

一种基于标记的分水岭图像分割新算法

高丽^{1),2)} 杨树元¹⁾ 李海强³⁾

¹⁾(中国科学院研究生院, 北京 100039) ²⁾(中国科学院声学研究所数字系统集成部, 北京 100080)

³⁾(Sonyericsson 中国研发中心, 北京 100102)

摘要 为了降低分水岭算法的过分割问题,提出一种新改进的基于标记的分水岭图像分割方法。该方法是在分水岭算法的基础上,算法直接应用分水岭在原始梯度图像而非简化之后的图像进行分割,从而保证没有物体边缘信息的丢失。与此同时,新算法设计一种新的标记提取方法,从梯度的低频成份中提取与物体相关的局部极小值。它们将构成二值标记图像。然后,将提取的标记利用形态学极小值标定技术强制作为原始梯度图像的局部极小值,而屏蔽梯度图像中原有的所有局部极小值。最后,分水岭在经过修改之后的梯度图像上进行图像分割,最终获得较好的图像分割结果。利用本文提出的图像分割算法可以获得较为理想的图像分割结果。通过对不同类型的图像进行试验,证明本文提出的图像分割算法能够获得符合人类视觉特点,具有实际意义而且一致的分割区域,以及较为准确、连续、一个像素大小的物体边界。与其他的水分岭改进方法相比,本文提出的方法要求的计算复杂度较低,具有简单的参数,同时能够更为有效地降低分水岭算法的过分割问题。

关键词 图像分割 彩色图像的梯度图 巴特沃思低通滤波 数学形态学 标记提取 分水岭

中图分类号: TN919.81 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2007)06-1025-08

New Unsupervised Image Segmentation via Marker-Based Watershed

GAO Li^{1),2)}, YANG Shu-yuan²⁾, Li Hai-qiang³⁾

¹⁾(Graduate school of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039)

²⁾(Department of Digital System Integration Technique, Institute of Acoustics, CAS, Beijing 100080)

³⁾(Sonyericsson R&D Center, Beijing 100102)

Abstract This paper suggests an improved marker-based watershed image-segmentation method to reduce the over-segmentation of the watershed algorithm. The new method applies the watershed transform directly on the original gradients image instead of simplified image, so that the loss of boundary information can be avoided. On the other hand, we design a new marker-extracted approach to extract the regional minima related to the objects from the low frequency components of the gradients. These extracted minima constitute the binary marker image. And then the extracted markers are imposed on the original gradients as its minima, while all its intrinsic minima are suppressed. Finally, the watershed algorithm is applied to the modified gradients by the markers to reduce effectively the over-segmentation. Across a variety of image types, it is proven that this new method can obtain meaningful and homogeneous regions with accurate, consecutive and one-pixel wide boundary. Compared with other methods, this system requires fewer computations and simpler parameters and can more efficiently reduce the over-segmentation of the watershed algorithm.

Keywords image segmentation, color image gradients, Butterworth filter, mathematical morphology, marker extraction, watershed

基金项目:中国科学院海外杰出学者基金项目(E09JJ02)

收稿日期:2005-11-15;改回日期:2006-03-03

第一作者简介:高丽(1978~),女。现为中国科学院博士研究生。主要研究方向为数字图像处理、视频序列物体分割与视频分割、多媒体芯片。E-mail: future_gao@hotmail.com

1 引言

图像分割是更高层次图像与视频分析的基础。尤其随着通信网络的出现,基于对象的视频分割技术,成为基于内容的检索、编码和视频数据库操作的关键技术之一。时间-空间域相结合是视频分割技术的主流方法之一,考虑到空间域图像分割在视频分割中的重要性,本文专门针对目前比较流行的分水岭分割技术进行研究,使其有助于视频运动物体的分割提取。分水岭算法是基于时间-空间域相结合的视频分割技术普遍采用的一种空间域分割方法^[1~4]。但是,它本身存在严重的过分割问题。因此,有效降低过分割问题是目前人们研究的焦点之一。

目前主要有两类方法解决分水岭的过分割问题。第一种属于后处理,针对分水岭分割后的结果,根据某种准则,进行区域合并^[5,6]。这种方法计算量比较大,比较耗时。第二类属于前处理,它是基于标记提取的分水岭分割算法^[7,8]。每一个标记对应着图像中的一个物体。因此,基于标记的分水岭算法在解决过分割问题时,重点是标记的有效选取上。

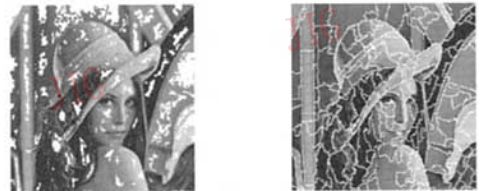
Vincent^[9]于 1991 年提出了著名的基于浸沉技术的分水岭检测算法,成为众多后来改进的分水岭算法的一个很好的基础,使其逐步得到完善。本文提出的算法也是基于 Vincent 和 Soille 算法的基础上进行改进的。分水岭算法借助了地形学的概念,其本质上是一种区域增长算法,所不同的是,它是从图像中的局部极小值开始进行增长的。由于暗噪声和暗纹理细节的影响,在图像中会存在大量的伪极小值,这些伪极小值在图像中产生相应的伪积水盆地。因此,每一个伪极小值将和那些真正的极小值一起被作为一个独立的区域通过分水岭算法分割出来,最终造成分水岭严重的过分割问题。

我们分析了分水岭在一般的改进方法中存在的一对矛盾体,即为了减少噪声而进行的图像简化与保护图像中物体的边界不受破坏之间的矛盾,提出了一种新颖的基于标记提取的分水岭分割方法,该方法可以有效地减少上面提到的这对矛盾,从图像中提取出与各物体相关的局部极小值作为分割算法的标记。

2 新算法的概况及其原理

分水岭的改进算法^[5~8]通常是在简化之后的图

像上进行的,这使得图像简化时,必须考虑保护物体的边缘信息。因此,简化之后的图像中仍然存在相当多的伪极小值,以它作为分水岭算法的分割图像,仍然存在较为严重的过分割现象,例如文献[5]的图 9 所示。文献[7]利用数学形态学中的面积算子进行图像简化,在保证图像简化的同时,不对图像中的物体边缘信息产生破坏。图 1 给出文献[7]中图像简化方法的实验结果,图 1(a)给出简化后图像伪极小值(各种大小的白色区域)的分布情况,图 1(b)给出直接在简化后的图像而没有联合其他方法的基础上,进行分水岭分割算法的分割结果。从实验结果看出,简化之后的图像中仍然存在相当多的伪极小值,这些极小值造成了过分割问题。因此,必须联合其他的复杂算法来减少图像的过分割问题。所以,图像简化的过程只能在较小的程度上消除部分噪声,而大量的噪声由于考虑到保护图像的边缘信息而不能得到有效地去除,所以这种传统的处理问题的方式,势必造成图像简化与保护物体的边缘信息之间的矛盾体地出现。



(a) 伪局部极小值

(b) 在简化后的图像上
分水岭分割结果

图 1 Lena 图像简化结果

Fig. 1 Simplified image for Lena

新算法中,直接采用原始图像的彩色梯度图像而非简化之后的图像,作为分水岭算法的分割图像,这样可以保证没有任何边缘信息丢失。与此同时,新算法将提取的标记强制作为分割图像的局部极小值,同时抑制分割图像中原有的所有局部极小值。最后,在经过修改之后的分割图像上进行分水岭分割,最终获得理想的图像分割结果。

基于标记的方法,是一种比较好的思路,关键在于寻找一组与图像中各个物体区域相关的标记或者说种子点。理论上,可以通过某种特征检测的方法从图像中提取与物体相关的标记。物体的特征属性一般包括图像的局部极值、平坦的区域、纹理一致的区域等^[10]。新算法提出一种新颖且有效的标记提取方法,它是从原始梯度图像的低频成份寻找与物

体相关的局部极小值作为标记,构成标记图像。新算法提取标记的思路基于如下一种考虑:根据图像的照度-反射模型^[11],照度量通常以空间域的慢变化为特征,反射分量通常引起突变。这些特性导致图像的低频成份对应着图像的基本内容,而图像的高频成分与对应着图像的边缘、纹理细节和噪声。因此,图像的低频成份中,局部极小值与图像中的各个物体具有强烈的相关性。新算法中借助这个模型对实际问题进行分析,将该模型应用于彩色梯度图像,进行合理的标记提取。

由于新算法仅仅采用图像的低频成份来提取局部极小值,新算法可以均匀且有效地消除图像中的暗噪声,包括那些较深的暗噪声。另一方面由于分水岭算法是在标记修改极小值后的原始梯度图像上进行的,所以可以保证分水岭分割图像的边缘信息没有受到影响。因此,引言中提到的关于图像简化与保护物体边缘之间的矛盾可以被较好地减轻,实现有效地自动获取与物体相关的极小值标记的目的。实验结果证明了该思路的合理及分割有效性。如图 2 所示,给出了新算法的总流程图。

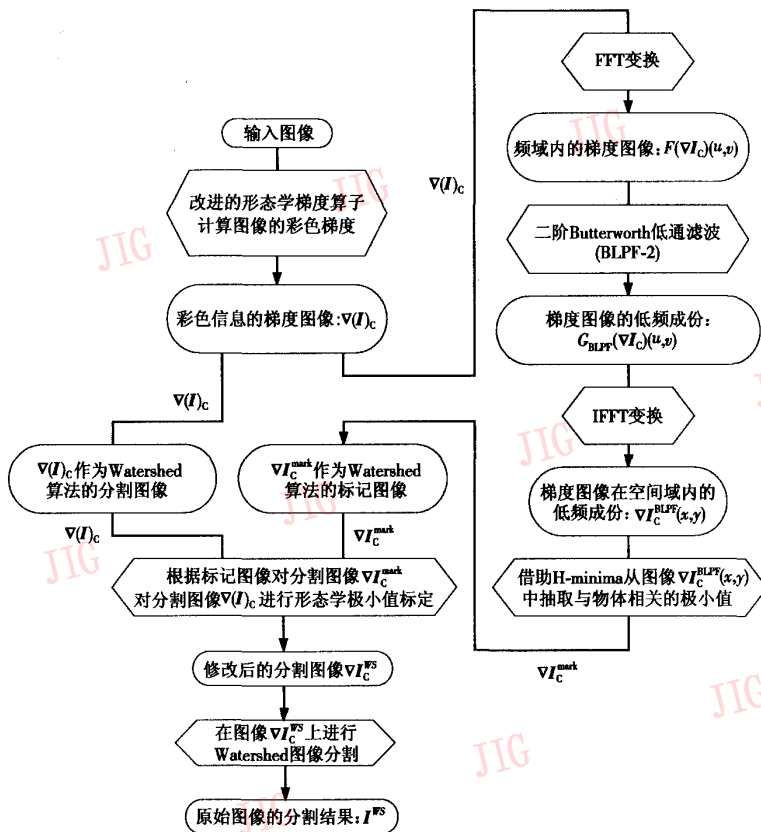


图 2 新算法总流程图

Fig.2 Block diagram of the segmentation

3 彩色图像的梯度计算

梯度图像能更好地反映图像的变化趋势,实践证明,分水岭算法与图像的梯度有更大的联系,而非图像本身^[11]。在梯度图像上进行分水岭算法分割,比在原始图像上分割得到的结果更加准确,所以梯度图像更适合作为分水岭算法的分割图像。利用灰

度级的数学形态学梯度算子可以取得较好的效果,这是因为形态学梯度使输入图像灰度级的跃变更为急剧,与空域中模板求取的梯度相比,对称结构元素得到的形态学梯度对边缘的方向性依赖更小。具体的形态学梯度计算过程如下:

定义 1 假定 $I(x, y)$ 代表一幅图像, D_I 表示图像 I 的定义域, M_n 表示一个尺寸为 n 结构单元,那么数学形态学的腐蚀和膨胀定义如下:

膨胀 (dilation):

$$\delta_n(I)(x, y) = \max \{ I(x - x_0, y - y_0) \mid (x - x_0, y - y_0) \in D_I; (x_0, y_0) \in M_n \} \quad (1)$$

腐蚀 (erosion):

$$\varepsilon_n(I)(x, y) = \min \{ I(x + x_0, y + y_0) \mid (x + x_0, y + y_0) \in D_I; (x_0, y_0) \in M_n \} \quad (2)$$

定义 2 图像 $I(x, y)$ 的形态学梯度的定义如下:

$$\nabla(I)(x, y) = \delta_1(I)(x, y) - \varepsilon_1(I)(x, y) \quad (3)$$

式中, $\nabla(\cdot)$ 代表形态学梯度, $\delta_1(I)$ 表示利用尺寸为 3×3 大小的形态算子对图像 I 进行膨胀操作, $\varepsilon_1(I)$ 表示利用同样尺寸的形态算子对图像 I 进行腐蚀操作, $\nabla(I)$ 表示图像 I 的梯度。

考虑到亮度分量的梯度信息是不完整的, 新算法中结合彩色信息, 计算彩色分量的梯度图。尽管 RGB 色彩空间并不符合人类的视觉特点, 但实践证明采用 RGB 分量进行分割也同样可以获得较好的分割结果, 与其他的色彩空间相比, 差别并不大。本文在进行算法试验时采用了 RGB 空间。新算法中, 计算彩色梯度的方法是文献[12]中提出的 6 种方法中的方法 1, 实验证明, 该方法在 6 种方法中可以获得较好的分割结果, 而且较为简单、稳健。如果读者对其余的 5 种方法感兴趣的话, 可以参见文献[12]。具体过程如下:

$I_i (i=1, 2, 3)$ 代表 RGB 色彩空间中的 3 个彩色分量图像。 $\nabla(I)_c$ 代表彩色信息的形态学梯度图像:

$$\nabla(I)_c = V \{ \nabla(I_1), \nabla(I_2), \nabla(I_3) \} \quad (4)$$

式中, V 代表提取最大值, 即分别计算 3 个分量对应原色图像的形态学梯度, 选择最大的分量梯度作为彩色图像的梯度。 $\nabla(I_i)$ 代表各彩色分量图像的形态学梯度图像, 计算梯度的方法采用的是前面提到的改进后的梯度计算方法。通过计算彩色图像的梯度, 可以将彩色图像最终转换为 256 级的灰度图像。

4 标记的提取

4.1 梯度图像的低通滤波

新算法将低通滤波器应用到梯度图像 ∇I_c , 从而计算得到图像的低频成分。实验结果表明, 从梯度图像的低频成分中提取与物体相关的极小值比从原始图像的低频成分中提取更加准确。这是因为梯度图像能够增强图像中的噪声, 同时削弱那些灰度较为平坦的区域, 从而加大图像的基本内容与噪声

之间的差异。那些孤立的噪声被进一步地凸现出来, 从而使得滤波器能够更容易滤除图像中的噪声。前面通过计算彩色图像的梯度, 已经将彩色图像转换为 256 级的灰度图像, 所以, 可以很方便地对其进行低通滤波处理。

4.2 彩色梯度图像的二阶 Butterworth 低通滤波

通过实验发现, 新算法中使用二阶的 Butterworth 低通滤波 (BLPF-2), 分割结果相对较好, 它是有效的低通滤波与可接受的振铃特性之间的折衷。高斯低通滤波器 (Gaussian) 在相同截止频率下, 平滑程度不如 Butterworth 低通滤波器。实验分析了各种参数下的高斯低通滤波器, 实验结果均不如二阶的 BLPF 理想, Gaussian 常常在需要保护物体边缘不会受到破坏的时候才考虑被采用。

中值滤波器是一种常用的非线性空域滤波器。它可以消除孤立噪声点的同时, 让图像产生较少的模糊。将中值滤波器替代二阶 BLPF, 分别采用 3×3 模板、 5×5 模板进行实验。实验表明, 噪声的平滑不如 BLPF 均匀与合理, 有些区域呈现噪声集中的情况, 仍然存在若干不合理的小区域, 而有些区域平滑程度过大, 易导致漏灌出现, 倘若加大平滑程度, 用以滤除残留的噪声, 就会使得更多的区域出现漏灌的情况。

在进行频率域的二阶 BLPF, 获得低频成分之前, 首先将梯度图像 ∇I_c 经过 FFT^[11] 变换到频率域中,

$$F(\nabla I_c)(u, v) = \mathfrak{F}[\nabla I_c(x, y) (-1)^{x+y}] \quad (5)$$

然后, 将二阶 BLPF 应用到频域内的梯度图像 $F(\nabla I_c)(u, v)$ 中, 用以获得其低频成分

$$G_{\text{BLPF}}(\nabla I_c)(u, v) = H_{\text{BLPF}}(u, v) \times F(\nabla I_c)(u, v) \\ = \frac{1}{1 + (\sqrt{2} - 1) \{ [(u - M/2)^2 + (v - N/2)^2]^{1/2} / D_0 \}^{2N}} \times F(\nabla I_c)(u, v) \quad (6)$$

式中, $G_{\text{BLPF}}(\nabla I_c)(u, v)$ 代表经过 BLPF-2 处理之后获得的低频成份, 它需要通过 IFFT 算法从频率域变换到空间域。最终, 彩色图像梯度在空间域内的低频成份被获得, 用 $\nabla I_c^{\text{BLPF}}(x, y)$ 来表示,

$$\nabla I_c^{\text{BLPF}}(x, y) = (-1)^{x+y} \mathfrak{F}^{-1}[R[G_{\text{BLPF}}(\nabla I_c)(u, v)]] \quad (7)$$

式中, $R(\cdot)$ 代表对 $G_{\text{BLPF}}(\nabla I_c)(u, v)$ 进行取实部计算。

4.3 标记的提取

新算法中, 提出借助数学形态学中的 H-minima 技术^[13] 从 4.2 节中获得低频成份 $\nabla I_c^{\text{BLPF}}(x, y)$ 中来提取与图像中的各个物体相关的局部极小值, 然后

构成二值标记图像,用 ∇I_c^{mark} 代表二值标记图像。H-minima技术的基本原理是,通过与给定的阈值 h_i 进行比较,消除那些积水盆深度低于阈值 h_i 的局部极小值,类似于灌水填平浅水盆地的过程^[7]。H-minima的计算过程由(8)~(10)式给出。

积水盆深度 h 定义为图像中某一区域边界处最小梯度值($\nabla I_c^{\text{Exterior}}_{\min}$)与区域内部的最小梯度值($\nabla I_c^{\text{Interior}}_{\min}$)之间的差值:

$$h = (\nabla I_c^{\text{Exterior}}_{\min} - (\nabla I_c^{\text{Interior}}_{\min}) \quad (8)$$

H-minima是通过抑制 $\nabla I_c^{\text{BLPF}}(x,y)$ 的所有局部极小值中,极小值深度 h 小于给定阈值 h_i 的局部极小值,可以通过下面的方程式实现:

$$T = R_{\nabla I_c^{\text{BLPF}}}^{\text{rode}}(\nabla I_c^{\text{BLPF}} + h_i) - \nabla I_c^{\text{BLPF}} \quad (9)$$

$$\nabla I_c^{\text{mark}} = \begin{cases} 0 & T(p) \leq 0, p \in \nabla I_c^{\text{BLPF}} \\ 1 & T(p) > 0, p \in \nabla I_c^{\text{BLPF}} \end{cases} \quad (10)$$

式中, ∇I_c^{mark} 代表提取的标记图像。 $R_{\nabla I_c^{\text{BLPF}}}^{\text{rode}}(\nabla I_c^{\text{BLPF}} + h_i)$ 表示根据图像 $\nabla I_c^{\text{BLPF}}(x,y)$,对图像 $\nabla I_c^{\text{BLPF}} + h_i$ 进行腐蚀操作^[10]。

在图像的照度-反射模型中,图像的低频成份与高频成份是一个相对的概念,它们之间并不存在严格的界限^[11]。但比较确定的是,应该首先在较大程度上滤除掉高频成份,基本得到低频成份,大部分的暗噪声被滤除。成功的标记提取将由截止频率 D_0 与H-minima阈值 h_i 共同决定。参数 D_0 的选取一般小于30,大多集中在10~20之间,而阈值 h_i 的范围一般为2~4之间。依靠共同调节参数 D_0 和阈值 h_i ,从而获得合理与满意的图像分割结果。

传统应用H-minima方法是在简化之后的图像上进行的。正如第2节中提到的那样,简化之后的图像仍然存在相当多伪局部极小值。在图像中的局部极小值之中,必然有一些真正的区域极小值的深度要比某些由暗噪声引起的伪区域极小值的深度浅。如果要消除那些较深的伪区域极小值,就必须采用较大的阈值 h_i ,这必定导致那些深度低于这些暗噪声的真正的物体区域与周围相邻的区域相合并,破坏物体的边界。新算法在4.2节得到的低频成份中,暗噪声包括那些深度较深的暗噪声已经被均匀且有效的滤除,当H-minima应用到图像 $\nabla I_c^{\text{BLPF}}(x,y)$ 中时,与图像中物体相关的局部极小值可以较为准确地被提取。

如图3所示,用原理图来说明传统方法中,H-minima技术应用到简化后的图像时存在的问题。

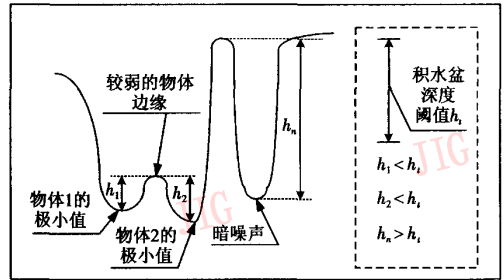


图3 H-minima 技术应用到简化后的图像时存在的问题

Fig.3 Problem in the simplified image processed by the H-minima

图4(a)给出了简化之后的图像上直接进行分水岭分割的结果,存在较严重的过分割,图4(b)给出了采用H-minima技术抑制伪局部极小值,阈值 h_i 为3时部分减少过分割区域,图4(c)中增大阈值 h_i 为4时,仍然存在部分深度较深的伪局部极小值,例如:Lena的肩膀、帽子、脸部,以及背景等多出仍存在不合理的过分割。而此时已经有物体的边缘开始受到破坏,例如:帽子的边缘已经受到破坏。图4(d)中H-minima技术应用到文中提出的新算法的分割结果($h_i=4$)。

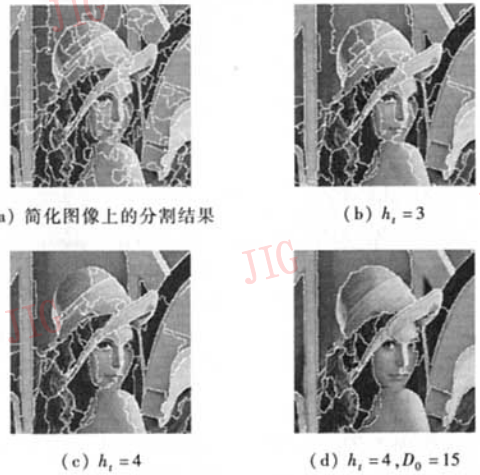


图4 以图像Lena为例H-minima技术应用到简化后的图像利用分水岭算法的分割结果

Fig.4 Problem of the H-minima in the simplified image after watershed segmentation

5 基于标记的分水岭分割

采用原始梯度图像 ∇I_c 作为分水岭的分割图像。同时,采用数学形态学中的极小值标定技术^[10]

修改分割图像 ∇I_c , 利用 4.3 节中提取得到的标记强制作作为梯度图像的局部极小值, 屏蔽掉原有图像中的所有局部极小值。因此, 修改后的梯度图像中, 只有对应二值标记图像 ∇I_c^{mark} 中不为零的地方强制有局部极小值。修改极小值后的梯度图像用 ∇I_c^{WS} 代表, 即

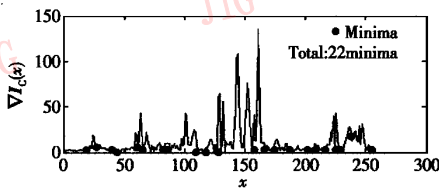
$$\nabla I_c^{\text{WS}} = \text{IMMIN}(\nabla I_c | \nabla I_c^{\text{mark}}) \quad (11)$$

其中, $\text{IMMIN}(\cdot)$ 代表形态学极小值标定操作。分水岭分割算子在图像 ∇I_c^{WS} 上执行, 最终计算得到理想的区域分割结果, 记作 I^{WS} , 用 $\text{WTS}(\cdot)$ 代表分水岭算法的分割操作算子, 即

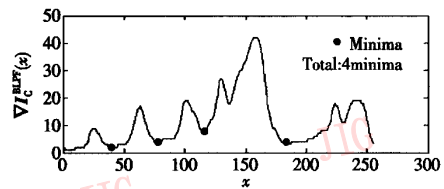
$$I^{\text{WS}} = \text{WTS}(\nabla I_c^{\text{WS}}) \quad (12)$$

6 实验结果

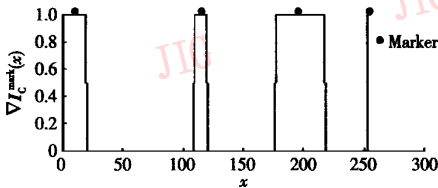
针对图像分割领域中公开的图像与视频序列进



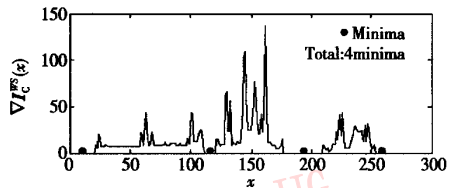
(a) 图像 ∇I_c 在 100 列的 1 维强度图



(b) 图像 ∇I_c^{BLPF} 在 100 列的 1 维强度图



(c) 图像 ∇I_c^{mark} 在 100 列的 1 维强度图 ($h_1 = 4$)



(d) 图像 ∇I_c^{WS} 在 100 列的 1 维强度图

图 5 图像 Lena 的 1 维强度图

Fig. 5 The one-dimensional intensity profile of Lena

行大量实验来验证新算法的有效性, 这一节中, 给出部分实验结果来说明新算法的有效性。新的图像分割方法中需要对两个参数进行调节, 它们分别是 4.2 节中的 BLPF-2 中的参数 D_0 , 与 4.3 节中的 H-minima 的参数 h_i , 如表 1 所示。给出了这两个参数的几组实验数据。图 5 以实际图像 Lena 为例, 选取该图像中第 100 列像素, 绘制实际图像在算法的各个阶段的 1 维强度剖面图。通过图 5 可以了解到本文提出的图像分割算法的整个工作过程。

表 1 参数 D_0 和 h_i 的几组实验数据

Tab. 1 The value of parameters D_0 and h_i

图像	D_0	h_i	图像	D_0	h_i
Lena. bmp	15	4	Clair. bmp	15	8
parrots. bmp	20	4	hall. bmp	30	4
modt. bmp	15	4	nhz. bmp	30	2

针对图像分割领域中公开的图像与视频序列进

献[7]中提出的提取标记的方法的分割结果进行比较。图 6、图 7 中的图 (a) 是图像 Lena 和 parrots



(a) 文献[7]得到的标记 (b) 113 个区域 (c) 35 个区域 (d) 新算法的分割结果 (e) 新算法得到的标记

图 6 以图像 Lena 为例新算法的分割结果与文献[7]的分割结果进行比较

Fig. 6 The compare between the proposed algorithm and Gao's method^[7] for Lena

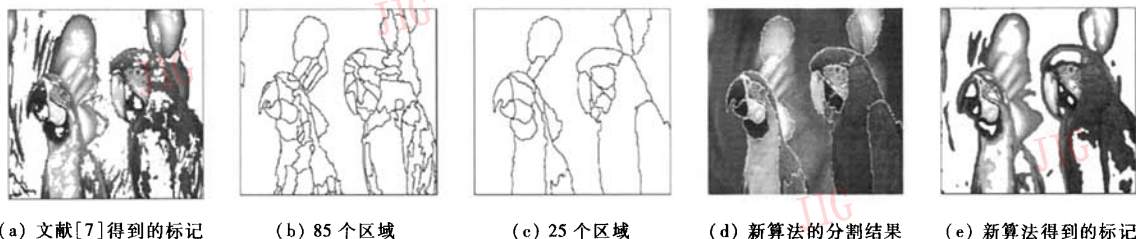


图 7 以图像 parrots 为例新算法的分割结果与文献[7]的分割结果进行比较

Fig.7 The compare between the proposed algorithm and Gao's method^[7] for parrots

利用 Gao 在文献[7]中的标记提取方法得到的标记(各种大小的白色区域代表提取的标记);(b)是利用 Gao 的方法得到的最终分割结果;(c)是文中提出的新算法得到的最终分割结果;(d)是文中新算法的分割结果与原始图像叠加;(e)是利用文中提出的新算法提取得到的标记(白色区域)。

从实验结果可以看出,我们提出的方法能够得到相对较好的分割结果。而 Gao^[7]的标记提取的方法仍然产生较为严重的过分割结果。另外,该标记提取的方法由于利用了数学形态学中的面积算子,因此比较耗时,如表 2 所示,给出了在奔腾 4 主频 2.0G 微机上,并且在 Matlab 编程环境下,两种算法

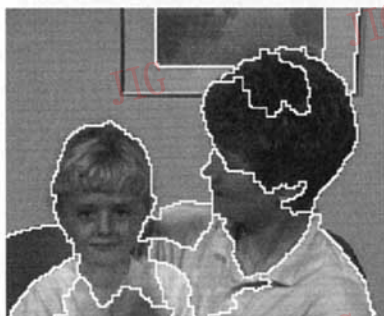
运行时间比较。我们提出的算法中,错误的边界数量较大程度得到了减少。从标记图像看出,新算法可以较好地计算得到与一幅图像中各个物体相关性较大的极小值标记。图 8 给出了利用我们提出的分割方法对其他的典型序列进行分割的结果。

表 2 相同 PC 平台和 Matlab 编程环境下两种算法的运行时间比较

Tab.2 Processing times of two different algorithms

单位:s

图像	新算法	Gao 的算法
Lena. bmp(256 × 256)	5.875 0	19.951 0
parrots. bmp(256 × 384)	8.750 0	29.715 0



(a) frame 12(15 个区域)



(b) frame 99(12 个区域)



(c) frame 56(80 个区域)



(d) frame 170(78 个区域)

图 8 利用文中提出的算法针对几个视频序列得到的最终分割结果

Fig.8 Final segmentation results for several sequences

7 结 论

本文提出了一种新的基于标记的分水岭自动分割算法,目的是为了降低分水岭的过分割问题。较为准确地标记提取方法可以实现对图像的成功分割。实验结果表明,我们提出的新算法具有快速和较高的准确性等特点,使得它可以在图像与视频序列的自动分割中发挥作用。本文进行图像的梯度计算时,并没有考虑计算纹理梯度,因此对于纹理细节很丰富的图像,如 baboon,算法的分割结果不太理想。因此下一个阶段将考虑引入图像的纹理梯度计算,将图像的纹理梯度与亮度梯度结合起来,以便使本文提出的算法应用于更为广泛的图像和视频序列中。

致谢 本文实验中所采用的视频序列 Nhz 来源于中国科学院自动化研究所提供的数据库: CASIA Gait Database。

参考文献 (References)

- 1 Yaakov T, Amir A. Automatic segmentation of moving objects in video sequences: a region labeling approach [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2002, 12 (7): 597 ~ 612.
- 2 Xu Haifeng, Akmal A Y, Mansur R K. Automatic moving object extraction for content-based applications [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2004, 14 (6): 796 ~ 812.
- 3 Munchurl K, Jae G C, Daehye K, et al. A VOP Generation Tool: Automatic segmentation of moving objects in image sequences based on spatial-temporal information [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 1999, 9 (8): 1216 ~ 1226.
- 4 Wang Demin. Unsupervised video segmentation based on watersheds and temporal tracking [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 1998, 8 (5): 539 ~ 546.
- 5 Haris K, Efstratiadis S N, Maglaveras N, et al. Hybrid image segmentation using watersheds and fast region merging [J]. IEEE Transactions on image processing, 1998, 7 (12): 1684 ~ 1699.
- 6 O'Callaghan R J, Bull D R. Combined morphological-spectral unsupervised image segmentation [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2005, 14 (1): 49 ~ 62.
- 7 Gao Hai, Siu Wan-Chi, Hou Chao-Huan. Improved techniques for automatic image segmentation [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2001, 11 (12): 1273 ~ 1280.
- 8 Salembier P, Pardas M. Hierarchical morphological segmentation for image sequence coding [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1994, 3 (5): 639 ~ 651.
- 9 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.
- 10 Soille P. Morphological Image Analysis Principles and Applications [M]. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 1999.
- 11 Gonzalez R C, Woods R E. Digital Image Processing (Second Edition) [M]. Editora: Prentice Hall, 2002.
- 12 Jr R H, Flores C F, Barrera J, et al. Color image gradients for morphological segmentation [A]. In: IEEE Proceeding of SIBGRAPI'2000 [C], Gramado, Brazil, October 2000: 316 ~ 322.