行效率有了较大的提高。

2 分水岭分割的内外控制标记符

用于控制过分割的一种方法是基于标记符的分水岭分割。标记符属于一幅图像的连接分量,标记符的选择可以涉及到尺寸、形状、位置、相对距离、纹理等内容。主要有内部标记符集合(处在每一个感兴趣对象的内部)和外部标记符集合(包含在背景中),可以用这些标记符来修改梯度图像。计算内部和外部标记符的方法有许多,包括线性滤波、非线性滤波及形态学处理。对于特定的应用,所选择的方法高度依赖于相关图像的特性。由于形态学技术实现的直观性和简单性,因此本文选择用形态学的方法来对处理图像。

在图像中,内部标记符主要指的是图像的局部灰度极小值点。因为图像的多数局部最小区域位置非常浅,并且表示

到稿日期:2010-06-02 返修日期:2010-10-02 本文受江苏省图像处理与图像通信重点实验室开放基金(ZK208002),河南省教育厅自然科学基金基础研究基金(2008B520015,2009B520013),河南理工大学博士基金(B2008-61, B2009-91)资助。

赵 珊(1975—),女,博士,副教授,主要研究方向为模式识别、基于内容的图像检索等, E-mail: zhaoshan_9228@163.com; 王 水(1977—),男,硕士生,主要研究方向为基于内容的图像检索等。

了与分割问题不相关的细节,所以为消除这些无关的小区域,要计算图像中的“低点”集合,即比周围点更深点的集合(通过某个高度阈值)。采用阈值法对经过形态学梯度重构的图像进行标记提取,以获取属于感兴趣目标的点。首先检测梯度图像中所有局部极小值点,判断每个极小值点是否大于指定阈值,将大于指定阈值的点标记出来。经过上述处理,将得到一幅二值图像,该图像的前景像素标记了在阈值为 T (T 为非负整数)时的深度局部最小值位置即

$$g_{m,T}^{kn} = \begin{cases} 1, & oc_{b,m}^{(rc)}(x,y) > T \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

选用的结构元素是 $b(x,y)$,且半径为 m 的“disk”结构元素,此时的形态学开闭重构运算记为 $oc_{b,m}^{(rc)}$,表示先进行开重构再进行闭重构运算。

对每个采用不同尺寸的结构元素进行形态学梯度重构的图像,分别求出其在指定阈值下的深度局部极小值的二值标记图像,然后按式(2)计算得到最终的极小值点标记图像。这样,可将不同尺寸的结构元素对图像的影响结合起来,既保证不同尺寸的重要物体可以被提取,又能将部分相关联的极小值区域连通起来,起到抑制过分割的作用。

$$g_T^{kn} = g_{T,T}^{kn} \cup g_{2T,T}^{kn} \cup \dots \cup g_{m,T}^{kn} \quad (2)$$

式中, m 代表进行多尺度形态学梯度重构时所采用的结构元素的最大半径。如图 1(b)是对图 1(a)进行形态学重构后最终提取出的极小值点标记。这里 $m=2, T=175$ 。

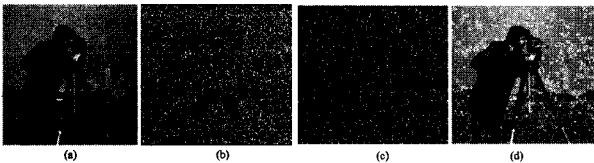


图 1 图像的内外标记符提取结果

在此基础上,必须寻找外部标记符或者属于背景的像素,而且要使外部标记符恰好位于每两个内部标记符中间的位置。这一点可以通过求解形态学梯度图像的分水岭问题来解决,如可计算内部标记符之间的距离的分水岭变换。图 1(c)显示了二值图像中的分水岭脊线。因为这些脊线位于内部标记符之间的中间位置,所以它们应该是很好的外部标记符。

得到内部和外部标记符后,就可用它们来修改梯度图像。可以使用强制最小技术^[4]修改灰度级图像,以便使局部最小区域仅出现在标记位置。这时,图像的前景像素标记出了输出图像中局部最小区域的期望位置。通过在内部和外部标记符的位置覆盖局部最小区域,可对灰度梯度图像进行修改。最后计算修改标记符后的分水岭变换,得到的分水岭脊线和原图像相加,结果如图 1(d)所示,可见分割结果有了很大的改进。

但是可以看出分割出的区域过于庞杂,不符合人的视觉特征,而且增加了图像下一步处理的复杂性。所以需要对外标记符集合进行处理,使其简化。同时,如果给图像再加上一个区域标记符,不但可以解决分水岭分割中所存在的过分割问题,而且能够更好地定义和提取出目标区域的主要特征。这些标记符不是简单地组合在一起,而是要用一种新的方法对这个标记符集合进行加工处理,使集合内的标记符的关系更加紧密,使标记符的复杂度进一步降低;并且用新的标记符集合对图像进行预处理后,再进行分水岭分割,可以有效地提

高分割算法的运行效率。

3 进化规划对标记符的提取和处理

进化规划是借鉴生物界的自然选择和进化机制发展起来的高度并行、随机、自适应搜索的算法,处理问题有随机性、全局性及并行性。所以,本文把进化规划算法应用到控制标记符的处理过程中,从而有效地提高了算法的执行效率。算法中,增加了一个综合区域边缘特征的区域标记符,采用这种方法分割的目标区域看起来更符合人们的视觉特点。并且用进化规划中的演化规则^[5]来提取区域标记符。同时,算法利用了演化规则对内外标记符集合做了进一步的处理,使其更趋于简单化,以便使本文算法变得更加有效和便捷。

3.1 进化规划处理图像的原理与过程

进化规划算法是遗传算法的一个分支,群体中具有遗传性质的个体会受到其周围邻域影响的思想的启发。随着周围邻域个体的殖民侵入,具有相同邻域的个体会被同样的邻域所影响,从而也会带有与邻域个体相似的多样性和殖民性。为保持向邻域学习与殖民之间的平衡,进化规划成为解决复杂问题的一种有效方法。其基本思想是:定义一个简单、可重复的运算规则,此规则反复的交互作用最终能得到复杂问题的全局最优解。而此处定义的运算规则即是演化规则。演化规则的定义要使最终所产生的结果(最优解)能够代表所求解问题的主要特征。

本文的具体操作是将进化规划中的一个个体看作一个像素,将其随机放置在二维网格中。通过加入演化规则后,网格中的像素经过一段时间的生死演化,犹如自然界中的生命繁殖和死亡,最终找到最优个体,从而实现对目标函数的优化。而像素的生死演化就是:定义初始像素的状态值,并且一个定义块的中心像素的状态由它周围邻域像素的状态所决定。所以,演化规则选取的不同会导致结果产生很大的变化。

3.1.1 进化算法主要步骤

- a) 像素空间初始化,将个体依次放置在网格内并随机确定像素的生死状态;
- b) 对个体像素进行进化规划的相关操作;
- c) 依次选择一个像素作为中心像素,加入演化规则,确定像素在下一时刻的状态;
- d) 若当前像素进化代数小于最大进化代数,则找到最优解,否则转向步骤 b);
- e) 输出当前最优解。

3.1.2 进化规划处理图像的原理

图像中进化规划的最基本 s 组成部分包括像素、像素空间、像素邻域及演化规则 4 部分。用数学符号来表示,标准的像素进化规划是一个四元组:

$$A = (L_d, S, N, f) \quad (3)$$

式中, A 代表一个像素进化规划系统。 L 表示像素空间, d 是一正整数,表示像素空间的维数。像素空间的划分可能有多种形式,最为常见空间划分有三角、四方或六边形 3 种网格排列。本文选取的是四方网格排列,其优点是直观而简单,适合在现有计算机环境下进行表达显示,如图 2 所示。 S 是像素有限的、离散的状态集合。每个像素,在每个时刻只有一个状态,如“生”或“死”,它们各自的状态会随时间发生变化。 N 表示一个所有邻域内像素的组合(包括中心像素)。每个像素至

少要有一个邻域,在一个固定距离的范围内,邻域可以直接访问它,而在此范围之外,对它没有直接的影响。 f 表示将“ S^t 映射到 S 上的一个局部转换函数”。转换规则定义了系统的动力学行为,规则定义了某像素在某个时刻、在某种情况下将转换到什么状态,每个像素可以有不同的转换规则,显然转换规则可以与当前的时刻相关。所有的像素位于 d 维空间上,其位置可用一个 d 元的整数矩阵来确定。

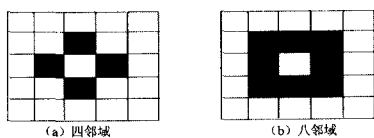


图2 四方网格中的四邻域和八邻域示意图

3.1.3 进化规划算法的演化规则及其描述

像素及像素空间只表示了系统的静态成分。为了能更为有效地模拟生物在自然界中的生死演化状态,将“动态”引入系统,必须通过加入演化规则的方法来实现这种动态演化。由于像素下一时刻的状态是由该像素在本时刻的状态及它的邻域的状态所决定的,因此在指定规则之前,必须定义一定的邻域规则,明确哪些像素属于该像素的邻域。本文的像素邻域采用图像处理中的8邻域、8方向,如图2(b)所示。它包括一个像素的上、下、左、右、左上、左下、右上、右下相邻8个像素为该像素的邻域。邻域半径 r 同样为1。

$$N = \{v_i = (v_{ix}, v_{iy}) \mid |v_{ix} - u_{ix}| \leq 1, |v_{iy} - u_{iy}| \leq 1, (v_{ix}, v_{iy}) \in Z^d\} \quad (4)$$

式中, u_{ix}, v_{ix} 表示邻域像素的行列坐标值, u_{iy}, v_{iy} 表示中心像素的行列坐标值。此时,对于四方网格,在维数为 d 时,一个像素的邻域个数为 $(3^d - 1)$ 。

3.2 提取区域标记符的具体步骤

从现有的一代像素计算下一代像素的步骤如下:

a) 每个拥有2个或者3个相邻前景像素的前景像素可以产生下一代;

b) 每个有零个、1个或至少4个相邻前景像素的前景像素会“死亡”,因为这种前景像素要么被“孤立”,要么“数目过多”;

c) 与2个或3个前景邻域相连的每个背景像素是一个“新生”像素,并且会变成一个“前景像素”。

在计算描述下一代图像的过程中,所有的新生和死亡会同时发生。具体计算过程如:

$$\begin{aligned} \text{若 } S^t = 1, \text{ 则 } S^{t+1} &= \begin{cases} 1, S^t \neq 2 \\ 0, S^t = 2 \end{cases} \\ \text{若 } S^t = 0, \text{ 则 } S^{t+1} &= \begin{cases} 1, S^t \neq 3 \\ 0, S^t = 3 \end{cases} \end{aligned} \quad (5)$$

式中, S^t 表示 t 时刻像素的状态, S^{t+1} 表示下一时刻的像素状态, S 为8个相邻像素中活着的像素数。现在,利用演化规则对图1(a)的图像进行处理。经过两代的运算和迭代后,其结果如图3(a)。可见,演化规则能够直接对图像显著区进行边缘特征的提取,只不过提取出的特征不是那么地连续,需要经过进一步的演化处理;如图3(b),即是 $t=200s$ 时图3(a)的演化结果,因为这个结果可以很明显地勾勒出显著区域的边缘特征,符合人眼的视觉特征,所以可以把它作为分水岭分割的区域标记符来应用。

若利用演化规则对内外控制标记符所形成的分割标记进

行先一步的处理,然后用于对图像的分割,也会得到意想不到的结果。如图3(d),是 $t=200s$ 时,对图3(c)进行演化规则处理后的结果,可以看到那些过于细小庞杂的区域不见了,这样会有利于对图像的进一步处理。

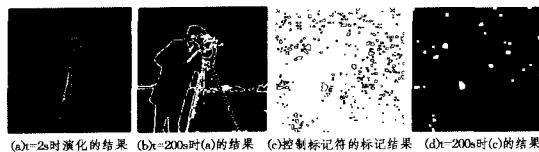


图3 图1(a)经演化规则后的结果

4 仿真试验和分析

为了验证本文算法的工作性能,采用Coerl图像库进行了图像分割实验,并与基于梯度的分水岭分割方法、基于标记符的分水岭分割方法进行了对比。实验中,选用SIMPLiCity系统使用的测试集(<http://wang.ist.psu.edu/docs/Related>)作为图像库,该测试集是从Corel图像库中选取的,共包含10类(包括Bus, Flower, Horse等)图像。其中,每类包含100幅图像。

本文采用的是Matlab 7.0仿真系统,CPU主频是2.0G,WINDOWS Vista操作系统,内存为2G。

为了检测算法的有效性,对“cameraman”图像分别用控制标记符分割方法、文献[3]的分割方法以及本文的分割方法进行分割试验。结果表明,在运行环境以及各种参数都相同的情况下,控制标记符分割方法耗时1.97s,文献[3]的分割方法耗时1.59s(由于运行的环境不同,因此本文试验中对文献[3]的分割方法,在同参的情况下,运行时间有所提高。例如文献[3]中的试验结果为3.53s时,本系统用时为1.59s),而本文的分割试验耗时1.04s。由于对单个图像进行分割试验,所产生的优势效果不是很明显。因此,本文对Corel图像库中的每类图像进行分割试验,即分别对每类中的100幅图像进行分割试验,并计算分割每类图像的时间开销,最后计算总的时间开销。具体数据如表1所列。从表中可以看到,综合分割1000幅图像的时间开销来看,本文分割算法的执行效率有了较大的提高,例如它比梯度分割算法提高了22.7%,比标记符分割算法提高了11.3%。

表1 几种分割算法所用的时间

类名 (每类100幅图像, 共计1000幅图像)	基于梯度的算法 (s)	基于标记符的算法 (s)	本文算法(s)
Bus	113.37	99.19	87.39
Flower	107.15	99.23	89.31
Horse	103.43	97.31	90.15
Elephant	102.27	97.14	87.53
Person	117.51	99.47	86.17
Beach	109.13	96.53	85.43
Forest	121.19	100.07	85.57
Mountain	109.31	95.39	86.19
Dinosaur	103.11	95.59	87.27
Architecture	104.14	97.13	86.46
Total	1091.01	977.05	871.47

为了验证所述方法的分割效果,对图1(a)中“cameraman”图像进行了图像分割实验。本文方法在实验过程中涉及到4个参数的选取,它们分别是标记过程中指定的阈值 T 、

(下转第282页)

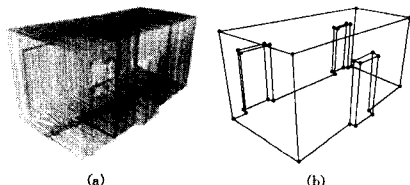


图6 真实场景点云处理实例

结束语 本文提出了一种离散点云原始几何形状及特征曲线抽取算法,这将有利于分段光滑的表面网格建立。该算法能够正确地估计离散点云的法矢及噪声,高效地抽取任意原始形状,并利用统计优化模式处理原始形状边界及原始形状交叉处的尖锐特征线。在将来的工作中,可考虑将本文提出的算法与其他重构技术融合以对曲面区域的细部特征进行处理,以避免细部原始形状探测失败及遗失问题。

参考文献

[1] Hoppe H, DeRose T, Duchamp T, et al. Piecewise smooth surface reconstruction[C]//Proceedings SIGGRAPH. 2001;245-232
 [2] 邱航,陈雷霆. 基于点的计算机图形学研究及进展[J]. 计算机科学, 2009, 36(6): 10-15
 [3] Alexa M, Behr J, Cohen-Or D, et al. Computing and rendering point set surfaces[J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2003, 9: 3-15
 [4] Ohtake Y, Belyaev A, Alexa M, et al. Multi-level partition of u-

nity implicits[C]//Proceedings SIGGRAPH'05. 2005;145-153
 [5] Kazhdan M, Bolitho M, Hoppe M. Poisson surface reconstruction[C]//Proceedings Symposium on Geometry Processing (SGP'06). 2006;78-88
 [6] Alliez P, Cohen-Steiner D, Tong Y, et al. Voronoi-based variational reconstruction of unoriented point sets[C]//Proceedings Symposium on Geometry Processing (SGP'07). 2007;345-356
 [7] Diebel J R, Thrun S, Bruenig M. A bayesian method for probable surface reconstruction and decimation[J]. ACM Transactions on Graphics, 2006, 25: 39-59
 [8] 胡事民,杨永亮,来煜坤. 数字几何处理研究进展[J]. 计算机学报, 2009, 32(8): 1-18
 [9] Weyrich T, Pauly M, Heinzle M, et al. Post-processing of scanned 3d surface data[C]//Symposium on Point-Based Graphics (PBG'04). 2004;56-68
 [10] Jenke P, Wand M, Bokeloh M, et al. Bayesian point cloud reconstruction[C]//Computer Graphics Forum (EG'06). 2006, 25(3): 379-388
 [11] Kalogerakis E, Simari P, Nowrouzezahrai D, et al. Robust statistical estimation of curvature on discretized surfaces[J]. ACM Siggraph Symposium on Geometry Processing, 2007, 6: 13-22
 [12] Dupont L, Lazard D, Lazard S, et al. Near-optimal parameterization of the intersection of quadrics[J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2008, 2: 44-56
 [13] Gumhold S, Wang X, MacLeod R. Feature extraction from point clouds[J]. ACM Transactions on Graphics, 2007, 14: 129-137

(上接第 267 页)

结构元素的最大半径 m 、8 邻域像素中活着的像素数 S 以及演化所用时间 t 。如果分割过程中选用的参数不同,分割结果也有很大不同。如 T 的选取将影响图像分割的区域个数和分割细节,参数取值越小,被形态学开闭重构运算滤除的小于结构元素的细小成分越少,在标记过程中标记出的大于阈值的极小值越多,所以图像分割出的区域数目越多,分割出的细节越多。在此试验中, T 依据所选图像的灰度直方图的最小阈值来选取,对于图 4(a)的“cameraman”图像, $T=175$ 。结构元素 m 的选择,由于提取的是区域的边缘特征,所以要把 m 的值固定化。当 $m=2$ 时,对于提取区域的边缘特征比较有利。而 S 和 t 的选择是紧密相连的,如式(5)那样。经过算法自动进化试验,证明当 $S=3$ 时,所提取出的区域边缘特征连续性最佳,过小则边缘上的断点增加,过大则会产生大量的不必要的特征。至于演化时间 t 的选择,经过对多幅图像的演化试验证明,当 $t=200s$ 时,对区域的边缘特征的演化结果最为理想,过小则演化出的边缘特征模糊杂乱,时间过长则演化的边缘特征过于宽泛,会失去许多其它特征。因此设置仿真系统的最大演化时间为 $t=200s$ 。图 4(b)为采用控制标记符方法,当 $m=2, T=175$ 时对“cameraman”图像进行分割的结果。图 4(c)为采用本文方法,当 $S=3, t=200s, m=2, T=175$ 时对“camera man”图像进行分割的结果。可以看到本文方法的分割结果更符合人的视觉特性。

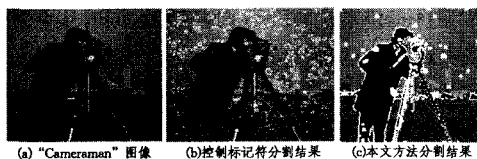


图4 分割实验结果

结束语 本文通过对现有分水岭算法的分析,将进化规划和标记提取方法结合使用对图像进行预处理,再进行分水岭分割。这种方法有效地解决了过分割问题,同时采取的所有措施都放在分水岭分割之前的预处理中进行,分水岭变换之后没有区域合并操作,方法比较简便。同时,本方法基于进化规划的概念进行区域标记符的提取,快捷而有效;其演化规则还可以对内外标记符进行预先整合,使其更加符合分割的视觉特性。该方法既有效解决分水岭算法的过分割问题,又保留了显著区域的重要目标。另外,可以根据图像特点和具体的分割要求,调整分割过程中所选参数,得到不同的图像分割效果,具有一定的灵活性。

参考文献

[1] Gonzalez R C. 数字图像处理 (MATLAB 版)[M]. 阮秋琦,等译. 北京:电子工业出版社, 2005; 315-319
 [2] Vincent L, Soille P. Watersheds in digital spaces; an efficient algorithm based on immersion simulations[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1991, 13(6): 583-598
 [3] 王宇,陈殿仁,沈美丽,等. 基于形态学梯度重构和标记提取的分水岭图像分割[J]. 中国图象图形报, 2008, 13(11): 2176-2180
 [4] Soille P. On the Morphological Processing of Objects with Varying Local Contrast[C]//DGCI. 2003; 52-61
 [5] Dorrnsoro B, Alba E. A simple cellular genetic algorithm for continuous optimization[C]//Proc of IEEE Congress on Evolutionary Computation. 2006; 2838-2844
 [6] 吴昊,刘正熙,罗以宁,等. 改进多尺度分水岭算法在医学图像分割中的应用[J]. 计算机应用, 2006, 26(8): 1975-1979
 [7] 孔俊,张竞丹,吕英华,等. 一种基于规则的脑组织磁共振图像分割新方法[J]. 计算机科学, 2006, 33(2): 237-241